

# La microzonazione sismica delle macroaree

## MACROAREA

# 8

## POGGIO ROIO, COLLE ROIO, ROIO PIANO, S. RUFINA CONTRADA CAVALLI

### GRUPPO DI LAVORO

**1** Regione Lazio,  
Dipartimento  
Territorio  
Dir. Reg. Ambiente  
e Cooperazione  
tra i Popoli,  
Area Difesa del Suolo

**2** Università Sapienza  
di Roma – Centro  
di Ricerca sui Rischi  
Geologici CE.RI.  
e Dip. di Scienze  
della Terra

**3** ENEA  
Sezione Prevenzione  
Rischi Naturali  
e Mitigazione  
Effetti

**4** CNR-IAMC

**5** Provincia Autonoma  
di Trento,  
Servizio Geologico  
Laboratoire Central  
des Pontes et  
Chausseés  
(Parigi – Francia)

#### Reperimento e archiviazione dati pregressi, rilievi geologici:

• Colasanto F.<sup>1</sup> • Colombi A.<sup>1</sup> • Di Loreto E.<sup>1</sup> • Gerardi A.<sup>1</sup> • Liperi L.<sup>1</sup> • Meloni F.<sup>1</sup> • Orzi A.<sup>1</sup>  
• Poggi F.<sup>3</sup> • Rossi D.<sup>2</sup> • Verrubbi V.<sup>3</sup>

#### Indagini geofisiche:

Angelino A.<sup>5</sup> • Di Filippo M.<sup>2</sup> • Di Fiore V.<sup>4</sup> • Di Nezza M.<sup>2</sup> • Franceschini A.<sup>5</sup> • Hilemikaël S.<sup>2</sup>  
• Iavarone M.<sup>5</sup> • Scotto di Vettimo P.<sup>5</sup>

#### Indagini geotecniche:

Bianchi Fasani G.<sup>2</sup> • Bozzano F.<sup>2</sup> • Martino S.<sup>2</sup> • Stedile L.<sup>2</sup>

#### Misure strumentali:

Hilemikaël S.<sup>2</sup> • Martino S.<sup>2</sup> • Paciello A.<sup>3</sup> • Serafini S.<sup>3</sup> • Verrubbi V.<sup>3</sup>

#### Simulazioni numeriche:

Hilemikaël S.<sup>2</sup> • Lenti L.<sup>6</sup> • Martino S.<sup>2</sup>

#### Carte di microzonazione:

Colombi A.<sup>1</sup> • Gerardi A.<sup>1</sup> • Martini G.<sup>3</sup>

#### Editing, informatizzazione e allestimento grafico:

Gerardi A.<sup>1</sup> • Hilemikaël S.<sup>2</sup> • Martini G.<sup>3</sup> • Paciello A.<sup>3</sup>

#### Coordinamento:

• Scarascia Mugnozza G.<sup>2</sup>



## 8.1 INTRODUZIONE

---

Nell'ambito del progetto per la MS per la ricostruzione dell'area aquilana, coordinato dal DPC, il Gruppo di Lavoro (di seguito indicato GdL) estensore del presente capitolo ha condotto le indagini di MS nella Conca di Roio. Il GdL è costituito da ricercatori dell'ENEA (Sezione Prevenzione Rischi Naturali e Mitigazione Effetti), funzionari tecnici della Regione Lazio (Area Difesa del Suolo della Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli), e ricercatori dell'Università Sapienza di Roma (Dipartimento di Scienze della Terra e C.E.R.I. Centro di Ricerca sui Rischi Geologici), ai quali si aggiunge un ricercatore del LCPC, coinvolto nell'ambito di un accordo di collaborazione in essere con il C.E.R.I., che ha collaborato alle analisi numeriche di risposta sismica locale (RSL); inoltre, al GdL si è affiancato, per l'esecuzione di alcune specifiche indagini geofisiche, il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento ed il team del CNR IAMC di Napoli per l'esecuzione delle prove Down Hole.

### 8.1.1 Caratteristiche generali dell'area

L'area della conca di Roio, in cui ricadono le frazioni di Poggio di Roio, Colle di Roio, Santa Rufina e Roio Piano, fa parte del territorio del Comune de L'Aquila e coincide con l'epicentro della scossa principale del 6 aprile 2009. Per quanto riguarda il quadro di danneggiamento causato dall'evento sismico, nelle quattro frazioni sono state valutate dal gruppo di pronto intervento macrosismico QUEST, le seguenti intensità macrosismiche espresse come gradi della scala *Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS)*: Poggio di Roio VIII-IX, Colle di Roio VIII, Santa Rufina VIII e Roio Piano VIII.

La conca di Roio, ubicata 3 km a SW del centro storico de L'Aquila, presenta una notevole unitarietà fisiografica ed è morfologicamente isolata rispetto alle zone circostanti. Infatti, la conca di Roio è circondata da rilievi calcarei che raggiungono le quote più elevate (circa 1400 m s.l.m.) sul bordo sudoccidentale ed è descrivibile quale un'area sub-pianeggiante di forma romboidale, con asse maggiore orientato NW-SE, e di estensione pari a circa 4 km<sup>2</sup>. In particolare, essa è delimitata a NE da: a) la dorsale denominata Solagna di Bagno, ad andamento NW-SE, sulla cui estremità nord-occidentale è ubicato l'abitato di Poggio di Roio; b) dal rilievo di Monte Luco, laddove si trova la Facoltà di Ingegneria dell'Università de L'Aquila; c) dalla dorsale su cui è ubicata la frazione di Colle di Roio. A SW la conca è bordata dalla dorsale di Costa Grande che presenta un versante di altezza fino a 700-800 m; ai piedi di questa morfostruttura sono situati i due centri abitati di Roio Piano e Santa Rufina. Tale configurazione morfologica, unitamente alle ubicazioni delle quattro frazioni sopracitate, ha suggerito di considerare la conca di Roio quale macroarea omogenea (Macroarea 8).

### 8.1.2 Organizzazione delle indagini

Nel corso del primo sopralluogo effettuato nell'area della conca di Roio ai fini della delimitazione delle zone di interesse per le analisi di MS e dell'impostazione delle indagini, è apparsa evidente la netta differenziazione tra i quattro centri abitati in termini di condizioni geologiche di sito. Infatti, mentre le due frazioni di Roio Piano e Santa Rufina sono costruite nella zona sub-pianeggiante prossima al limite occidentale della conca, quelle di Poggio di Roio e Colle di Roio sono ubicate in corrispondenza di rilievi calcarei che costituiscono

rispettivamente il limite orientale e quello settentrionale della conca. Di conseguenza, in relazione al modello geologico-tecnico di riferimento per una efficace impostazione delle indagini di MS, le aree in cui si collocano le due frazioni di Roio Piano e Santa Rufina sono apparse riconducibili, in prima approssimazione, a scenari che prevedono depositi recenti detritico-alluvionali sovrastanti un substrato rigido più o meno profondo, mentre le zone di Poggio di Roio e Roio Colle sono apparse riferibili a scenari che contemplano dorsali impostate in ammassi rocciosi variamente fratturati ed in cui anche gli effetti topografici avrebbero dovuto essere oggetto di attente valutazioni.

A questo riguardo, si sottolinea come nell'organizzazione della successione di indagini in sito e di laboratorio e nell'impostazione delle conseguenti analisi numeriche, si sia fatto specifico riferimento a quanto previsto dal gruppo di lavoro MS (2008), soprattutto per quanto riguarda la scansione temporale e logica dei differenti livelli di approfondimento, in particolare il livello 1 ed il livello 3. Tuttavia, stanti le condizioni di emergenza in cui si è operato, le informazioni tratte da alcune indagini, quali i sondaggi meccanici o il rilievo gravimetrico, sono state acquisite a valle della pianificazione ed esecuzione di altre indagini, quali ad esempio alcuni *array* sismometrici temporanei, che si sarebbero potute progettare in modo più efficace ai fini della valutazione della risposta sismica locale in determinate aree. Inoltre, per quanto attiene ai prodotti cartografici relativi ai differenti stadi di approfondimento, si sottolinea che alcuni livelli informativi derivanti da indagini appositamente svolte nel corso delle attività di progetto (ad es. stratigrafie di sondaggi meccanici), per chiarezza e completezza di esposizione sono stati riportati nella carta di livello 1 relativa alle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Le attività di indagine complessivamente condotte sono di seguito sinteticamente elencate, rimandando ai paragrafi successivi del presente capitolo per una loro illustrazione più dettagliata, unitamente ai relativi risultati:

- raccolta di dati relativi a indagini pregresse tra cui quelle svolte nell'ambito del progetto C.A.S.E. ed alle registrazioni sismometriche degli *aftershock* nelle due settimane successive al *mainshock* del 6 aprile;
- rilievi geologici e geomorfologici alla scala 1:5.000;
- analisi di rumore sismico mediante Tromino e sensori SS1 connessi ad acquirettore K2 Kinematics;
- registrazione di eventi mediante misure velocimetriche con *array* temporanei;
- misure accelerometriche acquisite mediante Q330 Kinematics;
- indagini geomeccaniche sugli ammassi rocciosi al fine di valutarne gli stati di fratturazione attraverso la determinazione di specifici indici e della loro variazione spaziale;
- sondaggi meccanici nei siti ritenuti di interesse ai fini delle valutazioni di RSL;
- indagini geofisiche basate su tecniche ReMi e MASW;
- indagini gravimetriche;
- indagini Down Hole in foro;
- indagini di laboratorio per la caratterizzazione fisica e la definizione del comportamento dinamico di campioni di terreno;
- analisi di RSL mediante simulazioni numeriche 1D e 2D in relazione ai differenti modelli di sottosuolo di riferimento;

interpretazione dei risultati delle simulazioni e restituzione di parametri di misura della risposta sismica locale e dell'amplificazione sismica per la redazione di carte di MS.

Tali attività di indagine sono state realizzate secondo la seguente tempistica:

- dal 1 giugno al 31 luglio 2009: reperimento e acquisizione di informazioni pregresse, indagini e rilievi geologici e geomorfologici, caratterizzazioni geomeccaniche, misure di rumore sismico ambientale mediante Tromino e SS1, nonché *array* sismometrici temporanei;
- dal 20 luglio al 18 agosto 2009 sondaggi meccanici;
- dal 15 luglio al 10 agosto 2009 prove di caratterizzazione dinamica di laboratorio;
- dal 20 agosto al 10 settembre 2009 indagini gravimetriche, redazione Carta geolitologica, Carta delle indagini e Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1);
- dal 10 al 15 settembre 2009 indagini in foro Down Hole;
- dal 1 agosto al 10 dicembre 2009 impostazione e redazione, in ambiente GIS, di carte di livello 1 modificato per le frazioni indagate;
- dal 17 agosto al 16 dicembre 2009 analisi di RSL mediante approcci sia 1D sia 2D in relazione alle diverse condizioni di sito;
- dal 19 dicembre al 15 gennaio redazione della carta di livello 3.

Come sarà illustrato e discusso nel seguito del presente capitolo, nelle zone delimitate di concerto con i tecnici comunali e con i funzionari del DPC (aree edificate, aree di espansione e aree di completamento) per ciascun centro abitato sono stati seguiti metodi di analisi congruenti e rispondenti alle condizioni morfo-stratigrafiche e di sottosuolo del modello geologico di riferimento: pertanto per Colle di Roio sono state eseguite analisi di RSL secondo approcci 1D e 2D, per Roio Piano e per Santa Rufina simulazioni numeriche mediante approccio 1D, mentre per la zona di Poggio di Roio, nella quale non è stata registrata alcuna evidenza strumentale di amplificazione (da misure di eventi e di rumore ambientale) ed inoltre sono state nel frattempo concluse le attività del progetto C.A.S.E., si è stabilito di non effettuare simulazioni numeriche.

A conclusione di questo paragrafo introduttivo si ritiene significativo fornire alcune indicazioni circa il numero di partecipanti alle attività della Macroarea, alle loro specifiche competenze, al loro contributo alle attività di macroarea ed ai giorni totali di lavoro.

In totale, hanno partecipato al GdL 22 unità di personale, afferenti agli Enti indicati in precedenza; le professionalità coinvolte sono in gran parte costituite da geologi, ciascuno con varie competenze specifiche, cui si aggiungono 2 geofisici che hanno fornito contributi significativi per le indagini sismometriche e relative analisi, nonché per le simulazioni numeriche; a questo riguardo i contributi di ciascun componente il GdL sono indicati in ciascun paragrafo del presente capitolo; tuttavia, l'intera attività è stata condotta secondo un principio di continuo scambio di informazioni e di confronto dei risultati che via via si andavano acquisendo. La stessa carta di MS di livello 3, prodotto ultimo dell'intero lavoro, è stata redatta di concerto tra tutti i componenti il GdL. Infine, per fornire al lettore un'idea dell'impegno profuso per condurre a termine le indagini e le analisi, si tenga presente che il totale di giorni lavorativi (indagini di terreno e analisi a tavolino) è stimabile all'incirca in complessivi 400 giorni/uomo. Questa cifra, almeno come ordine di grandezza, deve essere tenuta debitamente in conto nel programmare eventuali attività di microzonazione di livello 3, in relazione sia ai costi che ai tempi necessari a pervenire ad un valido prodotto utile alla pianificazione urbanistica.

## 8.2 INDAGINI SVOLTE NELL'AREA E ASSETTO GEOLOGICO

### 8.2.1 Carta delle indagini

Le indagini effettuate nella Macroarea 8 (vedi Tav. 8-I nel DvD allegato) si riferiscono sia al Progetto C.A.S.E., sia alla MS finalizzata alla ricostruzione; non erano disponibili, all'inizio delle attività, altre informazioni da letteratura salvo la cartografia geologica ed il CARG regionale. Nessuna delle stratigrafie distribuite dal DPC, relative alla legge 464/1984, ricade nell'area di interesse.

Per riassumere le indagini di carattere geognostico: nell'ambito del progetto C.A.S.E. sono stati eseguiti 3 sondaggi a carotaggio continuo, con 2 prove SPT ed il prelievo di 7 campioni a basso grado di disturbo, e 5 trincee geognostiche; sono stati eseguiti 7 sondaggi a carotaggio continuo con 22 prove STP ed il prelievo di 13 campioni a basso grado di disturbo. La determinazione delle proprietà meccaniche è stata eseguita su 8 campioni a basso grado di disturbo.

Riguardo alle indagini geofisiche, per il progetto C.A.S.E. sono state eseguite: 2 prospezioni geoelettriche con la metodologia della tomografia di resistività elettrica; 2 prospezioni di sismica a rifrazione con la metodologia della tomografia sismica; 2 indagini basate sulla propagazione delle onde superficiali, delle quali una di tipo attivo (MASW) ed una di tipo passivo (microtremori con *array* 2D per analisi dello spettro f-k); 1 prova Down Hole. Inoltre, sono state specificamente programmate: 20 misure di microtremori con *array* lineare (ReMi), 9 prove MASW localizzate in 3 siti e 4 prove Down Hole.

Per la valutazione speditiva della frequenza di risonanza dei terreni, sono state eseguite misure di rumore ambientale finalizzate all'analisi dei rapporti spettrali H/V (HVSR nel seguito) sia mediante una terna di velocimetri SS1 a 1 Hz collegata ad un acquisitore K2 (strumentazione Kinematics), sia con tromometri digitali Tromino. Le misure effettuate con i Tromino sono state in totale 79, di cui 9 eseguite da tecnici della Provincia di Trento, 69 dal GdL ed 1 nell'ambito del progetto C.A.S.E. I tromometri sono stati utilizzati quasi esclusivamente all'interno della conca di Roio, in quanto questi strumenti spesso presentano problemi di accoppiamento col terreno in caso di siti in roccia. La strumentazione Kinematics è stata invece prevalentemente utilizzata a Colle di Roio e a Poggio di Roio. Sono stati presi in esame 45 siti per un totale di 54 misure. La valutazione di possibili amplificazioni dell'azione sismica è stata eseguita mediante l'analisi degli *aftershock* registrati in 6 stazioni dell'INGV (delle quali 1 velocimetrica, 2 accelerometriche e 3 velocimetrico-accelerometriche), di 3 stazioni velocimetrico-accelerometriche ENEA dotate di strumentazione Kinematics (terne di velocimetri SS1 a 1Hz collegate ad un acquisitore K2 e terne accelerometriche interne all'acquisitore K2, costituite da sensori FBA) e di una stazione accelerometrica del C.E.R.I.-Università "Sapienza" di Roma costituita da un acquisitore Q330 ed un sensore triassiale Episensor, entrambi della Kinematics.

Per la definizione delle caratteristiche meccaniche e dello stato di fratturazione di affioramenti rocciosi, sono state condotte indagini geomeccaniche in 6 siti.

Infine, per la determinazione indiretta dell'assetto tettonico e delle geometrie del substrato carbonatico sottostante ai depositi detritico-alluvionali, è stata eseguita una prospezione gravimetrica costituita da circa 150 punti di misura.

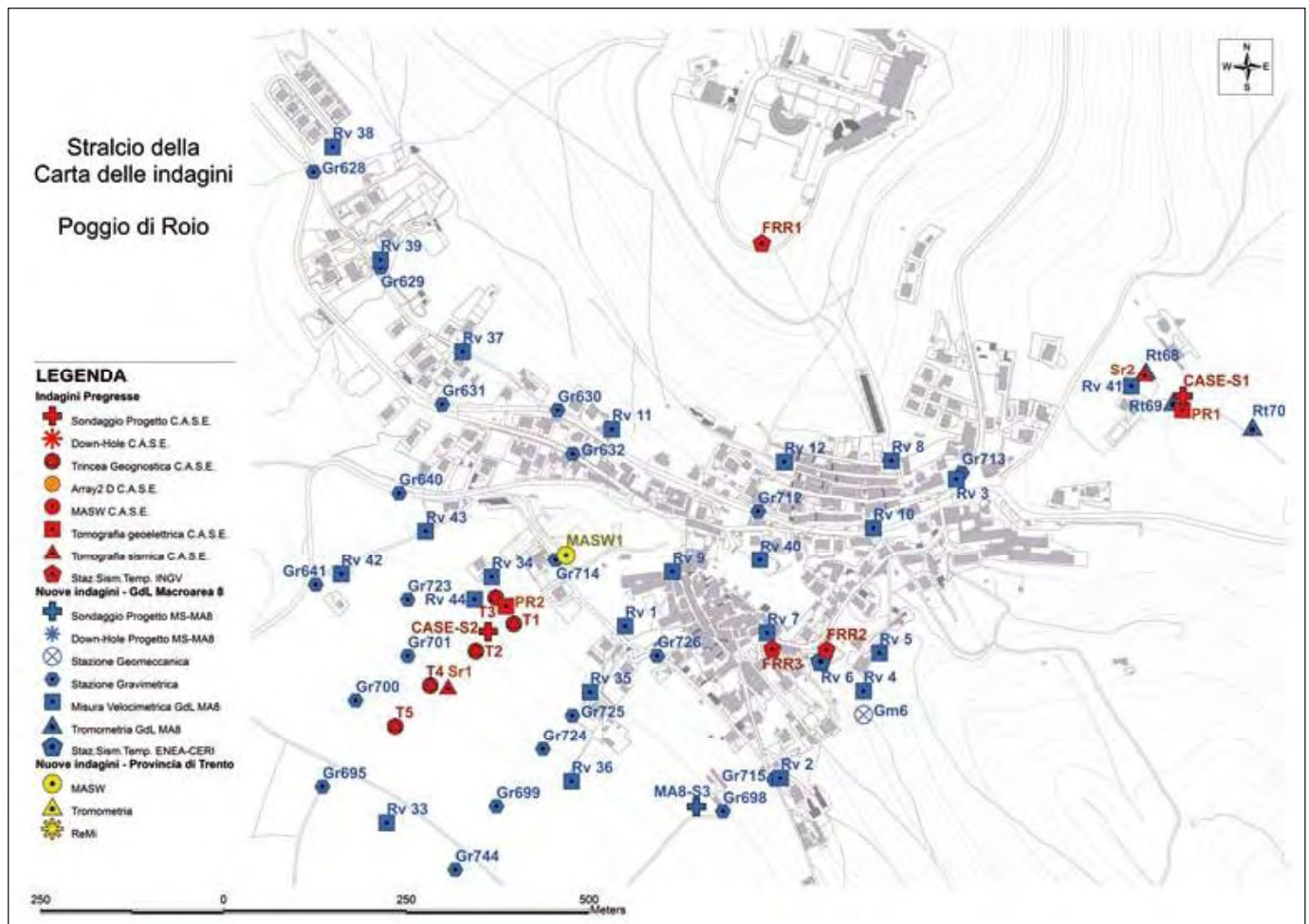
Per la sua conformazione geologica e morfologica, la Macroarea 8 è stata indagata nella sua interezza, distribuendo le indagini di rumore mediante Tromino e le stazioni gravimetriche in maniera tale da

coprire il più uniformemente possibile la conca di Roio. La restante parte dei rilievi di campagna e delle indagini geognostiche e geofisiche è stata focalizzata all'interno e nelle immediate vicinanze dei quattro centri abitati.

### 8.2.1.1 Poggio Di Roio

Nella frazione di Poggio di Roio (Fig. 8.1) sono stati eseguiti 3 sondaggi a carotaggio continuo dei quali: il CASE-S1, posizionato nei pressi del campo sportivo (fondo foro -10.00 m dal p.c.) che ha intercettato detrito fino a -8.00 m dal p.c.; il CASE-S2 a valle della "Zona Rossa" sul versante verso la Conca di Roio (ff -12.00 m dal p.c.) dove il *bedrock* calcareo è presente a -10.00 m dal p.c.; il MA8-S3, anch'esso sul pendio verso la conca di Roio circa 400 m a SW del precedente sondaggio (ff -25.00 m dal p.c.) con il *bedrock* carbonatico a -19.00 m dal p.c.. In questo ultimo sondaggio sono state eseguite 5 prove SPT e raccolti 3 campioni indisturbati, dei quali uno è stato sottoposto a prove di laboratorio. In prossimità del sondaggio CASE-S2 sono state scavate le 5 trincee geognostiche.

Fig. 8.1 → Particolare della Carta delle Indagini relativo a Poggio di Roio.



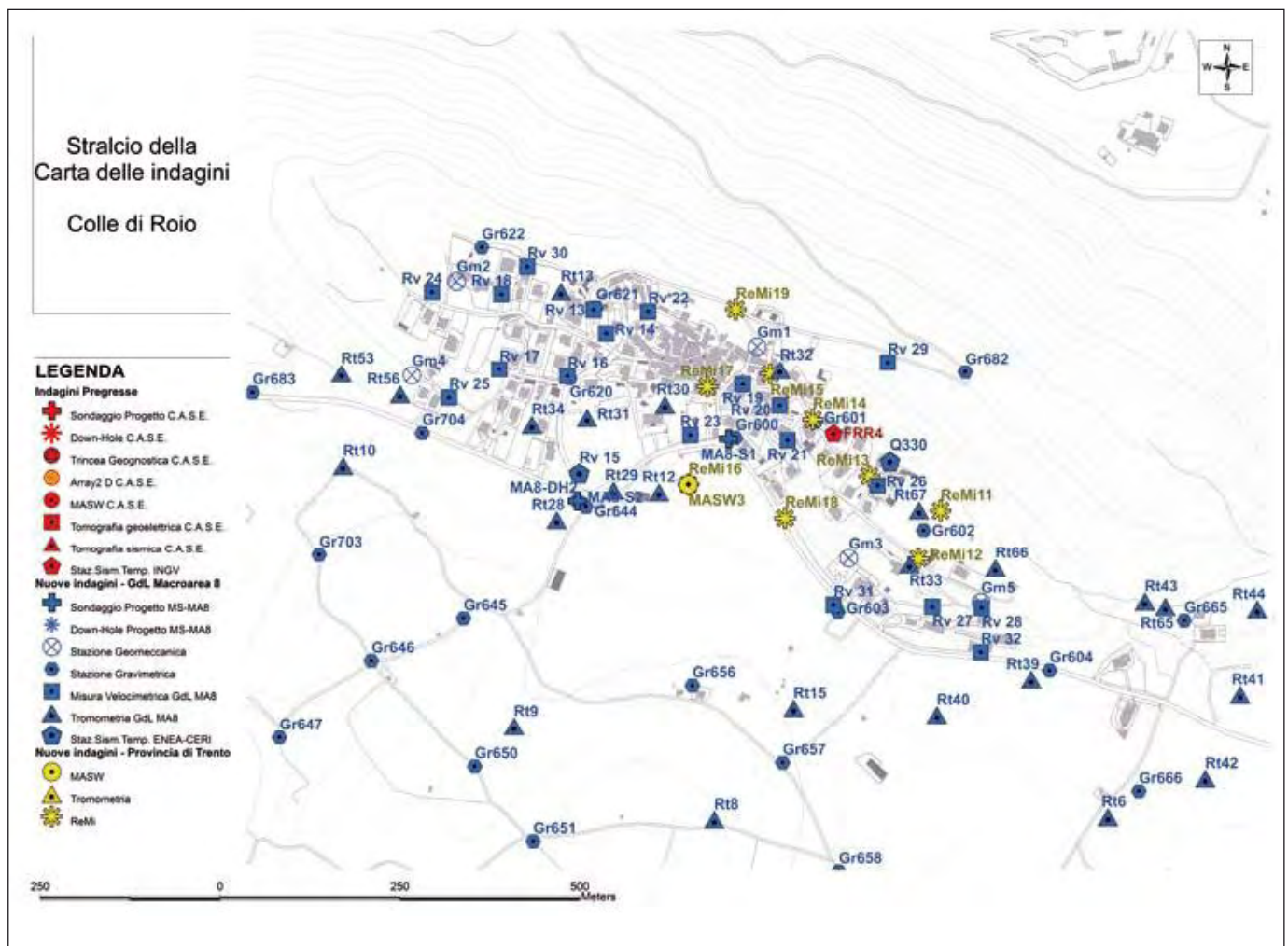


Nelle vicinanze di entrambi i sondaggi del Progetto C.A.S.E. sono state effettuate una prospezione geoelettrica ed una tomografia sismica. A monte del sondaggio CASE-S2, in direzione della Zona Rossa è stato posizionato lo stendimento con il quale sono state eseguite 3 prove MASW.

Per le registrazioni degli *aftershock*, una stazione INGV è stata posta nelle vicinanze della Facoltà di Ingegneria, altre due, a poca distanza tra loro, a W del centro storico dichiarato. In questa area è stata posizionata anche una postazione di registrazione ENEA. In tutto il centro abitato sono stati caratterizzati 23 siti con misure di rumore ambientale eseguite mediante strumentazione Kinematics e 3 misure tromometriche presso il campo sportivo. Infine, a circa 250 m a SW della Zona Rossa" è stata localizzata una stazione di rilievo geomeccanico (stazione Gm6).

### 8.2.1.2 Colle di Roio

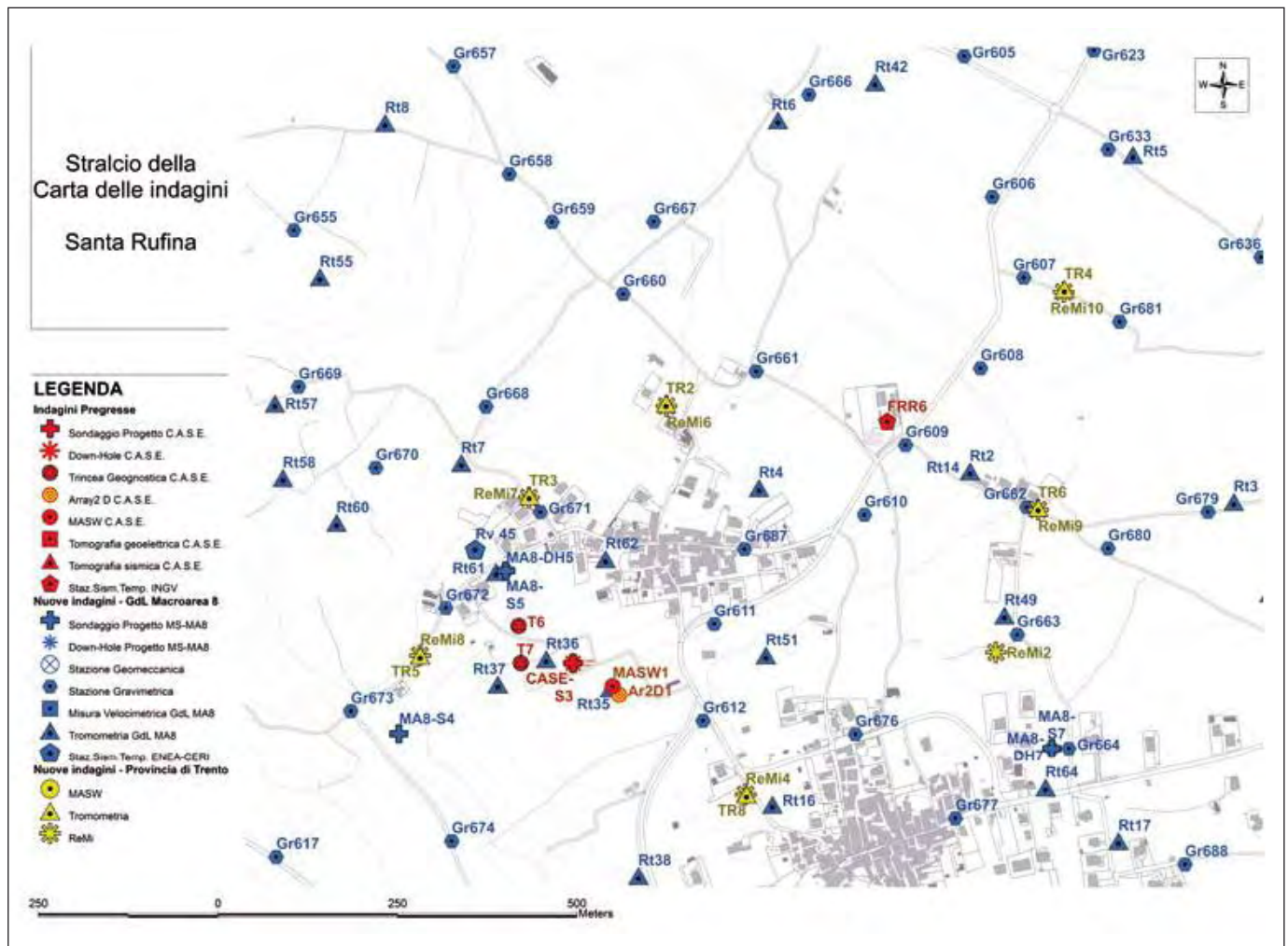
Fig.8.2 → Particolare della Carta delle Indagini relativo a Colle di Roio.



Sono stati eseguiti in quest'area (Fig. 8.2) 2 sondaggi a carotaggio continuo: il MA8-S1, nella piazzetta a valle della Zona Rossa (ff -15.00 m dal p.c.) con il *bedrock* calcareo a -12.00 m dal p.c., con 3 prove SPT ed il prelievo di 1 campione indisturbato; il MA8-S2 in prossimità dell'area di ammassamento a SE del centro storico (ff -25.00 m dal p.c.) che intercetta il *bedrock* calcareo a -19.00 m dal p.c., con 3 prove SPT e 2 campioni indisturbati, entrambi analizzati in laboratorio geotecnico. In questo sondaggio è stata eseguita una prova Down Hole. Come indagini geofisiche sono state eseguite 10 prove ReMi, nel settore E del centro abitato, 1 stendimento per l'esecuzione di 3 prove MASW in prossimità dell'area di ammassamento, e sono stati caratterizzati mediante HVSR 42 siti (da misure di rumore ambientale sia velocimetriche, sia tromometriche). Inoltre, per le registrazioni degli aftershocks, si dispone dei dati di una stazione INGV (a SE della Zona Rossa), di una stazione velocimetrica ENEA in corrispondenza dell'area di ammassamento e della stazione C.E.R.I. nell'area immediatamente ad E della Zona Rossa.

Sono infine da segnalare le 5 stazioni geomeccaniche delle quali 2 lungo la cresta a monte dell'abitato, 1 nel settore W e 2 in quello E, poco a monte del contatto tra il versante e la piana alluvionale.

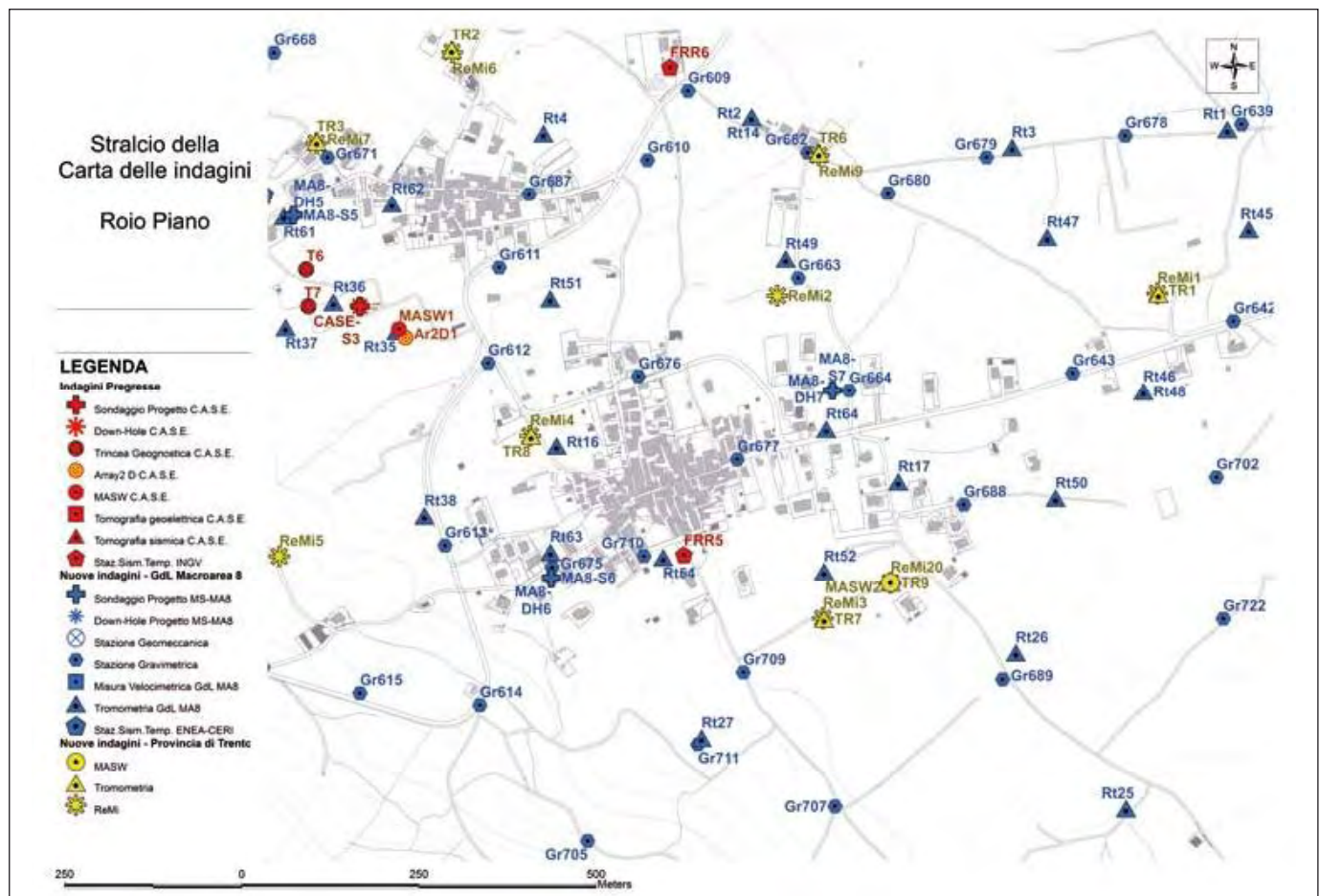
Fig.8.3 → Particolare della Carta delle Indagini relativo a Santa Rufina.



### 8.2.1.3 Santa Rufina

Le indagini geognostiche condotte in questa frazione (Fig. 8.3) consistono in 3 sondaggi a carotaggio continuo: il CASE-S3 (ff -50.00 m dal p.c.), circa 200 m a SW del centro abitato, nel quale non è stato intercettato il *bedrock* carbonatico e in cui sono state effettuate 2 prove SPT e prelevati 8 campioni indisturbati, dei quali 5 analizzati in laboratorio, oltre alla esecuzione di una prova Down Hole; il MA8-S4 (ff -8.00 m dal p.c.) in direzione della strada per Lucoli, con il rinvenimento di trovanti carbonatici a -3.00 m dal p.c.; il MA8-S5 (ff -50.00m dal p.c.) 200 m a W della Zona Rossa che non ha raggiunto il *bedrock* carbonatico. In questo sondaggio sono state effettuate 4 prove SPT, prelevati 3 campioni indisturbati ed eseguita una prova Down Hole. Sono state inoltre scavate 2 trincee geognostiche in prossimità del sondaggio CASE-S3. Le registrazioni degli *aftershock* sono state effettuate in una stazione INGV localizzata in prossimità del Cimitero, ed una stazione ENEA posta a circa 250 m a W del centro abitato ed in prossimità del sondaggio MA8-S5. La caratterizzazione sismica dei terreni mediante HVSR è stata eseguita in circa 19 postazioni all'interno e nei dintorni dell'abitato. Sono state inoltre condotte 4 prove ReMi di cui 3 in prossimità dell'abitato ed una verso il centro della piana, circa 300 m NE dal cimitero. Infine, una prova MASW e l'*array*2D condotto nell'ambito del Progetto C.A.S.E. risultano posizionati in prossimità del sondaggio CASE-S3.

Fig. 8.4 → Particolare della Carta delle Indagini relativo a Roio Piano.



### 8.2.1.4 Roio Piano

A Roio Piano (Fig. 8.4) sono stati eseguiti 2 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati per le prove DH successivamente eseguite: il MA8-S6 (ff -25.00 m dal p.c.) localizzato a W della Zona Rossa (in via Giovanna d'Arco), che ha intercettato litotipi riconducibili al *bedrock* calcareo a -14.00 m dal p.c., nel quale sono state eseguite 3 prove SPT e prelevato 1 campione indisturbato, il MA8-S7 (ff -60.00 m dal p.c.) eseguito a E dell'abitato (in via S. Allende), che non ha raggiunto il *bedrock* carbonatico e nel quale sono state eseguite 4 prove SPT e prelevati 3 campioni indisturbati. Come indagini geofisiche sono state eseguite 6 prove ReMi in siti che circondano il centro abitato, mentre le registrazioni di *aftershock* sono state effettuate in una stazione INGV posta immediatamente a S della Zona Rossa. Lo stendimento per l'esecuzione di 3 prove MASW è stato posizionato a SE del centro abitato. Infine, in circa 18 siti sono state condotte misure di rumore ambientale per la caratterizzazione HVSR dei terreni nell'area di interesse.

## 8.2.2 Assetto stratigrafico

Nella seguente descrizione delle unità litologiche, i numeri tra parentesi affiancati ai singoli membri corrispondono alla numerazione utilizzata nella carta geologica (Tav. 8-II) e nelle sezioni geologiche (Tav. 8-III nel DvD allegato e Fig. 8.6).

Le litofacies affioranti nell'area di studio comprendono depositi cretaci di scarpata-bacino e depositi paleogenico-miocenici di rampa.

Il termine più antico affiorante nell'area di studio è rappresentato dalla Scaglia detritica. A tale unità corrispondono i termini coevi alle tipiche formazioni della Scaglia bianca e della Scaglia rossa della successione umbro-marchigiana, dalle quali differiscono soprattutto per la presenza di notevoli apporti biodetritici. Il contenuto bioclastico è composto, in netta prevalenza, da frammenti di rudiste ai quali si associano frammenti di coralli, echinodermi e brachiopodi. Nell'ambito della Scaglia detritica sono state distinte due associazioni di facies:

- **Scaglia (1).** Calcari micritici e marnosi, ben stratificati, in strati da medi a sottili con abbondanti microfaune a foraminiferi planctonici, con intercalazioni calcirudite, laminati con lamine da piano-parallele a debolmente ondulate. Del tutto assenti risultano i corpi detritici grossolani. Presenza di selce in liste e noduli nelle micriti. Tale associazione affiora esclusivamente sul margine orientale della conca di Roio. Lo spessore complessivo, affiorante, dell'unità è di circa 300 m.
- **Scaglia detritica (2).** È rappresentata da prevalenti calcareniti e calciruditi bianche. Gli strati variano da medi a spessi. Affiora esclusivamente nel settore orientale della Conca di Roio in eteropia con la sottostante associazione micritica.

Età: CENOMANIANO *p.p.* – CAMPANIANO

Al tetto della Scaglia detritica è stata riconosciuta un'unità caratterizzata da Calcareniti a nummuliti e Calcari a lepidocicline. Tale unità comprende i depositi paleogenici affioranti nell'area. Affiora esclusivamente nel settore orientale della conca di Roio ed i suoi limiti inferiore e superiore corrispondono, generalmente, a discontinuità stratigrafiche di importanza regionale. Sulla base del contenuto paleontologico, ben riconoscibile sul terreno, l'unità è stata suddivisa in due membri caratterizzati rispettivamente da faune a nummuliti e discocycline (membro inferiore) e a miogypsine e lepidocycline (membro superiore).

**Calcareniti a nummuliti (3).** La base del membro è caratterizzata dalla presenza di calcareniti e calciruditi, in strati medi, contenenti coralli coloniali, alghe corallinacee e piccoli litotamni. Il membro affiora nel settore orientale dell'area di studio in corrispondenza del centro abitato di Poggio di Roio e poggia in paraconcordanza e con spessori modesti (40 – 80 m) su diversi litotipi cretaci di scarpata *s.l.* (sulle litofacies micritiche o calcarenitiche della scaglia detritica). Al di sopra dei temini paleocenici il membro è costituito da due litofacies principali che si alternano irregolarmente:

- calcareniti fini nocciola, in strati da sottili a medi, con foraminiferi planctonici, discocycline e nummuliti generalmente di piccole dimensioni;
- calciruditi, in strati spessi, ricche in macroforaminiferi. Superiormente il membro passa generalmente ai termini oligocenici delle calcareniti a miogypsine.

Età: THANETIANO-PRIABONIANO

**Calcari a lepidocycline (4).** Tale membro è costituito da calcareniti fini, nocciola, in strati da sottili a medi, alternate a calcareniti più grossolane ricche in macroforaminiferi. Localmente sono presenti calcari marnosi e marne che divengono prevalenti al passaggio Oligocene-Miocene ed al tetto del membro. Il passaggio alla sovrastante unità spongolitica è marcato da pochi metri di calcareniti ricche di glauconite e/o intraclasti glauconitici. A più altezze sono presenti livelli biodetritici con ricca fauna ad *Heterostegina* sp. Affiora esclusivamente nel settore orientale della conca di Roio e presenta caratteristiche litologiche simili a quello sottostante, dal quale si differenzia per il diverso contenuto faunistico. Il membro presenta uno spessore massimo di circa 50 m. Le macrofaune sono costituite da abbondanti echinidi, frequenti briozoi e bivalvi; sono inoltre abbondanti o frequenti alghe corallinacee.

Età: RUPELIANO *p.p.* – BURDIGALIANO *p.p.*

**Unità spongolitica (5).** Le litofacies attribuibili a tale unità sono costituite da calcareniti fini, tipicamente grigie, localmente ricche in noduli di selce e piccole spugne attribuibili ai generi *Locaetis* e *Aphocallistes*; sono inoltre presenti sottili intercalazioni di marne calcaree e marne, a volte scure e fetide, con abbondanti spicole di spugna. Alla sua base sono presenti litofacies ricche in glauconite. Superiormente passa alle calcareniti a punti rossi (6). Affiorano sia nel settore orientale della conca di Roio, sia in prossimità del centro abitato di Colle di Roio sulle propaggini settentrionali della conca, al di sopra delle calcareniti a miogypsine. L'associazione ha una potenza di circa 100 m.

Età: BURDIGALIANO – LANGHIANO *p.p.*

**Calcareniti a punti rossi (6).** Il membro è composto da calcareniti fini grigio-nocciola, stratificate in strati da medi a sottili e tipicamente losangate. Al tetto degli strati, nella parte basale del membro, compaiono sporadiche intercalazioni di marne calcaree spongolitiche. Caratteristica è la presenza di frequenti ossidi di ferro (punti rossi) e localmente, di glauconite. L'unità è attribuibile ad ambienti di rampa più distale rispetto ai Calcari a briozoi dei quali sostituisce la parte basale, in continuità con le sottostanti calcareniti spongolitiche. Il contenuto fossilifero è costituito da frequenti briozoi, frammenti di litotamni, echinidi, bivalvi e frammenti di policheti tubicoli, foraminiferi bentonici e foraminiferi planctonici.

Età: LANGHIANO *p.p.* – SERRAVALLIANO *p.p.*

**Calcari a briozoi (7).** Le litofacies sono rappresentate da calcareniti-calciruditi bianche, in strati metrici, con abbondanti briozoi, amphistegine e frammenti di alghe melobesie (litotamni). Le micro-

faune sono rappresentate da foraminiferi bentonici e foraminiferi planctonici. Tale membro affiora in tutta l'area studiata con potenze variabili da 50 m a 200 m.

Età: LANGHIANO *p.p.*-SERRAVALLIANO

### 8.2.3 Depositi continentali

All'interno della conca di Roio affiorano estesamente depositi continentali attribuibili in larga parte al Pleistocene e subordinatamente all'Olocene.

Si tratta principalmente di materiali detritici di versante e di conoide alluvionale la cui origine è legata all'instaurarsi di fasi climatiche freddo-aride. Tali depositi risultano diversamente interdigitati con sedimenti limoso-argillosi depositati all'interno di bacini lacustri.

I depositi continentali sono attribuibili al supersistema di Aielli-Pescina (riferibile al Pliocene? - Pleistocene medio), la cui superficie basale corrisponde al substrato eroso. Il supersistema è costituito da depositi lacustri e fluviali formati prevalentemente da argille e limi (8) su cui poggiano depositi sabbiosi di modesto spessore (9). A questi si sovrappongono in discordanza depositi detritici e di conoide alluvionale, costituiti prevalentemente da conglomerati e brecce più o meno caotiche, spesso fortemente cementate. Gli stessi risultano a luoghi tra loro discordanti e complessivamente interdigitati con i depositi lacustri.

Per quanto riguarda i depositi olocenici, i più diffusi nell'area sono quelli di origine fluviale (12). Si tratta per lo più di sedimenti ghiaiosi a stratificazione piano parallela o incrociata concava per la presenza di canali di bassa profondità e limitata estensione. A processi di erosione del suolo, almeno in parte di origine antropica, sono da attribuire anche i depositi detritici attuali (10-13a-13b-14) che talora ricoprono le più vaste falde detritiche pleistoceniche. L'erosione del suolo, il soliflusso e la reptazione su versanti calcarei hanno originato depositi colluviali (11) che raggiungono estensioni e spessori tali da permettere la rappresentazione cartografica.

### 8.2.4 Assetto tettonico

La conca di Roio rappresenta un classico esempio di depressione tettonica delimitata da sistemi di faglie normali a direzione sia appenninica, sia antiappenninica (Tav. 8.2-II nel DvD allegato). Il sistema di faglie plio-pleistoceniche riconosciute è costituito da un *interconnecting network* sovrapposto alle strutture compressive e trascorrenti neogeniche. Questi sistemi di faglie comprendono segmenti a direzione NW-SE, NE-SW e E-W. L'analisi delle faglie normali è stata eseguita mediante l'individuazione dei lineamenti principali presenti nella zona di studio e la loro caratterizzazione geometrica e cinematica, attraverso l'analisi dei singoli piani di faglia mesoscopici. Nell'ambito dei sistemi principali, è stato possibile individuare famiglie di piani a diversa generazione caratterizzate da inclinazioni ed orientazioni variabili. In particolare, le faglie a più basso angolo risultano dislocate da quelle ad alto angolo, enucleatesi successivamente. L'analisi cinematica ha permesso la raccolta di una rilevante quantità di dati soprattutto per quanto riguarda le faglie ad andamento appenninico, che rappresentano il sistema più importante. Gli elementi principali, orientati prevalentemente in direzione N140°-160°, che delimitano il margine orientale e settentrionale della Conca, sono responsabili dei caratteri odierni del paesaggio costituito da *Horst* e *Graben*.

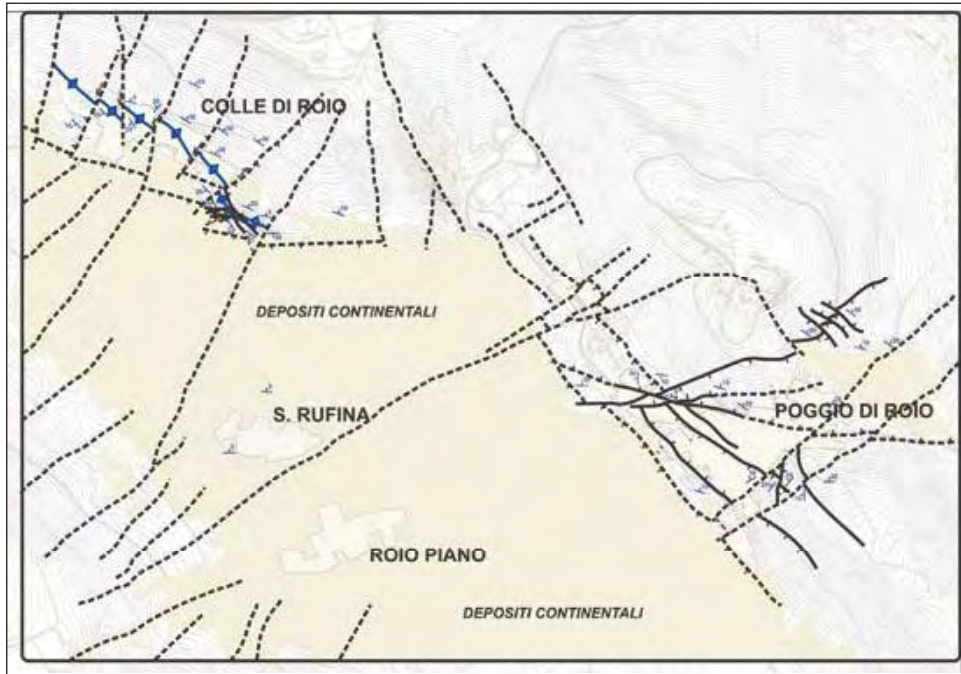


Fig. 8.5 → Schema tettonico della Conca di Roio. In grigio sono rappresentati i depositi continentali; con le linee tratteggiate sono rappresentate le faglie probabili o presunte; a tratto continuo le faglie misurate; con la linea blu è rappresentato la linea di cerniera della piega.

Le osservazioni condotte lungo i piani di faglia indicano movimenti di tipo *dip-slip* (*pitch* 90°). I piani di faglia stessi presentano superfici ben levigate, con vistose strie di abrasione e docce, con rari scalini di calcite. L'analisi delle fratture associate a questi elementi, conferma l'ipotesi di un movimento puramente distensivo; infatti, le lineazioni prodotte dall'intersezione dei piani di faglia con i piani di fratturazione risultano sempre orizzontali, orientate a 90°. Localmente la connessione tra faglie contigue si realizza attraverso strutture trasversali che agiscono come faglie di trasferimento.

Gli elementi in questione, per i quali è stata misurata una cinematica trassensiva, si sviluppano spesso lungo i tracciati delle principali faglie trascorrenti che sembrano quindi essere state riattivate. Da un punto di vista geometrico i sistemi estensionali principali sono spesso caratterizzati da una *master fault* immergente verso SW alla quale si associano piani coniugati sia sintetici sia antitetici (Fig. 8.5). In base alla distribuzione spaziale dei principali sistemi di faglie normali è possibile definire la conca di Roio come un *semi-Graben*, delimitato sul versante orientale e settentrionale da sistemi di faglie appenninici ed E-W, mentre il settore occidentale non presenta evidenze di sistemi estensionali (Fig. 8.6). Il sistema di faglie antiappenninico è caratterizzato da elementi che presentano direzioni comprese tra N20° e N50° (Fig. 8.5). I piani antiappenninici affioranti hanno angoli di inclinazione molto alti, compresi tra i 65° ed i 70° ed immergono sia verso SE sia verso NW. Le analisi condotte sui piani di faglia affioranti consentono di caratterizzare questi sistemi antiappenninici come trascorrenti sia destri sia sinistri e subordinatamente trassensivi. Sono frequenti più generazioni di indicatori cinematici sovrapposti (essenzialmente strie di abrasione, docce e rari gradini di calcite) che testimoniano processi di riattivazione ed inversione tettonica. Le strutture distensive si sovrappongono ai processi di deformazione tettonica riferibili alla fase tettonica compressiva, ben rappresentata sul margine settentrionale della conca di Roio. La macrostruttura più evidente riconoscibile è rappresentata dall'anticlinale di Colle di Roio (Fig. 8.6). Tale struttura presenta una

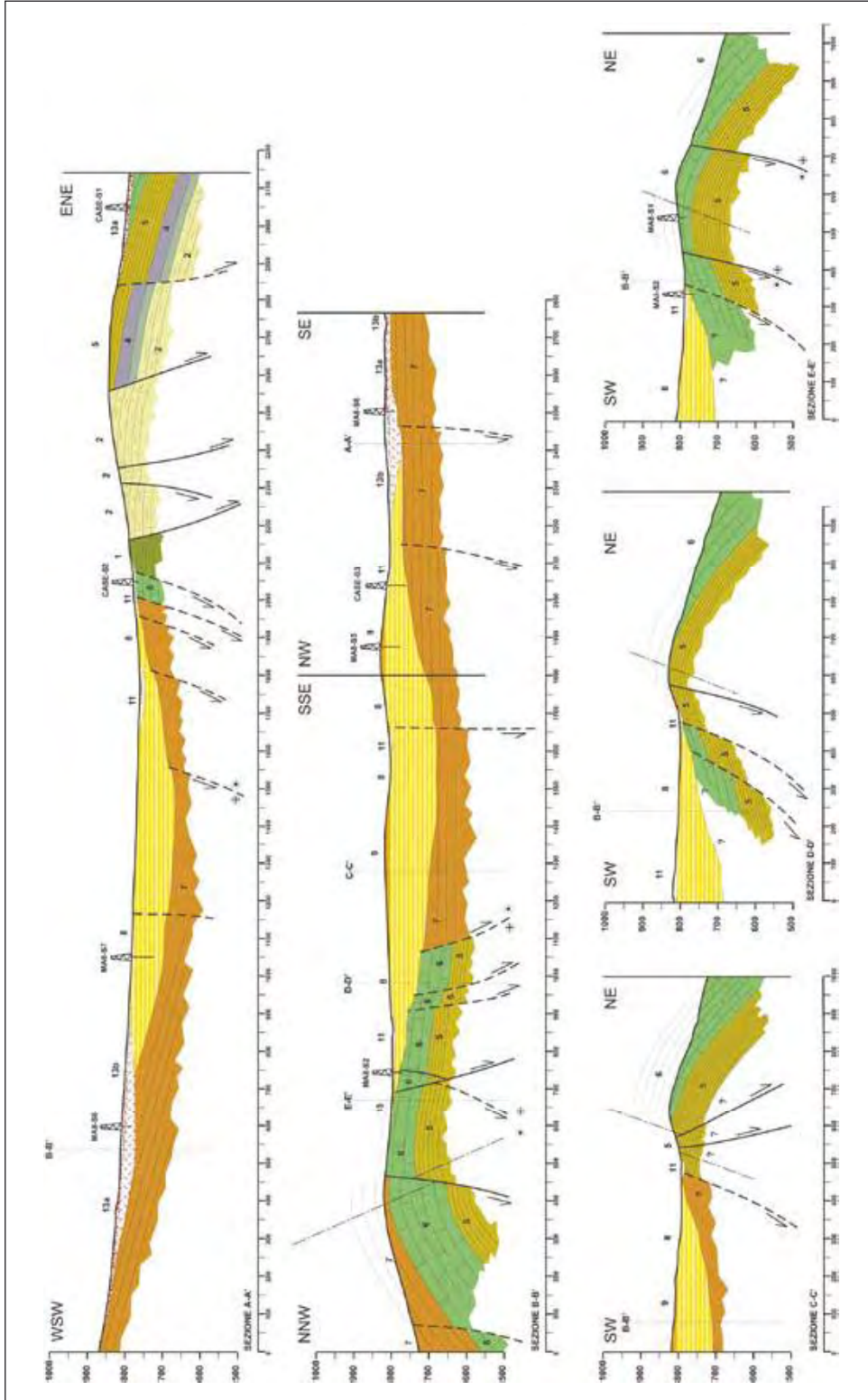


Fig. 8.6 → Sezioni geologiche interpretative dell'area di studio. Le tracce delle sezioni e la simbologia sono riportate nella carta geologica Tav. 8-II (DVD allegato).



direzione assiale appenninica a vergenza nord-orientale e si sviluppa lungo l'intero settore settentrionale dell'area di studio (Fig. 8.5). La geometria di questa macro-anticlinale è stata ricostruita proiettando sul reticolo di Schmidt, emisfero inferiore, i poli dei piani di stratificazione misurati lungo i fianchi. La struttura presenta una direzione assiale media pari a N130°-140° e rappresenta la struttura plicativa al tetto di un importante sovrascorrimento (riconoscibile fuori carta, a N dell'area investigata), che determina la sovrapposizione dei termini carbonatici mesozoici rispetto alle formazioni marnoso-argillose mioceniche. Il susseguirsi di più eventi deformativi ha favorito lo sviluppo di un'intensa fratturazione che spesso ha reso difficile l'identificazione delle formazioni interessate. Tuttavia è stato possibile evidenziare l'esistenza di almeno 2 sistemi principali di fratturazione sovrapposti, rappresentati da un clivaggio da dissoluzione per pressione, tagliato da famiglie di fratture estensionali. Questa analisi ha permesso di attribuire le famiglie di clivaggio da dissoluzione per pressione ad un evento deformativo compressivo e trascorrente, mentre le successive fratture estensionali sub-verticali, orientate parallelamente ai piani di faglia, sono state attribuite ad un successivo evento deformativo di tipo estensionale.

### **8.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (LIVELLO 1)**

---

Prima di esporre i risultati ottenuti per la Macroarea 8, si ritiene opportuno sottolineare alcune considerazioni di carattere metodologico relative alla redazione della Carta delle MOPS.

Le raccomandazioni contenute negli ICMS (Gruppo di Lavoro MS, 2008; par. 1.6.3.1.2, pag. 34) specificano che questo elaborato "individua le microzone ove, sulla base delle osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (si sottolinea che si tratta di dati pregressi, già disponibili per l'area), è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.)."

Inoltre, sempre negli ICMS, sono elencate le informazioni utilizzabili a questo livello (tra gli altri: indagini pregresse, rilievi geologici e morfologici, stratigrafie da sondaggi, dissesti idrogeologici), evidenziando che se queste non sono disponibili non sarà possibile redigere la Carta delle MOPS, e rimandando la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico a valle dell'esecuzione di nuove, apposite indagini.

Vista l'eccezionalità della situazione, i tempi estremamente ristretti nei quali il DPC ha fissato la consegna dei risultati ed il conseguente accavallarsi delle attività di campagna (rilevamenti geo-morfologici, esecuzione sondaggi, indagini geofisiche e sismologiche), ci si è trovati in una situazione ibrida non prevista negli ICMS; quindi la carta descritta in questo paragrafo rappresenta un livello descrittivo superiore rispetto al Livello 1 previsto dagli Inirizzi e criteri per la microzonazione sismica (2008), ma che comunque non contiene le informazioni numeriche previste per il livello 2.

Infatti, visto l'obiettivo fissato dal DPC di ottenere Carte di microzonazione sismica con approfondimenti di livello 3, non sono state definite le quantificazioni numeriche mediante abachi. In effetti, alla fine della fase di rilevamento di campagna, è stata prodotta una carta geo-litologica preliminare sulla base della quale sono stati posizionati i sondaggi commissionati dal DPC per le attività di tutto il GdL.

### 8.3.1 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

#### 8.3.1.1 Suddivisione delle aree (Fig. 8.7)

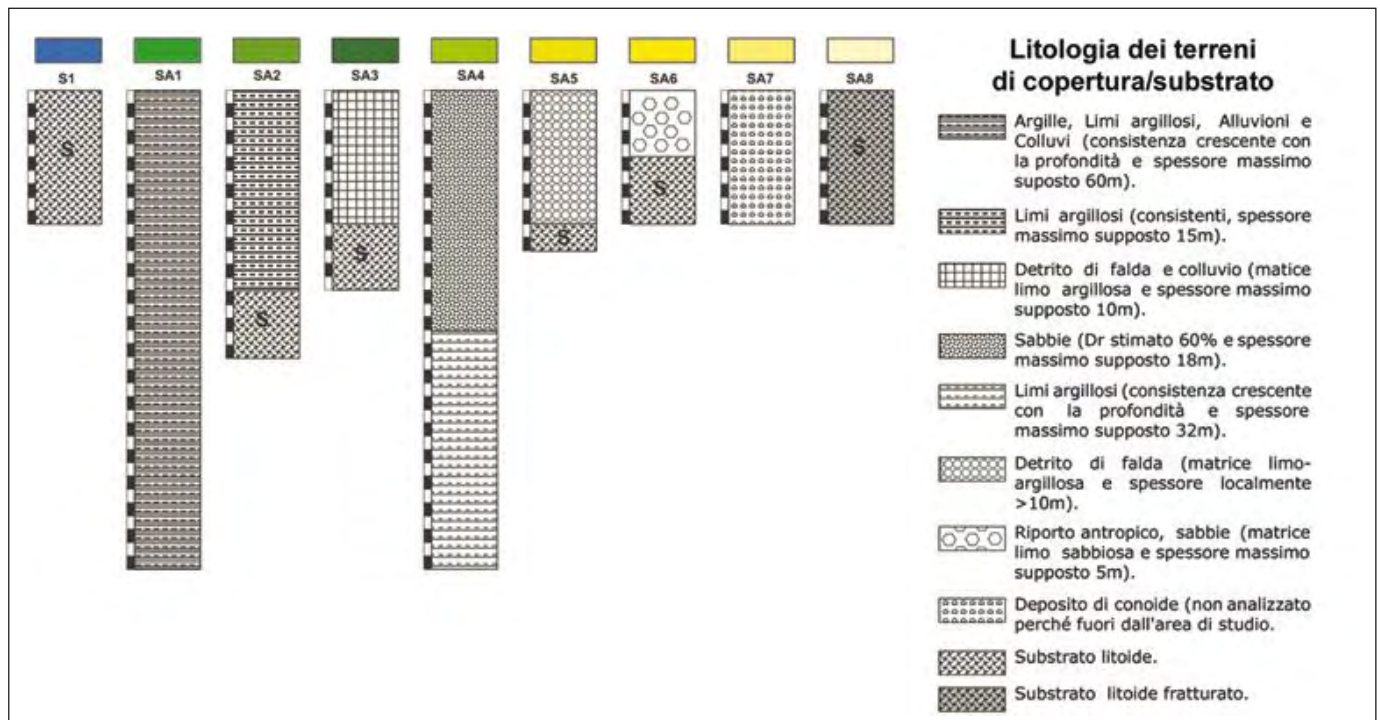
##### Zone Stabili

- **Zona S1** – Lapideo stratificato. Affioramenti del substrato litoide carbonatico, prevalentemente costituito da calcareniti con intercalazioni marnose. Presenta una stratificazione da sottile a media ed un grado di fratturazione da basso a medio.

##### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- **Zona SA1** – Argille, Limi argillosi, Alluvioni e Colluvi con *bedrock* a profondità >15m. Si tratta dei depositi sedimentari presenti nella parte centrale della Conca di Roio. Depositi stratificati costituiti prevalentemente da terre a grana fina con intercalazioni più grossolane e consistenza crescente con la profondità. Presenta spessori tra 15 m e 30 m fino ad oltre 50 m.
- **Zona SA2** – Limi argillosi con *bedrock* entro 15 m di profondità. Limi argillosi localmente con torbe e frammenti calcarei, generalmente consistenti, poggianti su substrato rigido che può essere costituito da blocchi litoidi o da calcari stratificati.
- **Zona SA3** – Detrito e Colluvi con *bedrock* entro 10 m di profondità. Materiale eterometrico in matrice limoso-argillosa.

Fig. 8.7 → Schemi litologici rappresentativi delle microzone omogenee distinte (il substrato litoide è identificato nelle colonne dalla lettera S).



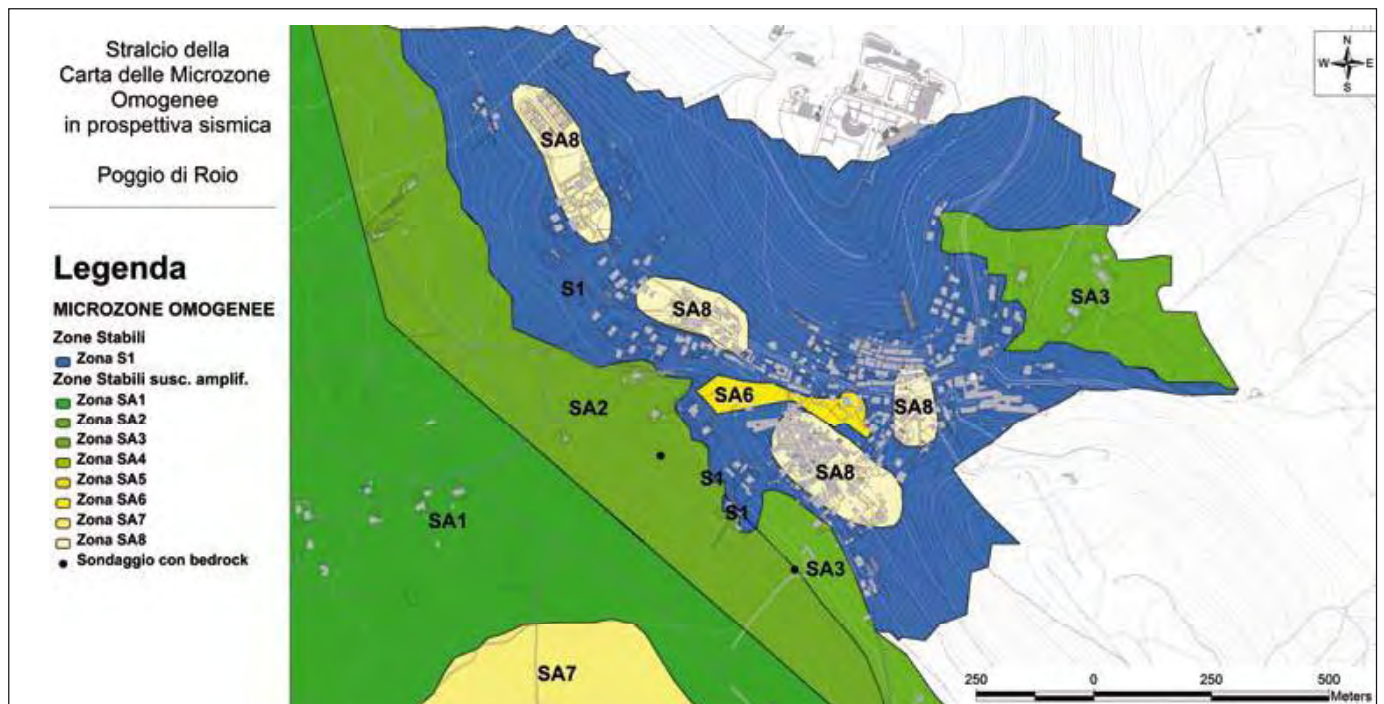
- **Zona SA4** – Sabbie sovrapposte a limi argillosi con bedrock a profondità >15 m. Sabbie addensate, con  $D_r$  stimato intorno al 60%, di spessore fino ad un massimo di 18 m, poggianti su limi argillosi a consistenza crescente con la profondità.
- **Zona SA5** – Detrito di falda con spessori localmente anche > 10 m. Blocchi e ciottoli eterometrici in matrice limo-argillosa. Prevalentemente da sciolto a poco consistente.
- **Zona SA6** – Riperto Antropico o sabbie con spessore < 5 m. Materiale eterometrico in matrice limo sabbiosa da sciolto a poco consistente o sabbie, di modesto spessore e poggianti su *bedrock* carbonatico.
- **Zona SA7** – Conoide. Non analizzata perché al di fuori dell'area di interesse.
- **Zona SA8** – Lapideo intensamente fratturato. Substrato litoide con alto grado di fratturazione, associabile sia a faglie generalmente dirette o transtensive, sia ad aree interessate da tettonica plicativa.

Nell'area della conca di Roio non sono state identificate faglie con caratteristiche tali da poterle ritenere attive o capaci e altresì non è stata evidenziata la presenza di frane attive o quiescenti, né aree potenzialmente soggette a rischio idraulico. Infine non sono presenti aree suscettibili di liquefazione dei terreni o di cedimenti differenziali.

### 8.3.1.2 Area di Poggio di Roio (Fig. 8.8)

La microzona stabile (Zona S1) interessa gran parte del centro urbano. Le aree stabili, ma suscettibili di amplificazioni riguardano essenzialmente situazioni stratigrafiche e geotecniche che possono produrre amplificazioni del moto del suolo per le differenti caratteristiche dinamiche dei terreni.

Fig. 8.8 → Particolare della Carta delle Macro-aree Omogenee in prospettiva sismica relativo a Poggio di Roio.



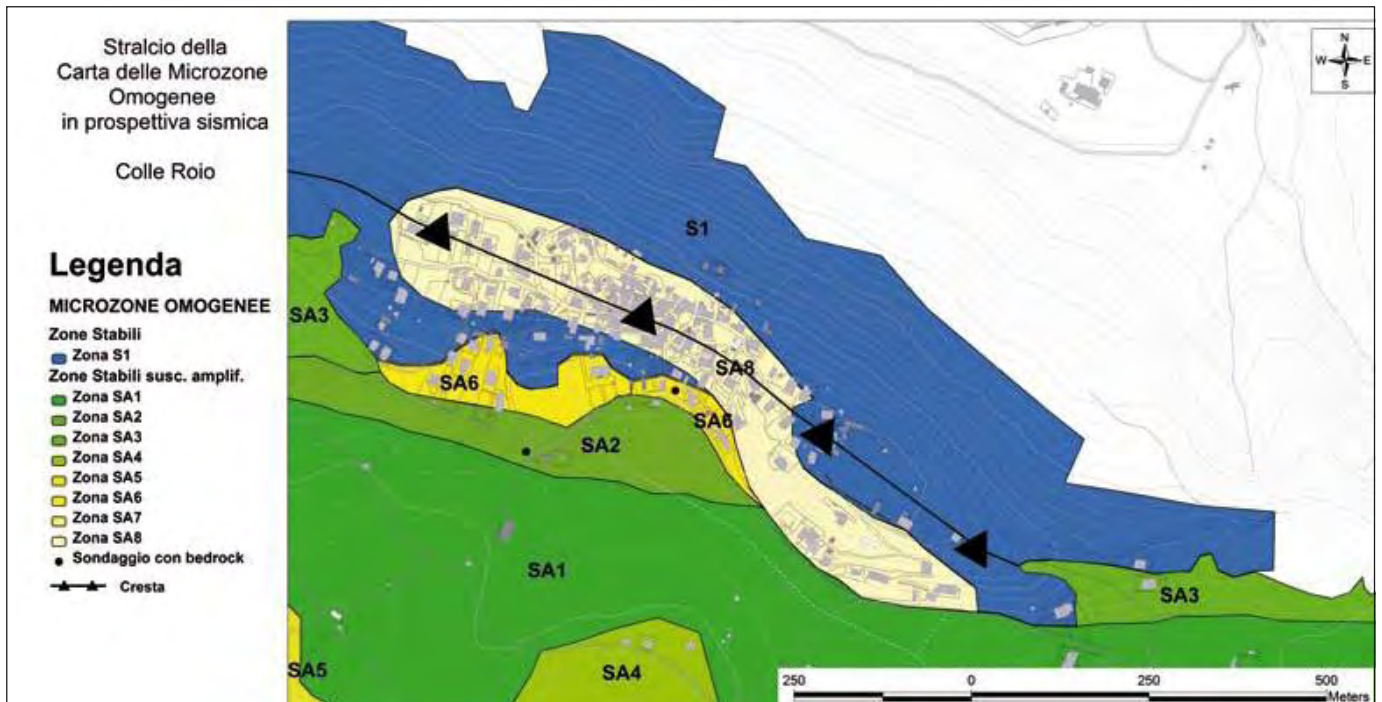
In particolare, la Zona SA2 si pone a valle della Strada Regionale n. 615, sul versante sud-occidentale della sella morfologica che si affaccia sulla Conca di Roio. Due sono le fasce di detrito, raggruppate nella Zona SA3: la prima si trova poco a valle del nucleo storico di Poggio di Roio dichiarato Zona Rossa, sempre in direzione della conca di Roio, mentre la seconda è sul versante verso L'Aquila, nei dintorni del campo sportivo. Un'area caratterizzata da detriti o sabbie di modesto spessore (Zona SA6) è localizzata lungo la vallecola che dalla sella morfologica scende verso la conca di Roio.

Infine, con la Zona SA8 vengono indicate le aree dove il substrato lapideo mostra un'intensa fratturazione dovuta, nel settore di Poggio di Roio, alla presenza di un sistema di faglie dirette variamente orientate. Nel dettaglio sono state individuate quattro aree: la prima poco a W della Piazza del Santuario della Madonna di Roio; la seconda in corrispondenza del nucleo storico del paese dichiarato Zona Rossa; le restanti due a monte della Strada Regionale n. 615 nei pressi della località I Cerri.

### 8.3.1.3 Area di Colle di Roio (Fig. 8.9)

Anche nell'area di Colle di Roio la microzona stabile (Zona S1) interessa gran parte del centro abitato. Le aree stabili ma suscettibili di amplificazioni sono imputabili essenzialmente a particolari caratteristiche geologiche e geomeccaniche per gli ammassi rocciosi o geotecniche per le aree con riporti antropici o con sedimenti fini. Di particolare interesse è la fascia di cresta morfologica lungo la quale si estende in centro abitato, nella quale il substrato carbonatico si presenta molto fratturato (Zona SA8) a causa di una tettonica compressiva che ha generato una struttura a piega, dislocata da faglie di tipo transensivo. Per quello che riguarda i depositi sedimentari, la Zona SA1 interessa la parte a valle della Strada Provinciale n. 35 in direzione del centro della

Fig. 8.9 → Particolare della Carta delle Macroaree Omogenee in prospettiva sismica relativo a Colle di Roio.

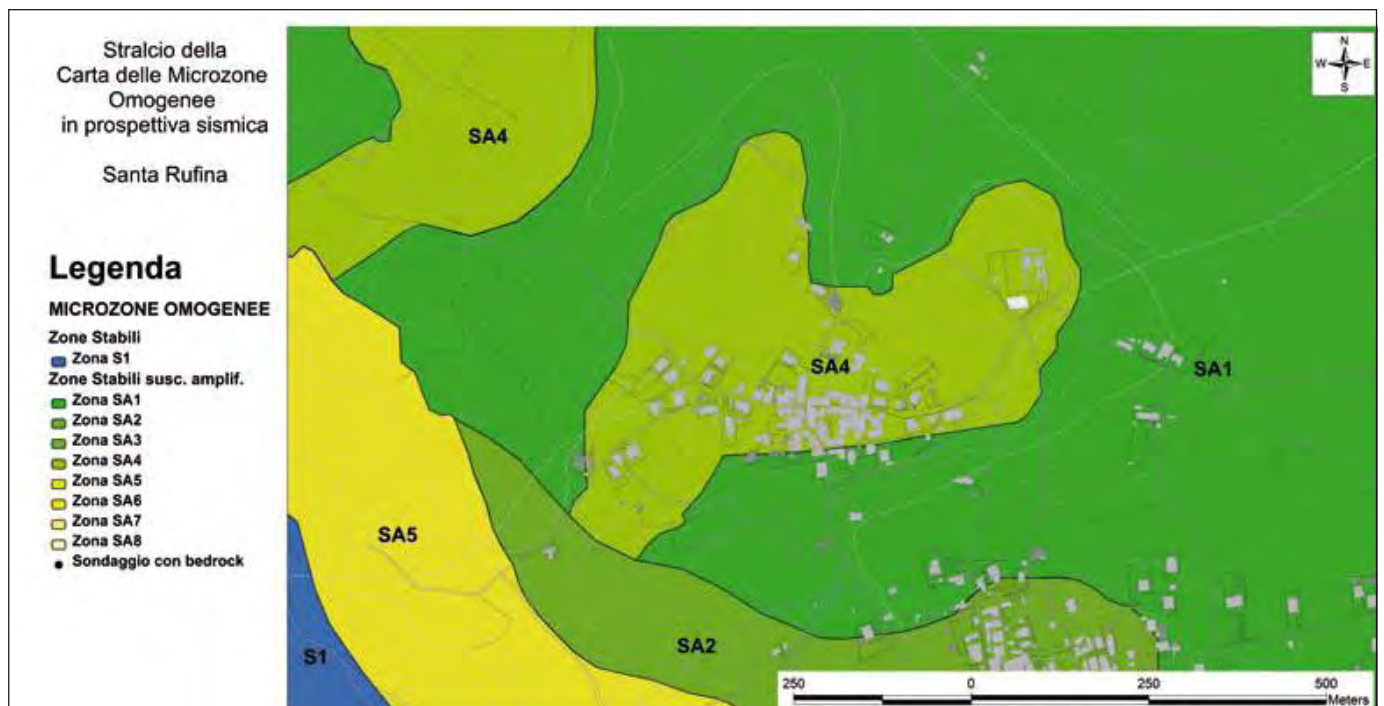


conca di Roio, mentre la Zona SA2 si trova, sempre a valle del centro abitato, in corrispondenza della stessa Strada Provinciale. Una fascia di riporto antropico, indicata come Zona SA6, borda il contatto tra gli affioramenti carbonatici ed i depositi alluvionali, a valle del centro storico in direzione della conca di Roio.

#### 8.3.1.4 Area di Santa Rufina (Fig. 8.10)

La frazione di Santa Rufina, posta all'interno della conca di Roio, è interessata da depositi alluvionali e detritici; per tale motivo presenta unicamente aree stabili suscettibili di amplificazioni dovute a situazioni stratigrafiche e geotecniche che, per le differenti caratteristiche dinamiche dei terreni, possono modificare localmente il moto del suolo. Il settore centrale del centro abitato rientra nella Zona SA4, mentre una sua porzione limitata è interessata dalla Zona SA1. In direzione SW si incontra prima la Zona SA2 e poi la fascia di detrito di falda, indicata come Zona SA5, che borda il contatto tra il versante carbonatico e la conca di Roio.

Fig. 8.10 → Particolare della Carta delle Macro-aree Omogenee in prospettiva sismica relativo a Santa Rufina.



#### 8.3.1.5 Area di Roio Piano (Fig. 8.11)

A Roio Piano si presenta la stessa situazione geologico-tecnica di Santa Rufina, con aree stabili ma suscettibili di amplificazioni per contrasti tra le caratteristiche dinamiche dei terreni.

In particolare la quasi totalità dell'abitato rientra nella Zona SA2, mentre la parte in direzione del centro della Conca di Roio, è interessata dalla Zona SA1. Infine, la fascia di detrito di falda rappresentato dalla Zona SA5 si pone nel settore sud-occidentale dell'abitato.

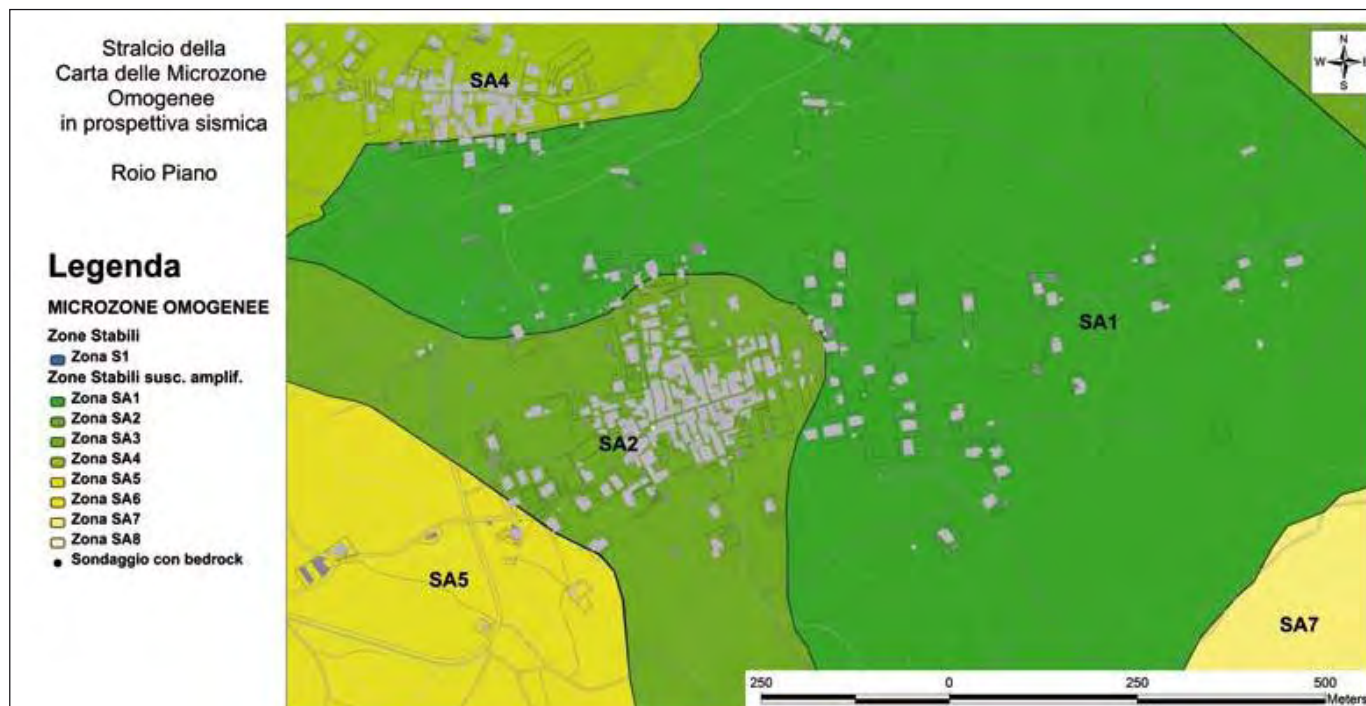


Fig. 8.11 → Particolare della Carta delle Macro-aree Omogenee in prospettiva sismica relativo a Roio Piano.

## 8.4 DATI GEOTECNICI, GEOFISICI E SISMOLOGICI

### 8.4.1 Caratterizzazione delle unità litotecniche ai fini della risposta sismica locale

#### 8.4.1.1 Caratterizzazione dinamica di laboratorio sui campioni prelevati

Sono stati testati in differenti laboratori geotecnici italiani 7 campioni a basso grado di disturbo, provenienti dai sondaggi eseguiti nella conca di Roio (cfr. § 8.2.1):

- 4 campioni dal sondaggio CASE-S3 del progetto C.A.S.E. (cfr. Tav. 8-I, DvD allegato): S3-C1 (4,0-4,50 m dal p.c. esaminato dal Lab UniCt), S3-C2 (7,0-7,50m dal p.c. esaminato dal Lab UniRoma1), S3-C3 (12,0-12,50m dal p.c. esaminato dal Lab UniFi), S3-C4 (15,0-15,40m dal p.c. esaminato dal Lab PoliTo);
- 2 campioni dal sondaggio MA8-S2 (cfr. Tav. 8-I, DvD allegato): S2-C2 (8,50-9,00 m dal p.c. esaminato dal Lab CGGBo), S2-C3 (14,50-15,00 m dal p.c. esaminato dal Lab CGGBo);
- 1 campione dal sondaggio MA8-S3 (cfr. Tav. 8-I, DvD allegato): S3-C1 (15,00-15,50 m dal p.c. esaminato dal Lab CGGBo).

Si riportano nella **tabella 8.1** l'attribuzione dei campioni alle unità/formazioni, distinte nella carta geologica (cfr. Tav. 8-II, DvD allegato) e nelle relative sezioni geologiche (cfr. Tav. 8-III, DvD allegato), e le tipologie di prove di laboratorio effettuate.

TABELLA 8.1

campione	unità/formazione	caratteristiche fisiche	parametri di stato	prove statiche	prove RC	prove TTC	Prove DSDSS
CASE-S3-C1	Alluvioni (11)	X	X		X		
CASE-S3-C2	Argille e limi (8)	X	X	X			X
CASE-S3-C3	Argille e limi (8)	X	X		X		
CASE-S3-C4	Argille e limi (8)	X	X		X	X	
MAB-S2-C2	Argille e limi (8)		X		X		
MAB-S2-C3	Argille e limi (8)		X		X		
MAB-S3-C1	Argille e limi (8)		X		X		

Nella successiva **tabella 8.2** si riportano la classificazione secondo il sistema USCS e l'indice di consistenza dei campioni per i quali sono disponibili i dati di caratterizzazione fisica.

I risultati delle prove dinamiche di cui alla **tabella 8.3** sono stati tra loro uniformati così da consentire una restituzione di sintesi, utilizzabile ai fini di un'analisi comparativa nonché delle simulazioni numeriche (cfr. 8.6). In particolare, per ciascun campione si riporta in **tabella 8.3** il valore di  $G_c$  (MPa),  $D_0$ %, i rapporti di decadimento, riferiti agli stessi livelli deformativi nell'intervallo di  $\gamma$ % compreso tra 0.0001 e 0.1, e le soglie dinamiche lineare e volumetrica (quest'ultima nei casi in cui determinabile attraverso le curve  $\Delta u/\sigma_v$ ).

TABELLA 8.2

campione	unità/formazione	USCS	IC
CASE-S3-C1	Alluvioni (11)	CL	0,75
CASE-S3-C2	Argille e limi (8)	CL	0,72
CASE-S3-C3	Argille e limi (8)	CL	0,68
CASE-S3-C4	Argille e limi (8)	ML-CL	1,96
MAB-S2-C2	Argille e limi (8)		
MAB-S2-C3	Argille e limi (8)		
MAB-S3-C1	Argille e limi (8)		

TABELLA 8.3

	$G_c$ (MPa)	$\sigma'_v$ (kPa)	$D_0$ (%)	0,0001		0,001		0,01		0,1		$\gamma_l$ %	$\gamma_v$ %
				$G/G_0$	$D/D_0$	$G/G_0$	$D/D_0$	$G/G_0$	$D/D_0$	$G/G_0$	$D/D_0$		
CASE-S3-C1	45,2	86	2,07	1	1	0,96	1,45	0,62	3,87	0,17	7,73	9,44E-04	n.d.
CASE-S3-C2	29,2	120	2,1	1	1	0,98	2,1	0,88	3	0,46	10,2	9,00E-04	n.d.
CASE-S3-C3	89	150	1,62	1	1	1	0,77	0,8	2,22	0,34	7,41	1,30E-03	2,00E-02
CASE-S3-C4	138,8	202	3,31	1	1	0,98	1,53	0,89	1,68	0,31	4,03	1,50E-03	2,00E-02
MAB-S2-C2	48,38	100	2,63	1	1,06	0,94	1,24	0,68	1,6	0,3	2,88	3,00E-04	2,80E-02
MAB-S2-C3	69,9	150	6,17	1	1	0,88	1,94	0,6	1,21	0,25	1,9	2,50E-04	3,50E-02
MAB-S3-C1	74,29	150	2,74	1	1,03	0,91	1,32	0,71	1,52	0,26	3,76	2,00E-04	6,00E-02

Per il campione CASE-S3-C4 non sono stati presi in considerazione i risultati della prova TTC per uniformità di trattamento.

Si osserva che le differenze di rigidità dinamica sono, almeno in parte, da attribuirsi alle diverse pressioni di confinamento e, nel caso del campione CASE-S3-C2, anche alla differente modalità di prova, nonché, nel caso del campione CASE-S3-C4, al più elevato stato di consistenza.

Tab. 8.1 → Determinazioni e prove di laboratorio eseguite sui campioni a basso grado di disturbo: RC, colonna risonante; TTC, taglio torsionale ciclico; DSDSS, taglio semplice ciclico con doppio provino.

Tab. 8.2 → Classificazione USCS ed indice di consistenza (IC).

Tab. 8.3 → Risultati delle prove dinamiche di laboratorio:  $G_c$ , modulo di taglio dinamico elastico;  $D_0$ , smorzamento iniziale;  $\sigma'_v$ , pressione isotropa di consolidazione;  $\gamma_l$ , soglia deformativa di linearità;  $\gamma_v$ , soglia deformativa volumetrica.

Non si osservano, invece, sostanziali differenze di comportamento dinamico tra i campioni (in termini di modalità di decadimento); in prima approssimazione, i comportamenti dinamici osservati sono congruenti con le curve teoriche proposte da Vucetic & Dobry (1991).

#### 8.4.1.2 Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

Il rilevamento delle discontinuità, presenti nelle stazioni ove è stata eseguita la caratterizzazione degli ammassi rocciosi (per le ubicazioni cfr. **figura 8.1** Colle di Roio e **figura 8.2** Poggio di Roio), si è basato essenzialmente sulla metodologia proposta dall'ISRM (1978). Nello specifico, il censimento delle discontinuità è stato eseguito utilizzando il criterio soggettivo che prevede il rilevamento delle sole discontinuità che sembrano assumere un ruolo importante nei confronti delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso. La scelta di tale criterio soggettivo è da ricercare nell'elevato stato di fratturazione che presentavano gli affioramenti presenti nel settore di indagine.

In linea generale per ogni stazione di misura sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- geologia (attribuzione del litotipo alle unità affioranti);
- volume del blocco unitario ( $V_u$  e  $V_p$ );
- giacitura del piano di affioramento;
- giacitura delle discontinuità;
- lunghezza;
- terminazione;
- alterazione;
- rugosità (JRC);
- tipo;
- apertura;
- riempimento;
- resistenza a compressione delle pareti della discontinuità.

#### Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua

Per la determinazione della massa volumica apparente sono state adottate, quali normative specifiche di riferimento, le UNI ENV 1997-2.

La determinazione è stata condotta in laboratorio su almeno tre frammenti lapidei aventi dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il campione in esame.

Il volume dei campioni è stato determinato, a mezzo di pesata idrostatica, dalla differenza tra la massa in aria e la massa sommersa rapportata alla densità dell'acqua.

La massa dei campioni è stata misurata con bilancia di precisione a cella monolitica Sartorius LA12000S (risoluzione 100 mg).

Nella documentazione fornita sono compresi:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini;



- valore medio della massa volumica apparente espressa in  $\text{kN/m}^3$  con indicazione della seconda cifra decimale e valutazione statistica dell'attendibilità della prova con determinazione della deviazione standard;
- indicazione delle misure effettuate.

### Prova di resistenza a carico puntuale (point load strength test)

Quali specifiche di riferimento sono state adottate le Raccomandazioni ISRM (1985) per la misura della resistenza a punzonamento. La prova consiste nella determinazione dell'indice di resistenza a carico puntuale  $I_{s(50)}$ , effettuata con l'applicazione di un carico concentrato ottenuto mediante l'utilizzo di due punte coniche di dimensioni standard.

L'indice di resistenza  $I_{s(50)}$ , viene, nella pratica ingegneristica, utilizzato per la classificazione della roccia e fornisce stime su altri parametri di resistenza, quali resistenza a compressione monoassiale e resistenza a trazione.

La prova è stata eseguita in situ su provini di forma irregolare prelevati in corrispondenza delle stazioni di rilevamento geomeccanico eseguite.

Il valore di  $I_{s(50)}$  medio è stato ottenuto dalla media dei valori di  $I_{s(50)}$  calcolati, con esclusione dei due valori più alti e dei due valori più bassi; inoltre, è stata eseguita una valutazione statistica dell'attendibilità della prova attraverso la determinazione della deviazione standard. Infine, è stata fornita una stima della resistenza a compressione semplice e della resistenza a trazione indiretta del campione.

La documentazione fornita comprende:

I dati riassuntivi delle prove effettuate, presentati nella **tabella 8.4**, comprendono:

- indicazione della stazione di rilevamento ove sono stati prelevati i campioni;
- attribuzione del litotipo alle unità affioranti;
- numero di famiglie di discontinuità riscontrate (compreso il fronte);
- attribuzione del litotipo alle unità affioranti;
- valori dell'indice di resistenza a carico puntuale corretto  $I_{s(50)}$ , (espressi in MPa);
- stima della resistenza a compressione semplice e della resistenza a trazione indiretta (in MPa);
- massa volumica apparente (in  $\text{kN/m}^3$ );
- volume del blocco unitario  $J_v$  e  $J_b$ .

Tab. 8.4 → Parametri geomeccanici ricavati per la matrice rocciosa dei litotipi lapidei affioranti ai bordi della Conca di Roio.

Staz. n.	Attribuzione alle unità affioranti	N. famiglie + fronte	Indice di resistenza a carico puntuale $I_{s(50)}$ (MPa)	Resistenza a compressione semplice (MPa)	Resistenza a trazione indiretta (MPa)	Peso unità di volume ( $\text{kN/m}^3$ )	Volumetric Joint Count ( $J_v$ )	Block size index ( $J_b$ )
1	Calcareniti a punti rossi	4	4.9	98-123	6.2	25.61	10-30 Small blocks	4
2	Calcareniti a briozoi	4	6.0	121-151	7.6	25.13	10-30 Small blocks	4
3	Unità spongolitica	4	1.3	26-32	1.6	22.75	3-10 Medium size blocks	20
4	Calcareniti a punti rossi	4	6.1	121-152	7.6	24.84	60 Crushed rocks	2
5	Unità spongolitica	5	3.8	77-96	4.8	25.07	3-10 Medium size blocks	20
6	Scaglia detritica	5	3.9	79-99	4.9	26.34	10-30 Small blocks	5

### Valutazione dei parametri di ammasso roccioso

I dati di input utilizzati nella successiva fase di modellazione numerica (cfr. § 8.6.1) sono stati elaborati avvalendosi del software RocLab prodotto dalla Rockscience Inc.

Tale strumento di calcolo è in grado di determinare i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso utilizzando il criterio di rottura generalizzato di Hoek & Brown (Hoek et al., 2002; Hoek & Diederichs, 2006). In tal senso i dati di input sono quelli utilizzati nella classificazione di Hoek & Brown, tra i quali il valore di resistenza a compressione semplice del litotipo interessato ( $\sigma_{ci}$ ) ed il *geological strength index* (GSI) caratterizzante l'ammasso roccioso fratturato; ciò consente la valutazione del modulo di deformabilità dell'ammasso (E) (cfr. Tab. 8.6.1).

Il software permette inoltre di ricavare ulteriori moduli di deformabilità dell'ammasso roccioso oltre che i parametri equivalenti di ammasso in termini di coesione ed angolo di attrito desunti dall'involuppo di Mohr-Coulomb (approccio continuo equivalente). Tale iter procedurale è stato seguito per ciascuna delle litologie affioranti, avvalendosi delle informazioni desunte dalla fase di rilievo geomeccanico, dalle risultanze delle prove geomeccaniche di sito e dalle successive fasi di elaborazione di laboratorio.

## 8.4.2 Prospezione gravimetrica della conca di Roio

Nella conca di Roio è stato eseguito un rilievo gravimetrico di dettaglio che ha consentito di ottenere le carte delle anomalie di Bouguer e delle anomalie residue; successivamente è stata elaborata una carta strutturale della batimetria del substrato geologico meso-cenozoico. Dalla batimetria si sono ricavati modelli 2D, che hanno permesso di definire le profondità e l'andamento del substrato lungo le sezioni geologiche (Tab. 8-III, DvD allegato) utilizzate successivamente per la modellazione numerica della risposta sismica locale.

### Rilievo gravimetrico

Il rilievo gravimetrico, effettuato nel periodo Agosto-Settembre 2009, ha interessato un'area di circa 6 km<sup>2</sup>, compresa all'interno dell'intera conca di Roio. Le misure di gravità sono state eseguite utilizzando un gravimetro *LaCoste & Romberg mod. D60*. L'area è stata coperta da una rete complessiva di 150 nuove stazioni gravimetriche quanto più omogeneamente distribuite sul territorio, con una densità media di circa 25 stazioni per km<sup>2</sup>.

Per la localizzazione e la determinazione delle quote delle singole stazioni gravimetriche, è stato utilizzato un ricevitore *GPS ASHTECH X-TREME* a doppia frequenza in configurazione differenziale. La mappa delle anomalie di Bouguer è stata ottenuta utilizzando una densità media di 2.6 g/cm<sup>3</sup>.

### Anomalie di gravità

La mappa delle anomalie di Bouguer dell'area comprende un campo di valori che va da -44.0 mGal a -46.6 mGal, in accordo con i valori mostrati nella Carta Gravimetrica d'Italia (Ferri, 2007; Ferri et al., 2008); i valori delle isoanomalie assumono un andamento ellittico con direzione NW-SE: quelli più bassi si osservano all'interno della piana nel settore SE.

Dall'elaborazione delle anomalie di Bouguer sono state prodotte alcune carte utilizzando diversi metodi di filtraggio nell'ambito del processo di separazione regionale-residua, quali la residuazione polinomia-

le, il Metodo di Griffin (1949) e il gradiente orizzontale. Queste hanno permesso di delineare un quadro geologico-strutturale caratterizzato dall'estrema eterogeneità, in termini geometrici, spaziali e di densità, delle formazioni presenti nell'area.

Viene qui proposta la carta delle anomalie residue, ottenuta con il Metodo di Griffin (1949), adottando un raggio di regionalità di  $r=500\text{m}$ , che sintetizza in modo molto chiaro tutte le disomogeneità presenti nell'area nella porzione geologica poco profonda, utile ai fini della microzonazione dell'area.

Le anomalie residue (**Tav. 8-V-1, DvD allegato**) ripropongono in maniera più evidente il trend NW-SE, presente nelle anomalie di Bouguer. Dalla forma e dall'allungamento delle isoanomalie, che delimitano le zone di minimo, il bacino può essere diviso in tre aree: quella nord-occidentale dove le isoanomalie hanno un andamento asimmetrico con un asse allungato in direzione NW-SE, il cui gradiente di gravità orizzontale risulta molto pronunciato nel settore occidentale; quella centrale dove i valori delle isoanomalie raggiungono i maggiori valori negativi e l'asse di allungamento è prevalentemente NE-SW, sempre con valori del gradiente elevati nel settore occidentale; infine, l'area sud-orientale presenta un andamento delle isoanomalie asimmetrico, con un asse allungato in direzione NW-SE, con gradiente di gravità orizzontale che risulta simmetrico.

### Modello gravimetrico tridimensionale - Modello interpretativo

È stato elaborato un modello gravimetrico tridimensionale a cui è corrisposto un modello geologico-strutturale che ha permesso di definire i reciproci rapporti tra le unità geo-gravimetriche identificate, oltre ad una stima delle profondità. Le ipotesi avanzate, dove possibile, sono state verificate con i dati dei sondaggi presenti o con altre informazioni, dirette o indirette, disponibili.

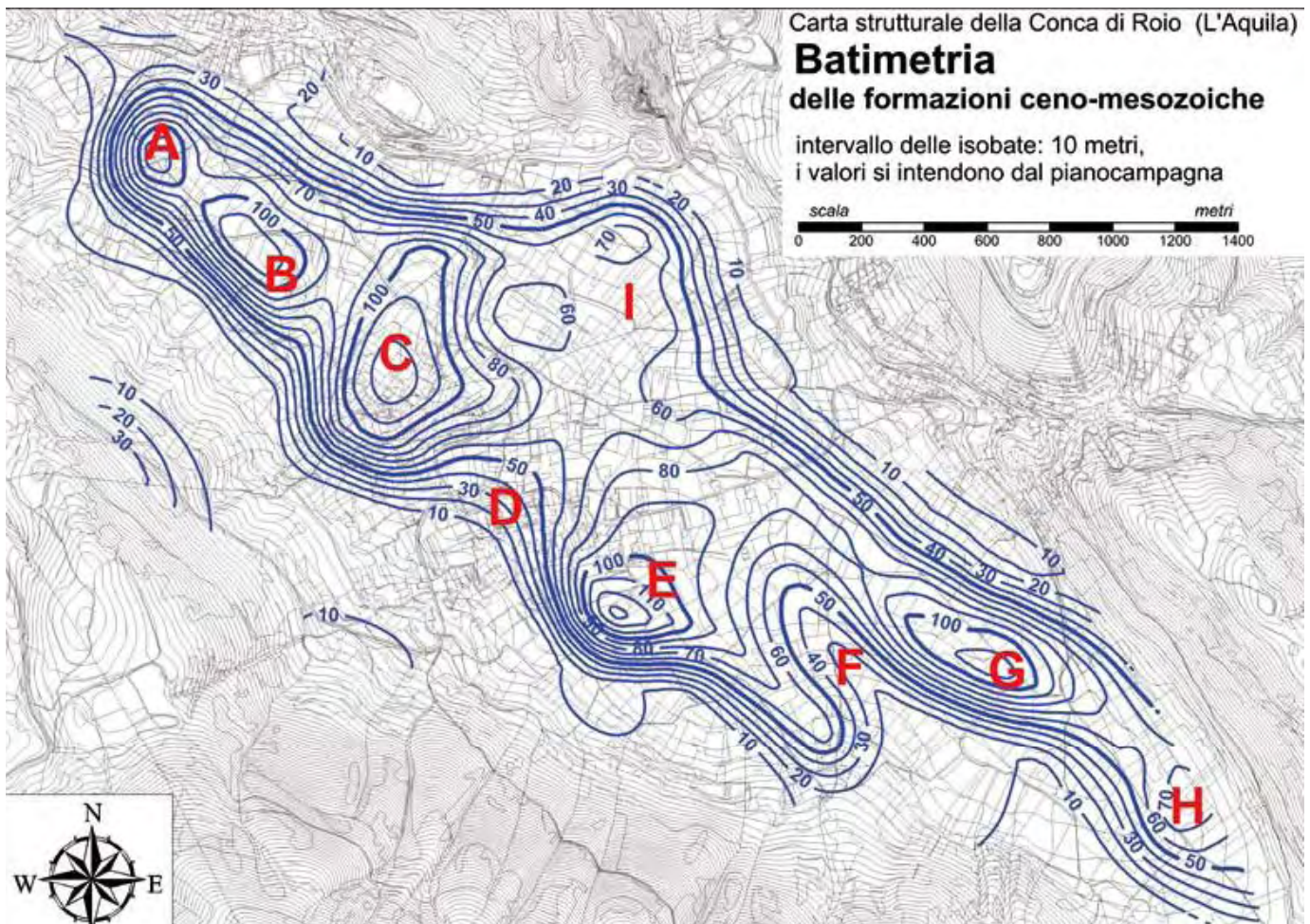
Per l'elaborazione del modello gravimetrico tridimensionale è stato utilizzato un programma di calcolo 3dGRVT (sviluppato ed eseguito dal Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Sapienza" di Roma, *Di Filippo & Di Nezza*). Il programma, sulla base dei dati delle batimetrie ipotizzate, della superficie topografica e dei contrasti di densità relativi ai vari corpi, calcola l'anomalia sintetica in ognuna delle stazioni di osservazione gravimetrica nell'area in esame.

Per ogni unità geo-gravimetrica di cui è composto il modello, viene suddiviso il suo volume in una serie di prismi delimitati al tetto dalla superficie topografica ed al letto dal substrato geologico. Il programma calcola, in ogni punto di stazione gravimetrica, la componente verticale dell'anomalia prodotta da tutti i prismi. L'anomalia sintetica prodotta dal programma, viene confrontata con l'anomalia residua osservata e successivamente vengono calcolati i residui, differenza in mGal, tra valori reali e calcolati. Attraverso processi iterativi, modificando le quote delle varie superfici di letto e di tetto, viene ridotto lo scarto tra i valori rilevati e quelli calcolati, fino ad ottenere un'anomalia sintetica a cui competono residui di entità accettabile. Per l'elaborazione del modello tridimensionale ottenuto, l'inversione è stata effettuata sulla base delle anomalie residue (**Tav. 8-V-1**).

Per quanto riguarda la definizione del valore di densità più adatto da attribuire ai diversi prismi, si sono considerati i risultati dei sondaggi poco profondi eseguiti nell'area (si veda la stratigrafia dei sondaggi **Tav. 8-II** e quelli riferiti a CASE-S1, CASE-S2, CASE-S3); tali informazioni sono state integrate e confrontate con le formazioni affioranti ai margini dell'area e con quella della rispettiva carta geologica effettuata nell'ambito della MS (**Fig. 8.12 e Tav. 8-II, DvD allegato**).

Due sono le unità geo-gravimetriche che hanno determinato il panorama delle anomalie gravimetriche: la prima consiste nei depositi delle sequenze continentali, la seconda è costituita dal tetto del substrato geologico ( $2.6 \text{ g/cm}^3$ ). Questo è riconducibile ai depositi carbonatici-marnosi-terrigeni che affiorano ai margini del bacino, identificabili nella carta geologica dai termini che vanno dalla Scaglia (1-Cenomaniano-Campaniano) ai Calcari a briozoi (7-Langhiano p.p.-Serravalliano). Al di sopra del substrato geologico sono presenti le sequenze argillose e sabbiose-conglomeratiche del Pliocene-Pleistocene-Olocene-attuale ( $2.1 \text{ g/cm}^3$ ) che colmano il bacino, identificabili nella carta geologica (Tav. 8-II, DvD allegato) dalle Argille e limi argillosi e calcarei (8) fino al Riporto antropico (15). L'andamento delle isobate (Fig. 8.12) mostra una serie di aree depresse chiuse con profondità dell'ordine del centinaio di metri. I valori massimi, di circa 130 m di profondità, sono stati rilevati nel settore sud-occidentale in prossimità dell'abitato di Roio Piano (settore E). Queste aree depresse assumono una forma da circolare, come nel caso dei settori A ed H, ad allungata con asse maggiore di direzione appenninica (settori B e G). Infine, nel settore C, la depressione assume le dimensioni maggiori ma con direzione antiappenninica.

Fig. 8.12 → Carta strutturale della Conca di Roio (L'Aquila)  
 Batimetria delle formazioni cenozoiche  
 (intervallo delle isobate 10 metri, i valori si intendono dal pianocampagna.



Inoltre, si riscontra una vasta area pianeggiante dove il substrato si incontra a minor profondità compresa tra gli abitati di Colle di Roio e Poggio di Roio, settore I; una seconda area, settore F, dove il substrato si incontra a modesta profondità, risulta allungata in direzione appenninica e si colloca al di sotto della conoide.

Tale ricostruzione ha permesso di seguire, pertanto, l'andamento del substrato geologico, non incontrato nei sondaggi (ad eccezione di quello MA8-S2), supportando le informazioni geologiche di superficie e quindi definendo quantitativamente l'estensione laterale e verticale dei corpi con stessa densità media, lungo le sezioni geologiche (Tav. 8-III, DvD allegato, Sezioni A-A', B-B', C-C', D-D', E-È), sulle quali è stata eseguita la modellazione numerica della risposta sismica locale.

### Considerazioni conclusive

Lo studio gravimetrico di dettaglio nella Macroarea 8 ha permesso di identificare l'andamento del substrato geologico della conca di Roio. Tale substrato risulta fortemente articolato con dislocazioni, variabili da zona a zona, orientate in senso sia verticale, sia orizzontale.

Appare evidente la suddivisione della conca in diversi bacini, contornati da lineamenti gravimetrici che in alcuni casi coincidono con faglie riconosciute in superficie (cfr. tavola 8-III, DvD allegato). Inoltre, è possibile stimare l'estensione laterale e verticale dei corpi a bassa densità, che raggiungono localmente 130 m di spessore. La forma di alcuni di questi bacini (settori A, B ed E) è asimmetrica, con un allungamento prevalente in direzione appenninica ed il versante sud-occidentale molto acclive. In alcuni settori il substrato geologico risulta a modesta profondità, come nella zona centrale della Conca, indicativamente tra Colle di Roio e Poggio di Roio (settorio I), ove il suo andamento consente di suddividere la conca stessa in due parti distinte. Inoltre, nella zona F il substrato si localizza sempre a profondità modeste ed assume una forma allungata corrispondente più in superficie al corpo della conoide. Infine, anche nella zona D il substrato sembra collocarsi superficialmente anche se, considerando l'inflessione delle isoanomale riconoscibile nella carta delle anomalie residue e la stratigrafia del sondaggio MA8-S5, si può ipotizzare che in quest'area, a profondità modeste, non si è in presenza del substrato in posto, ma di un corpo di frana costituito da litotipi calcarei.

## 8.4.3 Caratterizzazione dinamica dei terreni mediante prove in sito

### 8.4.3.1 Down Hole, MASW, ReMi

La stima delle proprietà dinamiche dei terreni plio-quadernari affioranti nella conca di Roio e del *bedrock* carbonatico, è stata ottenuta mediante l'analisi dei risultati ricavati dalle seguenti prove geofisiche (cfr. § 8.2.1):

- n°5 Down-Hole, realizzate dal CNR-IAMC di Napoli e dalla società di servizi POLO GEOLOGICO snc di Roma (DH3 progetto C.A.S.E.);
- n°31 *Surface wave method* (SWM) *test*, realizzati dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento e dal Politecnico di Torino-DISTR/DITAG (progetto C.A.S.E.).

Per quanto concerne i codici identificativi e l'ubicazione delle succitate misure, si rimanda alla tavola 8-I, DvD allegato.

La caratterizzazione ottenuta mediante le prove in foro ha permesso di definire il profilo verticale relativo ai valori del modulo di rigidezza a taglio dinamico (di seguito G), rappresentativo delle seguenti microzone

omogenee suscettibili di amplificazione (Tav. 8-IV, DvD allegato): SA1, SA2 ed SA4. In particolare, i DH2 e DH6 hanno fornito l'andamento della velocità di propagazione delle onde S (di seguito  $V_s$ ) sino al *bedrock*, definendo il profilo rappresentativo del modulo dinamico G per la SA2 (Fig 8.13); mentre le prove DH7/DH3 C.A.S.E. e DH5, che si sono spinte sino alla profondità di circa 50 m, non investigando le caratteristiche elastiche del *bedrock*, localizzato a maggiori profondità (cfr. § 8.5.1.3), hanno definito i profili verticali di  $V_s$  di riferimento rispettivamente per le microzone omogenee SA1 ed SA4 (Fig 8.14).

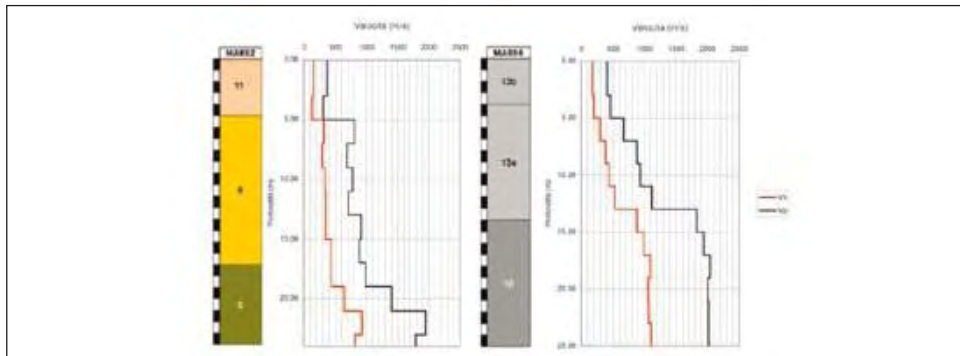


Fig. 8.13 → Stratigrafie di sondaggio e relativi profili di rigidezza rappresentativi della microzona omogenea SA2.

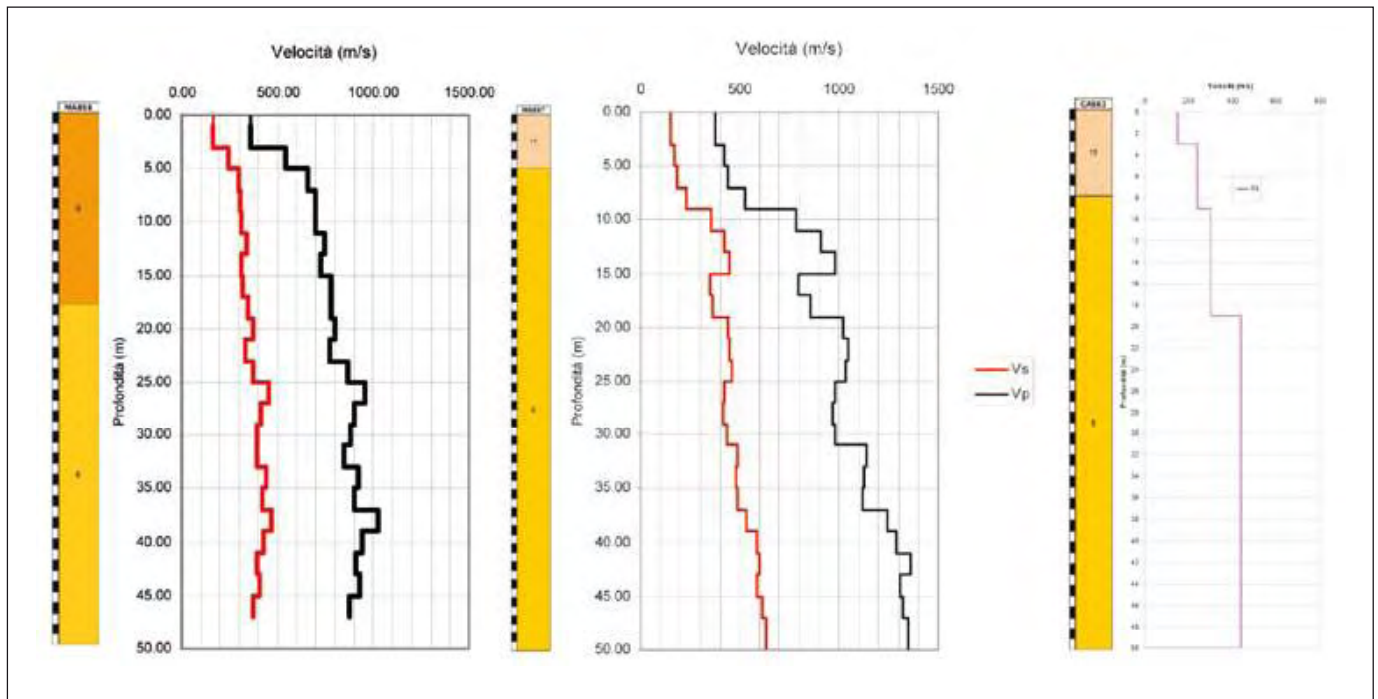


Fig. 8.14 → Stratigrafie di sondaggio e relativi profili di rigidezza rappresentativi delle microzone omogenee SA4 (sx) e SA1 [2 profili a dx].

L'esame dei suddetti profili ha evidenziato come i valori di  $V_s$  per i terreni plio-quadernari siano tipicamente compresi tra 200 m/s e 350 m/s sino a 8-10 m di profondità e tra 300 m/s e 500 m/s oltre 10 m di profondità e sino a 50 m dal p.c.. Valori di  $V_s$  superiori a 500 m/s, nei depositi fluvio-lacustri, si osservano esclusivamente nel DH7 per profondità superiori a 35 m. In generale, i profili di  $V_s$  nei depositi che costituiscono il

riempimento della conca mostrano valori di velocità delle onde di taglio linearmente crescenti con la profondità. I profili di  $V_s$  ricavati dalle prove DH2 e DH6 hanno rilevato valori di  $V_s$  per il *bedrock* sempre  $\geq 800$  m/s, evidenziando un marcato contrasto d'impedenza sismica al passaggio con i depositi sovrastanti. I risultati delle prove dinamiche in foro sono stati considerati quali riferimenti per la parametrizzazione del sottosuolo finalizzata alla modellazione numerica della RSL.

La caratterizzazione dinamica mediante SWM test ha previsto principalmente l'utilizzo della tecnica passiva ReMi e subordinatamente della tecnica attiva MASW (Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento). Inoltre, al fine specifico di caratterizzare il sito di Roio Piano, originariamente selezionato nell'ambito del progetto C.A.S.E., il DISTR/DITAG del Politecnico di Torino ha utilizzato congiuntamente la tecnica MASW e l'analisi f-K applicata a registrazioni di rumore ambientale acquisite mediante *array* 2D.

I risultati delle indagini ReMi e MASW hanno evidenziato una buona correlazione in termini di  $V_s$  con quanto stimato attraverso le indagini in foro per i depositi plio-quadernari (Tab. 8.5).

Analogamente, le indagini SWM realizzate dal Politecnico di Torino hanno fornito profili di rigidità con le medesime caratteristiche evidenziate dai DH3-5-7 e fornito l'indicazione relativa alla profondità del substrato, posto tra 40 m e 55 m dal p.c., in corrispondenza del punto d'indagine, coerentemente a quanto desunto attraverso le indagini gravimetriche (cfr. § 8.5.1).

Al contrario, indicazioni incongruenti, quali inversioni di velocità lungo i profili verticali di  $V_s$ , sono emerse dall'osservazione dei risultati ottenuti da prove ReMi in corrispondenza di affioramenti delle unità carbonatiche presso l'abitato di Colle di Roio.

#### 8.4.3.2 Misure sismometriche

Le misure sismometriche effettuate nell'area della conca di Roio e dei rilievi carbonatici adiacenti hanno compreso misure di rumore ambientale a stazione singola (cfr. § 8.2.1) eseguite nel periodo Giugno-Agosto 2009 e registrazioni di terremoti di medio-bassa magnitudo (cfr. § 8.2.1) nell'intervallo temporale Giugno-Luglio 2009. Per quanto riguarda le misure di rumore ambientale, nel tempo disponibile per le campagne di misura, non è stato possibile seguire una più rigorosa procedura che richiederebbe almeno 3 campionamenti di rumore nello stesso sito, in orari differenti.

Tuttavia, le stazioni di misura sono state generalmente localizzate a distanze ridotte (dell'ordine del centinaio di metri) e quindi nella valutazione dei risultati, ove possibile, è stato considerato anche il comportamento dei siti di misura adiacenti. Alle stazioni di misura è stato assegnato un livello di affidabilità (A alto; B basso) in base all'ampiezza del picco osservato ed al rapporto di forma del picco (dove presente), al numero di misure effettuate nella stazione e alla congruenza con i risultati delle stazioni vicine; il codice "B" indica in genere situazioni che avrebbero richiesto ulteriori indagini, ma è anche associato a stazioni con HVSR di difficile interpretazione, ad esempio una serie di picchi significativi di ampiezza comparabile, o con marcata variazione di ampiezza tra le componenti NS ed EW della curva HVSR.

**TABELLA 8.5**

CODICE INDAGINE	CATEGORIA SOTTOSUOLO (D.M. 14.01.2008)
DH6	E
DH2	E
DH5	C
DH7	C
DH3 C.A.S.E.	C

Tab. 8.5 → Categoria di suolo attribuibile alle distinte colonne di indagine secondo D.M. 14.01.2008.

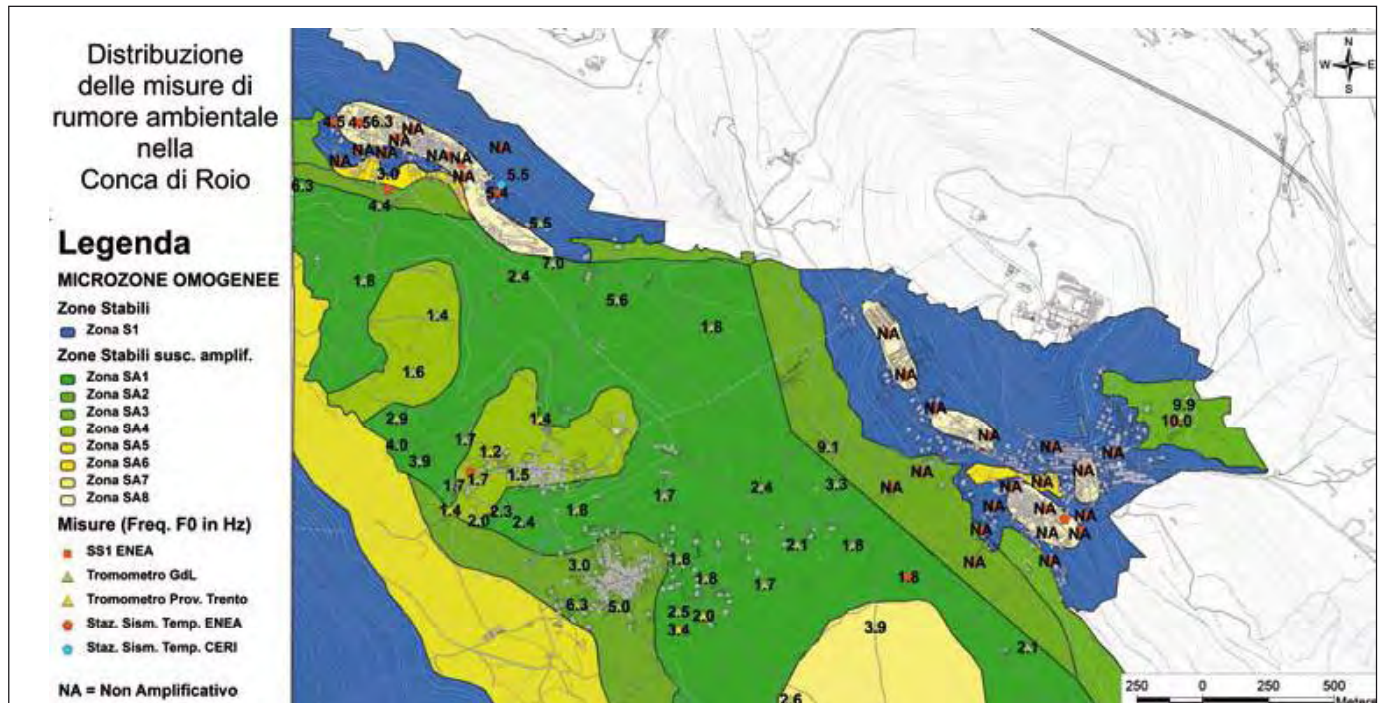


Fig. 8.15 → Mappa dei valori di  $f_0$  ottenuti dalle misure di rumore ambientale.

La figura 8.15 riporta i valori di frequenza corrispondenti al massimo HVSR per le sole stazioni con livello di affidabilità A nell'intervallo di frequenze 0.5-10Hz, ritenuto di interesse; nella stessa figura le stazioni con massimi HVSR non significativi (ovvero inferiori a 2) sono identificate con il codice "NA".

A Poggio di Roio sono stati caratterizzati 26 siti distribuiti in modo da coprire sufficientemente le zone suscettibili di amplificazione individuate nella carta delle MOPS. Tuttavia, nei siti di misura i rapporti HVSR sono risultati significativi nell'intervallo di frequenze di interesse solo localmente, al margine dell'attuale abitato e comunque per valori di frequenza maggiori di 8 Hz.

In corrispondenza della dorsale di Colle di Roio la distribuzione dei siti di misura con valori dei massimi di HVSR superiori a 2, nell'intervallo di frequenze ritenuto di interesse, evidenzia l'esistenza di un settore localizzato alla sommità della dorsale e ad ovest del centro storico in cui il massimo degli HVSR ricade nell'intervallo di frequenze 4.0-6.0 Hz e di un settore localizzato alla sommità della dorsale e ad est del centro storico, in cui il massimo degli HVSR ricade in un più ristretto intervallo di frequenze intorno a 5 Hz.

Nel settore di raccordo tra la dorsale di Colle di Roio e la piana adiacente si riscontra una marcata disomogeneità nella risposta misurata consistente in valori di massimo degli HVSR generalmente corrispondenti a frequenze superiori a 5 Hz e comunque variabili fino al valore massimo dell'intervallo di interesse.

Nella parte pianeggiante della Conca di Roio, la maggioranza dei massimi degli HVSR significativi, propriamente riferibili a frequenze di risonanza ( $f_c$ ) dei depositi plio-quadernari ricade nell'intervallo di frequenza 1.5-2.5 Hz mentre valori di  $f_c$  superiori si osservano esclusivamente nelle aree bordiere in associazione a depositi detritici, eluvio-colluviali di raccordo e di conoide alluvionale (Fig. 8.16).



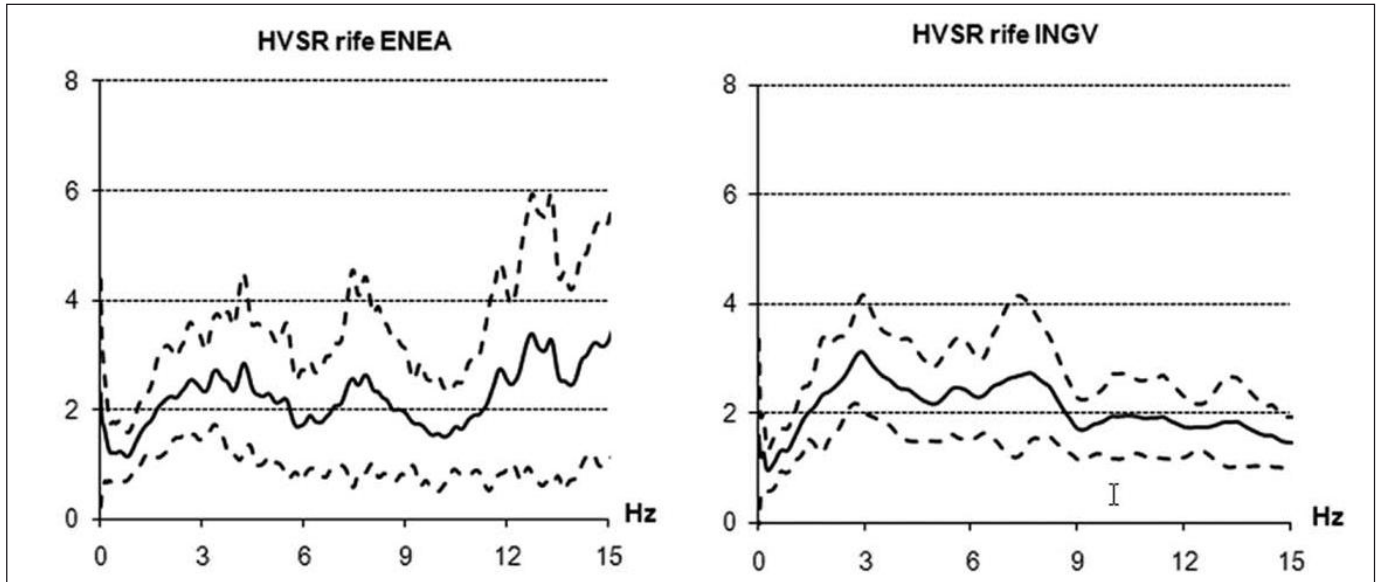


Fig. 8.16 → Rapporti HVSR relativi alla stazione di riferimento ENEA (Rv6) ed INGV (FRR3) ottenuti sulla media di 35 terremoti.

Per ciò che attiene all'analisi delle registrazioni di terremoti di medio-bassa magnitudo ( $M_l$  2-4) sono state strumentate due configurazioni di rete velocimetrica temporanea ENEA, consistenti rispettivamente nella configurazione Rv6-Rv15 (Riferimento-Colle di Roio tendopoli) operativa dal 10 Giugno al 10 Luglio 2009 per la quale sono stati elaborati 35 tra i terremoti registrati e nella configurazione Rv6-Rv45 (Riferimento-Santa Rufina ovest) operativa dal 10 Luglio al 4 Agosto 2009 per la quale sono stati elaborati 36 dei terremoti registrati (Figg. 8.17 e 8.18).

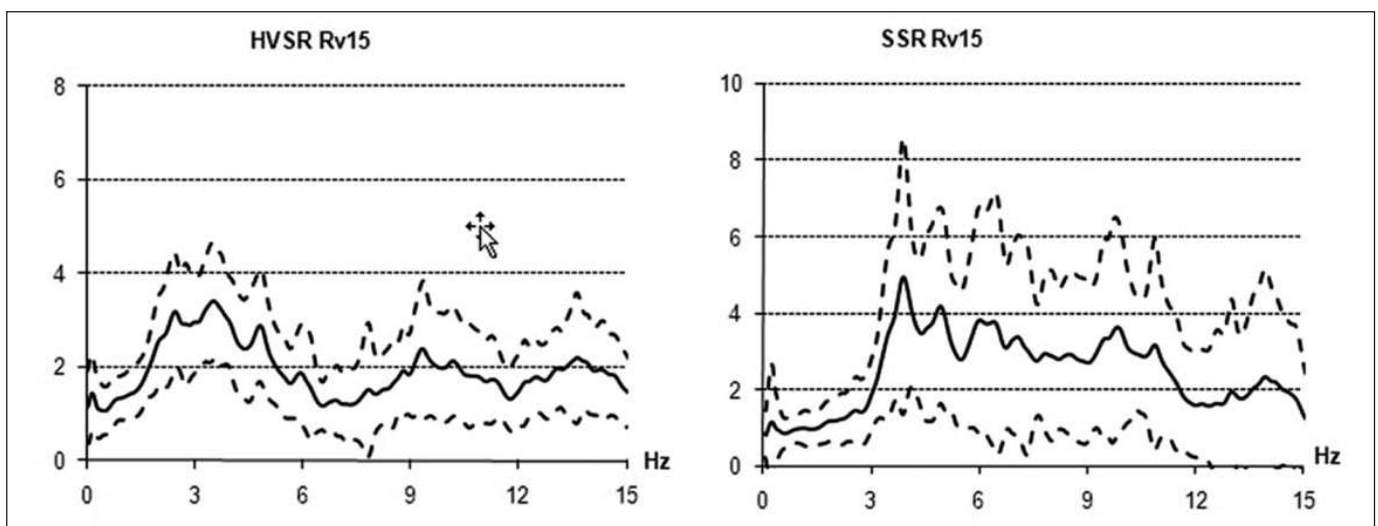


Fig. 8.17 → Rapporti HVSR ed SSR relativi alla stazione Rv15 localizzata a Colle di Roio tendopoli ottenuti sulla media di 35 terremoti.

La stazione Rv6, utilizzata come stazione di Riferimento per entrambe le configurazioni, pur essendo stata selezionata in base alle misure di rumore ambientale che non presentano significativi valori HVSR, ha mostrato degli HVSR con valori significativi, ma comunque non superiori a 3, intorno a 3 Hz e 7 Hz.

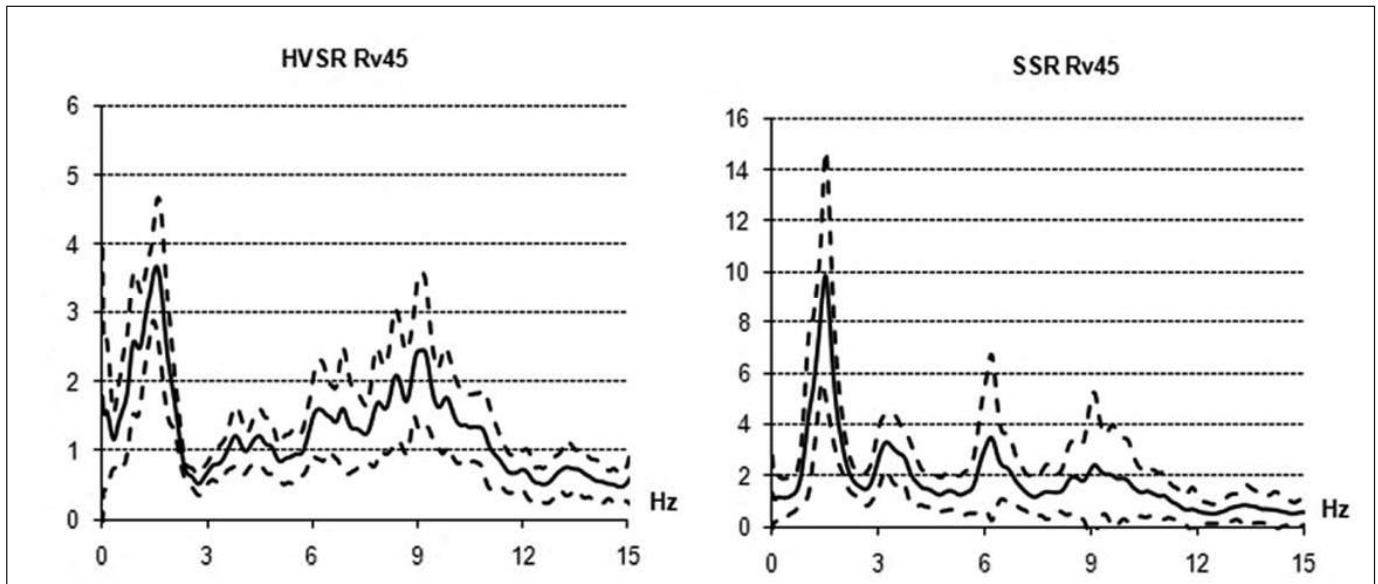


Fig. 8.18 → Rapporti HVS ed SSR relativi alla stazione Rv45 localizzata a Santa Rufina ovest ottenuti sulla media di 36 terremoti.

Ciò in accordo con quanto risultato dalle registrazioni ottenute dalla vicina stazione velocimetrica INGV-FRR3 (Fig.8.16).

La stazione Rv15 (Colle di Roio tendopoli) mostra valori degli HVS significativi intorno a 3 Hz, confermati dai valori dei rapporti al Riferimento (SSR) (Fig.8.17).

La stazione Rv45 (Santa Rufina W) presenta un picco ben definito alla frequenza di 1.3 Hz sia in base agli HVS che agli SSR e, data la risposta piatta del Riferimento intorno a questa frequenza, è possibile considerare il valore del picco di SSR, che risulta pari a circa 10, una stima attendibile dell'amplificazione locale del moto per frequenze intorno ad 1 Hz, sempre per il già citato intervallo di magnitudo (Fig.8.18). Un'analisi degli HVS è stata condotta per tutte le stazioni ottenendo una media rispetto a più terremoti aventi la stessa area sorgente (valutata in base ai dati del *web-site* INGV) e distinguendo, in base alle forme d'onda osservate, gli eventi locali non ubicati dalla Rete Sismica Nazionale; tale analisi ha messo in evidenza che nelle stazioni strumentate la risposta sismica è sostanzialmente indipendente dalla posizione della sorgente (Fig.8.19).

In aggiunta alle registrazioni ottenute mediante le reti velocimetriche temporanee ENEA, sono stati acquisiti, quali dati pregressi, i risultati in termini di HVS relativi alle stazioni sismometriche INGV FRR6 (Santa Rufina cimitero), FRR5 (Roio Piano), FRR4 (Colle di Roio dorsale) quest'ultima ribadita dalla stazione accelerometrica CERI-UniRoma1 Q330. Si è ritenuto di interesse considerare le registrazioni delle stazioni INGV in quanto, essendo in operatività nei giorni immediatamente successivi al *mainshock* del 6 Aprile, hanno registrato anche terremoti di magnitudo >4, ovvero più elevata di quella dei terremoti registrati dalle stazioni ENEA.

In particolare, la stazione FRR6 mostra un picco a 1.2 Hz, in analogia al valore di frequenza risultante dalla stazione Rv45, che conferma l'omogeneità della risposta sismica relativa alla microzona omogenea SA4 (Tav. 8-IV) nell'area dell'abitato di Santa Rufina. Infine, entrambe le stazioni FRR5 e FRR4 mostrano un picco HVS intorno a 4 Hz.

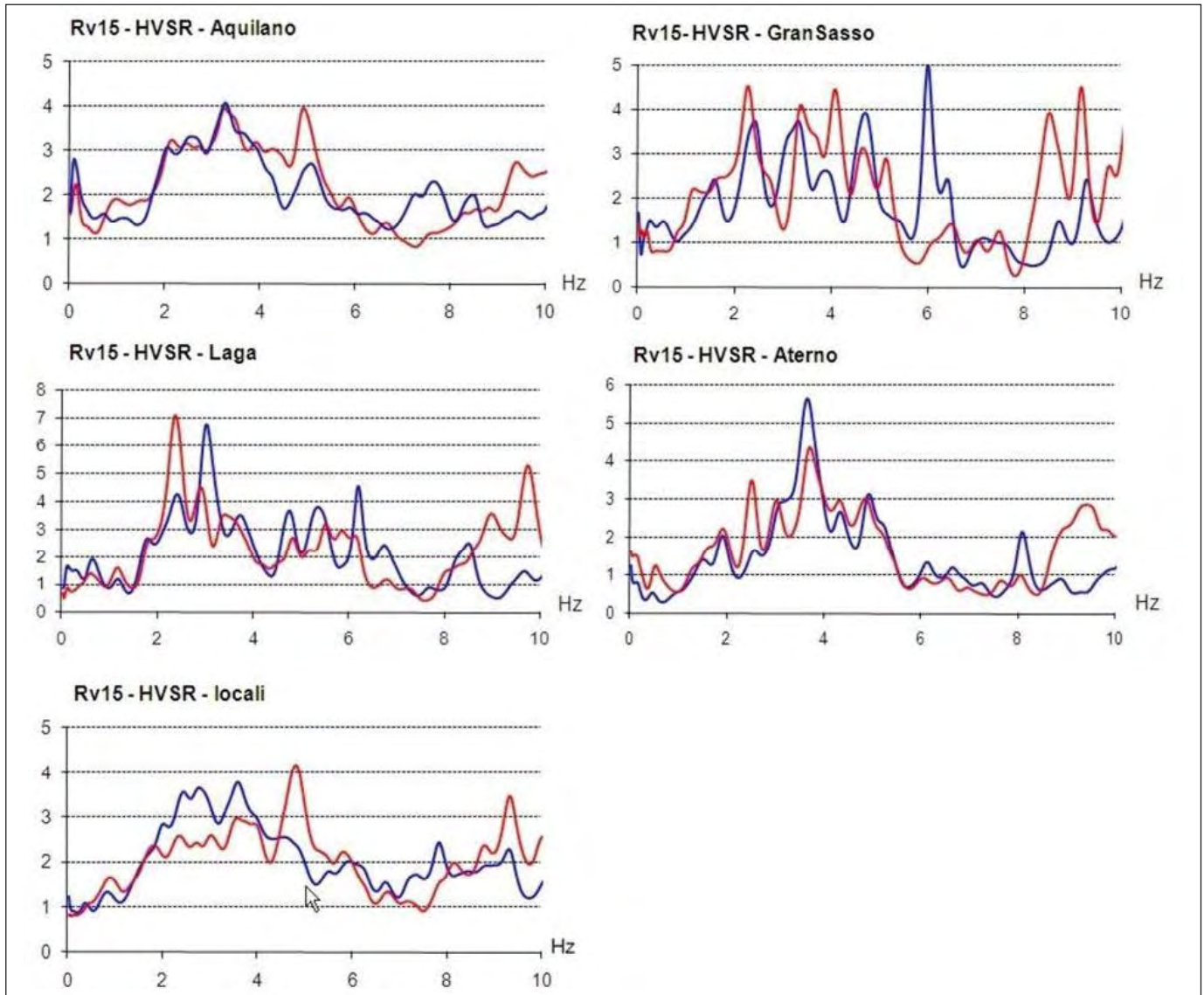


Fig. 8.19 → Esempio di confronto tra rapporti HVSr distinti per componenti (NS – blu; WE – rosso) ottenuti alla stazione Rv15 per terremoti di differente provenienza.

#### 8.4.3.3 Derivazione delle mappe di isocinetiche relative ai valori di velocità delle onde S riferibili all'intera colonna di depositi alluvionali

In base ai valori ottenuti dalle misure gravimetriche e da quelle sismometriche effettuate in corrispondenza della piana di Roio, sono stati derivati i valori di velocità delle onde S ( $V_{s\_eq}$ ) riferibili all'intera colonna di depositi alluvionali sovrapposti al substrato rigido (*bedrock*) costituito dai calcari mesozoici (Fig. 8.20 e cfr. Tav. 8-II, DvD allegato).

I valori delle  $V_{s\_eq}$  sono stati ottenuti mediante una correlazione empirica tra i valori di profondità del tetto dei calcari, risultanti dalla indagini gravimetriche, e le frequenze di risonanza corrispondenti al primo picco HVSr, ottenuti con le misure di rumore sismico (cfr § 8.5.3).

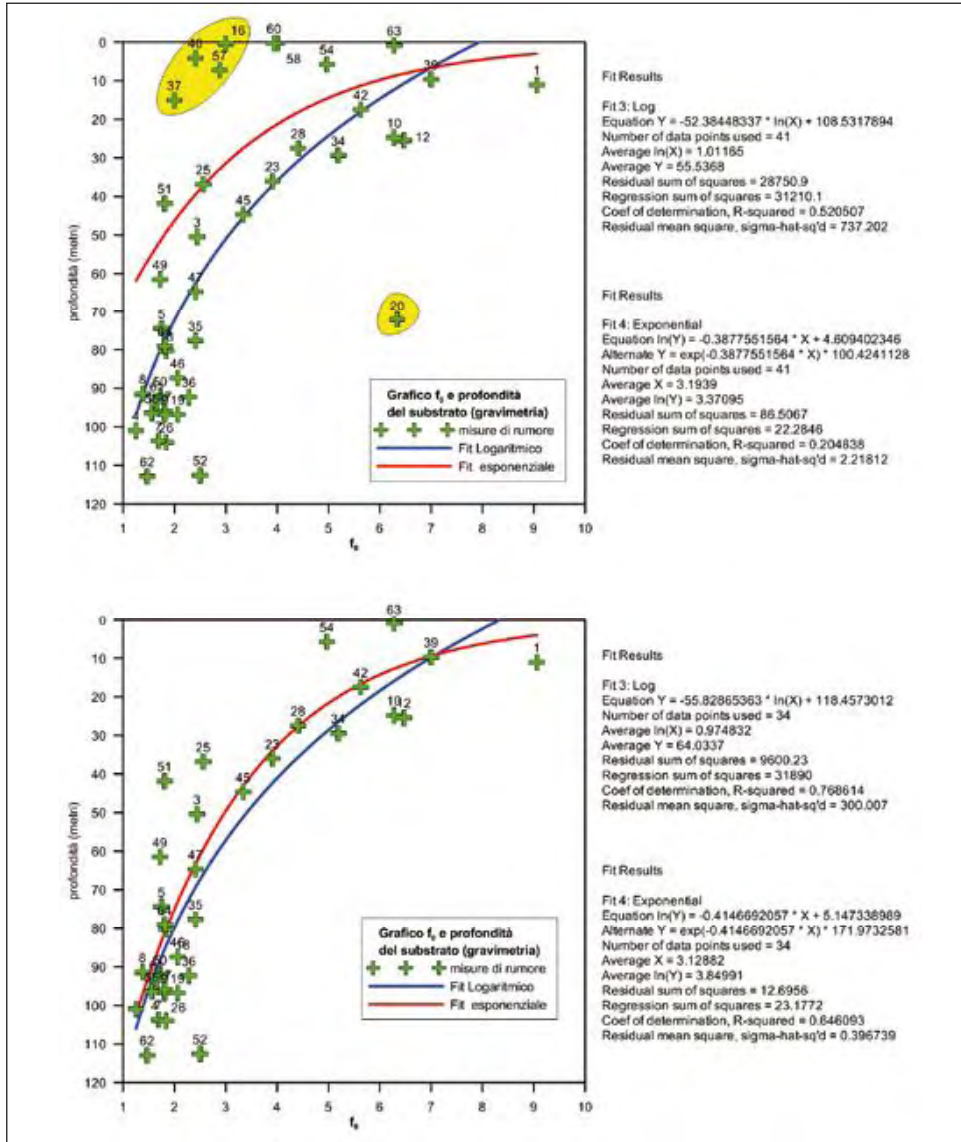


Fig. 8.20 → Funzioni di *best fit* ottenute correlando i valori di  $f_0$  da misure di rumore ed i valori di spessore dei depositi alluvionali sovrapposti al substrato rigido.

Questa correlazione ha il vantaggio di essere costruita sulla base di due tipologie di indagine geofisica del tutto indipendenti e, di conseguenza, essa consente anche di individuare eventuali valori spuri il cui significato può essere messo in relazione a specifiche condizioni geologico-tecniche dei depositi presenti (Fig. 8.20). L'analisi dei dati correlati evidenzia, nella maggior parte delle stazioni, un *trend* alquanto regolare di decremento delle frequenze con l'aumento degli spessori dei depositi, seppure con gradienti variabili, che raggiungono valori minimi per spessori superiori ai 60 m. Si osserva, inoltre, che alcune stazioni (37, 40, 57, 16) si scostano significativamente dal sopra descritto *trend*. Tutte le suddette stazioni corrispondono ad un settore posto al margine occidentale della Conca di Roio, dove le indicazioni stratigrafiche e le indagini dinamiche in foro indicano l'esistenza di depositi argillosi superficiali (primi 10 m) molto lenti, ovvero caratterizzati da  $V_s < 300$  m/s (Fig. 8.20). Tale effetto, se da un lato mantiene valori di contrasto di impedenza

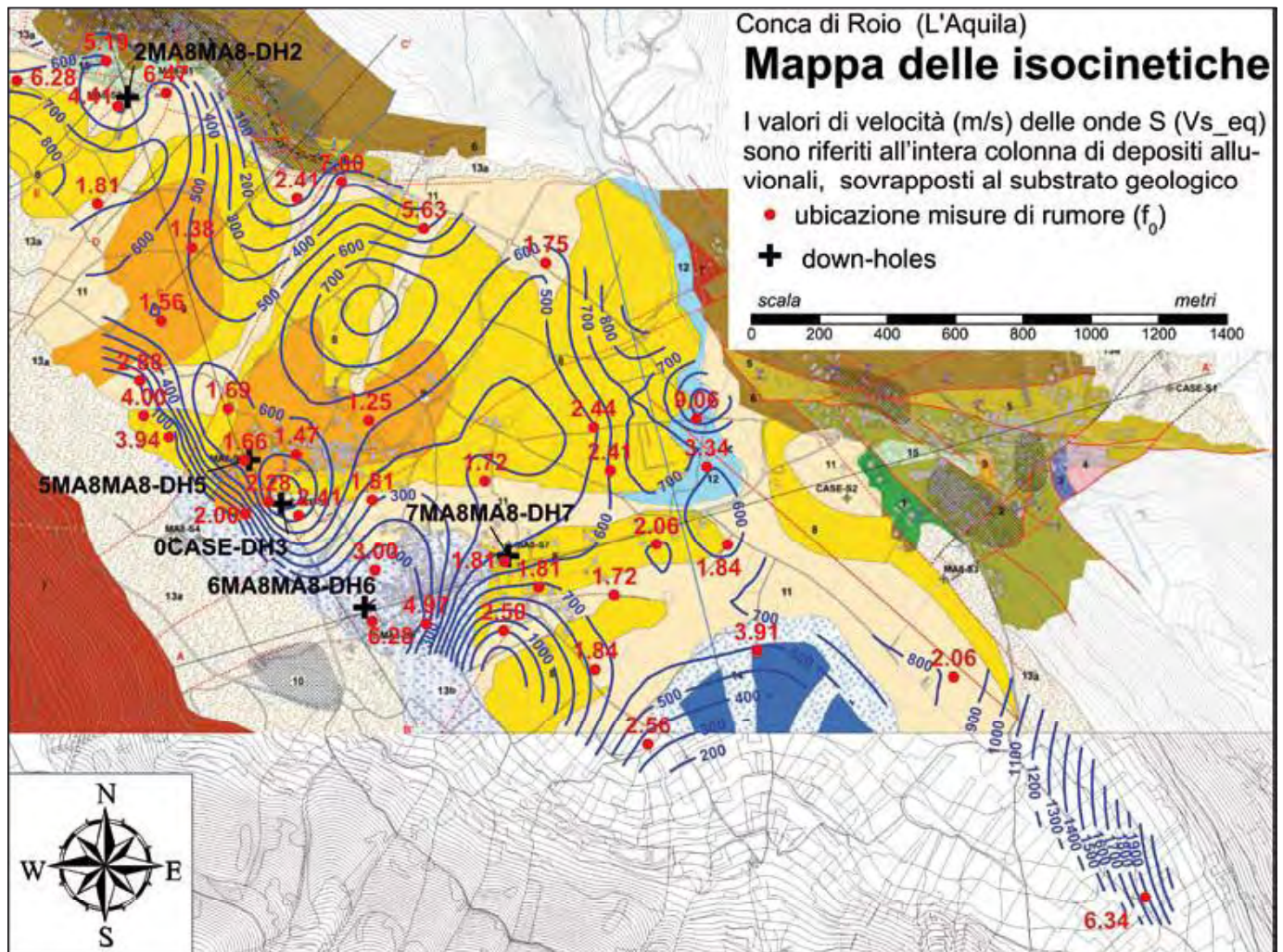


Fig. 8.21 → Mappa delle isocinetiche ottenuta per la Conca di Roio.

con il sottostante *bedrock* significativamente elevati, dall'altro produce, anche in presenza di spessori cospicui di deposito soffice, un minor gradiente di riduzione delle frequenze di risonanza all'aumentare dello spessore dei depositi. Altro dato spurio è rappresentato dalla stazione 20, posta in prossimità del margine sud-orientale della Conca di Roio, verosimilmente affetto da anomalie di risposta dovute a depositi ben più rigidi ed eterogenei, costituiti da detriti eterometrici di versante a composizione carbonatica (Fig. 8.20).

Escludendo i suddetti dati spuri, tra le diverse funzioni di *best fit* ottenute in base a regressioni ai minimi quadrati, è stata scelta una funzione logaritmica che si mantiene asintotica rispetto ai minimi valori di spessore dei depositi soffici ed il cui massimo scarto, valutato rispetto ad una funzione esponenziale con scarto quadratico medio comparabile, è inferiore ai 30 m, in termini di spessore, e di meno di 1 Hz in termini di frequenza.

La funzione di correlazione empirica così ottenuta è stata utilizzata per calcolare, in corrispondenza di ogni punto di misura sismometrica (quindi a frequenza di risonanza nota), la  $V_{s\_eq}$  dello spessore dei depositi risonanti, ovvero la  $V_s$  assunta costante per l'intera colonna di depositi. A tal fine, il dato puntuale

di frequenza ottenuto dagli HVSR è stato invertito tramite la funzione analitica di *best fit* in quello di spessore, ricavando infine, con la formula del quarto d'onda, il corrispondente valore di  $V_{s\_eq}$ . Il *contouring* dei valori di  $V_s$  così determinati ha consentito di ottenere la mappa delle isocinetiche riferita alla Conca di Roio che integra il quadro conoscitivo delle caratteristiche dinamiche dei depositi soffici, specie in assenza di dati stratigrafici e di geofisica in foro (vedi zone di espansione di Santa Rufina e Roio Piano) (Fig. 8.21).

Alcune considerazioni di carattere descrittivo possono essere tratte dall'osservazione della mappa risultante ed in particolare:

- una marcata differenza nei valori delle  $V_s$  si registra soprattutto tra il settore nord-occidentale e quello sud-orientale della piana;
- l'esistenza di una zona di minimo delle  $V_s$  (con valori prossimi a 400 m/s) risulta localizzata tra gli abitati di Santa Rufina e Roio Piano, con elongazione circa NE-SW;
- l'esistenza di una zona di massimo delle  $V_s$  risulta presso l'abitato di Santa Rufina, con valori che superano localmente i 650 m/s.

## 8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 3)

La Carta di Microzonazione sismica per la Macroarea 8 (livello 3) è stata ottenuta a partire dalla Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (cfr. Tav. 8IV, DvD allegato), considerando i risultati delle misure strumentali (cfr. § 8.5.3) e delle simulazioni numeriche (cfr. § 8.6), ed individua microzone amplificative omogenee caratterizzate da specifici fattori  $FA_{ICMS}$  ed  $FV_{ICMS}$  e zone stabili, vale a dire con valori di  $FA_{ICMS}$  ed  $FV_{ICMS}$  minori o uguali ad 1.

Per ciascuna microzona i valori dei fattori considerati sono stati derivati dalla modellazione numerica 1D o 2D relativa ai siti ritenuti rappresentativi della microzona stessa.

In particolare, su un'unica base cartografica sono state riportate le carte di microzonazione relative ai settori di Roio Piano-Santa Rufina e Colle di Roio (Tav. 8-VI, DvD allegato) per i quali sono state anche prodotte le carte tematiche relative ai fattori  $FA_{ICMS}$  ed  $FV_{ICMS}$  (Tav. 8-VII, Tav. 8-VIII, DvD allegato). Per il settore di Poggio di Roio non sono stati prodotti i tematismi relativi ai fattori  $FA_{ICMS}$  ed  $FV_{ICMS}$  in quanto, contrariamente a quanto previsto nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, le misure velocimetriche non hanno evidenziato fenomeni di amplificazione connessi alla presenza di ammassi rocciosi intensamente fratturati (zona SA8 p.p.), di coltri eluvio colluviali (zona SA6 p.p.) o di detriti di versante (zona SA3 p.p.). Nel seguito, pertanto, si descrivono per i soli settori di Roio Piano-Santa Rufina e Colle di Roio i criteri adottati per la costruzione della carta di microzonazione sismica. Le zone sono state numerate in ordine crescente per valori di  $FA_{ICMS}$ , come previsto da ICMS.

### 8.5.1 Simulazioni numeriche

La modellazione numerica della RSL relativa al sito della Macroarea 8 è stata condotta conformemente alle indicazioni di ICMS ed alle soluzioni metodologiche indicate nel Capitolo 4 – Parte II di questo volume. In partico-

lare, le simulazioni numeriche sono state condotte solo in corrispondenza delle MOPS, definite al livello 1 (crf. § 8.3 e Tav. 8-IV, DvD allegato), per le quali le indagini sismometriche hanno messo in evidenza significativi effetti amplificativi.

Di conseguenza, sono state analizzate mediante simulazione 1D, con il codice di calcolo SHAKE, 6 colonne di suolo riferite rispettivamente ai siti di Colle di Roio (area di ammassamento - CR3), Santa Rufina (centro abitato - RSR), Roio Piano (centro abitato - RP), Santa Rufina\_sud (zona di espansione - RSR\_sud), Roio Piano\_est (zona di espansione - RP\_est), Roio Piano\_ovest (base versante - RP\_ovest); i primi tre siti corrispondono, rispettivamente, ai punti sondaggio DH2, DH5, DH6 mentre, dei restanti tre, RSR\_sud e RP\_est sono estrapolati dalle stratigrafie di sondaggio CASE e DH7 e RP\_ovest da osservazioni geologiche di sito. Per la sola località di Colle di Roio dorsale è stata effettuata una modellazione 2D, condotta con approccio FDM mediante il codice di calcolo FLAC 6.0. Tale scelta è motivata dalla necessità di simulare, in questo specifico caso, una RSL in corrispondenza di una dorsale carbonatica eterogenea per lo stato di fratturazione degli ammassi rocciosi in essa presenti ed anisotropa per ciò che attiene il loro assetto strutturale. La simulazione 2D è stata condotta lungo le due sezioni geologico-tecniche Colle di Roio\_1 e Colle di Roio\_2, rispettivamente ottenute a partire dalle sezioni geologiche E-È e C-C' riportate nella carta geologica allegata (Tav. 8-III). Concordemente a quanto concertato con i GdL delle altre macroaree, in tutte le simulazioni numeriche è stato utilizzato un solo input tra quelli resi disponibili nell'ambito del presente progetto, ed, in particolare, quello coerente con la pericolosità sismica di base (PGA di 0.261 g) e reso compatibile con lo spettro di normativa ad *hazara* uniforme (file *norm.txt*). Poiché tale input presenta il minor valore di PGA tra quelli resi disponibili, la sua scelta risulta essere la più conservativa ai fini simulativi in termini di valutazione dei fattori di amplificazione sismica.

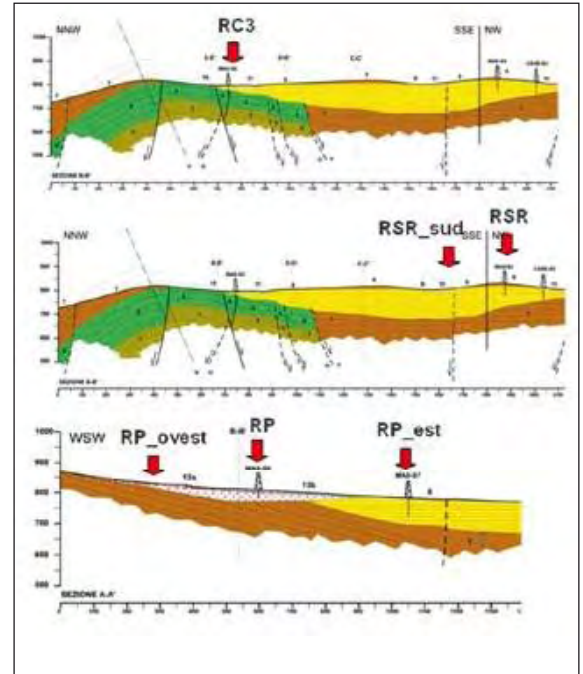


Fig. 8.22 → Modelli geologici di sottosuolo considerati per le colonne di terreno simulate con SHAKE 1D.

### 8.5.1.1 Modelli geologici del sottosuolo utilizzati per le simulazioni numeriche

Sia per le simulazioni 1D, sia per quelle 2D, i modelli geologici di sottosuolo presi a riferimento derivano dall'insieme delle indicazioni desunte dalle indagini geologiche e geologico-tecniche e dalle indagini geofisiche (sia di superficie, sia in foro). In tale senso l'input sismico è stato applicato alle colonne di terreno simulate al tetto del *bedrock*, la cui profondità è stata dedotta sulla base delle misure gravimetriche effettuate nell'area (crf § 8.5.1).

In particolare, per ciò che attiene le colonne di terreno simulate con approccio 1D, sono state riprodotte le seguenti litostratigrafie (Figg. 8.22-23-24-25):

1. CR3: 2 strati viscoelastici su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 19 m) parametrizzati in base ai dati di Down Hole del sondaggio DH2 ed ai campioni M8\_S2 C2 ed M8\_S2 C3;
2. RSR: 2 strati viscoelastici su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 90 m) parametrizzati in base ai dati di Down Hole del sondaggio DH5, alla correlazione dei dati gravimetrici e sismometrici ottenuta per i depositi dell'intera conca (crf. § 8.5) ed ai campioni M8\_S2 C3 ed M8\_S3 C4;

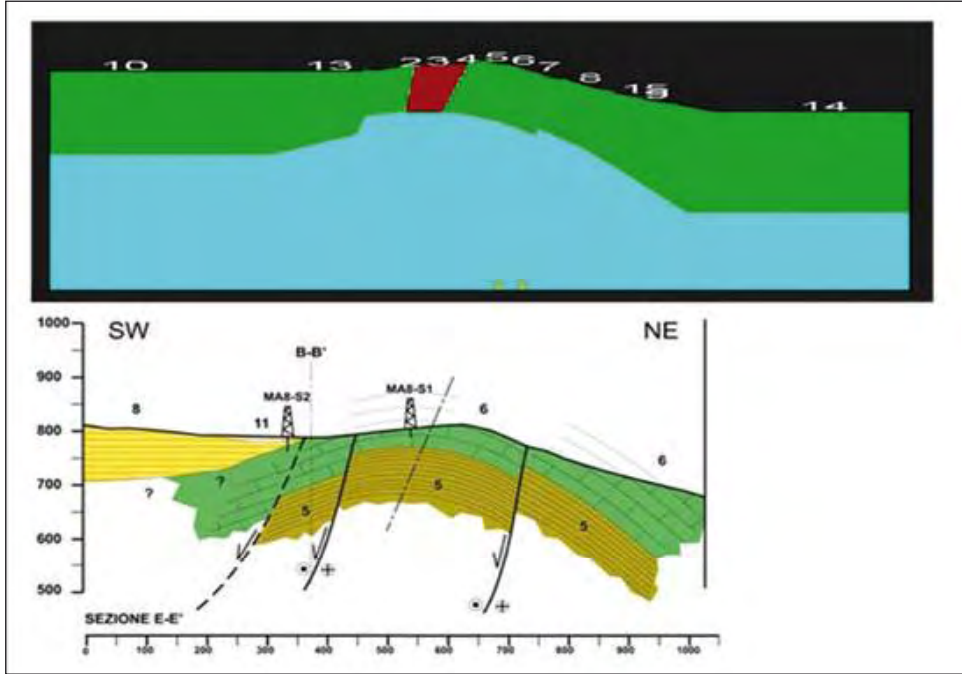


Fig 8.23 → Modello geologico di sottosuolo considerato per la sezione di Colle di Roio\_1 simulata con FLAC.

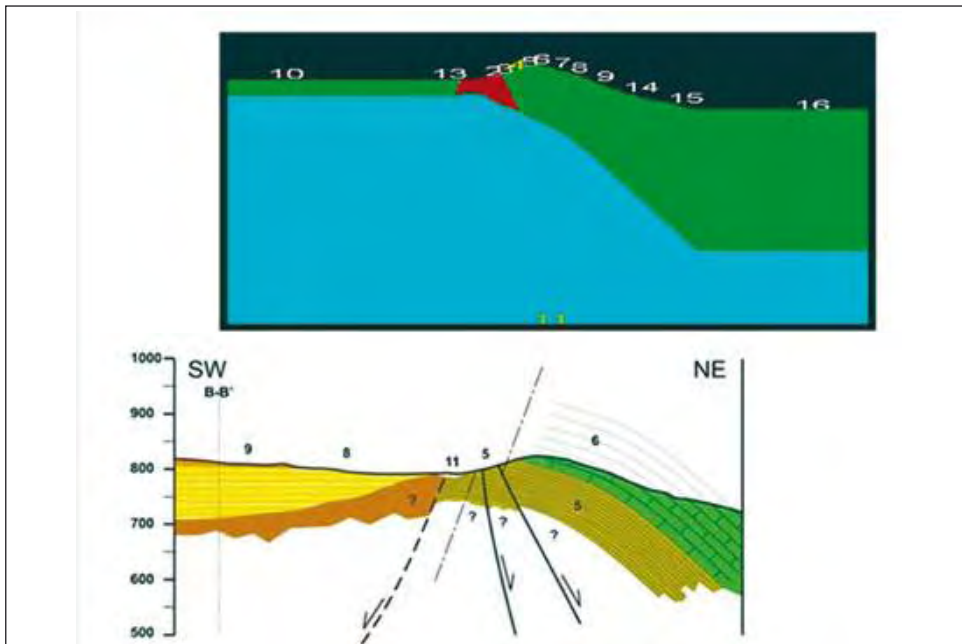


Fig. 8.24 → Modello geologico di sottosuolo considerato per la sezione di Colle di Roio\_2 simulata con FLAC.



3. RP: 2 strati (il primo viscoelastico ed il secondo elastico) su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 14 m) parametrizzati in base ai dati di Down Hole del sondaggio DH6, alla correlazione dei dati gravimetrici e sismometrici ottenuta per i depositi dell'intera conca (cfr. § 8.5) ed al campione M8\_S2 C2;
4. RSR\_sud: 1 strato viscoelastico su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 55 m) parametrizzati in base ai dati di Down Hole del sondaggio CASE, alla correlazione dei dati gravimetrici e sismometrici ottenuta per i depositi dell'intera conca (cfr. § 8.5) ed al campione M8\_S3 C4;
5. RP\_est: 1 strato viscoelastico su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 75 m) parametrizzati in base ai dati di Down Hole del sondaggio DH7, alla correlazione dei dati gravimetrici e sismometrici ottenuta per i depositi dell'intera conca (cfr. § 8.5) ed al campione M8\_S3 C4;
6. RP\_ovest: 1 strato (elastico) su *bedrock* elastico (spessore dei depositi 9 m) parametrizzato in base ai dati di Down Hole del sondaggio DH6 ed alla correlazione dei dati gravimetrici e sismometrici ottenuta per i depositi dell'intera conca (cfr. § 8.5).

Fig. 8.25 → Proprietà geomeccaniche utilizzate nei modelli numerici.

Colle Roio - dorsale		model	den kg/m <sup>3</sup>	n	E Pa	K Pa	G Pa	Vs Pa	jcch Pa	jfr °
Calcareniti a Punti Rossi		elastic	2450	0.25	3.51E+09	2.34E+09	1.40E+09	757	1.46E+06	54
Lapideo intensamente fratturato in zona di cerniera		elastic	2450	0.25	1.01E+09	6.74E+08	4.05E+08	406	8.50E+05	47
Lapideo stratificato del bedrock		elastic	2450	0.25	3.92E+09	2.61E+09	1.57E+09	800	/	/

CR3					RSR					RP				
strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0	strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0	strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0
1	5.5	21.4	250	M8_S2 C2	1	18.0	21.4	650	M8_S2 C2	1	5.0	21.4	200	M8_S2 C2
2	13.5	19.6	400	M8_S2 C3	2	72.0	19.7	650	M8_S3 C4	2	9.0	22	350	linear
bedrock		26.0	800	linear	bedrock		26.0	800	linear	bedrock		26.0	800	linear

RSR_sud					RP_est					RP_ovest				
strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0	strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0	strato	spessore m	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s	G/G <sub>0</sub> D/D0
1	55.0	19.7	430	M8_S3 C4	1	75.0	19.7	620	M8_S3 C4	1	9.0	22	350	linear
bedrock		26	800	linear	bedrock		26	800	linear	bedrock		26	800	linear

Per ciò che attiene, invece, alle simulazioni 2D, entrambe le sezioni Colle di Roio\_1 e Colle di Roio\_2 sono state riprodotte nel modello numerico mediante discretizzazione a maglia quadra con risoluzione di 3 m, atta a garantire, in base alle caratteristiche geomeccaniche delle litologie simulate, una risoluzione in frequenza fino a 15 Hz (Figg. 8.23, 8.24).

Le litologie presenti lungo le due sezioni consistono in ammassi rocciosi fratturati (cfr § 8.4.2) che sono stati trattati quali mezzi equivalenti continui, ovvero mezzi omogenei le cui proprietà di resistenza meccanica e deformabilità sono state dedotte a partire dalle determinazioni speditive di campagna e dalle misure geomeccaniche precedentemente riportate. In particolare, attenendosi alle linee guida adottate per il presente studio di MS, tutti i valori di deformabilità dinamica sono stati proporzionati ad un valore di *bedrock* rigido pari a 1.57GPa e corrispondente, nello specifico, ad un valore di  $V_s$  pari a 800 m/s, come si evince dai valori dei parametri utilizzati per la simulazione in questione riportati in figura 8.25. Per ri-

spondere all'esigenza simulativa di rendere i margini del modello sufficientemente distanti dal settore di interesse per lo studio di risposta sismica locale, i margini laterali sono stati allontanati dall'area di dorsale introducendo delle topografie piane di circa 250 m di estensione. Inoltre, per rispondere ad un'analoga esigenza, il modello numerico è stato approfondito di circa 250 m rispetto al contatto geologico con l'unità litotecnica dei calcari di base (costituenti il *bedrock* sismico).

Le simulazioni sono state condotte imponendo, su tutti i margini, condizioni di frontiera assorbente che, concordemente alle indicazioni metodologiche del **Capitolo 4 – Parte II di questo volume**, hanno comportato l'applicazione di un input alla base sotto forma di sollecitazione di taglio, ovvero mediante applicazione del velocigramma, derivato dalla *time history* accelerometrica di riferimento e filtrato passa-banda nell'intervallo di frequenze 1-15 Hz. Come concordato con i GdL delle altre macroaree, il suddetto input è stato applicato assumendo, in prima approssimazione, un'incidenza normale rispetto al margine inferiore del modello.

Per tutte le unità litotecniche considerate è stato assunto un comportamento reologico di tipo viscoelastico, attribuendo una legge di smorzamento di tipo *Damping Rayleigh* con una frequenza di centratura a 3 Hz pari ad uno smorzamento di 0.08%, tale da garantire uno smorzamento pari a circa l'1% nell'intero intervallo di frequenza simulato (ovvero 1-15 Hz).

Lungo entrambe le sezioni sono state distinte le seguenti unità litotecniche, applicando, dove necessario, degli accorpamenti litologici a partire dalle sezioni geologiche di riferimento (**Fig. 8.25**):

- calcareniti a punti rossi;
- lapideo intensamente fratturato in zona di cerniera;
- lapideo stratificato del *bedrock*.

La zonazione dei modelli geologico-tecnici è stata predisposta, inoltre, in modo da tenere in considerazione le principali anisotropie di ammasso, ovvero quelle legate all'assetto strutturale rilevabile alla scala dell'intera dorsale carbonatica e, dunque, relazionato ai motivi tettonici (anticlinale e faglie dirette) intercettati lungo le sezioni geologiche di riferimento.

Più in particolare, lungo la sezione Colle di Roio\_1 si osserva la presenza di una struttura anticlinale centrata rispetto al rilievo morfologico e, dunque, con una cerniera all'incirca corrispondente con la sua sommità topografica. Lungo questa sezione, inoltre, è stata riprodotta la presenza di una zona a più intensa fratturazione in corrispondenza con la zona di cerniera della struttura anticlinale, le cui proprietà geomeccaniche sono state attribuite in analogia a quelle misurate per i calcari marnosi affioranti, più a sud, in zona di cerniera della medesima struttura plicativa.

### 8.5.1.2 Risultati ottenuti

I risultati delle simulazioni numeriche sono stati restituiti in termini di fattori di amplificazione sismica  $FA_{ICMS}$  ed  $FV_{ICMS}$  definiti da ICMS; più in particolare, per le due sezioni Colle di Roio\_1 e Colle di Roio\_2 sono stati analizzati gli output numerici in corrispondenza di 14 ricevitori posti sulla superficie topografica del modello, mentre per le colonne di suolo 1D è stato analizzato il solo output al piano campagna.

Per il computo dei succitati parametri, gli output delle modellazioni numeriche sono stati restituiti come spettri di risposta costruiti con 100 punti nell'intervallo 0-4 s (**Figg. 8.26, 8.27, 8.28**).

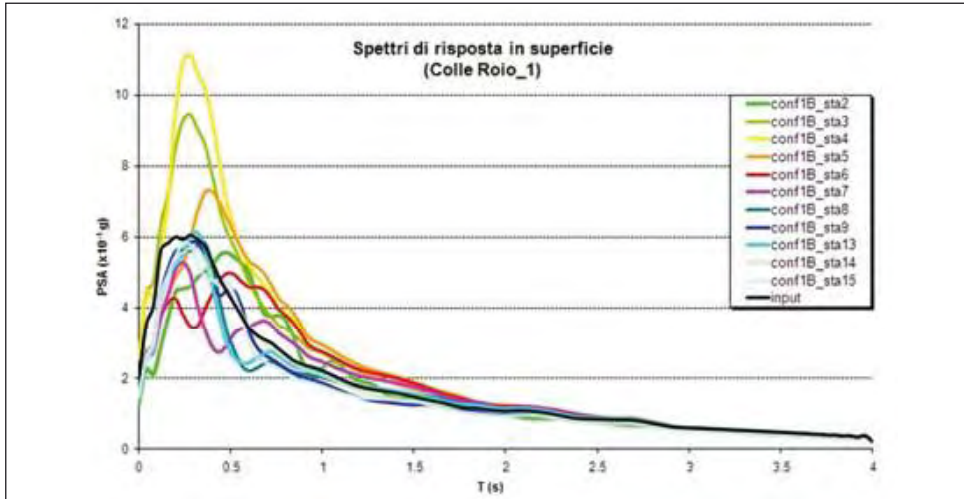


Fig. 8.26 → Spettri di risposta in pseudoaccelerazione ottenuti in superficie per 14 ricevitori dalla simulazione 2D con FLAC della sezione Colle di Roio\_1.

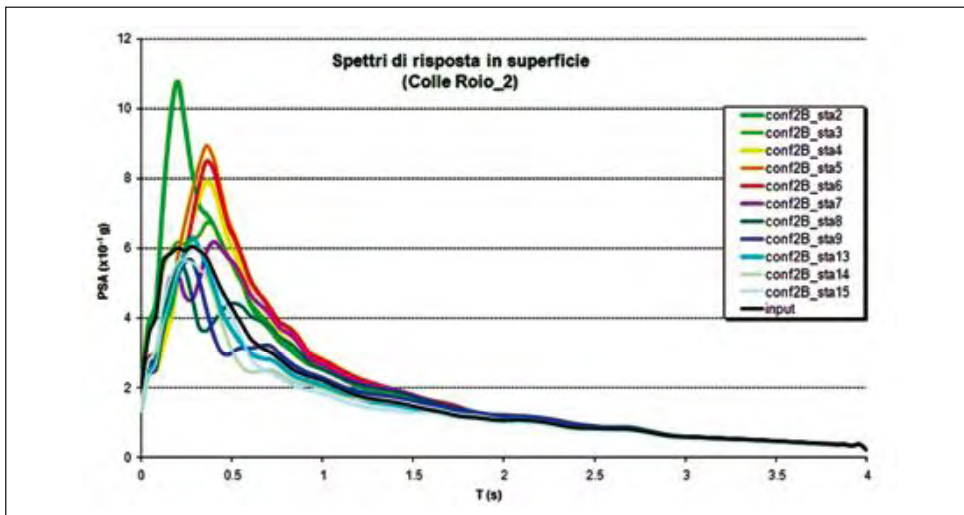


Fig. 8.27 → Spettri di risposta in pseudoaccelerazione ottenuti in superficie per 14 ricevitori dalla simulazione 2D con FLAC della sezione Colle di Roio\_2.

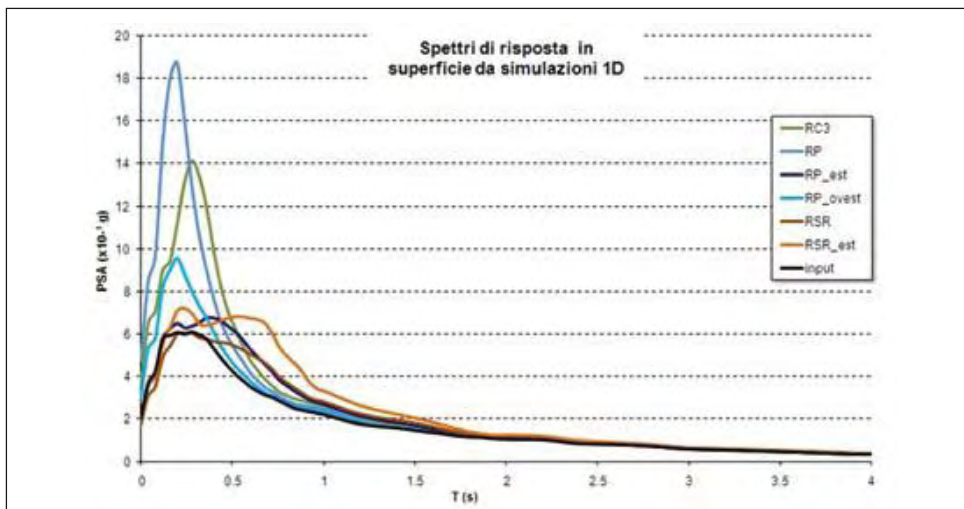


Fig. 8.28 → Spettri di risposta in pseudoaccelerazione ottenuti dalla simulazione 1D con SHAKE per le 6 colonne analizzate.

Fig. 8.29 → Fattori di amplificazione sismica e parametri per la linearizzazione degli spettri di risposta ottenuti in output secondo ICMS.

	RC1_2	RC1_3	RC1_4	RC1_5	RC1_6	RC1_7	RC1_8	RC1_9	RC1_13	RC1_14	RC1_15
modello numerico	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D
codice numerico	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC
FA <sub>ICMS</sub>	1.79	1.12	1.27	0.54	0.89	0.40	1.45	0.92	0.88	1.06	0.78
FV <sub>ICMS</sub>	3.04	1.14	1.33	0.64	1.63	0.37	1.76	0.92	0.99	1.07	0.79
T <sub>A_max</sub>	0.48	0.28	0.28	0.40	0.48	0.24	0.36	0.28	0.32	0.28	0.28
T <sub>V_max</sub>	0.60	0.36	0.40	0.84	0.84	0.84	2.16	0.52	2.16	0.48	0.52
T <sub>C</sub>	0.66	0.40	0.41	0.46	0.71	0.36	0.47	0.39	0.44	0.39	0.39
T <sub>B</sub>	0.22	0.13	0.14	0.15	0.24	0.12	0.16	0.13	0.15	0.13	0.13
T <sub>D</sub>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

	RC2_2	RC2_3	RC2_4	RC2_5	RC2_6	RC2_7	RC2_8	RC2_9	RC2_13	RC2_14	RC2_15
modello numerico	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D
codice numerico	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC	FLAC
FA <sub>ICMS</sub>	1.56	1.03	1.15	1.28	1.22	1.09	1.71	0.80	0.91	0.78	0.83
FV <sub>ICMS</sub>	1.16	1.32	1.47	1.62	1.55	1.31	3.13	0.79	0.93	0.70	0.94
T <sub>A_max</sub>	0.20	0.36	0.36	0.36	0.36	0.40	0.20	0.28	0.28	0.24	0.32
T <sub>V_max</sub>	0.52	0.52	0.40	0.40	0.40	0.84	0.84	2.16	2.16	2.16	2.12
T <sub>C</sub>	0.29	0.50	0.50	0.49	0.50	0.47	0.71	0.38	0.40	0.35	0.44
T <sub>B</sub>	0.10	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.24	0.13	0.13	0.12	0.15
T <sub>D</sub>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

	RC3	RSR	RSR_sud	RP	RP_est	RP_ouest
modello numerico	1D	1D	1D	1D	1D	1D
codice numerico	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
FA <sub>ICMS</sub>	2.19	0.97	1.11	3.04	1.06	1.68
FV <sub>ICMS</sub>	1.65	1.38	1.76	1.81	1.34	1.08
T <sub>A_max</sub>	0.28	0.24	0.24	0.20	0.40	0.20
T <sub>V_max</sub>	0.32	0.68	0.68	0.24	0.56	0.40
T <sub>C</sub>	0.29	0.56	0.55	0.08	0.47	0.15
T <sub>B</sub>	0.10	0.19	0.18	0.03	0.16	0.05
T <sub>D</sub>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

- RC1\_n\* - Colle di Roio (dorsale)
- RC2\_n\* - Colle di Roio (dorsale)
- RC3 - Colle di Roio (tendopoli)
- RP - Roio Piano (centro abitato)
- RP\_est - Roio Piano (area espansione)
- RP\_ouest - Roio Piano (versante)
- RSR - Roio S.Rufina (centro abitato)
- RSR\_sud - Roio S.Rufina (area espansione)

I valori ottenuti sono restituiti in Fig. 8.29 dove vengono, inoltre, forniti i valori dei periodi corrispondenti ai picchi degli spettri di risposta in pseudoaccelerazione ed in pseudovelocità (rispettivamente  $T_{A_{max}}$  e  $T_{V_{max}}$ ), ottenuti da simulazione numerica ed i parametri per la linearizzazione degli spettri di risposta simulati, in accordo con la procedura indicata in ICMS.

### 8.5.1.3 Discussione dei risultati

La validazione dei risultati numerici fin qui esposti è stata effettuata in base ai dati delle misure sismometriche effettuate e pregresse (cfr § 8.2.1, 8.5.3), rispettivamente nelle zone rilevate ed in quelle di piana presenti nell'area di Roio (Fig. 8.30).

I risultati delle simulazioni numeriche 1D (Fig. 8.29) effettuate sulle colonne di suolo relative ai siti RC3, RSR, RP, RSR\_sud, RP\_est e RP\_ouest mostrano significative amplificazioni ( $FA_{ICMS} > 2$ ) in corrispondenza dei soli siti RC3 e RP.

In quest'ultimo caso, tuttavia, gli elevati valori di amplificazione a circa 5 Hz sono essenzialmente dovuti ai primi 5 m di depositi argilloso-limosi particolarmente lenti (con  $V_s < 300$  m/s).

Per ciò che attiene alle simulazioni 2D effettuate lungo le sezioni Colle di Roio\_1 e Colle di Roio\_2, le soluzioni numeriche sono state trovate sotto tre diverse ipotesi simulate, che rispondono all'esigenza

interpretativa di analizzare fattori e/o effetti condizionanti la RSL simulata. In particolare, le tre ipotesi simulative assunte sono state:

- dorsale omogenea ed isotropa con la presenza del solo calcare di base (*bedrock* sismico);
- dorsale eterogenea ed isotropa con distinzione delle tre unità litotecniche individuate mediante la loro rispettiva caratterizzazione geomeccanica;
- dorsale eterogenea ed anisotropa con distinzione delle tre unità litotecniche individuate mediante la loro rispettiva caratterizzazione geomeccanica e con considerazione dell'anisotropia principale, legata all'assetto strutturale, mediante l'introduzione di piani di debolezza isorientati (giunti) a comportamento elasto-plastico (differenziati per le diverse zone del modello).

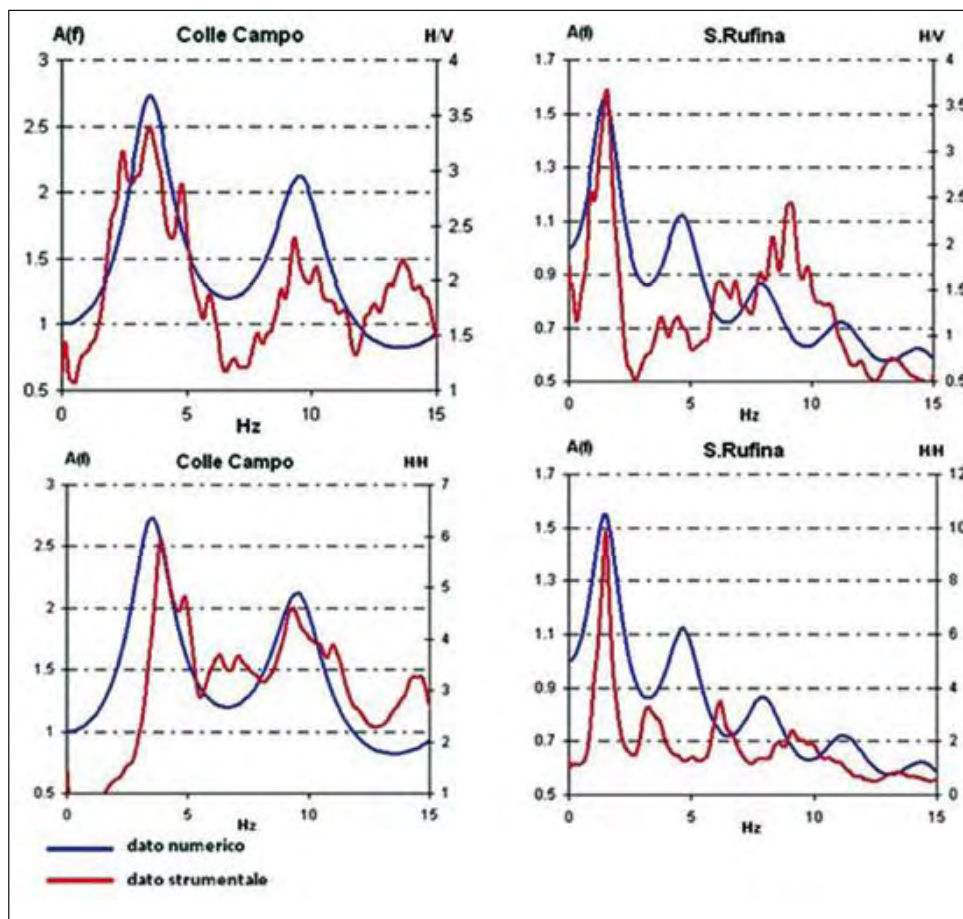


Fig. 8.30 → Confronto tra le funzioni di trasferimento numeriche 1D e i dati sperimentali relativi ai rapporti HVSR e SSR ricavati da registrazioni di terremoti, per le stazioni Rv15 ed Rv45 dell'ENEA.

Quest'ultima ipotesi rappresenta, nel suo insieme, le condizioni geologico-tecniche più di dettaglio ricostruite lungo le due sezioni modellate. In particolare, la sezione Colle di Roio\_1 presenta uno spessore delle unità litotecniche sovrastanti il *bedrock*, dato dai calcari di base, che si mantiene pressoché costante, a meno di dislocazioni per faglia dell'ordine delle decine di metri, e pari a circa 150 m.

Le anisotropie attribuite alle unità litotecniche lungo la sezione Colle di Roio\_1 hanno inclinazioni variabili tra 8° e 0° gradi nella zona di cerniera localizzata circa alla sommità della dorsale, e fino a quasi 45°,

in corrispondenza del versante orientale della dorsale stessa. Diversamente, lungo la sezione Colle di Roio\_2, la struttura anticlinale esistente presenta una zona di cerniera prossima alla base occidentale della dorsale, in corrispondenza della quale affiorano calcari marnosi intensamente fratturati. Inoltre, a differenza dalla precedente sezione, lo spessore delle unità litotecniche sovrastanti i calcari del *bedrock* non si mantiene costante e varia da circa 50 m a circa 150 m spostandosi da ovest ad est.

Analogamente a quanto detto per la sezione Colle di Roio\_1, anche le anisotropie attribuite alle unità litotecniche lungo la sezione Colle di Roio\_2 hanno inclinazioni variabili da 0° (strati sub orizzontali in zona di cerniera alla base del versante) a quasi 45° (strati pendenti ad est in corrispondenza dei versanti occidentale ed orientale della dorsale).

I risultati ottenuti (Fig. 8.29) dimostrano, in generale, l'esistenza di un debole effetto amplificativo topografico alla frequenza di circa 3 Hz che ben si evince dai modelli omogenei ed isotropi realizzati lungo le due sezioni considerate. L'inserimento delle eterogeneità (con o senza anisotropie) porta ad ottenere, in aggiunta al succitato effetto di amplificazione topografica, un effetto amplificativo con un picco nell'intervallo di frequenza 4-5 Hz per la sezione Colle di Roio\_1 e 4-6.5 Hz per la sezione Colle di Roio\_2 in corrispondenza delle zone di cerniera di entrambe le sezioni simulate. I valori di  $FA_{ICMS}$  ottenuti in tutti i ricevitori considerati non superano 2.

I risultati numerici ottenuti con la modellazione numerica 2D, effettuata per la dorsale di Colle di Roio, sono del tutto congruenti con il quadro amplificativo ricostruito in base alle misure di rapporti HVSR effettuate con i sensori velocimetrici SS1, nonché con i dati di HVSR ottenuti da registrazioni di terremoti mediati su alcune decine di eventi dalla postazione accelerometrica INGV di Colle di Roio (cfr § 8.5.3).

Tali dati, infatti, dimostrano che la distribuzione areale dei massimi HVSR osservati nella banda di frequenza 4-6 Hz in corrispondenza della dorsale di Colle di Roio ben corrisponde alla localizzazione della cerniera dell'anticlinale su cui la dorsale stessa risulta strutturata.

In definitiva, il modello di risposta sismica locale ottenuto per la dorsale di Colle di Roio dà risalto all'adiacenza di zone di cerniera ad intensa fratturazione (qui fortemente controllate dall'assetto strutturale) con zone di ammasso da mediamente a poco fratturato, quale condizione capace di produrre amplificazioni locali del moto sismico; pur se tale evidenza non è direttamente riferibile a fenomeni di moto intrappolato, in base ai risultati degli studi qui presentati, essa costituisce un utile criterio di zonazione in termini di risposta sismica locale.

## 8.5.2 Carta del settore di Roio Piano - Santa Rufina

All'interno di questo settore le indagini strumentali hanno confermato la suddivisione in zone amplificative proposta nella carta delle MOPS ad eccezione della zona SA1, che è stata ulteriormente suddivisa.

Si descrivono di seguito, in maggior dettaglio, le microzone individuate nel settore in questione:

- **Zona Z7** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA5 e corrisponde alla fascia di detrito di versante di spessore metrico direttamente poggiante su *bedrock*, localizzata a SE degli abitati di Santa Rufina e Roio Piano. Data l'impossibilità logistica di effettuare misure sismometriche, l'analisi di risposta sismica di questa zona è stata condotta solo su base numerica, adottando il modello di sottosuolo derivante dalle indagini geologiche e geologico-tecniche; in base alle funzioni di trasferimento ottenute

numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 5.5 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.68, un  $FV_{ICMS}$  di 1.08 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.20 s.

- **Zona Z1** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA4 e corrisponde al settore caratterizzato da sabbie su limi argillosi di spessore maggiore di 15 m, localizzato in corrispondenza dell'abitato di Santa Rufina. In base alle funzioni di trasferimento ottenute numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 1.5 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 0.97, un  $FV_{ICMS}$  di 1.38 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.24 s.
- **Zona Z9** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA2 e corrisponde al settore caratterizzato da limi-argillosi e detrito di versante di spessore complessivo entro i 15 m poggianti su *bedrock*, localizzato in corrispondenza dell'abitato di Roio Piano. In base alle funzioni di trasferimento ottenute numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 5.0 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 3.04, un  $FV_{ICMS}$  di 1.81 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.20 s.
- **Zona Z2** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA1 e corrisponde al settore localizzato ad est dell'abitato di Roio Piano, caratterizzato da limi argillosi di spessore maggiore di 15 m e  $Vs_{eq} > 500$  m/s (cfr. § 8.5.4). In base alle funzioni di trasferimento ottenute numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 1.8 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.06, un  $FV_{ICMS}$  di 1.34 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.40 s.
- **Zona Z3** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA1 e corrisponde al settore localizzato a sud dell'abitato di Santa Rufina, caratterizzato da limi-argillosi di spessore maggiore di 15 m e  $Vs_{eq} < 500$  m/s (cfr. § 8.5.4). In base alle funzioni di trasferimento ottenute numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 1.2 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.11, un  $FV_{ICMS}$  di 1.76 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.24 s.

### 8.5.3 Carta del settore di Colle di Roio

All'interno di questo settore le indagini strumentali hanno confermato la suddivisione in zone amplificative proposta nella carta delle MOPS, a meno della zona SA6 che, in base alle misure strumentali, è risultata stabile. Tuttavia, le suddette zone sono state ridimensionate arealmente, tenendo conto dei risultati delle misure sismometriche. Sono state distinte, inoltre, mediante un opportuno simbolismo, porzioni delle zone amplificative per le quali si ritengono necessarie ulteriori indagini finalizzate alla definitiva caratterizzazione della risposta sismica.

Si descrivono di seguito, in maggior dettaglio, le microzone individuate nel settore in questione:

- **Zona Z8** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA2, corrispondente a limi argillosi di spessore complessivo entro i 15m poggianti su *bedrock*, localizzata alla base della dorsale di Colle di Roio. In base alle funzioni di trasferimento ottenute numericamente, tale zona risulta amplificativa alla frequenza  $f_c$  di 3.5 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 2.19, un  $FV_{ICMS}$  di 1.65 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.28 s.
- **Zona Z5** - coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA8, corrispondente al lapideo intensamente fratturato, associato alla cerniera dell'anticlinale che caratterizza la struttura geologica della sommità della dorsale su cui sorge l'abitato di Colle di Roio. La zona in oggetto è stata

delimitata in base alla distribuzione delle stazioni velocimetriche per le quali sono stati osservati massimi significativi di HVSR ed è caratterizzata da due porzioni separate da un settore stabile, la più occidentale delle quali comprende l'area del centro storico. Quest'ultima, data l'impossibilità di eseguire misure strumentali, è stata associata solo per estrapolazione alla zona amplificativa adiacente e si ritengono necessarie ulteriori indagini sismometriche finalizzate alla definitiva caratterizzazione della risposta sismica. In base alle funzioni di amplificazione ottenute numericamente, la zona in oggetto risulta amplificativa in un intervallo di frequenze compreso tra 4.0 e 5.5 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.19, un  $FV_{ICMS}$  di 1.23 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.28 s.

- **Zona Z6** – coincide con parte della microzona omogenea in prospettiva sismica SA8, corrispondente al lapideo intensamente fratturato associato alla cerniera dell'anticlinale che caratterizza la struttura geologica alla base della porzione orientale della dorsale su cui sorge l'abitato di Colle di Roio. Data la bassa attendibilità delle misure strumentali effettuate e l'impossibilità di integrarle ai fini del presente studio, la zona è stata caratterizzata solo in base alle simulazioni numeriche 2D e per essa si ritengono necessarie ulteriori indagini sismometriche finalizzate alla definitiva caratterizzazione della risposta sismica. In base alle funzioni di amplificazione ottenute numericamente, la zona in oggetto risulta amplificativa in un intervallo di frequenze compreso tra 4.5 e 6.0 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.56, un  $FV_{ICMS}$  di 1.16 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.20 s.
- **Zona Z4** – corrisponde alla parte sommitale della dorsale su cui sorge l'abitato di Colle di Roio ed è caratterizzata da amplificazioni topografiche non evidenziate dalle misure velocimetriche, ma soltanto dalle modellazioni numeriche 2D. In base alle funzioni di amplificazione ottenute numericamente, la zona, comprendente i settori di dorsale di quota superiore agli 820 m s.l.m. che non rientrano nella zona Z8, risulta amplificativa in un intervallo di frequenze tra 1.0 e 3.0 Hz e ad essa si attribuiscono un  $FA_{ICMS}$  di 1.15, un  $FV_{ICMS}$  di 1.47 ed un  $T_{max}$  dello spettro di pseudoaccelerazione di 0.36 s.

## 8.6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---

Al termine del presente capitolo si ritiene opportuno svolgere alcune considerazioni di carattere generale relative ad alcuni insegnamenti (*lessons learned*) tratti sia a livello metodologico sia di organizzazione della successione temporale e spaziale delle indagini condotte per la microzonazione della conca di Roio.

Le considerazioni possono essere ricondotte a tre aspetti fondamentali.

1. Il primo aspetto è relativo all'identificazione delle metodologie di esplorazione del sottosuolo più idonee, ai fini di microzonazione sismica, in contesti geologici riconducibili ad aree di conca intramontana, in cui le profondità di investigazione di progetto sono superiori al centinaio di metri. Anche in base alla rilettura critica di esperienze pregresse acquisite in contesti simili, e stante la non disponibilità di sezioni dedotte da sismica a riflessione, appare evidente l'efficacia di indagini di tipo gravimetrico sia nella definizione della geometria profonda della struttura, in particolare nella ricostruzione del contatto tra substrato geologico pre-pleiocenico e depositi di riempimento plio-quadernari ad elevata consistenza ai fini della determinazione dello spessore dello strato risonante, sia nel coadiuvare in-



indagine sismometriche ai fini della ricostruzione dei profili di velocità, anche a profondità difficilmente investigabili con le classiche tecniche geofisiche (Down Hole, MASW, ReMi).

2. Il secondo aspetto è connesso all'importanza di un'efficace sequenza temporale delle indagini che consenta di ottimizzare tempi di esecuzione e qualità del dato informativo acquisito. A questo riguardo, come già esposto nell'introduzione, le condizioni di emergenza in cui si è operato non hanno giovato ad un'ottimale pianificazione spazio-temporale e tipologica della gamma di indagini complessivamente disponibile nell'ambito del progetto. Poiché si è preso atto di tale limite durante lo sviluppo stesso delle varie fasi di indagine in sito, si è cercato di supplire a tale carenza con una più flessibile ed ampia fase di elaborazione incrociata dei dati di sottosuolo per l'impostazione delle successive simulazioni numeriche.
3. Quale terzo aspetto, infine, si vogliono porre in luce alcune problematiche riscontrate in sede di rappresentazione cartografica della MS di Livello 3 in termini di sinteticità, efficacia e chiarezza. A questo riguardo, si sottolinea come l'attribuzione a zone distinte per differenti caratteri di omogeneità geologico-tecnica, di parametri dell'amplificazione sismica (FA, FV, Tmax, f<sub>g</sub>) aventi differente significato, non consente l'adozione di un unico criterio di rappresentazione areale dell'incremento del livello di pericolosità locale mediante una singola scala cromatica, a differenza di quanto raccomandato da ICMS.

## Bibliografia

- Coggon J. (1976) - Magnetic and gravity anomalies of polyhedra. *Geophysical Research Letters*, 14, 93-105.
- Di Filippo M., F. D'Offizzi & B. Toro (1983) - Determinazione della densità di alcune formazioni della Toscana meridionale con metodi gravimetrici. *Atti del II Convegno del GNGTS*, 473-481.
- Ferri F., Porfidia B., Coren F. & Zanolta C. (2007) - A new gravity mapping project of Italy at 1:250.000 scale, *Epitome, Geitalia 2007*, vol.2, 474-475.
- Ferri F., Zanolta C., Porfidia B., Coren F., Giori I. & Cesi C. (2008) - La Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:250.000. *Atti XXVII Convegno GNGTS*, 437-438.
- Griffin W. R. (1949) - Residual gravity in theory and practice, *Geophysics*, 14, 39-56.
- Hoek E., Diederichs M. S. (2006) - Empirical estimation of rock mass modulus. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.*, 43, 203-215.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. T., Corkum, B. (2002) - Hoek-Brown failure criterion. 2002 edition. *Proc. North Am. Rock Mech. Soc. Meeting in Toronto in July 2002*.
- ISRM (1978) - Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mass. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr.*, 15, 319-368.
- ISRM (1985) - Suggested methods for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr.*, 22, 51-60.

## Ringraziamenti

*Al termine di un lavoro di grande impegno tecnico-scientifico e logistico e che ha richiesto molteplici apporti culturali e notevole disponibilità da parte di molti, si ritiene doveroso ringraziare:*

- Ernesto Centamore per aver condiviso con noi la sua profonda conoscenza geologica di questo settore dell'Appennino;
- Giuliano Milana per aver reso disponibili i dati sismometrici delle stazioni temporanee INGV e per le proficue informazioni;
- la direzione regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli per aver consentito la partecipazione al GdL dei geologi dell'Area Difesa del Suolo;
- Dario Rinaldis per i numerosi consigli forniti e per aver reso disponibile la strumentazione ENEA;
- Valentina Perilli e Domenico Collalti per aver gentilmente ospitato le stazioni sismometriche ENEA e C.E.R.I. presso le loro abitazioni a Colle di Roio e a Santa Rufina;
- i responsabili e i volontari della Protezione Civile dei centri di Colle di Roio e Santa Rufina per aver reso possibile l'installazione delle stazioni sismometriche ENEA Colle di Roio e Santa Rufina;
- Edoardo Peronace, Bruno Quadrio e Giovanni De Caterini e tutti gli altri tecnici che hanno fornito materiale tecnico prodotto nell'ambito del Progetto C.A.S.E.