

**REGIONE
TOSCANA**



**Direzione Generale delle Politiche
Territoriali e Ambientali
Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica**



MICROZONAZIONE SISMICA DELLA CONCA AQUILANA (terremoto 06-04-2009)

Relazione tecnica finale di sintesi - Macroarea 9



a cura di:

G. Fianchisti¹,
M. Baglione¹, V. D'Intinosante¹, P. Fabbroni¹, F. Vannini¹

con la collaborazione tecnica di:

per i rilievi geologici dell'area: G. Principi², A. Puccinelli³, G. D'Amato-Avanzi³, F. Menna², R. Giannecchini³, D. Marchetti³, A. Salvetti⁴, G. Turrini⁴, F. Vannini¹, A. Salvadori⁵, R. Ballati⁵, P. Fabbroni¹, F. Calderini⁶, M. Rossi⁷

per le indagini geofisiche: V. D'Intinosante¹, A. Franceschini⁸, P. Barsanti⁹, P. Signanini¹⁰, M. Rainone¹⁰, F. Pizzica¹⁰

per le indagini geotecniche: D. Lo Presti¹¹, N. Squeglia¹¹, P. Fabbroni¹, M. Baglione¹, P. Cortopassi¹², F. Milano¹²

per le misure strumentali: M. Ripepe², E. Marchetti², D. Delle Donne², G. De Rosa², G. La Canna², R. Genco², L. Colò², V. D'Intinosante¹.

per le simulazioni numeriche: T. Sanò⁴,

per gli aspetti di editing, informatizzazione e allestimento grafico: V. Pellegrineschi⁵, F. Benelli¹, V. D'Intinosante¹, F. Vannini¹

¹ Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica – Genio civile di Firenze

² Università di Firenze, Dip.to di Scienze della Terra

³ Università di Pisa, Dip.to di Scienze della Terra

⁴ Consulente DPC, Roma

⁵ Regione Toscana, Genio Civile di Pistoia

⁶ Regione Toscana, Ufficio VIA

⁷ Regione Toscana, Genio Civile di Grosseto

⁸ Provincia Autonoma di Trento, Servizio Geologico

⁹ Impresa Geoprove s.a.s. di Lucca

¹⁰ Università di Chieti, CERS-GEO

¹¹ Università di Pisa, Dip.to di Ingegneria Civile

¹² Regione Toscana, Genio Civile di Massa

INDICE

9.1	Introduzione.....	pag. 4
9.2	Dati di Base ed elaborazioni della macroarea.....	pag. 5
9.2.1	Carta delle indagini.....	pag. 6
9.2.2	Assetto litostratigrafico, tettonico e geomorfologico.....	pag. 11
9.2.3	Dati geotecnici.....	pag. 18
9.2.3.1	<i>Acquisizione di dati pregressi e nuove indagini.....</i>	pag. 18
9.2.3.2	<i>Prove in sito.....</i>	pag. 19
9.2.3.3	<i>Prove in laboratorio.....</i>	pag. 20
9.2.4	Dati Geofisici e sismologici.....	pag. 22
9.2.4.1	<i>Prove geofisiche in foro (Down-hole).....</i>	pag. 22
9.2.4.2	<i>Prove geofisiche di superficie (MASW, rifrazione, sismica passiva)</i>	pag. 25
9.2.4.3	<i>Horizontal-to-vertical Spectral Ratio (HVSR) e Standard Spectral Ratio SSR).....</i>	pag. 27
9.2.5	Modello di sottosuolo.....	pag. 31
9.3	Carte di Microzonazione.....	pag. 44
9.3.1	Carta di microzonazione sismica di livello 1.....	pag. 44
9.3.2	Analisi numerica della risposta sismica locale di livello 3.....	pag. 53

ELENCO ALLEGATI

ALL.1	CARTE GEOLOGICHE
ALL.2	CARTE DELLE INDAGINI
ALL.3	CARTE DI LIVELLO I
ALL.4	SONDAGGI GEOTECNICI
ALL.5	ANALISI DI LABORATORIO
ALL.6	PROVE DOWN-HOLE
ALL.7a; 7b	SISMICA A RIFRAZIONE
ALL.8	PROVE MASW E MISURE PASSIVE
ALL.9	MISURE STRUMENTALI
ALL.10	CARTE DI LIVELLO III

9.1 Introduzione

Il **Settore Coordinamento Regionale Prevenzione sismica della Regione Toscana**, a seguito del sisma di Aprile 2009, ha fornito la propria disponibilità al Dip.to di Protezione Civile Nazionale per le attività geologiche di studio connesse con la Microzonazione sismica dei territori colpiti.

L'ufficio Rischio Sismico del DPC, coordinato dal Prof. Dolce, nel mese di Giugno u.s. ha coinvolto la Regione Toscana con nota prot. n. 0017003 del 03.06.09 chiedendo la partecipazione dei Tecnici Regionali del Coordinamento regionale Prevenzione Sismica per la suddetta attività.

Al Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Regione Toscana sono state affidate dal DPC tutte le attività di coordinamento per la realizzazione della microzonazione sismica della macroarea 9 comprendente le seguenti località appartenenti ai Comuni de L'Aquila e di Ocre:

COMUNE DELL'AQUILA

- **Area 1:** Pianola;
- **Area 2:** Bagno Grande, Bagno Piccolo, Ripa e Cominio;
- **Area 3:** Civita di Bagno;
- **Area 4:** San Benedetto, Sant'Angelo e Vallesindola.

COMUNE DI OCRE

- **Area 5:** San Felice d'Ocre;
- **Area 6:** Valle d'Ocre, Cavalletto.

Le aree oggetto di indagine rientrano nei Comuni di Ocre e nella porzione sud-ovest de l'Aquila.

Si tratta di n. 10 località tra quelle maggiormente danneggiate dal sisma.

Tali aree possiedono una estensione totale pari a 343 ha circa.

Di seguito si riporta un quadro d'insieme delle delimitazioni delle aree che sono state oggetto dell'attività di studio (fig.1).

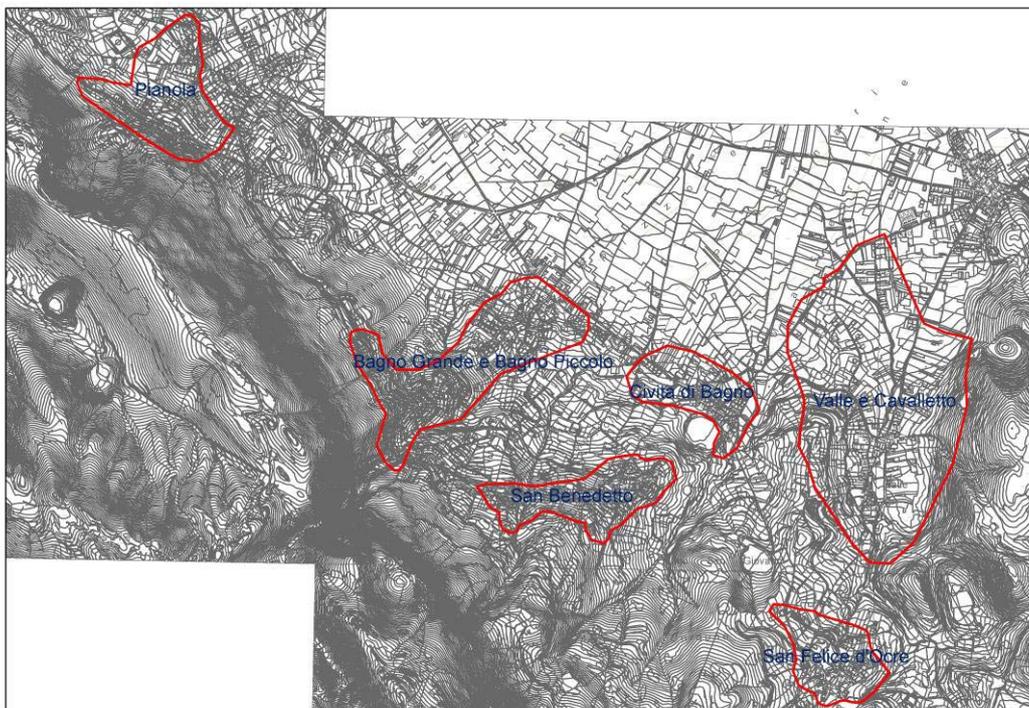


Figura 1 – Delimitazione delle aree di indagine della macroarea 9

La Regione Toscana ha quindi coordinato varie strutture universitarie che sono state coinvolte, a vario titolo e in relazione alle proprie specifiche competenze, nel progetto di microzonazione sismica. Nello specifico le attività che sono state svolte sono di seguito riportate:

T2 Modello sottosuolo: Regione Toscana, Università di Firenze (Dip.to di Scienze della Terra),
Università di Pisa (Dip.to di Scienze della Terra);

T3 Geotecnica: Università di Pisa (Dip.to di Ingegneria Civile);

T4 Geofisica: Università di Chieti (CERS-GEO), Provincia di Trento, Geoprove s.a.s. di Lucca;

T5 Strumentale: Università di Firenze, Provincia di Trento

T7 Simulazioni numeriche: Dip.to di Protezione Civile Nazionale

Per ognuna delle aree selezionate sulla base della perimetrazione fornita dal D.P.C. sono stati eseguiti opportuni rilevamenti geo-litologico e geomorfologico di campagna in scala 1:5.000 in un intorno dei vari centri abitati selezionati.

Una volta realizzati i rilevamenti geologici, si è proceduto alle fasi di indagini che sono state organizzate nelle seguenti attività consequenziali:

1. Campagna di indagini geofisica di superficie (T4 Geofisica), in grado di fornire una parametrizzazione mono e bidimensionale geometrica e fisico-meccanica in campo dinamico, finalizzata all'estensione nel sottosuolo delle conoscenze di superficie, nei limiti intrinseci della metodologia e connessi alla logistica delle aree indagate. Nello specifico sono state eseguite due successive campagne di sismica a rifrazione con onde P e SH per complessive 15 stendimenti e per un totale di 1620ml. Tali indagini sono state poi opportunamente integrate con prove ReMi (due, per un totale di 42 verticali di misura del profilo di Vs; per 13 di queste verticali di misura si è operata, inoltre, la caratterizzazione sismica del sito mediante prove MASW. Le indagini geofisiche in situ sono state svolte da fine giugno ai primi di agosto 2009;
2. Campagna strumentale (T5 Strumentale), condotta con n.7 stazioni sismiche a larga banda per ogni area in modo da poter acquisire contemporaneamente dati sismici (sia rumore ambientale che terremoti locali) in un intervallo di tempo di 24 ore per ogni località (le attività sono state condotte entro il mese di giugno 2009). Tale attività ha permesso di poter stimare il periodo fondamentale di risonanza del terreno e poter valutare i fattori di amplificazione mediante il metodo dei rapporti spettrali H/Href;
3. Indagini Geotecniche (T3 Geotecnica) e Geofisiche in foro (T4 Geofisica). Sulla base dei risultati delle indagini sismiche di superficie, sono state realizzate indagini di dettaglio, consistite in 8 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;
4. Definizione del Modello di sottosuolo (T2). Una volta realizzate tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche, si è proceduto, per ogni area, ad omogeneizzare tutti i dati al fine di poter definire in maniera attendibile una quadro completo del sottosuolo descritto attraverso una serie di sezioni geologico-tecniche rappresentative sia in termini di spessori che in termini di parametri dinamici, utilizzabili come input geologico-tecnico in fase di modellazione.

Nei seguenti paragrafi è riportata con maggior dettaglio la descrizione di tutte le attività di indagine realizzate nella Macroarea 9.

9.2 Dati di Base ed elaborazioni della macroarea

Per ognuna delle aree selezionate sulla base della perimetrazione fornita dal D.P.C. sono stati eseguiti opportuni rilievi geo-litologici e geomorfologici di campagna in scala 1:5.000 in un intorno dei vari centri abitati selezionati.

I dati geologici di riferimento sono state le cartografie CARG in scala 1:10.000 e le cartografie prodotte a supporto degli Strumenti Urbanistici, quando disponibili.

La fase di campagna è stata preceduta e seguita da una interpretazione stereoscopica di foto aeree a quote differenti e relative a voli di anni diversi, reperite presso il Settore Cartografico della Regione Abruzzo.

A seguito del rilievo sono state prodotte quindi per ciascuna località carte geologiche-geomorfologiche in scala 1:5.000 corredate di opportune sezioni geologiche rappresentative e carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (carta di I livello). Tali cartografie sono riportate nell'Allegato 1.

La legenda delle carte geologiche riprende in linea di massima quella già realizzata per il progetto CARG per ciò che concerne sigle, colori e codici; per la redazione delle carte delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica ci si è riferiti alle Linee Guida Nazionali per la Microzonazione Sismica.

9.2.1. Carta delle indagini

Per ognuna delle aree selezionate per la Microzonazione Sismica sono state prioritariamente reperite tutte le informazioni pregresse esistenti sul territorio. Tali informazioni consistono in indagini geognostiche (sondaggi, pozzi a scopo idropotabile), prove in situ (es. prove penetrometriche) e altre notizie utili acquisite sia nell'ambito degli strumenti urbanistici comunali sia durante la fase di rilievo geologico, da tecnici e abitanti del posto relativamente a cantieri edili in corso di esecuzione e/o di recente chiusura.

Tali informazioni pregresse in aggiunta a tutte le indagini geognostiche che sono state realizzate ad hoc nei siti di interesse hanno consentito la predisposizione della cartografia delle indagini per l'area di studio a scala di dettaglio (figg. dalla 2 alla 9 ed in Allegato 2).

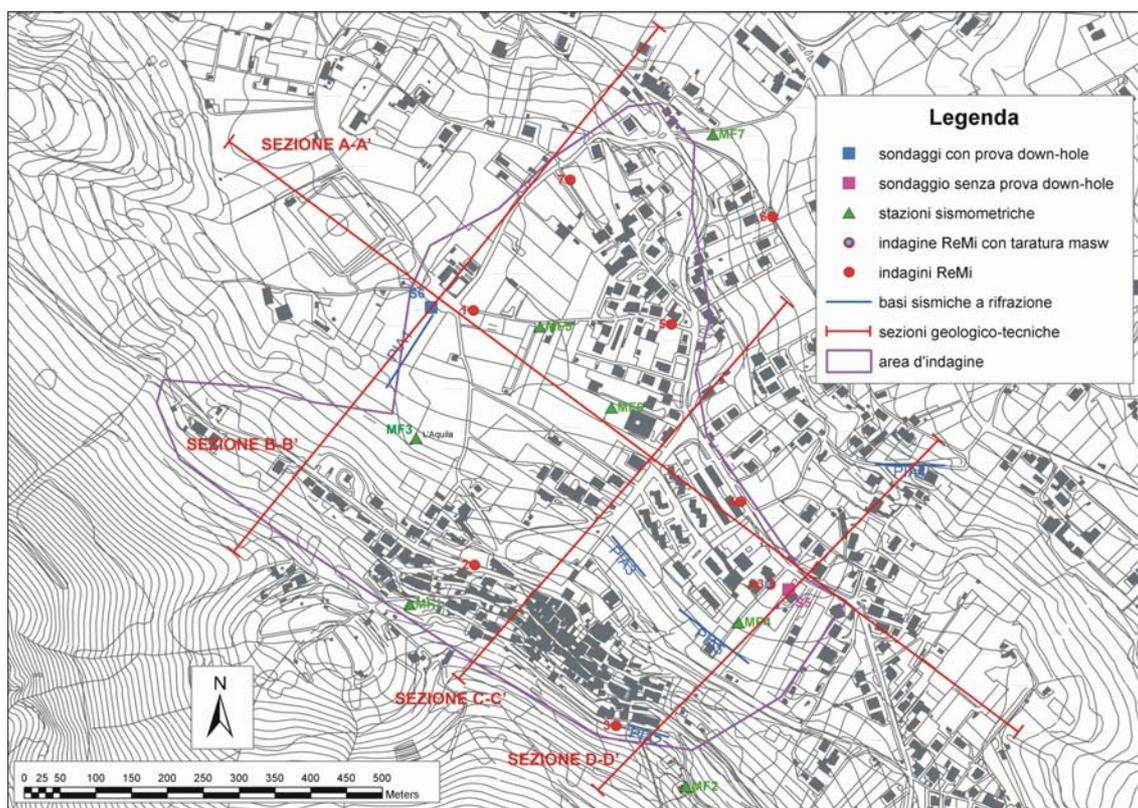


Figura 2 – Carta delle indagini per il sito di Pianola

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 solo le indagini pregresse e per i successivi livelli 2 e 3, in cui devono essere indicate anche le 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 poche indagini pregresse del livello 1, sia le indagini realizzate nell'ambito del livello 3.

Nella suddetta cartografia sono indicate:

- la localizzazione delle indagini pregresse raccolte;
- la localizzazione e la tipologia delle indagini realizzate ex-novo nelle aree dove si riteneva importante e/o indispensabile effettuare approfondimenti conoscitivi;
- l'ubicazione delle sezioni geologico-tecniche utilizzate per le analisi di risposta sismica di livello 3.

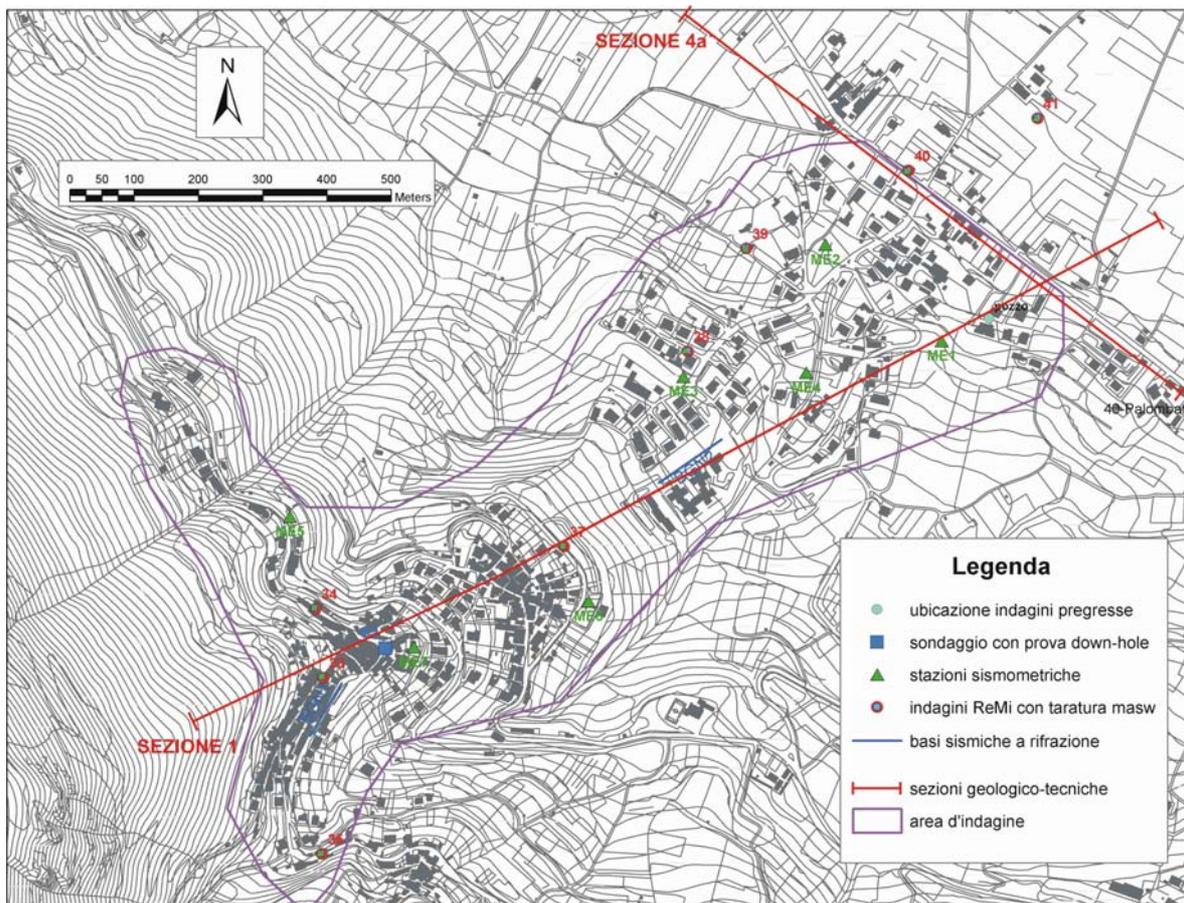


Figura 3 – Carta delle indagini per il sito di Bagno

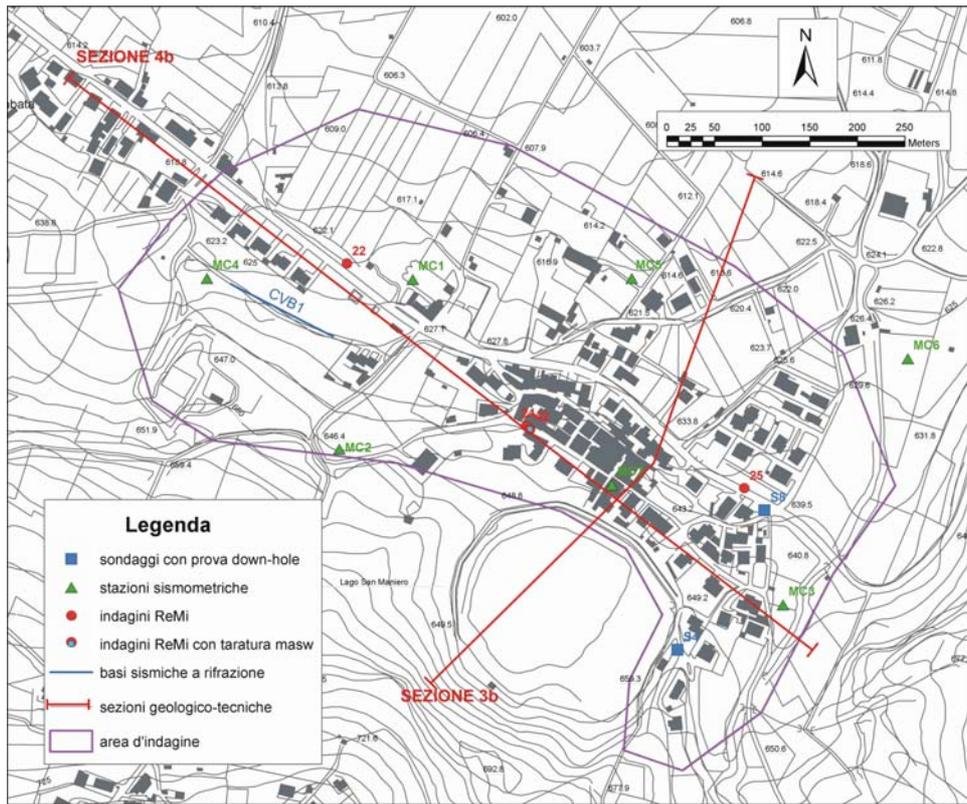


Figura 4 – Carta delle indagini per il sito di Civita di Bagno

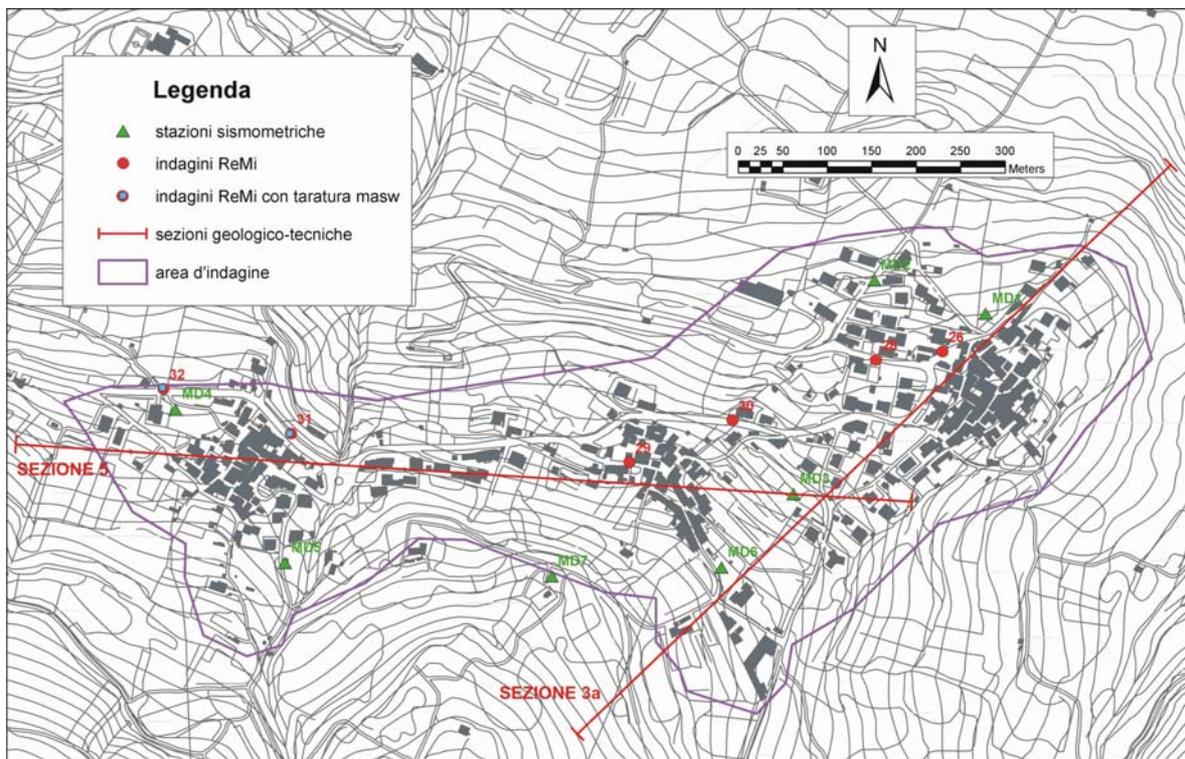


Figura 5 – Carta delle indagini per il sito di San Benedetto

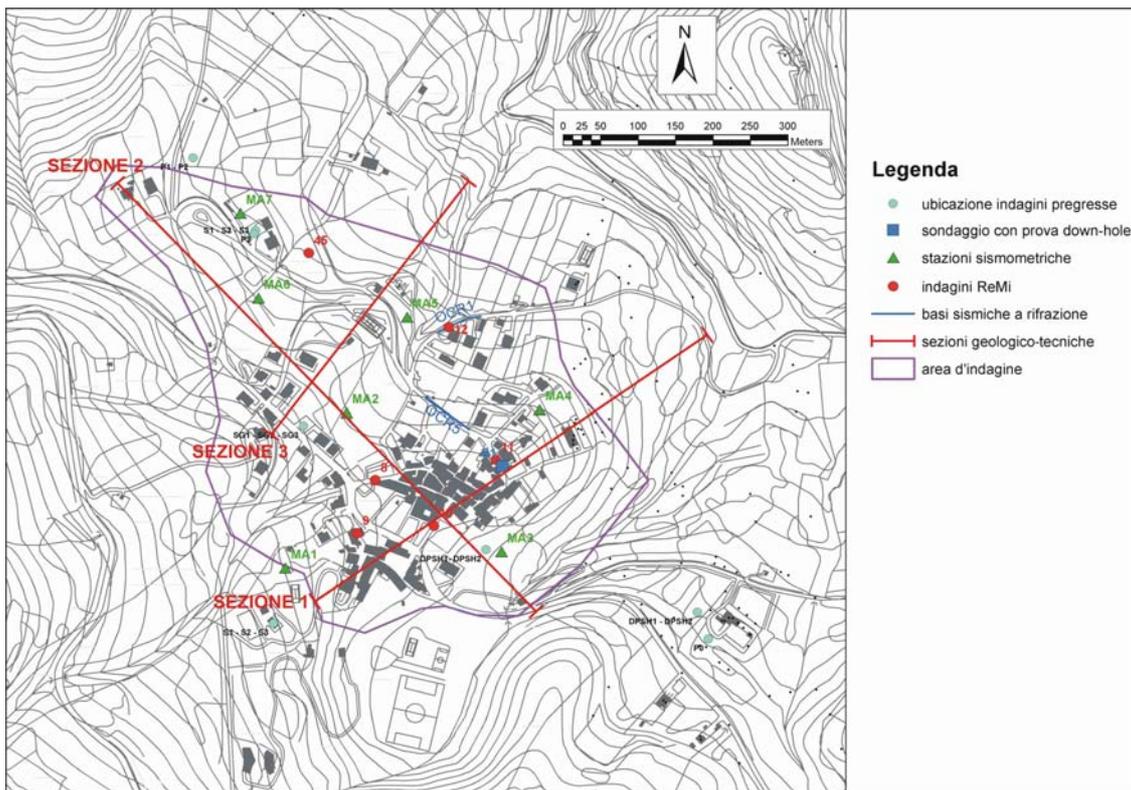


Figura 6 – Carta delle indagini per il sito di San Felice d’Ocre

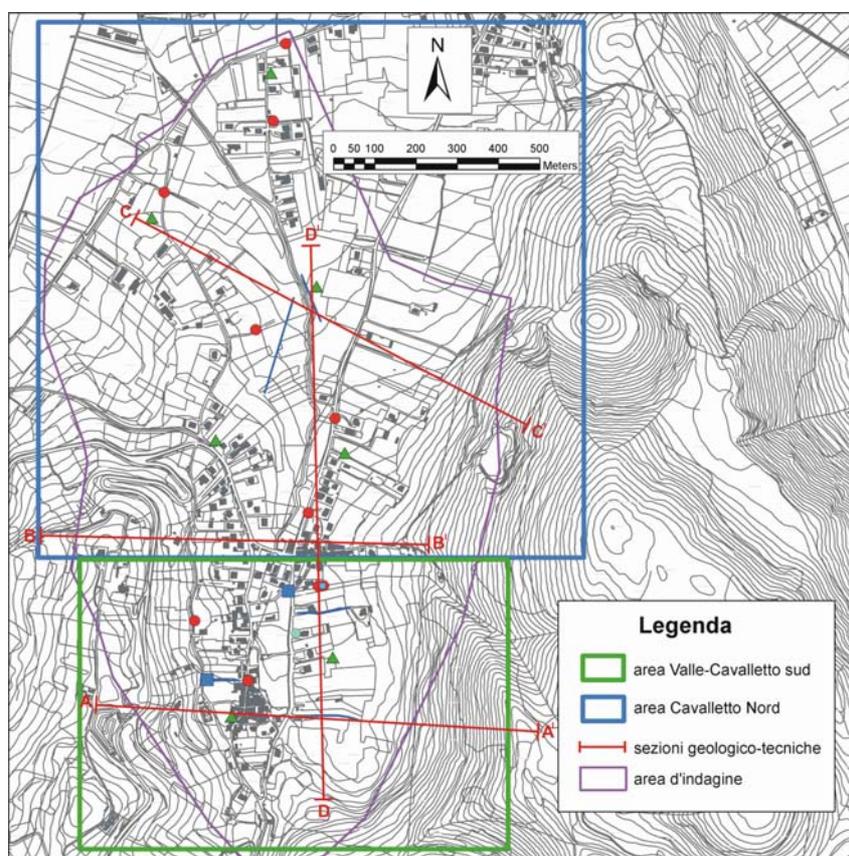


Figura 7 – Quadro d’Unione della carta delle indagini per i siti di Valle e Cavalletto. Le planimetrie di dettaglio sono visibili nelle figure 8 e 9

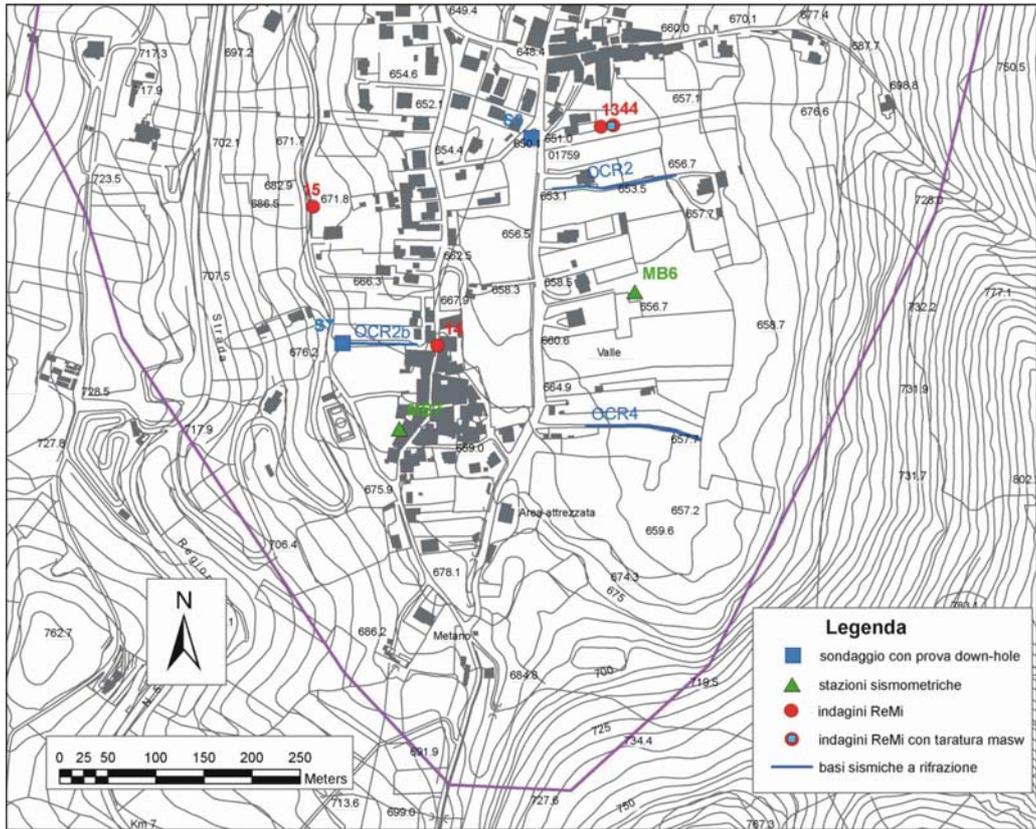


Figura 8 – Carta delle indagini per i siti di Valle e Cavalletto Sud

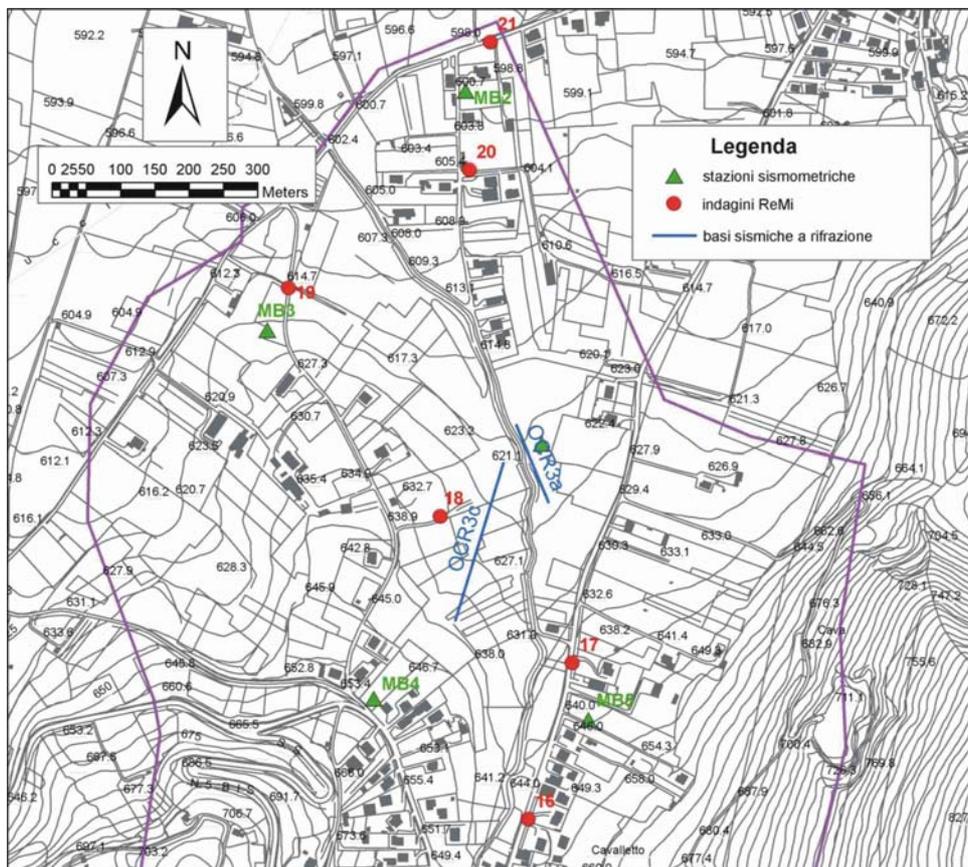


Figura 9 – Carta delle indagini per il sito di Cavalletto Sud

9.2.2. Assetto Litostratigrafico, tettonico e geomorfologico

Da un punto di vista geologico regionale, la conca aquilana è il risultato della deformazione e del sollevamento di domini paleogeografici mesozoici marini sviluppati lungo il margine settentrionale africano. Essa deriva dall'evoluzione prevalentemente neogenica di un sistema orogenico catena-avanfossa-avanpaese in cui è possibile ricostruire le fasi di migrazione degli sforzi compressivi dai settori occidentali verso quelli orientali. Tali fasi compressive sono state accompagnate e poi seguite, a partire almeno dal Miocene superiore da una tettonica distensiva anch'essa in migrazione da Ovest verso Est e non ancora ultimata nella dorsale appenninica. L'emersione graduale della catena in formazione ha creato nel Plio-Pleistocene le condizioni per un importante smantellamento subaereo accompagnato dalla deposizione di una potente coltre di depositi detritici, alluvionali e anche lacustri.

I sistemi deposizionali appenninici sono essenzialmente due: il sistema carbonatico di piattaforma e il sistema silicoclastico di avanfossa.

Per quanto riguarda la tettonica compressiva questo settore di Appennino risulta caratterizzato da sovrascorrimenti con entità di traslazione dell'ordine di diverse decine di chilometri e stile tettonico complesso (tipo *duplex*). I Monti d'Ocre sono caratterizzati da una struttura monoclinale immergente verso E-NE con pendenze degli strati a valore crescente fino a giaciture subverticali; verso S, ad esse, si associano piani di sovrascorrimento che mettono a contatto la porzione carbonatica cretacea con i termini terrigeni messiniani. In alcuni casi (M. te Velino) si osservano strutture pre-mioceniche dislocate da faglie che, secondo alcuni Autori, potrebbero aver invertito sovrascorrimenti di età più antica.

La tettonica distensiva, responsabile della formazione della conca dell'Aquila (sul margine SW della quale è localizzata la macroarea 9 in studio) e il successivo smantellamento hanno creato una depressione colmata da una potente serie di litologie continentali quaternarie (Pleistocene inferiore-Olocene) suddivisa da vari Autori in due sequenze deposizionali formate essenzialmente da breccie, ghiaie, sabbie, limi e limi calcarei. Il primo ciclo si conclude con una superficie deposizionale datata al Pleistocene medio, parte iniziale. Il secondo ciclo è caratterizzato da frequenti intercalazioni di livelli vulcanoclastici e termina con una superficie deposizionale datata Pleistocene medio, parte finale.

Nel presente paragrafo vengono illustrate, per ognuna delle aree rilevate, le principali caratteristiche geologiche, litostratigrafiche, tettoniche e geomorfologiche desunte dai rilievi di campagna eseguiti. Inoltre vengono riportate anche alcune considerazioni desunte dai dati di base pregressi acquisiti, relativamente alle caratteristiche litologiche dei terreni presenti.

Infine per ogni area vengono descritte e commentate le cartografie geologiche prodotte e le relative sezioni geologiche realizzate.

COMUNE DE L'AQUILA: L'AREA DI PIANOLA

L'area di Pianola, situata presso il margine settentrionale della Conca dell'Aquila, è ubicata in una posizione intermedia tra la Conca di Scoppito - L'Aquila e la Conca di Fossa-San Demetrio.

Dal punto di vista stratigrafico il substrato roccioso è costituito da calcari e da unità arenaceo-pelitiche.

Calcari a Briozoi (CBZ): questa successione caratterizza la maggior parte del substrato su cui sorge la parte antica del centro abitato di Pianola e tutto il versante montuoso alle spalle dello stesso paese. Esso è costituito da calcari granulo-sostenuti, a volte finemente ed uniformemente detritici, di colore da grigio a grigio-giallastro, bianco all'alterazione, in livelli con spessore variabile tra i 10 ed i 60 cm, caratterizzati da stratificazione generalmente ben evidente. Lo spessore della successione nell'area di interesse è superiore ai 100 m. L'età di questa successione è stata riferita al Miocene medio (Lorè & Tallini, 1995). Tale unità risulta sovrascorsa verso NE sul flysch argilloso-arenaceo messiniani.

Flysch (UAP): affiora sporadicamente in aree circoscritte e localizzate prevalentemente lungo la scarpata presente alla base della superficie pianeggiante, compresa tra le località “Vigne Piane” e “Case Lepidi”. Piccoli affioramenti sono presenti anche in corrispondenza dell’area compresa tra il centro storico del paese e la località “Paradosso”. Il *flysch* risulta costituito da un’alternanza di marne, peliti, spesso poco consolidate, ed arenarie da fini a medio-grossolane, di colore da avana e marrone chiaro. Gli strati, caratterizzati frequentemente da un assetto molto disturbato, hanno uno spessore di 10-30 cm. Lo spessore della successione, della quale non affiora la base, è sicuramente superiore ai 100 m. L’età del *flysch* è attribuita al Miocene superiore (Lorè & Tallini, 1995). Il contatto rispetto alla sovrastante successione carbonatica è tettonico ed è rappresentato da una superficie di *thrust*.

Tra le coperture sono presenti:

Brecce calcaree (Br): affiorano essenzialmente lungo il versante, orientato NO-SE, alla base dell’area compresa tra le località “Vigne Piane” e “Case Lepidi”. Si tratta di brecce calcaree a matrice bianca e grigia, costituite da clasti carbonatici eterometrici con dimensioni variabili da 0,5 cm a 40-50 cm. I clasti hanno un basso indice di arrotondamento e di sfericità. Tali brecce sono spesso caratterizzate da un elevato grado di cementazione e risultano estremamente compatte e tenaci; il cemento è essenzialmente calcitico. La stratificazione non è apprezzabile. Questa successione poggia, con contatto verosimilmente erosivo, sul *flysch*. Non sono mai stati osservati rapporti diretti con la successione fluvio-lacustre, rispetto alla quale riteniamo che le brecce in oggetto siano più antiche. Lo spessore delle brecce è estremamente variabile e difficilmente stimabile là dove non è visibile il contatto basale con la successione sottostante: in alcuni punti possono avere lo spessore di pochi decimetri, altrove possono superare anche i 10 m (es.: versante ad est di “Case Lepidi” - 650 m.s.l.m.).

Depositi fluvio-lacustri (FLU): questa successione caratterizza l’area pianeggiante, compresa tra 680 e 700 m s.l.m., che si estende in direzione NO-SE tra le località “Vigne Piane” (a NO) e “Case Lepidi” (a SE). Non sono mai stati osservati affioramenti ascrivibili a questa successione, la cui descrizione è principalmente basata sull’interpretazione di dati provenienti dai sondaggi geognostici. La successione è costituita prevalentemente da sabbie e limi sabbiosi di colore avana/giallo, argille marnose ed argille da grigie a grigio-azzurre, frequenti nella parte basale della successione. Possono essere a volte presenti all’interno della successione piccoli ciottoli calcarei e/o concrezioni carbonatiche. La stratificazione è talvolta evidente. Questi depositi poggiano sopra la successione del *flysch* miocenico (UAP). Lo spessore della successione è arealmente variabile; grazie ad alcuni sondaggi è stata ricostruita una geometria del substrato abbastanza articolata, sulla base della quale sono stati ipotizzati gli spessori attribuiti a questa sequenza nelle varie aree. Mediamente lo spessore può essere stimato in circa 20 m, in alcune zone si può ridurre fino a 10-15 m, mentre in particolari aree (es.: località “le Piscine”) può superare anche i 50 m.

Detrito di versante (dt): è rappresentato essenzialmente da depositi clastici poligenici eterometrici, non cementati, con un’abbondante matrice sabbioso-limosa da giallastra a marrone. Possono essere presenti concrezioni carbonatiche più o meno cementate e locali livelli torbosi. Lo spessore stimato è variabile, non supera mai comunque i 5 m.

Depositi eluvio-colluviali (b8): è costituito da depositi clastici poligenici eterometrici elaborati, non cementati, immersi in una matrice sabbioso-limosa da giallastra a marrone chiaro. Lo spessore è compreso tra 0 e 3 m.

Dal punto di vista tettonico, l’assetto dell’area di Pianola è essenzialmente caratterizzato dal sovrascorrimento, orientato NO-SE, che giustappone la successione carbonatica sulla successione del *flysch* miocenico. La superficie principale del *thrust*, immergente di circa 30-40° verso SO, affiora localmente (775 m s.l.m.) nell’area a SE del centro storico del paese. Ad essa sono associate anche superfici di *thrust* secondarie, orientate ed immergenti generalmente come quella principale.

Sulla base di considerazioni geologiche e morfologiche è stata ipotizzata l'esistenza di una faglia normale, orientata circa NO-SE ed immergente ad alto angolo verso NE, parallela alla dorsale Poggio di Roio-Pianola. Dal punto di vista cronologico si suppone che la genesi di questa faglia sia successiva al sovrascorrimento, che sembra infatti dislocato dalla stessa, ma precedente o contemporaneo rispetto ai depositi fluvio-lacustri. L'attività della faglia potrebbe infatti essere iniziata precedentemente alla fase deposizione fluvio-lacustre ed essere quindi perdurata anche durante quest'ultima. Mancano dati oggettivi per stimare l'entità del rigetto di questa faglia, stimabile comunque in diversi metri.

COMUNE DE L'AQUILA: L'AREA DI BAGNO, CIVITA DI BAGNO E SAN BENEDETTO

L'area in oggetto coinvolge i centri abitati di Bagno Grande, Bagno Piccolo, Civita di Bagno, Palombata, Ripio, San Benedetto, Sant'Angelo, Vallesindola. I risultati di seguito esposti sono corredati di cartografia geologica e n.4 sezioni geologiche, riportata in Allegato 1. L'area indagata si trova pochi chilometri a sud-est dell'Aquila, in destra orografica del Fiume Aterno; essa rientra nel segmento più esterno dell'Appennino Centrale, strutturato in un edificio caratterizzato dalla sovrapposizione tettonica di unità appartenenti a domini paleogeografici diversi.

Dal punto di vista stratigrafico il substrato roccioso è costituito da calcari e da unità arenaceo-pelitiche.

Calcari a Briozoi (CBZ): Affiorano solo localmente a sud del Lago di Civita, mentre affioramenti migliori sono immediatamente a est dell'area di studio. Si tratta di calcareniti bianche, grigie e giallastre a briozoi e frammenti di litotamni con intercalazioni fini saccaroidi bianche e di calciruditi a briozoi e pectinidi. Lo spessore degli strati varia da decimetrico a metrico. Età: Langhiano *p.p.* – Serravalliano.

Complesso torbido laziale-abruzzese - Unità arenaceo-pelitica (UAPb): Affiora con discreta esposizione a Bagno Grande e Ripio ed è costituita da alternanze irregolari di arenarie giallo-ocracee in strati medi (50-70 cm) e peliti in strati sottili (10-30 cm). Generalmente il rapporto arenaria/pelite è > 2 . Le arenarie sono per lo più massive, ma talvolta si riconoscono laminazioni ondulate o incrociate; una chiara reazione all'acido cloridrico testimonia la presenza di carbonato di calcio, sia nei clasti che nel cemento. L'alterazione produce un materiale sabbioso-pelitico giallastro da poco a mediamente addensato, in cui di solito non si riconoscono strutture sedimentarie; ciò può rendere difficile distinguere il substrato alterato da depositi di versante o fluvio-lacustri. Età: Messiniano inferiore *p.p.*

Tra le coperture sono presenti:

Depositi fluvio-lacustri (FLC): Affiorano esclusivamente a nord-est di San Benedetto, lungo il pendio che limita a sud-ovest il Lago di San Maniero. L'esposizione migliore è tra 660 e 700 m di quota, in corrispondenza di una scarpata di frana attiva, dove si osservano sabbie massive grigio-giallastre con intervalli di peliti e di conglomerati. Le sabbie, molto addensate, hanno struttura generalmente massiva e strati di spessore da qualche decimetro a qualche metro; la direzione di strato varia tra nord-sud e NW-SE, con inclinazione di 10-20° verso ovest o sud-ovest. L'evidente reazione all'acido cloridrico indica una presenza significativa di frazione carbonatica. Si riconoscono due sistemi di fratture subverticali (70-85°) con spaziatura metrica, orientati approssimativamente nord-sud ed est-ovest. I conglomerati, molto addensati, formano livelli spesso lentiformi e/o canalizzati, fino a qualche metro di spessore. Sono costituiti prevalentemente da elementi calcarei, da spigolosi ad arrotondati, da matrice a clasto-sostenuti; la matrice è prevalentemente sabbiosa e comprende una frazione carbonatica. Gli intervalli pelitici, argilloso-limosi, di colore grigio scuro, hanno spessore da centimetrico a decimetrico e struttura laminata. La reazione all'acido cloridrico è evidente e indica una presenza significativa di frazione carbonatica. La consistenza varia da elevata a molto elevata. Sono presenti fratture subverticali fittamente spaziate. Età: Pliocene (?) – Pleistocene medio

Depositi eluvio-colluviali (b2=b8): Coprono i pianori su cui giacciono i paesi di Bagno Grande, Bagno Piccolo e San Benedetto. Gli affioramenti sono molto sporadici e mal conservati; il deposito è prevalentemente sabbioso, mediamente addensato, ma localmente si possono riconoscere porzioni più pelitiche. Il log del sondaggio S2 (prof. 15 m) perforato a Bagno grande il 26/08/09 localizza il substrato roccioso alla profondità di 2 m. Tuttavia lo spessore nella maggior parte dei casi non è direttamente determinabile e potrebbe raggiungere spessori molto significativi (forse anche decine di metri), che dovrebbero essere accertati con ulteriori indagini geognostiche. Età: Pleistocene-Olocene.

Depositi alluvionali terrazzati (bn): Si trovano lungo una fascia che dal cimitero a est di Bagno Grande degrada verso Civita di Bagno, raccordandosi alla zona del Lago San Maniero; costituiscono inoltre la fascia lungo la pianura tra Civita di Bagno e Palombata. Gli affioramenti, molto rari e di cattiva qualità, mostrano un materiale sabbioso con elementi lapidei dispersi. Lo spessore non dovrebbe superare pochi metri, ma non vi sono dati diretti per accertarlo. Età: Pleistocene (?) - Olocene.

Depositi di conoide alluvionale (m): Formano i grandi conoidi della fascia pedecollinare tra Civita di Bagno e Palombata. Affioramenti buoni si trovano nella zona di Palombata, dove il deposito si presenta oligomittico ed eterometrico, da clasto-sostenuto a matrice-sostenuto, ben addensato e a luoghi debolmente cementato. Gli elementi, da centimetrici a decimetrici, sono prevalentemente subangolosi o arrotondati e sono riferibili a calcari e ad arenarie. Si riconosce una caratteristica clinostratificazione, con immersione di circa 15° verso il fondovalle dell'Aterno; sono visibili anche fratture e piccole faglie, con riorientazione dei clasti. Lo spessore è di circa 5 m. Età: Olocene.

Depositi lacustri (ea): Affiorano ai bordi del lago San Maniero e sono costituiti in prevalenza da sabbie e limi di color giallo tenue, con aspetto massivo, consistenza media e fratture da ritiro in superficie. Lo spessore è verosimilmente di pochi metri. Età: Olocene.

Detrito di versante (a): Copre vaste aree soprattutto a quote più elevate, come a monte di Sant'Angelo e di Bagno Grande e nell'area di Vallesindola, ma coperture significative si trovano anche intorno a S.Benedetto. Tipicamente il deposito comprende abbondanti clasti quasi esclusivamente calcarei di taglia da centimetrica a decimetrica dispersi in una matrice prevalentemente sabbiosa di colore rosso bruno o marrone scuro; i clasti arenacei sono rari. I clasti calcarei mostrano spesso dissoluzione carsica superficiale. Alle quote più elevate il deposito, più proximale, è più grossolano e contiene anche blocchi generalmente calcarei. Il deposito può mostrare un certo addensamento e cementazione dovuta alle acque circolanti. Poco sotto Vallesindola, alla testata di un torrentello, sono presenti resti di una falda detritica a grossi blocchi fortemente cementata che in passato veniva cavata, stando alle testimonianze raccolte e alle tracce di escavazione ancora visibili. Lo spessore del deposito, non è accertabile direttamente se non in pochi affioramenti, varia da qualche decimetro a un massimo ipotizzabile di qualche decina di metri. Età: Olocene.

Depositi alluvionali attuali (b): Costituiscono la piana dell'Aterno e sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi in proporzione variabile. Nella zona studiata non ci sono affioramenti, né indicazioni per stabilirne lo spessore. Età: Olocene.

Depositi di frana (fr): Nell'area studiata sono presenti numerose frane. Lo spessore non è valutabile, ma in base alle caratteristiche morfometriche può essere stimato in almeno 20 m. Le frane sono state differenziate in base al tipo di movimento e allo stato di attività. In assenza di sondaggi e dati di monitoraggio è stato possibile differenziare due tipi di movimento: lo scorrimento e il colamento. Nel primo caso si tratta di movimenti in cui la deformazione di taglio si concentra in una superficie di scorrimento o in una fascia di spessore relativamente ridotto rispetto a quello del corpo di frana; nel secondo caso la deformazione interessa gran parte o l'intero corpo di frana, con deformazioni rilevanti anche in superficie. Le frane di scorrimento sono la grande maggioranza e non hanno mostrato indizi di movimento, salvo alcune eccezioni di cui si tratterà in seguito. Pertanto, data la scarsità di indizi superficiali e l'assenza di dati di sottosuolo, non sono state

distinte le frane di scorrimento traslativo da quelle di tipo rotazionale. Naturalmente non si può escludere che alcune di esse siano parzialmente evolute in colamento. Una grande frana di colamento è stata riconosciuta tra Bagno Piccolo e Palombata. Si tratta di un accumulo che non mostra indizi d'attività. Un affioramento nei pressi di Palombata ha consentito di osservare anche strutture del deposito riferibili a processi di colata detritica, caratterizzate da assenza di organizzazione del deposito (come stratificazione, embriatura o classazione) e da notevole capacità di trasporto, fino ai massi di molti metri cubi. Si può ipotizzare una messa in posto di questo corpo per ripetuti fenomeni di colata detritica. Le frane descritte non presentano indizi di movimento in atto o recente e si possono sostanzialmente considerare quiescenti. Occorre però mettere in evidenza la presenza di alcuni corpi di frana di attivazione recente e che tuttora sono attivi. Alcune testimonianze indicano l'attivazione o riattivazione di queste frane a seguito dello scuotimento del 6 aprile 2009. Due si trovano a Bagno Grande: la più grande, poco a nord del paese, ha una lunghezza poco superiore a 50 m e una larghezza di poco inferiore; la più piccola, 250 m a est, non fedelmente cartografabile, presenta varie fratture di trazione al coronamento e incombe su una strada presso alcuni edifici. Un'altra, 150 m di lunghezza per 50 m di larghezza, coinvolge l'area immediatamente sotto strada a nord di Vallesindola. La quarta, forse più significativa, coinvolge i depositi fluvio-lacustri lungo il pendio a nord del lago San Maniero, con una lunghezza di 70 m e una larghezza di 30 m. Questa frana non è presente nelle foto aeree del 2006 e mostra chiari indizi di attivazione molto recente (vegetazione ancora vivente sul corpo di frana, alberi caduti ma ancora verdi, scarpata molto fresca).

Terreno di riporto (hn): Sono costituiti da materiale eterogeneo ed eterometrico; costituiscono alcuni terrapieni e rilevati nella zona a ovest di Civita di Bagno e lo sbarramento che contiene a nord-est il lago San Maniero. Età: Olocene.

I livelli di danneggiamento molto ingenti riscontrati soprattutto nelle aree di Civita di Bagno e S. Giovanni fanno ipotizzare il verificarsi di effetti di sito significativi. Significativa anche la problematica della zona del lago S. Raniero: secondo alcune fonti, questo lago avrebbe avuto origine da uno sprofondamento o *sinkhole* avvenuto nel XIV secolo, probabilmente provocato da un terremoto; oppure potrebbe aver colmato un'antica dolina. L'invaso naturale fu poi stabilizzato negli anni '50, realizzando uno sbarramento sul lato nord-est del bacino. La sez. n. 3, allegata alla presente relazione, rappresenta la ricostruzione del sottosuolo nella zona tra San Benedetto e Civita di Bagno, sulla base degli affioramenti e dei dati geognostici disponibili. In tale contesto il lago potrebbe essersi essere l'espressione superficiale di un sprofondamento, avvenuto nel substrato roccioso carbonatico ed evoluto più o meno rapidamente fino a raggiungere la superficie. La presenza di faglie dirette, parzialmente riconoscibili dalla fotointerpretazione e in aree limitrofe, sarebbe un elemento determinante per lo svilupparsi del fenomeno.

COMUNE DI OCRE: L'AREA DI SAN FELICE

L'abitato di San Felice d'Ocre sorge ad una quota di 780 m s.l.m. ed è posto sul versante che, attraverso zone a diversa pendenza, degrada verso NE dal Monte Ocre (2.204 m) verso la pianura del T. Aterno. Il nucleo storico del paese è posto su una dorsale a direzione NE-SO bordata da due corsi d'acqua a carattere effimero che si uniscono poco a valle di San Felice d'Ocre, ed il cui andamento è condizionato dalla tettonica recente e dalla presenza di forme carsiche. Il fosso posto a NO è stato tombato in prossimità del paese e mostra tendenza ad incidere il proprio alveo in prossimità di una scarpata morfologica posta a valle del paese, mentre quello a SE attraversa un'ampia depressione (denominata "la Fossa") posta a monte del paese la cui origine è probabilmente di natura carsica. Tra la dorsale sulla quale sorge il paese ed il bordo della dolina sopra menzionata è possibile individuare una sella che si raccorda all'impluvio del fosso di SE.

Nell'area il substrato geologico è rappresentato dal membro dei **Calcari a Briozoi (CBZ3)**, facente parte della formazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni, di età Langhiano p.p. – Serravalliano. Esso è costituito da strati medi e spessi di calcareniti bianche, grigie e giallastre a briozoi e frammenti di

litotamni con intercalazioni di calcareniti fini saccaroidi bianche e di calciruditi a briozoi e pectinidi. All'interno dell'area assegnata per il rilevamento, i calcari sono affioranti unicamente in prossimità e a valle del centro di accoglienza della popolazione allestito a seguito del sisma, con giacitura prevalentemente a franapoggio. Esternamente all'area di riferimento essi affiorano lungo la strada per Valle e nella zona del Cimitero. E' utile segnalare alcune differenze con la cartografia CARG che attribuisce a tale formazione un'ampia porzione a valle del nucleo storico del paese dove tale formazione non affiora, e dove durante il rilevamento è stato possibile raccogliere informazioni di recenti cantieri che non hanno incontrato, almeno nei primi 3-4 m, tale substrato calcareo. La carta CARG attribuisce a tale formazione anche la zona a valle della ex scuola del paese; tenuto conto che non vi sono affioramenti in tale area, considerate le testimonianze da parte di tecnici locali che escludevano di aver incontrato in tale area durante i lavori il substrato calcareo in recenti cantieri edili, ed avendo potuto visionare 3 saggi con escavatore ed una stesa sismica a rifrazione ad essi limitrofa, tale area è stata attribuita a coperture di versante.

Le coperture del substrato calcareo possono essere così distinte:

Detrito di versante, depositi eluvio – colluviali: è costituito da limi argillosi, argille limose, sabbie limose, marrone – rosso – bruno, con abbondanti clasti centimetrici – decimetrici da poco a mediamente arrotondati. Nella fascia a maggior pendenza a monte di San Felice d'Ocre si ha la diffusa presenza di blocchi carbonatici di dimensione metrica; tale presenza si trova anche nella scarpata a valle del paese. Livelli decimetrici di piroclastiti sono stati osservati in paese sul fondo di un saggio con escavatore a circa 1,8 m di profondità (*₂) e sulla sommità della scarpata stradale posta a NE dello stesso (*₁).

Depositi alluvionali recenti e attuali: sono costituiti da sabbie limose, marrone nocciola arrossate con abbondanti clasti carbonatici centimetrici spigolosi e ciottoli arrotondati.

Depositi di conoide alluvionale: sono costituiti da conglomerati cementati: ciottoli arrotondati calcarenitici di dimensioni centimetriche in cemento carbonatico.

Durante questa prima fase di campagna non è stato possibile chiarire i rapporti tra le coperture. Appare comunque evidente che i depositi di fondo valle recenti e attuali sono topograficamente più bassi rispetto ai conglomerati cementati rilevati nell'area, che in prima battuta sono stati assimilati, per la distribuzione degli affioramenti, a depositi di conoide alluvionale. Vale la pena segnalare come tali conglomerati siano presenti anche in un taglio stradale lungo la SS 5bis a quota 885 m. Inoltre i depositi eluvio-colluviali sono talvolta ricoperti da blocchi di dimensioni metriche o submetriche, derivanti da probabili movimenti di massa provenienti dalle porzioni più elevate del versante, e da livelli poco continui lateralmente di clasti carbonatici centimetrici e decimetrici con scarsa matrice per i quali è ipotizzabile un fenomeno di messa in posto mediante flusso di detriti (debris flow).

Gli unici dissesti rilevati nell'area sono rappresentati da una zona soggetta a deformazioni superficiali quiescenti dedotta dall'osservazione delle foto aeree, e una frattura di distacco al bordo nel rilevato lungo un ampio tornante della SS 5bis (al km 7,7 circa), che secondo testimonianze locali, si è attivato a seguito del sisma. Dalle testimonianze raccolte, la circolazione idrica nel sottosuolo è effimera e limitata ai mesi umidi.

Si ritiene utile infine segnalare la possibile presenza di lineazioni (fasce di debolezza) deducibili da foto aeree nella porzione meridionale del paese, già segnalate negli studi a livello di Piano Strutturale.

Per quanto riguarda la cartografia geologica realizzata in scala 1:5.000 e le n.3 sezioni geologiche rappresentative redatte si rimanda all'Allegato 1.

COMUNE DI OCRE: L'AREA DI VALLE E CAVALLETTO

La carta geologica in scala 1:5.000 realizzata per quest'area unitamente alla n.4 sezioni geologiche rappresentative redatte (Allegato 1), mette in evidenza la presenza di un substrato formato da litologie con assoluta dominanza carbonatica appartenenti sia a litologie carbonatiche di piattaforma (**Calcari a Coralli e Diceratidi-CCD** e Calcari a Briozoi e Litotamni-membro delle **Calcareniti a Briozoi-CBZ₃**) sia a litologie silicoclastiche di avanfossa (**Unità Argilloso-Marnosa**, membro delle Marne calcaree-litofacies calcareo-marnosa, **UAM_{1b}**). In generale il substrato calcareo si presenta stratificato (in strati da medi a spessi), interessato da almeno tre famiglie di fratturazione sulle quali (a partire in particolare dalla famiglia subverticale) si impostano fenomeni di dissoluzione carsica che si osservano a tutte le scale.

Le coperture sono rappresentate prevalentemente da **depositi alluvionali** generalmente caratterizzati dall'assenza di significative granulometrie fini. Il termine più antico (**bI**) è caratterizzato da sabbia limosa e ghiaiosa mediamente addensata che genera forme dolci del rilievo. Il termine successivo (**bII**) risulta invece costituito da ghiaia con sabbia addensata a luoghi cementata che può dar luogo anche a pareti verticali di qualche metro con buon grado stabilità. I depositi alluvionali di fondo valle (indicati genericamente con **bIII**) sono ancora costituiti da sabbie e ghiaie con minor grado di addensamento rispetto ai più antichi. Significativa la presenza di due **conoidi alluvionali (m)**, una di piccole dimensioni sulla quale sorge l'abitato di Cavalletto, l'altra di dimensioni superiori che sfocia nel fondovalle del F. Aterno, sulla quale sorge una piccola area produttiva. Tra le coperture si segnala inoltre una falda di detrito che si distribuisce alla base del versante occidentale della dorsale montuosa che fa capo al Monte Cavalletto e che a luoghi evidenzia caratteristiche di deposito cementato.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di indagine è ubicata in prossimità del settore terminale della valle d'Ocre alla confluenza di questa con la principale alle del Fiume Aterno. L'asse di drenaggio della valle è disposto in direzione NNE. Le quote del fondovalle vanno dai circa 680 m s.l.m. della parte sud di Valle fino ai circa 500 m s.l.m. della parte prossimale della conoide che si affaccia sulla valle del Fiume Aterno. Si tratta di una valle fluviale il cui asse drenante è solcato da un corso d'acqua caratterizzato da forte stagionalità e comunque scarse portate (asciutto in occasione dei rilievi eseguiti in giugno 2009). Il tratto che scorre in prossimità degli abitati è tombato, a Nord di Cavalletto il corso risulta di fatto un modesto fosso campestre. La scarsa presenza di acqua in superficie potrebbe essere determinata da importanti fenomeni di infiltrazione legati alla alta permeabilità dei depositi alluvionali (caratterizzati da tessiture grossolane) ed ai caratteri carsici dell'area. La valle in oggetto appare caratterizzata da una marcata asimmetria deposizionale, infatti mentre sul versante in destra idrografica affiora un substrato litoide carbonatico con la sua falda di detrito, alle stesse quote sul versante in sinistra idrografica affiorano depositi alluvionali antichi. Di questi ultimi non c'è traccia sul versante in destra idrografica. Sulla base di tale evidenza si potrebbe ipotizzare un'origine dovuta ad un fenomeno di inversione del rilievo. Tra le forme rilevanti appaiono senza dubbio le due conoidi alluvionali che non mostrano in ogni caso alcuno stato di attività. Tra le forme minori si segnala invece, a sud di Valle, la presenza di una frana stabilizzata che ha, con ogni probabilità, generato nel passato una minima ma significativa variazione di direzione dell'asta fluviale di fondovalle. Infine si osserva come la particolare diffusione delle litologie carbonatiche abbia contribuito al notevole sviluppo del fenomeno carsico. Questo si evidenzia nella presenza di allineamenti NO-SE di doline dalla varia morfologia, in alcuni casi cave, in altri riempite e sepolte da depositi detritici e alluvionali come è ipotizzabile nel caso del basso morfologico situato a SE di Valle. Il rilevamento di massima eseguito sul luogo non ha evidenziato l'esistenza di forme o movimenti attribuibili a collassi, cedimenti o fenomeni gravitativi in atto.

9.2.3 Dati geotecnici

9.2.3.1. Acquisizioni di dati pregressi e nuove indagini

Prioritariamente, con la collaborazione del DPC Nazionale sono state acquisite tutte le informazioni pregresse esistenti nell'area nelle varie loc.tà oggetto dello studio di Microzonazione sismica. Tali informazioni sono consistite in poche informazioni di natura stratigrafica derivanti da sondaggi geotecnici, da pozzi a scopo idropotabile e/o irriguo e da informazioni di massima desunte da prove penetrometriche esistenti.

Nello specifico i dati pregressi acquisiti sono i seguenti:

1. Area di Pianola: n. 1 sondaggio con relativa prova down-hole e n.1 prova MASW effettuata nell'ambito del Progetto CASE alcune centinaia di metri a Nord dell'area di studio. Inoltre n.7 stratigrafie desunte da pozzi e n.10 stratigrafie ricavate da sondaggi geotecnici realizzati nelle immediate vicinanze del sito;
2. Area di Bagno, Civita di Bagno e San Benedetto: n.1 stratigrafia desunta da pozzo;
3. Area di San Felice d'Ocre: alcuni saggi geognostici e poche prove penetrometriche;
4. Area di Valle e Cavalletto: n.1 stratigrafia desunta da pozzo.

Considerato, quindi il modesto quadro conoscitivo esistente desunto dalle pochissime indagini pregresse acquisite, è stato necessario a seguito del rilievo geologico eseguito effettuare una programmazione di indagini geognostiche sufficientemente approfondita, al fine di verificare le informazioni dedotte sia dal rilievo di superficie sia dalla campagna geofisica e strumentale .

In particolare, dovevano essere meglio caratterizzate (mediante prove in situ e di laboratorio) le coperture sismiche costituite da coltri detritiche di natura eluvio-colluviale, depositi di frane quiescenti e inattive, depositi alluvionali e fluvio-lacustri.

Tali depositi poggianti prevalentemente sul substrato roccioso di natura arenaceo o calcareo, costituiscono un elemento di pericolosità locale e, pertanto, nei limiti delle disponibilità economiche, è stata pianificata una campagna geognostica finalizzata alla definizione dell'assetto sepolto dei litotipi rilevati dal rilievo di campagna e all'implementazione delle conoscenze sulle loro proprietà fisico-meccaniche, mediante sia la realizzazione di prove penetrometriche in foro sia il prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio.

Nello specifico la campagna geognostica è riassunta nelle tabelle allegata (Tab1):

Tab.1 – Riepilogo dei sondaggi a carotaggio continuo effettuati nella Macroarea9

tipologia	sigla	Comune	Località	Profondità
sondaggio a c.c.	S5	L' Aquila	Pianola	50
	S6			35
	S1	Ocre	S.Felice d'Ocre	30
	S2	L' Aquila	Bagno Grande	15
	S4		Civita di Bagno	14
	S8			15
	S7	Ocre	Valle	30
	S3		Cavalletto	30

Tab.2 – Elenco delle prove SPT eseguite nella Macroarea9

tipologia	sigla	sondaggio	Profondità
SPT	SPT1	S1	13
	SPT2		18,5
	SPT1	S3	7
	SPT2		10,5
	SPT3		12
	SPT1	S5	3
	SPT2		6,3
	SPT3		10,6
	SPT4		14
	SPT5	18	
	SPT1	S6	2,8
	SPT2		9
	SPT3		12
	SPT4		19
	SPT1	S7	4,5
	SPT2		7,5
SPT3	13,5		
SPT4	27,5		

Tab.3 – Elenco dei campioni prelevati nella Macroarea9

tipologia	sigla	sondaggio	Profondità
prelievo di campioni	C1	S1	3,50-4,00
	C2		12,50-13,00
	C1	S3	10,00-10,50
	C2		17-17,50
	C1	S5	6-6,40
	C2		10-10,60
	C3		13,50-14
	C1	S6	6-6,50
	C1	S8	3,50-4

9.2.3.2. Prove in sito

Nel corso dei mesi di luglio e agosto 2009 sono stati realizzati, dall'Impresa Geo s.a.s. incaricata dalla Regione Abruzzo, nella macroarea 9, n.8 sondaggi a carotaggio continui spinti a profondità variabili tra 15 e 50m di profondità, alcuni di essi si sono attestati sul substrato roccioso, mentre altri sono stati approfonditi all'interno dei depositi di copertura.

Sono state inoltre eseguite all'interno dei fori dei sondaggi n.18 prove SPT (tabella 2) e sono stati prelevati n.9 campioni indisturbati di terreno a quote differenti tramite il campionatore di tipo Shelby.

I sondaggi sono stati eseguiti con perforatrici idrauliche a rotazione tipo CMV MK 900, CMV MK 1200 e Beretta T46. Per la perforazione sono stati utilizzati carotieri Ø 101 mm e tubazioni di rivestimento provvisorio Ø 127 mm.

Il materiale campionato è stato sistemato in cassette catalogatrici in PVC con l'indicazione delle profondità di prelievo; le prove SPT sono state eseguite utilizzando il maglio a sganciamento automatico e il campionatore standard tipo Raymond con scarpa aperta.

I campioni indisturbati sono stati paraffinati e inviati ai laboratori geotecnici per le analisi statiche e dinamiche.

Tutti i fori di sondaggio sono stati sistemati per la successiva esecuzione di prove down-hole mediante l'installazione in foro di un tubo in PVC di diametro 3'' cementato opportunamente al terreno con miscela acqua-cemento.

A protezione dei fori così strumentati sono stati messi in opera chiusini metallici protettivi muniti di lucchetto. Un report dettagliato delle indagini geognostiche eseguite nell'area è riportato nell'Allegato 4)

9.2.3.3. Prove in laboratorio

Le prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati sono state realizzate dal laboratorio del Dip.to di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa (Allegato 5a) , tranne n.2 campioni che sono stati analizzati dal laboratorio C.G.G. di Bologna (Allegato 5b).

Nella tabella 4 si riportano le tipologie di prove effettuate dall'Università di Pisa. Come si può osservare sono state realizzate per tutti i campioni prove di classificazione e granulometriche. Inoltre per n.4 campioni sono state realizzate prove di tipo edometrico e di taglio diretto. Per i restanti n.3 campioni sono state realizzate prove dinamiche di colonna risonante al fine di poter stimare l'andamento della curva $G-\gamma$; $D-\gamma$.

Tab.4 – Elenco dei campioni analizzati dall'Università di Pisa

n.reg	Campione		W/n	γ	LL.PL	Gs	Granulometria	Aerometria	EDO	TD	TX – CIU/D	CR
472	S5	C1	X	X	X	X	X	X	X	X		
473	S5	C2	X	X	X	X	X	X				X
474	S6	C1	X	X	X	X	X	X	X	X		X
475	S5	C3	X	X	X	X	X	X				X
478	S1 MA9	CIN1	X	X	X	X	X	X	X	X		
479	S1 MA9	CIN2	X	X	X	X	X	X	X	X		

Tab.5 – Parametri dinamici del campione prelevato a San Felice d'Ocre

	Frequen. risonan.:	Ampiezza Momento Torcente:	Max deform. di taglio:	Vel. onde Vs:	MOD. TAGLIO (G):	G/G ₀	SMORZAM. (D):		$\Delta U/\sigma^3$
	Hz	N/m	%	m/s	Mpa	-	Oscill. Libere %	H.P.B. %	
Test 1*	85.0	0.00117	0.00012	109.39	23.74	1.000	6.05	5.24	0.00199
Test 2	85.0	0.00234	0.00023	109.39	23.74	1.000	6.78	5.73	0.00199
Test 3	85.0	0.00390	0.00040	109.39	23.74	1.000	6.74	6.02	0.00199
Test 4	85.0	0.00780	0.00081	109.39	23.74	1.000	7.01	7.39	0.00199
Test 5	85.0	0.02730	0.00136	109.39	23.74	1.000	7.41	7.19	0.00199
Test 6	82.0	0.03900	0.00287	105.53	22.10	0.931	7.77	6.78	0.00354
Test 7	80.0	0.05850	0.00524	102.95	21.03	0.886	7.99	7.13	0.00529
Test 8	78.0	0.08190	0.00806	100.38	19.99	0.842	8.32	7.22	0.00533
Test 9	76.0	0.11310	0.01161	97.81	18.98	0.799	8.72	7.67	0.00533
Test 10	74.0	0.15600	0.01603	95.23	18.00	0.758	8.86	7.94	0.00664
Test 11	70.0	0.23400	0.02598	90.08	16.10	0.678	9.07	8.48	0.00727
Test 12	65.0	0.39000	0.04719	83.65	13.89	0.585	9.85	8.48	0.00896
Test 13	58.0	0.62400	0.08355	74.64	11.06	0.466	10.73	9.11	0.01123
Test 14	50.0	0.93600	0.12591	64.35	8.22	0.346	11.64	5.44	0.01662
Test 15	41.0	1.32600	0.22093	52.76	5.52	0.233	13.12	4.48	0.02753

* Test 1 corrisponde al valore G₀

Infine per i restanti n.2 campioni analizzati dal laboratorio C.G.G. di Bologna, ovvero i campioni prelevati nel sondaggio S3 di Cavalletto ed S8 di Civita di Bagno sono state realizzate n.2 prove dinamiche di colonna risonante.

A titolo esemplificativo si riportano in figura 10 le curve $G-\gamma$ e $D-\gamma$ desunte dalla prove dinamica di colonna risonante relative al campione prelevato nelle sabbie e limi fluvio-lacustri del sondaggio S3 di San Felice d'Ocre, i cui dati tabellari sono illustrati in tabella 5.

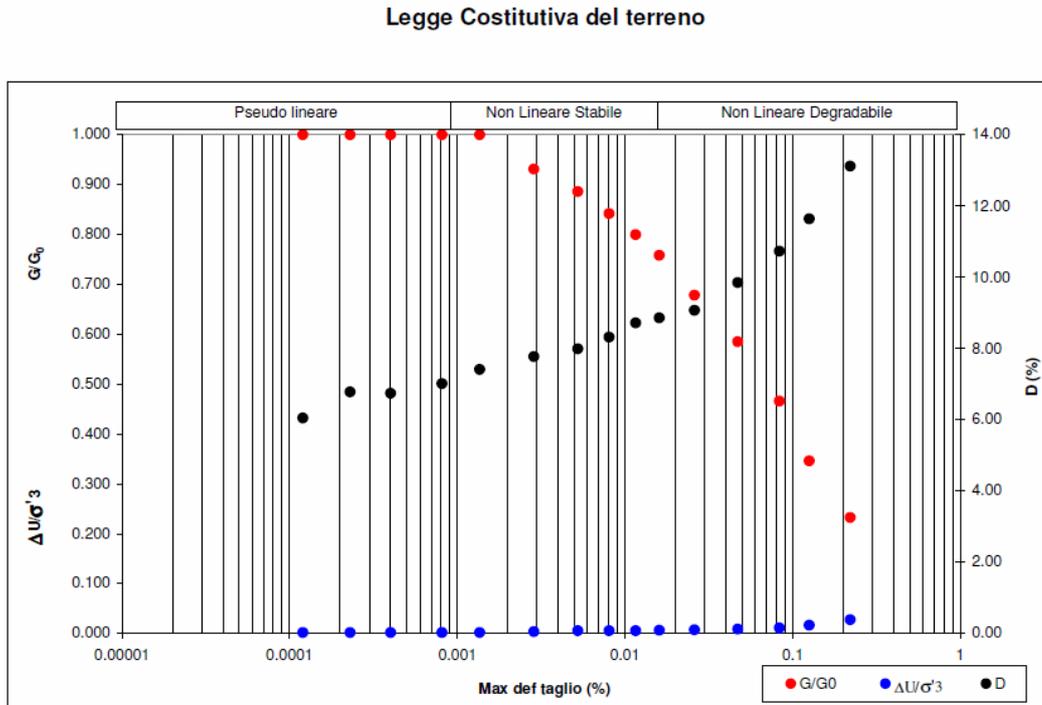


Fig. 10 – Curve dinamiche del campione prelevato a San Felice d'Ocre

9.2.4 Dati geofisici e sismologici

L'acquisizione di dati geofisici pregressi nelle aree d'indagine della Macroarea 9 si è rivelata di modesta utilità ai fini del presente lavoro. Infatti, erano disponibili soltanto una prova down-hole ed un'indagine in onde superficiali (sismica attiva-passiva), realizzate nell'ambito del Progetto CASE a nord dell'area di Pianola in contesto geologico-tecnico differente ed alcune stese sismiche a rifrazione in onde P, di limitata profondità d'investigazione, in aree prospicienti il sito di San Felice d'Ocre, ritenute non utili.

Pertanto, la caratterizzazione geofisica dell'area si è basata esclusivamente su indagini realizzate ad hoc, il cui quadro dettagliato è riportato in tabella 6, dove per ogni indagine è indicata la località ed il comune di appartenenza, la sigla, la profondità di investigazione ed infine, se l'indagine abbia raggiunto o meno il substrato sismico e quello geologico (che in alcuni siti non corrispondono). Per l'ubicazione areale delle indagini si faccia riferimento alle carte delle indagini, riportate (una per ogni località indagata) nel capitolo 9.2.3.1 e 9.2.3.2.

9.2.4.1 Prove geofisiche in foro (Down-hole)

Nei centri abitati relativi alla Macroarea 9 sono state realizzate 7 prove down-hole, a cura del CNR-IAMC di Napoli, nei fori di sondaggio eseguiti nell'ambito del progetto e descritti nel capitolo 9.4.

Le acquisizioni di campagna relative alle indagini in foro sono state eseguite dal 22/09/2009 al 23/09/2009, mentre la consegna dei certificati di prova, comprensivi dei grafici e tabelle di elaborazione e dei profili di velocità è avvenuta nella seconda parte del successivo mese di ottobre.

La realizzazione della prova sia in onde P sia in onde SH, secondo fasi di acquisizione distinte e consequenziali, ha permesso anche il computo del profilo di alcuni parametri importanti al fine della caratterizzazione sismica dei terreni indagati, quali il rapporto V_p/V_s ed il coefficiente di poisson dinamico.

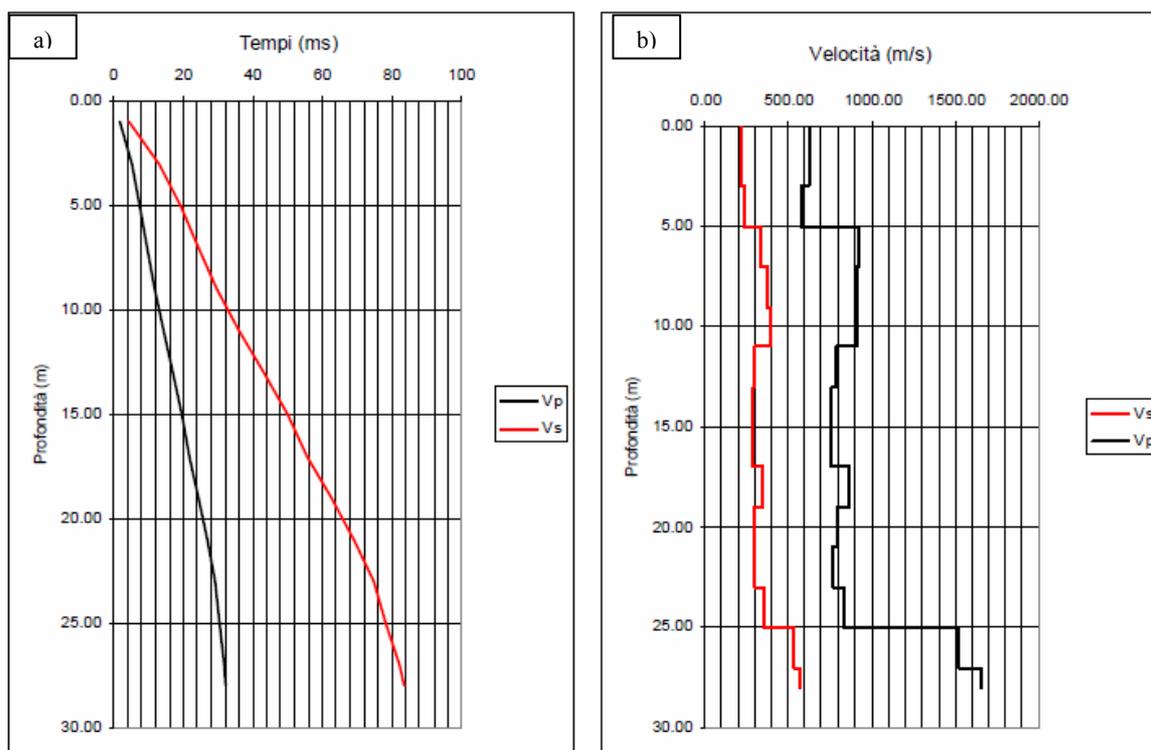


Fig. 11 – Dromocrone (a) e relativo profilo di velocità V_p – V_s (b) relativi alla prova Down-hole DH18, realizzata nel centro abitato di San Felice d'Ocre

Tab.6 – Riassunto della totalità delle indagini geofisiche eseguite nella Macroarea 9

Comune	Località	Tipologia	Sigla	prof. investigata (metri)	Raggiungimento substrato geologico	Raggiungimento substrato sismico
L'Aquila	Pianola	rifrazione	PIA1	40 (lung. 120)	SI	SI
			PIA2	30 (lung. 72)	SI	SI
			PIA3	30 (lung. 72)	SI	NO
			PIA4	35 (lung. 96)	NO	SI
			PIA5	40 (lung. 120)	SI	NO
		ReMi	1	40	NO	NO
			2	60	SI	SI
			3	60	SI	SI
			4	40	SI	NO
			5	70	NO	SI
	6		70	SI	NO	
	7		70	NO	SI	
	ReMi+MASW	43	20	NO	NO	
	down-hole	DH24	14	NO	NO	
	Bagno	rifrazione	BGN1	35 (lung. 96)	SI	SI
			BGN2	40 (lung. 120)	SI	SI
		ReMi+MASW	33	40	SI	SI
			34	30	SI	SI
			35	40	SI	SI
			37	30	SI	SI
			38	30	SI	SI
			39	30	SI	SI
			40	40	SI	SI
			41	30	SI	SI
	down-hole	DH23	14	SI	SI	
	San Benedetto	ReMi	26	40	NO	NO
			28	40	NO	NO
			29	30	SI	SI
			30	50	SI	SI
		ReMi+MASW	31	30	SI	SI
	32	30	SI	SI		
	Civita di Bagno	rifrazione	CVB1	40 (lung. 120)	SI	NO
ReMi		22	50	SI	NO	
		24	50	SI	NO	
		25	50	SI	NO	
ReMi+MASW		42	54	SI	SI	
down-hole		DH21	14	SI	SI	
	DH22	14	SI	NO		
Ocre	San Felice	rifrazione	OCR1	25 (lung. 60)	SI	SI
			OCR5	30 (lung. 72)	NO	SI
		ReMi	8	50	SI	SI
			9	40	NO	SI
			10	40	NO	SI
			11	40	NO	SI
			12	90	SI	SI
			45	40	SI	SI
	down-hole	DH18	28	NO	SI	
	Valle-Cavalletto	rifrazione	OCR2	45 (lung. 96)	SI	SI
			OCR2b	30 (lung. 72)	SI	SI
			OCR3a	40 (lung. 120)	NO	NO
			OCR3c	90 (lung. 240)	SI	SI
			OCR4	40 (lung. 120)	NO	NO
		ReMi	13	60	SI	SI
			14	30	SI	SI
			15	30	NO	NO
			16	60	SI	SI
			17	50	SI	SI
			18	70	SI	SI
19			110	SI	SI	
20	110		SI	SI		
21	110	SI	SI			
ReMi+MASW	44	60	SI	SI		
down-hole	DH19	30	NO	NO		
	DH20	30	NO	NO		

Tab.7 – Tabella riassuntiva relativa alla prova Down-hole DH18, realizzata nel centro abitato di San Felice d’Ocre

SITO SAN FELICE D’OCRE – DH18

Profondità	Tp	Ts	Tpcorr	Tscorr	Vp	Vs	Vp/Vs	Poisson
1.00	3.6	10.2	1.6	4.6	621	219	2.83	0.43
3.00	6.1	15.6	5.1	13.0	577	238	2.43	0.40
5.00	7.8	20.4	7.2	18.9	923	336	2.75	0.42
7.00	9.8	25.3	9.4	24.3	917	371	2.47	0.40
9.00	11.9	30.2	11.6	29.5	912	388	2.35	0.39
11.00	14.4	36.7	14.2	36.1	784	302	2.60	0.41
13.00	17.0	43.5	16.8	43.0	759	290	2.61	0.41
15.00	19.6	50.3	19.4	49.9	762	291	2.61	0.41
17.00	21.9	56.1	21.7	55.7	861	341	2.52	0.41
19.00	24.4	62.8	24.3	62.5	795	297	2.68	0.42
21.00	27.0	69.4	26.9	69.1	766	302	2.54	0.41
23.00	29.4	75.0	29.3	74.7	829	355	2.34	0.39
25.00	30.7	78.7	30.6	78.4	1524	536	2.84	0.43
27.00	31.9	82.2	31.8	82.0	1652	567	2.91	0.43
28.00	32.4	83.6	32.3	83.4	1981	708	2.80	0.43

Tabella riepilogativa dei parametri

tp:	Lettura tempo primo arrivo onde P	(ms)
ts:	Lettura tempo primo arrivo onde S	(ms)
tpcorr:	Lettura corretta onde P per eccentricità sorgente	(ms)
tscorr:	Lettura corretta onde S per eccentricità sorgente	(ms)
vp:	Velocità onde P	(m/s)
vs:	Velocità onde S	(m/s)

In figura 11 e nella successiva tabella 7 è riportato un esempio di profilo di Vp e Vs, relativo al sito di San Felice d’Ocre. La totalità delle indagini in foro effettuate è riportata nel certificato in Allegato 6. Nella figura in esame è possibile notare la definizione di un ultimo livello sismico, rapportabile ai depositi ghiaiosi fluvio-lacustri, che fungono da substrato sismico (Vs media 790 m/s) in corrispondenza del centro abitato di San Felice d’Ocre e che poggiano direttamente sui calcari a briozoi e litotamni (CBZ). Tale livello viene rilevato con buona precisione sia dalla stesa sismica a rifrazione OCR5, sia dalla prova ReMi 11.

Rispetto ai fori di sondaggio, descritti nel precedente capitolo, non è stato possibile, per problemi logistici, realizzare la prova Down-hole nel sito di Pianola (zona piscine) relativa al sondaggio S5. Inoltre, in alcuni contesti la prova Down-hole si presenta di profondità inferiore rispetto al relativo sondaggio, probabilmente a causa del franamento e/o ostruzione, durante le fasi di preparazione del sondaggio per l’esecuzione delle prove geofisiche, della parte terminale del foro prima della necessaria cementazione. Questo, nel caso di Pianola (zona cimitero, sondaggio S6 e relativa prova down-hole DH24) non ha permesso la caratterizzazione sismica del bedrock sismico.

Le indagini in foro hanno confermato le informazioni sismo-stratigrafiche desunte dalle indagini geofisiche di superficie, realizzate nella precedente fase di indagine multidisciplinare, sia per quanto riguarda gli spessori dei litotipi sepolti, sia per quanto concerne il valore delle velocità sismiche rilevate. In quest’ultimo caso è possibile affermare come il confronto migliore sia possibile con le stese sismiche a rifrazione e con le prove Masw, mentre in alcuni casi il confronto con le indagini ReMi dimostra una sottostima delle Vs da parte di quest’ultime (sia in riferimento alla sismica in foro sia per quanto concerne le indagini sismiche di superficie) a fronte, invece, di una discreta definizione degli spessori delle coperture sismiche.

9.2.4.2. Prove geofisiche di superficie (Masw, rifrazione P ed SH e ReMi)

La prima fase di caratterizzazione geofisica dei siti oggetto di studio è stata condotta mediante l'utilizzo di differenti tecniche geofisiche di superficie, sia di sismica attiva sia di sismica passiva. Questo step di indagine del sottosuolo è necessario (alla luce anche della decennale esperienza maturata nell'ambito del Progetto VEL in Toscana) al fine di maturare le informazioni sull'assetto sepolto utili per una buona programmazione delle indagini geotecniche (Capito 9.2.3) e geofisiche in foro (Capitolo 9.2.4). In particolare, sono state realizzate, in due differenti step d'acquisizione, 15 indagini sismiche a rifrazione in onde P ed SH, di cui 5 acquisite nella prima fase (giugno-luglio 2009) dal CeRS-Geo dell'Università di Chieti (Allegato 7a) e 10 stese sismiche (Allegato 7b) realizzate dalla Ditta Geoprove S.a.S. di Lucca (luglio-agosto 2009). L'elaborazione delle indagini ha visto, inoltre, la collaborazione con il Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Regione Toscana. Il dettaglio delle indagini è riportato in tabella 6.

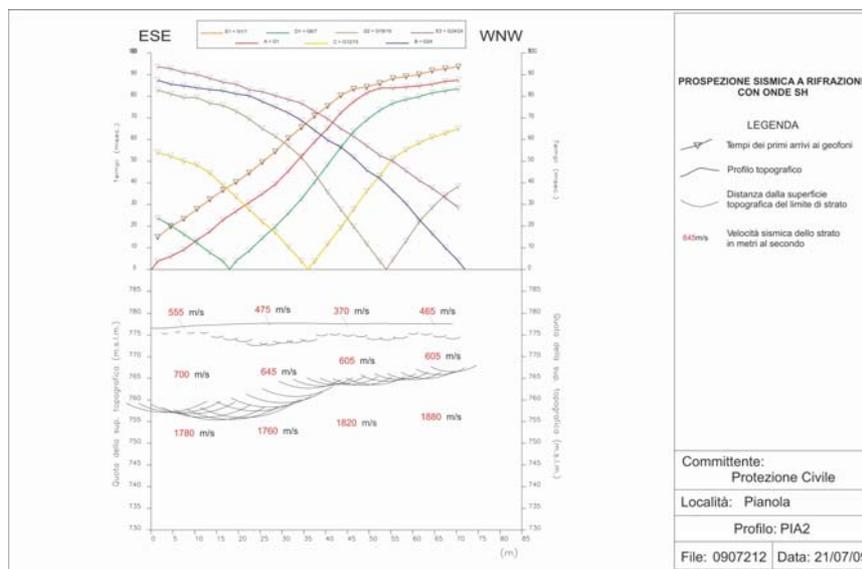


Fig. 12 – Sezione sismostratigrafica in onde SH della stesa sismica a rifrazione PIA2 – località Pianola

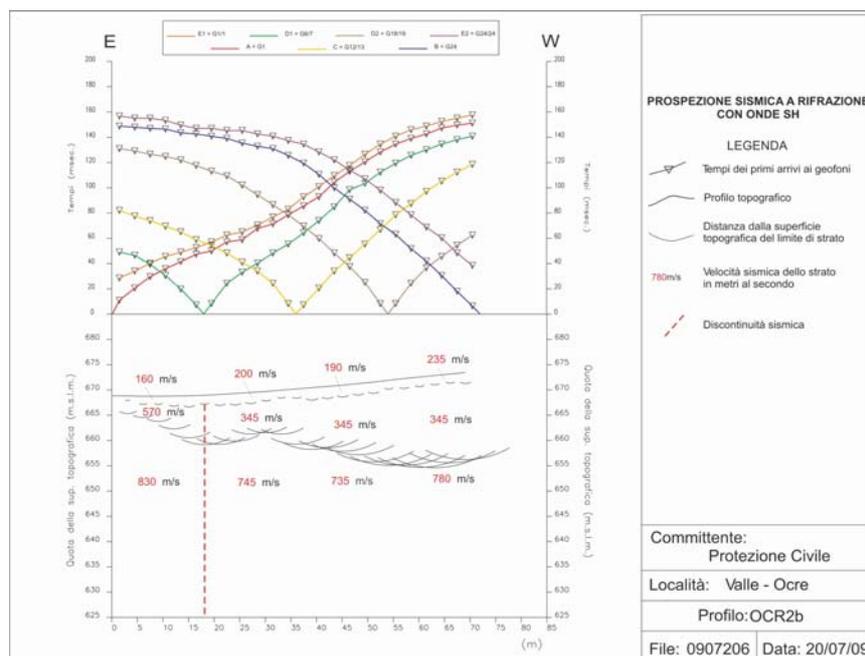


Fig. 13 – Sezione sismostratigrafica in onde SH della stesa sismica a rifrazione OCR2b – località Valle d’Ocre

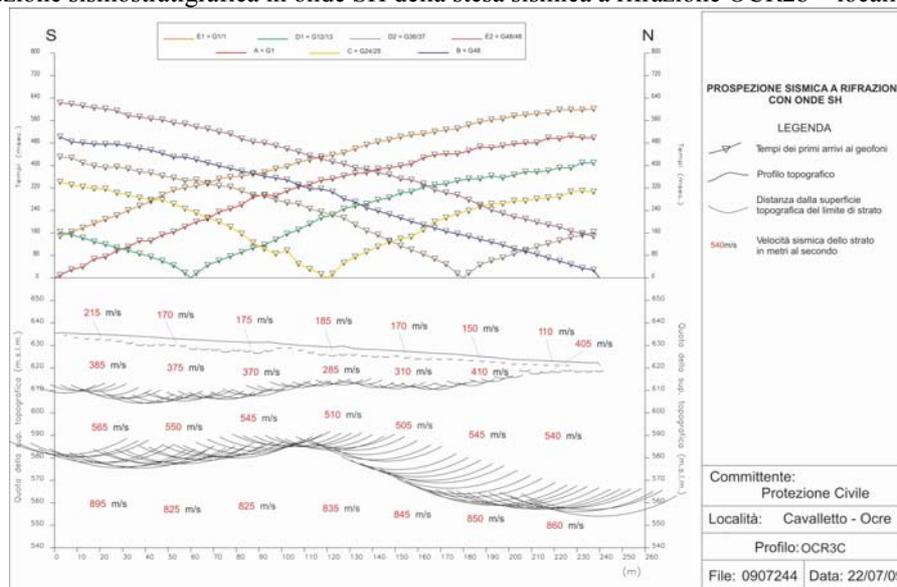


Fig. 14 – Sezione sismostratigrafica in onde SH della stesa sismica a rifrazione OCR3c – località Cavalletto d’Ocre

Mediante sismica a rifrazione è stata effettuata la caratterizzazione bidimensionale di 1620 metri lineari di territorio. Le acquisizioni hanno previsto due differenti fasi di energizzazione (P ed SH) distinte e consequenziali, con stendimenti a 24 geofoni e sette punti di scoppio, di cui cinque interni alla base e due esterni, nel rispetto delle Istruzioni Tecniche riportate nel capitolo 3.4 degli *“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica”*. Solo per la stesa sismica OCR3c nell’area di Cavalletto si è decisa un’acquisizione a 48 canali, considerata l’elevata lunghezza dello stendimento (240m).

Le differenti lunghezze degli stendimenti (da un minimo di 60m ad un massimo di 240m) sono state stabilite sulla base del contesto geologico presunto dal rilievo di campagna. In sintesi, in aree in cui era presumibile con buona certezza, la presenza di substrato sismico sub-affiorante si è operato con stese di ridotta estensione (ad esempio le stese PIA2 in figura 12 e OCR2b in figura 13), mentre in contesti di maggiore spessore presunto delle coltri sismiche si è optato per stendimenti più lunghi e di conseguenza dotati di una maggiore profondità d’investigazione (indagine OCR3b in figura 14).

In generale si può affermare come la correlazione tra indagini sismiche a rifrazione e la sismica in foro fornisca un quadro omogeneo in termini di ricostruzione sismostratigrafica, fermo restando le naturali differenze dovute alle diverse tipologie d’indagine. Inoltre, la non trascurabile eterogeneità nell’assetto sepolto ha previsto, nella maggior parte dei casi, una più attenta interpretazione manuale rispetto ai metodi automatici disponibili.

La totalità delle indagini sismiche a rifrazione (interpretate sia con modalità GRM sia in tecnica tomografica) eseguite nell’ambito del presente progetto è riportata negli allegati 7a e 7b.

Contemporaneamente è stata pianificata una campagna di indagini ReMi (per un totale di 42 acquisizioni), realizzate dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, in un periodo compreso tra la fine del giugno 2009 e la prima metà del successivo mese di agosto secondo due distinte fasi di acquisizione. Su 13 delle indagini ReMi è stata effettuata, inoltre, una taratura mediante sismica attiva secondo metodologia MASW (Allegato 8).

Da un esame dei risultati delle prove ReMi (riportate in Allegato 8) eseguite nei centri abitati della Macroarea9 è possibile affermare come nella maggior parte dei casi la tecnica ReMi, in linea con il suo principale limite metodologico, tenda a sottostimare i valori di V_s desunti, soprattutto per quanto concerne i sismostrati ascrivibili al substrato sismico. Ciò appare evidente dal confronto con le indagini di sismica attiva (sismica a rifrazione e Masw) e limitatamente con le indagini Down-hole (che raramente intercettano il substrato sismico). Del resto la scelta di affiancare, nell’ultima fase di misure, alla classica acquisizione passiva della tecnica ReMi analisi di sismica attiva

secondo il metodo Masw, derivava proprio dalla necessità di confermare la sottostima in termini di Vs della prova passiva e valutarne l'entità. A titolo d'esempio si può osservare nelle figure 15 (sito di Bagno Grande) e 16 (area di Cominio) il confronto tra i profili di Vs desunti da prove ReMi e Masw, realizzate nella medesima area in cui si può verificare una buona correlazione in termini di spessori ma una non trascurabile sottostima delle Vs del substrato sismico (nell'area caratterizzato dall'Unità arenaceo-pelitica UAPb) da parte dell'indagine ReMi. I valori di Vs delle due prove Masw sono confermate sia dalla prova Down-hole realizzata nel centro abitato (DH23) sia dalle due stese sismiche a rifrazione (BGN1 a Bagno Grande e BGN2 a Cominio).

Di contro, la tecnica ReMi ha fornito, nei centri abitati della Macroarea 9, una discreta caratterizzazione in termini di spessori delle coltri sismiche, come è stato possibile desumere dal confronto con i risultati delle perforazioni (nei siti di Pianola, Bagno Grande, Civita di Bagno e San Felice). Inoltre, in alcuni contesti caratterizzati da elevate profondità del substrato sismico, come nel caso della zona distale della conoide a nord del centro abitato di Cavalletto dove la profondità del bedrock sismico si attesta sui 100 metri dal piano campagna, la prova ReMi (seppur con tutti i limiti precedentemente esposti) si è rivelata una tra le tecniche geofisiche disponibili nel presente progetto in grado di fornire una caratterizzazione a profondità così elevate.

I dati in termini di spessore desunti nell'area Cavalletto Nord trovano buona conferma con le basse frequenze di risonanza (metodo HVSR) ricavate dal monitoraggio sismometrico, oggetto del successivo paragrafo.

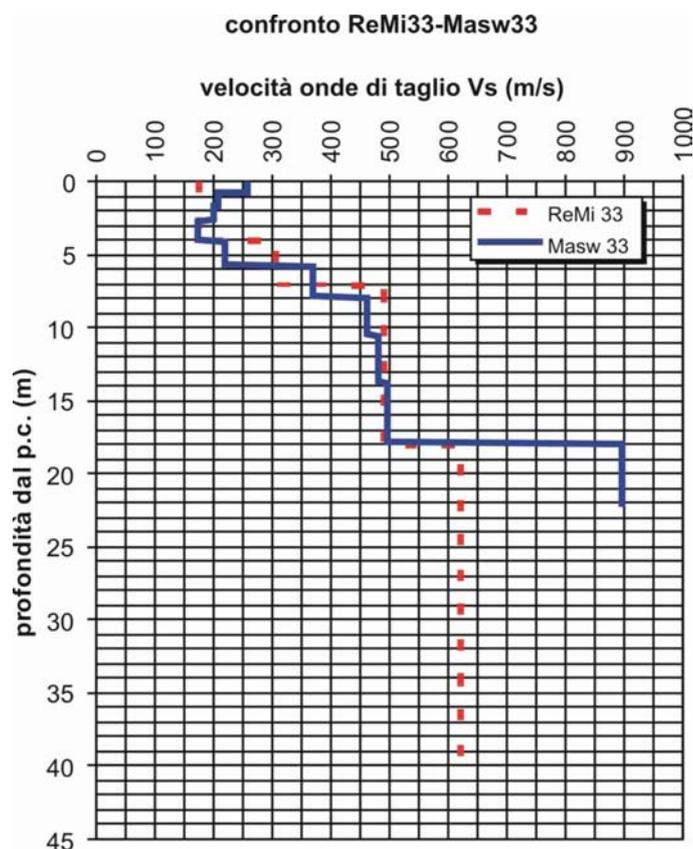


Fig. 15 – Confronto tra i profili di Vs desunti da prove ReMi e Masw nel sito di Bagno Grande

9.2.4.3. Horizontal-to-vertical Spectral Ratio (HVSR) e Standard Spectral Ratio (SSR)

Parallelamente all'esecuzione della campagna geofisica di superficie è stata condotta monitoraggio sismometrico (Allegato 9) a cura del DST dell'Università di Firenze. L'analisi è stata condotta

acquisendo, per ogni area d'indagine e per una durata di 24 ore circa, i dati (rumore ambientale e terremoti locali) da sette stazioni sismiche a larga banda posizionate contemporaneamente.

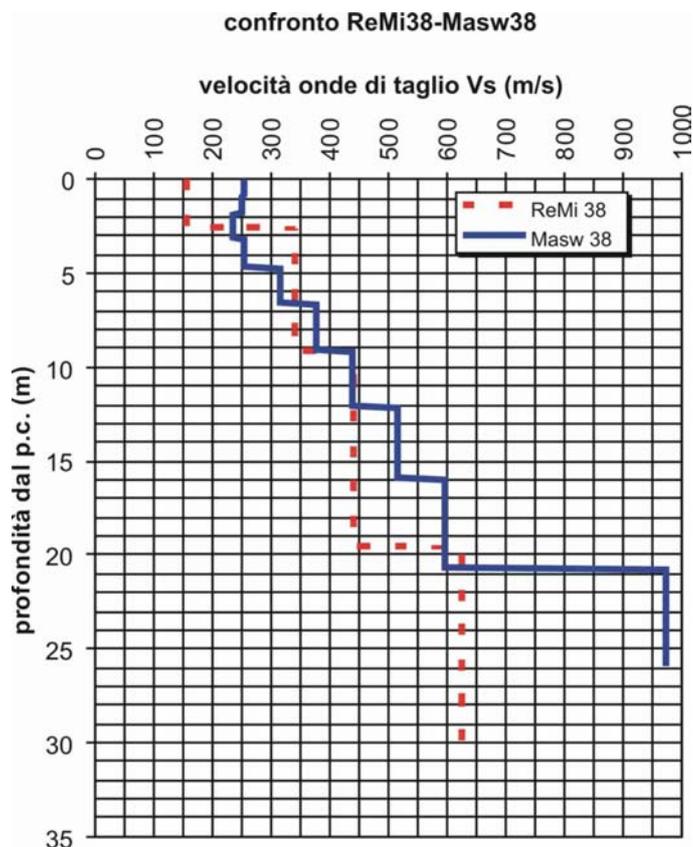


Fig. 16 – Confronto tra i profili di Vs desunti da prove ReMi e Masw nel sito di Cominio

La strumentazione adottata per l'allestimento delle sette stazioni sismiche mobili è composta da 5 sismometri Lennartz 5 s e 2 sismometri GURALP CMG-40T 30s, il cui segnale è stato digitalizzato a 100 Hz da acquisitori GURALP (XX 24 bit,) equipaggiati di GPS.

Una stazione di riferimento, equipaggiata da un sismometro broadband (GURALP CMG-40T 30 s) ed un accelerometro (Episensor), è stata installata su substrato sismico (Calcari a Briozoi e Litotamni, CBZ) per tutto il periodo della campagna d'acquisizione.

Le indagini sono state mirate alla valutazione dei rapporti H/V (o HVSR) su rumore ambientale, al fine di stimare il periodo fondamentale di risonanza del terreno, e alla valutazione dei fattori d'amplificazione (H/H_{ref} ; V/V_{ref}) basati sulle registrazioni sismiche dei terremoti locali.

La procedura di calcolo dei rapporti spettrali H/V è di seguito descritta:

1. Suddivisione della registrazione completa in intervalli di 1 ora;
2. Rimozione di parti di registrazione affette da disturbi consistenti (traffico, macchine utensili e/o agricole, etc.);
3. Conversione del segnale di velocità in accelerazione;
4. Applicazione di un filtro Butterworth (LP = 0.1 Hz, HP = 40 Hz), di un taper di Hanning, e rimozione dell'offset e della deriva lineare;
5. Analisi spettrale (FFT) delle componenti verticale ed orizzontali, eseguita su finestre di 60 sec e shift di 30 sec ;
6. Smoothing degli spettri ottenuti su una finestra di 100 valori di frequenza;
7. Esecuzione dei rapporti H/V tra 0.2 e 20 Hz, e calcolo di media e deviazione standard sulla base delle variazioni spettrali nelle 24 ore di registrazione.

Per ogni misura H/V eseguita, è stato eseguito un controllo su eventuali direttività della sorgente di rumore, che potesse influenzare la forma e la posizione del picco spettrale. È stato riscontrato che per ogni misura effettuata il picco spettrale H/V non presentava particolari direttività e poteva essere ritenuto rappresentativo, come possibile vedere nell'esempio in figura 17 relativo alla stazione MA2 nel sito di San Felice d'Ocre. Il periodo di risonanza del sito è stato calcolato utilizzando la frequenza per la quale il rapporto HVSR risultava massimo (in figura 18a il risultato finale relativo al sito di Pianola).

Per confronto, è stato inoltre calcolato su ogni stazione di misura il rapporto H/V ottenuto dalle sole tracce sismiche dei terremoti locali ed è stato riscontrato che per ogni misura effettuata, il rapporto H/V calcolato sia sui terremoti locali sia sul rumore si presenta pressoché invariato (figura 18b).

La procedura di calcolo per i rapporti H/Href e V/Vref è del tutto analoga alla procedura per il calcolo dei rapporti H/V, a parte che anziché l'intera registrazione sismica di 24 ore, gli spettri sono stati eseguiti sulle sole registrazioni di eventi sismici locali. Il rapporto spettrale è stato quindi calcolato tra le componenti orizzontali (H/Href) e verticali (V/Vref) delle stazioni mobili, rispetto gli spettri della stazione di riferimento posta su substrato. Il fattore d'amplificazione è stato infine calcolato utilizzando la media integrale eseguita tra 0.2 e 10 Hz dei valori H/Href e V/Vref.

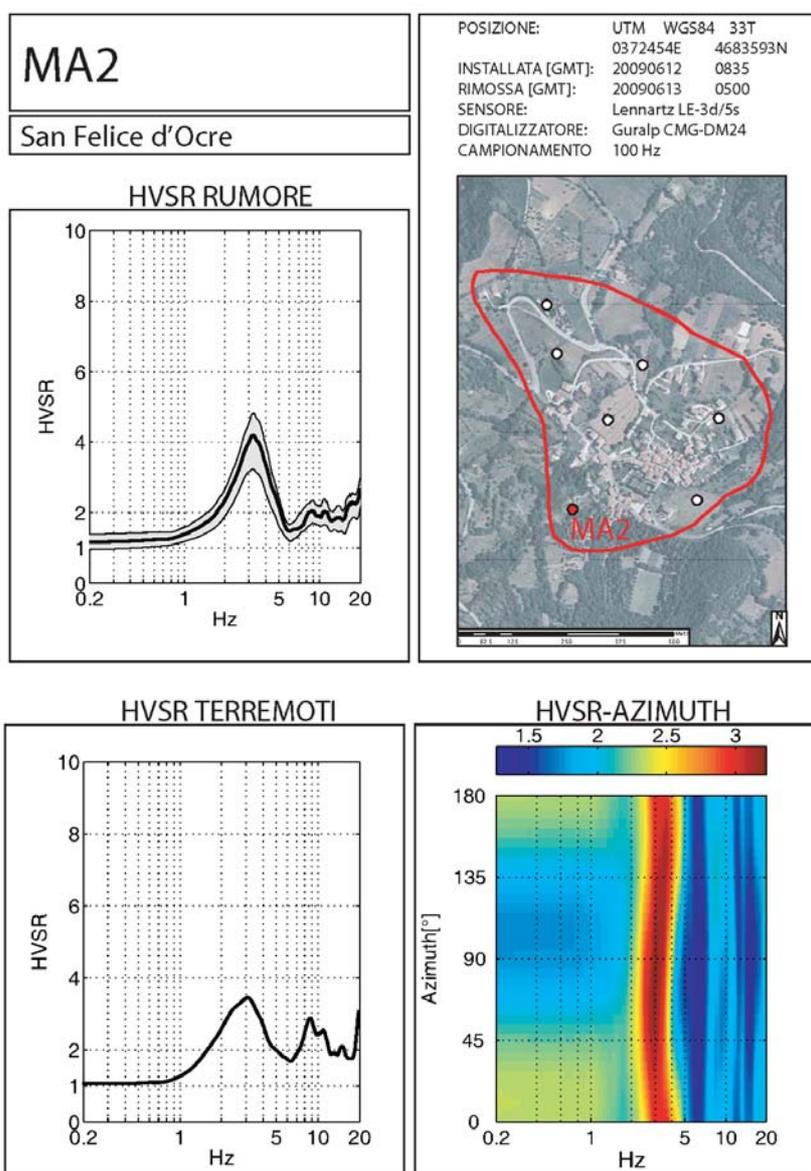


Fig. 17 – Scheda tecnica relativa alla stazione ad una delle sette stazioni velocimetriche utilizzate per il monitoraggio strumentale nel centro abitato di San Felice d'Ocre

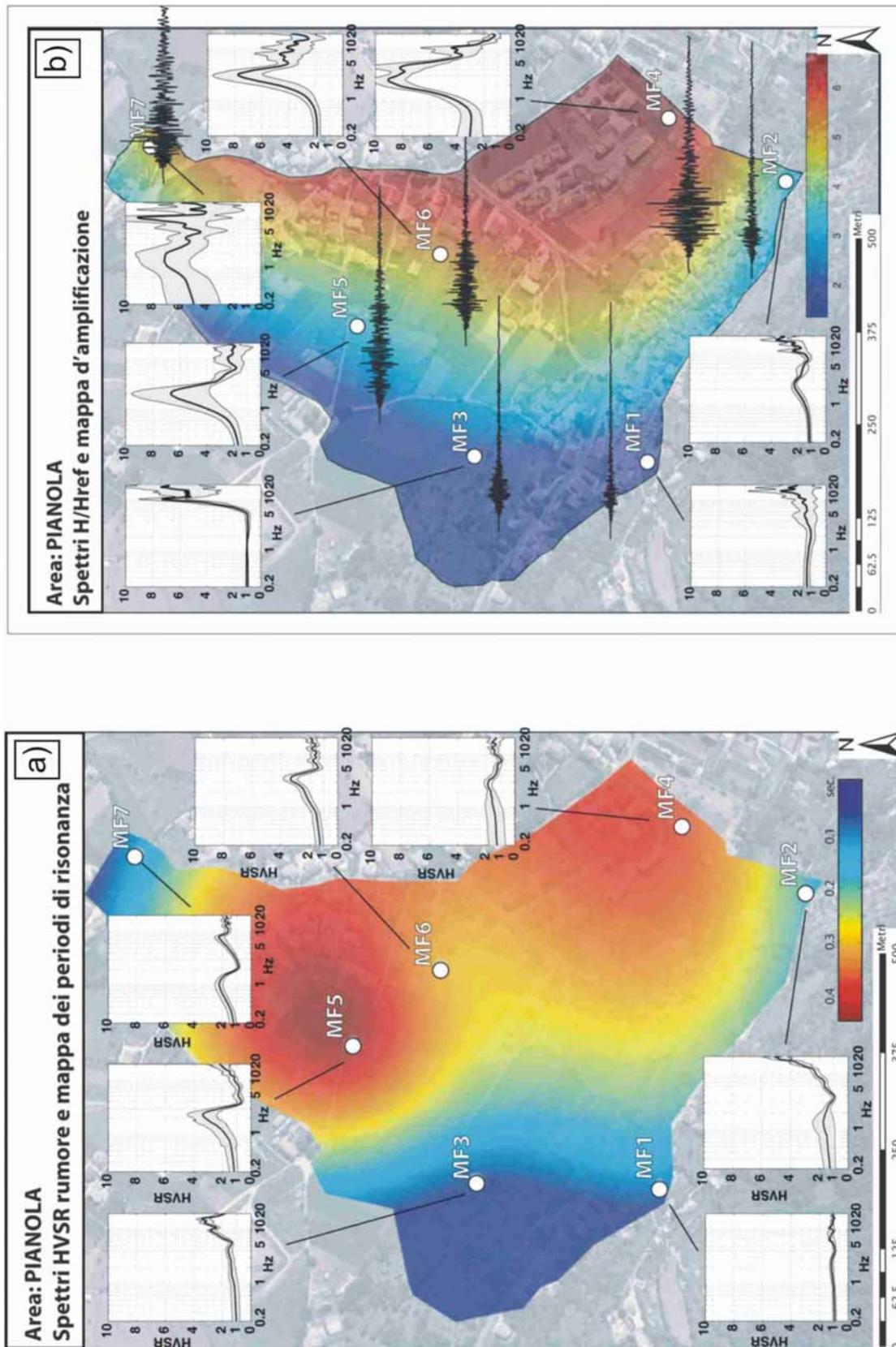


Fig. 18 – Mappa dei periodi di risonanza (a) e del fattore d’amplificazione strumentale (b) nel sito di Pianola

9.2.5. Modello del sottosuolo

A seguito della realizzazione dei rilievi geologici di superficie, delle indagini multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo, si è proceduto ad una fase di omogeneizzazione, confronto ed integrazione di tutti i dati da disposizione al fine di poter definire, nella maniera più attendibile possibile il modello geologico di sottosuolo. Tale fase rappresenta, forse, la fase più critica di tutto lo studio di microzonazione, sia perché coinvolge più soggetti, sia perché durante la fase di omogeneizzazione e di creazione del modello devono essere fatte opportune valutazioni tenendo conto del differente livello di incertezza attribuito ai diversi parametri desunti da differenti indagini. Inoltre, in moltissime situazioni è stata necessaria una revisione del modello geologico di partenza (essenzialmente di superficie) e ciò ha comportato spesso una differenza notevole rispetto alle cartografie delle microzone omogenee in prospettiva sismica del livello 1. Tale situazione è naturale e direttamente consequenziale con la logica di maggiore approfondimento dei livelli 2 e 3 rispetto al precedente livello 1, proprio in relazione alla realizzazione di indagini di sottosuolo che permettono di individuare un assetto sepolto che spesso è anche molto diverso rispetto a quello interpretato dai soli rilievi di superficie eventualmente integrati con i dati di base disponibili.

Nella realizzazione delle sezioni per la modellazione, come già detto, sono stati utilizzati tutti i dati a disposizione partendo dai rilievi geologici di superficie che hanno guidato la definizione del modello geologico ed integrando tali informazioni con i dati diretti forniti dai sondaggi geognostici e con i dati indiretti forniti dalle prospezioni geofisiche di superficie (sismica a rifrazione, prove MASW e prove REMI) e in foro (prove down-hole).

Tra le indagini geofisiche, in questa fase di integrazione dei dati sono state utilizzate le prove REMI quasi esclusivamente per la determinazione degli spessori delle coperture sismiche a causa della sottostima in termini Vs descritta nel precedente capitolo.

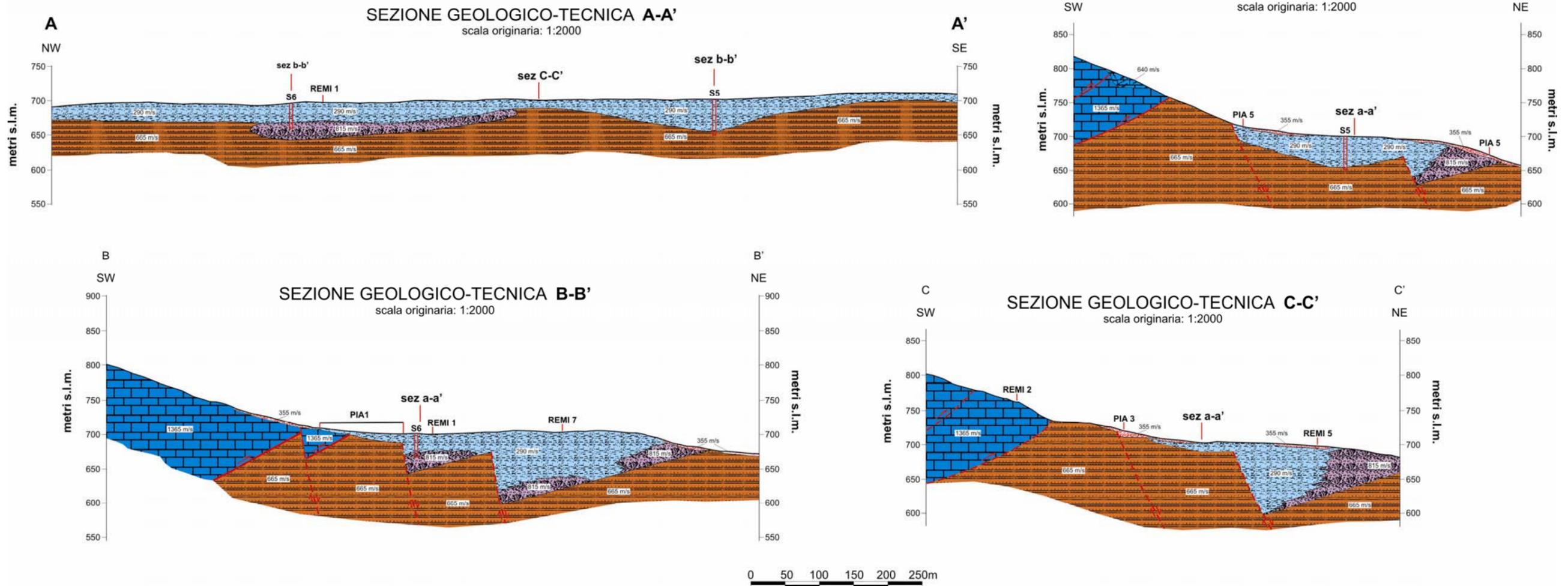
Le mappe di frequenza sono state utilizzate, laddove il modello sismo-stratigrafico lo permetteva (ad esempio nell'area di Pianola), per l'integrazione con i dati di Vs acquisiti nella campagna geofisica e con i pochi sondaggi giunti a caratterizzare la roccia di base, al fine di fornire un maggior numero di stime sulla profondità del substrato sismico per la realizzazione delle sezioni geologico-tecniche fornite come input geologico per la modellazione 2D. In molti casi, però, il picco di risonanza corrispondeva a contrasti all'interno delle coperture sismiche (ad esempio nell'area di fondovalle di Bagno), vanificando per tali scopi l'utilizzo del dato strumentale.

Di seguito vengono fornite, per ogni località oggetto dello studio nella Macroarea 9, le sezioni geologico-tecniche di sottosuolo ed un commento sul modello desunto. Inoltre, per i siti del Comune di Ocre (San Felice, Valle e Cavalletto) sono presentate anche mappe delle isopache delle coperture sismiche, desunte dalla campagna di caratterizzazione geologico-technica. Nel DVD allegato sono presentate tutte le carte delle isopache, sebbene esse vadano intese, soprattutto nei siti con poche indagini effettuate, come approccio qualitativo alla ricostruzione 3D del modello di sottosuolo.

Pianola

Dal modello realizzato, il centro storico di Pianola è poggiato sul substrato roccioso costituito dal CBZ, che presenta in quest'area le caratteristiche di un bedrock sismico. Tale substrato (Fig. 19) è in sovrascorrimento sulle unità Arenaceo-Pelitiche (UAP) che rappresentano il substrato geologico (non sismico) di tutta l'area di espansione di Pianola, ubicata lungo il versante fino al fondovalle. L'assetto geologico-strutturale ricostruito presenta una gradinata di faglie ad andamento normale che ribassa l'area verso nord-nord-est creando morfologie sepolte su cui si sono impostati coperture con depositi fluvio-lacustri anche di notevole spessore (area nord-est cimitero). Talora alla sommità delle unità UAP sono presenti depositi costituiti da breccie cementate (Br) con Vs intorno agli 800m/sec, la cui estensione laterale e areale non è continua come anche variabile è il loro spessore. I parametri geotecnici sono desumibili dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi S5 e S6 (allegato 5a).

SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE
Comune di l'Aquila - località Pianola
scala originaria 1:2000



- Coperture detritiche e colluviali; **Vs media = 355m/s**
- Depositi fluvio-lacustri (Flu); **Vs media = 290m/s**
- Breccie carbonatiche (Br); **Vs media = 815m/s**
- Unità arenaceo-pelitiche (UAP); **Vs media = 665m/s**
- Calcari a briozoi e litotamni alterati e/o in frana (CBZ); **Vs media = 640m/s**
- Calcari a briozoi e litotamni intatti (CBZ); **Vs media = 1365m/s**

- sez a-a' intersezione con altra sezione geologico-tecnica
- S6 sondaggio geognostico
- sovrascorrimento

- PIA3 sismica a rifrazione in onde P ed SH perpendicolare alla sezione
- PIA1 sismica a rifrazione in onde P ed SH parallela alla sezione
- REMI 1 indagine ReMi
- faglia diretta presunta

N.B. Si evidenzia che il simbolismo grafico è indicativo solamente della natura litologica ma non dell'effettiva giacitura

Fig. 19 - Sezioni geologico-tecniche per il sito di Pianola

Nella successiva tabella 8 sono infine riportate le velocità medie delle onde di taglio S. Tali velocità sono state desunte, per la copertura fluvio-lacustre, dalla prova down-hole opportunamente integrata dalla sismica a rifrazione; mentre per le altre unità (considerata la non disponibilità di misure down-hole a causa delle problematiche di natura logistica già accennate nel capitolo dedicato) i valori di Vs sono stati definiti dalla sismica a rifrazione e dalla prova REMI (limitatamente alle breccie nell'area nordest di Pianola).

Tab.8 – Velocità medie per il sito di Pianola

sigla	litologia	Vs media (m/s)
dt	coperture detritiche e colluviali	355
Flu	Depositi fluvio-lacustri	290
Br	Breccie carbonatiche	815
UAP	Unità arenaceo-pelitiche	665
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni alterati e/o in frana	640
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni intatti	1365

Bagno Grande, Bagno Piccolo e Cominio

Dal modello realizzato, il centro storico di Bagno (ubicato nell'area più a monte) presenta modeste coperture poggianti su un substrato costituito dalle unità Arenaceo-Pelitiche (UAP). Tale substrato, dal punto di vista sismico, presenta una non trascurabile fascia di alterazione e/o fratturazione di spessore localmente anche superiore ai 10m, come si evince dalla prova down-hole e dalle indagini di sismica a rifrazione SH (figura 20).

L'area di fondovalle presenta invece il medesimo substrato roccioso con spessori di copertura più elevati, come individuato sia dalla sismica a rifrazione sia dalle prove MASW.

Le misure strumentali nell'area a valle forniscono utili informazioni sulla profondità presunta del contatto tra le coperture e il substrato alterato che però non costituisce il reale bedrock sismico dell'area.

Nella successiva tabella 9 sono riportate le velocità medie delle onde di taglio S. Tali velocità sono state desunte dalla prova down-hole opportunamente integrata dalla sismica a rifrazione e dalle prove MASW. Le prove REMI forniscono invece valori di Vs non attendibili in quanto sottostimano sempre i valori desunti da altre tecniche (esempi in figg.15-16).

Tab.9 – Velocità medie per il sito di Bagno

sigla	litologia	Vs media (m/s)
b	depositi alluvionali attuali	260
b2=b8	depositi eluvio-colluviali	490
bn	depositi alluvionali terrazzati antichi	490
m	depositi di conoide alluvionale	255
fr	frana	290
UAP	Unità arenaceo-pelitiche alterate	530
UAP	Unità arenaceo-pelitiche intatte	880

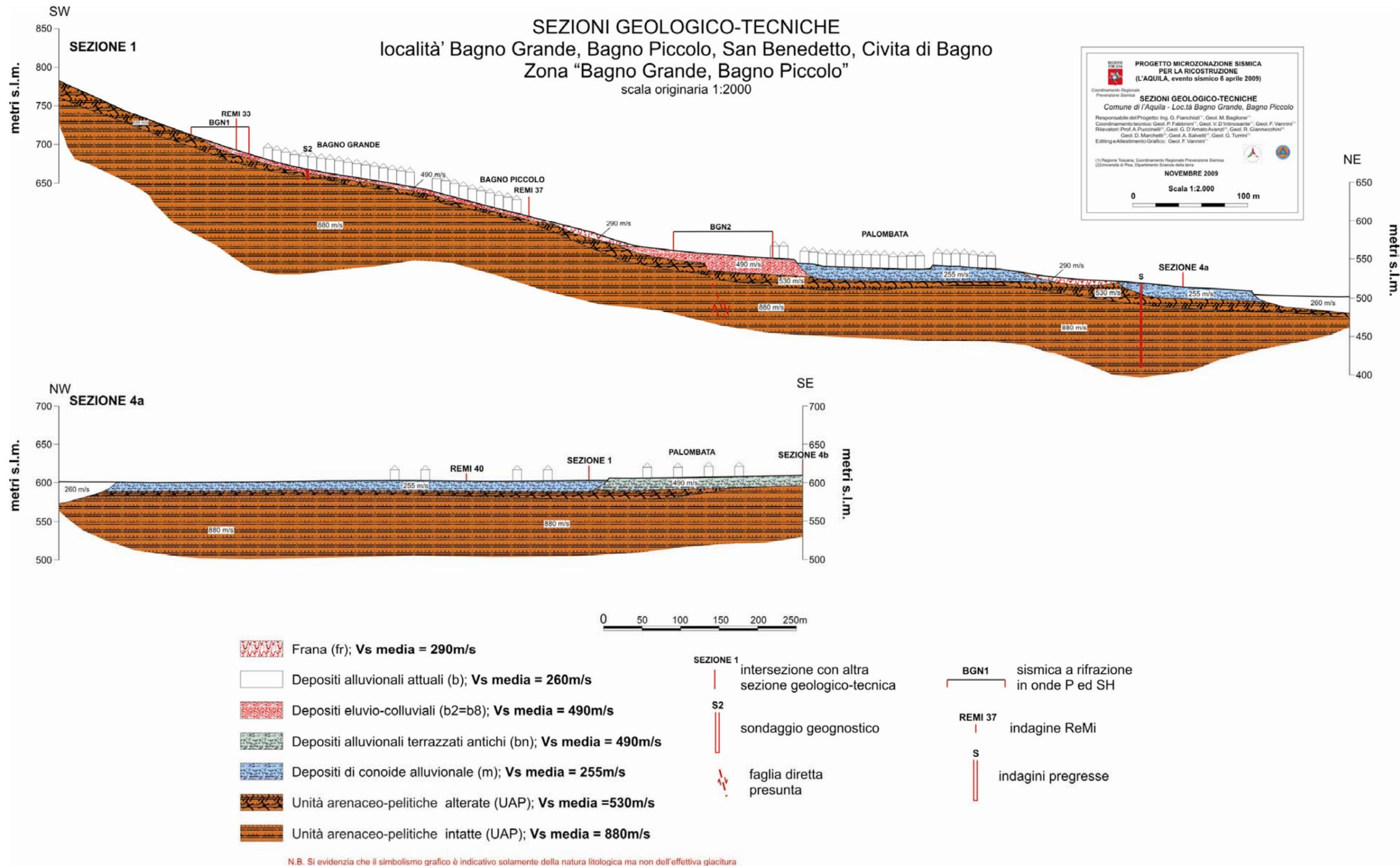


Fig. 20 – Sezioni geologico-techniche per il sito di Bagno Grande, Piccolo e Cominio

Civita di Bagno

Dal modello realizzato, il substrato geologico (UAP) presenta valori di Vs non elevati, mentre sono presenti coperture alluvionali e di conoide di spessore estremamente variabile, soprattutto nella direzione SO-NE probabilmente a causa di elementi tettonici (che stanno alla base dell'origine della depressione su cui si è impostato il lago di San Maniero).

Il substrato sismico dell'area può essere considerato il sottostante CBZ (Calcari a briozoi e litotamni), ravvisato probabilmente dalla prova MASW 42 ad una profondità di circa 40m con Vs prossime ai 1200 m/s. Inoltre si è tentata una simulazione svolta con Pro-Shake 1.1 integrando i dati del profilo di Vs della REMI 22 e la frequenza di risonanza della vicina misura strumentale MC1 (circa 1.5-2 Hz), imputabile ad un contrasto che non si accorda con il passaggio tra coperture alluvionali ed unità flyshoidi (UAP) peraltro caratterizzate nell'area in esame da Vs molto basse (<400 m/s). Utilizzando 4 input sismici desunti dalla medesima campagna di misure strumentali, si riscontrano funzioni di trasferimento medie attorno al sopraccitato range di frequenze per profondità dell'interfaccia (presunto contatto UAP-CBZ) comprese tra i 50 ed i 60m dal piano campagna (figura 21).

Tale presunto approfondimento verso Ovest è in accordo con la presenza di calcari nell'area ad Est (Cavalletto) e la completa assenza di questi ultimi nel sito ad Ovest (area di Bagno).

Nella successiva tabella 10 sono infine riportate le velocità medie delle onde di taglio S. Tali velocità sono state desunte da una media dei valori delle prove down-hole, sismica a rifrazione e REMI opportunamente tarata con una prova MASW.

In figura 22 sono riportate le sezioni geologico-tecniche utilizzate in fase di modellazione

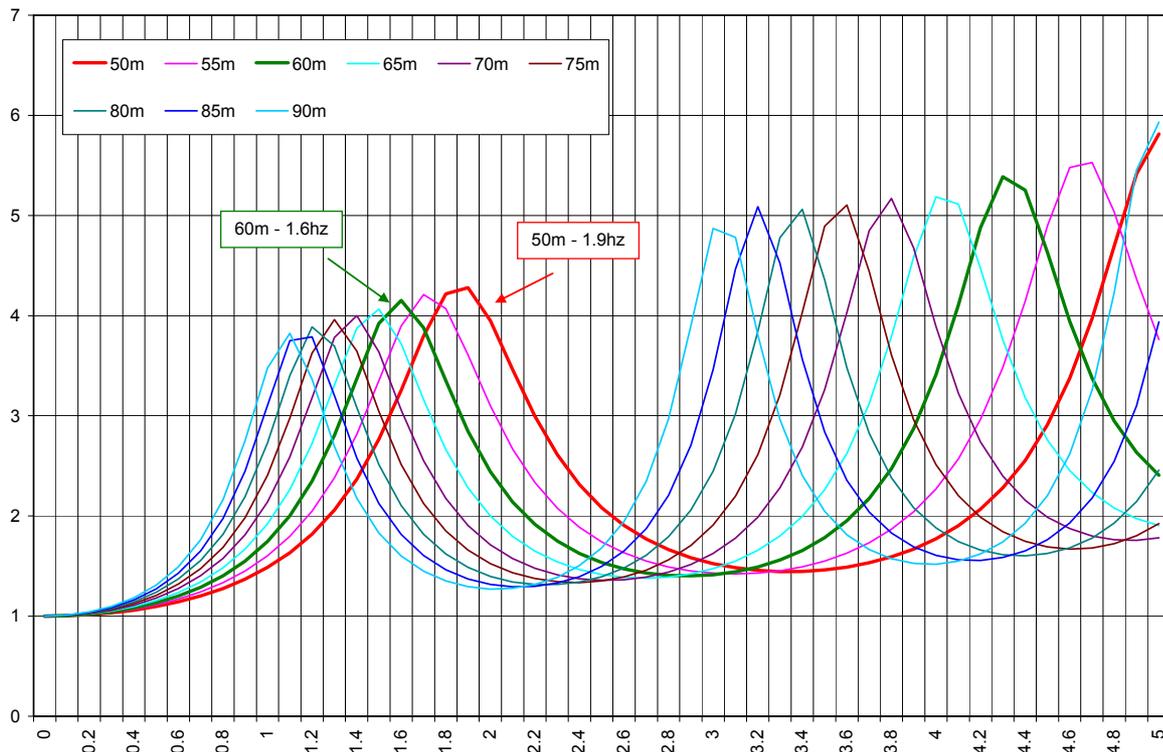


Fig. 21 – Simulazione effettuata nel sito di Civita di Bagno (vedi testo)

Tab.10 – Velocità medie per il sito di Civita di Bagno

sigla	litologia	Vs media (m/s)
b	depositi alluvionali attuali	355
b2=b8	depositi eluvio-colluviali	490
bn	depositi alluvionali terrazzati antichi	490
m	depositi di conoide alluvionale	285
FLC	depositi fluvio-lacustri	535
UAP	Unità arenaceo-pelitiche	610
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni	1165

San Benedetto, Sant'Angelo e Vallesindola

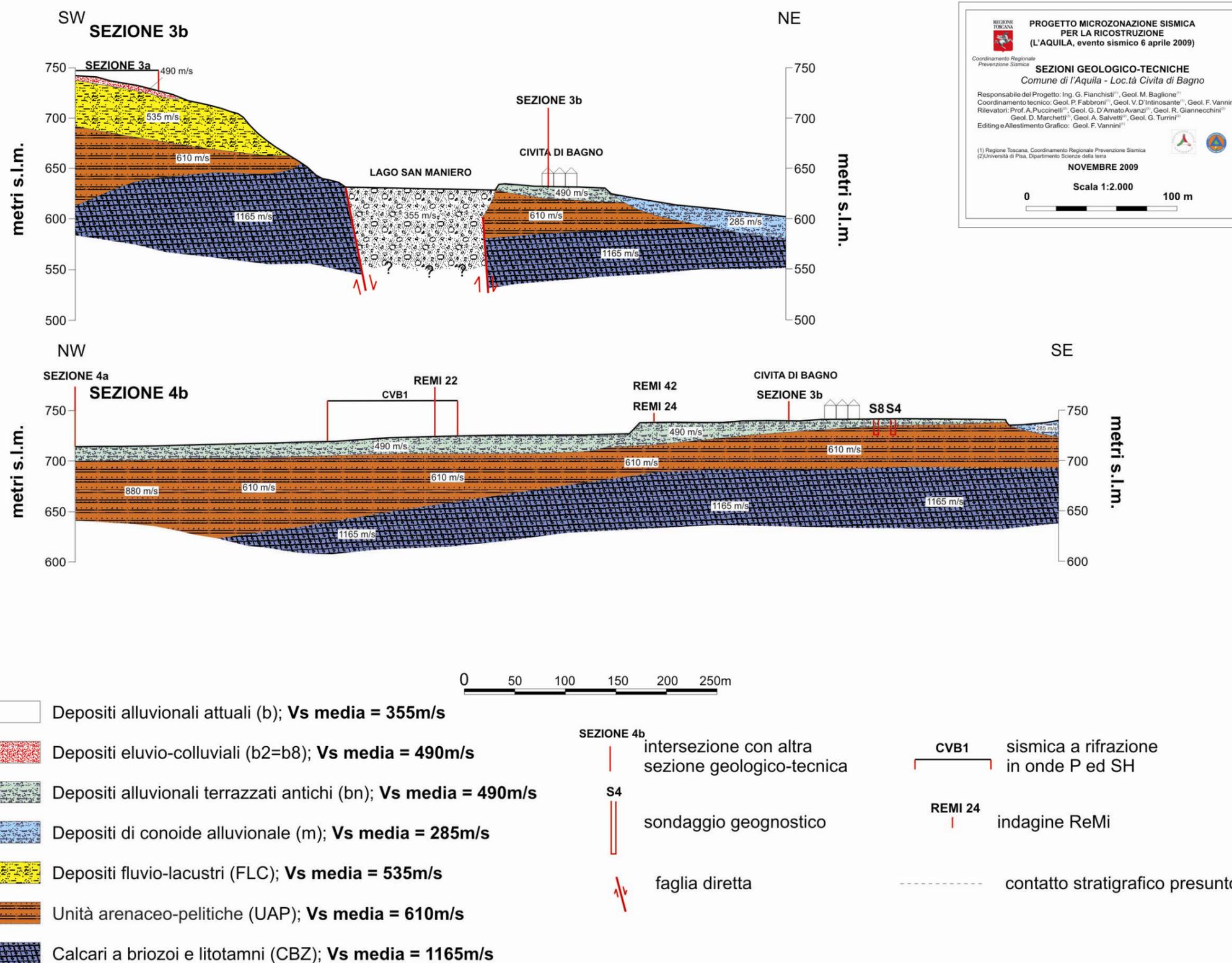
Dal modello realizzato, si individua un notevole inspessimento delle coperture sismiche tra Vallesindola e S. Benedetto. Ciò è dovuto anche alla presenza a San Benedetto di elevati spessori (non valutabili) di fluvio-lacustre. Anche in quest'area il substrato arenaceo presenta discreti spessori di alterazione (sezioni geologico-tecniche in figura 23).

Nella successiva tabella 11 sono infine riportate le velocità medie delle onde di taglio SH. Tali velocità sono state desunte da una media dei valori delle prove REMI, opportunamente tarate nel sito di Vallesindola con prove MASW.

Tab.11 – Velocità medie per i siti di San Benedetto, Sant'Angelo e Vallesindola

sigla	litologia	Vs media (m/s)
fr	frana	210
a	detrito di versante	245
b2=b8	depositi eluvio-colluviali	490
FLC	depositi fluvio-lacustri	535
UAP	Unità arenaceo-pelitiche alterate	405
UAP	Unità arenaceo-pelitiche intatte	830
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni	1165

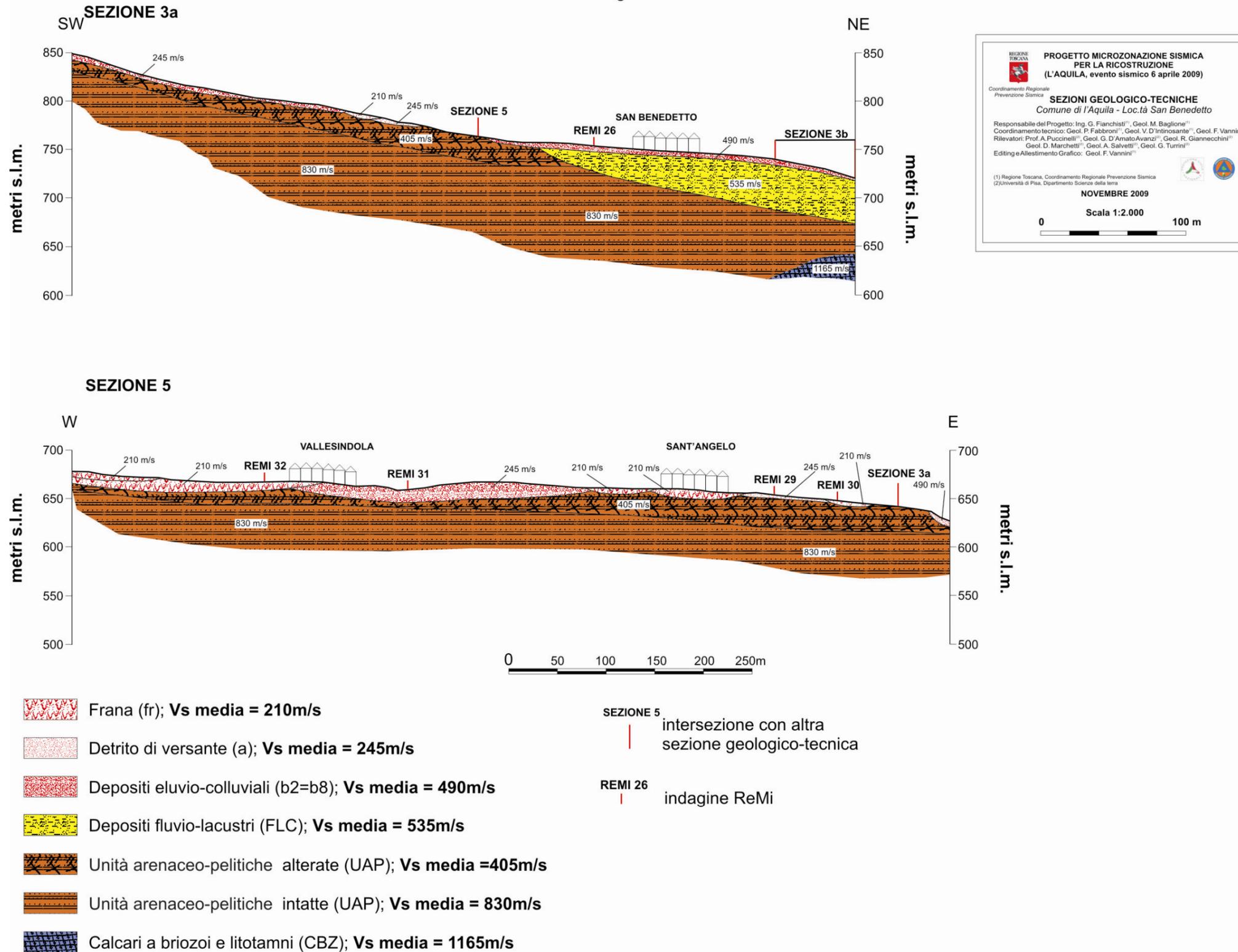
MODELLO DEL SOTTOSUOLO: SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE
 località' Bagno Grande, Bagno Piccolo, San Benedetto, Civita di Bagno
 Zona "Civita di Bagno"
 scala originaria 1:2000



N.B. Si evidenzia che il simbolismo grafico è indicativo solamente della natura litologica ma non dell'effettiva giacitura

Fig. 22 – Sezioni geologico-tecniche per il sito di Civita di Bagno

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO: SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE
 località' Bagno Grande, Bagno Piccolo, San Benedetto, Civita di Bagno
 Zona "San Benedetto"
 scala originaria 1:2000



REGIONE TOSCANA
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)

SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE
 Comune di l'Aquila - Loc.tà San Benedetto

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchini⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽²⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Falbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Rilevatori: Prof. A. Puccinelli⁽¹⁾, Geol. G. D'AmatoAvanzi⁽¹⁾, Geol. R. Giannacchini⁽¹⁾
 Geol. D. Marchetti⁽¹⁾, Geol. A. Salvetti⁽¹⁾, Geol. G. Turrini⁽¹⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. F. Vannini⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Università di Pisa, Dipartimento Scienze della terra

NOVEMBRE 2009

Scala 1:2.000

0 100 m

N.B. Si evidenzia che il simbolismo grafico è indicativo solamente della natura litologica ma non dell'effettiva giacitura

Fig. 23 – Sezioni geologico-tecniche per il sito di San Benedetto

San Felice d'Ocre

A seguito del lavoro svolto ed in particolare delle indagini realizzate si deve sottolineare che il modello geologico di sottosuolo realizzato modifica in maniera sostanziale le precedenti conoscenze geologiche dell'area, fornite dai rilievi di superficie e dai dati di base geognostici acquisiti preliminarmente. Tale valutazione vale soprattutto per l'area del centro storico dove tutte le cartografie geologiche preesistenti riportavano la presenza di substrato roccioso subaffiorante; invece, anche sulla base di quanto desunto dal sondaggio S3 si evince che il centro storico di San Felice poggia non sul substrato calcareo (CBZ) ma su circa 25-30m di sabbie limose poggianti su ciottolami talora cementati (con Vs maggiore di 800m/sec).

Dalla prova REMI 8 si stima la presenza del CBZ ad una profondità non inferiore di circa 40m dal p.c. (vedi sezioni in fig. 25) che potrebbe essere anche di poco superiore in prossimità del centro storico.

E' stata realizzata, sulla base delle indagini, una cartografia delle isopache delle coperture (fig. 24) in cui gli spessori evidenziati sotto il paese si riferiscono al contatto tra coperture fini e ciottolami (che rappresentano il substrato sismico nell'area).

Nella successiva tabella 12 sono infine riportate le velocità medie delle onde di taglio SH. Tali velocità sono state desunte, dalla prova down-hole opportunamente integrata dalla sismica a rifrazione e dalle misure REMI che, limitatamente a quest'area, presentano una buona correlazione.

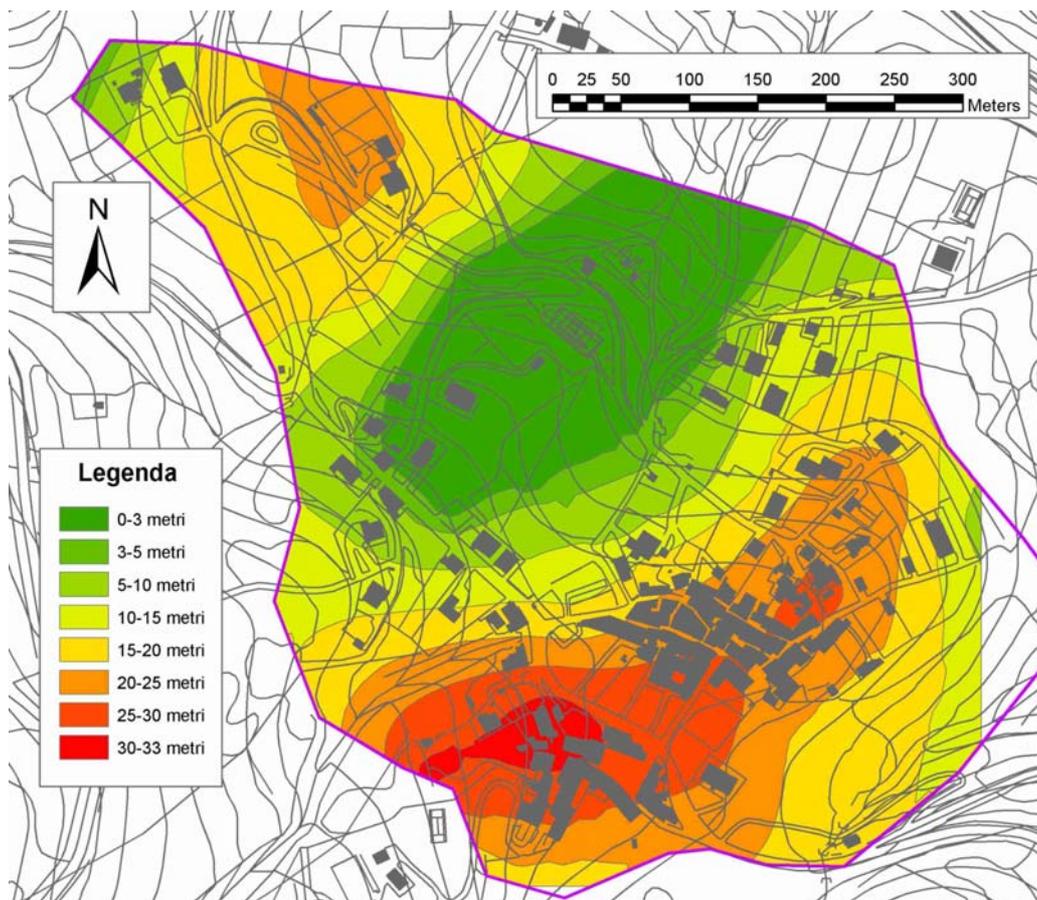


Fig. 24 – Carta delle isopache del substrato sismico per il sito di San Felice d'Ocre

Tab.12 – Velocità medie per il sito di San Felice d'Ocre

sigla	litologia	Vs media (m/s)
-	Detrito di versante e/o eluvio-colluviale	230
-	Sabbie e limi fluvio-lacustri	385
-	Depositi di conoide alluvionale	790
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni	1210

Valle e Cavalletto

Il modello geologico desunto dal livello 1, viene sostanzialmente confermato. Le informazioni ulteriori desunte dalle indagini si possono riassumere in:

1. migliore individuazione degli spessori delle coperture;
2. presenza di una struttura tettonica con gradinate di faglie in direzione circa EW ad andamento normale che ribassano l'area a nord di Cavalletto;
3. migliore definizione della geometria sepolta del riempimento della dolina ad est della località di Valle.

In figura 26 è possibile osservare una mappa delle isopache delle coperture sismiche, dove è possibile osservare il maggior spessore delle coperture nell'area nord di Cavalletto (dove i calcari del substrato sono a profondità anche superiori a 100m) rispetto all'area di Valle, dove sono presenti variabilità spaziali elevate.

Nella successiva tabella 13 sono infine riportate le velocità medie delle onde di taglio S. Tali velocità sono state desunte, per la località di Valle, dalla prova down-hole (che indaga però solo le coperture) opportunamente integrata dalla sismica a rifrazione; mentre per la località di Cavalletto i valori di Vs sono stati definiti dalle misure REMI (che individuano gli spessori elevati di copertura e la profondità del bedrock sismico) opportunamente integrati con i risultati delle linee di sismica a rifrazione OCR3c (figura 27).

Tab.13 – Velocità medie per il sito di Valle e Cavalletto

sigla	litologia	Vs media (m/s)
bIII	Depositi alluvionali - riempimento dolina	510
m	Depositi di conoide alluvionale fini - Cavalletto Nord	305
m	Depositi di conoide alluvionale grossolani -Cavalletto Nord	505
m	Depositi di conoide alluvionale grossolani - Cavalletto	705
AP	Depositi fluvio-lacustri fini	345
AP	Depositi fluvio-lacustri grossolani	525
ACT	Depositi fluvio-lacustri grossolani	525
CBZ	Calcari a briozoi e litotamni	830
CCD	Calcari a coralli e diceratidi	1250
UAM	Marne calcaree - litofacies calcareo-marnosa alterata	815
UAM	Marne calcaree - litofacies calcareo-marnosa (UAM)	1250

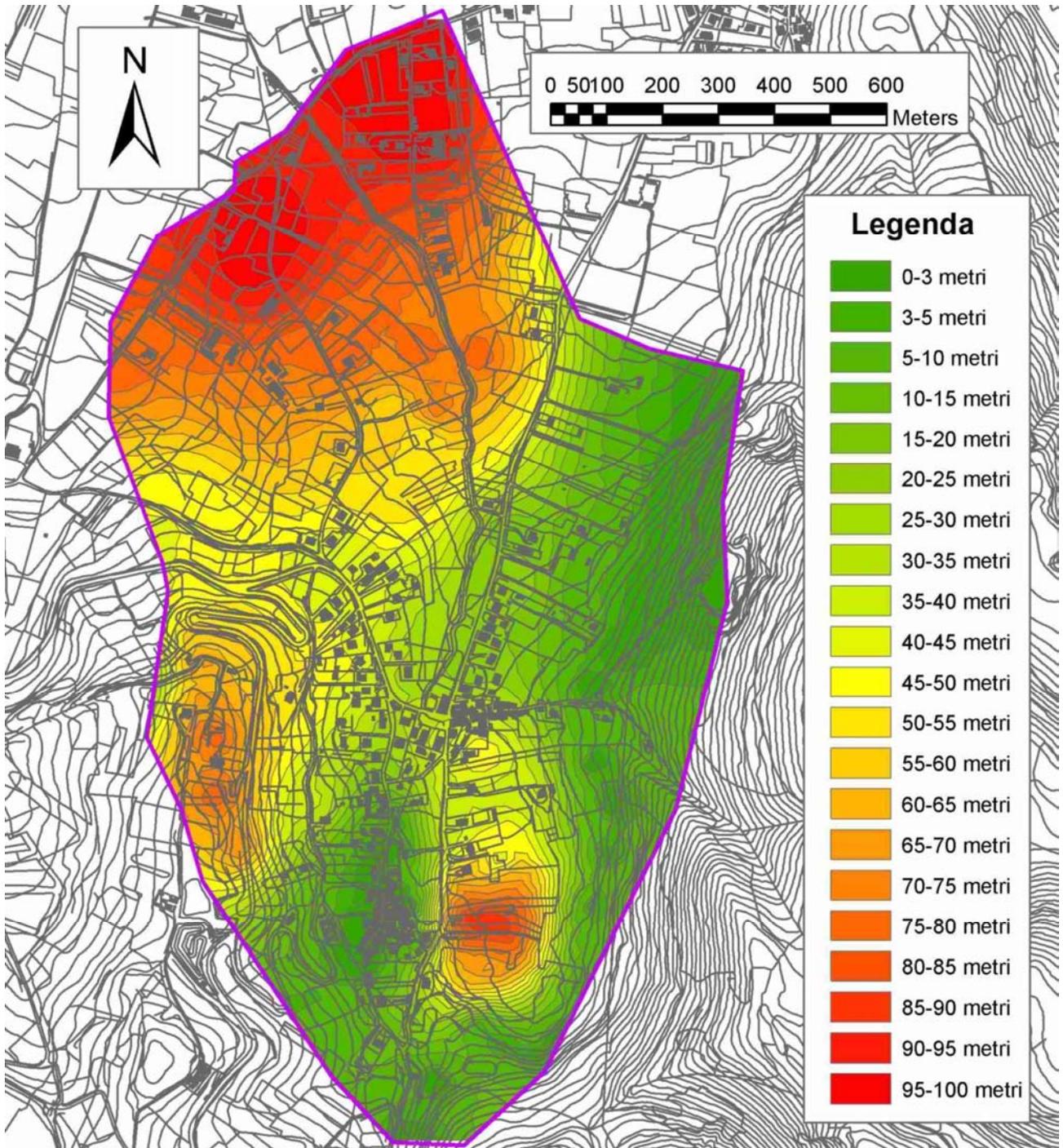


Fig. 26 – Carta delle isopache del substrato sismico per i siti di Valle e Cavalletto

SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

Comune di Ocre - località' San Felice d'Ocre

scala originaria 1:2000

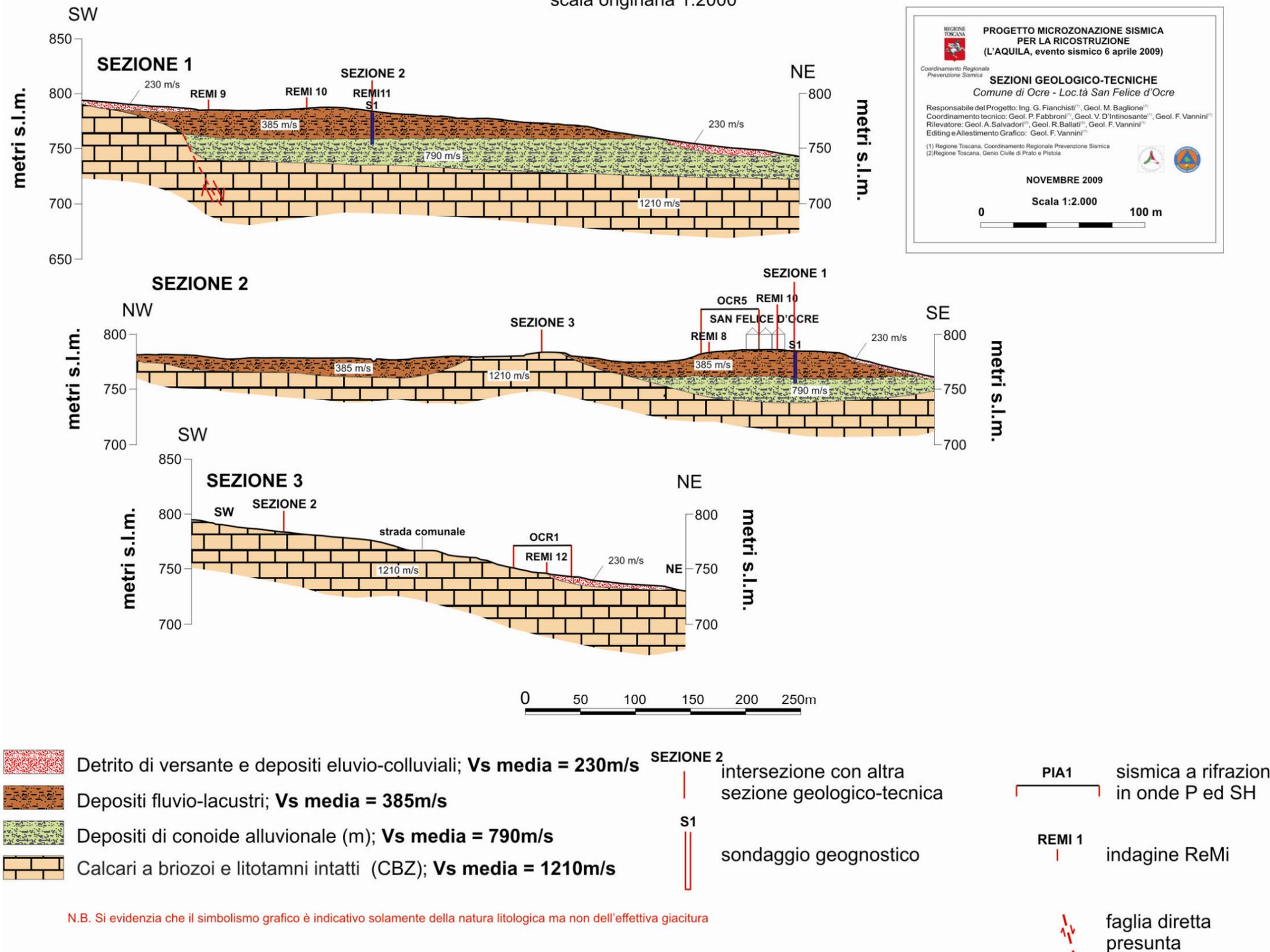


Fig. 25 – Sezioni geologico-techniche per il sito di San Felice d'Ocre

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO: SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

Comune di Ocre - località Valle e Cavalletto

scala originaria 1:2000

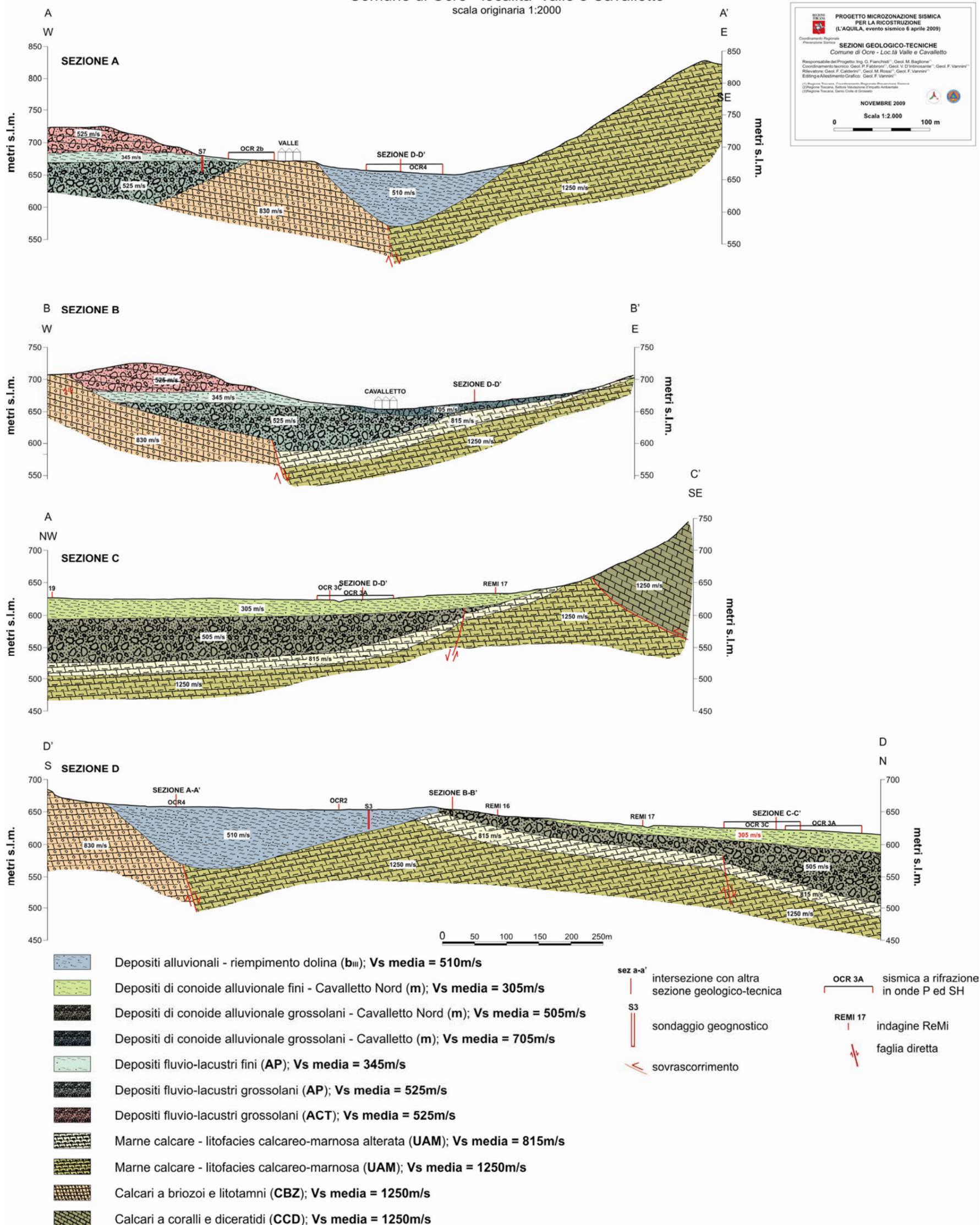


Fig. 27 – Sezioni geologico-tecniche per il sito di Valle e Cavalletto

9.3 Carte di Microzonazione sismica

9.3.1. Carta di microzonazione sismica di livello 1

Tutte le informazioni acquisite nella fase di rilevamento e riportate nelle cartografie geologiche prodotte, unitamente ai dati di base pregressi reperiti, hanno permesso di realizzare l'elaborato relativo alle **cartografie delle "microzonazione omogenee in prospettiva sismica"**.

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

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

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

La cartografia, quindi, corrisponde ad un approfondimento di *Livello I* 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.

Di seguito si riportano le carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (riportate anche in Allegato 3) realizzate secondo la legenda riportata negli "*Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*" con una breve nota illustrativa di commento suddivisa per ogni località.

COMUNE DE L'AQUILA: L'AREA DI PIANOLA

La cartografia (figura 28) riporta le seguenti microzone:

- **zona stabile**, non sono presenti zone stabili.
- **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali:**
 - **Zona 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S (CBZ₃)* affiorante, posto su un versante acclive e tale da non escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico. Tale zona è presente in tutto il nucleo storico del paese.
 - **Zona 2 e 3**, caratterizzata dalla presenza rispettivamente del *substrato lapideo stratificato S (UAP)* affiorante e delle *brecce cementate (Br)*. Da notare che in quest'area il substrato lapideo UAP presenta in alcune situazioni un elevato grado di alterazione, mentre le Brecce sono talora ben cementate ed in altre situazioni possiedono un grado di cementazione minore. Pertanto, per tali motivazioni, si è preferito inserire queste aree all'interno delle zone stabili suscettibili di fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico.
 - **zona da 4 a 8**, caratterizzate dalla presenza di variabili spessori di copertura (ghiaie e ciottoli con matrice limoso-sabbiosa-argillosa e con limi, sabbie e argille in percentuali variabili) poggianti, tranne che per la zona 7 e 8 su *substrato lapideo stratificato S* (costituito da *UAP* o *Br*).

E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di variazioni in quanto la stima è stata effettuata sulla base dei pochi dati pregressi a disposizione (alcuni sondaggi e prove geofisiche tipo MASW).

- **Zona suscettibile di instabilità.** Sono state distinte n.2 aree instabili ubicate entrambi in loc.tà Piscine. La prima è caratterizzata da un dissesto gravitativo che ha prodotto un soliflusso generalizzato. La seconda area è caratterizzata da una morfologia particolare

(valle a U con fondo piatto) in cui sono frequenti fenomeni di ristagno idrico e in cui è presente un terreno geotecnicamente scadente. In tale area non si possono quindi escludere fenomeni di cedimento differenziale e/o di liquefazione parziale delle sabbie.

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

COMUNE DE L'AQUILA: L'AREA DI BAGNO

La cartografia (figura 29) riporta le seguenti microzone:

- **zona stabile 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S (UAP_b) sub affiorante*, eventualmente con spessori di copertura prodotta dall'alterazione del substrato roccioso che può raggiungere i 3 ml. Tale zona è presente lungo il versante che da Bagno arriva sino alla loc.tà Palombata. E' bene precisare che, l'identificazione di tale substrato come bedrock sismico rimane solo un'ipotesi che sarà successivamente avvalorata da misure in Vs. Quindi l'attribuzione di quest'area in zona stabile 1 può essere suscettibile di variazioni in ragione della possibile variabilità del parametro Vs.
- **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali:**
 - **zona 2 a 8**, caratterizzata dalla presenza rispettivamente di depositi di copertura eluvio-colluviale o detritici di versante di spessori non elevati circa intorno ai 5m costituiti da materiali prevalentemente grossolani (ghiaie e ciottoli in matrice limoso – sabbioso) poggianti su *substrato lapideo stratificato S (UAP_b)*. Nell'area di fondovalle vi è invece la presenza di depositi di copertura alluvionale e/o di conoide con spessori superiori fino ad un massimo di 30-40m poggianti sul substrato costituito dal Flysh UAP.E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di variazioni in quanto la stima è stata effettuata sulla base dei pochi dati pregressi a disposizione (n.1 pozzo e alcune informazioni geologiche reperite).
- **Zona suscettibile di instabilità** per *instabilità di versante* tipo frana di scivolamento quiescente. Le zone 4 e 7 sono state inserite anche in questa classe.

COMUNE DE L'AQUILA: L'AREA DI CIVITA DI BAGNO E SAN BENEDETTO

La cartografia (figura 30) riporta le seguenti microzone:

- **zona stabile 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S (UAP_b) sub affiorante*, ma con spessori di copertura (alterazione eluvio - colluviale/riporti antropici) che possono raggiungere i 3 ml. Tale zona è presente esclusivamente nella loc.tà di Sant'Angelo limitrofa alla loc.tà di San Benedetto; la valutazioni degli spessori è stata eseguita adottando criteri qualitativi per indirizzare le successive fasi di accertamento geognostico in sito (caratterizzazione geotecnica e caratterizzazione geofisica). E' bene precisare che, nell'area esistono pochi affioramenti significativi di tale substrato in quanto è quasi sempre presente un cappellaccio di alterazione superficiale di qualche metro. Pertanto l'attribuzione di quest'area come zona stabile 1 può essere suscettibile di variazioni in ragione del possibile spessore di copertura eventualmente presente e in ragione della caratterizzazione geofisica in termini di Vs di tale substrato roccioso.
- **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali:**
 - **zona da 2 a 19**, caratterizzata da spessori di copertura eluvio-colluviale, fluvio-lacustre e alluvionale (ghiaie e ciottoli con matrice limoso - sabbioso - argillosa/limi, sabbie e argille in percentuali variabili) poggianti su *substrato lapideo stratificato S (UAP_b)*. La distinzione delle classi all'interno delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale è stata effettuata in relazione al differente spessore presunto delle coperture e in relazione alla litologia della copertura stessa. E' importante sottolineare come nell'area di Civita

di Bagno gli spessori della copertura siano notevolmente superiori a quelli presenti nella loc.tà di San Benedetto. Inoltre, la presenza dei depositi di copertura fluvio-lacustre posti al di sotto della copertura detritica di versante nell'area a sud di San Angelo porta ad un marcato aumento della profondità del substrato roccioso.

E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di variazioni in quanto la stima è stata effettuata sulla base dei pochi dati pregressi a disposizione.

- **Zona suscettibile di instabilità** per *instabilità di versante* tipo frana di scivolamento quiescente.

La carta è stata completata riportando le più significative *forme di superficie*: conoide alluvionali e gli allineamenti tettonici.

COMUNE DI OCRE: L'AREA DI SAN FELICE

La cartografia (figura 31) riporta le seguenti microzone:

- **zona stabile 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S (CBZ₃) sub affiorante*, ma con spessori di copertura (alterazione eluvio - colluviale/riporti antropici) che possono raggiungere i 3 ml. Tale zona è presente in corrispondenza dell'attuale campo tende degli sfollati e lungo le dorsali che si sviluppano a NO del centro storico; le valutazioni degli spessori è stata eseguita adottando criteri qualitativi per indirizzare le successive fasi di accertamento geognostico in sito (caratterizzazione geotecnica e caratterizzazione geofisica).
- **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali:**
 - **zona 2 a 7**, caratterizzata da coperture (ghiaie e ciottoli con matrice limoso - sabbioso - argillosa/limi, sabbie e argille in percentuali variabili) di spessore variabile poste sul *substrato lapideo stratificato S (CBZ₃)*.
 - E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di variazioni in quanto la stima, in molti casi, è stata effettuata sulla base dei pochi dati pregressi a disposizione (alcune prove penetrometriche).
- **Zona suscettibile di instabilità** per *instabilità di versante* tipo frana di scivolamento quiescente.

COMUNE DI OCRE: L'AREA DI VALLE E CAVALLETTO

La cartografia (figura 32) riporta le seguenti microzone:

- **zona stabile**, non sono presenti zone stabili nell'area.
- **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali:**
 - **Zona 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S (UAM1b e CBZ₃) sub affiorante*, eventualmente con spessori di copertura (alterazione eluvio - colluviale/riporti antropici) che possono raggiungere i 3 ml, posto su versanti con inclinazione superiore a circa 15°. Tale zona corrisponde a tutto il versante sud-est e orientale dell'area in cui risulta affiorante tutto il substrato roccioso. Inoltre il substrato risulta in affioramento in tutto il centro storico dell'abitato di Valle. Naturalmente per determinare la presenza o meno del bedrock sismico è necessario effettuare misure di Vs. nell'area.

Inoltre, sulla base delle poche indicazioni fornite dai dati esistenti disponibili e dal rilievo geologico effettuato si è scelto di suddividere l'area di fondovalle in n. 12 zone sulla base dei differenti spessori di copertura e in relazione alla diversa granulometria presente.

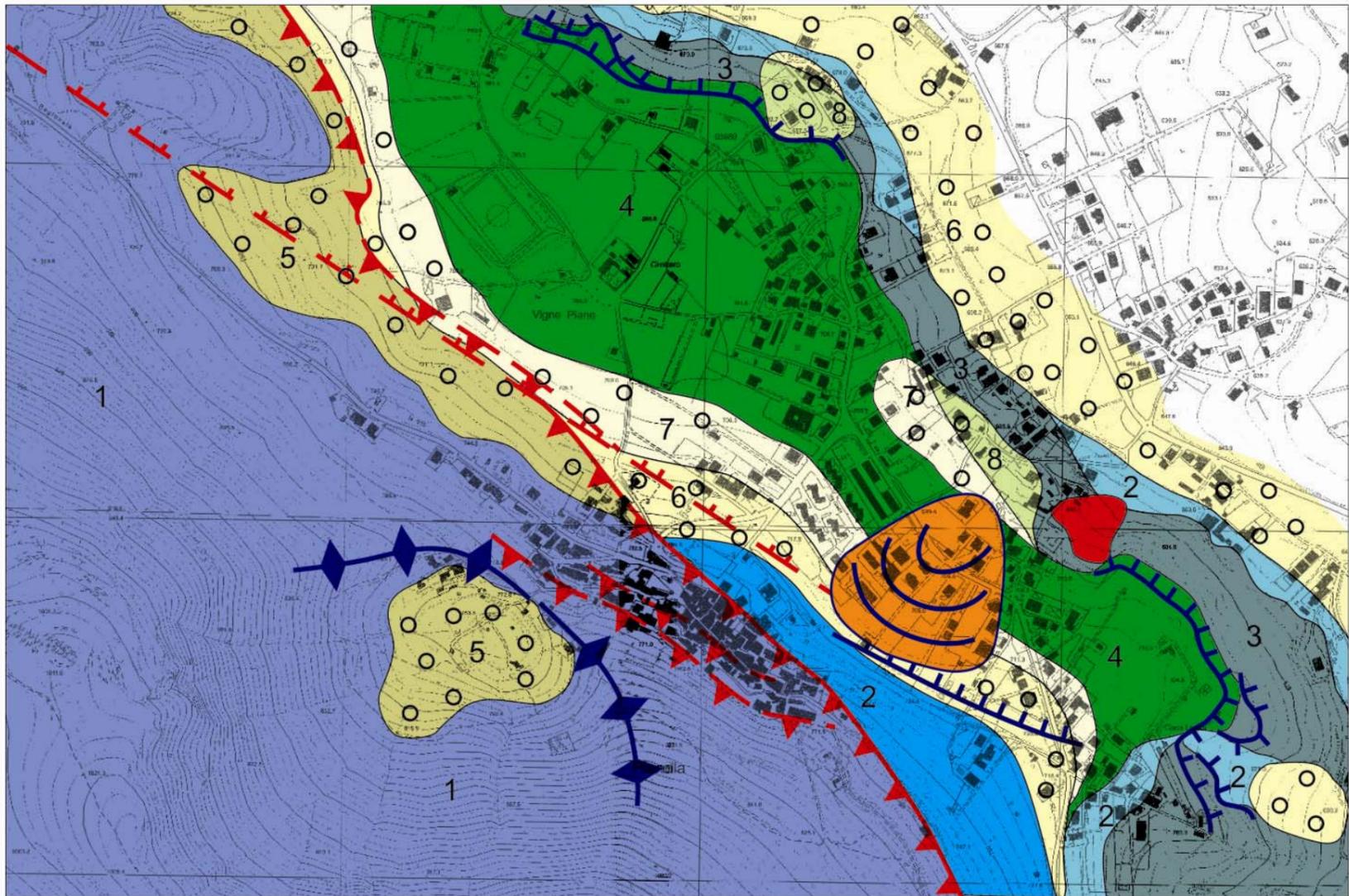
- **zona 2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13**, caratterizzata da una copertura (ghiaie e ciottoli con matrice limoso - sabbioso - argillosa/limi, sabbie e argille in percentuali variabili) posti su *substrato lapideo stratificato S (UAM1b e CBZ)* con spessore della copertura

variabile tra 5ml nell'area di bordo del versante e/o di chiusura della valle stessa fino ad oltre 100ml nell'area di Cavalletto in loc.tà via del Mulino. Anche la granulometria dei depositi è estremamente variabile in quanto è associabile a depositi detritici alla base del versante, a depositi di conoide alluvionale, a depositi alluvionale recenti e di natura fluvio-lacustre.

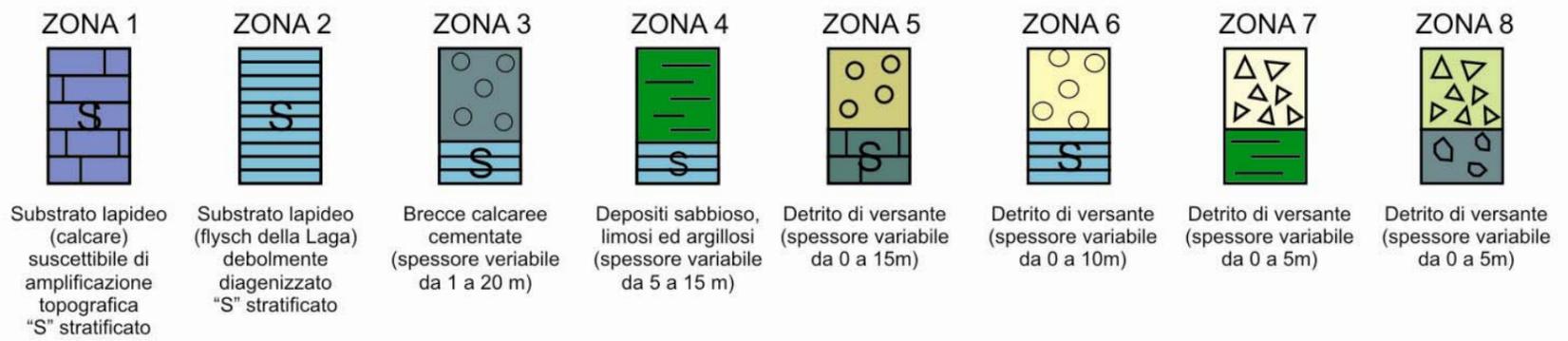
E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura è suscettibile di variazioni in quanto la stima è stata effettuata sulla base dei pochi dati pregressi a disposizione (alcuni pozzi e poche prove penetrometriche).

- **Zona suscettibile di instabilità** per *instabilità di versante* tipo frana di scivolamento quiescente.

La carta è stata completata riportando le più significative *forme di superficie*: orlo di scarpata, conoide alluvionale, doline e le strutture tettoniche superficiali e sepolte.



ZONE STABILI SUSCETTIBILI AD AMPLIFICAZIONE LOCALE



ZONE INSTABILI

Dissesto gravitativo

FORME MORFOLOGICHE

Cresta

Orlo scarpata morfologica

Vallecola ad "U" con fondo piatto con presenza di terreni argillosi e ristagni idrici (focalizzazione/cedimenti)

Falda detritica (sovrassegno: pallini neri; sfondo: colore zona n°)

Figura 28 – Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica per il sito di Pianola

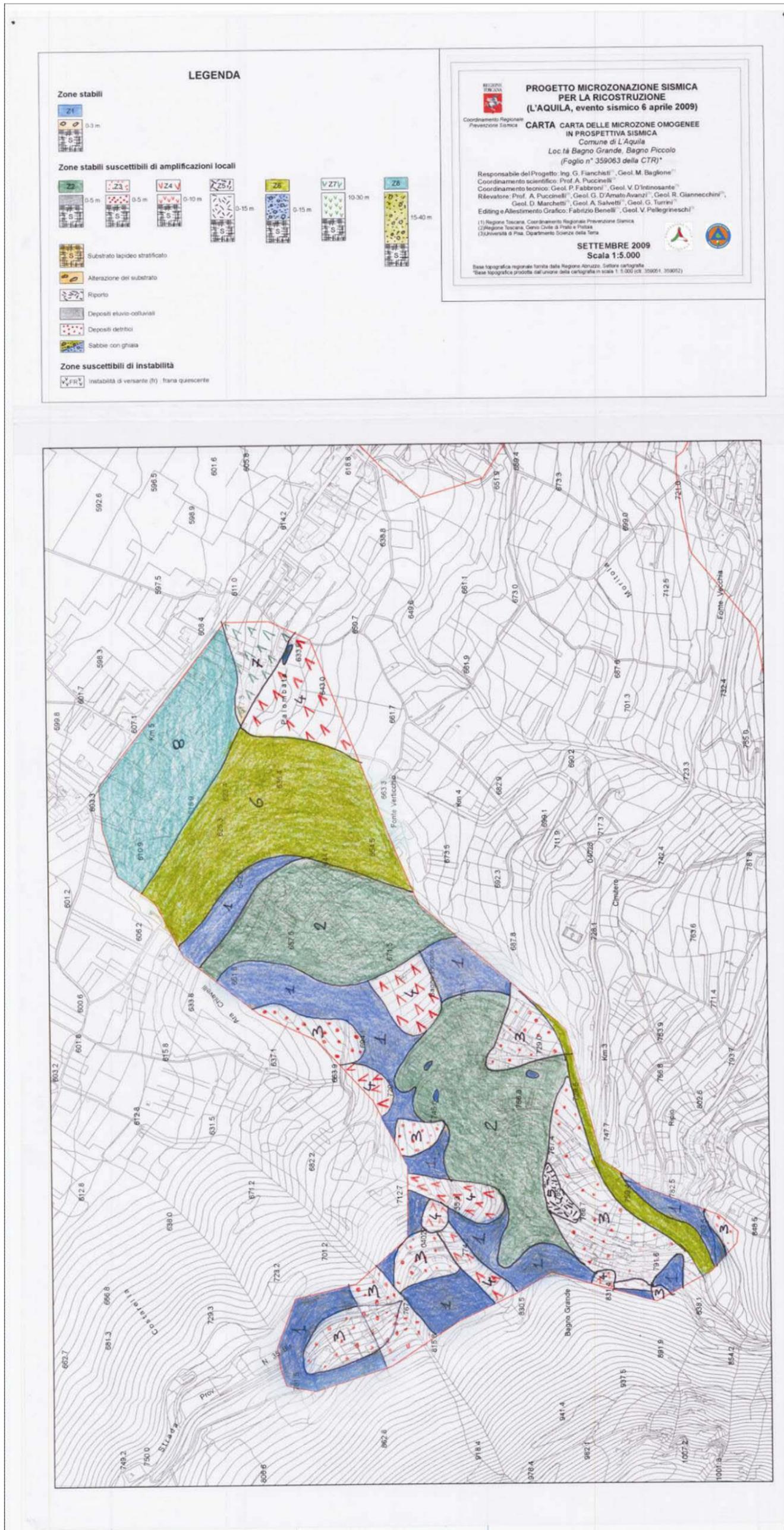


Figura 29 – Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica per il sito di Bagno

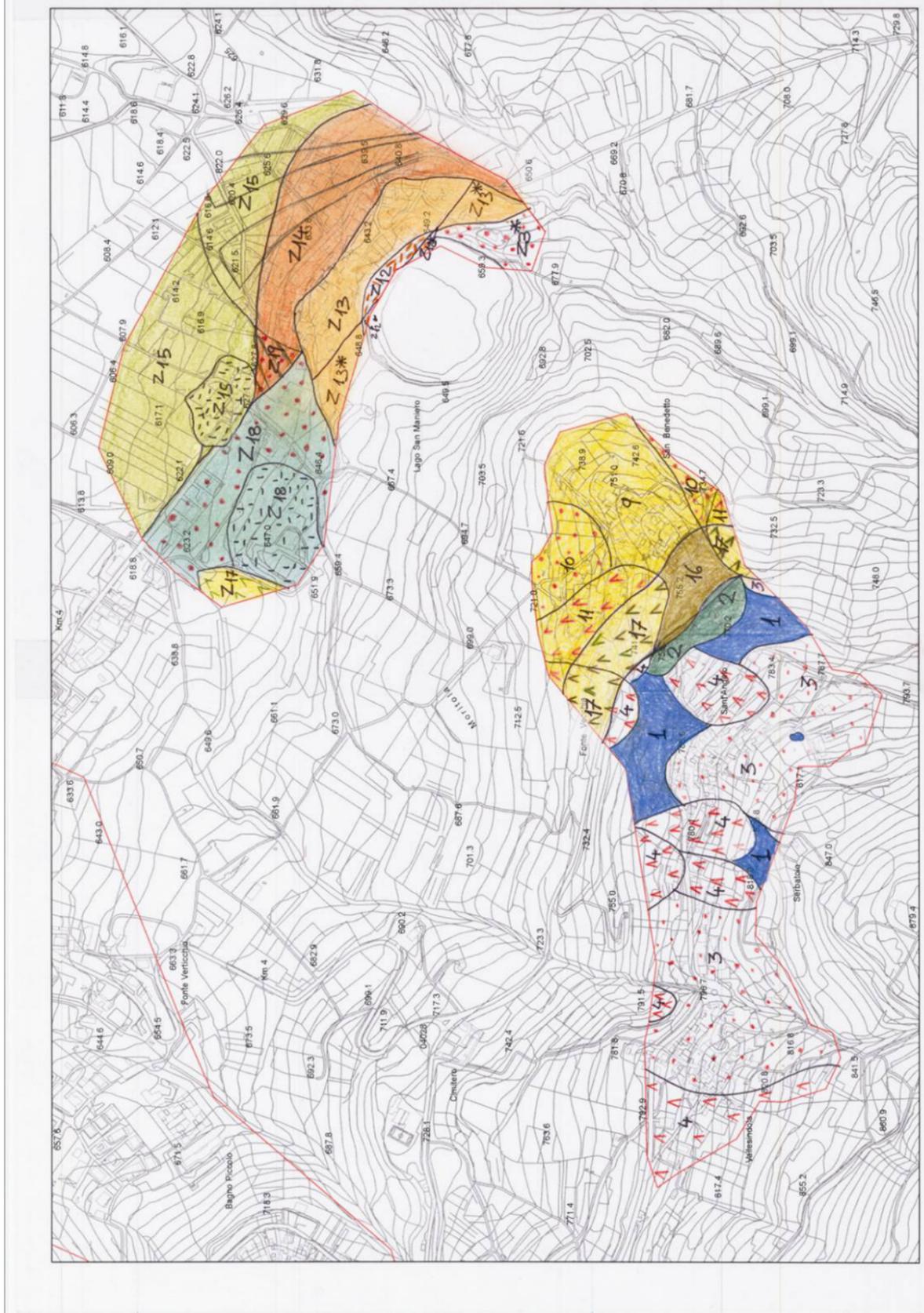
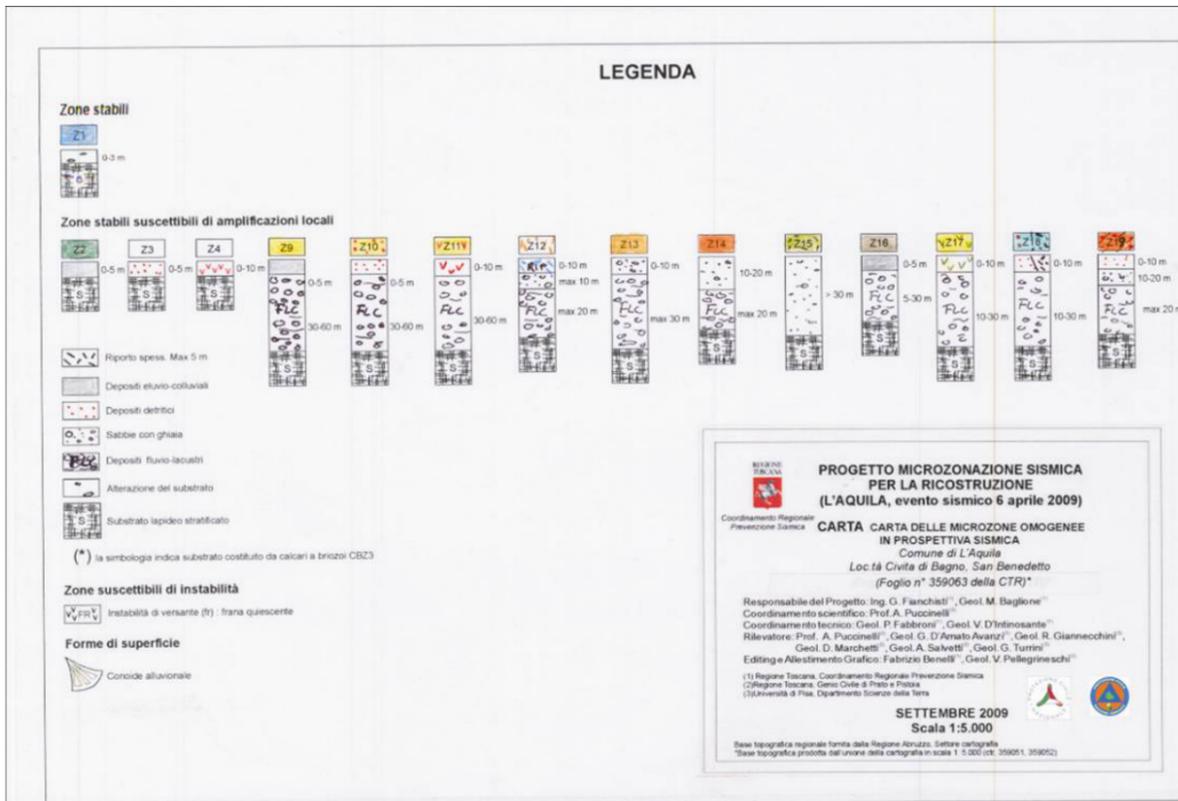


Figura 30– Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica per i siti di Cività di Bagno e San Benedetto

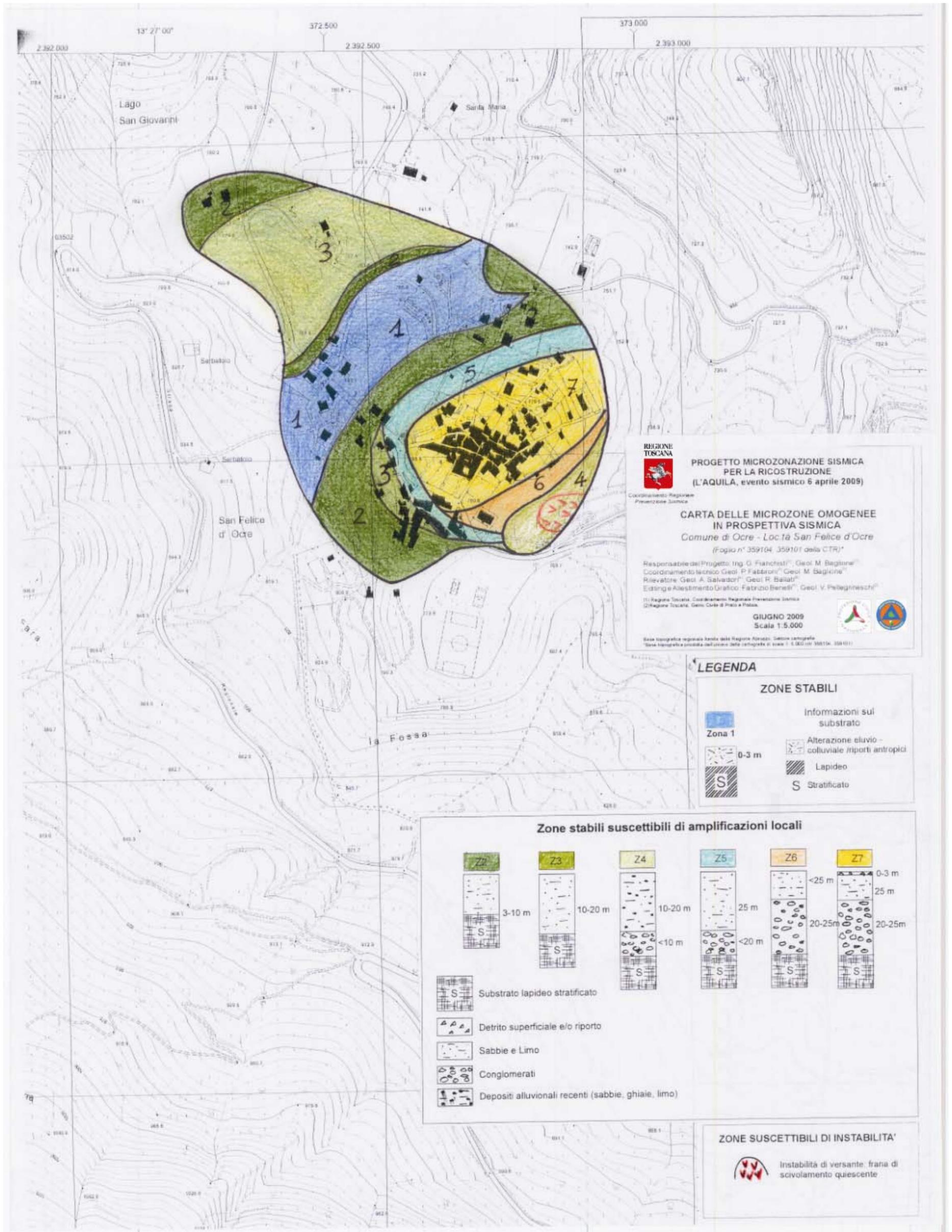


Figura 31- Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica per il sito di San Felice d'Ocre

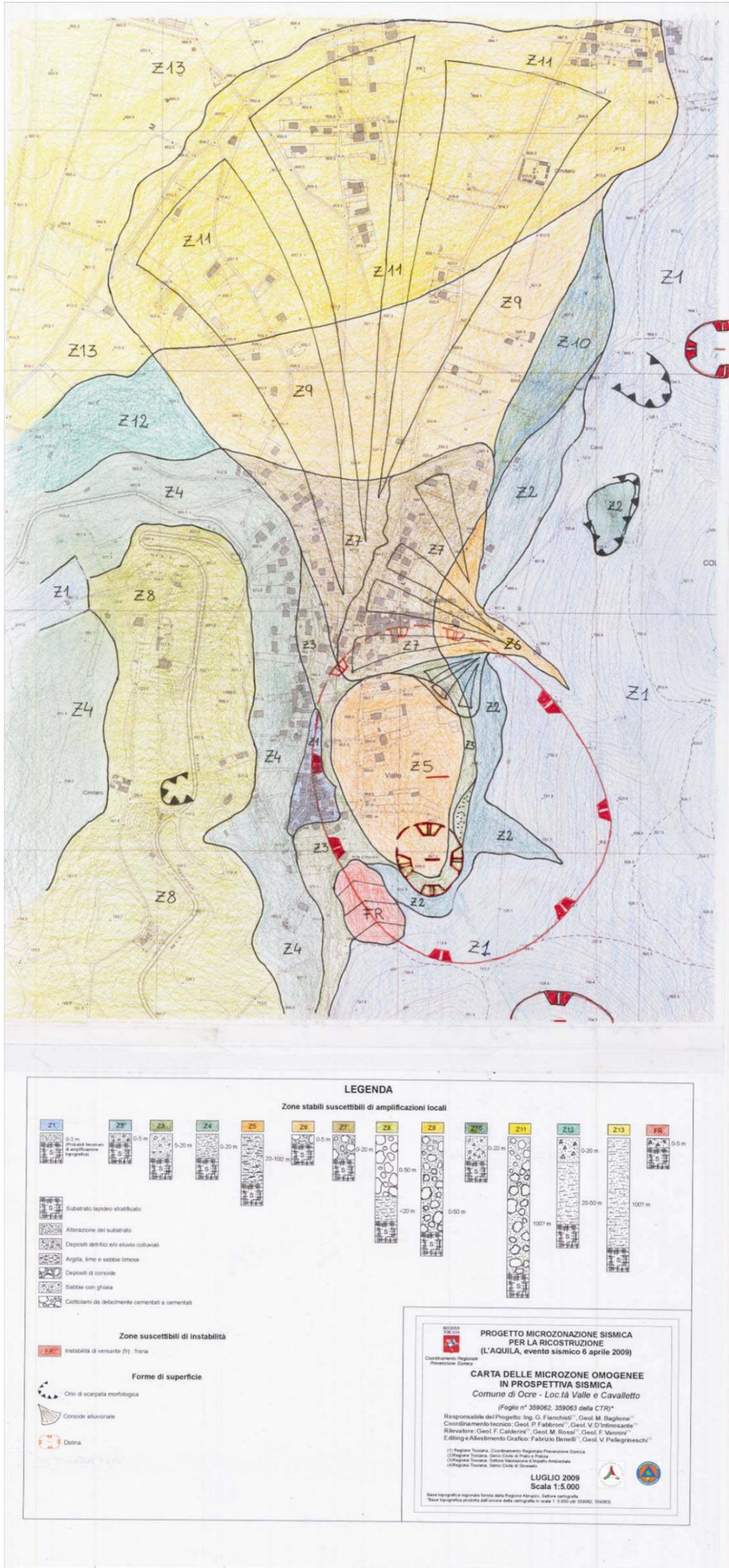


Figura 32- Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica per i siti di Valle e Cavalletto

9.3.2. Analisi numerica della risposta sismica locale di livello 3

L'analisi numerica ha richiesto la conoscenza di alcuni dati:

- l'input sismico cioè il moto vibratorio su una ipotetica roccia affiorante piana al sito in esame,
- le carte geologiche e le carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica,
- le sezioni geologiche,
- i dati geotecnici in situ ed in laboratorio,
- i dati geofisici e sismologici.

Sulla base dei dati reperiti sono state individuate le unità geologiche-geofisiche omogenee e le relative colonne stratigrafiche che sono poi state oggetto delle modellazioni.

È stato preso in considerazione un solo moto di input su roccia affiorante, cioè quello della normativa corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. La scelta è dovuta al fatto che, tra i tre proposti: normativa, deterministico e probabilistico, rappresenta l'input di minore intensità e quindi quello che produce la maggiore amplificazione. Gli spettri sono stati convertiti in accelerogrammi prima di essere utilizzati nelle analisi di amplificazione locale.

I risultati sono stati espressi in termini di fattori di amplificazione quali: FA e FV, così come definiti dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 2008". I coefficienti Ss e Cc, così come definiti dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni, 2008" sono facilmente derivabili dai suddetti fattori.

Per tutte tali aree si è preferito ricorrere a valori medi delle Vs, in considerazione della non capillare distribuzione delle indagini geofisiche.

C'è inoltre da considerare come la maggior parte dei valori di Vs ricavati siano derivanti da prove ReMi; nei siti dov'era possibile tarare le suddette indagini con prove di sismica attiva ci si è accorti, come riportato nel capitolo dedicato alle indagini geofisiche, della non trascurabile sottostima nella definizione dei profili di Vs, tali da sconsigliarne l'utilizzo. Nei casi dove l'unico dato disponibile era quello delle prove ReMi si è preferito dedurre valori medi al fine di mitigare statisticamente l'errore associato alle prove di rumore. Per questi motivi tutte le analisi di amplificazione locale sono naturalmente affette da incertezza.

Tutte le sezioni geologico-tecniche sono state analizzate sia con analisi monodimensionali mediante il programma di calcolo SHAKE91 sia mediante analisi 2D con BESOIL nel caso di evidenti discontinuità laterali. In tal maniera le sezioni stesse sono state divise in segmenti a pericolosità uniforme. Sulla base di tali suddivisioni si è poi passati all'estensione dei risultati facendo riferimento al contesto geologico e stratigrafico dei vari centri abitati, pervenendo così alla perimetrazione di aree omogenee distinte sulla base delle coppie di valori FA e FV.

Di seguito vengono illustrate le carte di microzonazione sismica di livello 3 (così come definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 2008"), le quali costituiscono uno strumento di conoscenza dei livelli di amplificazione sismica locale da utilizzare a soli fini urbanistici. Tali cartografie sono riportate per intero nell'Allegato 10.

Preme sottolineare come alcune aree (indicate nelle carte da sfondo blu con rigatura rossa) presentino coperture sismiche che, in virtù dei limitati spessori desunti, non hanno prodotto amplificazioni significative, a seguito delle modellazioni numeriche. Tali situazioni, qualora le aree siano interessate da interventi edilizi, vanno doverosamente verificate mediante idonee campagne di indagine, al fine di accertare l'effettivo spessore delle coperture.

Inoltre, i fenomeni gravitativi attivi e/o quiescenti presenti nelle aree oggetto di studio sono stati identificati qualitativamente a seguito del rilievo geologico di campagna e lo studio multitemporale delle fotoaeree relative all'area in esame. La conferma dello stato di attività e la caratterizzazione dei relativi parametri quantitativi necessiterà di ulteriori fasi d'indagine e monitoraggio.

Valle-Cavalletto-San Felice d'Ocre

I materiali (tabella 12 e 13) sono stati caratterizzati mediante la velocità media delle onde di taglio. Inoltre, limitatamente ai Depositi alluvionali (e di riempimento di dolina), sono state effettuate prove in laboratorio per determinarne le curve di decadimento (Rif.MA9-S3). Per gli altri è stata effettuata la distinzione tra quelli indicati come depositi fini e grossolani. Per i primi si è fatto riferimento alle curve delle sabbie alluvionali (Boiero et alii, 2009) del progetto C.A.S.E e per i secondi al valor medio delle curve di letteratura delle ghiaie.

I risultati sono riportati nelle figure seguenti (Figg.33 e 34).

Bagno-San Benedetto-Civita di Bagno

I materiali (Tabelle 9-10-11) sono stati caratterizzati mediante la velocità media delle onde di taglio. Inoltre, limitatamente ai Depositi eluvio-colluviali (b2), sono stati effettuate prove in laboratorio per determinarne le curve di decadimento (Rif.MA9-S8-c1). Per gli altri è stata effettuata la distinzione tra quelli indicati come depositi fini e grossolani. Per i primi si è fatto riferimento alle curve delle sabbie alluvionali (Boiero et alii) del progetto C.A.S.E e per i secondi al valor medio delle curve di letteratura delle ghiaie.

I risultati sono riportate nelle figure seguenti (figg.35, 36 e 37)

Pianola

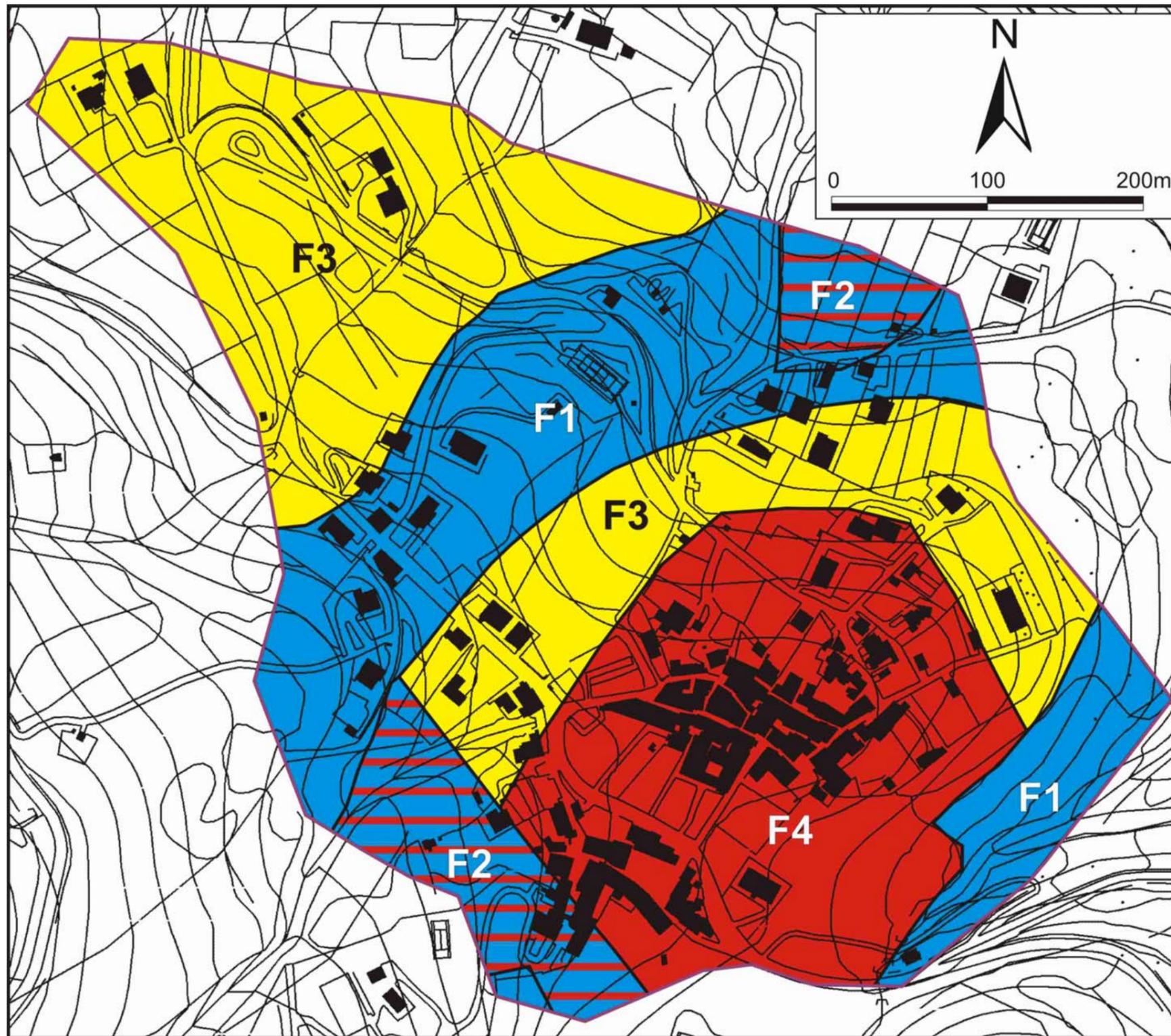
Nella tabella 8 sono riportate le litologie e le Vs medie.

Anche per Pianola, in considerazione della non capillare distribuzione delle indagini geofisiche i materiali sono stati caratterizzati mediante la velocità media delle onde di taglio, pertanto tutte le analisi di amplificazione locale sono naturalmente affette da un certo grado di incertezza.

Questo è particolarmente evidente nella sezione geologico-tecnica (Fig. 19): come si vede sono indicati i valori medi delle Vs, ma la geometria risulta complessa e difficilmente schematizzabile e non è possibile fornire dati sulla profondità del substrato sismico (Calcarei a Briozoi e Litotamni, CBZ), sicuramente localizzabile a profondità notevolmente superiori a 100m dal piano campagna. Inoltre, non sempre è stato possibile risalire alla profondità del substrato sismico dal rilievo strumentale, poiché i valori di frequenza desunti sono indice del contatto tra depositi fluvio-lacustri e breccie carbonatiche nel settore Nord e tra depositi fluvio-lacustri ed unità arenaceo pelitiche nell'area occidentale. Mai nelle aree di fondovalle del sito di Pianola i suddetti valori in frequenza raggiungono bassi valori, tali da lasciar presupporre un contatto profondo tra coperture sismiche e calcari (CBZ).

Ai fini della caratterizzazione dei terreni, sono inoltre state effettuate prove in laboratorio per determinarne le curve di decadimento (Rif.MA9-S5 e S6) dei terreni appartenenti ai Depositi fluvio-lacustri (FLU). Per le coperture detritiche e colluviali si è fatto invece riferimento alle curve delle sabbie alluvionali (Boiero et alii) del progetto C.A.S.E, mentre per le Unità arenaceo-pelitiche (UAP) si è ricorsi alle curve di letteratura per materiali con $IP > 100$.

I risultati sono riportati nella figura seguente (Fig.38). Nella mappa la zona P7, pur essendo caratterizzata da valori di FA ed FV inferiori rispetto ad altre zone, presenta condizioni di pericolosità legate a motivi di natura geotecnica, quali cedimenti differenziali e/o liquefazione per le quali si consigliano approfondimenti d'indagine




PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
 Comune di Ocre (AQ) - Località San Felice d'Ocre

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale



GENNAIO 2010

ZONE STABILI			
F1 	FA 1	FV 1	
F2 	FA 1	FV 1	L'area F2 presenta coperture di natura detritica ed eluvio-colluviale che, in virtù dei limitati spessori desunti, non hanno prodotto amplificazioni significative, a seguito delle modellazioni numeriche. Tali situazioni, qualora le aree siano interessate da interventi edilizi, vanno doverosamente verificate mediante idonee campagne di indagine, al fine di accertare l'effettivo spessore delle coperture.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI			
ZONA	FA	FV	
F3 	1.6	2.0	
F4 	1.7	1.2	

 area d'indagine

Figura 33- Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per il sito di San Felice d'Ocre


PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
 Comune di Ocre (AQ) - Località Valle e Cavalletto

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale



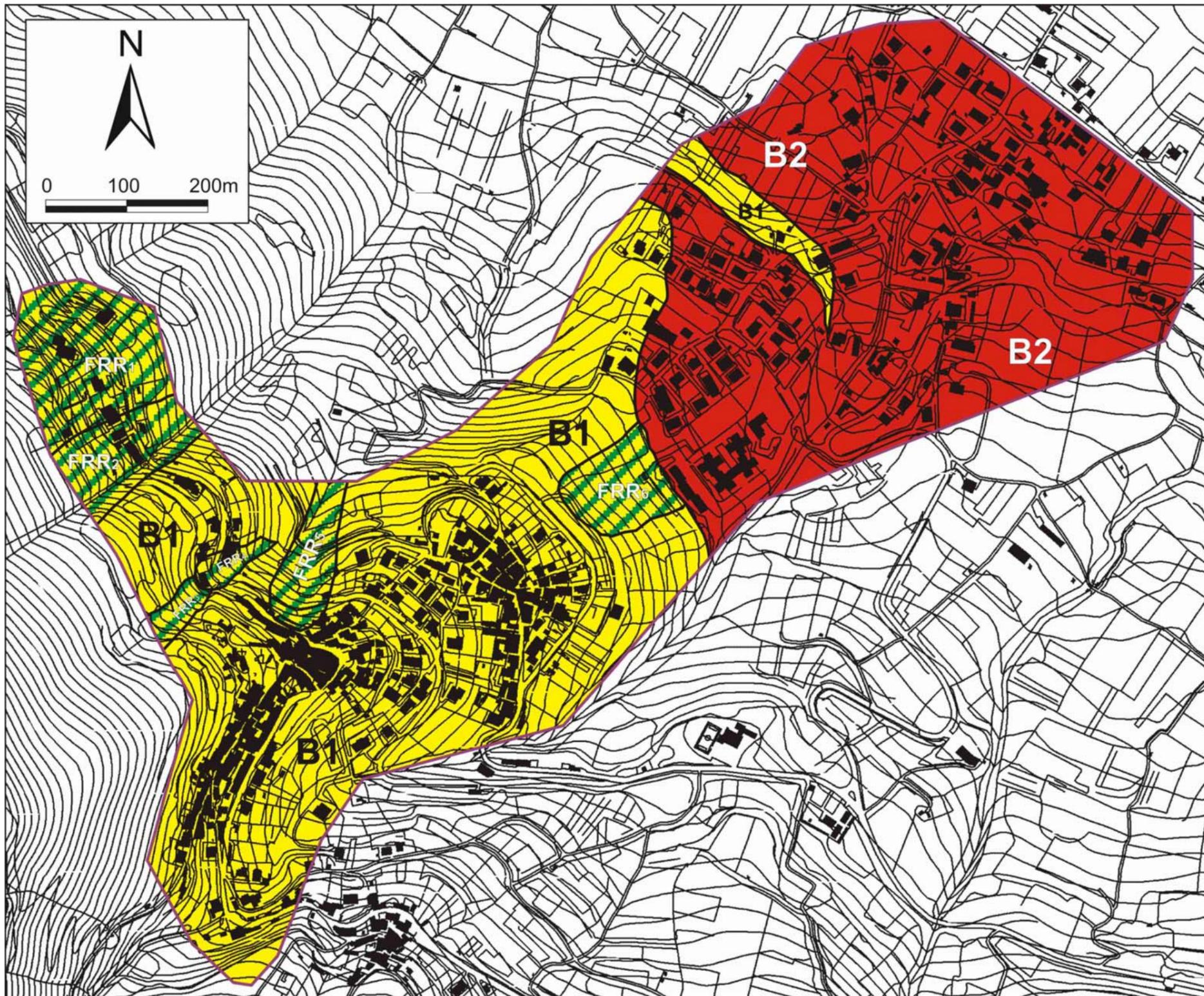

GENNAIO 2010

ZONE STABILI			
V1 	FA	FV	
	1	1	
V2 	FA	FV	L'area V2 presenta coperture sismiche che, in virtù dei limitati spessori desunti, non hanno prodotto amplificazioni significative, a seguito delle modellazioni numeriche. Tali situazioni, qualora le aree siano interessate da interventi edilizi, vanno doverosamente verificate mediante idonee campagne di indagine, al fine di accertare l'effettivo spessore delle coperture.
	1	1	

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI					
ZONA	FA	FV	ZONA	FA	FV
V3 	0.9	1.4	V7 	1.1	1.7
V4 	1.2	1.0	V8 	1.2	1.8
V5 	1.0	1.7	V9 	1.3	1.7
V6 	1.4	1.1	V10 	1.4	2.0



Figura 34– Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per i siti di Valle e Cavalletto




PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
 Comune dell'Aquila - Località Bagno Grande, Bagno Piccolo, Ripa e Cominio
 Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale




GENNAIO 2010

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

ZONA	FA	FV
B1 	1.2	0.9
B2 	1.4	1.45

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

FRR1 
 FRR2 
 FRR3 
 FRR4 
 FRR5 
 FRR6 

I fenomeni gravitativi attivi e/o quiescenti presenti nell'area di Bagno sono stati identificati qualitativamente a seguito del rilievo geologico di campagna e lo studio multitemporale delle fotoaeree relative all'area in esame. La conferma dello stato di attività e la caratterizzazione dei relativi parametri quantitativi necessita di ulteriori fasi d'indagine e monitoraggio.

 area d'indagine

Figura 35– Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per i siti di Bagno Grande, Bagno Piccolo, Ripa e Cominio

REGIONE TOSCANA
PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
 Comune dell'Aquila - Località San Benedetto, Sant'Angelo e Vallesindola

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale

GENNAIO 2010

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI			
ZONA	FA	FV	
S1	1.3	2.3	
S2	1.6	2.0	
S3	1.9	2.9	
S4	2.0*	2.7	* La zona S4 è interamente interessata da un fenomeno gravitativo ed è riportata in planimetria con simbolo FRR6

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'			
FRT ₁		FRR ₃	
FRT ₂		FRR ₄	
FRT ₃		FRR ₅	
FRR ₁		FRR ₆	
FRR ₂			

I fenomeni gravitativi attivi e/o quiescenti presenti nell'area sono stati identificati qualitativamente a seguito del rilievo geologico di campagna e lo studio multitemporale delle fotoaeree relative all'area in esame. La conferma dello stato di attività e la caratterizzazione dei relativi parametri quantitativi necessita di ulteriori fasi d'indagine e monitoraggio.

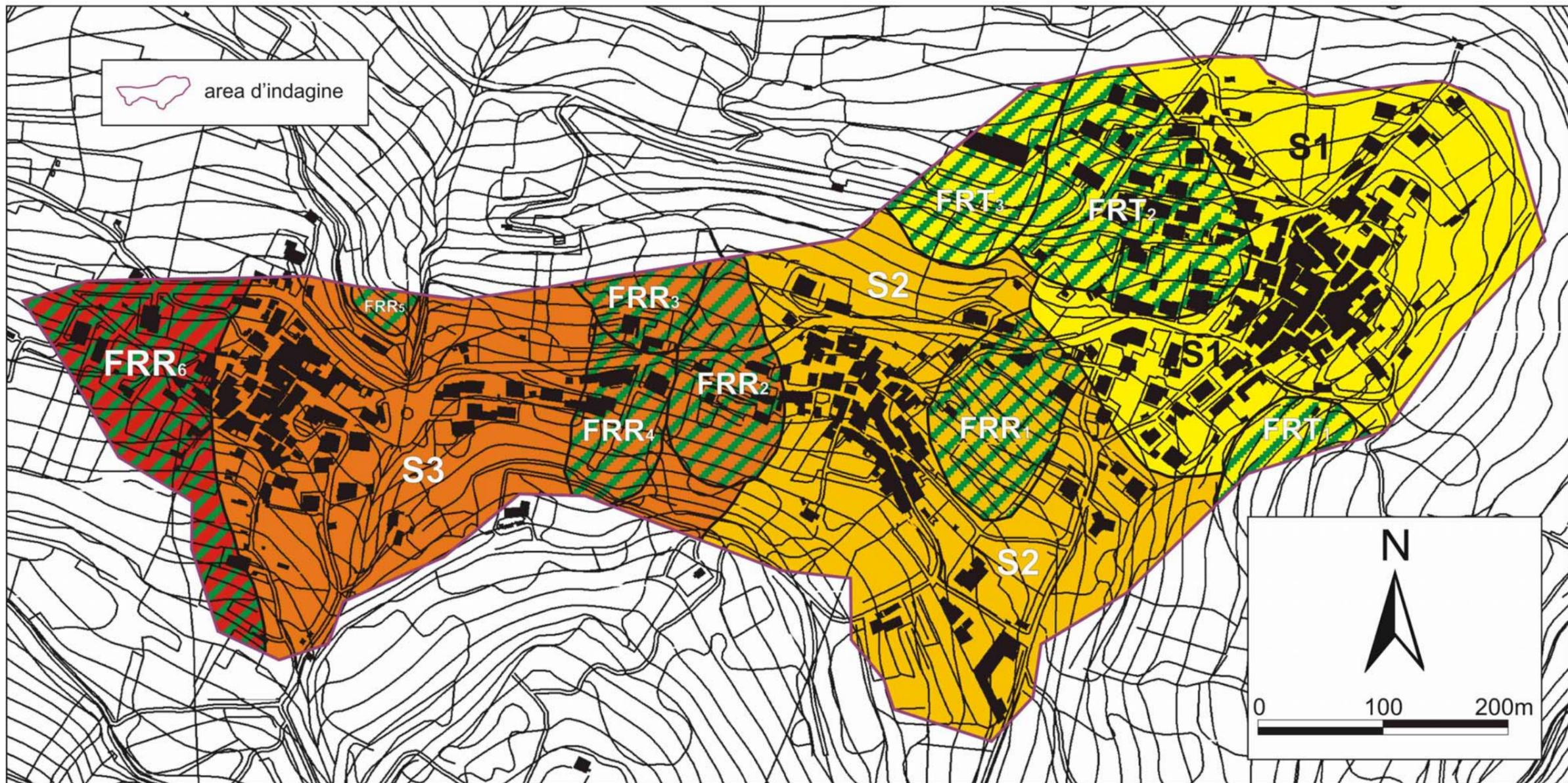


Figura 36- Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per i siti di San Benedetto, Sant'Angelo e Vallesindola




**PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA
PER LA RICOSTRUZIONE
(L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)**
 Coordinamento Regionale
Prevenzione Sismica

**CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
Comune dell'Aquila - Località Civita di Bagno**

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale




GENNAIO 2010

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

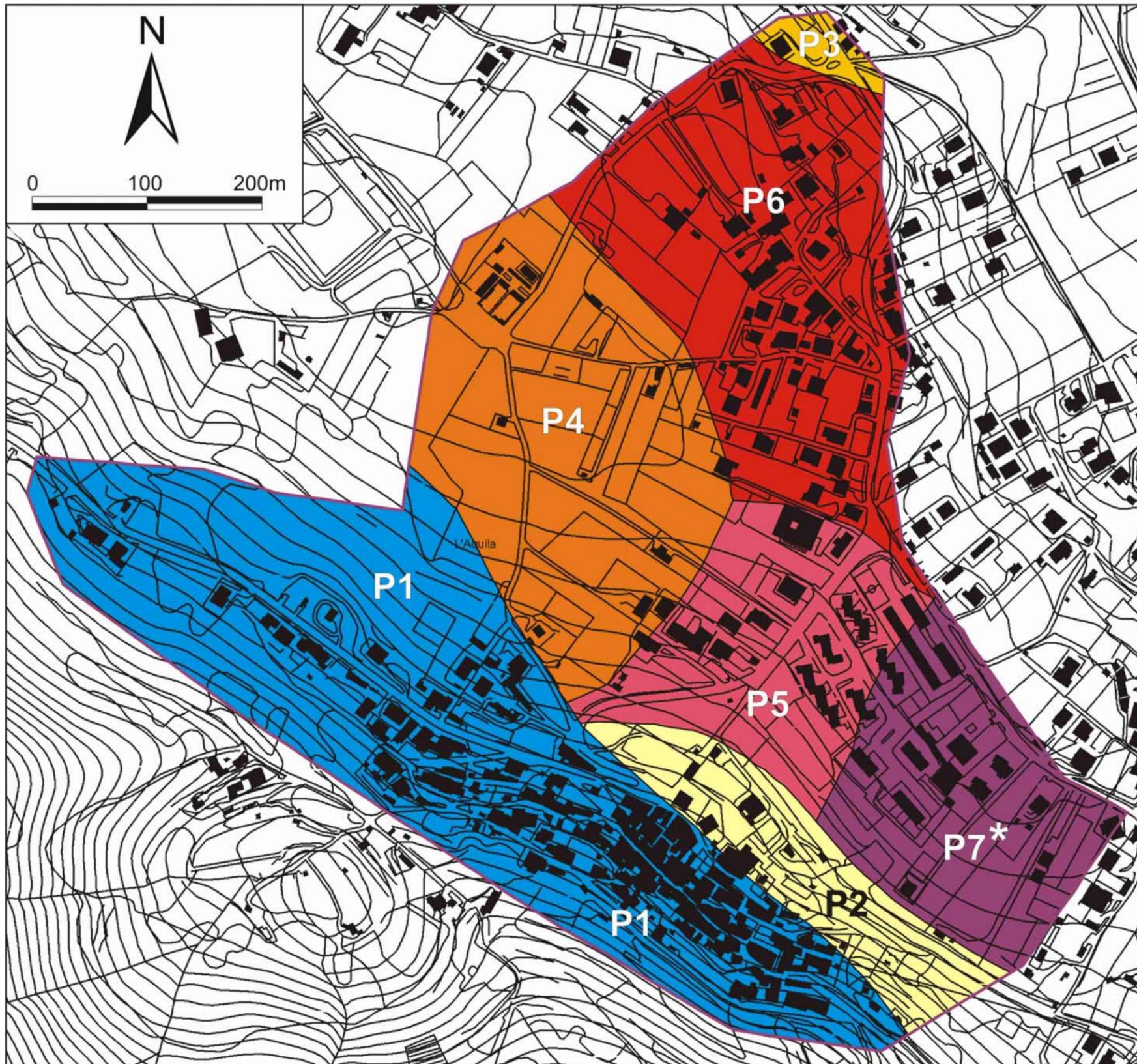
ZONA	FA	FV
C1 	1.4	1.4
C2 	1.65	1.3

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

FRT1 
 Il fenomeno gravitativo presente nell'area di Civita di Bagno è stato identificato qualitativamente a seguito del rilievo geologico di campagna e lo studio multitemporale delle fotoaeree relative all'area in esame. La conferma dello stato di attività e la caratterizzazione dei relativi parametri quantitativi necessita di ulteriori fasi d'indagine e monitoraggio.

 area d'indagine

Figura 37- Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per il sito di Civita di Bagno




PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE (L'AQUILA, evento sismico 6 aprile 2009)
 Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (livello 3)
 Comune dell'Aquila - Località Pianola

Responsabile del Progetto: Ing. G. Fianchisti⁽¹⁾, Geol. M. Baglione⁽¹⁾
 Coordinamento tecnico: Geol. P. Fabbroni⁽¹⁾, Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾, Geol. F. Vannini⁽¹⁾
 Analisi numeriche: Ing. Tito Sanò⁽²⁾
 Editing e Allestimento Grafico: Geol. V. D'Intinosante⁽¹⁾

(1) Regione Toscana, Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica
 (2) Consulente Dipartimento Protezione Civile Nazionale




GENNAIO 2010

ZONE STABILI			
P1		FA 1	FV 1

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI			
ZONA		FA	FV
P2		1.1	1.3
P3		1.1	1.3
P4		1.5	2.5
P5		2.0	1.4
P6		2.3	2.9
P7	 *	1.2	2

* La zona P7, pur essendo caratterizzata da valori di FA ed FV inferiori rispetto ad altre zone, presenta condizioni di pericolosità legate a motivi di natura geotecnica, quali cedimenti differenziali e/o liquefazione per le quali si consigliano approfondimenti d'indagine

 area d'indagine

Figura 38– Carta di Microzonazione sismica (livello 3) per il sito di Pianola