

Microzonazione sismica degli abitati di Frassinoro e Piandelagotti - Comune di Frassinoro (Provincia di MO)

Indice

<i>Indice</i>	1
<i>Premessa</i>	2
<i>Inquadramento geologico regionale</i>	4
<i>Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica</i>	7
<i>Microzonazione sismica dell'abitato di Frassinoro (capoluogo comunale)-primo e secondo livello</i>	9
Inquadramento geologico.....	9
Carta delle Indagini (primo e secondo livello) e Banca Dati.....	12
Carta lito-morfologica (primo livello).....	14
Sezioni geologiche (primo livello)	15
Carta delle frequenze naturali dei terreni (primo livello).....	18
Carta delle aree suscettibili di effetti locali (o delle microzone omogenee in prospettiva sismica-MOPS) (primo livello)	20
Carta delle Velocità delle onde di taglio (secondo livello).....	21
Carta dei fattori di amplificazione (delle aree in cui sono richiesti approfondimenti di secondo livello).....	22
<i>Microzonazione sismica dell'abitato di Piandelagotti-primo e secondo livello</i>	23
Inquadramento geologico.....	23
Carta delle Indagini (primo e secondo livello) e Banca Dati.....	25
Carta lito-morfologica (primo livello).....	27
Sezioni geologiche (primo livello)	28
Carta delle frequenze naturali dei terreni (primo livello).....	28
Carta delle aree suscettibili di effetti locali (o delle microzone omogenee in prospettiva sismica-MOPS) (primo livello)	30
Carta delle Velocità delle onde di taglio (secondo livello).....	31
Carta dei fattori di amplificazione (delle aree in cui sono richiesti approfondimenti di secondo livello).....	32
<i>Conclusioni</i>	34
<i>Bibliografia</i>	36
<i>Allegato 1 – Report indagini MASW eseguite a Frassinoro e a Piandelagotti</i>	
<i>Allegato 2 – Report misure microtremori a stazione singola eseguite a Frassinoro e a Piandelagotti</i>	

Premessa

La presente relazione descrive gli studi e le indagini che sono stati condotti per la realizzazione della microzonazione sismica degli abitati di Frassinoro e di Piandelagotti, nel territorio comunale di Frassinoro (Provincia di Modena), in attuazione della Delibera di Giunta Comunale n. 140 del 27 settembre 2011.

Più in particolare, oggetto degli approfondimenti sono stati i territori urbanizzati del Centro capoluogo e della frazione di Piandelagotti (Figura 1).

Lo studio che è stato eseguito elaborando sia dati bibliografici e d'archivio che dati originali, è stato condotto in conformità ai criteri, indirizzi tecnici e contenuti di cui agli:

- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS)* approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome (Gruppo di Lavoro MS, 2008, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome-dipartimento della Protezione Civile, 3 Voll e DVD);
- Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007): *Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*;
- *Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica (Secondo livello di approfondimento)* di cui all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907/2010 e s.m.i. e decreto n. 8422 del 10 dicembre 2010 del Capo del Dipartimento della Protezione civile;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Modena (Elaborati del Quadro Conoscitivo e del Piano attinenti agli studi previsti dalla Delibera della Giunta Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2007, nonché indicazioni normative di cui all'art. 14 delle norme del PTCP).

Si è fatto inoltre riferimento alla vasta bibliografia specifica, con particolare riferimento ai contenuti di cui al Supplemento alla Rivista trimestrale Ingegneria Sismica (Anno XXVIII, n.2-2011).

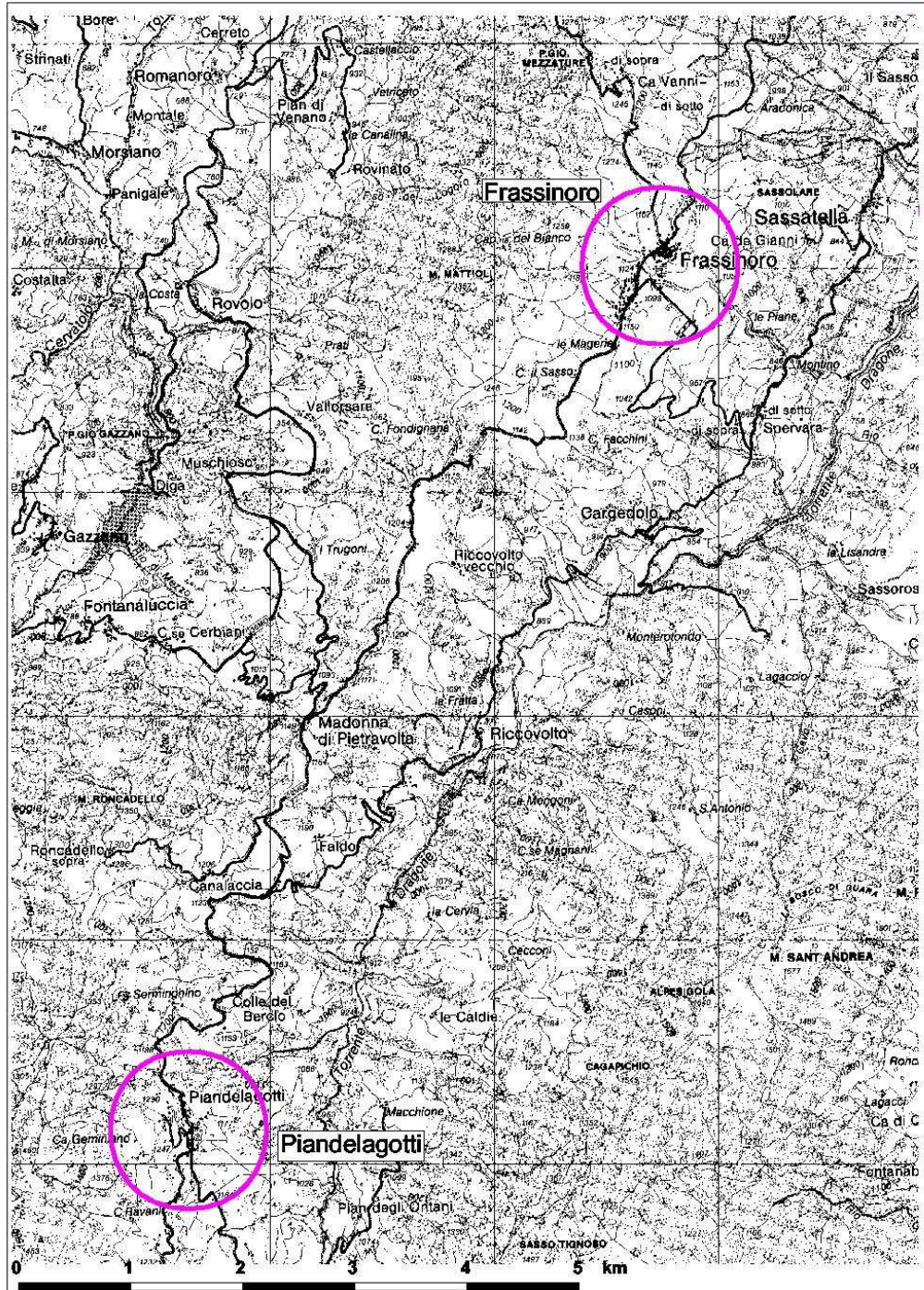


Figura 1 - Inquadramento territoriale (base topografica: estratto da carta topografica regionale alla scala 1:50.000, F° 235)

Inquadramento geologico regionale

Il Comune di Frassinoro si colloca nell'Alto Appennino Modenese (Figura 1), in un settore della Catena Appenninica caratterizzato dalla presenza di unità di pertinenza del dominio toscano, del dominio subligure e del dominio ligure¹.

L'assetto geologico-stratigrafico di questo settore dell'Appennino è alquanto complicato, sia per la presenza di un gran numero di unità tettoniche (derivanti da diverse originarie successioni stratigrafiche) sia per la lunga storia deformativa che tali successioni hanno subito, durante le diverse fasi tettoniche che hanno contraddistinto l'evoluzione della catena appenninica settentrionale fino all'attuale contesto tetto-genetico che evidenzia una conclamata attività sismica di tipo distensivo (sul versante toscano, ma che coinvolgere anche settori dell'alto Appennino Emiliano-romagnolo) e di tipo compressivo (zona pedecollinare e di pianura).

Facendo riferimento alla bibliografia (vedi nota 1), a grandi linee l'assetto strutturale dell'area in esame può essere grossolanamente schematizzato come l'impilamento di una serie di unità tettoniche liguri al di sopra delle unità toscane, con l'interposizione (non sempre riconoscibile su tutta l'area) delle unità subliguri (Figura 3).

Dall'alto verso il basso è stato ricostruito (vedi bibliografia nota 1 e figura 3) il seguente schema di sovrapposizione geometrica delle unità tettoniche valido sostanzialmente per tutto il territorio comunale²:

Unità Monghidoro	Unità Liguri
Unità Venano	
Unità Ofiolitica della Val Baganza	
Unità Caio	
Unità Modino (sottounità Ventasso)	Unità Toscane
Unità Cervarola-Unità Umbre? (Arenarie di Gova)	
Unità Modino (sottounità Pievepelago)	
Falda Toscana	

I rapporti geometrici di sovrapposizione tra le diverse unità tettoniche sono correlati a grandi sovrascorrimenti che, per la natura polifasica della tetto-genesi, possono aver subito a loro

¹ Ove non citato, per la definizione dell'inquadramento geologico di tale areale si è fatto principalmente riferimento ai lavori di AA.VV., 2002-a cura di Plesi G.; AA.VV., 2002-a cura di Bettelli G, Filippo P. e Pizzio M.; Chicchi & Plesi (1992); Daniele et al. (1996); Daniele & Plesi (2000); Plesi et al., 2002; Bettelli et al; 2002 nonché alla Carta Geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo prodotta dalla RER consultabile sul sito cartografico regionale.

² Non sono indicate le unità subliguri che, quando presenti, si interpongono tra le Liguridi e le Unità Toscane.

volta delle deformazioni (basculamenti e ripiegamenti). A complicare un quadro strutturale già piuttosto complicato concorre anche la tettonica più recente, di tipo distensivo che, nell'area in esame, è marcata dalla presenza di alcuni lineamenti cartografici alquanto importanti quali la linea della Santona e il lineamento Interno (cfr. bibliografia di cui alla nota 1).

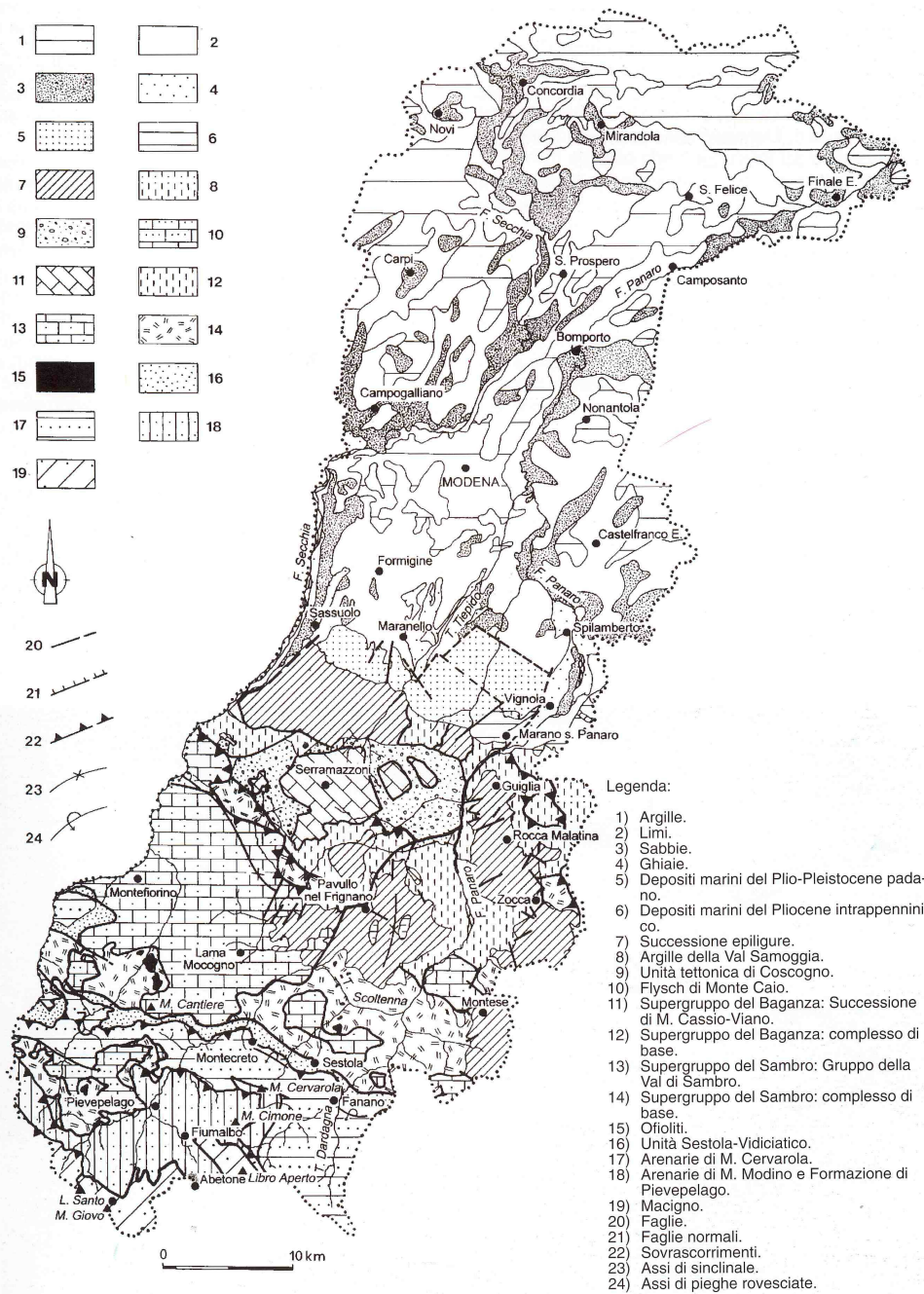


Figura 2 Carta Geologica della Provincia di Modena (Estratto da Capitani & Bertacchini, 1997)

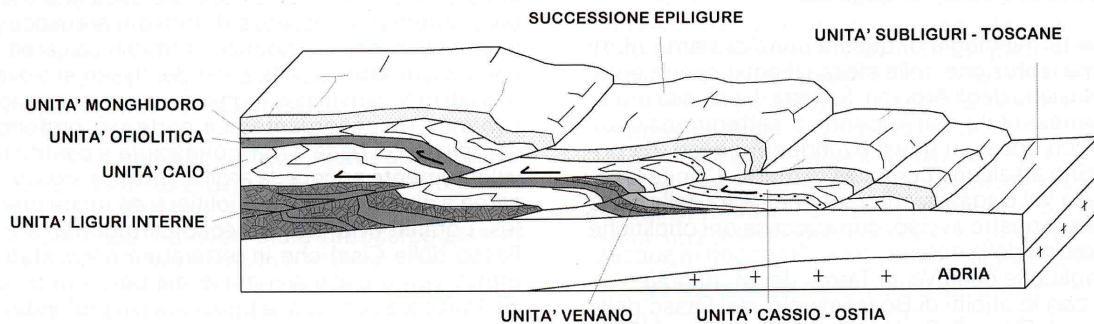


Figura 3 - Schema dell'evoluzione strutturale delle liguridi durante le fasi tettoniche oligo-mioceniche (tratto da Daniele & Plesi, 2000). Lo schema esemplifica i rapporti geometrici tra le diverse unità liguri e la loro sovrapposizione sulle unità toscane e umbro-romagnole (parte bianca nella figura)

Esula dagli scopi della presente relazione sia la descrizione delle diverse unità litostratigrafiche che formano le unità tettoniche sopra richiamate, come pure il loro significato nel contesto geodinamico ed evolutivo della catena appenninica settentrionale. Pertanto si omette la descrizione delle diverse successioni e unità tettoniche presenti nel settore di catena nel quale si colloca il territorio di Frassinoro.

La descrizione dell'assetto geologico locale e delle unità litotecniche (nelle quali si raggrupperanno le unità litostratigrafiche con caratteristiche litologiche e strutturali simili, verrà fatta nei capitoli specifici relativi alla Carta Lito-morfologica delle aree oggetto di indagine.

Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica

La presente indagine è stata redatta seguendo i criteri tecnici contenuti nella Del. G. R. n. 1051 del 18 luglio 2011 (*Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm*) in base alla quale il Comune di Frassinoro è risultato tra i comuni assegnatari di contributi.

A sua volta, il Comune di Frassinoro, ha incaricato gli scriventi per la redazione della microzonazione sismica del capoluogo comunale e della frazione di Piandelagotti (Figura 1)

I criteri tecnici di cui sopra prevedono la realizzazione di uno studio che individua due livelli di approfondimento denominati rispettivamente:

- primo livello di approfondimento;
- secondo livello di approfondimento.

Per il primo livello di approfondimento è prevista la redazione dei seguenti elaborati:

- 1) Carta delle indagini;
- 2) Carta lito-morfologica;
- 3) Carta delle frequenze naturali dei terreni;
- 4) Carta delle aree suscettibili di effetti locali (o delle microzone omogenee in prospettiva sismica-MOPS);
- 5) Relazione illustrativa.

Per il secondo livello di approfondimento è prevista la redazione dei seguenti elaborati:

- 1) Carta delle nuove indagini;
- 2) Carta della velocità delle onde di taglio;
- 3) Carta dei fattori di amplificazione;
- 4) Relazione illustrativa.

Tenuto conto che, pur presentando una disposizione geometrica piuttosto articolata, i territori urbanizzati e urbanizzabili riferibili alle due aree di indagine non sono molto estesi e, soprattutto, per una migliore sintesi e possibilità di lettura organica degli elaborati, si è optato per

- riunire in un unico elaborato la Carta delle indagini e la Carta delle nuove indagini;
- riunire in un unico documento, (descrivendo comunque i diversi argomenti in capitoli e paragrafi specifici) sia la Relazione illustrativa del Primo Livello di approfondimento che quella illustrativa del Secondo Livello di approfondimento.

Gli argomenti verranno trattati in due capitoli separati relativi uno al capoluogo e l'altro alla



frazione di Piandelagotti; ciò anche per tenere conto delle diverse caratteristiche geologiche che contraddistinguono le due aree oggetto dello studio.

Microzonazione sismica dell'abitato di Frassinoro (capoluogo comunale)- primo e secondo livello

Inquadramento geologico

Un inquadramento geologico-strutturale generale dell'area del capoluogo è deducibile dalla carta di Plesi et al. (2002) (Figure 4, 5 e 6) nonché dal foglio n. 235 della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

La dorsale del Monte Modino di Frassinoro (sul cui versante est sorge l'abitato) è descrivibile in sezione come formata dall'impilamento di alcune unità liguridi esterne (Figura 6).

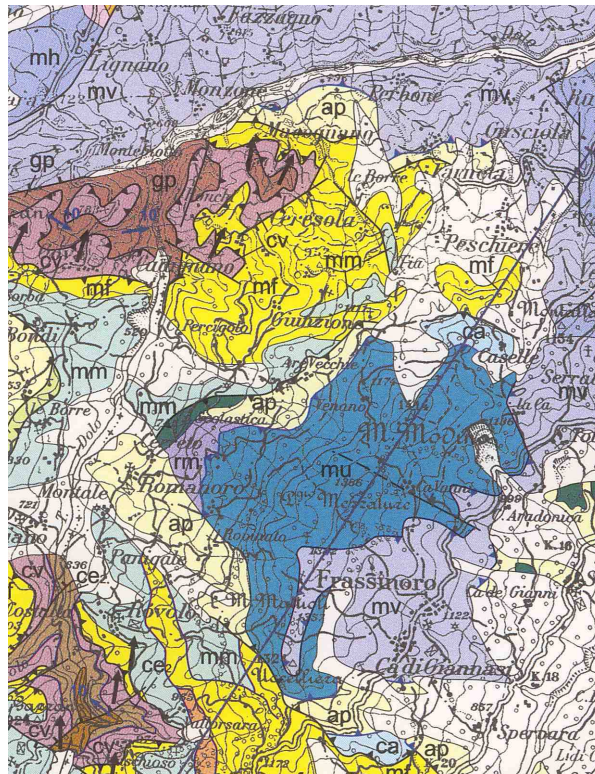


Figura 4 - Estratto da Plesi et al., 2002 - Per la legenda dei simboli si rimanda alla Figura 5 che segue: mv-Formazione di Monte Venere; mu-Arenarie di Poggio Mezzature e argilliti dell'Uccelliera; ap-Argille a palombini; of-offoliti e breccie offolitiche; mf-Marne di Marmoreto e Argille di Fiumalbo; mm-Melange delle tagliole.

Più in particolare, dall'alto verso il basso, si riconosce la presenza:

- dell'Unità Venano (Arenarie di Poggio Mezzature e Argilliti dell'Uccelliera) che formano la sommità della dorsale del Monte Modino
- dell'Unità Monghidoro (Formazione di M. Venere) che costituisce il substrato roccioso del

- primo sottosuolo del settore di versante sul quale sorge il capoluogo;
- dell'Unità ofiolitica della Val Baganza (argille a Palombini, Ofioliti e brecce ofiolitiche) la cui presenza in affioramento è segnalata nella Carta Geologica Regionale circa un chilometro a sud e a nord est del centro del capoluogo.

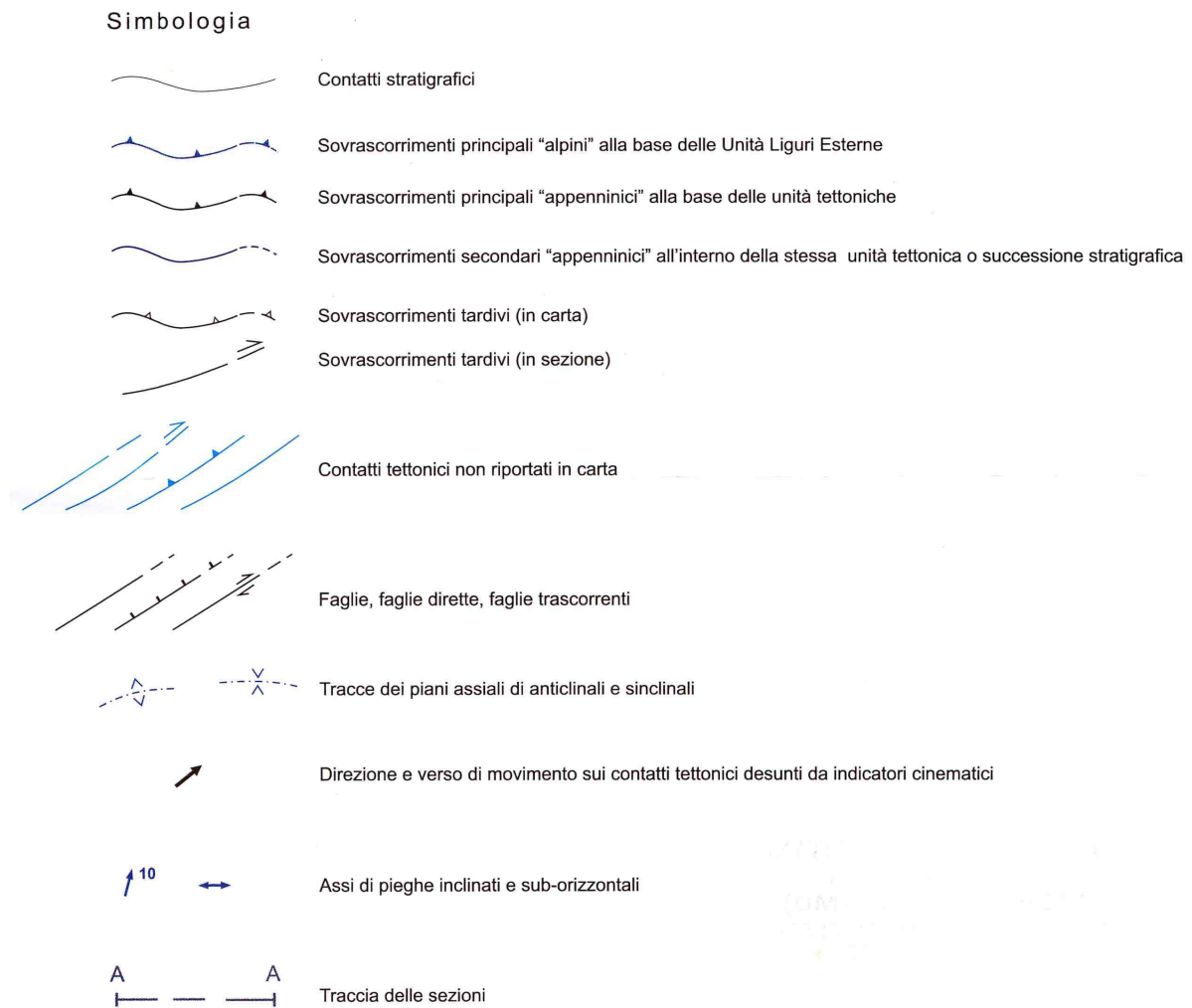


Figura 5 - Estratto da Plesi et al., 2002, Legenda dei simboli

Nell'area dell'abitato, il substrato lapideo è visibile sporadicamente in affioramento, soprattutto nei punti maggiormente acclivi o nelle incisioni, qualora non sia mascherato dal suolo o da detriti superficiali.

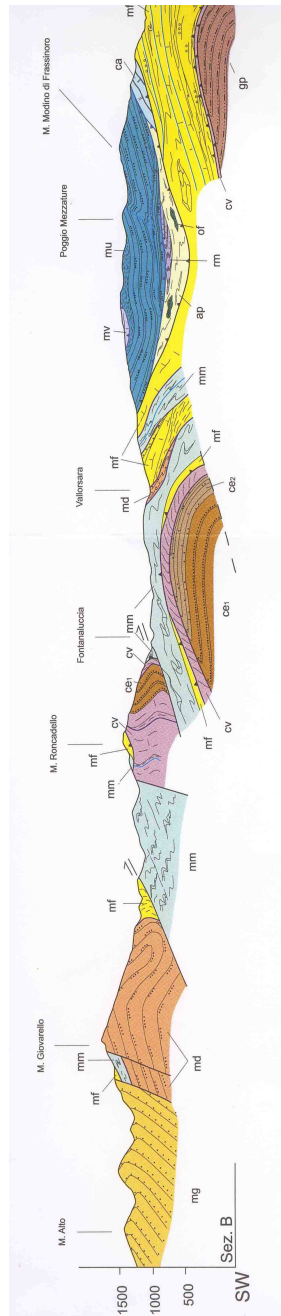


Figura 6 – Sezione geologica lungo la dorsale del Monte Modino di Frassinoro (Estratto da Plesi et al., 2002)

Dal punto di vista litotecnico, il substrato lapideo ascrivibile alla Formazione di Monte Venere è descrivibile come alternanze di livelli lapidei (L) e livelli pelitici (P) caratterizzate da rapporto $1/3 < L/P < 3$. Per l'area in esame non sono disponibili classificazioni geomeccaniche; i dati della carta geologica evidenziano che molti assetti (qualora la polarità sia interpretabile)

sono rovesciati, ad indicare un evidente grado di complessità strutturale, per lo meno alla scala cartografica.

Al di sopra del substrato lapideo sono spesso presenti coltri detritiche eluviali o eluvio-colluviali, di spessore variabile da pochi decimetri a diversi metri, comprendenti anche la porzione superficiale pedogenizzata. Nei log geognostici, derivanti da prove penetrometriche, ma a volte anche nei sondaggi a carotaggio, non sempre è possibile distinguere questi detriti superficiali dalla parte meno profonda della formazione in posto, qualora questa presenti un certo grado di decompressione e alterazione.

Solo una piccola porzione del territorio urbanizzato, che tra l'altro non è in continuità con il resto dell'abitato, posta nei pressi della località "Il Sasso", presenta un substrato di base costituito da rocce argillitiche con tessitura a "blocchi in pelite" ascrivibile alla formazione delle Argille a palombini. In questo caso, però, l'unità non è direttamente visibile in affioramento in quanto l'area fa parte di un settore di versante sul quale insiste un accumulo di frana quiescente (cfr. Carta Lito-Morfologica).

Carta delle Indagini (primo e secondo livello) e Banca Dati

Come già accennato in precedenza, la Carta delle Indagini riunisce in un unico documento cartografico la localizzazione delle indagini geognostiche e geofisiche reperite presso l'archivio comunale, nonché le nuove indagini geofisiche che sono state eseguite ad integrazione. La Carta è stata redatta in scala 1:5000 utilizzando come base la Carta Lito-Morfologica (cfr più avanti). In legenda sono pertanto riportate anche le simbologie pertinenti agli aspetti lito-morfologici (formazioni litostratigrafiche, coperture, assetti degli strati), nonché i perimetri relativi al territorio urbanizzato e urbanizzabile.

Complessivamente, per l'abitato di Frassinoro sono state ubicate 75 indagini geognostiche e/o geofisiche, delle quali 7 sono indagini geofisiche di nuova realizzazione (3 indagini sismiche MASW e 4 misure di microtremori a stazione singola (Allegati 1 e 2).

La maggioranza delle indagini (47) sono prove penetrometriche dinamiche (DPL, DPM e DPSH) che nel data base in formato digitale sono individuate con la sigla F³, maiuscola, seguita da un numero progressivo.

Sono state inoltre reperite:

- le stratigrafie di 4 sondaggi a rotazione (sigla FS seguita da un numero

³ Per l'abitato di Piandelagotti sono indicate da una lettera P maiuscola.

progressivo);

- le descrizioni di 3 scavi o trincee (sigla FT seguita da un numero progressivo);
- i report relativi a 9 misure di microtremori a stazione singola (sigla HVF seguita da un numero progressivo) alle quali si aggiungono le 4 nuove;
- i report relativi a 5 stese sismiche con metodologie MASW (sigla MF seguita da un numero progressivo) alle quali si aggiungono le 3 nuove.

Nel complesso, le indagini disponibili sono distribuite in maniera abbastanza omogenea, tuttavia disomogeneità si riscontrano nella distribuzione della qualità dei dati. In alcuni settori prevalgono indagini penetrometriche dinamiche leggere o medie - DPL e DPM che, per la loro natura, non permettono di verificare, anche in maniera approssimativa, lo spessore della parte alterata e/o decompressa della formazione in posto, in quanto si arrestano tutte a bassa profondità.

Delle indagini geognostiche (prove penetrometriche, sondaggi, ecc.), per un totale di 54, oltre la metà (29) ha raggiunto una profondità compresa nell'intervallo tra 5 e 10 m dal piano campagna, 7 hanno superato i 10 m di profondità, mentre le restanti (prove penetrometriche leggere e medie, nonché gli scavi in trincea) hanno raggiunto una profondità inferiore ai 3 m.

Nella Carta delle indagini è stata utilizzata una doppia simbologia per identificare le singole prove o sondaggi geognostici puntuali.

Per le indagini puntuali, la stessa simbologia (un punto) identifica attraverso un colore diverso il tipo di sondaggio (prova penetrometrica DPL, DPSH, trincea, scavo, microtremori a stazione singola, ecc.); un altro simbolo (che racchiude il simbolo colorato identificativo del tipo di prova) indica invece la profondità raggiunta.

Un unico simbolo puntuale identifica la posizione dei siti di misura di microtremori a stazione singola (H/V o HVSR).

Per le indagini lineari (MASW) il diverso colore distingue se si tratta di prove da archivio comunale o di nuova esecuzione.

* * *

Le informazioni relative alle indagini sono state tutte scansionate e per ciascuna di esse è stato realizzato un file (in formato .pdf) (Banca dati). La stragrande maggioranza delle indagini sono di tipo "riservato", nel senso che non sono a corredo di progetti o interventi di iniziativa pubblica, ma di privati. Nella banca dati in formato elettronico, che è stato compilato come da specifica richiesta contenuta nell'Allegato C alla Delibera di Giunta Regionale n.

1051 del 18 luglio 2011, sono state specificatamente individuate le prove di tipo riservato distinguendole da quelle a supporto di progetti pubblici.

Carta lito-morfologica (primo livello)

Come indicato nei *Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica*, la Carta lito-morfologica deriva dalla revisione dei rilievi geologici e geomorfologici disponibili. Nel caso in esame si è fatto riferimento principalmente ai seguenti lavori disponibili:

- Carta Geologica regionale alla scala 1:10.000 (disponibile sul sito web cartografico del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione emilia-romagna);
- carte tematiche allegate alle Relazioni Geologiche di supporto alla Variante Generale e a Varianti parziali al Piano Regolatore Generale vigenti (a cura dello Studio Geologico Ambientale Arkigeo-Dott. Geol. G. Gasparini e Prof. A. Rossi- e dello Studio Tecnico Associato FOR.GEO – Dott. Geol F. Parmegiani e Dott. Geol. P. Pallante-);
- Carta Geomorfologica allegata allo studio geologico eseguito per la realizzazione della strada “tangenziale” di Frassinoro (Strada Gronde del Mare) (a cura dello Studio Geologico Ambientale Arkigeo-Dott. Geol. G. Gasparini e Prof. A. Rossi);
- Indagini geognostiche di cui si è parlato nel capitolo precedente a proposito *della Carta delle Indagini*.

Dalle informazioni esaminate, e dai sopralluoghi, si evince che la Formazione di Monte Venere è visibile in affioramento in esposizioni limitate a tagli stradali, scavi o in incisioni di fossi e rii.

Quasi ovunque il substrato formazionale è mascherato dalla presenza, oltre che del suolo, da detriti di versante, spesso riconducibili a depositi eluviali e/o colluviali, di spessore che può raggiungere i 5-7 metri, ma che localmente, quando probabilmente la natura dei depositi è di tipo gravitativo o di difficile attribuzione genetica, può raggiungere anche i 13-15 m. In linea generale, si tratta di depositi eterometrici, costituiti da frammenti lapidei (calcareniti e arenarie) in matrice limo-argillosa. La Formazione di Monte Venere è visibile principalmente nella parte est-sud est dell'area rappresentata in carta, laddove tagli stradali, o la maggiore acclività, permettono localmente l'osservazione di affioramenti di estensione. In tali esposizioni è possibile effettuare anche misure di assetti di strato nei quali spesso, tuttavia, non è facilmente risolvibile la polarità.

Data pertanto la pressoché diffusa presenza di coltri detritiche di spessore comunque quasi sempre superiore a 2-3 m, alle quali va aggiunto un ulteriore spessore di formazione in

posto alterata e/o decompressa, si può affermare che tutti i settori del territorio urbanizzato/urbanizzabile del capoluogo sono identificabili come aree potenzialmente soggette a fenomeni di amplificazione locale per cause stratigrafiche, ad esclusione della già citata piccola porzione di territorio (non in continuità con il resto dell'abitato) presso la località *Il Sasso* (a sud ovest rispetto il resto del paese). Qui, il substrato è formato dalle Argille a palombini, sulle quali insiste un accumulo di frana complessa (classificata quiescente dalla Carta Geologica regionale nonché dalle carte specifiche del dissesto allegata al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Modena). Quest'ultimo areale si configura come area instabile ai fini della microzonazione sismica.

La Carta lito-Morfologica, oltre alle informazioni relative alla litologia del substrato e alle coperture riporta la localizzazione delle indagini geognostiche che, sono state largamente utilizzate per integrare le conoscenze sulle quali si è basata la sua redazione, nonché la redazione delle sezioni geologiche ubicate anch'esse sulla Carta in parola.

Sezioni geologiche (primo livello)

Come tutte le sezioni geologiche, anche quelle riportate nella tavola specifica allegata, sono da considerare il risultato di un lavoro largamente interpretativo, basato sulle informazioni disponibili. Nelle sezioni geologiche si è cercato di fornire un quadro qualitativo dell'assetto geologico strutturale locale (basato sulle poche informazioni giaciture disponibili) e si è cercato di evidenziare l'andamento degli spessori della copertura superficiale significativa per le finalità della microzonazione sismica.

L'assetto strutturale, così come descritto nelle sezioni, è stato interpretato secondo un approccio conservativo, basandolo esclusivamente sui dati al contorno disponibili e riportati nella Carta lito-morfologica. Si è pertanto assunto che il versante sul quale sorge l'abitato sia caratterizzato dalla presenza di un elemento tettonico, costituito dalla Formazione di Monte Venere, in giacitura rovesciata. È noto, tuttavia, ma non vi sono elementi per affermarlo o smentirlo per l'area in esame, che in diverse aree la Formazione di Monte Venere presenta strutture plicative, sia alla scala dell'affioramento che a quella cartografica che contribuiscono a complicarne la comprensione dell'assetto strutturale.

Per quanto riguarda invece gli spessori delle coperture superficiali indicate nelle Sezioni geologiche si è fatto riferimento, oltre che a considerazioni cartografiche, alle informazioni geognostiche. Lo spessore indicato in sezione non è tuttavia ascrivibile alle sole coperture, ma comprende anche la porzione di formazioni in posto alterata e/o decompressa che per gli

scopii del presente lavoro viene assimilata alla copertura detritica (come anche indicato nella DAL 112/2003 della Regione Emilia-Romagna). Di fatto, la distinzione tra copertura detritica propriamente detta e formazione in posto alterata non è semplice, soprattutto nei sondaggi penetrometrici. Come approccio di lavoro, comunque implementabile, l'interpretazione dei diagrammi penetrometrici è stata basata sul grafico che riporta il numero di colpi in funzione della profondità di avanzamento. Solitamente, soprattutto nelle prove DPSH che raggiungono profondità maggiori, il diagramma delle prove eseguite in area può essere suddiviso in tre parti (Figura 7):

- 1) parte superficiale, nella quale il numero di colpi necessario per un avanzamento di 20 cm varia poco e pertanto il grafico tende ad essere approssimabile ad una retta verticale o comunque poco inclinata;
- 2) parte centrale, nella quale il grafico può essere assimilato ancora ad una retta verticale oppure ad una retta evidentemente inclinata, ma che in ogni caso evidenzia un aumento deciso e brusco, rispetto alla parte superficiale, del numero di colpi necessario all'avanzamento di 20 cm. Localmente possono essere presenti picchi del numero di colpi, ad indicare l'attraversamento di un orizzonte particolarmente resistente, ma che comunque non danno luogo a rifiuto strumentale alla penetrazione;
- 3) parte profonda, generalmente caratterizzata da spessori attraversati limitati a pochi decimetri in quanto sopraggiunge il rifiuto strumentale alla penetrazione preceduto da un incremento significativo dell'energia necessaria per un avanzamento anche di pochi centimetri.

L'approccio interpretativo che è stato adottato prevede di assimilare la parte superficiale (Figura 7) alla coltre detritica, la parte centrale alla formazione in posto alterata e decompressa, compreso un eventuale spessore di detrito "meno recente" più compattato, e la parte profonda alla formazione in posto poco alterata e/o decompressa o inalterata. Tale approccio interpretativo è basato sull'assunto che la prova penetrometrica abbia attraversato tutta la coltre detritica e la porzione decompressa della formazione in posto e che non vi siano massi erratici di grandi dimensioni sepolti (si veda sondaggio FS1).

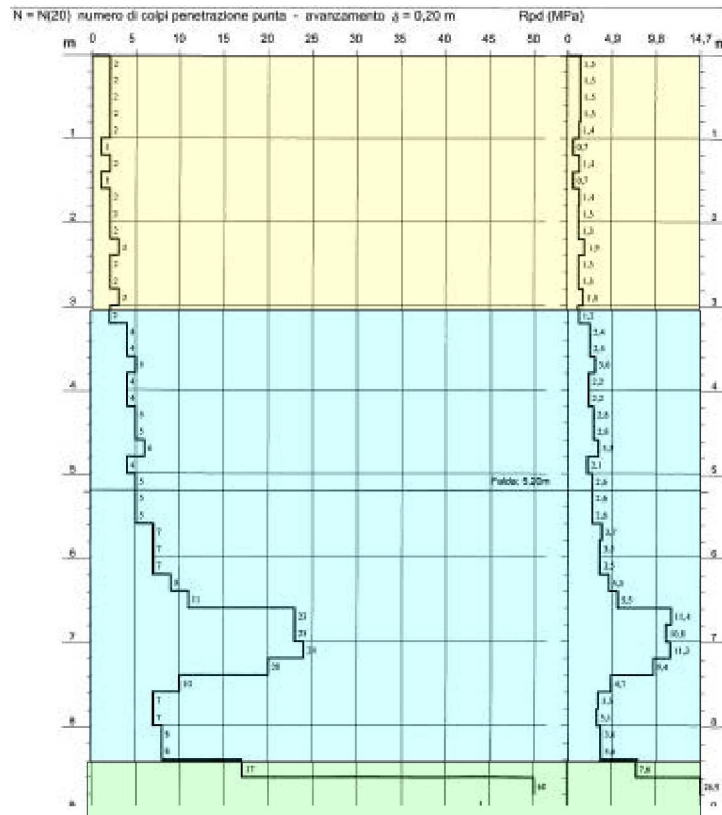


Figura 7 – Esempio di prova penetrometrica DPSH interpretata: in giallo, parte superficiale, ascrivibile alla coltre detritica superficiale comprensiva di eventuale suolo; in celeste, parte intermedia interpretata come parte profonda, più resistente della coltre detritica e porzione alterata e/o decompressa della formazione in posto; in verde, parte profonda caratterizzata da repentino e forte aumento della resistenza con raggiungimento del rifiuto strumentale entro pochi decimetri, assimilata alla formazione in posto poco alterata e decompressa (nell'ipotesi di assenza di massi erratici di grandi dimensioni sepolti).

Tenuto conto di tale approccio interpretativo dei sondaggi penetrometrici⁴, nelle sezioni geologiche lo spessore indicato per la coltre detritica di versante va considerato come la somma di quello del detrito in senso stretto più quello della porzione meno profonda della formazione in posto alterata e decompressa.

⁴ Per la natura prettamente dipendente dall'energia in gioco delle prove dinamiche, l'approccio interpretativo descritto può essere applicato solo alle prove DPSH, in quanto le prove DPL e DPM si arrestano ad una profondità decisamente minore e molto probabilmente attraversano (spesso non completamente) solo la coltre detritica superficiale che, per sua natura, essendo composta anche da frammenti rocciosi di dimensioni da pluricentriche a decimetriche, può dare luogo a rifiuto strumentale.

Carta delle frequenze naturali dei terreni (primo livello)

Nella Carta sono riportate le ubicazioni dei punti dove sono state eseguite misure di microtremore a stazione singola (tecnica H/V, HVSR o di Nakamura) per la determinazione della frequenza propria dei suoli. Per l'abitato di Frassinoro sono state reperite 8 misure da archivio comunale alle quali si sono aggiunte altre quattro misure di nuova esecuzione.

In linea generale, i grafici del rapporto H/V presentano (con locali eccezioni) picchi caratterizzati da ampiezze non particolarmente marcate (comprese tra 2 e 3), che suggerirebbero la presenza di interfacce caratterizzate da contrasti di impedenza non particolarmente marcati. Molto spesso, poi, i grafici del rapporto H/V non presentano un unico o al limite due picchi, bensì una serie (4, 5 o più con ampiezze paragonabili l'una all'altra) nell'intervallo di frequenza 0-25Hz. In questi casi, disponendo solo dei grafici "cartacei" e non potendo eventualmente procedere con elaborazioni ulteriori, non è possibile verificarne l'affidabilità secondo i criteri del progetto SESAME (AA.VV., 2004) o attraverso l'osservazione del grafico delle singole componenti (Albarello & Castellaro, 2011) senza introdurre un forte elemento di soggettività, non suffragata da dati, nell'interpretazione. Pertanto, nella compilazione della carta si è adottato un approccio conservativo, facendo riferimento al picco di maggior ampiezza o comunque indicato come frequenza fondamentale dall'operatore che aveva eseguito le misure.

Tenuto conto di quanto appena detto, un elemento interessante che occorre comunque evidenziare, riguarda la gran parte delle registrazioni di microtremori a stazione singola eseguite nei settori centrali e nord occidentali dell'abitato, cioè i settori posti più a monte. In tali registrazioni, si nota pressoché sempre la presenza di un picco tra i 2 e i 3 Hz. Tale picco, qualora non rappresenti il picco a maggior ampiezza è comunque solitamente il secondo dopo il picco "principale" di ampiezza tra i 3 e i 5 Hz. Se si tiene conto delle velocità dei terreni e delle rocce presenti in zona, per le quali tale picco approssimativamente dovrebbe essere riferito a un contrasto di impedenza posto a una profondità superiore ai 40-50 m, ne consegue una sua interpretazione poco verosimile in termini di copertura su basamento, ma piuttosto di un contrasto di impedenza interno alla formazione di Monte Venere, ad esempio legato ad cambio di facies litologica o formazionale o a un assetto strutturale diversi, o in alternativa a un picco del rapporto H/V legato a fattori topografici, visto che molte delle misure non presentano uniformità direzionale.

Da notare, infine, che nei settori più a valle (a sud est) l'elaborazione delle misure di microtremori hanno fornito valori mediamente più alti della frequenza fondamentale e non

presentano picchi minori significativi nell'intervallo 2-3 Hz, a suggerire la presenza di un maggior spessore di coperture superficiali (e/o di formazione in posto alterata e decompressa).

Come richiesto dalle specifiche tecniche contenute nei Criteri Regionali, la Carta delle frequenze è stata redatta impostando anche uno strato informativo areale nel quale si individuano settori caratterizzati da valori diversi delle frequenze rilevate⁵. Tenuto conto del numero delle informazioni disponibili e del fatto che, soprattutto in territori montani, ci si deve attendere una certa variabilità laterale, anche repentina, negli spessori delle coperture che possono dare contrasti di impedenza, non si è proceduto all'interpolazione dei dati puntuali, ma piuttosto le delimitazioni tra i diversi areali sono state delineate grossolanamente sulla base di considerazioni morfo-geologiche una volta definita la distribuzione puntuale dei valori dei picchi massimi del rapporto H/V.

Si nota infatti che le misure eseguite nella parte del paese posta più a monte e a nord sono caratterizzate da picchi massimi del rapporto H/V in coincidenza di valori di frequenze più bassi (inferiori a 5Hz) con una fascia a cavallo della via principale del paese caratterizzata da frequenze inferiori a 3 Hz, coincidente con settori mediamente più acclivi e con coperture superficiali con minore spessore relativo, rispetto la parte a quote più alte, caratterizzata da frequenze dell'ordine di 3-5 Hz, nella quale le morfologie sono mediamente meno pronunciate e gli spessori superficiali sono relativamente più alti.

Come già anticipato, nei settori sud e orientali dell'abitato (Ca' di Giannasi, Il Sasso), i valori del picco massimo del rapporto H/V risultano in corrispondenza di frequenze superiori ai 5Hz. Si tratta di quei settori dove le indagini geognostiche indicano spessori della coltre superficiale relativamente più alti (anche oltre i 10 m) o la presenza di accumuli franosi, che probabilmente comportano un contrasto di impedenza meno profondo (interfaccia di appoggio tra detriti e roccia di base), ma in generale più marcato.

Vi è pertanto un'apparente contraddizione: laddove vi sono coperture superficiali di minor spessore si rilevano valori di frequenza minori, solitamente indicatori di contrasti di impedenza più profondi.

⁵ Gli intervalli di frequenza non corrispondono a quelli indicati nell'Allegato B alla Deliberazione della Giunta Regionale 1051 del 18 luglio 2011, ma fanno riferimento ad una proposta posteriore di suddivisione in classi suggerita con l'Ufficio Geologico Sismico e dei Suoli regionale così suddivisa A-nessun picco significativo; B $f_o < 0,5$ hz; C $0,5\text{Hz} < f_o < 1$ Hz; D $1\text{Hz} < f_o < 2\text{Hz}$; E $2\text{Hz} < f_o < 3\text{Hz}$; F $3\text{Hz} < f_o < 5\text{Hz}$; G $5\text{Hz} < f_o < 8\text{Hz}$; H $f_o > 8\text{Hz}$.

Carta delle aree suscettibili di effetti locali (o delle microzone omogenee in prospettiva sismica-MOPS) (primo livello)

Rappresenta l'elaborato cartografico riassuntivo delle indagini del primo livello di approfondimento. In essa il territorio dell'abitato di Frassinoro è suddiviso in due zone stabili suscettibili di amplificazione locale (Zona 1 e Zona 2), caratterizzate da un diverso modello geologico di riferimento (Figura 8), alle quali si aggiunge una Zona Instabile.

Le Zone stabili suscettibili di amplificazione sono in questo caso aree caratterizzate:

- da assenza di elementi di dissesto geomorfologico;
- da valori di acclività contenuti (che superano localmente i 15° in tratti di versante che però non presentano differenze di quota superiori ai 30 m);
- da spessore della copertura detritica superficiale (compresa la parte alterata di substrato formazionale) superiore ai 5 m (Figura 8)

e che pertanto possono essere suscettibili di fenomeni di amplificazione del moto sismico per cause litologiche (o stratigrafiche) per la presenza di una copertura superficiale di spessore apprezzabile che presenta un caratteristiche di rigidità (o impedenza sismica) diverse e di minore valore rispetto al substrato sul quale s'appoggia.

La suddivisione in Zona 1 e Zona 2 è basata sulla stima dello spessore della copertura che, secondo i dati geognostici, è maggiore nella parte sud e sud est dell'abitato.

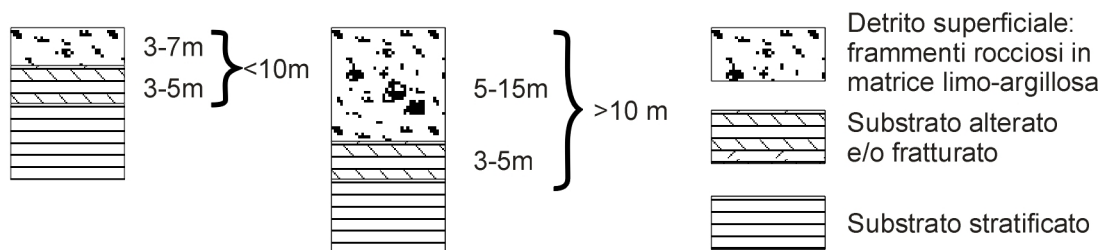


Figura 8 – Modelli geologici per la Zona 1 (a sinistra) e per la Zona 2 (a destra) relativi alle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale dell'abitato di Frassinoro.

Riguardo all'assenza di elementi d'instabilità morfologica, occorre evidenziare come in un solo sondaggio a rotazione (PS1), che si localizza nella parte sud est dell'abitato (zona produttiva), si è riconosciuta l'evidenza della presenza di masse rocciose di grosse dimensioni sepolte. Il sondaggio, infatti, ha attraversato all'incirca ad una profondità compresa tra 10 e 15 m dal p.c. materiali con caratteristiche del tutto compatibili con la Formazione di Monte Venere (substrato formazionale), ma tra i 15 e i 16,3 m dal p.c. un

livello di detriti rocciosi in matrice argillosa (tessitura del tipo blocchi in matrice tipica degli accumuli per gravità) che se non si vuole interpretare come un deposito infraformazionale, poco noti all'interno della Formazione di Monte Venere, ma come deposito di versante, comporta la necessaria ipotesi di interpretare le rocce soprastanti come facenti parte di un enorme blocco o masso erratico sepolto.

Oltre alle Zone 1 e 2, la carta delle MOPS individua una zona instabile, presso la località Il Sasso, per la presenza dei depositi ascrivibili a un accumulo di frana complessa quiescente, che si estende ben al di fuori (sia a monte che a valle), del perimetro del territorio urbano. Per tale zona instabile si rimanda la valutazione degli effetti sismici locali a un eventuale III livello di analisi, mentre tutta la restante parte del paese è da assoggettare ad un II livello di approfondimento.

Carta delle Velocità delle onde di taglio (secondo livello)

La Carta, che come la Carta delle Indagini, è stata realizzata utilizzando come base la Carta Lito-morfologica, riporta tutti i punti nei quali sono state eseguite delle rilevazioni per la determinazione del profilo verticale della velocità delle onde S (Vs). Si tratta pertanto di indagini MASW e/o di misure di microtremori a stazione singola elaborate vincolando lo spessore e/o la velocità di almeno uno strato (generalmente lo strato più superficiale) sulla base di conoscenze disponibili da indagini geognostiche o da studi in aree limitrofe. Per quanto riguarda le nuove misure di microtremori a stazione singola, l'elaborazione per la determinazione del profilo verticale di velocità (condizionata da assunzioni piuttosto importanti) è stata eseguita solamente quell'unica misura (presso la località Il Sasso) dove non è stata eseguita anche la stesa con metodologia MASW. Negli altri casi si è fatto riferimento alla MASW eseguita sul medesimo sito.

In linea generale, se si fa riferimento al parametro VS30 (classificazione del sottosuolo secondo le categorie di cui al punto 3.1.2 del DM 14 gennaio 2008) si rileva che i terreni presenti nell'abitato di Frassinoro sono inquadrabili generalmente nella categoria B con valori del VS30 compresi sostanzialmente tra 450 e 600 m/s. In realtà, nei modelli si riscontrano delle variazioni ripetute di velocità (contrastati d'impedenza) che suggeriscono l'opportunità dell'utilizzo di un parametro VSh, definito sostanzialmente come il VS30, ma ponderando la velocità media sullo spessore (h) tra la superficie e la profondità del contrasto d'impedenza come riportato nella Carta delle velocità delle onde di taglio.

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

I più volte citati Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica (Del. di G. R. 1051 del 18 luglio 2011) prevedono che vengano realizzate le carte dei fattori di amplificazione sia in termini di FA e FV (ICMS, Vol. 2, Parte III, per mezzo degli *Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici* di cui al Cap. 3.2) sia in termini di FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,5-1,0s}$ (Allegato A2, punto A2.2 di cui agli indirizzi regionali contenuti nella DAL 112/2007).

Per il caso in esame e, in generale, per i comuni collinari/montani, gli abachi di cui agli ICMS non possono essere applicati, in quanto i modelli geologici non possono essere assimilati a presenza di sottosuoli costituiti da sedimenti prevalentemente argillosi, sabbiosi o ghiaiosi. Pertanto sono state prodotte solo le carte in termini di FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,5-1,0s}$ di cui agli indirizzi regionali

Dall'applicazione delle tabelle regionali si perviene alla suddivisione del territorio dell'abitato in termini di FA_{PGA} in soli due settori con valori del fattore di amplificazione pari a 1,5 nel settore più nord occidentale (più a monte) e di 1,7 a sud est. A tal proposito, si ricorda che già nella DAL 112/2012 si evidenzia l'elevata probabilità che la valutazione dei fattori di amplificazione attraverso le tabelle può portare ad una sovrastima dei valori. A conferma di ciò, si ricorda che il Comune di Frassinoro ha commissionato nel recente passato, delle indagini per l'adeguamento sismico del Municipio e di una Scuola, nelle quali le valutazioni dei fattori di amplificazione per mezzo di codice di calcolo hanno portato a determinazioni più basse del coefficiente di amplificazione sia in termini di FA_{PGA} che di $FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,5-1,0s}$, con differenze di circa 0,3-0,4 in meno rispetto ai coefficienti di amplificazione che sono stati stimati sulla base delle tabelle regionali.

In termini di $FA_{0,1-0,5s}$, a Frassinoro i valori del fattore di amplificazione più alti li si riscontra nel settore NO dell'abitato. In termini di $FA_{0,5-1,0s}$ non si riscontrano invece grandi differenze su tutto l'abitato con valori del fattore di amplificazione modesti, compresi tra 1,1 e 1,2.

Microzonazione sismica dell'abitato di Piandelagotti-primario e secondo livello

Inquadramento geologico

Il territorio urbanizzato e urbanizzabile dell'abitato di Piandelagotti non è formato da un'unica entità areale continua, ma è frammentato in vari settori. Piandelagotti è stato dichiarato abitato da consolidare con Regio Decreto n. 1764 del 5 ottobre 1939 e gran parte dell'abitato è pertanto soggetto a perimetrazione PAI.

Per un inquadramento geologico-strutturale generale dell'area si fa riferimento alla carta di Plesi et al. (2002) (Figura 9) nonché al foglio n. 235 della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

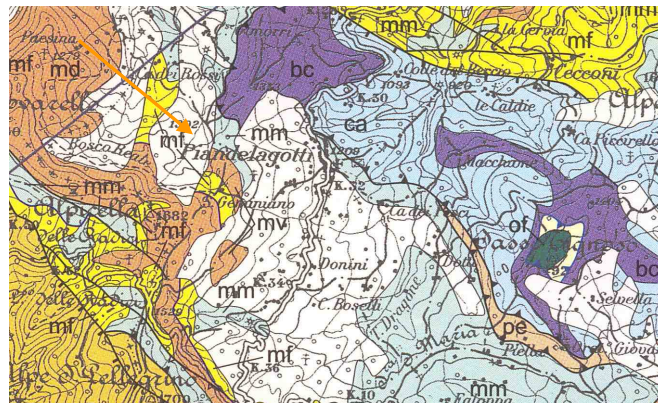


Figura 9 – Carta geologica (Estratto da Plesi et al., 2002), per la legenda dei simboli cfr. Figura 5. Ca-Flysch di Monte Caio; bc-Successione basale (Unità Caio); pe-arenarie di Petrignacola; of-ofioliti e breccie ofiolitiche; mv-Formazione di Monte Venere ; md- Arenarie di Monte Modino; mf-Marne di Marmoreto e Argille di Fiumalbo; mm-Melange delle Tagliole.

Secondo le carte geologiche citate, il settore in esame è caratterizzato da un substrato costituito principalmente da rocce a composizione prevalentemente argillitica, ascrivibili alle Argilliti Variegate con Calcari che costituiscono la parte inferiore della Successione argilloso-calcareo pre-campaniana del così detto Mélange delle Tagliole (Unità Modino) (AA.VV., 2002b). Si tratta principalmente di argille e argilliti scure (brune, grigie, verdastre, talora rossastre) con siltiti e arenarie fini alle quali si associano breccie argillose con clasti calcarei tipo palombino e breccie clastiche poligeniche. La formazione, in zona, non affiora, se non in maniera molto discontinua e su esposizioni arealmente limitate, per la presenza di estese

coperture detritiche di versante, accumuli di frana e depositi interpretati come morenici.

Come già accennato, la parte “storica” dell’abitato è stata dichiarata da consolidare già negli anni '30 del secolo scorso, a seguito di numerosi episodi parossistici di instabilità.

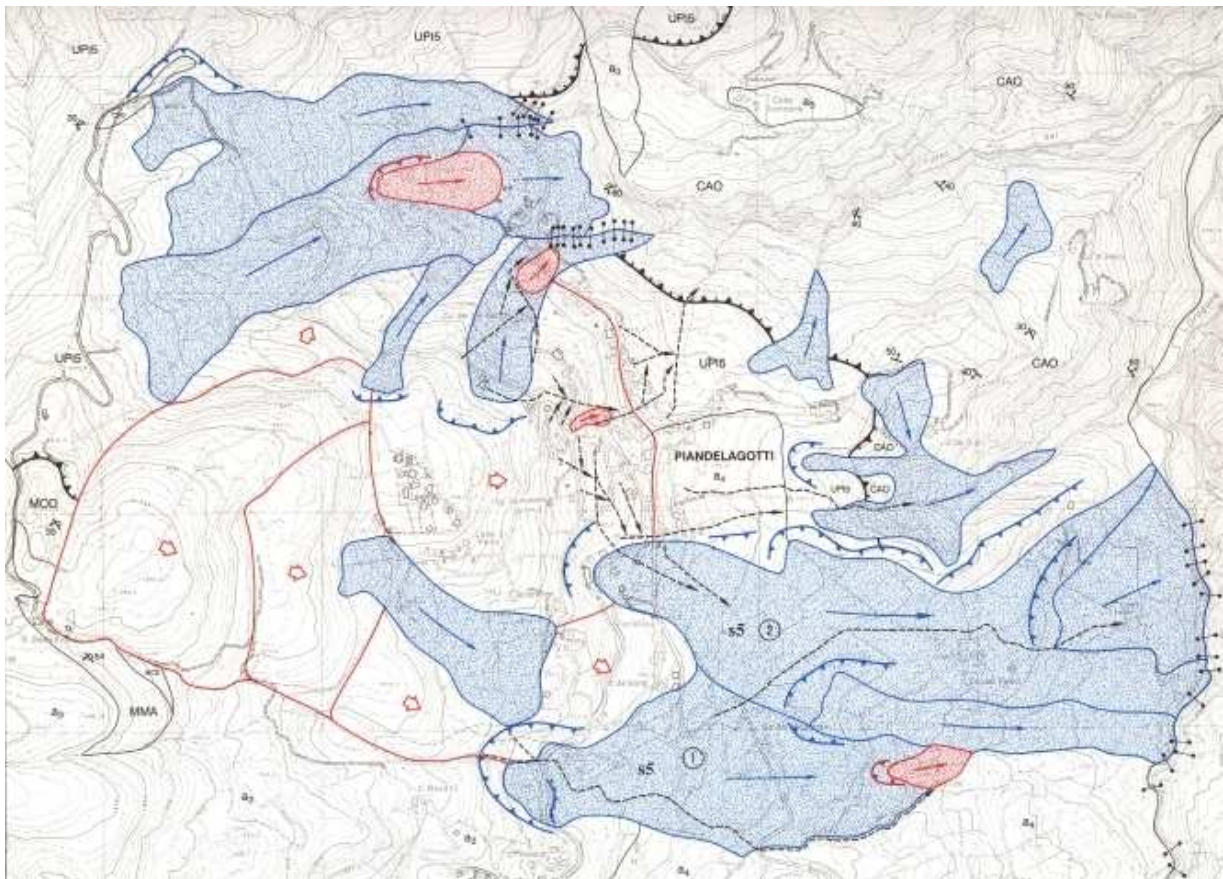


Figura 10 – Carta del dissesto (Estratto da AA.VV., 1993). Per ragioni di spazio non viene riportata la legenda completa: le campiture rossa e blu indicano rispettivamente le frane attive e quiescenti (in questo caso di tipo complesso); l’area a monte dell’abitato (perimetrazioni con linee rosse e frecce rosse) è caratterizzata dalla presenza di zone a morfologia a ripiani interpretate come soggette a deformazioni gravitative profonde per espansione laterale); i simboli in nero indicano gli interventi di consolidazione e sistemazione idraulica (trincee drenanti, briglie, ecc.).

La parte principale dell’abitato è bordata a nord e a sud da due estesi sistemi franosi, formati da più corpi di frana quiescente con locali forme attive (Figura 10). Secondo alcune interpretazioni, la parte più a monte dell’abitato, che presenta una morfologia “a ripiani” sarebbe interessata da deformazioni gravitative profonde del tipo “espansione laterale”, ma non si esclude che il particolare assetto morfologico non possa avere origine strutturale.

La presenza di frane o di zone potenzialmente instabili, ha come conseguenza che

un'estensione importante del territorio urbano dell'abitato, dal punto di vista della microzonazione sismica, sia da assoggettare a valutazione di III livello, come si vedrà più avanti.

Carta delle Indagini (primo e secondo livello) e Banca Dati

Nella Carta delle Indagini è riportata la localizzazione delle indagini geognostiche e geofisiche reperite presso l'archivio comunale, nonché le nuove indagini geofisiche che sono state eseguite ad integrazione. La Carta è stata redatta in scala 1:5000 utilizzando come base la Carta Lito-Morfologica (cfr più avanti). In legenda sono pertanto riportate anche le simbologie pertinenti agli aspetti lito-morfologici (formazioni litostratigrafiche, coperture, assetti degli strati), nonché i perimetri relativi al territorio urbanizzato e urbanizzabile.

Complessivamente, per l'abitato di Piandelagotti sono state ubicate 76 indagini geognostiche e/o geofisiche, delle quali 11 sono indagini geofisiche di nuova realizzazione (3 indagini sismiche MASW e 8 misure di microtremori a stazione singola (cfr allegato).

Poco meno della metà delle indagini (32) sono prove penetrometriche dinamiche (DPL, DPM e DPSH) che nel data base allegato sono individuate con la sigla P⁶, maiuscola, seguita da un numero progressivo.

Sono state inoltre reperite:

- le stratigrafie di 6 sondaggi a rotazione (sigla PS seguita da un numero progressivo);
- le descrizioni di 18 scavi o trincee (sigla PT seguita da un numero progressivo);
- i report relativi a 9 rilievi sismici a rifrazione (sigla PRIF seguita da un numero progressivo);
- il report relativi a 1 stesa sismica con metodologie MASW (sigla MP seguita da un numero progressivo) alla quali si aggiungono le 3 nuove oltre a 8 misure di microtremore a stazione singola eseguite.

Nel complesso, le indagini disponibili non sono distribuite in maniera omogenea, ma si concentrano principalmente in alcuni settori che sono stati oggetto negli ultimi anni di interesse urbanistico-edilizio. Anche a livello di qualità dei dati si riscontrano evidenti disomogeneità areali, soprattutto in coincidenza di quei settori dove prevalgono indagini penetrometriche medio-leggere o scavi in trincea che raramente superano i 3 m di profondità,

⁶ Per distinguerle da quelle riferite all'abitato di Frassinoro identificate dalla lettera F maiuscola.

non giungendo a distinguere in maniera chiara la presenza del substrato formazionale al di sotto della coltre detritica superficiale (che come visto è di varia natura: gravitativa, eluviale-colluviale, morenica, ecc.) né riuscendo a definire lo spessore della parte alterata e/o decompressa delle argilliti in posto.

Oltre la metà (32) delle indagini geognostiche (prove penetrometriche, sondaggi, ecc.), su un totale di 56, ha raggiunto profondità modeste inferiori ai 3 m a partire dal p.c., 13 sono le indagini che sono giunte a profondità, comunque modeste, comprese tra 3 e 5 m dal piano campagna; solo 2 sondaggi hanno superato i 10 m, mentre i restanti hanno raggiunto una profondità compresa tra i 5 e i 10 m dal piano campagna.

Come per l'abitato di Frassinoro, nella Carta delle indagini è stata utilizzata una doppia simbologia per identificare le singole prove o sondaggi geognostici.

Per le indagini puntuali, la stessa simbologia (un punto) identifica attraverso un colore diverso il tipo di sondaggio (prova penetrometrica DPL, DPSH, trincea, scavo, microtremori a stazione singola, ecc.); un altro simbolo (che racchiude il simbolo colorato identificativo del tipo di prova) identifica invece la profondità raggiunta.

Un unico simbolo puntuale identifica la posizione delle rilevazioni di microtremori a stazione singola (H/V o HVSR).

Per le indagini lineari (MASW) il diverso colore distingue se si tratta di prove da archivio comunale o di nuova esecuzione, come pure un altro colore distingue le stese di sismica a rifrazione da archivio

* * *

Le informazioni relative alle indagini sono state tutte scansionate e per ciascuna di esse è stato realizzato un file (in formato .pdf). Tutte le indagini, con l'esclusione di quelle geofisiche eseguite per il presente studio (vedi Allegati) sono di tipo "riservato", nel senso che non sono a corredo di progetti o interventi di iniziativa pubblica, ma di privati. Nella banca dati in formato elettronico, che è stata compilata come da specifica richiesta contenuta nell'Allegato C alla Delibera di Giunta Regionale n. 1051 del 18 luglio 2011, sono state specificatamente individuate le prove di tipo riservato distinguendole da quelle di nuova esecuzione, pubbliche.

Carta lito-morfologica (primo livello)

Come indicato nei *Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica*, la Carta lito-morfologica deriva dalla revisione dei rilievi geologici e geomorfologici disponibili. Nel caso in esame si è fatto riferimento principalmente ai seguenti lavori:

- Carta Geologica regionale alla scala 1:10.000 (disponibile sul sito web cartografico del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna);
- carte tematiche allegate alla Relazione Geologica di supporto alla Variante Generale e a Varianti parziali al Piano Regolatore Generale vigenti (a cura dello Studio Geologico Ambientale Arkigeo-Dott. Geol. G. Gasparini e Prof. A. Rossi);
- Altra cartografia da bibliografia, ad es AA.VV., (1993)
- Indagini geognostiche di cui si è detto nel capitolo precedente a proposito *della Carta delle Indagini*.

Dalle informazioni esaminate, e dai sopralluoghi, si evince che quasi mai l'unità delle Argilliti Variegate con Calcari è visibile in affioramento, se non in limitate esposizioni lungo tagli stradali o scavi. Da alcune osservazioni (molto sporadiche) e descrizioni di stratigrafie sorge inoltre il dubbio che, soprattutto nella parte alta del paese, il substrato possa non essere ascrivibile all'unità in parola, ma ad altre formazioni (Marne di Marmoreto?). I dati tuttavia non permettono di supportare tale ipotesi in maniera esaustiva.

Quasi ovunque il substrato formazionale è coperto, oltre che del suolo, da detriti di versante, spesso riconducibili a depositi di gravità (accumuli di frana) o morenici, ai quali si aggiungono materiali di origine eluvio-colluviale. La stima dello spessore di tali coperture è alquanto problematica, stante che la maggioranza delle indagini geognostiche non ha raggiunto il substrato formazionale.

L'interpretazione delle stese sismiche a rifrazione fa ritenere plausibile che comunque localmente lo spessore di coperture (compresa la parte decompressa e alterata della formazione argillitica) possa spesso raggiungere e superare 10 metri. In linea generale i depositi detritici superficiali sono costituiti da frammenti lapidei (arenarie) in matrice limosa (depositi morenici) e da depositi prevalentemente argillosi con inclusi lapidei (arenarie, siltiti e calcari tipo palombino). Nell'angolo NE della carta, al di fuori del territorio urbano, è indicata la presenza della Formazione di Monte Caio, un flysch ligure Cretaceo superiore che, per le caratteristiche litologiche e strutturali, può dare luogo a versanti decisamente acclivi (anche con scarpate), ma che non costituisce substrato per i settori di interesse per il presente studio.

Per l'assenza di affioramenti in zona non è possibile avanzare ipotesi sull'assetto o sulle condizioni strutturali del substrato argillitico.

Data pertanto la pressoché diffusa presenza di coltri detritiche di spessore comunque quasi sempre superiore a 2-3 m, alle quali va aggiunto un ulteriore spessore di formazione in posto alterata e/o decompressa, si può affermare che tutti i settori del territorio urbanizzato/urbanizzabile di Piandelagotti, che non siano interessati da corpi franosi o che non rientrino nell'ambito della perimetrazione dell'Abitato dichiarato da consolidare, sono identificabili come aree potenzialmente soggette a fenomeni di amplificazione locale per cause stratigrafiche. Al contrario, tutti i settori sui quali insistono frane o che rientrano nell'ambito della perimetrazione dell'abitato dichiarato da consolidare, vengono qui considerate aree instabili o potenzialmente instabili (assimilate ad aree instabili).

Nella Carta lito-Morfologica sono localizzate anche le indagini geognostiche che, sono state largamente utilizzate per integrare le conoscenze sulle quali si è basata la sua redazione nonché la redazione delle sezioni geologiche la cui ubicazione è riportata sempre nella Carta Lito-morfologica.

Sezioni geologiche (primo livello)

Data la qualità non sempre elevata delle informazioni geognostiche, le sezioni geologiche riportate nella tavola specifica allegata sono da considerare il risultato di un lavoro largamente interpretativo, basato sulle informazioni a disposizione e principalmente sulle informazioni deducibili dalle stese sismiche a rifrazione che localmente hanno permesso di stimare lo spessore della copertura (anche superiore ai 10 m). Nelle sezioni geologiche non si è potuto definire un quadro nemmeno a livello qualitativo dell'assetto geologico strutturale locale, non essendo disponibili osservazioni giaciture (troppo distanti sono quelle riportate sulle carte geologiche e per la gran parte riferite a formazioni strutturalmente scollegate dalle argilliti di substrato. Si è cercato pertanto di evidenziare nelle sezioni l'andamento degli spessori della copertura superficiale, significativa per le finalità della microzonazione sismica.

Carta delle frequenze naturali dei terreni (primo livello)

Nella Carta sono riportate le ubicazioni dei punti dove sono state eseguite misure di microtremore a stazione singola (tecnica H/V, HVSR o di Nakamura) per la determinazione della frequenza propria dei suoli. Per l'abitato di Piandelagotti non erano disponibili misure da

archivio. Ne sono state eseguite 8, distribuendole arealmente in maniera di coprire i diversi settori nei quali è suddiviso il territorio urbanizzato/urbanizzabile.

In linea generale, si nota un'andamento arealmente disomogeneo nei valori di picco espressi dai grafici del rapporto H/V. In alcuni casi, il grafico non mostra neanche picchi significativi oppure i picchi non soddisfano tutti i criteri di affidabilità stabiliti dal progetto SESAME (AA.VV., 2004). Nel primo caso, trattandosi di dati puntuali, non suffragati da ulteriori misure (in doppio o in triplo nel medesimo areale), non è possibile affermare con affidabilità se si tratti di situazioni locali nelle quali il bedrock possa essere ritenuto subaffiorante o comunque dove non vi siano contrasti di impedenza significativi nel sottosuolo, anche perché si tratta di misure (due) che sono state condotte in una giornata caratterizzata da vento forte con raffiche molto forti che possono avere influenzato sulla misura. In un altro caso, invece, l'affidabilità del picco (a 0,8 Hz a indicare un eventuale contrasto di impedenza profondo) non è confermata dai criteri SESAME (AA.VV., 2004).

Tenuto conto di quanto appena detto, le misure che hanno dato un valore del picco affidabile secondo i criteri SESAME, evidenziano come si individui una fascia di medio versante, che si delinea a comprendere la parte medio-alta del nucleo urbano principale e gran parte dei settori del territorio urbanizzato/urbanizzabile posti a sud della medesima, caratterizzata da valori di frequenza alti. Valori minori (inferiori a 5-6 Hz o ancora più bassi) sono invece stati rilevati nel parco del centro abitato principale e in adiacenza ad un nucleo di recente urbanizzazione posto più a monte del medesimo.

Come richiesto dalle specifiche tecniche contenute nei Criteri Regionali, la Carta delle frequenze è stata redatta impostando anche uno strato informativo areale nel quale si individuano settori caratterizzati da valori diversi delle frequenze rilevate⁷. Tenuto conto del numero delle informazioni disponibili e del fatto che, soprattutto in territori montani, ci si deve attendere una certa variabilità laterale, anche repentina, negli spessori delle coperture che possono dare contrasti di impedenza, non si è proceduto all'interpolazione dei dati puntuali, ma piuttosto alla delimitazione grossolana dei diversi areali ai quali ci si deve riferire solo per considerazioni qualitative che esulano da valutazioni di dettaglio.

Come già detto, le misure che hanno dato picchi affidabili secondo i criteri SESAME evidenziano un'ampia fascia centrale caratterizzata da valori relativamente alti della

⁷ Gli intervalli di frequenza non corrispondono a quelli indicati nell'Allegato B alla Deliberazione della Giunta Regionale 1051 del 18 luglio 2011, ma fanno riferimento ad una proposta posteriore di suddivisione in classi suggerita con l'Ufficio Geologico Sismico e dei Suoli regionale così suddivisa A-nessun picco significativo; B $f_0 < 0,5$ Hz; C $0,5 \text{ Hz} < f_0 < 1$ Hz; D $1 \text{ Hz} < f_0 < 2$ Hz; E $2 \text{ Hz} < f_0 < 3$ Hz; F $3 \text{ Hz} < f_0 < 5$ Hz; G $5 \text{ Hz} < f_0 < 8$ Hz; H $f_0 > 8$ Hz.

frequenza propria dei terreni, a suggerire interfacce ascrivibili a contrasti di impedenza poco profonde, a differenza di quanto sembrerebbe accadere più a valle e più a monte. Ciò soprattutto nei settori di territorio Urbano/Urbanizzabile posti a sud.

Carta delle aree suscettibili di effetti locali (o delle microzone omogenee in prospettiva sismica-MOPS) (primo livello)

Rappresenta l'elaborato cartografico riassuntivo delle indagini del primo livello di approfondimento. Nel territorio dell'abitato di Piandelagotti (Figura 11) vengono individuate sia zone stabili suscettibili di amplificazione locale secondo due tipologie di modelli geologici (Zona 3 e Zona 4), sia aree che per la presenza di elementi di instabilità manifesti o potenziali sono inquadrabili come Zona Instabile.

Le Zone stabili suscettibili di amplificazione sono in questo caso aree caratterizzate:

- da assenza di elementi di dissesto geomorfologico;
- da valori di acclività contenuti (che superano localmente i 15° in tratti diversante che tuttavia non presentano differenze di quota superiori ai 30 m);
- da spessore della copertura detritica superficiale (compresa la parte alterata di substrato formazionale) superiore ai 5 m (Figura 11)

e che pertanto possono essere suscettibili di fenomeni di amplificazione del moto sismico per cause litologiche (o stratigrafiche), per la presenza di una copertura superficiale di spessore apprezzabile, che presenta caratteristiche di rigidità (o impedenza sismica) diverse e di minore valore rispetto al substrato sul quale s'appoggia.

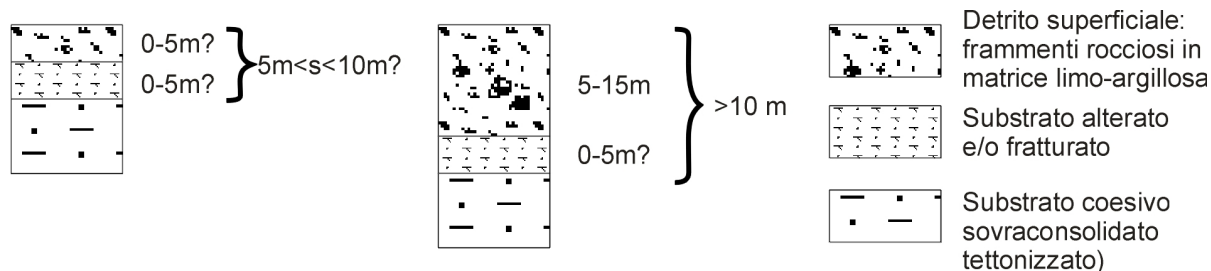


Figura 11 – Modelli geologici per la Zona 3 (a sinistra) e per la Zona 4 (a destra) relativi alle Zone stabili suscettibili di amplificazione locale dell'abitato di Piandelagotti.

La suddivisione in Zona 3 e Zona 4 (Figura 11) è basata sulla stima dello spessore della copertura che, secondo i dati geognostici e geofisici, risulta maggiore in certe aree rispetto alle altre.

Seppure analoghe, alla Zona 1 e Zona 2 individuate per l'abitato di Frassinoro, la Zona 3 e la Zona 4, se ne discostano sia per la natura della copertura superficiale (a contenuto argilloso generalmente più alto) sia per il substrato formazionale che a Piandelagotti è di natura argillitica, mentre a Frassinoro prevale la consistenza lapidea del flysch con il valore del rapporto tra strati competenti e strati incompetenti generalmente a favore dei primi.

Oltre che alle Zone 3 e 4, come già anticipato, nella carta delle MOPS sono individuate molte aree di instabilità coincidenti con gli accumuli di frana complessa o con l'areale soggetto a perimetrazione (ai sensi della legge 445/1908: abitato dichiarato da consolidare), per le quali si rimanda la valutazione degli effetti sismici locali ad un eventuale III livello di analisi. Nel complesso, per l'abitato di Piandelagotti, la superficie di territorio urbanizzato/urbanizzabile (o assimilato) da assoggettare a III livello di approfondimento risulta superiore a quella da assoggettare al II livello di approfondimento.

Carta delle Velocità delle onde di taglio (secondo livello)

La Carta, che come la Carta delle Indagini, è stata realizzata utilizzando come base la Carta Lito-morfologica, riporta tutti i punti nei quali sono state eseguite delle rilevazioni per la determinazione del profilo verticale della velocità delle onde S (V_s). Si tratta pertanto di indagini MASW, di misure di microtremori a stazione singola elaborate vincolando lo spessore e/o la velocità di almeno uno strato (generalmente lo strato più superficiale) facendo riferimento, quando disponibili, a indagini geognostiche. Alcuni valori del parametro VS30 sono stati mutuati da indagini di sismica a rifrazione da archivio che riportavano l'elaborazione del dato di VS30.

Per quanto riguarda le indagini nuove (MASW e microtremori), l'elaborazione per la determinazione del profilo verticale di velocità (condizionata da assunzioni piuttosto importanti) è stata eseguita solamente per quelle misure effettuate in sito dove non fosse stata rilevata anche la stesa con metodologia MASW. Negli altri casi si è fatto riferimento alla MASW.

In linea generale, se si fa riferimento al parametro VS30 (classificazione del sottosuolo secondo le categorie di cui al punto 3.1.2 del DM 14 gennaio 2008) si rileva una certa eterogeneità dei valori misurati e/o stimati probabilmente imputabile sia alle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area indagata che alle diverse metodologie impiegate per la determinazioni dei valori delle V_s , che si basano su assunzioni e valutazioni di base diverse.

La presenza infatti di coperture superficiali di natura varia (accumuli franosi, depositi morenici, ecc.) nonché la variazione del loro spessore, possono influenzare sensibilmente l'andamento e la sua variazione spaziale del profilo verticale di velocità Vs. L'utilizzo di metodologie indirette (MASW, rifrazione, fit vincolato del grafico del rapporto H/V) la cui applicazione è spesso influenzata dalla conoscenza a priori di certi parametri e valori, non permette sempre (per la locale lacunosità di tali conoscenze) di definire un profilo verticale preciso della VS. Per quanto riguarda il parametro VS30 sono stati pertanto riscontrati valori compresi tra circa 250 m/s e oltre 650 m/s. Le MASW inoltre, in alcuni casi hanno evidenziato la presenza di contrasti di velocità significativi (non necessariamente coincidenti con la presenza di un'interfaccia di passaggio a valori di $V_s > 800$ m/s) a profondità inferiori ai 30 m, con conseguente opportunità di fare riferimento più a un valore di VSh, definito sostanzialmente come il VS30, ma ponderando la velocità media sullo spessore (h) tra la superficie e la profondità del contrasto d'impedenza, come riportato nella Carta delle velocità delle onde di taglio.

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

I più volte citati Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica (Del. di G. R. 1051 del 18 luglio 2011) prevedono che vengano realizzate le carte dei fattori di amplificazione sia in termini di FA e FV (ICMS, Vol. 2, Parte III, per mezzo degli *Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici* di cui al Cap. 3.2) sia in termini di FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,5-1,0s}$ (Allegato A2, punto A2.2 di cui agli indirizzi regionali contenuti nella DAL 112/2007).

Come già evidenziato per l'abitato di Frassinoro, anche per Piandelagotti e, in generale, per territori collinari/montani, gli abachi di cui agli ICMS non possono essere applicati, in quanto i modelli geologici non possono essere assimilati a presenza di sottosuoli costituiti da sedimenti prevalentemente argillosi, sabbiosi o ghiaiosi. Pertanto sono state prodotte solo le carte dei fattori di amplificazione in termini di FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,5-1,0s}$ di cui agli indirizzi regionali utilizzando le citate tabelle regionali di cui alla DAL 112/2007.

Dall'applicazione delle tabelle regionali si individuano nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali del territorio di Piandelagotti aree caratterizzate da valori del fattore di amplificazione (in termini di FA_{PGA}) pari a 1,7 o a 1,8. A tale proposito si ricorda che già nella DAL 112/2012 si sottolinea l'alta probabilità che valutando i fattori di amplificazione attraverso le tabelle si ottengano valori sovrastimati dei coefficienti di amplificazione.

In termini di $FA_{0,1-0,5s}$ si sono riscontrati valori alti del fattore di amplificazione, che nei settori più a sud sono risultati pari a 2,3 mentre i valori relativamente più bassi (1,9) sono stati determinati per il settore posto a monte dell'abitato principale.

In analogia a quanto appena descritto, anche per quanto riguarda il fattore di amplificazione in termini di $FA_{0,5-1,0s}$ si sono riscontrati i valori più alti nei settori a sud (2,3) con una marcata differenza rispetto il settore posto a monte dell'abitato storico (1,3).

Conclusioni

La presente relazione descrive gli studi e le indagini che sono stati condotti per la realizzazione della microzonazione sismica degli abitati di Frassinoro e di Piandelagotti, nel territorio comunale di Frassinoro (Provincia di Modena), in attuazione della Delibera di Giunta Comunale n. 140 del 27 settembre 2011.

A partire dalla raccolta delle informazioni e dei dati geologici e geofisici disponibili, arricchiti con ulteriori acquisizioni geofisiche, sono stati elaborati per ciascuno dei due abitati dei documenti cartografici specifici che descrivono:

- la distribuzione, natura e profondità raggiunta da parte delle indagini (Carta delle Indagini);
- la frequenza propria dei suoli (Carta delle frequenze);
- gli aspetti geologici e geomorfologici significativi per la valutazione degli effetti sismici di sito (Carta lito-morfologica);
- la presenza di zone stabili suscettibili di amplificazione sismica, di zone instabili, ecc. (Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica);
- l'andamento verticale della velocità delle onde S nel sottosuolo (Carta delle velocità);
- i fattori di amplificazione sismica locale (Carte dei fattori di amplificazione).

Lo studio, che è stato eseguito elaborando sia dati bibliografici e d'archivio che dati originali ed è stato condotto in conformità ai criteri, indirizzi tecnici e contenuti di cui agli:

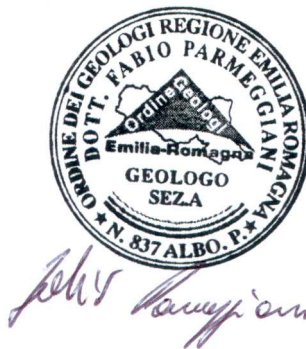
- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica* (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome (Gruppo di Lavoro MS, 2008, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome-dipartimento della Protezione Civile, 3 Voll e DVD);
- Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: *Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*;
- Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica (Secondo livello di approfondimento) di cui all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907/2010 e s.m.i. e decreto n. 8422 del 10 dicembre 2010 del Capo del Dipartimento della Protezione civile;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Modena

(Elaborati del Quadro Conoscitivo e del Piano attinenti agli studi previsti dalla Delibera della Giunta Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2007, nonché indicazioni normative di cui all'art. 14 delle norme del PTCP).

Si è fatto inoltre riferimento alla vasta bibliografia specifica, con particolare riferimento ai contenuti di cui al Supplemento alla Rivista trimestrale Ingegneria Sismica (Anno XXVIII, n.2-2011).

Modena, 27-01-2012

I tecnici



Bibliografia

ALBARELLO D. & CASTELLARO S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. *Ingegneria Sismica* n. 2/2011, 32-62.

AA.VV. (1993) – Atlante dei centri abitati instabili della Provincia di Modena. Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi idrogeologiche. Programma Speciale SCAI (Studio Centri Abitati Instabili), pp. 68

AA.VV. (2002a)-a cura di Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 236-Pavullo nel Frignano. S.EL.CA, Firenze, 2002.

AA.VV. (2002b)-a cura di Plesi G. - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 235-Pievepelago. S.EL.CA, Firenze, 2002.

AA.VV. (2004) *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation*. SESAME European research project. WP12-deliverable D23.12.

BETTELLI G., BONAZZI U. & PANINI F. (1989) – *Schema introduttivo alla geologia delle liguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It. 39(1987), 91-126.

BETTELLI G. & PANINI F. (1994) – *Nota illustrativa ad una sezione geologica attraverso l'Appennino modenese*. *Studi Geologici Camerti*, Volume Speciale 1992/2, Appendice CROP 1-1A, 65-74.

BETTELLI G., PANINI F. & CAPITANI M. (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano Sudorientale. Atti 3° seminario Cartografia Geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002, 47-52.

CAPITANI M. & BERTACCHINI M. - (1997) – *Aspetti geologici*. In “2ª Relazione sullo stato dell'ambiente nella Provincia di Modena”, Amm. Prov. Di Modena, 29-34.

CHICCHI S. & PLESI G. (1992) - Il Complesso di M. Modino nell'alto Appennino emiliano (tra il Passo del Lagastrello e il M. Cimone) e i suoi rapporti con la Falda toscana, l'Unità di Canetolo e le Liguridi. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 46 (1991): 139-163.

DANIELE G., MOCHI E. & PLESI G. (1996) - L'insieme ligure-emiliano dell'Appennino modenese: unità tettoniche e successioni stratigrafiche nella zona di Frassinoro. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 102 (1995): 147-158.

DANIELE G. & PLESI G. (2000) - The Ligurian Helminthoid flysch units of the Emilian Apennines: stratigraphic and petrographic features, paleogeographic restoration and structural evolution. *Geodinamica Acta*, 13: 1-21.

PLESI G., DANIELE G., BOTTI F. & PALANDRI S. (2002) *Carta strutturale dell'alto Appennino Tosco-emiliano (Scala 1:100.000) fra il Passo della Cisa e il Corno alle Scale*. Atti 3° seminario Cartografia Geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002, 80-89.