

REGIONE
TOSCANA



Direzione Generale delle Politiche
Ambientali, Energia e per la Mobilità
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 FIRENZUOLA
Luglio 2013



Palazzo Comunale di Firenzuola.

a cura di:

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

con la collaborazione tecnica di: M. Rossi²

¹ Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Ambientali, Energia e per la Mobilità – Settore Prevenzione Sismica Regionale;

Via S. Gallo 34a, 50134 Firenze – Tel. 055/4622711 Fax 055/4622755 – www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica - sismica@regione.toscana.it

² Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Ambientali, Energia e per la Mobilità – Ufficio tecnico del genio civile di Area Vasta di Siena e Grosseto

INDICE

1.0. Introduzione.....	Pag. 3
2.0. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	Pag. 14
3.0 Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	Pag.20
4.0 Dati geotecnici e geofisici.....	Pag.40
5.0 Modello del sottosuolo	Pag.44
6.0. Interpretazioni ed incertezze.....	Pag. 50
7.0 Metodologie di elaborazione e risultati	Pag.50
8.0 Elaborati cartografici	Pag.79
9.0 Bibliografia.....	Pag.89

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 Prevenzione Sismica Regionale è stato incaricato dal Comune di Firenzuola, 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 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.

LIVELLO 1

INDAGINI 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 passive 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 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</u> della carta MOPS; • <u>Carta delle frequenze fondamentali</u> dei depositi.

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 geolitologiche 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 2.0beta –II, Giugno 2012).

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

LIVELLO 2

INDAGINI OBBLIGATORIE MINIME	<ul style="list-style-type: none"> • <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 OBBLIGATORI FINALI	<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</u> della Carta di Microzonazione Sismica.

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.

LIVELLO 3

INDAGINI OBBLIGATORIE MINIME	<ul style="list-style-type: none"> • <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 OBBLIGATORI FINALI	<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</u> della Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti.

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 Prevenzione Sismica Regionale ha realizzato, nell'ambito dei centri urbani significativi del Comune di Firenzuola, 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 2 – Giugno 2012).

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

L'abitato di Firenzuola si sviluppa al di sopra della pianura alluvionale determinata dal Fiume Santerno e dal Fosso Barondoli, con una quota media di 420 metri sul livello del mare. L'area del capoluogo è caratterizzata da un centro storico collocato nella porzione centrale dell'abitato e da fasce in espansione poste prevalentemente ad Ovest sempre all'interno della pianura e a Nord al di sopra dei versanti che delimitano la valle. È presente anche una rilevante area produttiva, attraversata dalla Strada Statale Imolese, a SE del centro storico.

È stata anche interessata da indagini la frazione di Pietramala che si sviluppa lungo la Strada Statale della Futa, con una quota media di 850 metri sul livello del mare.

Sono state individuate anche le seguenti frazioni, interessate da rilevamenti geologici e geomorfologici, all'interno delle quali non sono state eseguite indagini geotecniche e geofisiche:

- La frazione di **Bruscoli** ad Est del Capoluogo, che si estende lungo la Strada Statale di Bruscoli, presenta una quota media di 760 metri sul livello del mare, è ubicato a mezza costa di un versante montuoso e si trova in parte sul substrato roccioso e in parte su un corpo di frana stabilizzato;
- Il centro abitato di **Covigliaio**, situato ad Ovest del Capoluogo, si trova lungo la Strada Statale n.65 della Futa ed è ubicato in gran parte al di sopra di un corpo di frana stabilizzato. La quota media è di circa 860 metri sul livello del mare;
- Le frazioni di **La Selva** e **Traversa** sono comprese all'interno della stessa area di indagine ed entrambe si trovano ad Ovest del Capoluogo e lungo la Strada Statale n.65 della Futa. La Selva (altitudine media di 860 metri sul livello del mare) è a Nord rispetto alla frazione di Traversa (altitudine media di 850 metri) ed entrambe si trovano al di sopra di antichi movimenti franosi stabilizzati;
- Il centro abitato di **San Pellegrino** si trova ad Est del Capoluogo in prossimità dell'alveo del Fiume Santerno che proprio in quest'area si presenta con un evidente andamento a meandri. La quota media dell'abitato è di circa 350 metri sul livello del mare;
- La frazione di **Cornacchiaia** si trova a SW del Capoluogo, lungo il versante a Sud del corso del Fiume Santerno ed è delimitata ad Est dal Fosso L'Ossato. La quota media è di circa 500 m sul livello del mare.
- Il centro abitato di **Piancaldoli** è ubicato a NE del Capoluogo, lungo la Strada Provinciale Piancaldolese. Presenta una quota media di 540 metri sul livello del mare ed è delimitato ad Ovest e a Nord dal Torrente Sillaro.

Di seguito si riporta una tabella con l'estensione delle aree di indagine su cui sono stati effettuati i rilievi geologici di cui alla fase 2 e realizzate le indagini di cui alla fase 3 e 4 ed una cartografia con la delimitazione delle aree di indagine (Fig. 1.1; 1.2; 1.3; Tab. 1).

Per quanto concerne l'ubicazione delle indagini nelle frazioni di Cornacchiaia, Piancaldoli, San Pellegrino, La Selva-Traversa, Covigliaio e Bruscoli si rimanda al sito web:

<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/lr56/VEL/indagini/mugello/firenzuola/firenzuola.htm>



Fig.1.1 – Delimitazione delle aree individuate per le indagini

L'individuazione delle aree interessate dal progetto è stata effettuata in base alla localizzazione e alla distribuzione dei principali centri urbani, definiti sulla base delle informazioni fornite dall'Amministrazione Comunale e a seguito di 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.

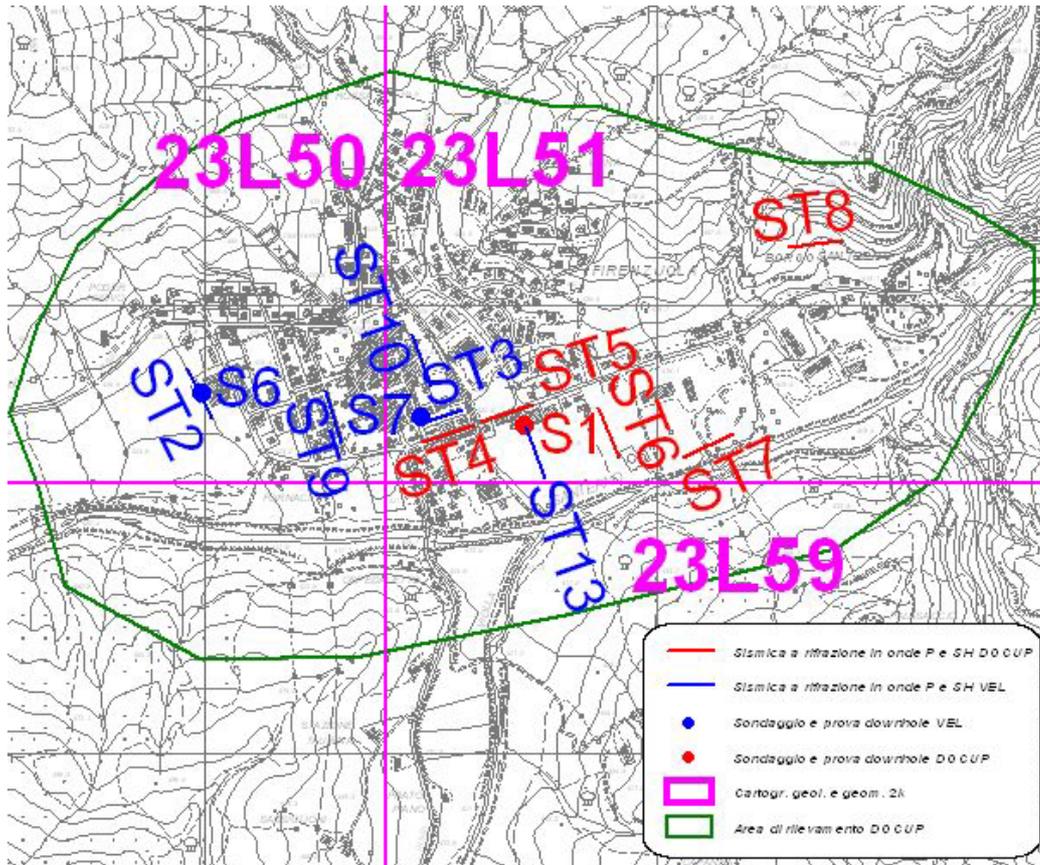


Fig.1.2 – Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite nell'area di Firenzuola.

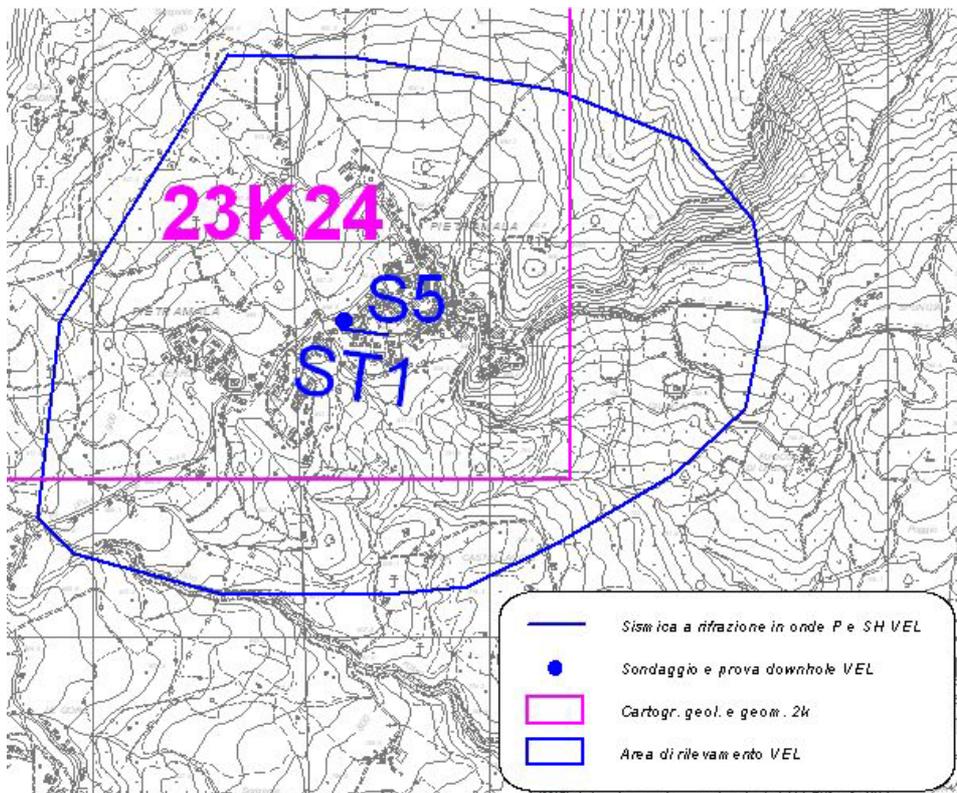


Fig.1.3 – Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite nell'area di Pietramala.

Comune	località	Superficie (ha)	Superficie totale (ha)
Firenzuola	capoluogo	215,82	1665,47
	cornacchiaia	240,46	
	traversa-selva	282,10	
	bruscoli	258,90	
	covigliaio	318,31	
	pietramala	192,32	
	piancaldoli	116,63	
	san pellegrino	40,93	

Tab.1 – delimitazione aree oggetto dei rilievi geologici, geomorfologici e delle indagini geofisiche e geotecniche

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

L'area del Mugello è caratterizzata da una sismicità medio-elevata e si posiziona tra le zone a maggior pericolosità sismica della Toscana. Infatti, i comuni afferenti all'area dell'alto Mugello (Fig. 2.1), compreso il territorio di Firenzuola, sono classificati in zona sismica 2 (Del GRT 878/2012). Del resto il comune di Firenzuola è stato tra i primi comuni classificati in zona sismica 2, ovvero a partire dal 1927.

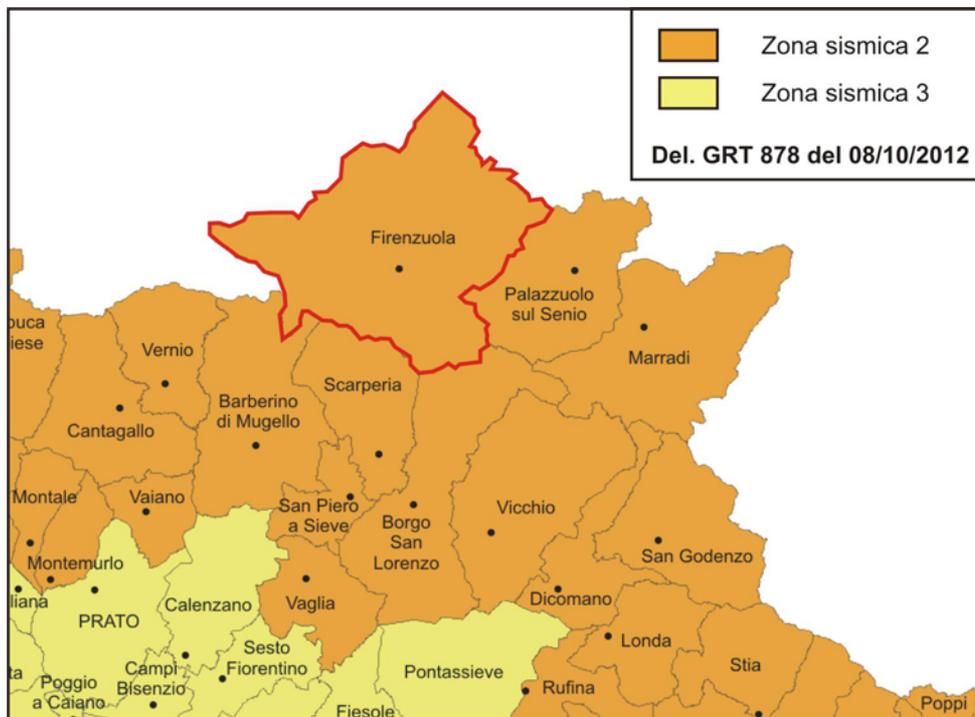


Fig.2.1 – Classificazione sismica dell'area del Mugello; in rosso è evidenziato il territorio comunale di Firenzuola

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

In figura 2.3 è rappresentata la Mappa di Pericolosità Sismica (O.P.C.M. 3519/2006) relativa al territorio di Firenzuola. 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 Firenzuola, valori di accelerazione sismica (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità g) pressoché costanti e relativi ad un range compatibile con l'iscrizione del comune in zona sismica 2.

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

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

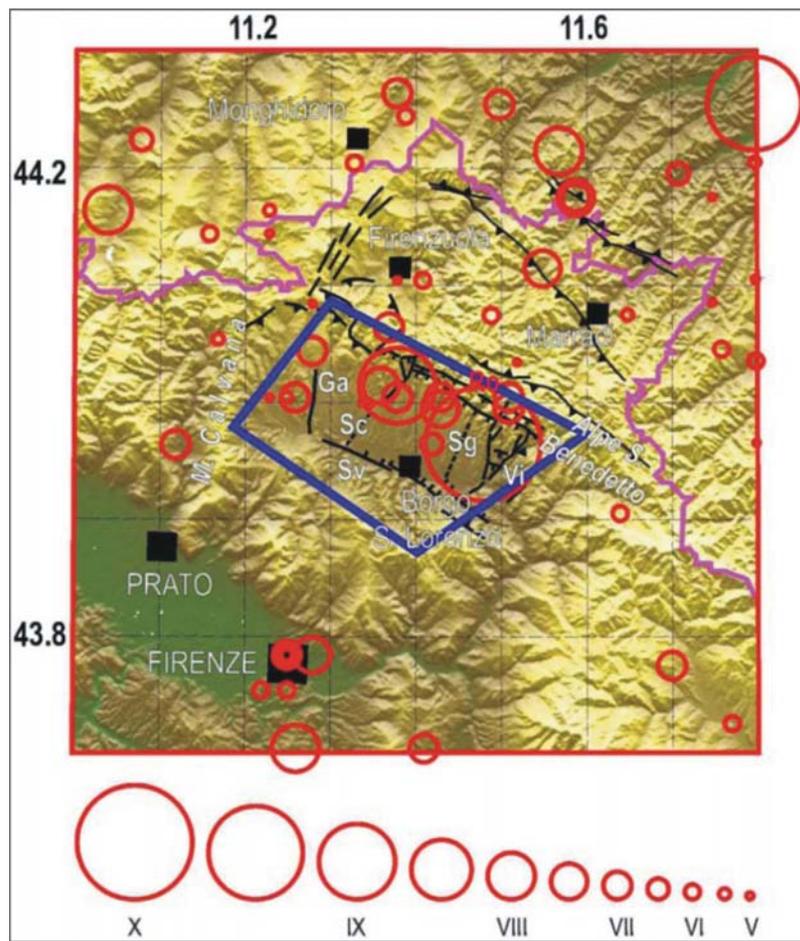


Fig.2.2 – Sismicità storica dell’area del Mugello. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dopo il 1000. I principali elementi tettonici, riportati anche sullo schema geologico (Fig.1.3.4), sono in nero. Si può notare che le scosse storiche principali di questa zona hanno interessato segmenti diversi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

Tab. 2.1 – Lista dei terremoti con $I_{max} \geq 7$ avvenuti dopo il 1000 nella zona contornata in figura 2.2. Ad essi vanno aggiunti gli eventi sismici che hanno interessato storicamente l’area appenninica emiliano-romagnola, prossima al comune di Firenzuola. In grassetto i terremoti con $I_{max} \geq 8/9$ o $M \geq 5.5$. Mw = 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 Mw)	Intensità I_0 (I_{max})	T (anni)
1542	6	13	Mugello	44.01	11.39	5.9	9	
1597	8	3	Mugello	43.99	11.43	5.2	7.5	55
1611	9	8	Scarperia	44.01	11.36	5.1	7 (7.5)	14
1762	4	15	Mugello	44	11.51	5.1	7	151
1843	10	25	Mugello	44.01	11.26	5.1	6.5 (7)	82
1864	12	11	Mugello	44.04	11.28	5.1	7	21
1919	6	29	Mugello	43.96	11.48	6.3	10	55
1929	7	18	Mugello	43.99	11.51	5.0	6.5 (7)	10
1931	9	5	Mugello	44.06	11.37	4.8	6 (7)	2
1939	2	11	Marradi	44	11.43	5.0	7	7
1960	10	29	Mugello	44	11.39	5.0	7	22

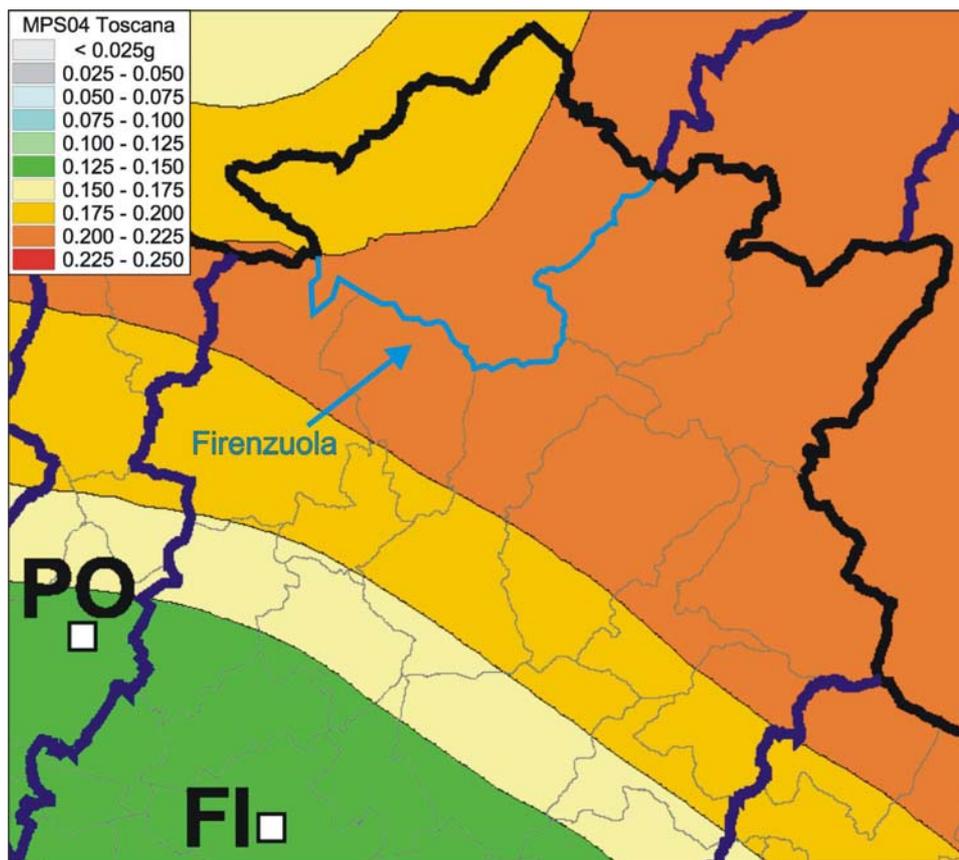


Fig.2.3 – Mappa di Pericolosità Sismica relativa all’area del Mugello realizzata dall’INGV nel 2004 (Allegato 1B dell’O.P.C.M. 3519/2006)

La scelta di realizzare per il centro abitato di Firenzuola un’analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell’area e spettrocompatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2008. L’input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall’Università di Pavia nell’ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla “Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana”.

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

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.

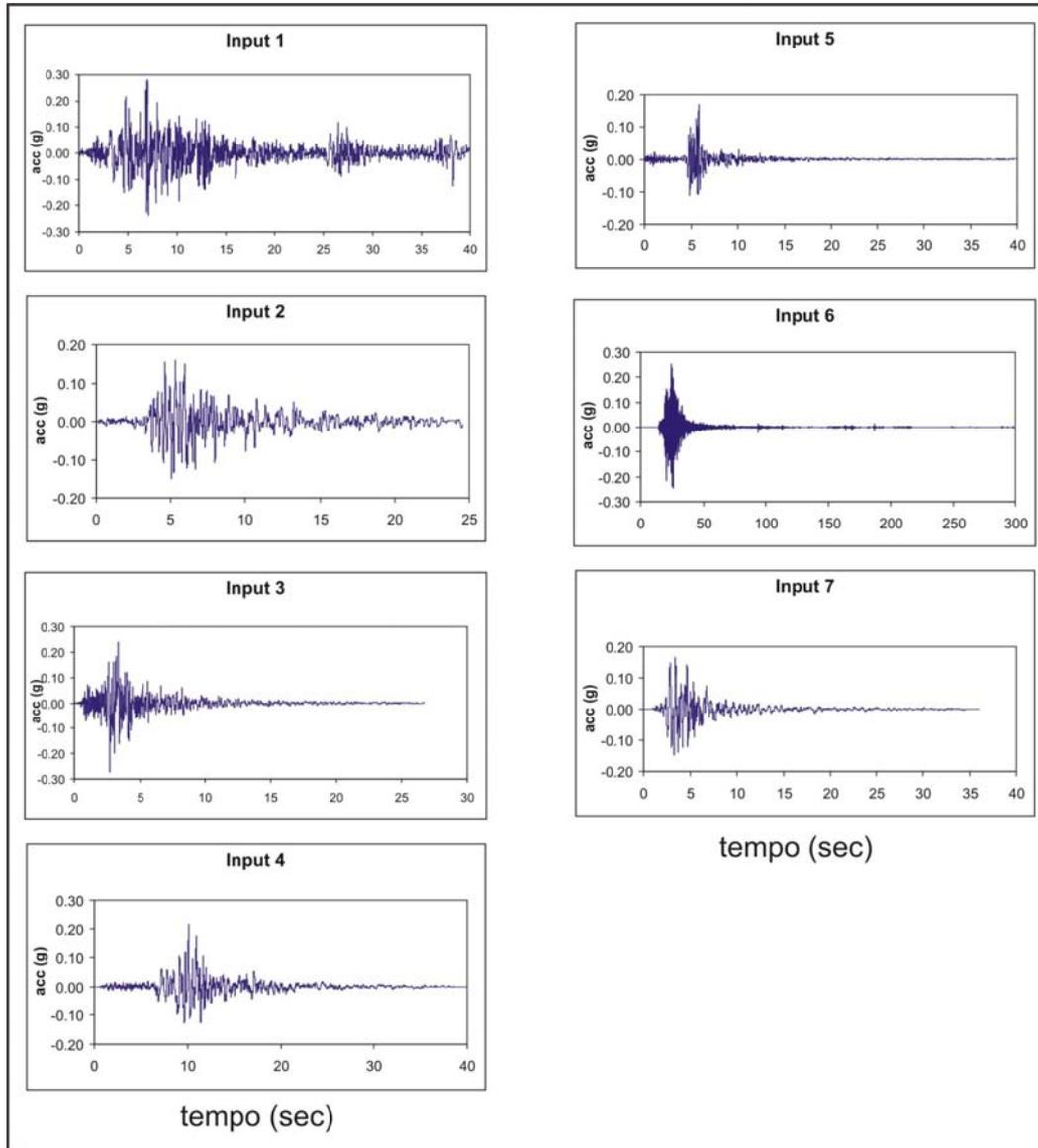


Fig.2.4 – Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico

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 Firenzuola (il valore è riferito convenzionalmente alla sede comunale, per la quale è previsto un valore di a_g pari a $0.201g$ 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.

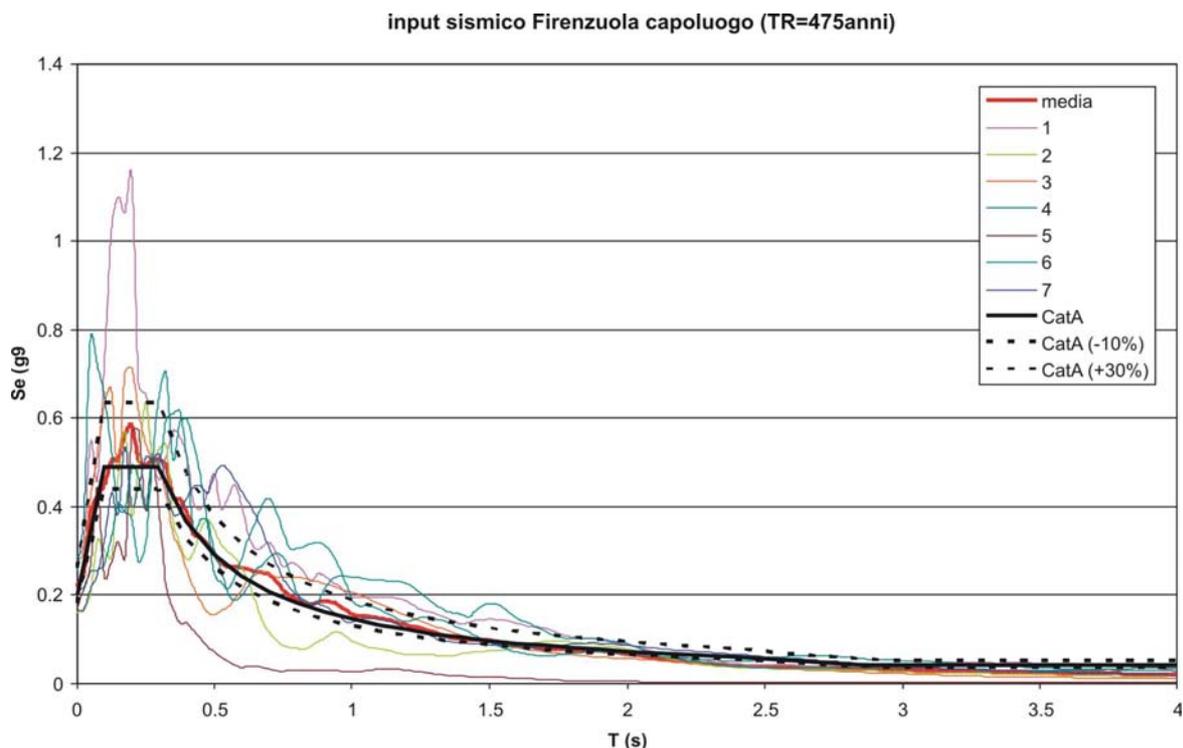


Fig.2.5 – Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale nel centro abitato di Firenzuola.

Tab.2.2 – Informazioni relative ai 7 accelerogrammi spettro-compatibili utilizzati come input sismico: Magnitude Mw = 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 (Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling Factor	Source File Name
1	6.87	11	0.84	ESD 000182xa.cor
2	6.2	32	2.06	ESD 000234ya.cor
3	5.74	12.56	2.09	NGA 0146y.txt
4	6.93	83.53	2.03	NGA 0804y.txt
5	5.61	39.6	1.73	NGA 1649y.txt
6	6.6	36.18	2.02	KNET1 SAG0010503201053.NS
7	5.6	22	2.64	ITACA 19971014_152309ITDPC_CSC_WEC.DAT

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 Vs e profondità) delle unità ascrivibili al substrato sismico.

3.0. Inquadramento geologico – geomorfologico e tettonico dell'area

Geologia dell'area

Dal punto di vista geologico il substrato pre-quadernario affiora prevalentemente nelle località di Piancaldoli, Cornacchiaia e Bruscoli. Il Capoluogo Firenzuola si trova in gran parte sulla pianura alluvionale del Fiume Santerno e in parte sul substrato roccioso che costituisce i versanti che delimitano a Nord la valle. Affioramenti di substrato si trovano anche presso la frazione di Covigliaio, che però presenta una porzione del paese al di sopra di un corpo di frana.

Anche gli abitati di Selva, Traversa e Pietramala si trovano ubicati al di sopra di corpi di frana stabilizzati.

Infine, l'abitato di S. Pellegrino è posizionato al di sopra depositi di coperture recenti costituite da conoidi alluvionali e detrito di versante.

Di seguito, data la diversa situazione geologica delle aree indagate nel Comune di Firenzuola, si analizzano le caratteristiche geologiche di ciascuna località.

Località Capoluogo

Nell'area del Capoluogo il substrato affiora frequentemente lungo i versanti che delimitano l'ampia valle costituita dai depositi alluvionali del Fiume Santerno, al di sopra dei quali sorge la maggior parte del centro abitato. I versanti nord-occidentali sono costituiti dalle Argilliti con calcari (**AVC**), appartenenti alle Formazioni ad affinità subligure dell'Unità Tettonica di Sestola-Vidiciatico, mentre i versanti nord-orientali presentano una maggiore varietà litologica con affioramenti appartenenti alle Marne di Marmoreto (**MMA**), alle Argille di Fiumalbo (**FIU**) ed alle Breccie Argillose Poligeniche (**BAP**) della Successione di Modino all'interno dell'Unità Tettonica di Sestola-Vidiciatico. Spostandosi verso oriente si passa, tramite contatti tettonici, al Membro di Nespoli (**FMA8**), prevalentemente arenaceo ed appartenente alla Formazione Marnoso-Arenacea. Lungo i pendii che delimitano a meridione la valle sono presenti, in maniera simile a quanto descritto nella porzione settentrionale, il Membro di Nespoli ad oriente con le sovrascorse formazioni dell'Unità Tettonica di Sestola-Vidiciatico. A Sud-Ovest, passata la Strada Statale del Passo del Giogo, affiorano le Argille Varicolori.

I sedimenti sono stati classificati come depositi alluvionali quadernari di pianura alluvionale, detrito di versante e corpi di frana.

I depositi alluvionali attuali (**b**), prevalentemente ciottolosi e ghiaiosi, sono ovviamente presenti lungo il corso del Fiume Santerno. Al di sopra, separati dai depositi attuali da una scarpata di pochi metri di altezza, sono presenti i depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (**b1**).

Il detrito di versante (**a**), riferibile al Pleistocene Medio finale - Olocene, è costituito da matrice generalmente limo-argillosa e da frammenti eterometrici prevalentemente grossolani.: trovandosi generalmente alla base dei versanti, la composizione dei detriti, è determinata dal substrato pre-quadernario che costituisce il rilievo. Nell'area rilevata comprendente l'abitato di Firenzuola il detrito di versante è presente prevalentemente alla base dei pendii settentrionali e all'interno degli impluvi ed i clasti presenti sono prevalentemente di natura siltitica, marnosa e calcarea.

Nell'area studiata, in virtù delle condizioni topografiche e litologiche, i fenomeni franosi sono frequenti, sia quiescenti che attivi, ed alcuni con importanti estensioni areali, in particolar modo quelli innescatisi su litologie maggiormente argillose.

Località Pietramala

L'abitato di Pietramala sorge quasi completamente al di sopra di una vasta paleofrana ormai stabilizzata (**a1s**) per cause naturali e di spessore superiore ai 30 metri, in quanto il substrato sottostante non viene individuato dalle indagini geotecniche e di sismica effettuate su di esso. Presso il limite orientale della frana è presente un'ampia copertura di detrito di versante (**a**).

Il substrato affiora nella porzione più ad Est dell'area di rilevamento ed è costituito dalla Formazione di Monte Morello (**MML**), costituita da calcareniti e marne, appartenente al Dominio Ligure Esterno. Un secondo corpo franoso quiescente (**a1s**) si trova presso la frazione di S. Lorenzo a Pietramala ed è costituito da material marnoso e calcareo appartenente alla Formazione di Monte Morello.

Località Bruscoli

Il centro abitato di Bruscoli è ubicato all'interno di un'area con quote comprese tra i 700 e gli 800 metri sul livello del mare ed è caratterizzato da numerosi affioramenti di substrato roccioso, in prevalenza appartenenti alle Breccie Argillose Poligeniche (**BAP**). Queste affiorano in prevalenza in prossimità del paese insieme alle Arenarie di Suviana (**SUV**), costituite da alternanze arenaceo-pelitiche. Nella porzione più orientale dell'area studiata affiora la Formazione di Monghidoro (**MOH**) costituita anch'essa da strati alternati di arenarie e peliti e separata dalle Breccie Argillose Poligeniche da un contatto tettonico.

Nell'area sono molto frequenti i fenomeni gravitativi (**a1**) di varie dimensioni e di vario grado di attività, favoriti dall'alternanza di strati arenacei e pelitici che costituiscono il *bedrock* presente.

In particolare si nota l'estesa area in frana ad Est dell'abitato, costituita da singoli corpi stabilizzati e coalescenti tra loro.

In misura minore come estensione, tra le coperture, si osservano anche modesti depositi di detrito di versante (**a**) concentrati immediatamente a Nord di Bruscoli.

Località Covigliaio

L'area presso l'abitato di Covigliaio è caratterizzato dall'assenza di corsi d'acqua importanti che si ripercuote sulla totale assenza di coperture alluvionali.

Sono invece presenti, lungo i ripidi pendii, accumuli di detrito di versante (**a**) e numerosi accumuli di frana (**a1**), costituiti da materiale marnoso, argilloso o carbonatico in base al substrato sul quale tali fenomeni si impostano.

Lo stesso centro abitato si sviluppa al di sopra di un esteso corpo franoso stabilizzato ed antico come testimoniato dal reticolo idrografico che si è impostato su di esso.

Data l'assenza di coperture gli affioramenti di substrato roccioso sono numerosi e si riconoscono formazioni appartenenti a unità differenti separate da contatti tettonici con inclinazione di circa 45°.

Muovendosi da Est verso Ovest si individuano: le Argille a Palombini (**APA**) che occupano gran parte del versante dove è posizionato Covigliaio, i Calcari a Calpionelle (**CCL**) immediatamente sopra le Argille a Palombini, i Diaspri di M. Alpe (**DSA**) e i Basalti Brecciati e *pillow lavas* (**BSTb**). Tutte le formazioni presenti appartengono all'Unità Tettonica San Leo del Dominio Ligure Interno.

Località Traversa-La Selva

Le due località, data la loro vicinanza, sono analizzate all'interno della stessa area di rilevamento.

Entrambe si trovano a quote superiori agli 800 metri e lungo la strada statale della Futa, con la località La Selva a Nord rispetto Traversa. L'area di studio è costituita da versanti prevalentemente ricoperti da detrito di versante (**a**) e da accumuli di frana (**a1**); il substrato roccioso affiora presso le aree più a monte rispetto alle coperture ed è costituito da Calcari a Calpionelle (**CCL**), Diaspri (**DSA**), Basalti Brecciati e *pillow lavas* (**BSTb**), Basalti (**BST**) con corpi intrusi di Plagiograniti (**PLG**) e le Argille a Palombini (**APA**) tutti appartenenti all'Unità Tettonica di S. Leo del Dominio Ligure Interno.

Località S. Pellegrino

L'area si sviluppa lungo il Fiume Santerno e presenta nella porzione settentrionale una diffusa copertura alluvionale (**b4** e **b3**). Nelle aree più a Sud, lungo il corso d'acqua si trovano ulteriori porzioni di depositi alluvionali e numerosi affioramenti di substrato roccioso costituito da formazioni litoidi di natura torbiditica e, nello specifico, dal Membro di Collina (**FMA5**), dal Membro di Bassana (**FMA7**) e dall'orizzonte caotico di Casaglia (**cas**), costituito da materiale di affinità ligure e subligure, tutti appartenenti alla Formazione Marnoso Arenacea Romagnola. Tra le coperture sono presenti

anche due conoidi alluvionali (**m**) creati dagli affluenti che s'immettono nel Fiume Santerno e numerosi accumuli di detrito di versante (**a**) ubicati alle pendici dei versanti e all'interno degli impluvi.

Località Cornacchiaia

La frazione di Cornacchiaia si trova al di sopra di un rilievo in prossimità del Fiume Santerno e poggia direttamente sul substrato roccioso costituito dalle Argilliti con Calcari (**AVC**) appartenenti al Dominio Toscano. A quote più basse, presso il corso d'acqua principale, si trovano i depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (**b2**) ed i depositi alluvionali attuali (**b**). L'abbondanza di materiale argillitico alternato a calcilutiti delle Argilliti con Calcari favorisce la presenza di depositi di versante (**a**, alla base dei pendii e lungo il versante a Sud dell'abitato) e di accumuli di frana stabilizzati (**a1q**) ubicati prevalentemente lungo i versanti costituiti da Argilliti con Calcari ma anche su quelli col Membro a Megastrati Arenacei (**TCG1**) dell'Unità Tettonica di M. Castel Guerrino). Nell'area rilevata, affiora il Membro Arenaceo-Pelítico (**CDP2**), appartenente sempre alla stessa Unità.

Località Piancaldoli

Il centro dell'abitato di Piancaldoli è posizionato al di sopra di un dosso roccioso costituito dalla Litofacies con strati caratterizzati da A/P maggiore 3/1 (**FMA13c**) che è presente anche in tutta la parte Sud dell'area di studio. Nella porzione settentrionale sono presenti alcuni affioramenti del Membro di Fontanelico (**FMA13**) che appartiene, assieme alla suddetta litofacies, alla Formazione Marnoso-Arenacea. In prossimità del limite Nord dell'area scorre il Torrente Sillaro caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (**b2**) in prossimità dell'alveo.

I versanti che attornano la frazione di Piancaldoli presentano vaste coperture detritiche (**a**) e numerosi accumuli di frana (**a1**) di materiale pelitico ed arenitico.

Per quanto concerne l'inquadramento stratigrafico dell'area del Comune di Firenzuola, questo è costituita dal basso verso l'alto dalle formazioni che si riportano di seguito. Per quanto riguarda la nomenclatura e l'età delle varie unità stratigrafiche ci siamo riferiti alle classificazioni adottate dalla "Legenda per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologica e litologico-tecnica per le aree del Mugello – PROGRAMMA VEL MUGELLO – VOLUME 5".

Si descrivono qui le unità geologiche affioranti, dalle più recenti alle più antiche, suddividendole in depositi Plio-Quaternari e substrato pre-Plioceno.

I depositi Plio-Quaternari sono stati distinti in: depositi alluvio-colluviali recenti, depositi fluviali depositi dal Pleistocene inferiore all'Olocene entro il Bacino del Mugello, e depositi fluvio-lacustri di riempimento del bacino, accumulati tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore. Quest'ultimi sono stati distinti in tre unità sulla base delle superfici di discordanza principali riconosciute a scala bacinale nella cartografia geologica nazionale (CARG).

In quest'area sono stati riconosciuti in campagna esclusivamente i depositi alluvio-colluviali recenti.

Le formazioni, i membri e le litofacies, appartenenti al substrato pre-plioceno, sono raggruppati in unità tettoniche, a loro volta inserite in "domini".

Per quanto riguarda la nomenclatura e l'età delle varie unità stratigrafiche ci siamo riferiti alle classificazioni adottate dalla cartografia geologica nazionale in scala 1:50.000 (CARG).

DEPOSITI PLIO-QUATERNARI ALLUVIO-COLLUVIALI

Depositi alluvio-colluviali

Depositi alluvionali attuali (b)

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 Santerno e dai corsi d'acqua secondari.

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).

Olocene

Detrito di versante (a)

Deposito di versante costituito da elementi 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. Si hanno estesi corpi detritici in tutte le aree indagate. Questi depositi si ritrovano principalmente al raccordo tra la pianura e le aree collinari, ma anche ha ricoprire versanti o negli impluvi. Gli spessori del detrito alla base dei versanti è variabile, da circa 5-6m a 2m. In località San Pellegrino nell'area del cantiere della TAV ricopre depositi di pianura alluvionale di secondo ordine. In località Piancaldoli, nell'area a NW del paese ricopre depositi alluvionali.

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).

Pleistocene medio finale-Olocene

Depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (bI-n)

Si tratta di depositi fluviali di ambiente di piana alluvionale, deposti dal Fiume Santerno e dai corsi d'acqua secondari, costituiti da ciottolami eterometrici e poligenici in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto- a matrice-sostenuta, e subordinatamente ghiaie, sabbie e limi, talora variamente pedogenizzati. I ciottoli, da subarrotondati ad arrotondati, hanno sfericità bassa. Sono depositi numerati a partire dal terrazzo morfologicamente più alto, fino alla pianura alluvionale recente. Quest'ultima può essere localmente soggetta ad esondazioni. Questi depositi affiorano nelle aree di Cornacchiaia, dove si ha un esteso terrazzo di secondo ordine, con spessori massimi di circa 8-9m, Pietramala dove vi è un piccolissimo terrazzo di primo ordine, Piancaldoli dove si ha un limitatissimo terrazzo di primo ordine ed uno di secondo ordine di estensione più elevata, San Pellegrino dove sono state riconosciuti quattro ordini di terrazzi (Fig.3.1).

In quest'ultima area si hanno spessori di circa 2-6m.

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).

Pleistocene medio-Olocene



Fig.3.1 – Depositi di pianura alluvionale in località di San Pellegrino

Depositi di conoide alluvionale (m)

Ciottolami ad elementi eterometrici e poligenici, subangolosi, dispersi in matrice limoso-sabbiosa, con tessitura prevalentemente casto-sostenuta, e subordinatamente sabbie. Si formano lungo il corso di un torrente nel punto in cui il gradiente diminuisce, in questo caso al raccordo fra versante e pianura alluvionale. Nell'area in esame sono associate ai depositi di piana alluvionale terrazzati corrispondenti all'unità bI. Si hanno esclusivamente in località San Pellegrino.

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.a3/4 (materiale granulare non cementato o poco cementato, a granulometria prevalentemente grossolane, con presenza di frazione limoso-sabbiosa, da poco addensato a sciolto).

Pleistocene inferiore?-Olocene

SUBSTRATO PRE-PLIOCENICO

Nelle aree del Comune di Firenzuola interessate dal Programma VEL il substrato è costituito da terreni riferibili al Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo, al Dominio Toscano e al Dominio Ligure.

Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo

Formazione Marnoso-Arenacea

La Formazione Marnoso-Arenacea è una successione torbidityca di età miocenica, con potenza superiore a 3.000 metri, costituita da alternanze arenite-pelite e subordinate emipelagiti marnose. Le impronte di fondo indicano apporti prevalenti da nord-ovest, subordinatamente da sud-est. A scala regionale è stata suddivisa in 14 membri parzialmente eteropici. I limiti tra i vari membri, trattandosi spesso di contatti graduali sfumati, sono stati posti convenzionalmente, dove possibile, in corrispondenza di orizzonti guida di importanza regionale.

Membro di Fontanelice (FMA13) (Tortoniano superiore)

Corpi lenticolari pluridecametrici (isolati o coalescenti) di arenarie e rari conglomerati, alternati a subordinate peliti. Rapporto A/P variabile da 10/1 a 30/1. Affiora nell'area di Piancaldoli (Fig. 3.2).

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5.



Fig. 3.2 – Membro di Fontanelice (FMA13) affiorante nel paese di Piancaldoli

Nella porzione meridionale dell’area di Piancaldoli sono presenti intercalazioni di strati con rapporto A/P maggiore di 3/1 (litofacies FMA13c; Fig. 3.3).

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 litofacies è riferibile all’U.L.T. B4.r1/4.d4/5.c4/5.



Fig. 3.3 – Membro di Fontanelice (litofacies FMA13c) a SO di loc. Il Poggio nell’area di Piancaldoli.

Membro di Bassana (FMA7)

Membro peltitico-arenaceo, caratterizzato da rapporto arenite/pelite inferiore, talora uguale, a 1; rare le calcareniti e le emipelagiti sono nettamente subordinate. Gli strati si presentano da sottili a spessi, subordinati i banchi. Affiora nell'area di San Pellegrino (Fig. 3.4).

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), questo membro è riferibile all'U.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5. *Serravalliano inferiore-superiore MNN6b-MNN7*



Fig. 3.4 – Membro di Bassana (FMA7) affiorante nel settore meridionale dell'area di San Pellegrino

Orizzonte caotico di Casaglia (CAS)

Corpo caotico potente fino ad alcune centinaia di metri generalmente costituito da materiale extraformazionale ad affinità ligure e subligure che nell'area in esame passa ad uno slump intraformazionale riducendosi fortemente di spessore. Questo orizzonte si ritrova nell'area di San Pellegrino dove si sviluppa esclusivamente all'interno del membro di Bassana (FMA7).

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.L.T. B4.r1/4.d4/5.c4/5.

Membro di Collina (FMA5)

Membro prevalentemente pelitico con frequenti livelli carbonatici ed emipelagiti; il rapporto arenite/pelite è generalmente minore di 1, per lo più compreso tra 1/5 e 1/3. Le areniti sono organizzate in livelli sottili e medi, in minor misura spessi, raramente in banchi. Si inseriscono a varie altezze dei corpi lenticolari più grossolani, spessi qualche decina di metri, con scarsa continuità laterale (Fig.3.5).

Serravalliano inferiore MNN6b



Fig. 3.5 – Membro di Collina (FMA5) affiorante nell'area di San Pellegrino.

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.L.T B4.r1/4.d4/5.c4/5.

DOMINIO TOSCANO

Unità tettonica Sestola-Vidiciatico

L'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico è un insieme eterogeneo di terreni che a scala regionale sono sovrascorsi sui depositi torbiditici di avanfossa oligo-miocenici e sono a loro volta sormontati dalle Unità tettoniche Liguri. Essa viene interpretata come la più interna delle unità appartenenti al Dominio Toscano e, in quest'area, ricopre tettonicamente la Formazione Marnoso-Arenacea. E' costituita da litotipi derivanti dall'intensa tettonizzazione di più successioni stratigrafiche originarie, principalmente da terreni appartenenti al dominio ligure e subligure; attualmente le formazioni affioranti hanno perduto i loro reciproci rapporti stratigrafici e affiorano generalmente in lembi isolati, anche di piccole dimensioni. Il corpo principale di questa unità è rappresentato da depositi con composizione argilloso-calcareo di età cretaceo-eocenica (AVC), avente le caratteristiche strutturali delle tettoniti, e da depositi di debris flow (brecce argillose poligeniche BAP). Su questi, in tempi successivi ed in discordanza angolare, si sono deposte successioni stratigrafiche di età oligo-miocenica.

Arenarie di Suviana (SUV)

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati prevalentemente spessi e molto spessi, raramente sottili e medi. Le arenite alla base degli strati sono da medie a grossolane (localmente molto grossolane). A/P variabile da $> a \gg 1$, localmente < 1 . Le paleocorrenti hanno provenienza dai quadranti occidentali. Il contatto stratigrafico inferiore è netto su BGN. Affiorano nella zona di Bruscoli (Fig. 3.6).

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5. *Burdigaliano-Langhiano MNN3b-4b*



Fig. 3.6 – Arenarie di Suviana affioranti lungo la S.P. di Bruscoli n°59.

Marne di Bagno (BGN)

Marne, marne siltose, talora calcaree con rari e sottili livelli arenitici fini, di colore grigio chiaro in superficie fresca e grigio-giallastro in superficie alterata.

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.L.T. B2.r1/4.d4/5.c4/5.

Chattiano sommitale – Langhiano inferiore

Brecce argillose poligeniche (BAP)

Si tratta di depositi di colata sottomarina e sono costituiti da brecce poligeniche a matrice argillosa caratterizzate dalla presenza di clasti argillitici millimetrici, oltre che da clasti calcarei, siltitici, arenitici, marnosi di dimensione da centimetrica a metrica. Le brecce argillose hanno un colore grigio in superficie fresca e marrone-giallastro in superficie alterata (Fig.3.7). Gli affioramenti migliori si trovano nell’area di Bruscoli.

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.L.T. Bc.r5/6.d4/5.c4/5.

Eocene-Aquitano



Fig. 3.7 – Breccie Argillose Poligeniche affioranti lungo la S.P. di Bruscoli n°59

Argilliti con Calcari (AVC)

Argilliti, talora marnose, di colore verde, grigio e nerastro al taglio fresco, nocciola in superficie alterata, con intercalazioni di calcilutiti grigie, siltiti e areniti in strati gradati sottili. Il rapporto argilla/calcare è in genere molto maggiore di 1. La deformazione tettonica è molto intensa e dà origine ad una foliazione estremamente pervasiva nelle argilliti, mentre i livelli più competenti si presentano sottoforma di boudins e cerniere sradicate. Si trova nell'area di Cornacchiaia.

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.L.T. B5.r5/6.d4/5.c4/5.

Albiano-Eocene

Unità tettonica M. Castel Guerrino

Formazione di Castiglione dei Pepoli (CDP)

Membro arenaceo-pelitico (CDP2):

Alternanze da arenaceo-pelitiche a pelitico-arenacee, con rapporto A/P che varia da poco maggiore a poco minore di 1. La granulometria alla base degli strati arenitici varia da media a molto fine (Fig.3.8).

Questo membro affiora nel settore orientale dell'area di Traversa e a S-SO di Cornacchiaia, tettonicamente sormontato da TCG1. Nell'area di Cornacchiaia risulta sovrapposto tettonicamente alle Argilliti con Calcari (AVC) appartenenti all'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico.

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5.

Burdigaliano-Langhiano MNN4a-MNN5a



Fig. 3.8 - Formazione di Castiglione dei Pepoli, membro arenaceo-pelitico (CDP2) ad E della Pieve di Cornacchiaia.

Formazione del Torrente Carigiola (TCG)

Membro a megastrati arenacei (TCG1)

Alternanze da arenaceo-pelitiche a pelitico-arenacee, con strati da molto spessi a sottili, e rapporto A/P da minore a maggiore di 1. Nella successione si intercalano megatorbiditi silicoclastiche (potenti fino a 35 metri).

Questo membro affiora nel settore orientale dell'area di Traversa, tettonicamente interposto tra BAP e CDP, e a sud di Cornacchiaia dove si accavalla sul membro arenaceo-pelitico (CDP2) della Formazione di Castiglione dei Pepoli.

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5.

Aquitaniense MNN1a-MNN1d

DOMINIO LIGURE ESTERNO

Unità tettonica Morello

Formazione di M. Morello (MML)

Calcareniti, calcilutiti, calcari marnosi e marne grigio chiaro-biancastre in strati da medi a molto spessi, fino a banchi. Localmente si ritrovano areniti fini in strati da medi a spessi di colore grigio, marrone all'alterazione. Sono depositi torbiditici di piana bacinale con megatorbiditi carbonatiche. Questa formazione è stata ritrovata in affioramento unicamente nella porzione orientale dell'area di Pietramala (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), questa Formazione è riferibile all'U.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5

Eocene inf.-medio

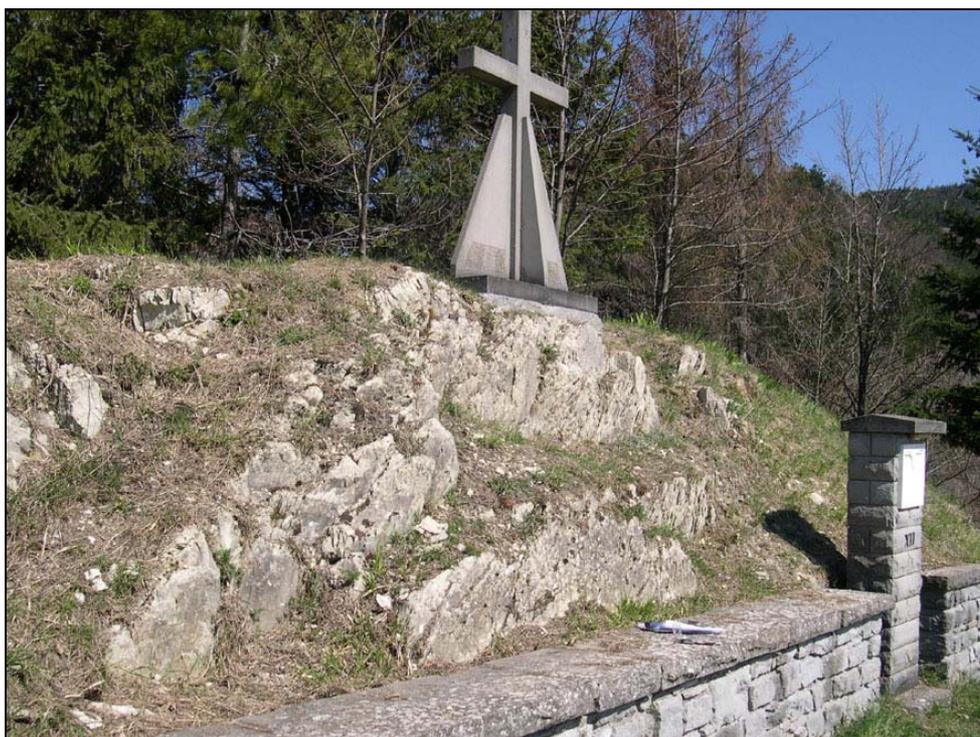


Fig. 3.9 - Formazione di M. Morello (MML) presso la “Madonnina del Castellaro” (Pietramala).

DOMINIO LIGURE INTERNO

Unità tettonica Monghidoro

Formazione di Monghidoro

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati da molto spessi a sottili, con granulometria alla base da grossolana a medio-fine. Il tetto degli strati è costituito da peliti siltose grigio scure. Le areniti hanno colore giallo ocra in superficie alterata e grigio in superficie fresca. Il rapporto A/P è generalmente maggiore di 1. Affiora nell’area di Bruscoli e di Traversa, tettonicamente sovrapposto ai terreni dell’Unità Sestola-Vidiciatico (BAP).

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5.

Maastrichtiano sup.-Paleocene

Unità tettonica Leo

Argille a Palombini (APA)

Argille e argilliti grigio-scuro con intercalati strati gradati medi e spessi di calcilutiti grigie, biancastre in superficie alterata, talora con base arenitica da fine a grossolana. Il rapporto Argilla/Calcarea è quasi sempre molto maggiore di 1. La frazione argillitica è spesso foliata, mentre gli strati più competenti presentano boudinage.

Affiorano nell’area di Traversa, di Covigliaio e probabilmente si ritrovano sepolte al di sotto di coperture quaternarie, nell’area di Pietramala.

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.L.T. B5.r5/6.d4/5.c4/5. *Cretaceo inf.-Turoniano*

Calcari a Calpionelle (CCL)

Calcilutiti e calcari grigio-biancastri alternati a rari livelli argillitici grigio scuri. Gli strati sono da medi a molto spessi e banchi. Affiorano nell'area di Traversa e di Covigliaio (Figg. 3.10-3.11).

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.L.T. B3.r1/4.d4/5.c4/5.

Titonico sup.- Valanginiano



Fig. 3.10 – Calcari a Calpionelle (CCL) affioranti sul versante ad ovest di Covigliaio.



Fig. 3.11 – Cava inattiva nei Calcari a Calpionelle a SO di Covigliaio.

Diaspri di M. Alpe (DSA) ()

Radiolariti di colore rosso affioranti in lenti discontinue dello spessore di pochi metri (Figg. 3.12 e 3.13).

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.L.T. B2.r1/4.d4/5.c4/5.

Oxfordiano – Kimmeridgiano



Fig. 3.12 – Diaspri (DSA) affioranti sul versante ad ovest di Covigliaio.

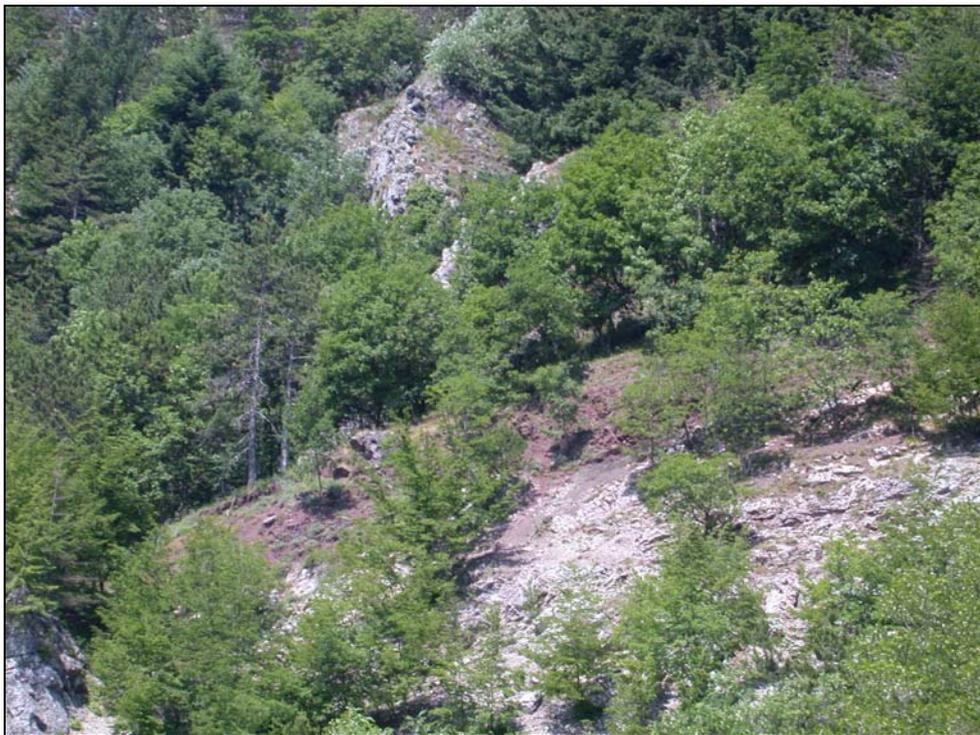


Fig. 3.13 – Diaspri (DSA) affioranti in una cava inattiva a nord di Traversa in contatto con CCL sottostanti e BSTb sovrastanti

Basalti brecciati e pillow lavas (BSTb)

Lembi di basalti in pillows associati a breccie di basalti con clasti eterodimensionali. Affiorano nell'area di Traversa e di Covigliaio, compresi tra DSA e BST; dove mancano DSA sono in contatto tettonizzato con CCL.

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.L.T. A.r1/4.d4/5.c4/5.

Giurassico

Basalti (BST) e Plagiograniti (PLG)

Basalti massicci di colore generalmente grigio (Fig. 3.14). Affiorano nell'area di Traversa dove, localmente (Sasso di Castro) presentano corpi intrusi di Plagiograniti (Fig. 3.15).

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.L.T. A.r1/4.d4/5.c4/5.



Fig. 3.14 – Basalti (BST) affioranti nell'area di Traversa.



Fig. 3.15 – Contatto tra Basalti (BST) e Plagiograniti (PLG) nella cava di Sasso di Castro nell'area di Traversa.

Inquadramento Geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l'area relativa al Capoluogo è situata all'interno della pianura alluvionale (con quota compresa tra un minimo di 407m s.l.m. ed un massimo di 233m) formata dal Torrente Santerno e dai suoi affluenti: il Torrente Viola, suo affluente di destra e il Rio Barondoli, suo affluente di sinistra. La maggior parte del centro abitato è sviluppata sul terrazzo alluvionale (con quota media attorno ai 420m s.l.m.) mentre una porzione minore è ubicata al piede dei versanti che circondano la vallata, caratterizzati dalla presenza di detrito di versante e, in minor misura, da colluvio. I movimenti del terreno sono generalmente quiescenti e imputabili a frane di tipo rotazionale, traslativo e di crollo. L'unico movimento attivo è stato riconosciuto nella porzione SW dell'area dove si snoda la nuova strada che costeggia il paese.

Relativamente alle altre località, gran parte del territorio studiato presenta delle forme abbastanza dolci benché si trovi nel cuore dell'Appennino settentrionale. Questo dipende dal fatto che le litologie presenti sono principalmente argillitiche, poco competenti e facilmente erodibili (Fig. 3.16). Gran parte degli eventi franosi cartografati, che interessano queste litologie, sono colamenti e scivolamenti rotazionali inattivi o quiescenti, di grandi dimensioni, difficilmente studiabili nel dettaglio e che occupano porzioni molto ampie delle aree di studio. Vi sono interi centri abitati interessati da questi fenomeni (Covigliaio, La Selva, Traversa, Pietramala, e in parte Bruscoli – Fig. 3.17; 3.18). La situazione è diversa per l'area di San Pellegrino, in cui le formazioni arenacee rendono il paesaggio più aspro, con versanti molto ripidi e spesso con roccia affiorante. Vengono individuati 4 ordini di terrazzi e ampie conoidi alluvionali.



Fig. 3.16 - Tipica morfologia dell'area di Firenzuola (località Bruscoli).



Fig. 3.17 - Franosità presso località Bruscoli



Fig. 3.18 - Vista di Pietramala con la frana di Montebeni sullo sfondo.

Inquadramento Tettonico

I terreni affioranti nelle aree rilevate nel Comune di Firenzuola hanno età che spaziano dal Giurassico all'Olocene; la tettonica che ha interessato le diverse unità è piuttosto articolata in quanto queste hanno subito nel corso della loro strutturazione varie fasi deformative; siamo cioè in presenza di una tettonica complessa e polifasata.

Le Unità Liguri sono le unità più interne e si trovano, sovrascorse sulle Unità Toscane, nella posizione geometricamente più alta della pila tettonica che costituisce questo settore di catena. Le Unità Liguri, come è logico attendersi, sono interessate da un grado di tettonizzazione superiore a quello delle Unità Toscane. Le superfici di sovrascorrimento che mettono in contatto le Unità Liguri con le Unità Toscane sono presenti nelle aree di Bruscoli, di Traversa e di Covigliaio; si tratta di superfici a basso angolo che in queste aree sono orientate trasversalmente alla catena secondo un "allineamento" conosciuto in letteratura come "Linea del Sillaro". I contatti tra le varie formazioni all'interno delle Unità Liguri sono generalmente tettonizzati; nelle aree di Traversa e di Covigliaio la successione Ofioliti, Diaspri, Calcari a Calpionelle e Argille a Palombini si presenta rovesciata.

Nelle aree di Bruscoli e Traversa affiora la propaggine meridionale della "Placca di Monghidoro". Questa è costituita a scala regionale da una megastruttura plicativa (una sinclinale rovesciata) attualmente privata dell'originaria zona di cerniera e laminata, con asse orientato in senso meridiano. Nelle aree rilevate tuttavia non vi sono affioramenti significativi di questa formazione.

Anche all'interno della Formazione di M. Morello sono presenti spezzoni di successione con polarità rovesciata in contatto tettonico con porzioni a polarità diritta. In parte si tratta probabilmente di antiche strutture plicative, isoclinalizzate e sradicate, che attualmente si presentano come piani di taglio con grado e direzione di immersione variabili. Nell'area di Pietramala, infatti, durante il rilevamento geologico è stato individuato un raddoppio tettonico all'interno della Formazione di M. Morello. Questa struttura è caratterizzata da parte della successione che si presenta con giacitura rovescia (immergente a O-NO con grado d'immersione variabile) e sovrascorre sulla restante porzione della successione che risulta caratterizzata dalla presenza di strati a giacitura normale ed immergenti

verso O di circa 30 gradi. Alla mesoscala i depositi che costituiscono la formazione di Monte Morello anche in quest'area si presentano intensamente deformati e caratterizzati dalla presenza di strutture riferibili ad un comportamento deformativo sia di tipo fragile (Fig. 3.19) che di tipo duttile. Queste strutture spesso non risultano cinematicamente concordanti con le strutture maggiori affioranti nelle vicinanze testimoniando così la polifasicità della deformazione che ha interessato nel tempo questi depositi.



Fig. 3.19 - Piano di faglia mesoscopico con associati indicatori cinematici all'interno della Formazione di M. Morello (Pietramala).

Le fasi deformative più recenti, infine, hanno dato origine quasi esclusivamente a strutture fragili, ben rappresentate in tutte le aree, che tagliano ad alto angolo le strutture precedentemente formate o, talvolta, si impostano su queste ultime riattivandole e determinando inversione dei rigetti.

Nelle Unità Toscane e nella Formazione Marnoso-Arenacea romagnola prevale uno stile tettonico con sviluppo di superfici di thrust prevalentemente nord-est vergenti con pieghe associate, di estensione plurichilometrica in senso longitudinale, parallelamente all'asse della catena.

L'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico in quest'area è sovrascorsa dalle Unità Liguri e ricopre tettonicamente l'Unità tettonica M. Castel Guerrino e la Formazione Marnoso-Arenacea. E' costituita da litotipi derivanti dalla intensa tettonizzazione di più successioni stratigrafiche originarie. In alcuni casi le successioni stratigrafiche hanno mantenuto i rapporti stratigrafici originari, come ad esempio le Marne di Bagno con le Arenarie di Suviana nell'area di Bruscoli. Tuttavia tutti i terreni all'interno di questa unità risultano intensamente deformati e si presentano spesso come lembi isolati, delimitati da superfici tettoniche o tettonizzate. All'interno delle unità litostratigrafiche di natura essenzialmente argillosa (AVC e BAP), data la complessità strutturale dell'assetto di questi terreni e la difficoltà a riconoscere sul terreno i rapporti stratigrafici al loro interno, non sono state riconosciute strutture cartografabili. In questi litotipi la deformazione tettonica è sempre intensa ed alla mesoscala si è rilevata spesso la presenza di una foliazione pervasiva; in AVC i livelli più competenti presentano talvolta cerniere sradicate e boudins.

A scala regionale la posizione dell'Unità tettonica M. Castel Guerrino è geometricamente sottostante all'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico. Successivamente l'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico viene coinvolta nelle strutture che interessano l'Unità tettonica M. Castel Guerrino e, a sua volta, viene sovrascorsa da quest'ultima. Nell'area di Cornacchiaia, infatti, i depositi appartenenti all'Unità tettonica M. Castel Guerrino risultano raddoppiati internamente da strutture ad andamento circa E-O che portano il membro a megastrati arenacei (TCG1) a sovrapporsi tettonicamente sulle arenarie della Formazione di Castiglione dei Pepoli, membro arenaceo-pelitico (CDP2). Questa pila tettonica così formata si sovrascorre a sua volta sull'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico (Fig. 3.20) indicando come

questa strutturazione, riconducibile quindi a meccanismi di messa in posto fuori sequenza (sensu Morley, 1988), sia sicuramente successiva alla messa in posto dell'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico. Il proseguimento di questa struttura di importanza regionale, è riconoscibile più ad ovest nell'area di Castiglione dei Pepoli (Bettelli et al., 2002).

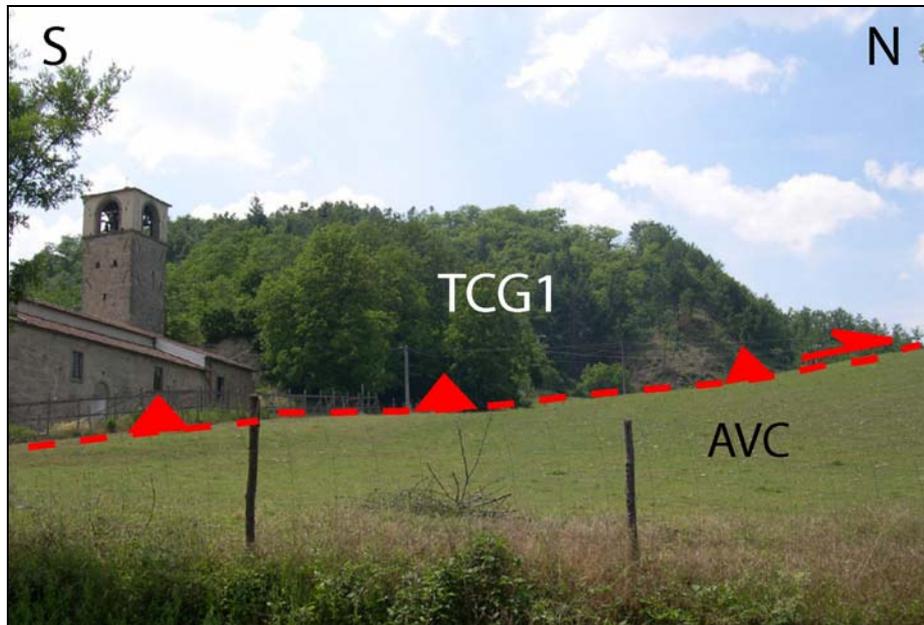


Fig. 3.20 - Sovrascorrimento del membro TCG1 sulle argilliti appartenenti all'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico, settore meridionale dell'area di Cornacchiaia.

La tettonica fragile ad alto angolo, infine, è caratterizzata sia da sistemi trasversali (NE-SO) sia longitudinali (NO-SE), interessa tutte le unità tettoniche.

Nell'area produttiva Capoluogo è stata individuata la superficie di accavallamento dell'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico sulla Formazione Marnoso-Arenacea: si tratta di una superficie debolmente inclinata verso SW ubicata nella porzione nord orientale del Foglio 23L51, presso la località S. Pietro. In questa zona ci sono evidenze morfologiche, confermate anche dai dati sismici (ST8), della presenza di una faglia normale a direzione appenninica (NW-SE) che interessa la superficie di accavallamento. Il rigetto verticale della struttura distensiva è stato calcolato intorno ai 100m. Com'è logico, l'evidenza degli elementi tettonici sul terreno è strettamente dipendente dalla natura del terreno stesso: dove affiorano litologie a prevalente componente argillosa risulta infatti difficile seguire i lineamenti strutturali per tutta la loro estensione.

4.0. Dati geotecnici e geofisici

Dal rilievo geologico e geomorfologico eseguito nell'area di Firenzuola in località capoluogo e nelle frazioni principali erano emerse numerose problematiche e diversi aspetti da definire con l'obiettivo 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 accumuli di frana) e di fornire la geometria dei corpi assieme ad una necessaria parametrizzazione geofisica.

Un'altra problematica affrontata era connessa alla conoscenza della profondità del *bedrock* sismico, alla determinazione dello spessore dei depositi palustro-lacustri e la determinazione dei parametri dinamici (soprattutto V_{sh}). In base alle indagini eseguite si è potuto definire la morfologia e i rapporti dei vari bacini di sedimentazione analizzando in particolare i fenomeni di amplificazione sismica, sia di natura stratigrafica che dovuta a morfologie sepolte, legata ad effetti di bordo.

Ciò era particolarmente importante nell'area di bordo della valle (presenti, in particolar modo, in corrispondenza dell'abitato di Firenzuola capoluogo) dove lo spessore della copertura tende a rastremarsi ed assottigliarsi e pertanto poteva contribuire a provocare importanti fenomeni di amplificazione sismica sia di natura stratigrafica che dovuta a morfologie sepolte.

Infine risultava necessario comprendere anche le complesse strutture tettoniche sepolte presenti nell'area. Dai rilievi geologici eseguiti erano infatti stati individuati vari passaggi tra Unità tettoniche diverse.

Per approfondire tali problematiche e soprattutto per determinare spessori, geometrie e parametri dinamici (in particolare le velocità V_{SH}) sono state quindi svolte successive campagne di indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e SH, indagini geotecniche e geofisiche in foro di tipo down-hole con onde P e SH e prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi geotecnici.

Nello specifico le campagne di indagini sono riassunte nella tabella allegata (Tab.4.1, 4.2, 4.3) e sono state le seguenti:

- a) campagna di indagini di sismica a rifrazione per il *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica delle aree produttive (Programma DOCUP Toscana 2000-2006 – Prog. d'area Prov. di Firenze)*, eseguita nell'Ottobre-Novembre del 2004 (n.5 linee di sismica a rifrazione);
- b) campagna di indagini di sismica a rifrazione per il *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica degli Edifici Scolastici e Strategici (Scuola Elementare di Pietramala, Scuola Elementare "Agnolo da Firenzuola", Scuola Materna e Liceo "G. Ulivi")*, eseguite nell'Ottobre del 2004 (n.3 linee di sismica a rifrazione);
- c) campagna di indagini geotecniche e geofisiche in foro per il *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica delle aree produttive (Programma DOCUP Toscana 2000-2006 – Prog. d'area Prov. di Firenze)*, eseguita nel Settembre 2005 (n.1 sondaggio + DH + analisi di laboratorio);
- d) campagna di indagini di sismica a rifrazione per il *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica degli Edifici Scolastici e Strategici (Palazzo "La Rocca"-Sede Comunale, Sede Comunale Decentrata, Magazzino Comunale)*, eseguite nel Febbraio del 2007 (n.3 linee di sismica a rifrazione);
- e) campagna di indagini geotecniche e geofisiche in foro per il *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica degli edifici Scolastici Scolastici e Strategici (Scuola Elementare di Pietramala, Scuola Elementare "Agnolo da Firenzuola", Scuola Materna e Liceo "G. Ulivi")*, eseguita nel Maggio-Giugno 2007 (n.3 sondaggi + DH + analisi di laboratorio);

Infine per la predisposizione del presente di *studio di Microzonazione Sismica dei centri urbani* è stato necessario realizzare ulteriori n.16 linee sismiche a rifrazione (ST11-12-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27). Tali indagini sono state realizzate in tutte le frazioni principali di Firenzuola ed in particolare nelle frazioni di Bruscoli, Piancaldoli, Traversa, Covigliaio, Cornacchiaia, Selva, Casanova e San Pellegrino.

I risultati di tutte le indagini geofisiche, geotecniche e geofisiche in foro sono riportati nel DVD Allegato.

Tab.4.1 – Elenco delle linee sismiche realizzate

LOCALITA'	SIGLA	LUNGHEZZA	DATA ESECUZIONE	DATA CONSEGNA	IMPRESA	PROGRAMMA	SIGLA BANCA DATI
Pietramala	ST1	120	nov-04	22/10/2005	Geoprove	VEL	PSpsh1_VEL_ST1
Capoluogo	ST2	120	nov-04	22/10/2005	Geoprove	VEL	PSpsh2_VEL_ST2
Capoluogo	ST3	96	nov-04	22/10/2005	Geoprove	VEL	PSpsh3_VEL_ST3
Firenzuola Sud	ST4	120	nov-04	30/11/2004	Methodo	DOCUP	PSpsh4_DOCUP_ST4
Firenzuola Sud	ST5	120	nov-04	30/11/2004	Methodo	DOCUP	PSpsh5_DOCUP_ST5
Fiume Santerno	ST6	120	nov-04	30/11/2004	Methodo	DOCUP	PSpsh6_DOCUP_ST6
Fiume Santerno	ST7	120	nov-04	30/11/2004	Methodo	DOCUP	PSpsh7_DOCUP_ST7
Borgo Santerno	ST8	120	nov-04	30/11/2004	Methodo	DOCUP	PSpsh8_DOCUP_ST8
Capoluogo	ST9	120	feb-07	02/03/2007	Geoprove	VEL	PSpsh9_VEL_ST9
Capoluogo	ST10	120	feb-07	02/03/2007	Geoprove	VEL	PSpsh10_VEL_ST10
Capoluogo	ST13	120	feb-07	02/03/2007	Geof. Tosc.	VEL	PSpsh11_VEL_ST13
Bruscoli	ST11	96	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh12_VEL_ST11
Covigliaio	ST12	96	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh13_VEL_ST12
Covigliaio	ST16	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh14_VEL_ST16
Selva	ST14	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh15_VEL_ST14
Traversa	ST15	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh16_VEL_ST15
Cornacchiaia	ST17	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh17_VEL_ST17
Cornacchiaia	ST18	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh18_VEL_ST18
Cornacchiaia	ST23	96	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh19_VEL_ST23
Traversa	ST25	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh20_VEL_ST25
Bruscoli	ST26	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh21_VEL_ST26
Piancaldoli	ST21	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh22_VEL_ST21
Piancaldoli	ST22	96	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh23_VEL_ST22
Covigliaio	ST20	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh24_VEL_ST20
Casanuova	ST19	96	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh25_VEL_ST19
San Pellegrino	ST24	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh26_VEL_ST24
San Pellegrino	ST27	120	mag-13	02/07/2013	TriGeo	VEL	PSpsh27_VEL_ST27

Tab.4.2 – Elenco dei sondaggi e delle prove down-hole realizzate

LOCALITA'	SIGLA	PROF	D.L.	IMPRESA	DATA ESECUZIONE	DATA CONSEGNA	PROGRAMMA	SIGLA BANCA DATI	DATA ESECUZIONE DH	IMPRESA DH
Capoluogo	S1	50	Pini	Methodo	28/09/2005	30/11/2005	DOCUP	Sg1_DOCUP_S1	18/11/2005	Geoprove
Pietramala	S5	28	Folini	Gea	24/05/2007	11/06/2007	VEL	Sg7_VEL_S5	19/06/2007	Geoprove
Capoluogo	S6	35	Folini	Gea	17/05/2007	11/06/2007	VEL	Sg5_VEL_S6	18/06/2007	Geoprove
Capoluogo	S7	30	Folini	Gea	22/05/2007	11/06/2007	VEL	Sg6_VEL_S7	18/06/2007	Geoprove

Tab.4.3 – Elenco delle analisi di laboratorio statiche e dinamiche eseguite sui campioni indisturbati prelevati

CANTIERE	SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondità (m)	DC	W	γ_s	G_s	GR_vaglio	GR_sedim	LLP	EDO	CRS	DS/RS	UU	CIU-CK0U	CID-CK0D	RC	TS	TX_Ciclica	VTL	TX_Locall	
Firenzuola	SI1	SH1	1.50-2.00	1	1	1	1	1	1	1		1	3								1	1
Firenzuola	SI1	SH2	6.00-6.30	1	2	1	1	1	2	1	1		2									
Totale prove				2	3	2	2	2	3	2	1	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	1

LEGENDA	
DC	Apertura e descrizione campione
W	Contenuto d'acqua
γ_s	Peso di volume
G_s	Peso specifico dei grani
GR_vaglio	Granulometria per vagliatura
GR_sedim	Granulometria per sedimentazione
LLP	Limiti liquidi e plastici
EDO	Edometro ad incremento di carico (IL)
CRS	Edometro a velocità di deformazione costante (CRS)
DS/RS	Taglio diretto (DS) o taglio anulare (RS)
UU	Triassiale non consolidata e rottura non drenata
CIU-CK0U	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop. e rottura non drenata
CID-CK0D	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop. e rottura drenata
RC	Colonna risonante
TS	Taglio torsionale ciclico
TX_CICLICA	Prova triassiale ciclica
VTL	Misura dei tempi delle velocità di propagazione delle onde di taglio Vs
TX_LOCALI	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop., rottura drenata/non drenata con misura delle deformazioni locali (trasduttori di spostamento di non contatto)

CANTIERE	Sondaggio	Campione	Profondità	Apertura	W	γ	G_s	GR Vagliatura	GR Sedimentazione	LL/PL	RIC	EDO/CRS	DS/RS	CIU	CID	RC/TS	VTL	Colica	LOCALI
FIRENZUOLA	S5	CI1	1.50-2.10	1	1	1	1	1	1	1		1	3			1			
FIRENZUOLA	S5	CI2	8.60-8.95	1	1	1	1	1	1	1		1	3			1			
FIRENZUOLA	S6	CI1	1.50-2.10	1	1	1	1	1	1	1		1		2					
FIRENZUOLA	S6	CI2	7.00-7.60	1	1	1	1		1	1		1		2		1	1		
FIRENZUOLA	S7	CI1	7.00-7.60	1				1	1	1									
FIRENZUOLA	S7	CI2	9.20-9.80	1	1	1	1		1	1		1	3						
TOTALE PROVE				6	5	5	5	4	6	6	0	5	9	4	0	3	1	0	0

LEGENDA	
DC	Apertura e descrizione campione
W	Contenuto d'acqua
γ_s	Peso di volume
G_s	Peso specifico dei grani
GR_vaglio	Granulometria per vagliatura
GR_sedim	Granulometria per sedimentazione
LLP	Limiti liquidi e plastici
EDO	Edometro ad incremento di carico (IL) o a velocità di deformazione costante (CRS)
CRS	Edometro a velocità di deformazione costante (CRS)
DS/RS	Taglio diretto (DS) o taglio anulare (RS)
UU	Triassiale non consolidata e rottura non drenata
CIU-CK0U	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop. e rottura non drenata
CID-CK0D	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop. e rottura drenata
RC	Colonna risonante
TS	Taglio torsionale ciclico
TX_CICLICA	Prova triassiale ciclica
VTL	Misura dei tempi delle velocità di propagazione delle onde di taglio Vs
TX_LOCALI	Prova triassiale consolidata isotropicamente/anisotrop., rottura drenata/non drenata con

Tutte le indagini eseguite, come risulta dalle tabelle riepilogative sono state realizzate da imprese specializzate nel settore attraverso procedure di appalto pubblico coordinate dal Comune di Firenzuola 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/lr56/VEL/indagini/mugello/firenzuola/firenzuola.htm>

Parallelamente all'esecuzione della campagna geofisica di superficie è stata condotta monitoraggio sismometrico (Vedi risultati in DVD allegato) a cura del DST dell'Università di Firenze. L'analisi è stata realizzata mediante l'utilizzo di sette stazioni sismiche triassiali appartenenti alle rete mobile del Laboratorio di Geofisica Sperimentale del Dip.to di Scienze della Terra, che sono state installate in 10 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). I siti sono stati scelti mediante sopralluoghi congiunti con i tecnici del Settore Prevenzione Sismica Regionale.

Ogni stazione sismica utilizzata è costituita da un digitalizzatore Guralp a 24 bits e un sismometro triassiale Lennartz 3D/5sec con sensibilità di 400 V/m/s e frequenza di oscillazione propria di 0.2 Hz. 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.

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

Nello specifico sono stati consultati e acquisiti i seguenti dati:

- n.5 pozzi ad uso idropotabile con stratigrafia reperiti dall'archivio pozzi della Provincia di Firenze;
- n.3 pozzi ad uso idropotabile con stratigrafia reperiti dall'archivio della "Banca Dati del Sottosuolo" della Regione Toscana;
- n.7 sondaggi a carotaggio continuo reperiti dall'archivio del Genio Civile di Firenze;
- n.1 pozzo profondo reperito dalla Banca Dati ISPRA.

5.0. Modello del sottosuolo

A seguito di tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche svolte nell'area di indagine del Comune Firenzuola, 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 (soprattutto per i parametri geotecnici) essere utilizzata a scala di progettazione.

In alcune di queste aree il modello di sottosuolo ricostruito dovrà essere ulteriormente approfondito con ulteriori indagini finalizzate alla definizione di alcune problematiche che sono intervenute e che saranno meglio delineate di seguito.

Per quanto concerne il **centro abitato di Firenzuola** sono state realizzate n.10 linee di sismica a rifrazione (ST2-3-4-5-6-7-8-9-10-13) e n.3 sondaggi (S1-6-7) con relative prove down-hole e analisi di laboratorio. Dalle indagini svolte opportunamente integrate tra loro e con l'ausilio dei rilievi geologici eseguiti nell'area e sezioni geologiche (fig. 26 e 27) emerge la presenza di una copertura nel fondovalle caratterizzata da **depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (b1)**. In corrispondenza del centro abitato è stata rilevata la presenza di un orizzonte, più o meno continuo, con spessore variabile tra 1 e 5 metri, di terreni di riporto.

I sondaggi geognostici eseguiti e le indagini di sismica a rifrazione hanno permesso di individuare, al di sotto di un primo strato di depositi alluvionali, una strato di depositi **palustro-lacustri di sottosuolo (e3s)** che si estende al di sotto di tutto il bacino al di sopra del quale sorge l'abitato e l'area produttiva di Firenzuola. Questi depositi palustro-lacustri, con spessori variabili da 5 a 20 metri, sono caratterizzati da velocità di onde SH comprese tra 200 e 300 m/s e da valori di SPT compresi tra 7 e 12 colpi. I depositi palustri sono prevalentemente costituiti da limi argillosi ed argille di colore grigio-azzurro e, secondo le ipotesi più attendibili, sono legati alla formazione in passato di un lago di sbarramento da frana che ha ostruito il percorso del Fiume Santerno ad Est dell'abitato presso la Località Borgo Santerno.

I depositi alluvionali, che comprendono al loro interno lo strato di depositi palustro-lacustri, sono formati da limi sabbiosi, sabbie limose con strati di ghiaie e ciottoli in sabbie grossolane. I valori di SPT caratteristici sono compresi tra 8 e 17 colpi e i valori delle Vs tra 200 e 370 m/s.

Il substrato roccioso è costituito da Formazioni appartenenti a differenti Unità tettoniche.

In corrispondenza dei versanti situati nella porzione occidentale del bacino all'interno del quale si trova Firenzuola, sono presenti affioramenti di **Argilliti con Calcari (AVC)** appartenenti alle Formazioni ad affinità Ligure e Sub-Ligure del Dominio Toscano. I sondaggi geognostici e le indagini di sismica a rifrazione individuano la Formazione delle Argilliti con Calcari, costituita da argilliti blu, grigie e verdi alternate a calcilutiti grigie, al di sotto dei depositi alluvionali e palustro-lacustri. I valori di Vs caratteristici delle argilliti sono compresi tra 510 e 850 m/s e spesso quindi presentano valori inferiori a quello tipici di un *bedrock* sismico.

In corrispondenza delle stese di sismica a rifrazione ST3 e ST5, si passa dalle Argilliti con Calcari alle **Brecce Argillose Poligeniche (BAP)** della Successione Modino appartenente al Dominio Toscano. Le Brecce sono caratterizzate da velocità delle onde SH comprese tra 750 e 1.030 m/s.

La stesa ST5 e il sondaggio geognostico S1 individuano, a circa 15 metri di profondità e al di sotto dei depositi alluvionali e palustro-lacustri, uno strato spesso 7-8 metri di **Marne di Marmoreto (MMA)** che si interpone quindi tra i depositi suddetti e le sottostanti Brecce Argillose Poligeniche.

Le Marne di Marmoreto affiorano anche nella porzione più orientale del bacino, in corrispondenza dell'abitato di Borgo Santerno, con Vs misurate dalla ST8 di circa 840 m/s.

Sempre presso Borgo Santerno affiora il **Membro di Nespoli (FMA8)** appartenente alla Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola.

Allo scopo di caratterizzare la geologia e la tettonica dell'area sono state eseguite n.4 sezioni geologiche (Figg. 5.2-5.3-5.4-5.5 e relative ubicazioni Fig.5.1) che tengono presenti i dati scaturiti

dalle indagini svolte. Osservando le sezioni si può notare la distribuzione omogenea all'interno del bacino di Firenzuola dei depositi alluvionali e dello strato di depositi palustro-lacustri presenti al loro interno.

Anche l'andamento del substrato è ben rappresentato dalle sezioni geologiche eseguite che, in particolare, hanno permesso di evidenziare il probabile contatto tettonico sepolto passante al di sotto del centro storico che separa le Argilliti con Calcari dalle Breccie Argillose Poligeniche.

La sezione A-A^{II} permette anche di osservare altri contatti, come il contatto tettonizzato tra le Breccie Argillose Poligeniche e la faglia diretta nella porzione più ad Est che porta in affioramento la Formazione Marnoso-Arenacea e le Breccie Argillose Poligeniche.

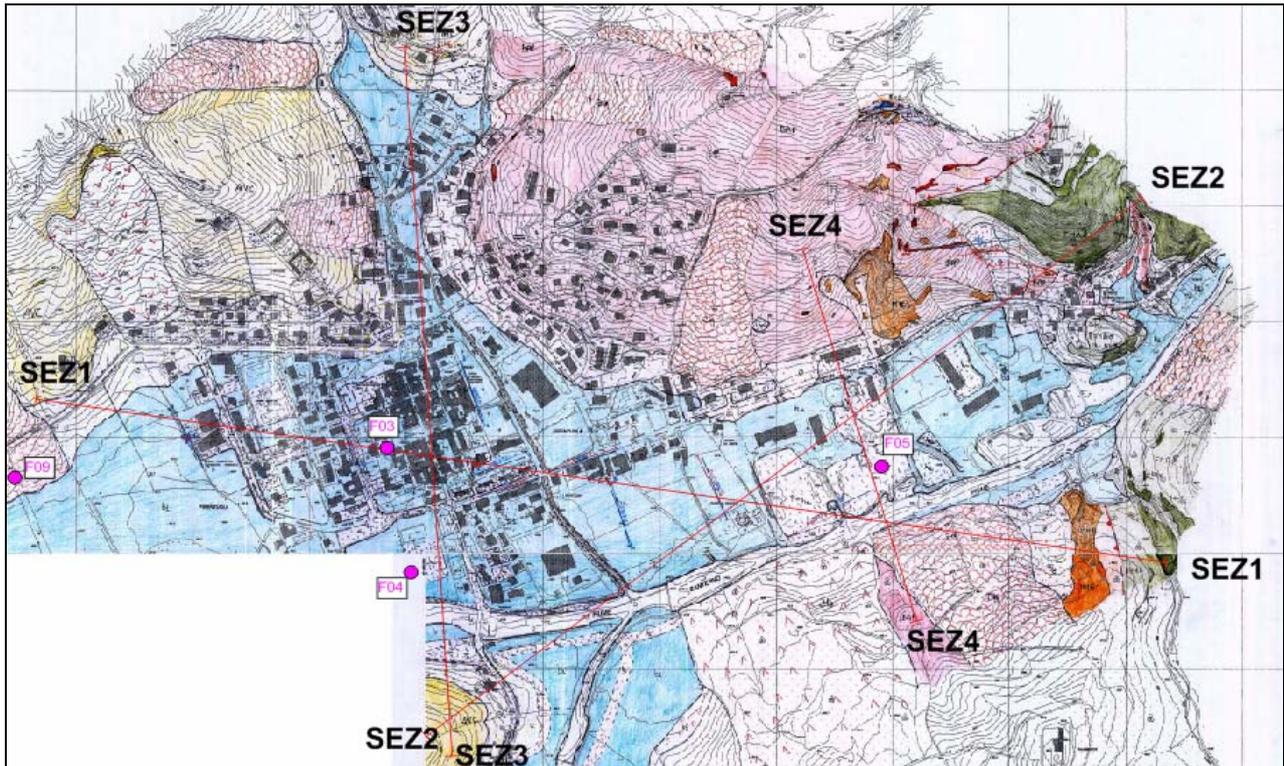


Fig. 5.1: Ubicazione delle sezioni geologiche nel centro abitato di Firenzuola.

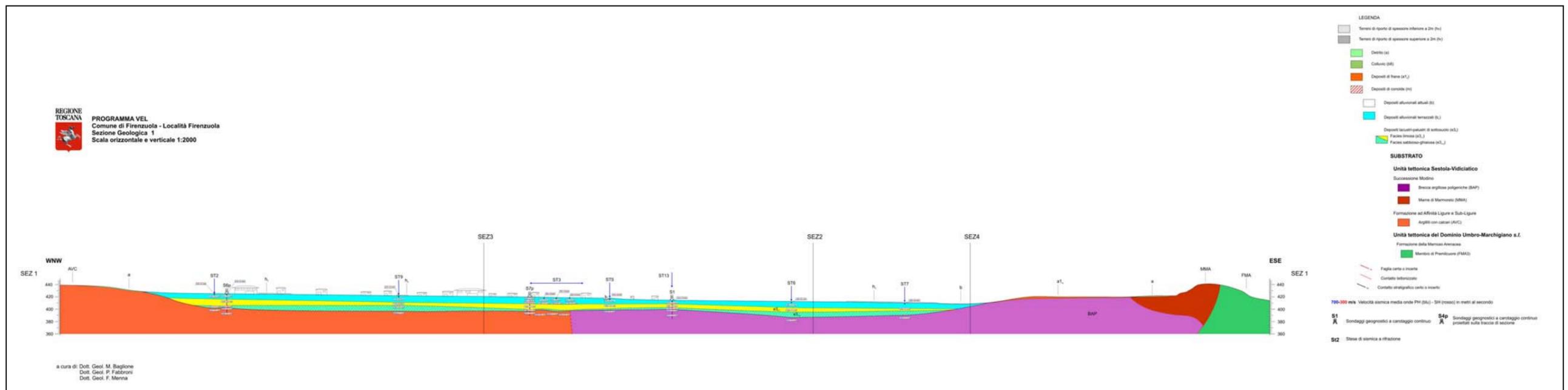


Fig. 5.2: Sezione geologica n.1 presso il Capoluogo

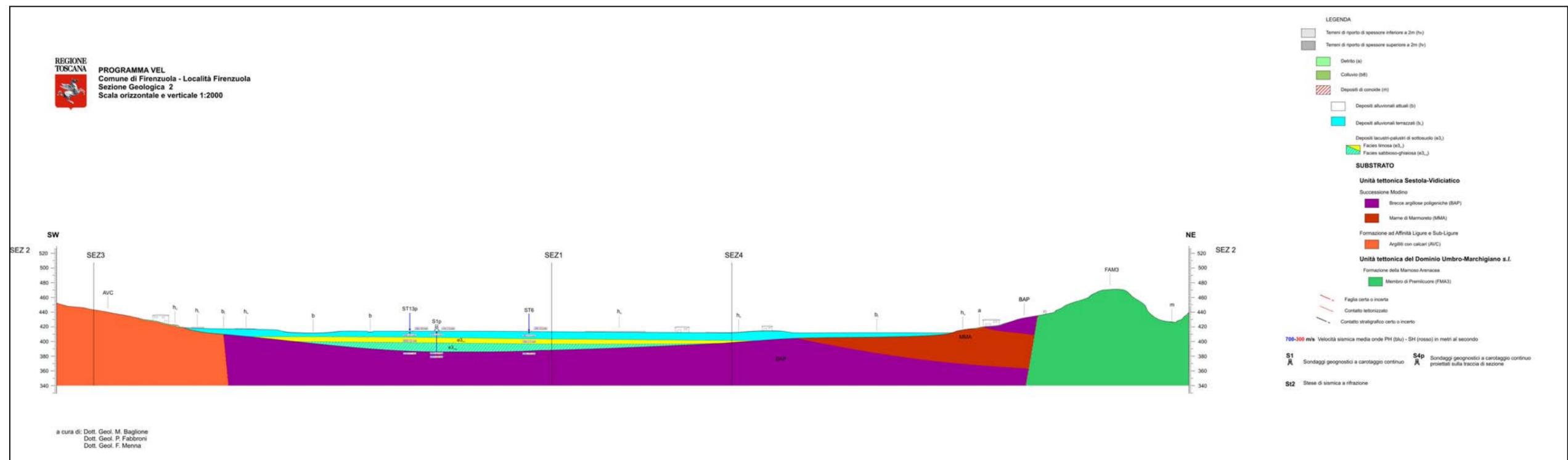


Fig. 5.3: Sezione geologica n.2 presso il Capoluogo

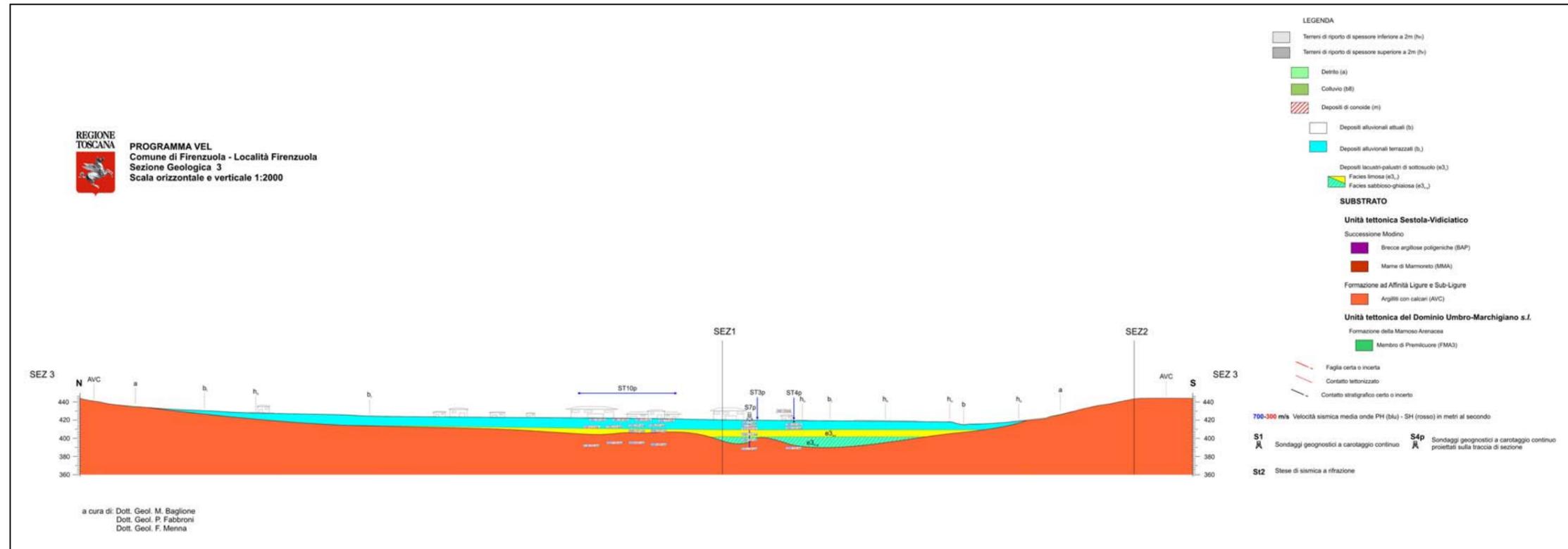


Fig. 5.4: Sezione geologica n.3 presso il Capoluogo

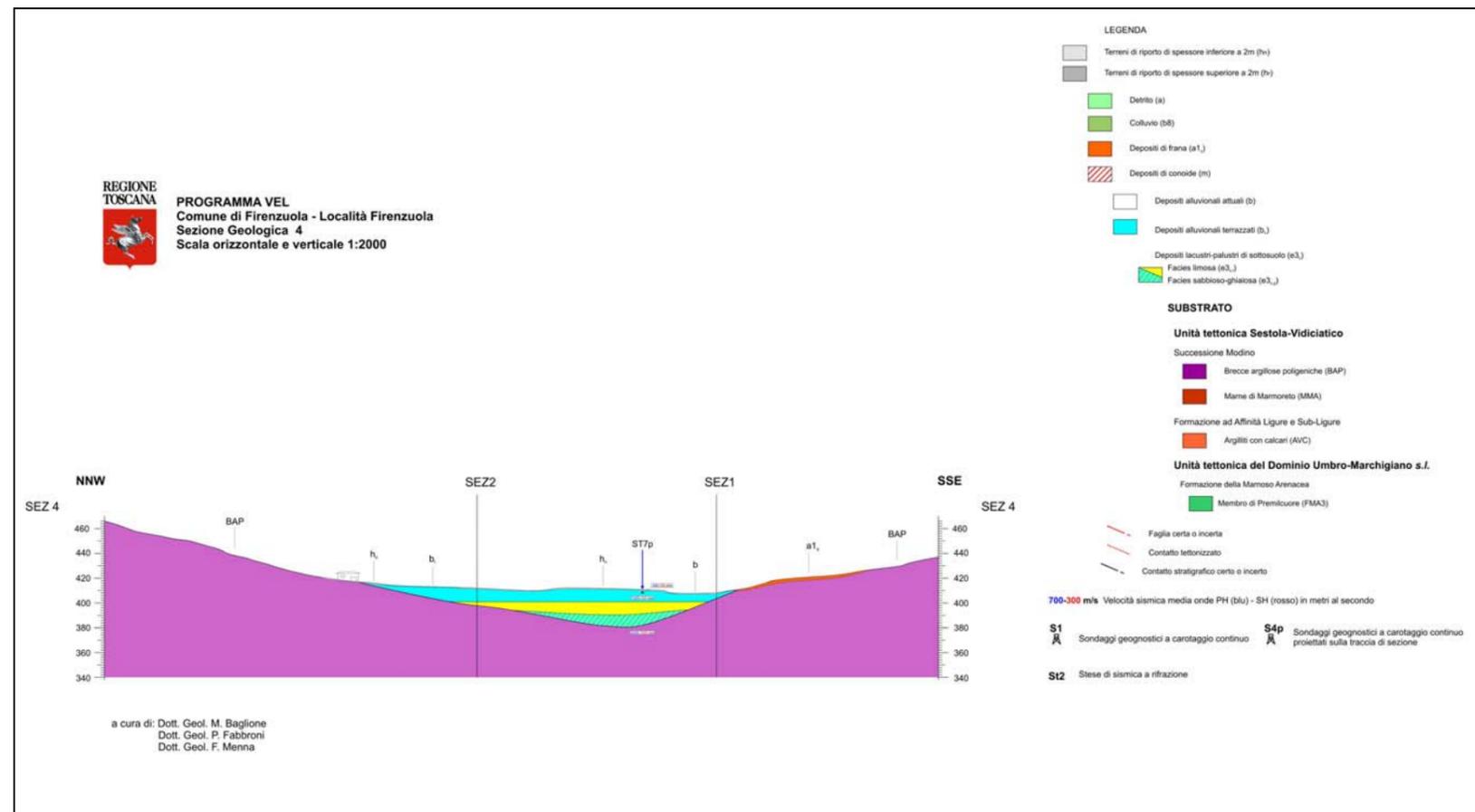


Fig. 5.5: Sezione geologica n.4 presso il Capoluogo

Presso la Località di **Pietramala** sono state eseguite le seguenti indagini: stesa di sismica a rifrazione ST1 di 120 m, sondaggio a carotaggio continuo S5 di 28 metri di profondità e relativa down-hole DH5. L'abitato si trova per quasi la sua totale estensione al di sopra di una paleofrana (**a1s**) caratterizzata da clasti arenacei di dimensioni centimetriche in matrice limoso-sabbiosa. Le indagini eseguite al di sopra del corpo di frana non sono riuscite a determinare la superficie di movimento, che in ogni modo risulta trovarsi a profondità maggiore di 30 metri (profondità massima indagata dalle indagini). Il materiale franato presenta valori di SPT compresi tra 22 colpi e rifiuto e valori medi di Vs compresi tra 230 e 835 m/sec.

Il substrato roccioso, che affiora nella porzione orientale presso la Località S. Lorenzo in Pietramala è costituito dalla **Formazione di Monte Morello (MLL) dell'Unità Tettonica Morello del Dominio Ligure Esterno** con presenza di strati di calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi. Nell'area, in corrispondenza degli affioramenti della Formazione di Monte Morello, è presente un sovrascorrimento con direzione NE-SW ed immergente verso NW.

Le sezioni geologiche 1-2-3-4 le cui ubicazioni sono riportate in figg. 5.1, sono riportate integralmente nel DVD Allegato.

Al modello geologico di sottosuolo definito sulla base dei rilievi geologici realizzati e delle indagini geognostiche e rappresentato sulla base delle n. 4 sezioni geologiche rappresentative, è stata associata una parametrizzazione geofisica media suddivisa per le varie formazioni geologiche e distinta nelle fig. 5.6 e 5.7 tra i parametri desunti dalle indagini geofisiche di superficie da quelli ricavati dalle indagini geofisiche in foro.

E' importante precisare che tali parametri sono valori mediati tra tutti quelli disponibili all'interno del Comune. Nelle sezioni geologiche rappresentative i valori geofisici riportati sono invece desunti dalle prove geofisiche eseguite in corrispondenza delle verticali stesse.

Velocità sismiche medie (desunte dalle sole prove down-hole) per la varie formazioni geologiche				
litologia	formazione	sigla	Vp	Vs
Depositi alluvionali quaternari costituiti da ciottolami e sabbie con spessori variabili fino a 8-10m	Depositi alluvionali terrazzati	bn	735	370
Formazione torbiditico-arenacea con rapporto A/P generalmente tra 1/3 e 1/5.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro del Biserno	FMA1	1710	775

Fig. 5.8 – Velocità geofisiche medie delle diverse formazioni geologiche, desunte dalle prove down-hole eseguite

Velocità sismiche medie (desunte dalle stese sismiche di superficie) per la varie formazioni geologiche				
litologia	formazione	sigla	Vp	Vs
Depositi granulari di versante, prevalentemente di natura grossolana e spessore intorno ai 10m	Depositi detritici di versante	a	540	330
Depositi alluvionali quaternari costituiti da ciottolami e sabbie con spessori variabili fino a 8-10m	Depositi alluvionali terrazzati	bn	750	350
Formazione torbiditico-arenacea con rapporto A/P generalmente tra 1/3 e 1/5.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro del Biserno	FMA1	2530	900
Formazione torbiditico-arenacea con rapporto A/P generalmente tra 1/3 e 1/2.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Corniolo	FMA2	2800	1110
Formazione torbiditico-arenacea con rapporto A/P generalmente inferiore a 1 fino a circa 2.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro del Premilcuore	FMA3	2990	1460
Formazione torbiditico-arenacea con rapporto A/P generalmente inferiore a 1/3 e 1/5. Il membro è prevalentemente pelitico con areniti in livelli sottili, più rari spessi.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Collina	FMA5	2110	1185
Formazione torbiditico-arenacea, prevalentemente arenacea con rapporto A/P quasi sempre maggiore di 1. La Litofacies di Toncone è costituita da una alternanza di peliti e subordinate arenarie.	Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Nespoli, litofacies di Toncone	FMA8a	3210	1400

Fig. 5.9 – Velocità geofisiche medie delle diverse formazioni geologiche, desunte dalle stese di sismica a rifrazione realizzate

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.

Sulla base dei molteplici dati a disposizione nell'ambito del presente studio e in relazione alla buona qualità di molte indagini (in quanto per lo più desunte dal Programma VEL), 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, naturalmente vi sono alcuni aspetti critici che potrebbero essere approfonditi in fasi successive e che si riassumono nei seguenti punti:

- maggiore precisione nella ricostruzione e perimetrazione delle coperture franose presenti nelle varie frazioni per le quali sarebbe necessario programmare ulteriori approfondimenti.

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 2.0 – Giugno 2012) 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 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 fig. 7.2

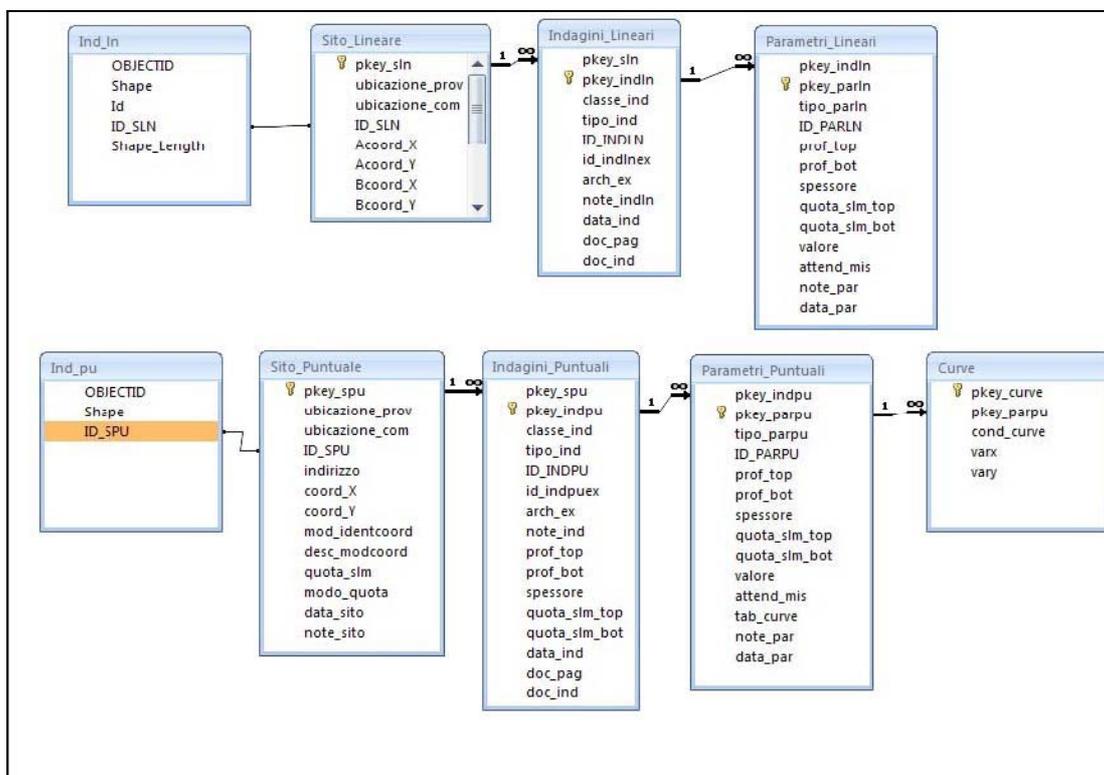


Fig. 7.1 – Relazione tra tabelle e shapefile

Nome cartella	Descrizione sintetica dei contenuti
<i>Nomecomune_S20</i>	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.
<i>BasiDati</i>	Nella cartella BasiDati andranno inserite le carte di base utilizzate (es. CTR) in formato <i>raster</i> o vettoriale georeferenziate.
<i>CLE</i>	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> • Gli <i>shapefile</i> per l'analisi cella CLE <ul style="list-style-type: none"> ○ CL_AC ○ CL_AE ○ CL_AS

	<ul style="list-style-type: none"> ○ CL_ES ○ CL_US ● Il <i>database</i> CLE_db.mdb che contiene le tabelle relative alle schede: <ul style="list-style-type: none"> ○ scheda_ES ○ scheda_AE ○ scheda_AC ○ scheda_AS ○ scheda_US
<i>GeoTec</i>	<p>Cartella contenente gli <i>shapefile</i> riferiti ad elementi geologici e idrogeologici:</p> <p>Epuntuali Elineari Forme Geoidr Geotec</p> <p>Cartella nella quale inserire il <i>raster</i> georeferenziato della Carta geologico – tecnica prodotta e il file "Legenda".</p>
<i>Indagini</i>	<p>Cartella contenente</p> <ul style="list-style-type: none"> ● gli <i>shapefile</i> 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
<i>MS1</i>	<p>Contiene i seguenti <i>shapefile</i></p> <p>Isosub Instab Stab</p>
<i>MS2</i>	<p>Identico contenuto della cartella MS1.</p> <p>Viene utilizzata per l’inserimento della Carta della microzonazione sismica di livello 2.</p>
<i>MS3</i>	<p>Identico contenuto della cartella MS1.</p> <p>Viene utilizzata per l’inserimento della Carta della microzonazione sismica di livello 3.</p>
<i>Plot</i>	<p>Cartella nella quale inserire file di stampa delle carte realizzate e la Relazione illustrativa.</p>
<i>Progetti</i>	<p>Cartella per eventuali progetti (per esempio .mxd realizzati in EsriArcGis®).</p>
<i>Tools</i>	<p>Cartella principale contenente la cartella “SoftCLE” nella quale è presente il pacchetto di installazione per il software di inserimento dati “softCLE”</p>
<i>Vestiture</i>	<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>

Fig. 7.2 – Modalità di archiviazione dei file nelle cartelle all’interno della Banca Dati

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 2.0 – Giugno 2012).

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

<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/lr56/VEL/indagini/mugello/firenzuola/firenzuola.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 reinterpretate, 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.

Tutti i dati geofisici ricavati dalle indagini geofisiche a rifrazione e geofisiche in foro di tipo down-hole sono stati diagrammati attraverso una serie di grafici al fine di verificarne la loro variabilità in relazione ai litotipi di riferimento.

I parametri elasto-dinamici presi in considerazione sono V_p , V_s e rapporto V_p/V_s .

A titolo esemplificativo si riporta in Fig. 7.3 e Fig. 7.4 la distribuzione per litotipi delle velocità delle onde di taglio in funzione delle velocità delle onde compressionali. In Fig. 7.3 è riportata la distribuzione delle velocità ricavate dalle indagini di sismica a rifrazione, in Fig. 7.4 le velocità ricavate dalle down-hole.

Osservando la distribuzione delle velocità ricavate dalle stese di sismica a rifrazione in onde P e SH (Fig. 7.3) si nota la presenza di gruppi di punti separati che contraddistinguono formazioni e litologie differenti sia dal punto di vista composizionale che dal punto di vista geofisico.

Infatti si notano depositi detritici (a), depositi di riporto (hr), depositi alluvionali (bn) e i depositi palustro-lacustri di sottosuolo (e3s) che presentano velocità delle onde di taglio sempre inferiori ai 400m/sec e che si contraddistinguono essenzialmente per le velocità delle onde di compressione V_p . Il substrato roccioso presenta invece velocità delle onde di taglio nettamente superiori e sempre superiori alla soglia del bedrock sismico (800m/sec) tranne che per la formazione delle Argilliti e Calcari (AVC).

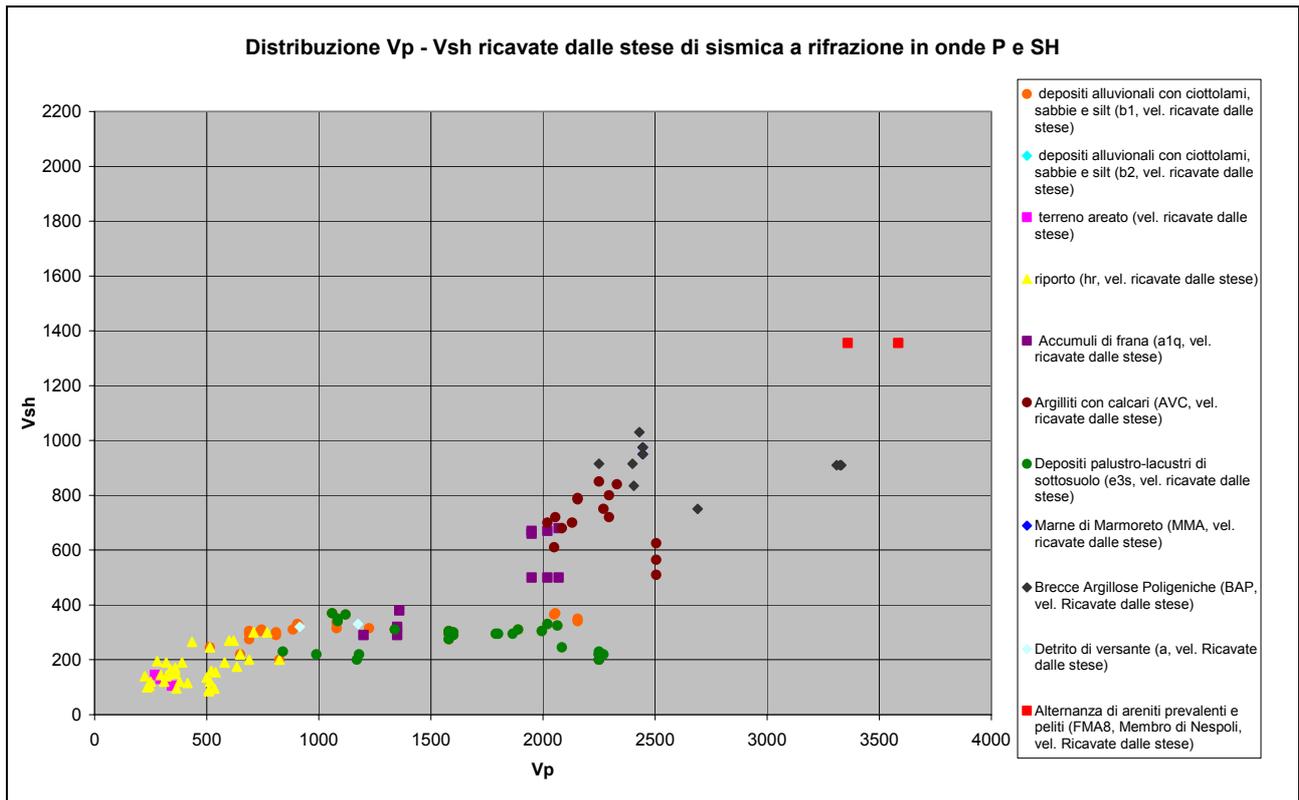


Fig.7.3– Distribuzione areale delle Vp e delle Vsh, ricavate dalle indagini di sismica a rifrazione in onde P e SH, in funzione delle litologie.

Relativamente alla distribuzione delle velocità ricavate dalle indagini di down-hole (vedi Fig. 7.4) si osserva come, al contrario di quanto emerge dalle elaborazioni delle linee di sismica a rifrazione, la Formazione delle Breccie Argillose Poligeniche (BAP) non sempre presentano valori di velocità delle onde di taglio elevate e superiori a 800m/sec.

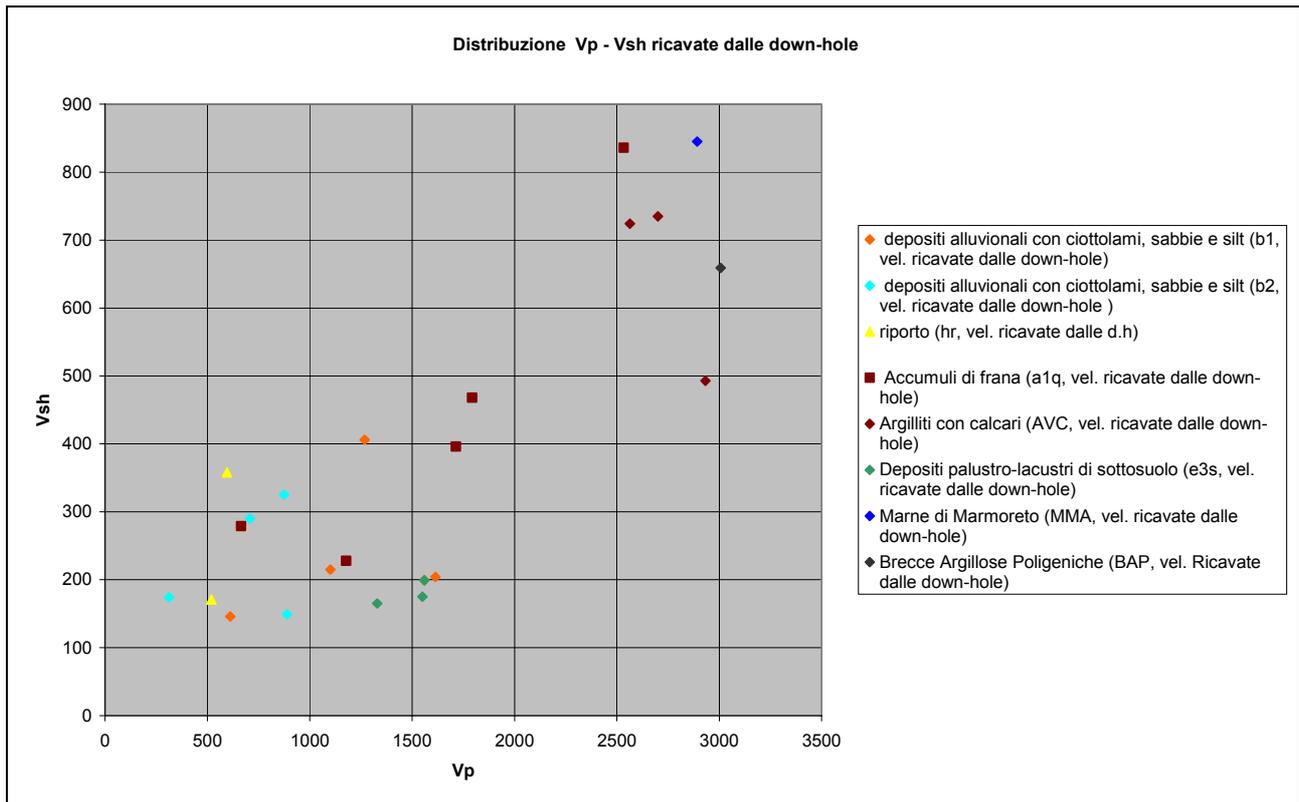


Fig.7.4 - Distribuzione areale delle Vp e delle Vsh, ricavate dalle indagini di *down-hole*, in funzione delle litologie.

7.1 – Analisi di risposta sismica locale

L'area del centro abitato di Firenzuola è stata 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:

- Trasformazione del moto di input dal dominio del tempo al dominio delle frequenze (spettro di Fourier);

- 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;
- 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;
- 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-technica 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 viene ricavata dalle indagini geofisiche dirette 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.

Tuttavia, al fine di evitare eccessive distorsioni nella mesh di discretizzazione delle sezioni analizzate, per alcuni litotipi (depositi lacustri-palustri di sottosuolo in facies ghiaiosa) si è optato per il mantenimento delle dimensioni del livello sovrastante (depositi lacustri-palustri di sottosuolo in facies limosa), caratterizzato da valori di V_s sensibilmente inferiori e, di conseguenza, da dimensioni minori degli elementi della mesh.

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}):

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

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

Considerate le caratteristiche medie dell'abitato di Firenzuola e le particolari condizioni sismostratigrafiche dell'area di fondovalle su cui è ubicata gran parte del centro abitato e dell'attigua area industriale, 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 4, 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, messo a confronto con l'analogo valore per 15 iterazioni, risulta pressoché stabile, con differenze massime inferiori allo 0.6% (come visibile dagli spettri illustrati in figura 7.1.1 relativi a 4 punti di misura della sezione 4).

La figura 7.1.2 si riferisce al predetto confronto in termini di $FH_{0,1-0,5}$, mentre la figura 7.1.3 è riferita ai valori in termini di $FH_{0,5-1}$.

Sulla base del predetto confronto è verificata la stabilità anche con numero minimo di iterazioni, si è stabilito, anche in considerazione degli elevati tempi di elaborazione, un numero massimo di iterazioni pari a 5.

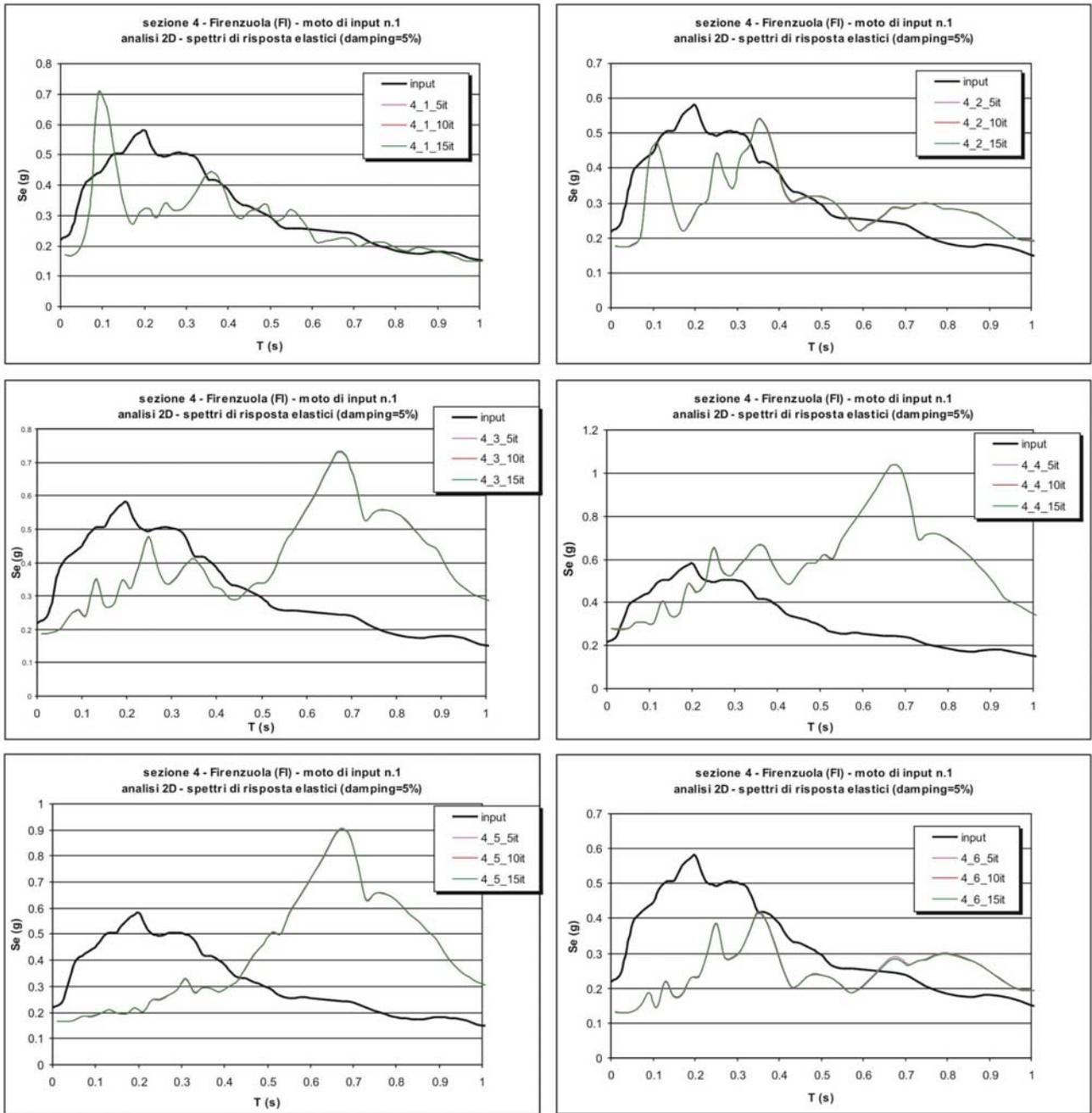


Fig.7.1.1 – Spettri di risposta relativi a 6 punti di output della sezione 4, riferiti al test sul numero di iterazioni necessarie a garantire la stabilità del risultato

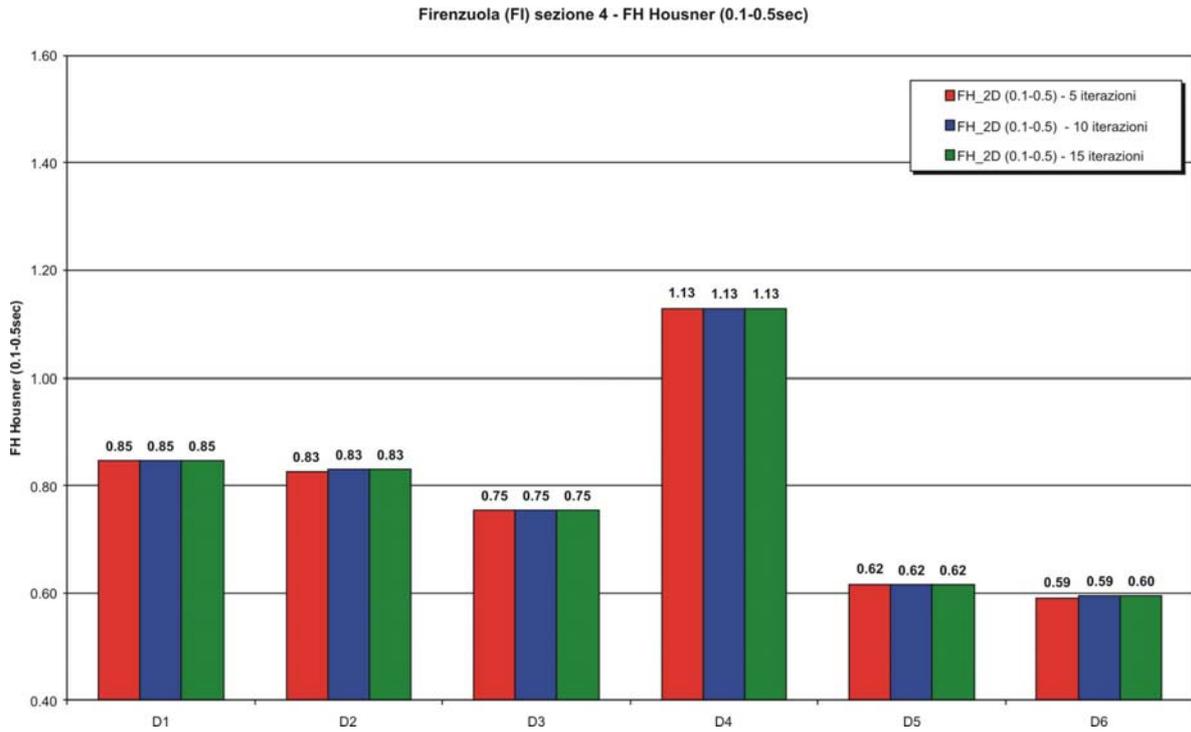


Fig.7.1.2 – Valori del fattore di amplificazione $FH_{0.1-0.5}$ al variare del numero di iterazioni per i punti di misura della sezione 4 (i cui spettri di risposta elastici sono visibili in figura 7.1.1)

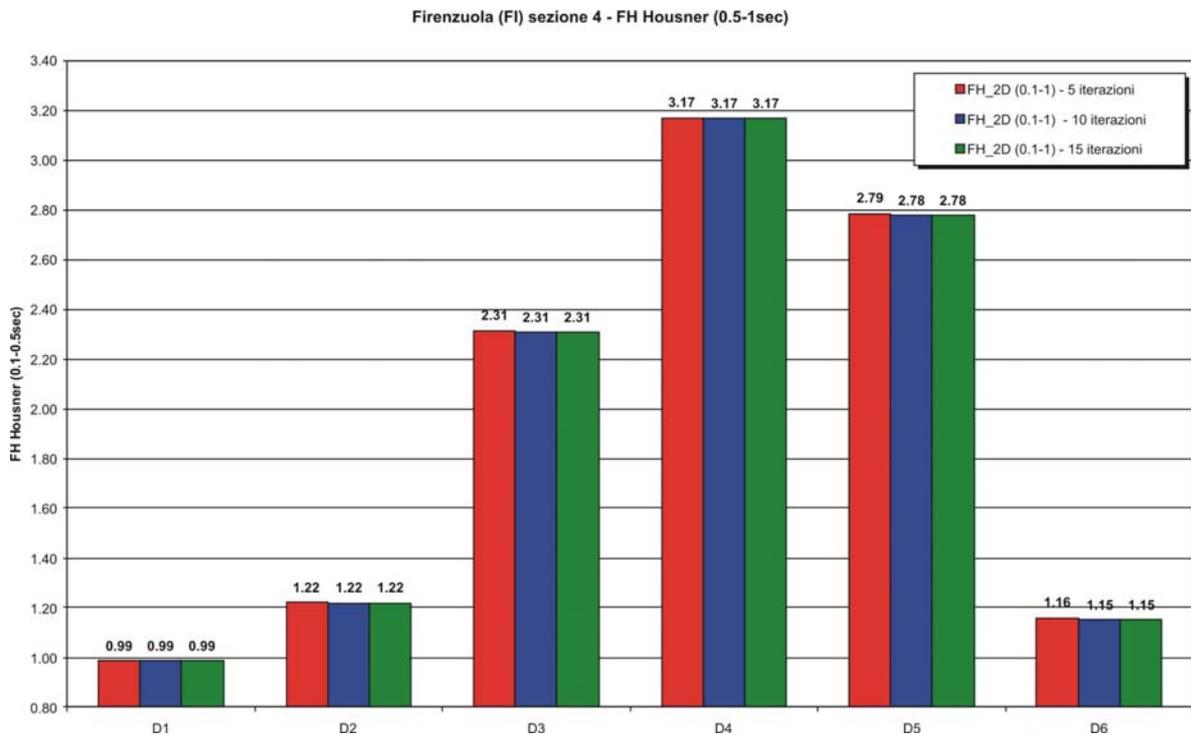


Fig.7.1.3 – Valori del fattore di amplificazione $FH_{0.5-1}$ al variare del numero di iterazioni per i punti di misura della sezione 4 (i cui spettri di risposta elastici sono visibili in figura 7.1.1)

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 200m e 400m.

Il risultato in termini di $FH_{0.5-1}$ è visibile in figura 7.1.4. Le differenze tra il dato con estensione 200m e quello con estensione 400m è di fatto analogo, con differenze 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.

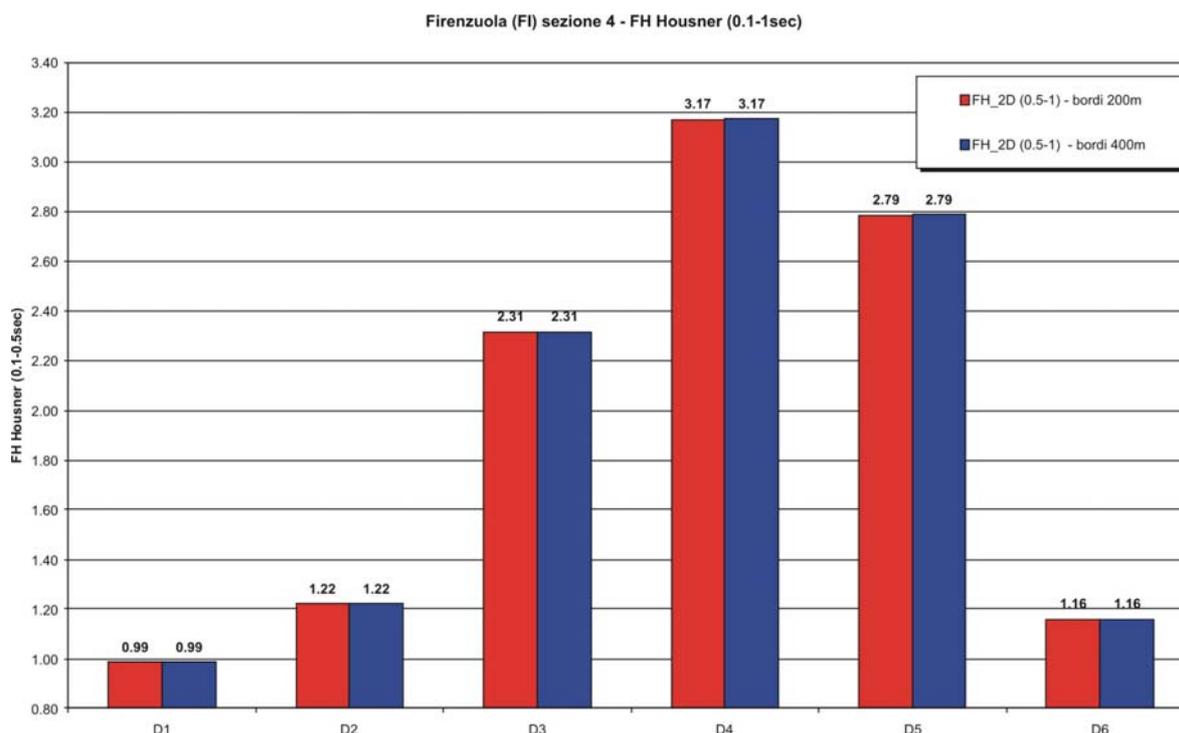


Fig.7.1.4 – Valori del fattore di amplificazione $FH_{0.5-1}$ al variare della distanza dai bordi per i punti di misura della sezione 4

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

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

- per i depositi ghiaiosi 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;
- per i depositi palustri di natura limosa sono state estrapolate curve medie (secondo il metodo di Yokota et al., 1981), illustrate in figura 7.1.5;
- per i depositi alluvionali, infine, sono state utilizzate le curve derivanti dall'esecuzione di una prova di colonna risonante sul campione n°2 del sondaggio S6.

In particolare, nelle figure 7.1.6 e 7.1.7 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".

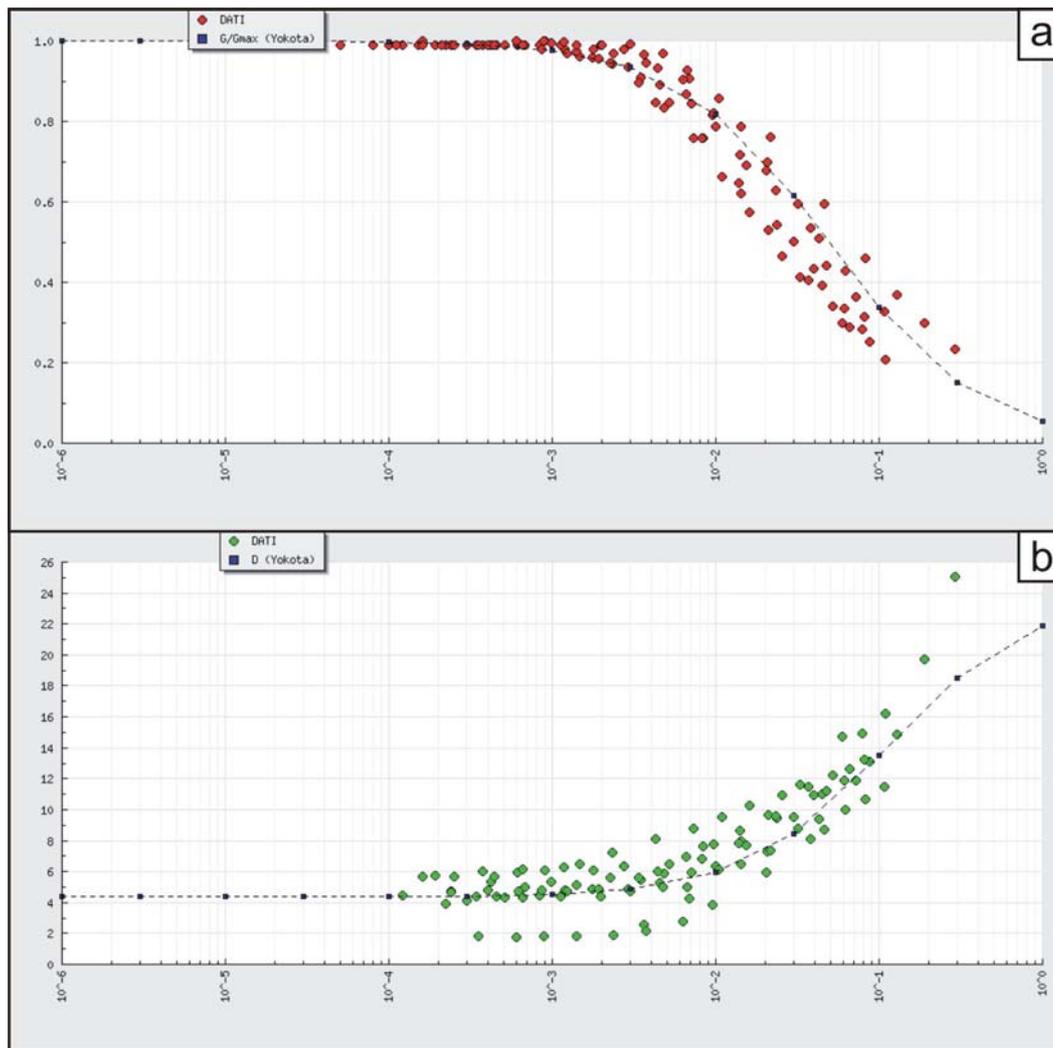


Fig.7.1.5 – Curve G/G0 (a) e Damping (b) relative ad alcune prove geotecniche dinamiche su limi sabbiosi nell’area del Mugello ed interpolazione secondo il metodo di Yokota et al., 1981 (curva blu tratteggiata) utilizzata per i depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) in facies limosa

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.

Nell’area del capoluogo di Firenzuola sono state realizzate analisi bidimensionali su 4 sezioni geologico-tecniche.

Nelle figure dalla 7.1.8 alla 7.1.11 sono illustrati gli spettri di risposta relativi ai 36 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 7.1.12 alla 7.1.15, 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.

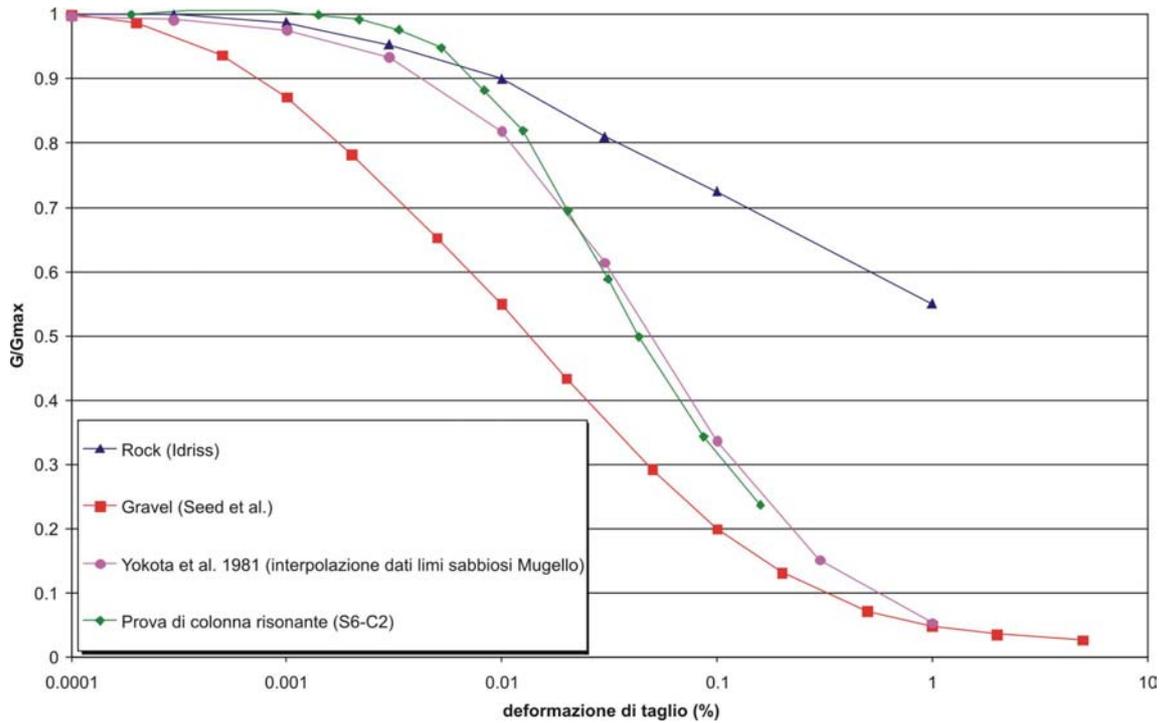


Fig.7.1.6 – Curve di degradazione del modulo di taglio “G” utilizzate nelle analisi illustrate nel presente capitolo

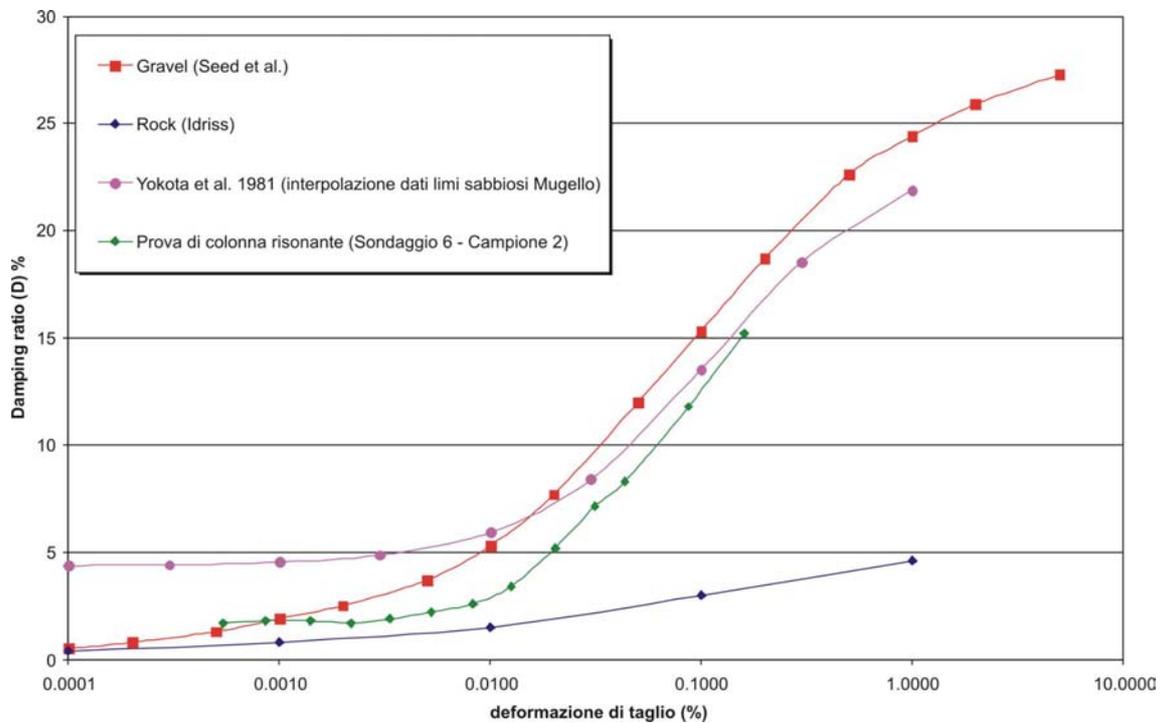


Fig.7.1.7 – Curve di smorzamento “D” utilizzate nelle analisi illustrate nel presente capitolo

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

Tipologia terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Rapporto Poisson dinamico	Peso di volume (kN/m ³)	ambito di applicazione
Depositi alluvionali terrazzati (b1) DH6	1100	215	5.116	0.48	20.00	sezione 1
Depositi alluvionali terrazzati (b1) DH7	1615	205	7.878	0.49	18.34	sezioni 1, 3
Depositi alluvionali terrazzati (b1) DH1	875	325	2.692	0.42	20.43	sezioni 1, 2
Depositi alluvionali terrazzati (b1) ST6	885	310	2.855	0.43	20.43	sezioni 1, 2
Depositi alluvionali terrazzati (b1) ST7	1150	335	3.433	0.45	20.43	sezioni 1, 4
Depositi alluvionali terrazzati (b1) ST10	1170	230	5.087	0.48	20.00	sezione 3
Depositi alluvionali terrazzati (b1) ST4	1580	295	5.356	0.48	20.00	sezione 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa DH6	1450	180	8.056	0.49	19.16	sezione 1
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa DH7	1550	175	8.857	0.49	18.36	sezioni 1, 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa DH1	1500	150	10.000	0.49	18.36	sezioni 1, 2, 4
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa DH7	1500	405	3.704	0.46	20.00	sezione 1, 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa DH1	1500	290	5.172	0.48	20.00	sezioni 1, 2, 4
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa DH6	1560	495	3.152	0.44	20.00	sezioni 1
Argilliti con calcari (AVC) DH6	2535	735	3.449	0.45	22.00	sezione 1
Argilliti con calcari (AVC) DH7	2700	735	3.673	0.46	22.00	sezioni 1, 3
Argilliti con calcari (AVC) ST4	2295	720	3.188	0.45	22.00	sezione 3
Argilliti con calcari (AVC) ST10	2080	690	3.014	0.44	22.00	sezione 3
Brecce argillose poligeniche (BAP) ST5	2445	950	2.574	0.41	23.00	sezione 1
Brecce argillose poligeniche (BAP) DH1	2895	850	3.406	0.45	23.00	sezioni 1, 2
Brecce argillose poligeniche (BAP) ST6	2690	750	3.587	0.46	22.00	sezioni 1, 2
Brecce argillose poligeniche (BAP) ST7	2360	955	2.471	0.40	23.00	sezioni 1, 4
Marne di Marmoreto (MMA)_valore medio	2595	925	2.805	0.43	23.00	sezione 2

Dall'osservazione dei risultati è possibile affermare che l'amplificazione nell'area del fondovalle risulta essere ampiamente condizionata dalla presenza, al di sotto dei depositi alluvionali (b e b1), di depositi lacustri-palustri (e3s), distinti in due facies: una inferiore di natura grossolana ed una superiore di natura limosa e caratterizzata (al pari delle sovrastanti alluvioni) da scadenti proprietà fisico-meccaniche.

Tale assetto sismostratigrafico induce elevati livelli di amplificazione, ma caratterizzata sistematicamente da uno shifting verso periodi elevati e ciò si ripercuote su un costante valore modesto del valore di $FH_{0.1-0.5}$, a cui si contrappone un elevato valore di $FH_{0.5-1}$.

La figura 7.1.16 mostra la distribuzione delle PGA orizzontali (X-Peak Acceleration) in corrispondenza della sezione 4 sottoposta all'azione dinamica rappresentata dall'input sismico n°1.

Il sottostante grafico illustra la distribuzione di tale parametro nel transetto indicato in sezione e costituito da 4 punti di misura, corrispondenti al tetto dei sismostrati presenti. Al di sotto del livello limoso palustre-lacustre il valore di PGA decade decisamente.

In figura 7.1.17, invece, è illustrato un confronto operato in campo monodimensionale, in corrispondenza del punto di misura A3 (sezione 1), tra l'output relativo all'analisi effettuata sui reali dati sismostratigrafici (corrispondenti alla presenza di depositi scadenti nei livelli superficiali) ed un'analisi fittizia, ottenuta sostituendo nei primi due livelli i parametri definiti per il terzo livello (ghiaie). Si nota, sia in termini di spettri di risposta (figura 7.1.17a) sia come funzioni di trasferimento (figura 7.1.17b), l'influenza dei livelli superficiali nel trasferire l'energia su periodi elevati.

A riprova di ciò, laddove non vi è presenza dei depositi lacustri-palustri e, di conseguenza, le alluvioni sono a diretto contatto con il substrato sismico, le differenze tra i due fattori di amplificazione bidimensionali tendono ad annullarsi

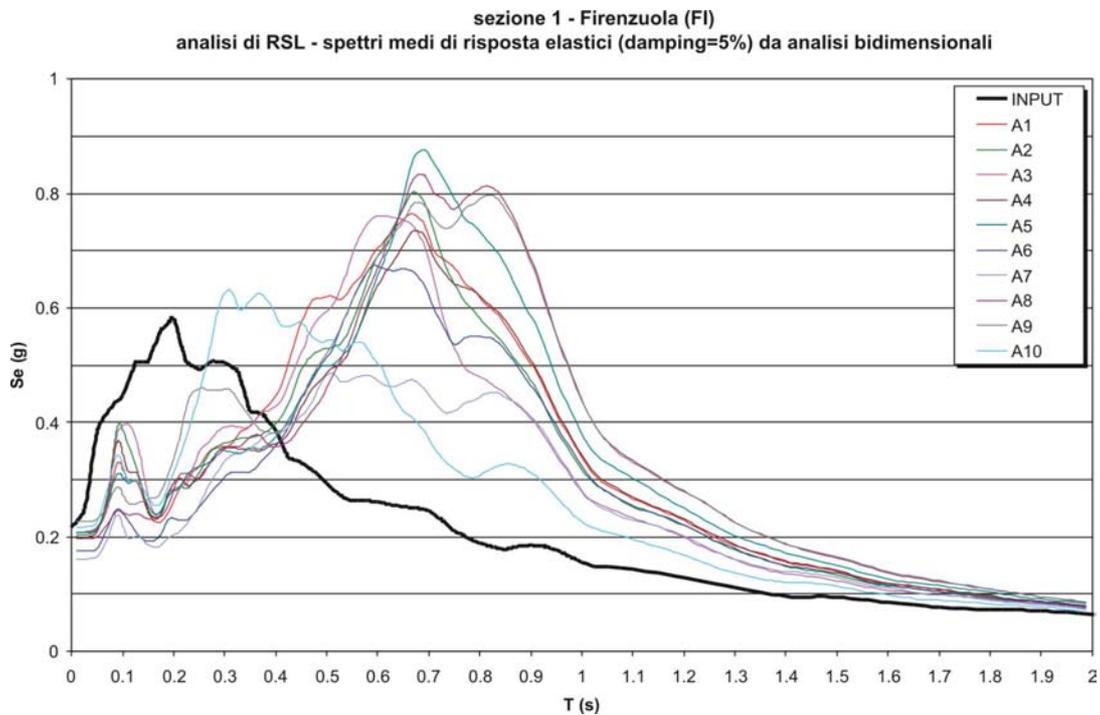


Fig.7.1.8 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione 1 a confronto con lo spettro medio di input

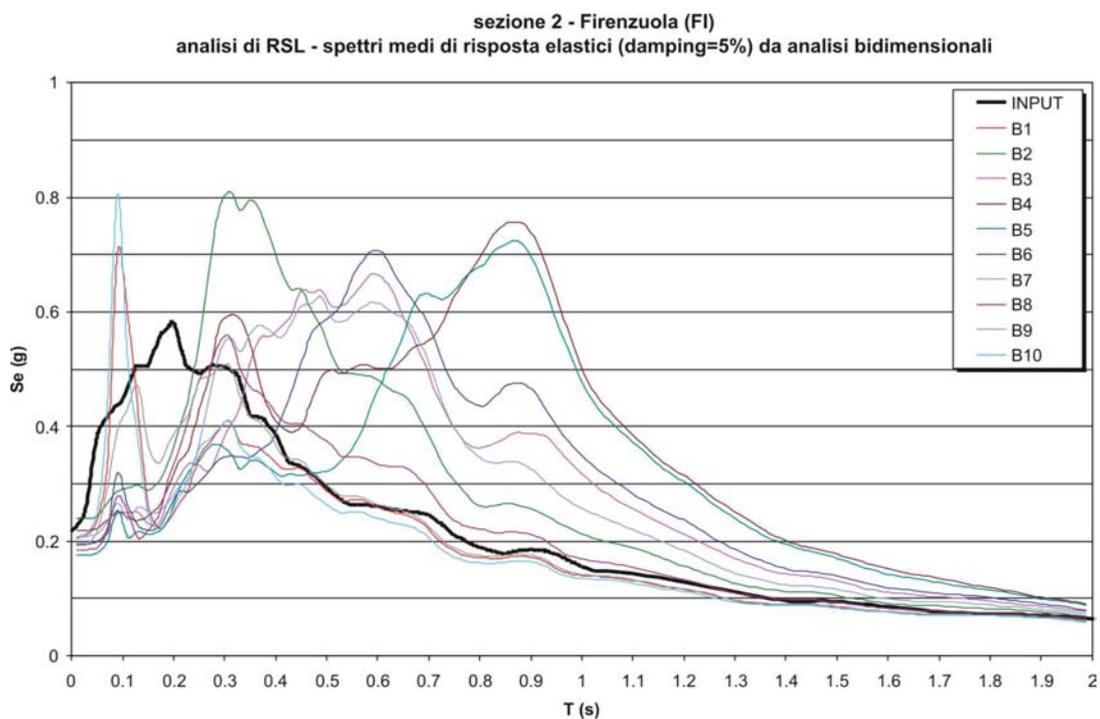


Fig.7.1.9 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione 2 a confronto con lo spettro medio di input

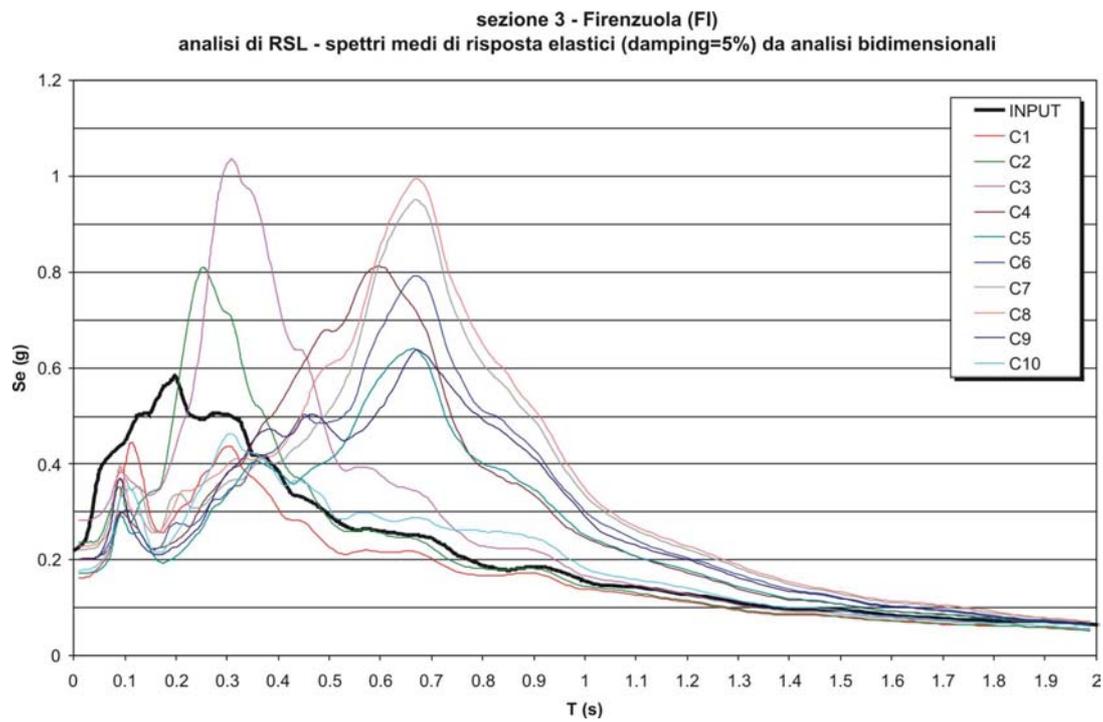


Fig.7.1.10 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione 3 a confronto con lo spettro medio di input

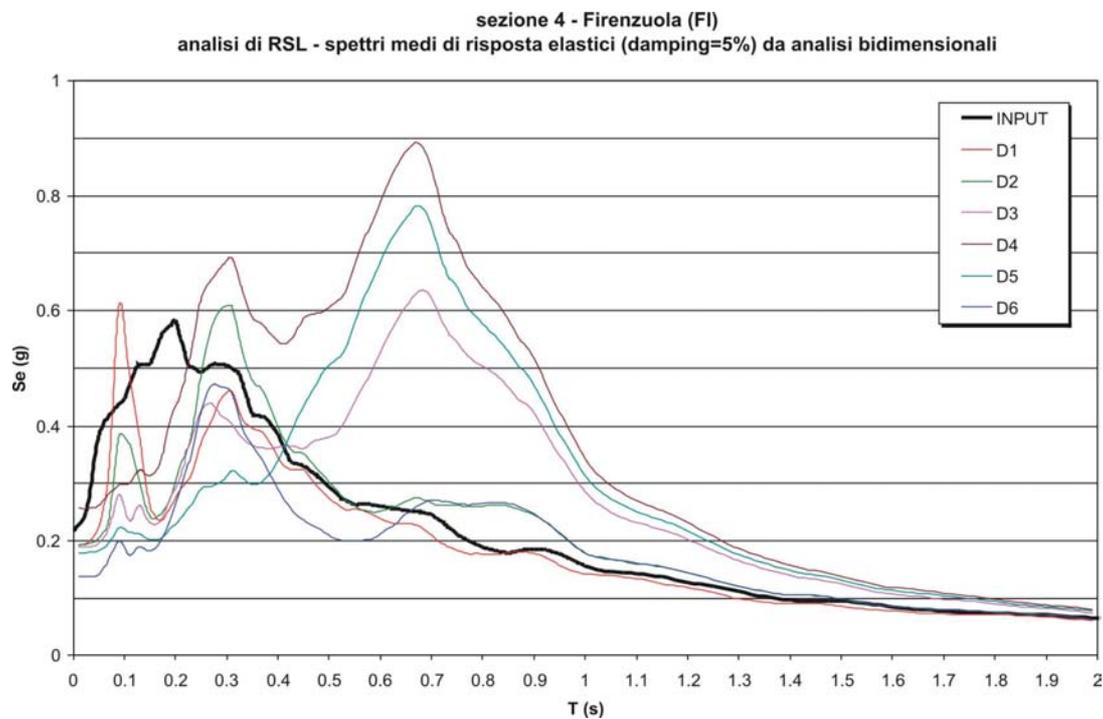


Fig.7.1.11 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione 4 a confronto con lo spettro medio di input

Fig.7.1.12 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°1

Firenzuola (FI) sezione 1 - FH Housner

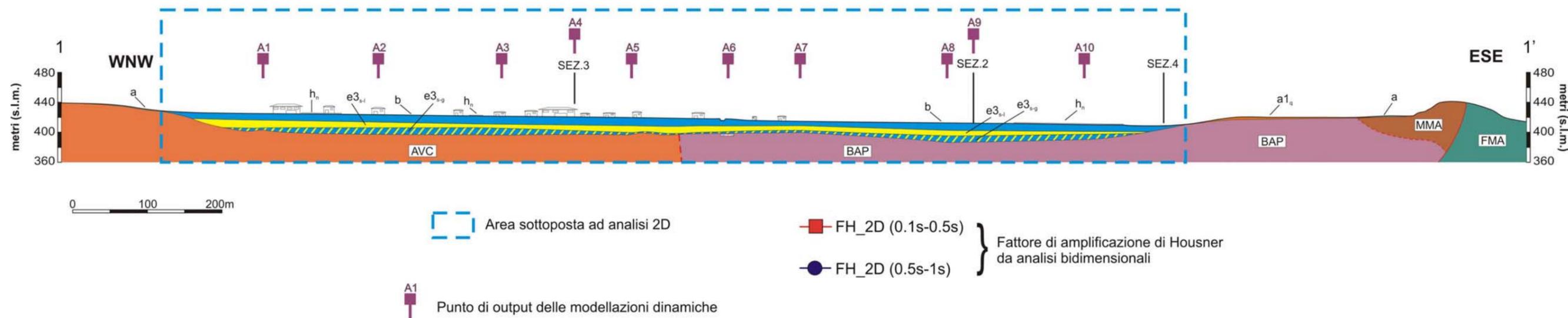
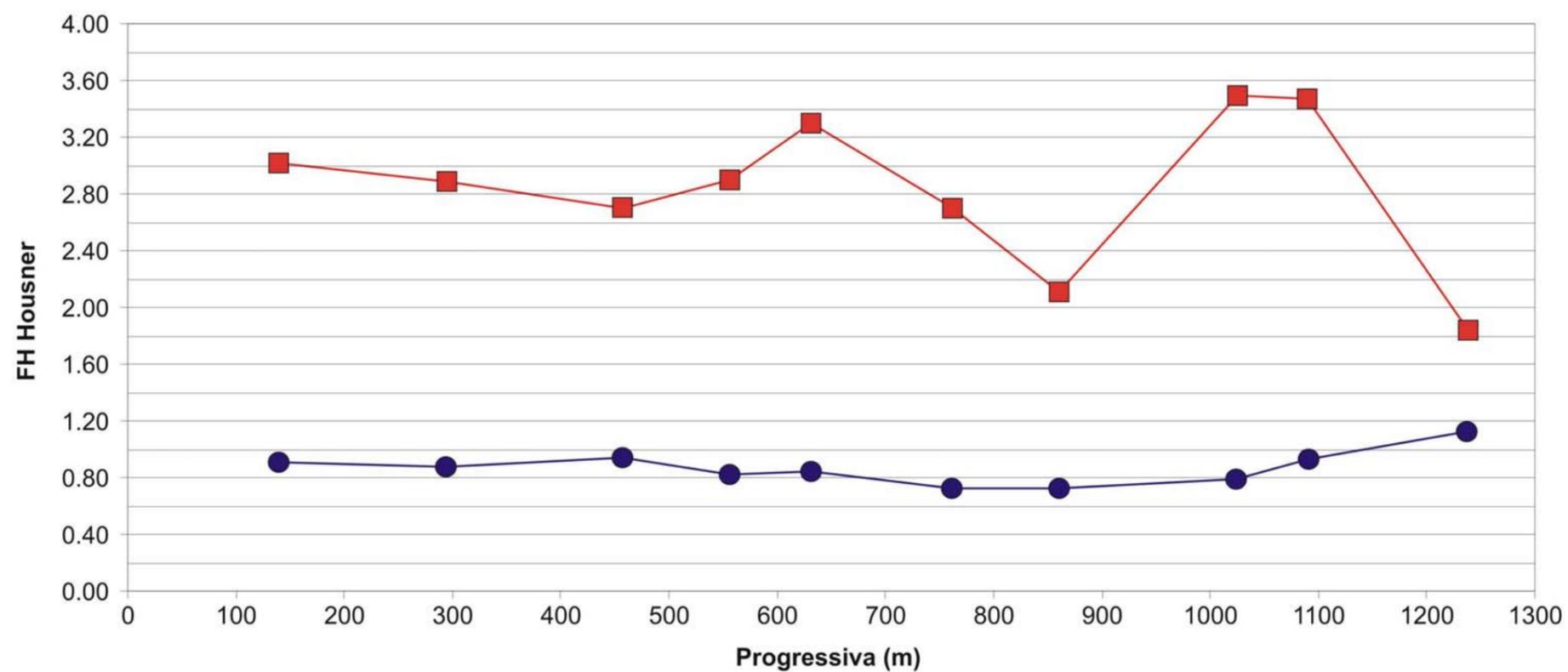
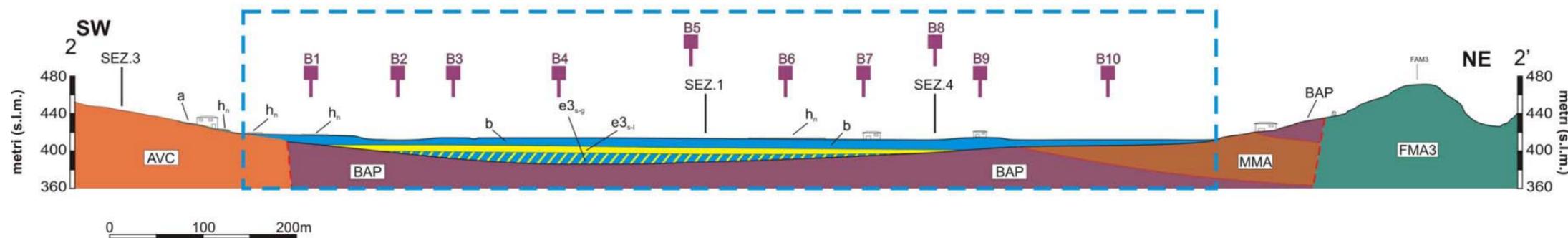
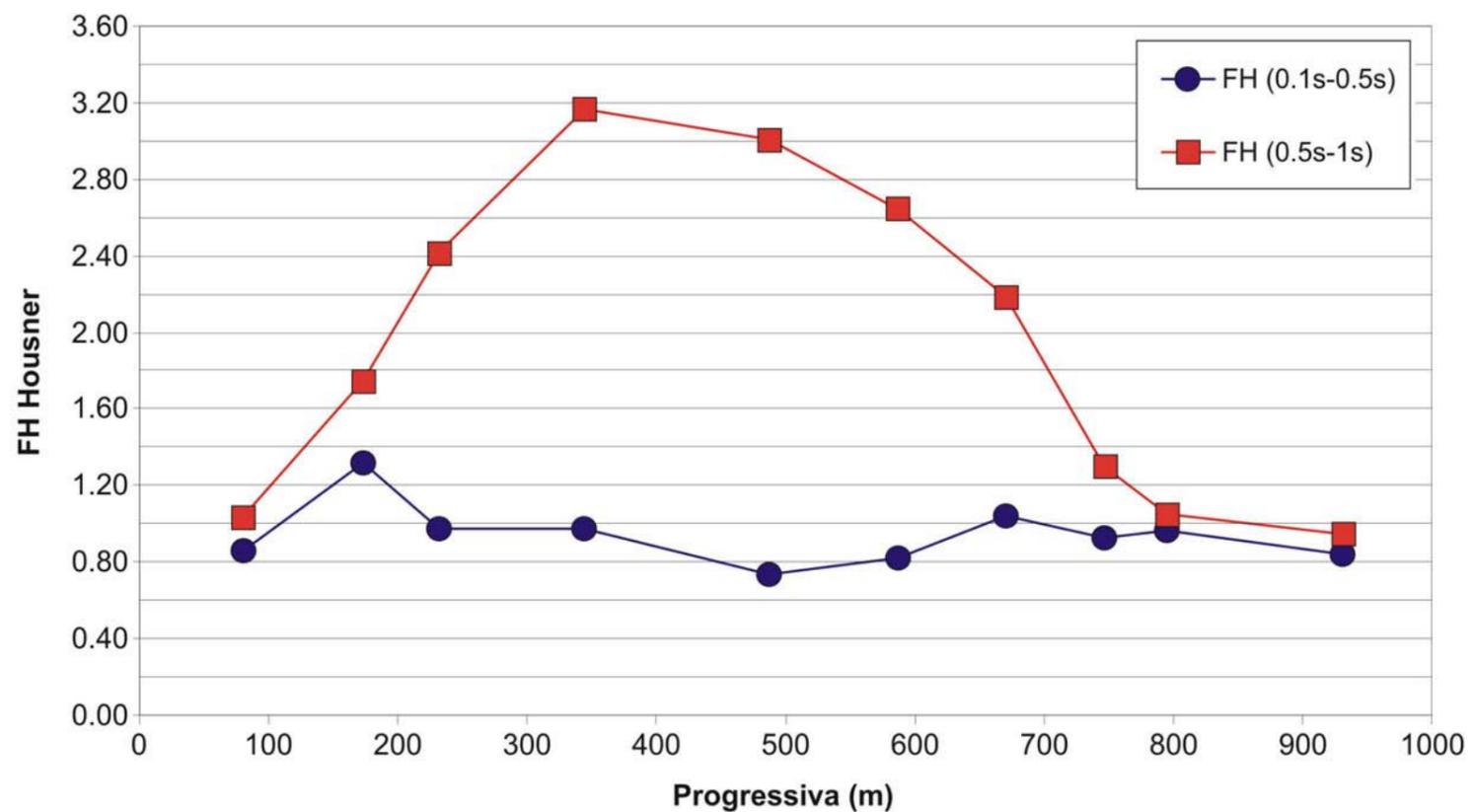


Fig.7.1.13 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°2

Firenzuola (FI) sezione 2 - FH Housner



Area sottoposta ad analisi 2D

FH_{2D} (0.1s-0.5s)

FH_{2D} (0.5s-1s)

Fattore di amplificazione di Housner da analisi bidimensionali

Punto di output delle modellazioni dinamiche

Firenzuola (FI) sezione 3 - FH Housner

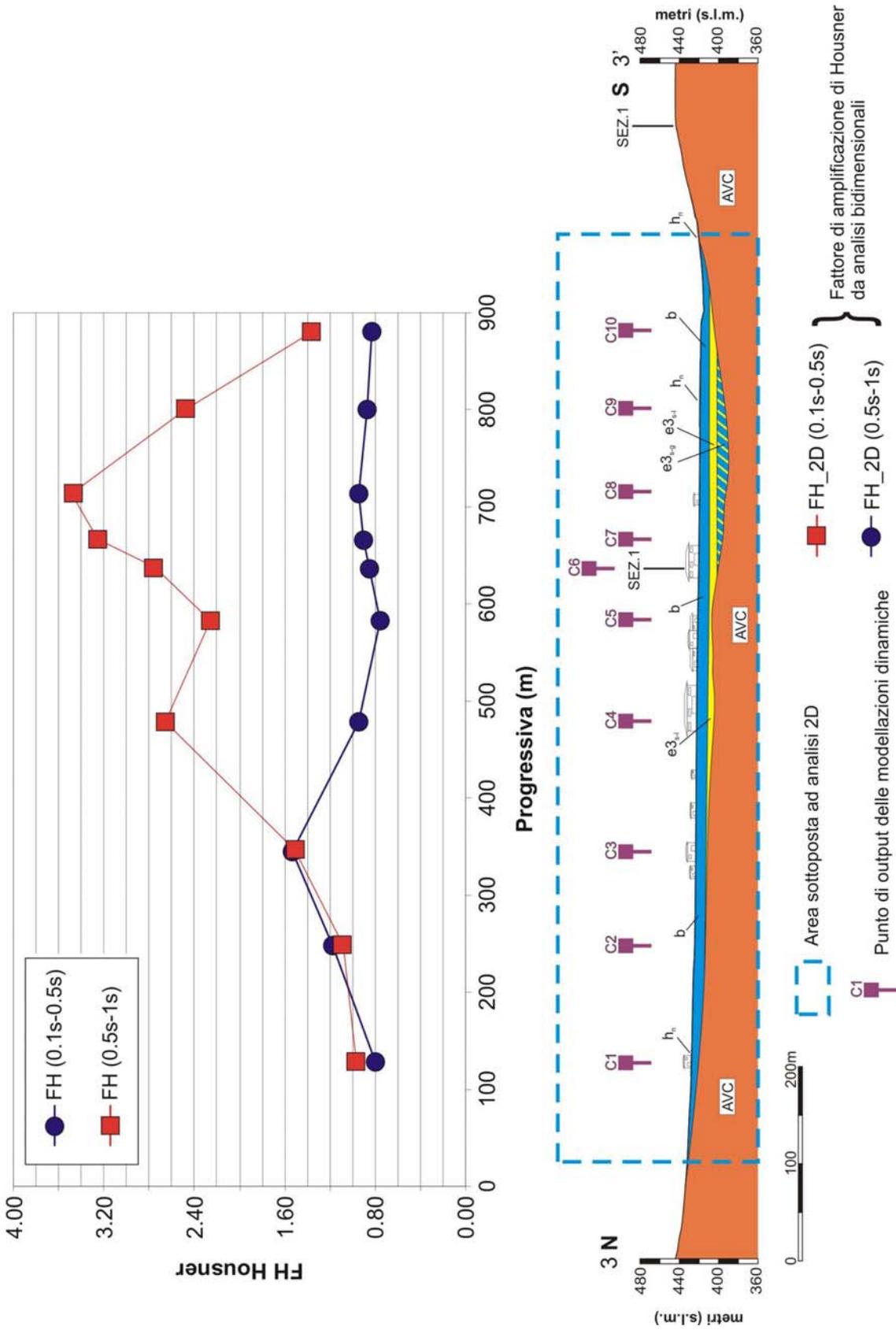


Fig.7.1.14 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°3

Firenzuola (FI) sezione 4 - FH Housner

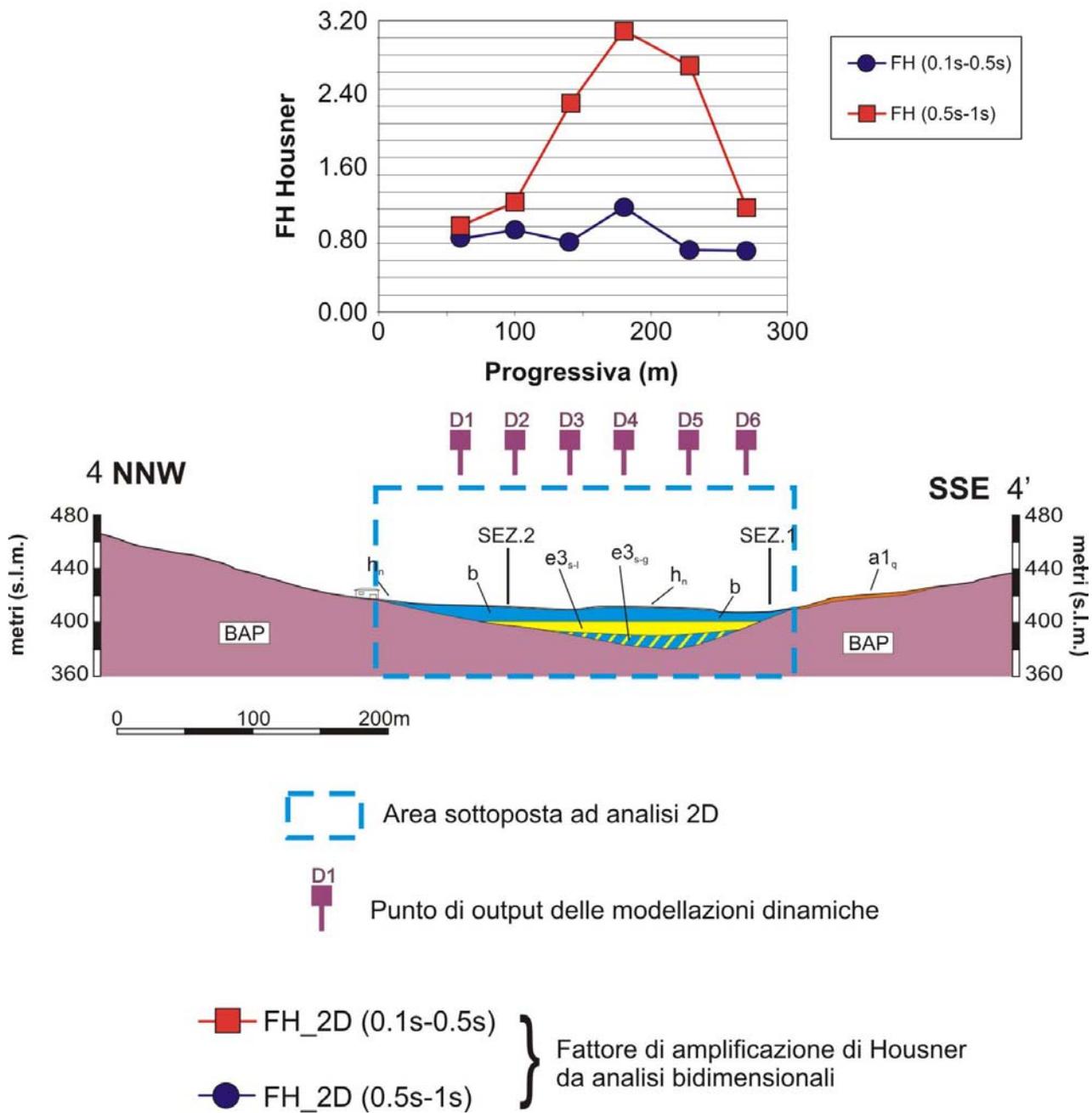


Fig.7.1.15 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione n°4

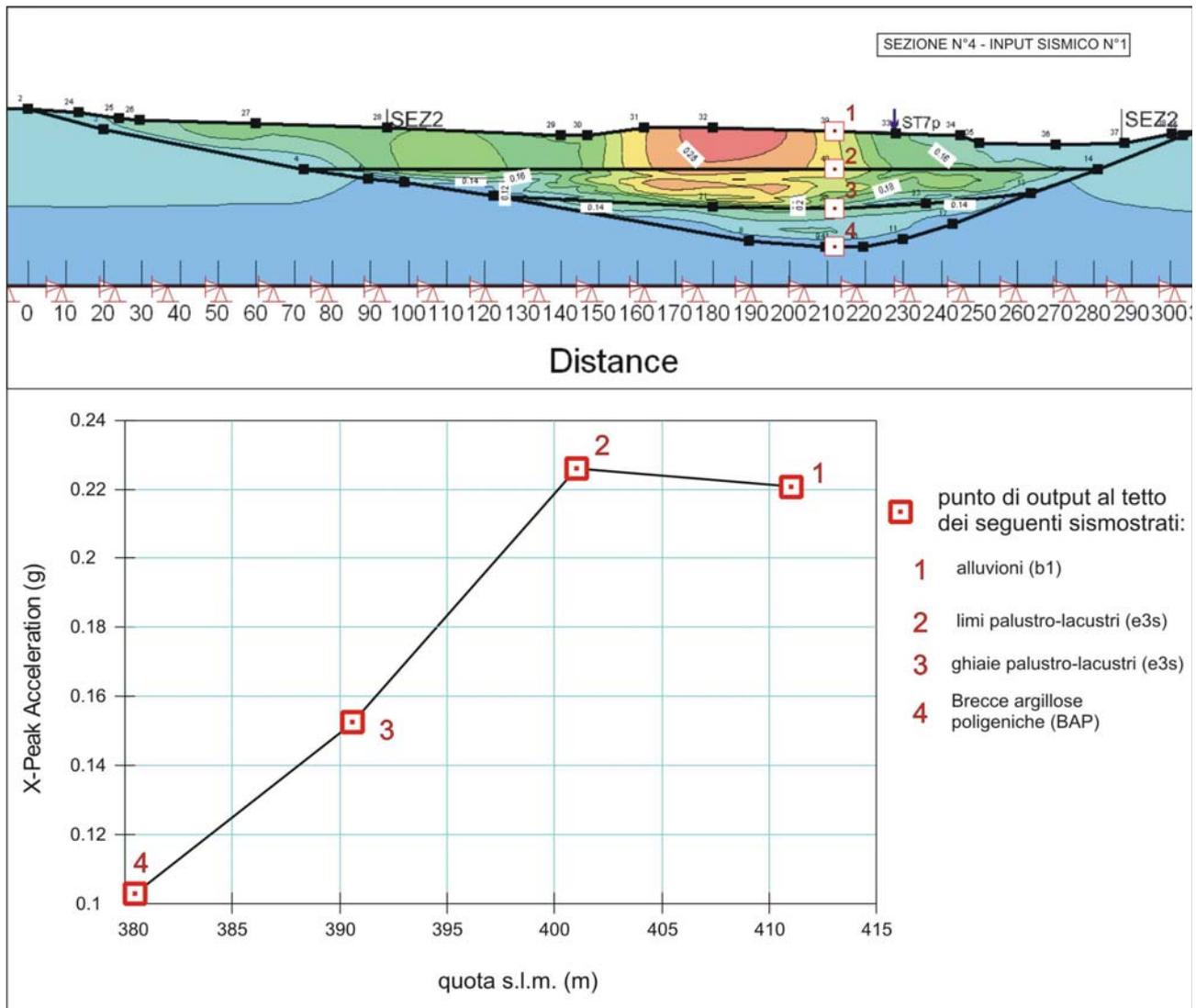


Fig.7.1.16– (Descrizione fornita in relazione)

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 7.1.18 e 7.1.21 e riassunto nella tabella 7.1.2.

Come è possibile notare dal confronto, non sempre nell'area di Firenzuola 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 per due differenti tipologie di contesti:

- diffusamente nei punti di misura ai bordi della sezione, e generalmente nei punti di misura in cui gli spessori di copertura sono esigui. Una motivazione potrebbe essere ricercata nel delicato processo di deconvoluzione del moto di input, per portarlo dalle originali condizioni free-field in affioramento alle condizioni presunte all'interfaccia tra substrato sismico e coperture. Infatti, mentre per analisi 1D il processo di deconvoluzione viene svolto automaticamente dal software singolarmente per ogni analisi, nel caso di modellazioni 2D il segnale da deconvolvere al bedrock viene riportato artificialmente a condizioni medie sia di profondità dell'interfaccia bedrock sismico-coperture, sia di caratteristiche fisico-meccaniche in campo dinamico del bedrock sismico.

Ciò potrebbe comportare per i punti di misura ubicati in corrispondenza di minori spessori una sottovalutazione in termini di fattore di amplificazione;

- All'interno 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, del punto di misura A7, di cui si riporta in figura 7.1.22 la distribuzione delle PGA relative allo step finale dell'analisi 2D relativa agli input sismici n°1 e n°3 (capitolo 2). Come è possibile notare, nell'intervallo 0.5-1 sec, i valori di PGA nel nodo A7 sono inferiori ai nodi limitrofi, con conseguente ripercussione sullo spettro di risposta e, quindi, sul valore di FH.

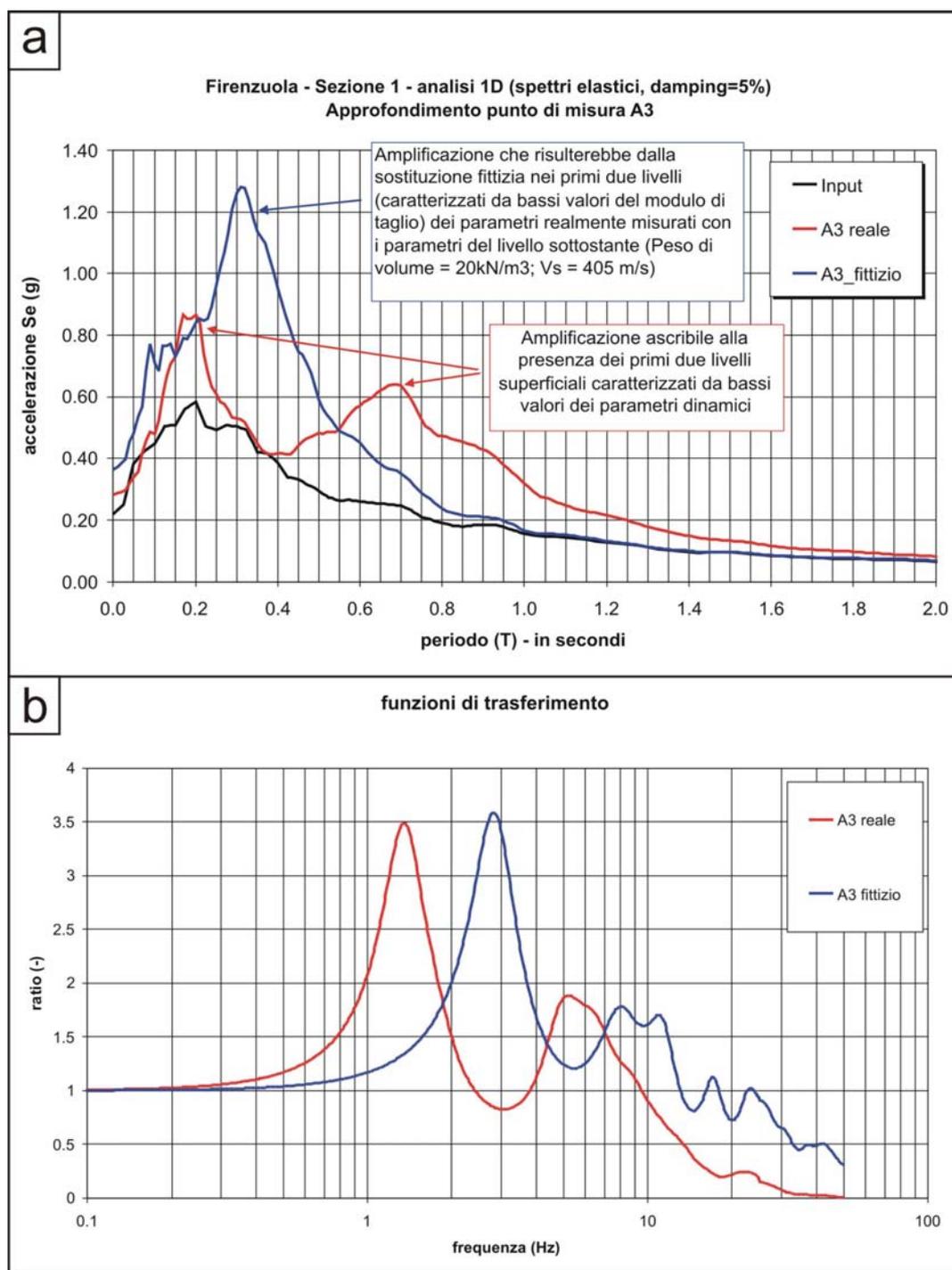


Fig.7.1.17– – (Descrizione fornita in relazione)

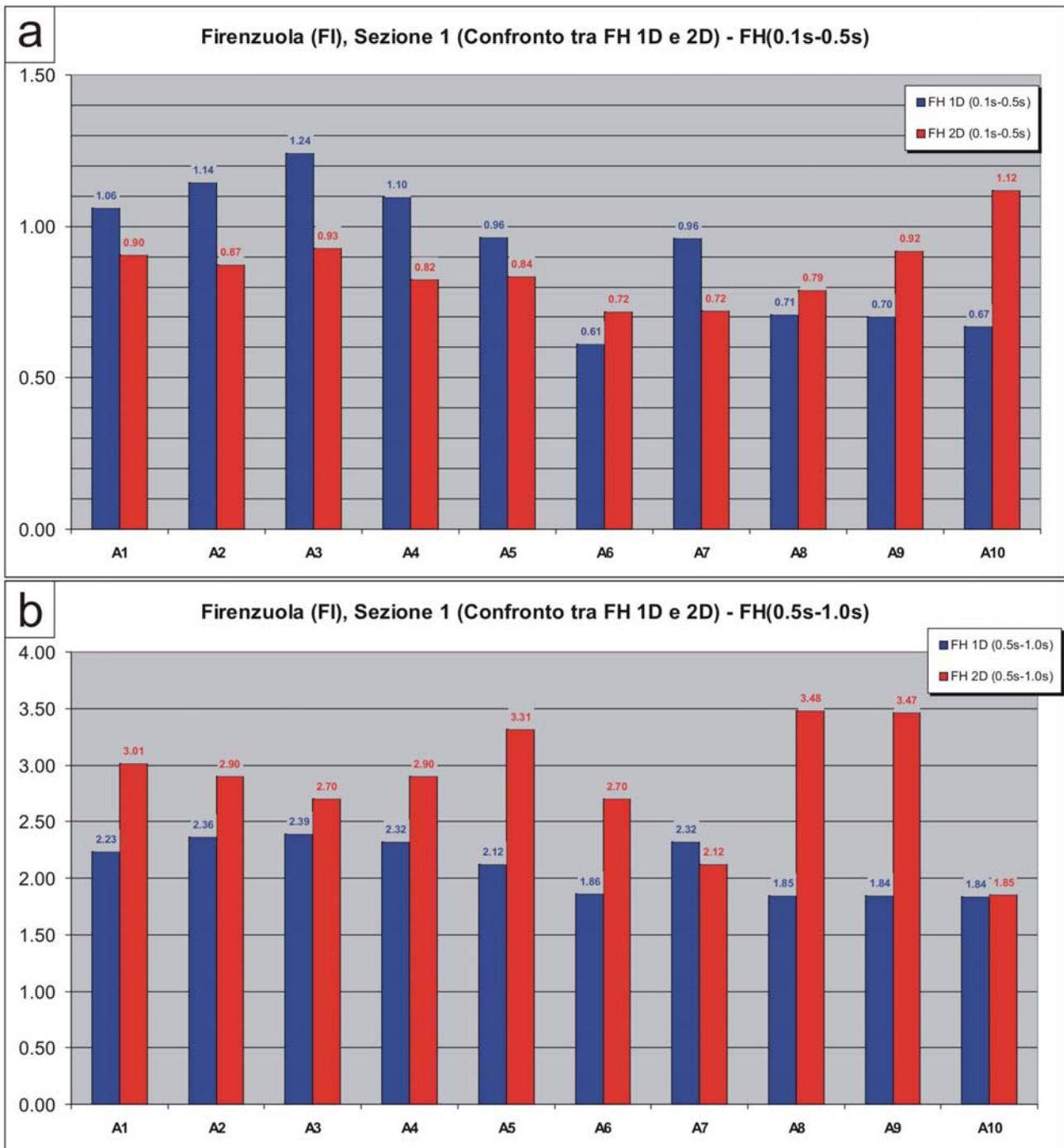


Fig.7.1.18 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione 1

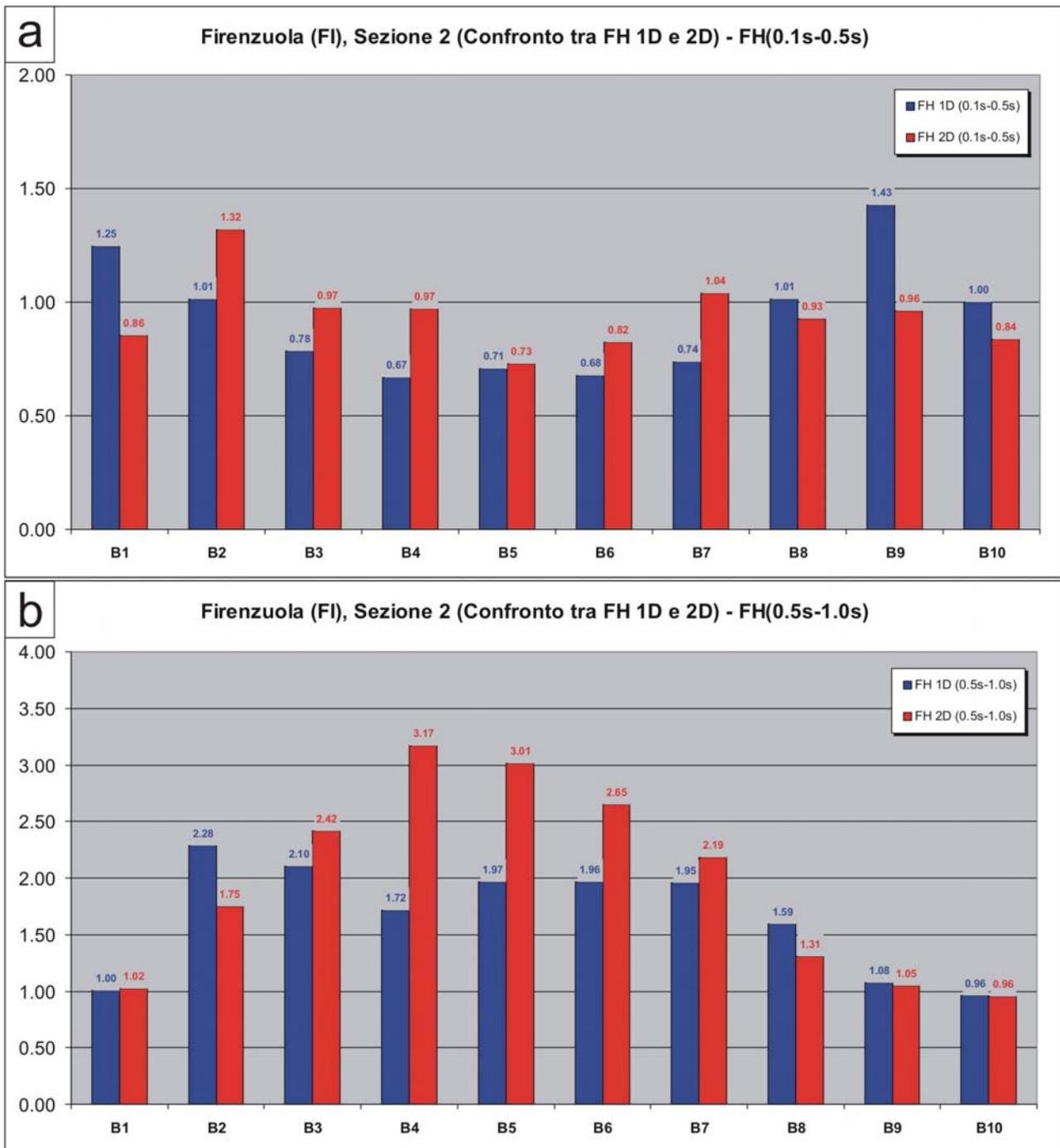


Fig.7.1.19 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione 2

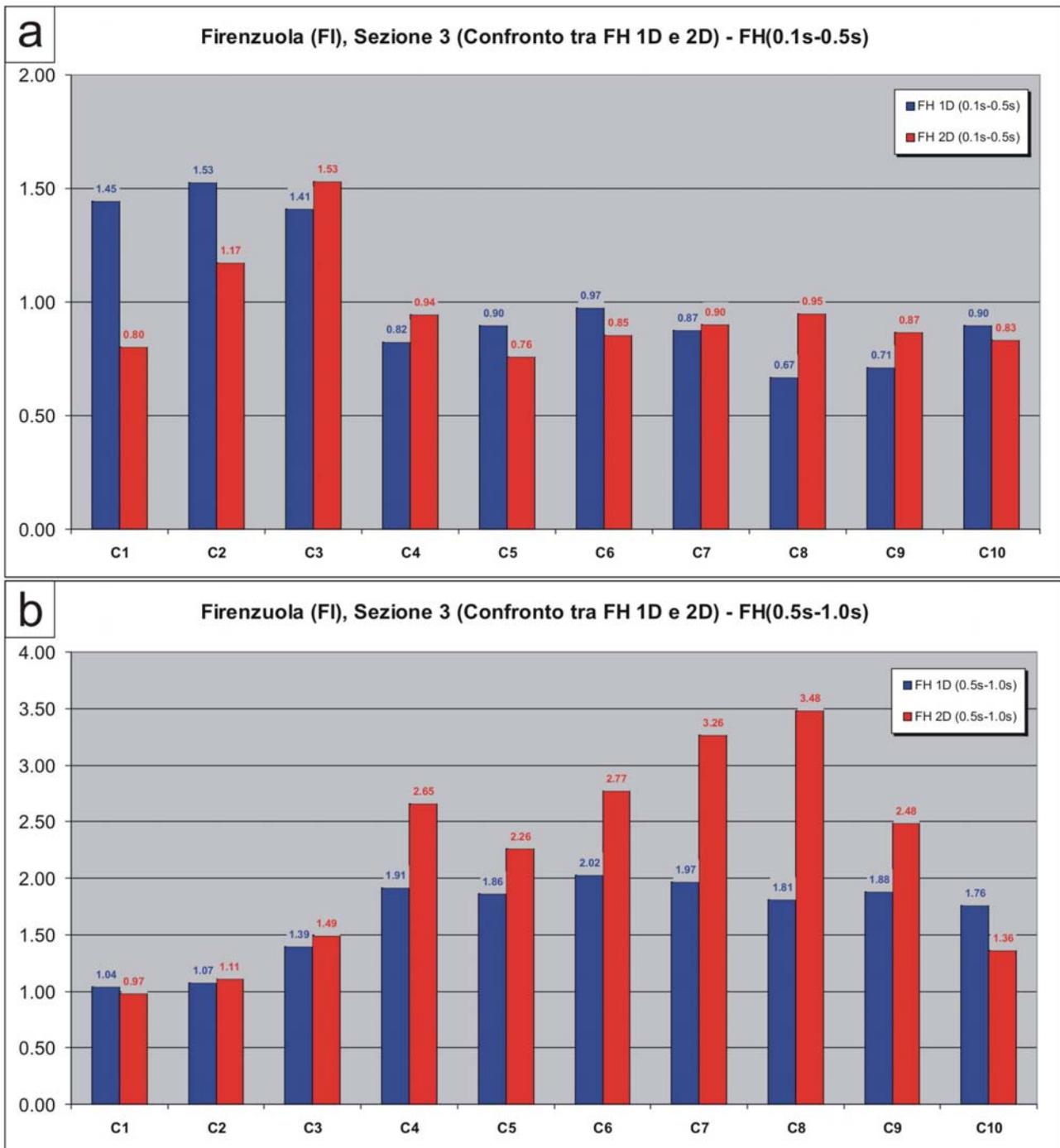


Fig.7.1.20 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione 3

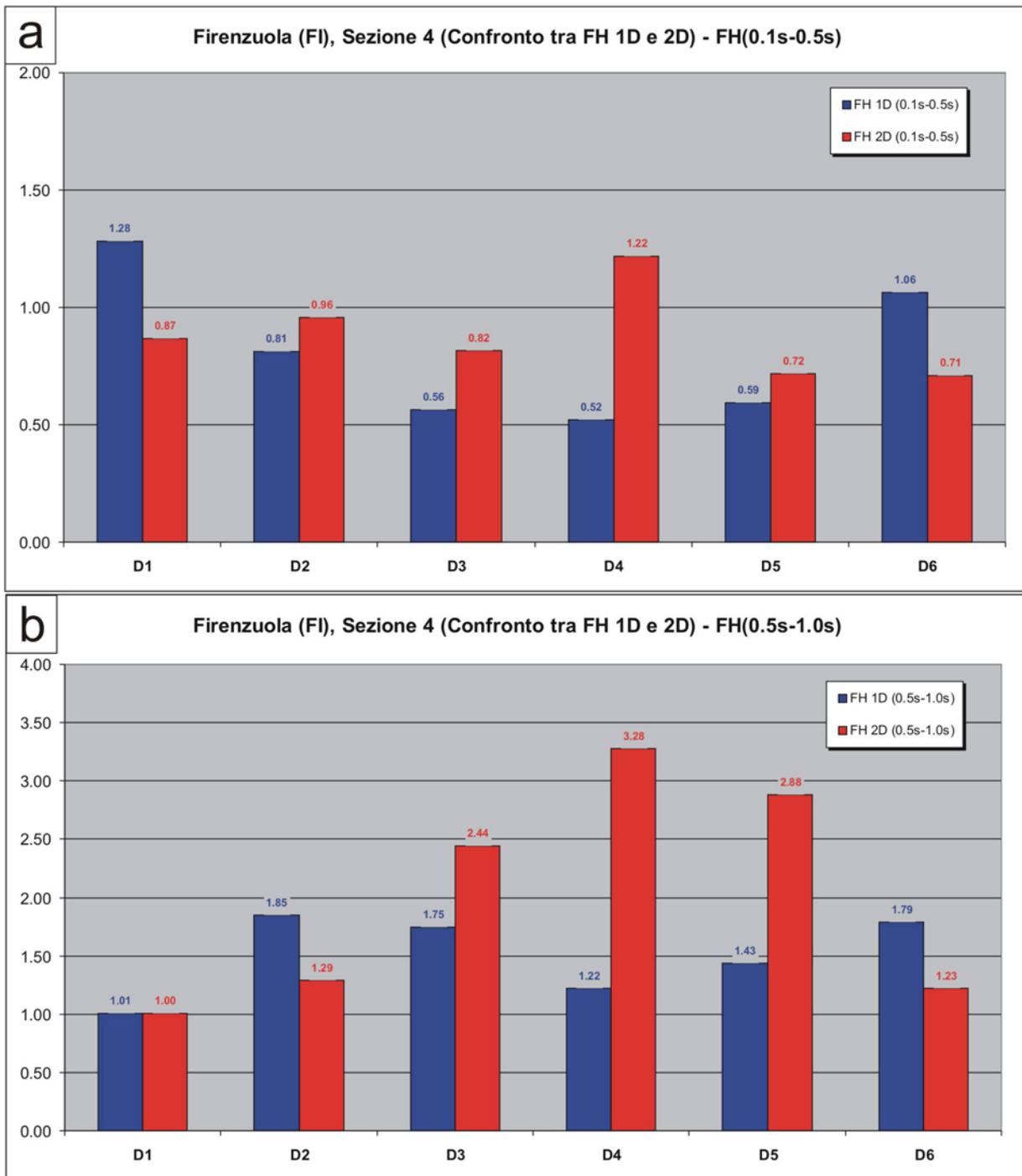


Fig.7.1.21 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione 4

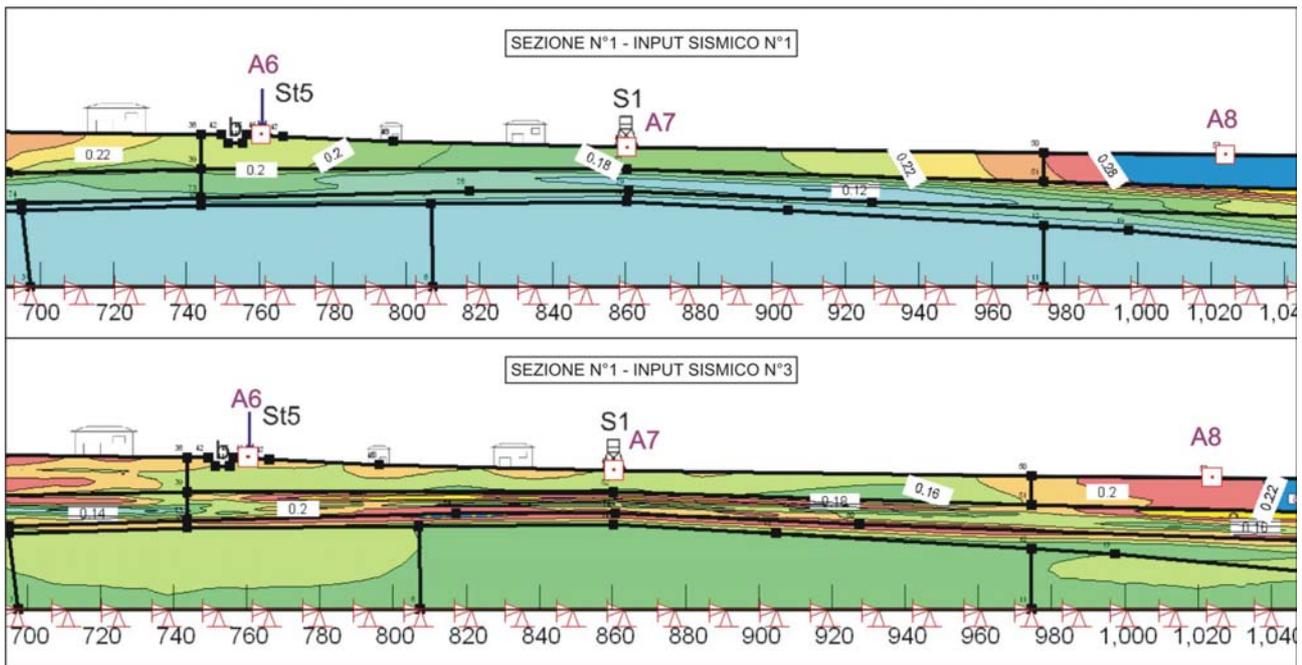


Fig.7.1.22 – Distribuzione delle PGA riferite allo step finale dell’analisi 2D relativa alla propagazione degli input sismici n°1 e n°3, in corrispondenza di un tratto della sezione n°1. I valori sono espressi in g.

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.

Per quanto riguarda le aree di affioramento dei depositi detritici di versante (diffusamente presenti nell’area di studio), sono state, invece, realizzate analisi di risposta sismica (di tipo monodimensionale in linea con l’assetto marcatamente 1D di tali contesti sismostratigrafici), al fine di dimostrare analiticamente la scarsa propensione all’amplificazione, in linea con il ridotto spessore di tali coperture sismiche.

Tali depositi, come deducibile dalle indagini dirette ed indirette di esplorazione del sottosuolo e dalle sezioni geologico-tecniche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo, hanno natura grossolana, spessori variabili da 1 a 4m ed una velocità media di propagazione delle onde di taglio pari a 325 m/sec (come visibile dalla consultazione della stesa sismica a rifrazione ST8).

I punti di misura ubicati in corrispondenza di tali depositi dimostrano, in linea con quanto previsto, valori del fattore d’amplificazione molto bassi (lievemente superiori all’unità per l’intervallo tra 0.1 e 0.5sec e sempre inferiori ad 1 per l’intervallo 0.5-1sec).

Pertanto, ai fini della trasposizione areale dei predetti risultati in termini di classi di microzonazione sismica, le aree di affioramento dei depositi detritici di versante (a) sono state considerate, come meglio illustrato nel successivo capitolo, suscettibili di amplificazione stratigrafica di modesta entità.

Tab.7.1.2 – Fattori di amplificazione di Housner FH (0.1s-0.5s) rilevati dalle analisi di risposta sismica bidimensionale e monodimensionale nel centro abitato di Firenzuola. In grassetto il valore più elevato

Punto di output codice	FH (0.1s-0.5s)		FH (0.5s-1.0s)	
	2D	1D	2D	1D
A1	0.90	1.06	3.01	2.23
A2	0.87	1.14	2.90	2.36
A3	0.93	1.24	2.70	2.39
A4	0.82	1.10	2.90	2.32
A5	0.84	0.96	3.31	2.12
A6	0.72	0.61	2.70	1.86
A7	0.72	0.96	2.12	2.32
A8	0.79	0.71	3.48	1.85
A9	0.92	0.70	3.47	1.84
A10	1.12	0.67	1.85	1.84
B1	0.86	1.25	1.02	1.00
B2	1.32	1.01	1.75	2.28
B3	0.97	0.78	2.42	2.10
B4	0.97	0.67	3.17	1.72
B5	0.73	0.71	3.01	1.97
B6	0.82	0.68	2.65	1.96
B7	1.04	0.74	2.19	1.95
B8	0.93	1.01	1.31	1.59
B9	0.96	1.43	1.05	1.08
B10	0.84	1.00	0.96	0.96
C1	0.80	1.45	0.97	1.04
C2	1.17	1.53	1.11	1.07
C3	1.53	1.41	1.49	1.39
C4	0.94	0.82	2.65	1.91
C5	0.76	0.90	2.26	1.86
C6	0.85	0.97	2.77	2.02
C7	0.90	0.87	3.26	1.97
C8	0.95	0.67	3.48	1.81
C9	0.87	0.71	2.48	1.88
C10	0.83	0.90	1.36	1.76
D1	0.87	1.28	1.00	1.01
D2	0.96	0.81	1.29	1.85
D3	0.82	0.56	2.44	1.75
D4	1.22	0.52	3.28	1.22
D5	0.72	0.59	2.88	1.43
D6	0.71	1.06	1.23	1.79

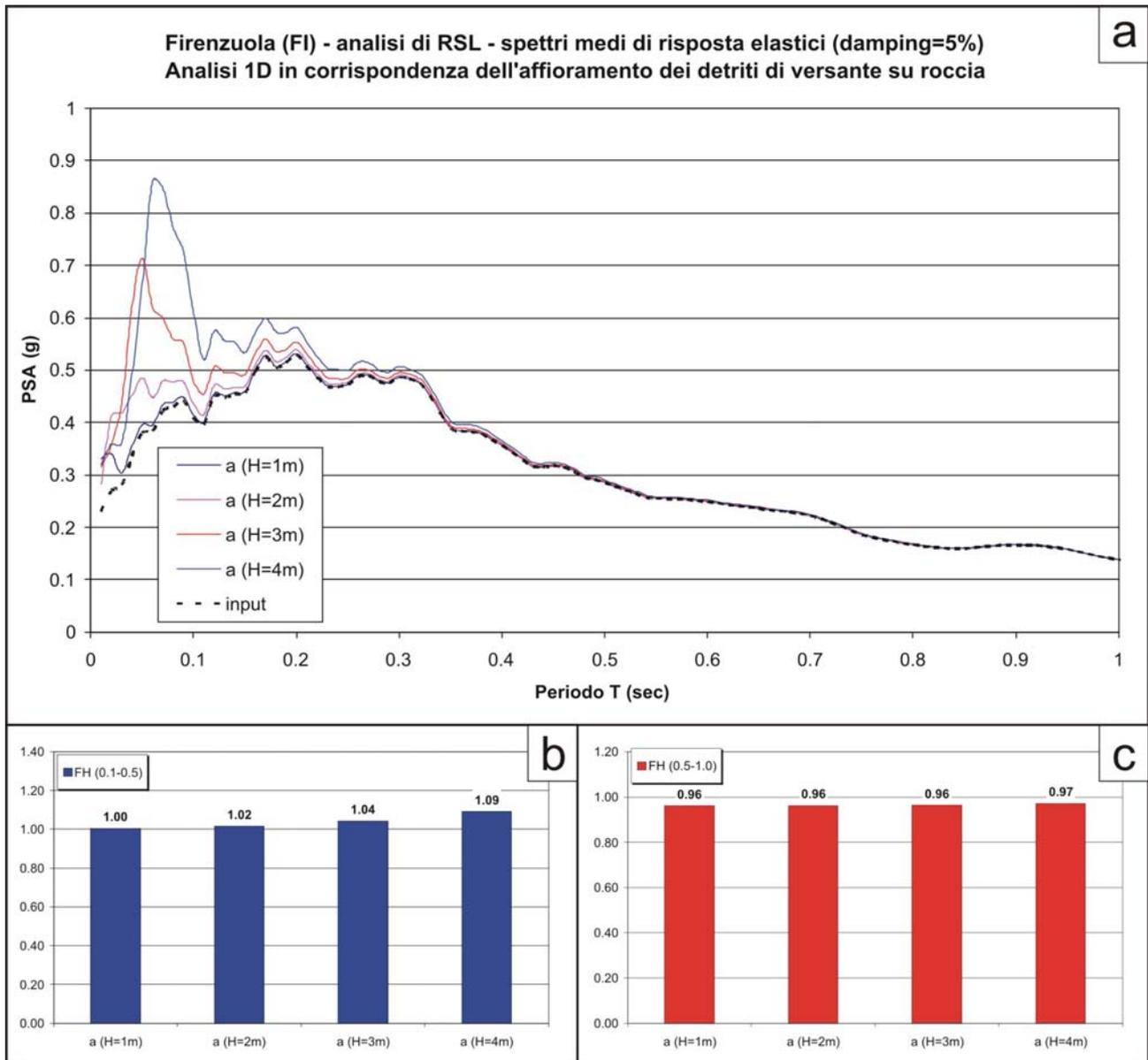


Fig.7.1.23 – Simulazione 1D su detrito di versante poggiante su bedrock sismico: a) spettri di risposta elastici, b) fattore di amplificazione di Housner nell'intervallo 0.1-0.5sec, c)) fattore di amplificazione di Housner nell'intervallo 0.5-1sec

8.0 Elaborati cartografici

Di seguito si riportano gli elaborati cartografici realizzati.

8.1 – Carta delle indagini

Per l'area oggetto della Microzonazione Sismica è stata realizzata la cartografia 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 (nel DVD allegato).

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, riportata 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 geologica e geomorfologica

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. La cartografia è stata corredata da sezioni geologiche significative, in numero adeguato, orientate sia trasversalmente che longitudinalmente rispetto ai principali geologico-strutturali dell'area.

La carta geologica, riportata integralmente nel DVD allegato, è stata realizzata sia in forma cartacea che su supporto digitale utilizzando la simbologia prevista dalle Legende del Programma VEL.

8.3 – 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.

Nell'ambito di tale revisione, che ha comportato necessariamente anche rilevamenti di controllo in loco, particolare attenzione è stata posta alla mappatura dei depositi di copertura (con particolare riferimento a quelli con spessore maggiore di 3m), nella 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.

La carta geologico-tecnica, riportata integralmente nel DVD allegato, 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 2.0beta –II, Giugno 2012).

8.4 – Carta delle frequenze fondamentali

Sulla base delle misure di rumore sismico e dei terremoti effettuate ed al fine di definire le principali caratteristiche della risposta sismica delle aree in esame, è stata effettuata l'interpolazione dei dati puntuali relative 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.

In particolare, l'analisi basata sui terremoti ha permesso di identificare per 7 delle 8 stazioni posizionate su sedimento un andamento generale dello spettro di amplificazione sismica (HVSRT) piuttosto omogeneo, dominato da un picco a frequenza inferiore (1.5-2.5 Hz) e uno a frequenza superiore (7-8 Hz). Questo andamento, particolarmente evidente e chiaro dal rapporto spettrale effettuato sui terremoti (HVSRT) e nel rapporto con la componente orizzontale dei terremoti registrati alla stazione di riferimento (H/Href) presenta inoltre una certa sistematicità, con il picco ad alta frequenza dominante nelle stazioni posizionate a nord dell'abitato e più prossime al substrato (F06, F07), mentre è dominato dal picco a bassa frequenza nel caso delle stazioni posizionate nell'abitato di Firenzuola e lungo l'asse della valle del torrente Santerno (F03, F04, F05, F09).

La stazione F02 presenta un rapporto HVSRT piuttosto omogeneo, dove si osserva una leggera fluttuazione del valore che appare essere sistematicamente superiore ad 1, in particolare a bassa frequenza (1-2 Hz), ma è assente un picco di amplificazione evidente, come invece si osserva per tutte le altre stazioni di misura. Riteniamo che questo rapporto spettrale HVSRT possa essere considerato come rappresentativo di un substrato, privo di effetti significativi di amplificazione sismica. In questa ottica quindi il leggero picco di amplificazione a bassa frequenza potrebbe identificare un substrato con peggiori caratteristiche meccaniche sovrastante un substrato più rigido. Questa ipotesi è supportata dagli altri rapporti spettrali (Z/Z_{ref} e H/H_{ref}) calcolati per la stazione F02. Inoltre questo quadro appare coerente con la geologia di superficie che vede la stazione F02 posizionata su un substrato prevalentemente argillitico riconducibile al Caotico, e la stazione di riferimento F00 posizionata su terreni riconducibili alla Formazione Marnoso Arenacea. Questa ipotesi è supportata da analoghi rapporti con la stazione di riferimento F00 anche per le altre stazioni posizionate a Nord dell'abitato di Firenzuola (F06 e F07), dove però si riscontra nel rapporto HVSRT un picco principale a maggiore frequenza rappresentativo della copertura sedimentaria sottile al di sopra del substrato argillitico Caotico che è assente a nord del Cimitero di Firenzuola (F02) dove affiora direttamente il substrato.

Dagli spettri presentati abbiamo valutato i fattori di amplificazione sismica strumentale (F_a noise, F_a eqk, F_a Z, F_a H) calcolati come media nell'intervallo spettrale 1-10 Hz dei rapporti HVSRT sul rumore sismico, HVSRT calcolato sui terremoti, e dai rapporti spettrali relativi alle componenti verticali (Z/Z_{ref}) ed orizzontali (H/H_{ref}) dei tracciati sismici registrati alle stazioni di analisi e quella di riferimento. I fattori di amplificazione sismica calcolati e le frequenze di risonanza relative ai singoli siti di indagine sono riassunti in Tabella 3. Per definire le caratteristiche principali di risposta sismica delle aree di indagine si effettua l'interpolazione dei dati puntuali relativamente alle frequenze di risonanza (Fig.8.1) e al fattore di amplificazione sperimentale (Fig.8.2).

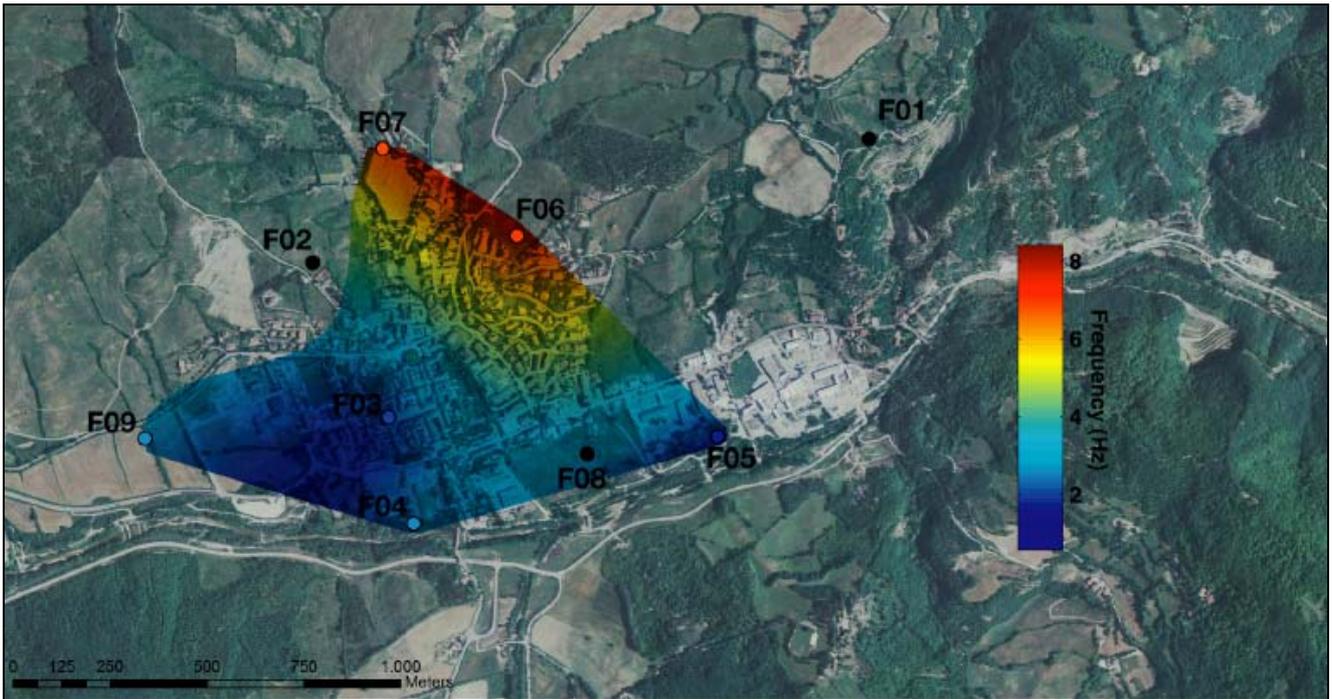


Fig.8.1 – Carta delle frequenza di risonanza fondamentali per l’area del capoluogo di Firenzuola calcolata come interpolazione dei picchi principali di tutti i terremoti registrati

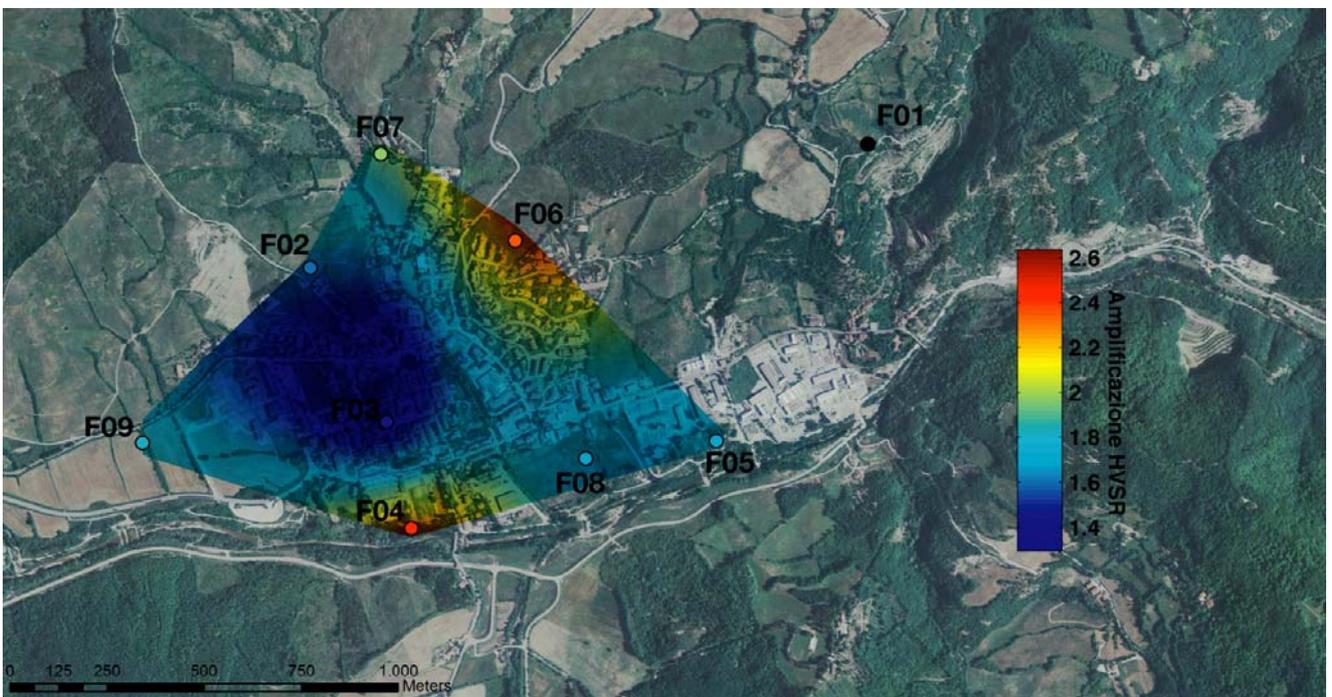


Fig.8.2 – Mappa de fattore di amplificazione sismica per l’area di indagine, calcolato come integrale dei rapporti spettrali HVSR su rumore.

L'analisi delle frequenze di risonanza può essere utilizzata per ottenere informazioni sulla profondità del livello risonante (Fig.8.3) se si hanno a disposizione informazioni sulla velocità di propagazione delle onde sismiche nei terreni di copertura. Nel caso di Firenzuola sono stati resi disponibili n.3 sondaggi down-hole. In tutti i casi, i sondaggi hanno raggiunto un substrato a profondità variabili tra 14 metri (sondaggio S1) e 23 metri (sondaggio S7) caratterizzato da elevate (~2500/3000m/s) velocità di propagazione delle onde P. E' interessante notare che le velocità di propagazione delle onde di taglio nel substrato sono ridotte (~700-800 m/s) mentre si registrano velocità delle onde P molto elevate. Questi parametri indicano un elevato coefficiente di Poisson (>0.4) sia per i terreni di copertura che per il substrato, coerente con le litologie incontrate che consistono in limi argillosi ed argille per i terreni di copertura e in argilliti marnose per il substrato che è costituito nell'area a terreni riconducibili alla formazione del Caotico. La copertura è caratterizzata da terreni con basse velocità di propagazione delle onde S variabili tra 170 e 235 m/s. In generale i tre sondaggi definiscono una situazione stratigrafica apparentemente semplice con terreni scadenti (V_s media 200 m/s) abbastanza omogenei, schematizzabile come un singolo orizzonte risonante sovrastante il substrato. Le basse velocità di propagazione, unite agli spessori osservati (5-20 metri) appaiono concordi con i picchi spettrali a 1.7-2.6 Hz osservati per i rapporti HVSRT relativi alle stazioni sismiche installate nell'abitato di Firenzuola e lungo l'asse principale della valle. Per la stazione F03, posizionata nella fortezza di Firenzuola, possiamo ipotizzare terreni di copertura con velocità di propagazione media delle onde S (v_s) di 204 m/s, intermedi tra i 174 m/s registrati al sondaggio S07 e i 234 m/s registrati per il sondaggio S06. In questo caso utilizzando la relazione tra la frequenza di risonanza (f_0) e le caratteristiche sismostratigrafiche di un singolo orizzonte risonante si ottiene una profondità della base dell'orizzonte risonante (h) di 25.5 m, in accordo con la media di 22 metri ottenuta dalle indagini down-hole. La convergenza dei risultati per la stazione F03 ci invita ad estendere la valutazione a tutti i siti di misura dove è stato possibile definire la frequenza di risonanza del rapporto HVSRT, applicando un valore medio di 200 m/s per la velocità di propagazione delle onde S dei terreni di copertura, che vede i massimi spessori di 20-25 metri nel centro della valle (in particolare alla stazione F03 e F05) per poi assottigliarsi spostandosi verso nord dove inizia ad affiorare il substrato Caotico e verso sud, dove in corrispondenza dell'attuale corso del torrente Santerno (stazione F04) si attende uno spessore di circa 15 metri.

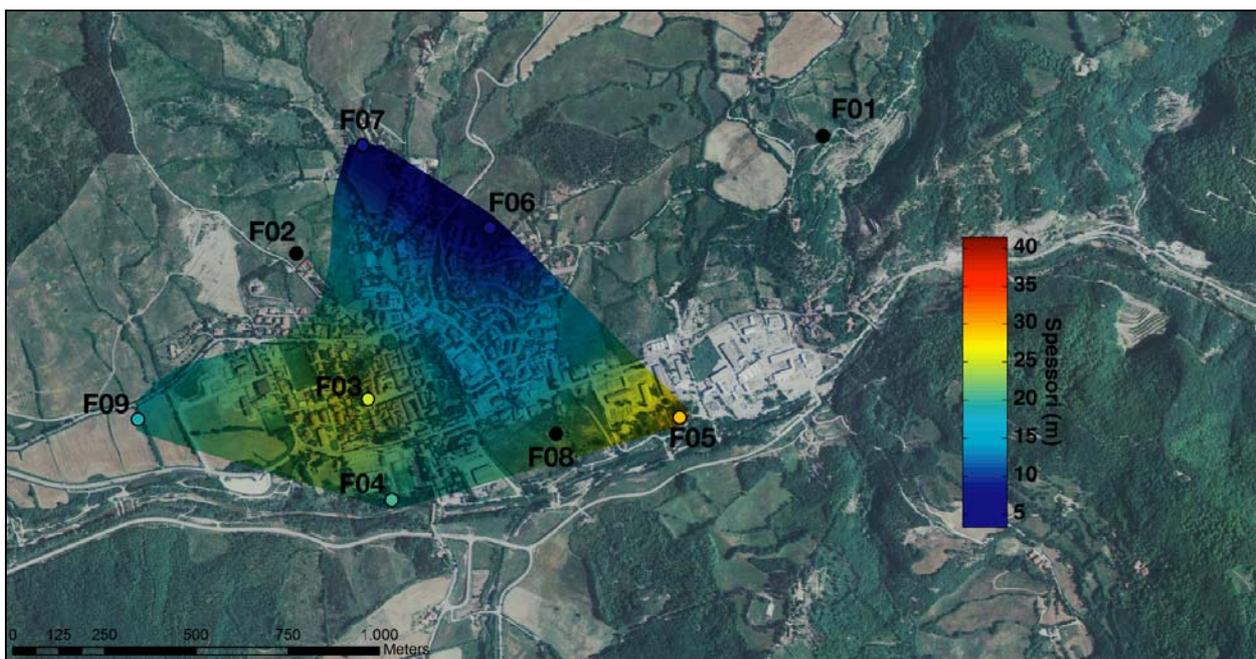


Fig.8.3 - Mappa dello spessore del livello risonante valutato dai picchi spettrali del rapporto HVSRT e assumendo una velocità di propagazione media dei terreni di copertura pari a 200 m/s.

La campagna di acquisizione sismica strumentale effettuata nel comune di Firenzuola ha permesso di definire le caratteristiche principali di amplificazione sismica dell'area, in termini di frequenze di risonanza e ampiezza del fenomeno. Purtroppo il livello di rumore sismico antropico si è rivelato estremamente elevato, sia in termini di ampiezza che di persistenza temporale, inficiando pesantemente l'utilità delle indagini basate sul rumore sismico (HVSR) e limitando quasi esclusivamente l'analisi alle indagini basate sulla registrazione di tracciati sismici (HVSRT, Z/Zref, H/Href).

Le analisi effettuate hanno permesso di identificare una generale amplificazione sismica a bassa frequenza 1.7-2.6 Hz nell'abitato di Firenzuola e lungo l'asse principale della valle del torrente Santerno, legato alla presenza di depositi alluvionali con spessori massimi di 20-30 metri sovrastanti un substrato piuttosto scadente costituito da terreni argillitici riconducibili alla formazione del Caotico. I fenomeni di amplificazione si spostano poi verso frequenze superiori spostandosi verso nord, dove lo spessore dei sedimenti si assottiglia fino all'affioramento del substrato (stazioni F02, F06), e verso sud. In termini di fattore di amplificazione sono le aree a nord e a sud dell'abitato quelle più problematiche, in relazione alle basse frequenze di risonanza che dominano nell'abitato e lungo l'asse principale della valle.

Il rapporto con i dati registrati alla stazione di riferimento posizionata su un substrato molto competente riconducibile alla Formazione Marnoso-Arenacea, ha permesso inoltre di definire un possibile effetto di amplificazione legato alla bassa competenza del substrato scadente affiorante a Firenzuola e riconducibile alla formazione del Caotico, che potrebbe rispecchiare un contrasto di impedenza acustica più profondo.

8.5 – 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 geolitologiche, 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.

Nel DVD allegato, si riporta la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica redatta per la località capoluogo e per tutte le frazioni del Comune di Firenzuola.

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. 8.4, sono riportate le seguenti microzone:

- **zona stabile**, caratterizzata dal substrato roccioso rigido in affioramento o subaffioramento con topografia orizzontale o con pendenza indicativamente inferiore ai 15°. Il substrato rigido è rappresentato nell'area dalla Formazione Marnoso-Arenacea (Membri FMA 5-7-8-13c), Marne di Marmoreo (MMA), Formazione di Monte Morello (MLL), Formazione di Castiglione dei Pepoli (CDP), Formazione del Torrente Carigiola (TCG), Basati (BST). All'interno di tale zone sono stati inseriti anche il substrato granulare cementato costituito dalla Breccie Argillose Poligeniche (BAP). Tuttavia in tutta l'area non sono state mappate diverse zone stabili in quanto tutti i versanti in cui sono affioranti questi substrati rigidi risultano spesso con pendenza superiore ai 15°. Inoltre in corrispondenza di tali aree è possibile la presenza di limitati porzioni di detrito di alterazione del substrato roccioso che andranno valutate nelle successive fasi attuative.
- **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 detritici di versante. Sono state anche fornite indicazioni preliminari circa gli spessori delle coperture e la granulometria prevalente e sono stati indicate anche le aree in cui sono presenti rocce deboli e/o scompagnate (Formazione di Monghidoro MOH; Argille a Palombini APA; Argille Varicolori AVC; Arenarie di Suviana SUV; Marne di Bagno BGN Argilliti con Calcarei AVC; _ che non sempre presentano le caratteristiche di un substrato rigido. La suddivisione delle aree si completa anche con l'indicazione degli eventuali riporti superiori a 2m (comprendenti anche discariche). Di seguito si riporta la successione delle zone:
 - **Zona 1**, caratterizzata da *substrato rigido lapideo stratificato S rigido e granulare cementato*, posto su un 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 non rigido* che non sempre presenta le caratteristiche di substrato rigido, ma che per sua natura (roccia debole) o per il suo grado di fratturazione/alterazione spesso non può essere assimilato ad un bedrock sismico.
 - **Zona 3**, caratterizzata dalla presenza di depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti su un *substrato rigido*. Tale situazione generalmente può essere associata ad un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra coperture e substrato rigido e quindi va valutata con attenzione in quanto potrebbe produrre elevati fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico.
 - **Zona 4**, caratterizzata dalla presenza di depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti su un *substrato non rigido*.
 - **Zona 5**, caratterizzata dalla presenza di depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti sui depositi alluvionali (b) sottostanti. Al di sotto di tali coperture è presente il *substrato rigido*. Pertanto anche tale situazione generalmente può essere associata ad un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra coperture e substrato rigido e quindi va valutata con attenzione in quanto potrebbe produrre elevati fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico.
 - **Zona 6**, caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari di copertura alluvionale (b_I-b_{II}) con spessori massimi di 15m circa poggianti su un *substrato rigido*. Tale situazione generalmente può essere associata ad un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra coperture e substrato rigido e quindi va valutata con attenzione in quanto potrebbe produrre elevati fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico.
 - **Zona 7**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) sui depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti su un *substrato non rigido*.
 - **Zona 8**, caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari di copertura alluvionale (b_I-b_{II}) con spessori massimi di 15m circa poggianti su un *substrato non rigido*.

- **Zona 9**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) sui depositi alluvionali quaternari (b) poggianti su un *substrato non rigido*.
- **Zona 10**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) sui depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti su un *substrato rigido*.
- **Zona 11**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) poggianti su un *substrato rigido*.
- **Zona 12**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) poggianti su un *substrato non rigido*.
- **Zona 13**, caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto antropico (hr) sui depositi alluvionali quaternari (b) poggianti su un *substrato rigido*.
- **Zona 14**, caratterizzata dalla presenza di depositi detritici di versante (a=dt) e/o colluviali (b8) poggianti sui depositi alluvionali (b) sottostanti. Al di sotto di tali coperture è presente il *substrato non rigido*.
- **Zona 15**, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali (b) con spessori massimi di 15m circa. Al di sotto di tali coperture è presente materiale caratterizzato da depositi lacustri e palustri di sottosuolo (e3a) in facies limoso-argillosa e poi prevalentemente granulare poggianti sul *substrato rigido*.
- **Zona 16**, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali (b) con spessori massimi di 15m circa. Al di sotto di tali coperture è presente materiale caratterizzato da depositi lacustri e palustri di sottosuolo (e3a) in facies limoso-argillosa poggianti sul *substrato rigido*.
- **Zona 17**, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali (b) con spessori massimi di 15m circa. Al di sotto di tali coperture è presente materiale caratterizzato da depositi lacustri e palustri di sottosuolo (e3a) in facies limoso-argillosa e poi prevalentemente granulare poggianti sul *substrato non rigido*.
- **Zona 18**, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali (b) con spessori massimi di 15m circa. Al di sotto di tali coperture è presente materiale caratterizzato da depositi lacustri e palustri di sottosuolo (e3a) in facies limoso-argillosa poggianti sul *substrato non rigido*.

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.

- **Zone suscettibili di instabilità.** Sono state distinte esclusivamente le aree instabili connesse a fenomenologie gravitative di versante.

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.

La cartografia MOPS per Firenzuola è riportata integralmente nel DVD allegato.

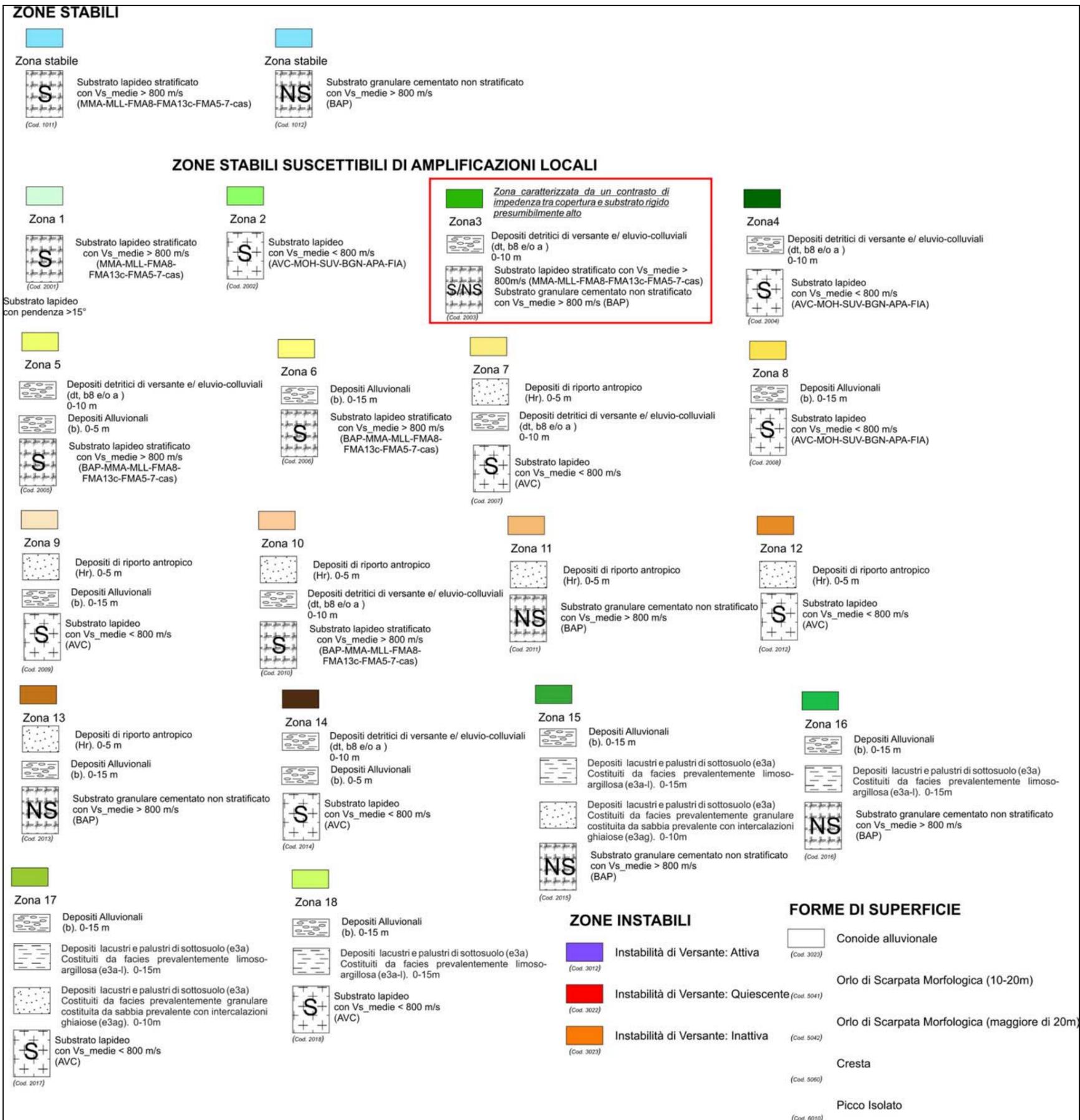


Fig. 8.4 – Legenda alla Cartografia di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS)

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 al capoluogo ed alla limitrofa zona industriale.

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-technica e della cartografia MOPS.

Il modello logico su cui si è basata l'estrapolazione areale dei dati di amplificazione è stato il seguente:

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore di FH;
2. individuazione del modello geologico-technico alla base di ogni valore di FH desunto;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-techniche e MOPS) di analoghe condizioni geologico-techniche su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica per assenza di dati di base;
4. Confronto con 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 in esame sulla base delle seguenti classi:

ZONA A (FH =1; Ft = 1,2): include le aree di affioramento del substrato sismico rigido caratterizzato in area dalla formazione della Marnoso-Arenacea (FMA) e le Breccie Argillose Poligeniche (BAP). 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 Ft = 1.2 (massimo fattore previsto per le aree caratterizzate da categoria topografica T2, ai sensi delle NTC2008);

ZONA B (1 < FH < 1.3): include le aree di affioramento del substrato roccioso non rigido (AVC), di alcuni depositi alluvionali quaternari (b) posti a nord est del capoluogo ed alcuni depositi detritici di versante ubicati ai bordi dei versanti con spessore modesto;

ZONA C (1.3 ≤ FH < 1.5): individua aree di affioramento prevalentemente costituite da depositi alluvionali e detritici di versante in posizione di bordo della valle;

ZONA D (1.5 ≤ FH < 2.0): individua aree di affioramento prevalentemente costituite da depositi alluvionali in posizione di bordo della valle;

ZONA E (2.0 ≤ FH < 2.5): comprende la maggior parte dei depositi alluvionali quaternari in cui al di sotto sono presenti i depositi palustri e lacustri di sottosuolo;

ZONA F (FH ≥ 2.5): riguarda i depositi alluvionali posti in corrispondenza della porzione centrale della valle.

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 Firenzuola. 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 Firenzuola 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 10 a 15 metri, l'area del fondovalle 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 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, spesso anche con 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, D, E ed F = classe di pericolosità sismica S3

Inoltre, si fa presente che, in corrispondenza delle aree di instabilità di versante dovuta a fenomeni gravitativi quiescenti ed inattivi, dovranno essere perimetrate le classi di pericolosità S2 ed 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, D, E ed F (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.

BENVENUTI M. (2003) – *Facies Analysis and tectonic significance of lacustrine fan-deltaic successions in the Pliocene-Pleistocene Mugello Basin, Central Italy*, – *Sedimentary Geology*, Vol.157, pp.197-234, Elsevier, Amsterdam.

BENDKIK A., BOCCALETTI M., BONINI M., POCCIANI C. & SANI F. (1994) – *Structural evolution of the outer Apennine chain (Firenzuola-Città di Castello sector and Montefeltro area, Tuscan-Romagnan and Umbro-Marchean Apennine)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 48: 515-522.

BETTELLI G., BOCCALETTI M., CIBIN U., PANINI F., POCCIANI C. & ROSSELLI S. (2002) – *Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000. Foglio 252 "Barberino di Mugello"*. *Serv. Geol. d'Italia* – Regione Emilia-Romagna.

BULGARINI D'ELCI G., CERTINI L., GABBANI G. & NAPOLEONE G., (1977) – *Primi risultati della misura dell'attività sismica nel bacino del Mugello*. Ateneo parmense.

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.

DE DONATIS M. E MAZZOLI S. (1994) – *Kinematic evolution of thrust-related structures in the Umbro-Romagnan parautochthon (northern Apennine, Italy)*. *Geologica Ultraiectina*, 19, 1-98.

DE JAGER J. (1979) - *The relation between tectonics and sedimentation along the “Sillaro Line” (Northern Apennines, Italy)*. *Geologica Ultraiectina*, 19, 1-98.

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).

- GEMINA (1962) – *Il bacino del Mugello*. In: Ligniti e torbe dell'Italia continentale. Roma, 61-70.
- 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.
- MARTELLI L., POCCIANTI C., BENINI A. & ROSSELLI S. – *Carta Geologica d'Italia a scala 1.50.000, Foglio 253, Marradi*. Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna.
- MINISTERO DELLA INFRASTRUTTURE (2008), D.M. 14/01/2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) – *Norme Tecniche per le Costruzioni*, Roma
- PRINCIPI G. et alii (in prep.) - *Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000. Foglio 263 "Prato"*. Serv. Geol. D'Italia.
- RIPEPE M., MARCHETTI E. et alii (2008) – *La sequenza sismica del Mugello del 1 marzo 2008, registrata dalla rete sismica locale*, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P., STUCCHI M. (eds.), (2011) – *CPT111, the 2011 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Milano,Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/CPT1>).
- SANI F., (1991) – *Rilevamento strutturale della catena appenninica nel settore Firenzuola-Bocca Trabaria*. Mem. Descr. Carta Geol. It., 46: 327-337.
- VANNUCCI G. (1999) – *Individuazioni di strutture attive nell'Appennino centro-settentrionale sulla base di dati macrosismici storici*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Tettonica e Geologia Strutturale, XII Ciclo. Univ. di Camerino, 249 pp.