

# FIRST LEVEL SEISMIC MICROZONING OF SULMONA (CENTRAL ITALY): MAJOR RESULTS AND EVIDENCES OF 2D/3D AMPLIFICATION

A. PIZZI, L. LUZI, F. GALADINI, E. MICCADEI, T. PIACENTINI, G. PIPPONZI, A. DI DOMENICA, M. BASI, R. CARROZZO, C. DI NISIO, A. A. GOMEZ-CAPERA, M. MASSA, R. PUGLIA, G. SCARASCIA MUGNOZZA, M. SCIARRA, T. URBANO



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE  
ABRUZZO



PROTEZIONE CIVILE  
REGIONE ABRUZZO

Progetto Pilota per la Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Sulmona

## MICROZONAZIONE SISMICA di Livello 1

### RELAZIONE ILLUSTRATIVA

---

## REGIONE ABRUZZO

Comune di  
**Sulmona (AQ)**



Validazione del Tavolo Tecnico MZS Regionale

DIPARTIMENTO DI  
**INGEGNERIA  
E GEOLOGIA** 

**InGEO** Dipartimento di Ingegneria e Geologia  
Università G. d'Annunzio CHIETI-PESCARA

Coordinatore Scientifico del Progetto:  
Prof. Alberto Pizzi (InGEO)

Direzione Gruppi di Lavoro:  
Cartografia Geologica e Geomorfologica:  
Prof. Enrico Miccadei  
Dott. Tommaso Piacentini (InGEO).

Archiviazione Informatica e GIS:  
Dott. Giorgio Pipponzi.

Indagini di Sismologia Storica:  
Dott. Fabrizio Galadini (INGV-AQ).

Indagini HVSr da Microtremore:  
Dott.ssa Lucia Luzi (INGV-MI) 

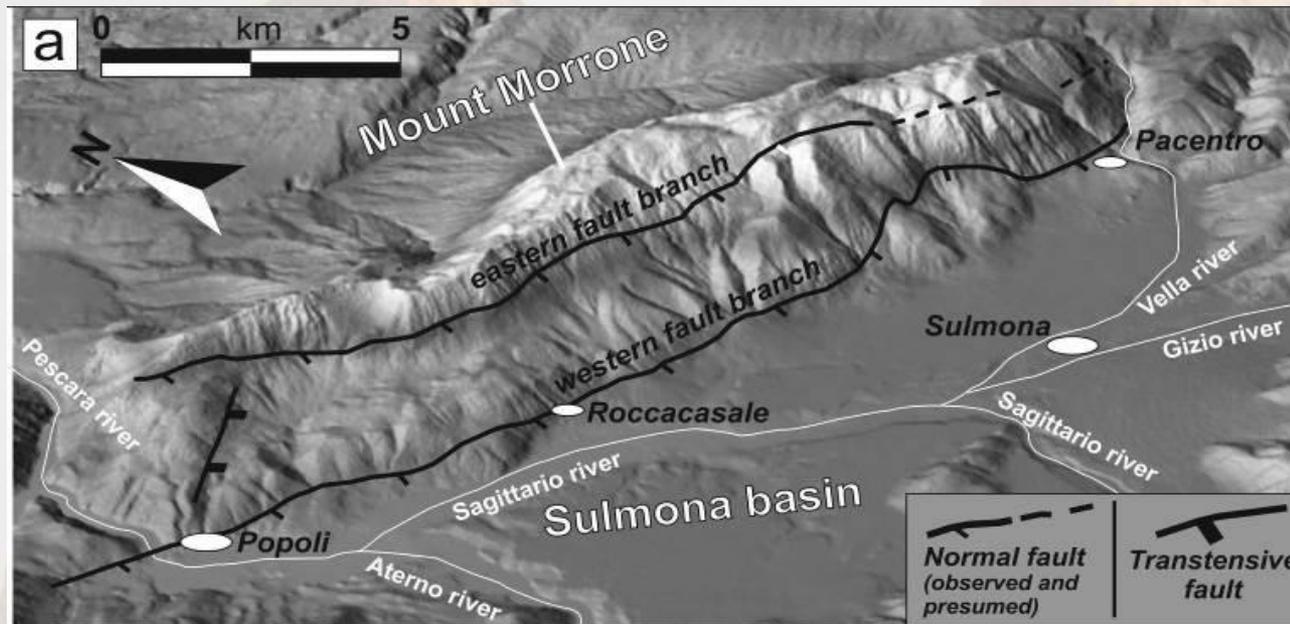
Collaboratori: Dott. Antonio A. Gomez Capera (INGV-MI), Dott. Roberto Carrozzo (Archivio di Stato, Sulmona), Dott.ssa Alessandra Di Domenica (InGEO), Dott.ssa Catia Di Nisio, Marco Massa (INGV-MI), Marco Sciarra (InGEO), Rodolfo Puglia (INGV-MI), Tullio Urbano (InGEO).

GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**



# Bacino tettonico lacustre → attesi importanti effetti di sito

- notevole spessore di depositi fluvio-lacustri al di sopra del bedrock sismico
- Complessa geometria del sottosuolo 2D e 3D



Gori et al., 2014

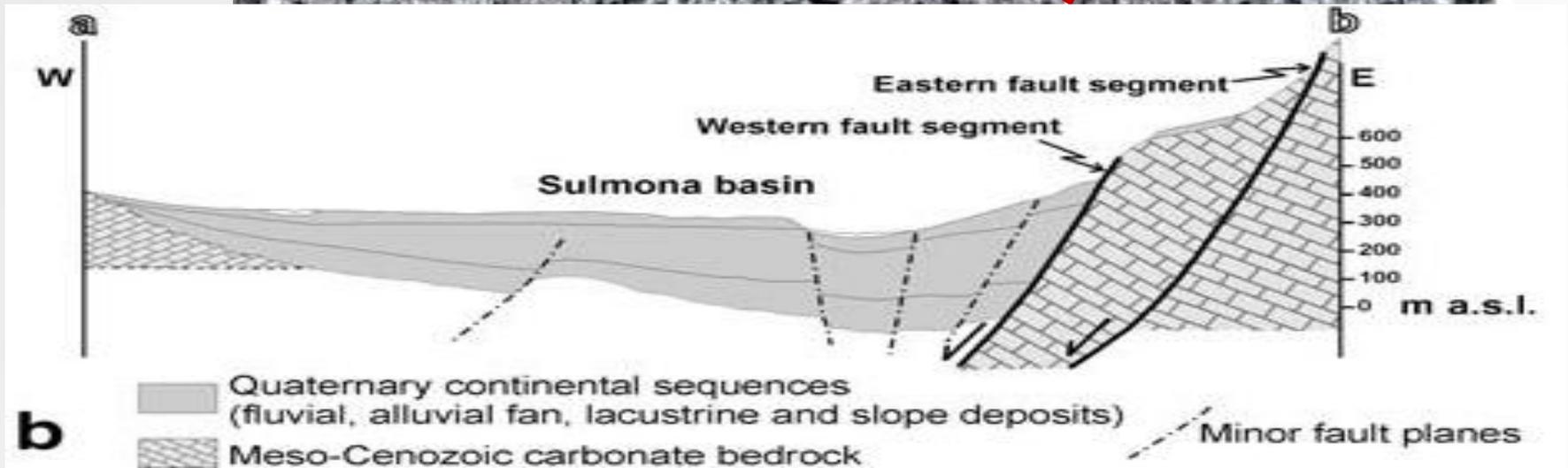
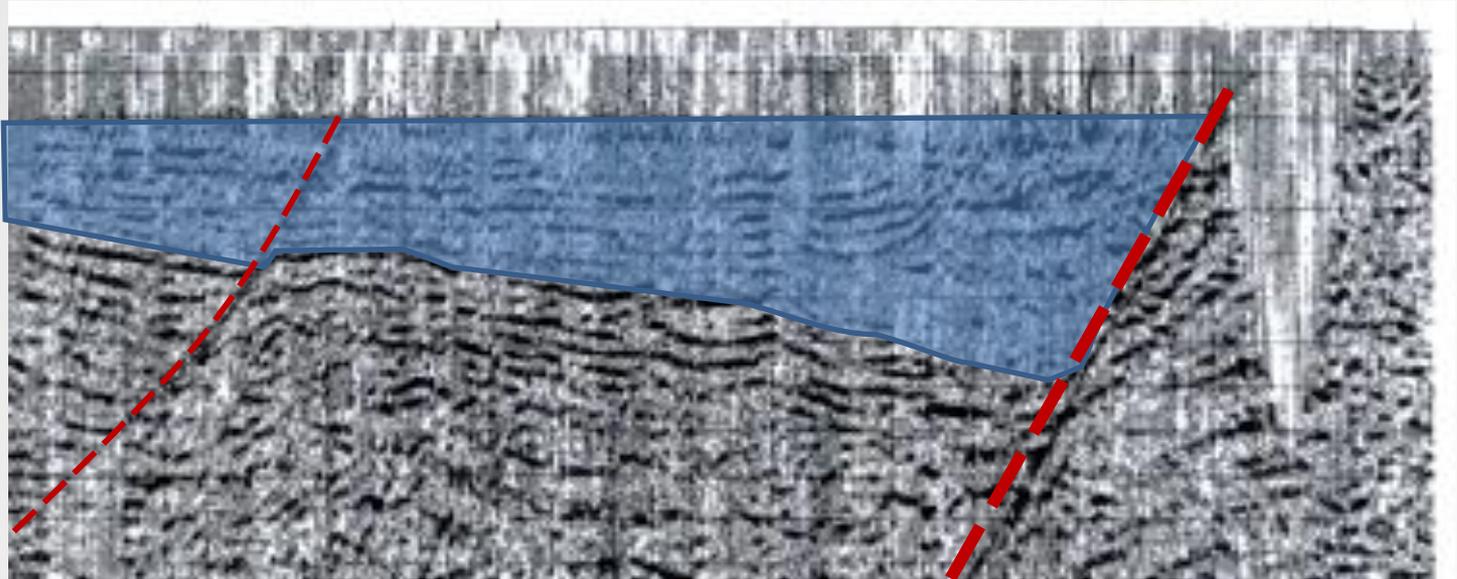


GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**

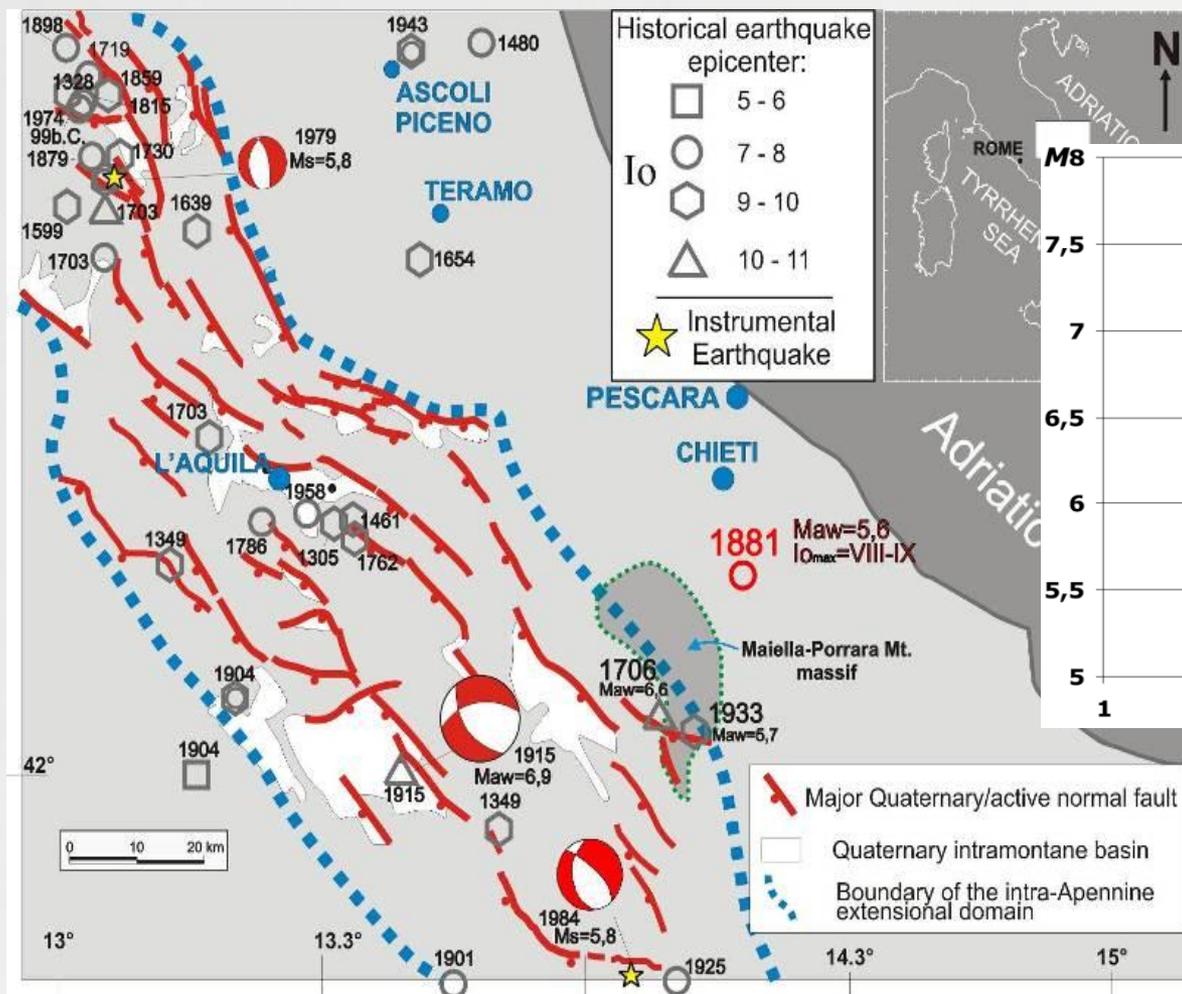


# Bacino tettonico lacustre → attesi importanti effetti di sito

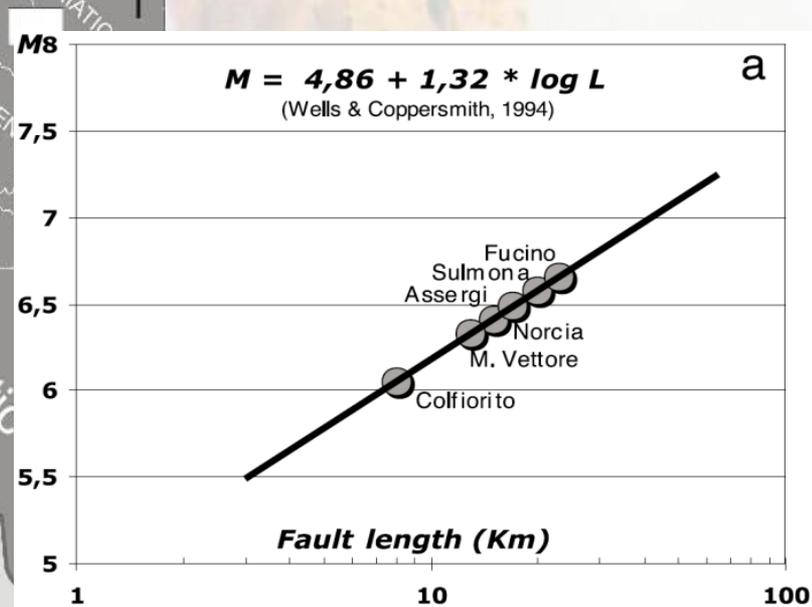
- notevole spessore di depositi fluvio-lacustri al di sopra del bedrock sismico
- Complessa geometria del sottosuolo 2D e 3D



# Pericolosità sismica: sorgente sismogenetica prossima al sito



**$M_{max}$  attesa 6.5-6.7**



Pizzi et al., 2002



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**

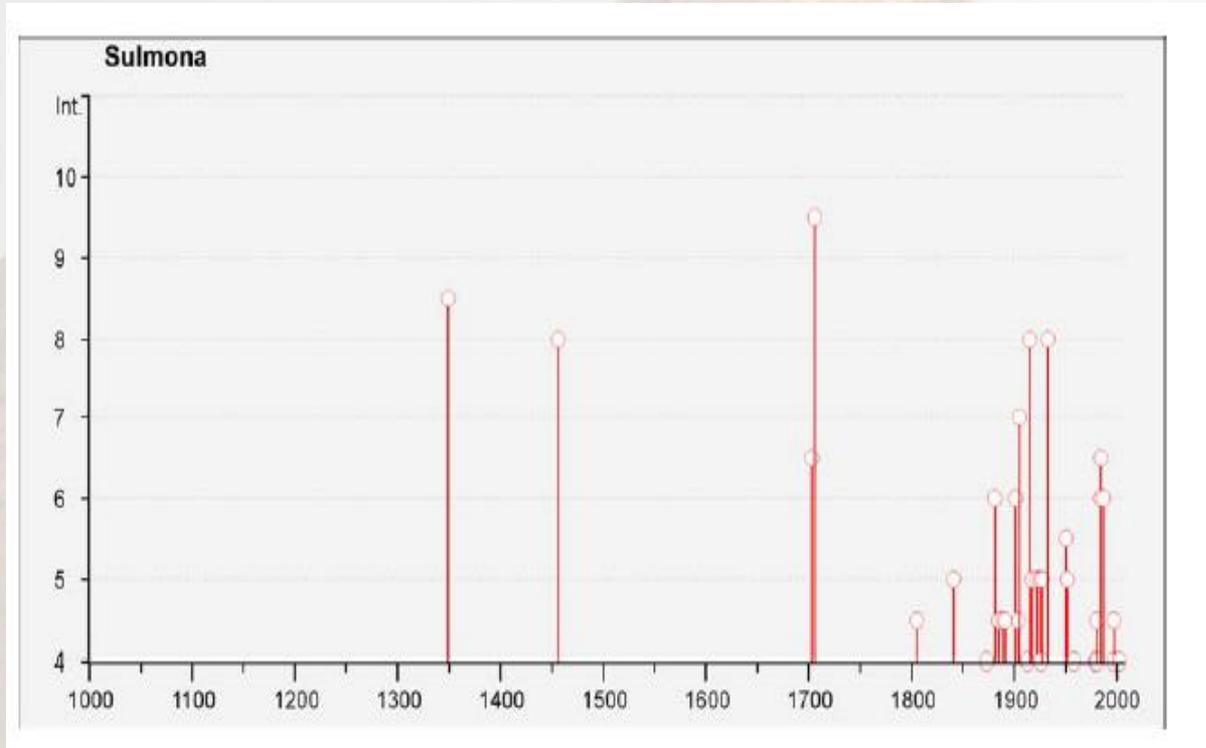


### 3 destructive earthquakes:

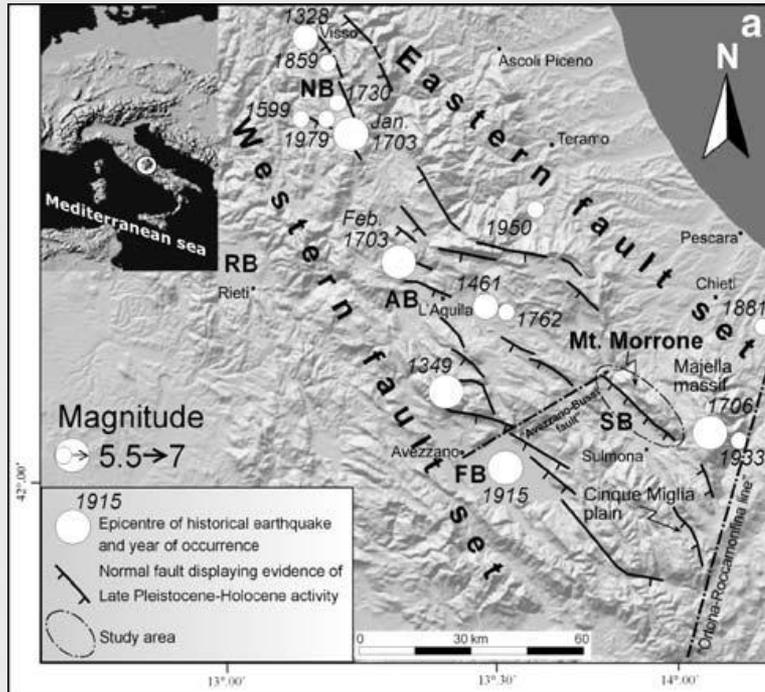
1) second century AD ( $M_w = 6.6$ ; Ceccaroni et al., 2009),

2) November 1706 ( $I_{max} = X/XI$  MCS  $M_w = 6.8$ );

3) September 1933 ( $I_{max} = IX$  MCS,  $M_w = 5.97$ ) (Rovida et al., 2011; Guidoboni et al., 2007).

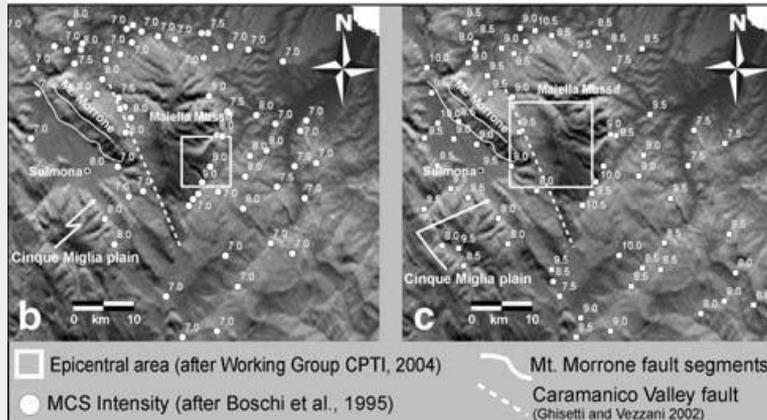


## The epicentral area of the 1706 (b) and 1933 (c) earthquakes do not seem to be related with the activation of the Mt. Morrone normal fault



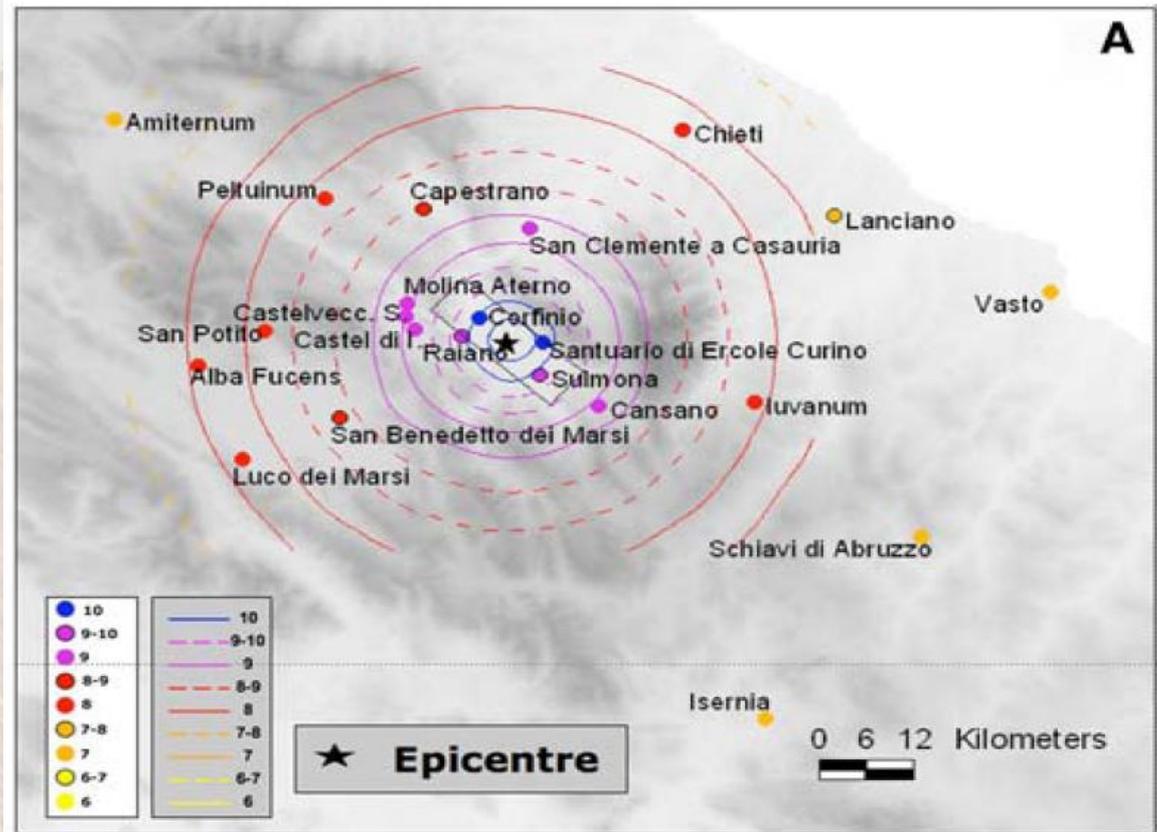
a Seismotectonic framework of the central Apennines (indicated by the white circle in the inset map); the coordinate system of the central Apennine shaded relief is UTM WGS84 and the resolution of elevation data are 100 m. RB—Rieti Basin, NB—Norcia basin, AB—L'Aquila basin, FB—Fucino basin, SB—Sulmona basin. MCS (Mercalli–Cancani–Sieberg scale) intensity of the 1706 (b) and 1933 (c) earthquakes. The black dot-dashed ellipse encircles the Mt. Morrone area

GORI et al., 2009



## Probable activation of the Mt. Morrone fault on the II century A.D.

Comparison of the archaeoseismic evidence distribution with the simulated distribution of virtual intensities and a shaking scenario obtained by modelling the PGA effects (and transforming them in MCS intensities) resulting from the activation of the Mt. Morrone fault.

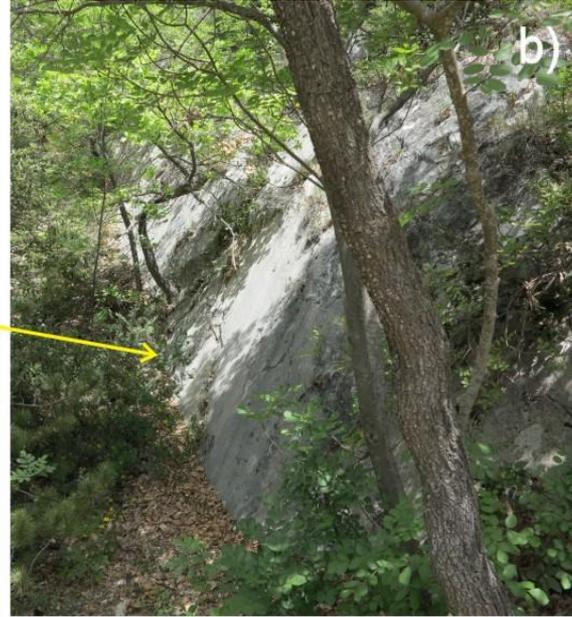
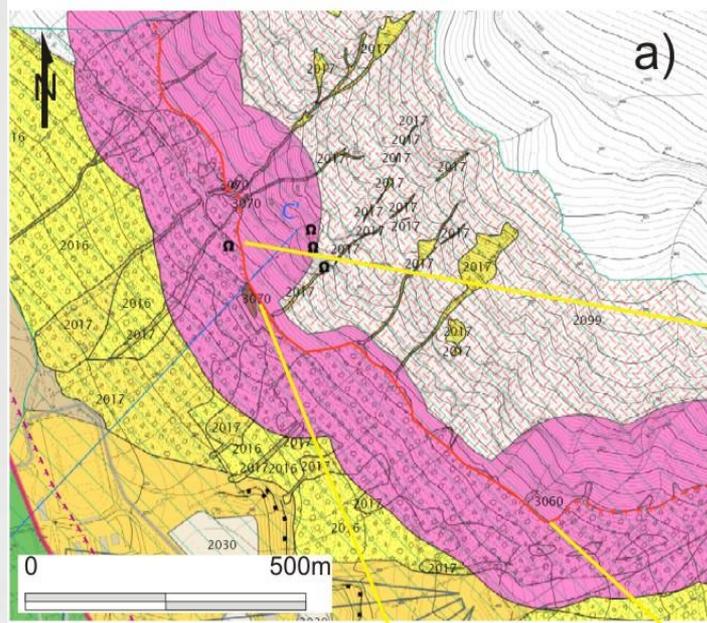


Ceccaroni et al., 2009



# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica- MOPS

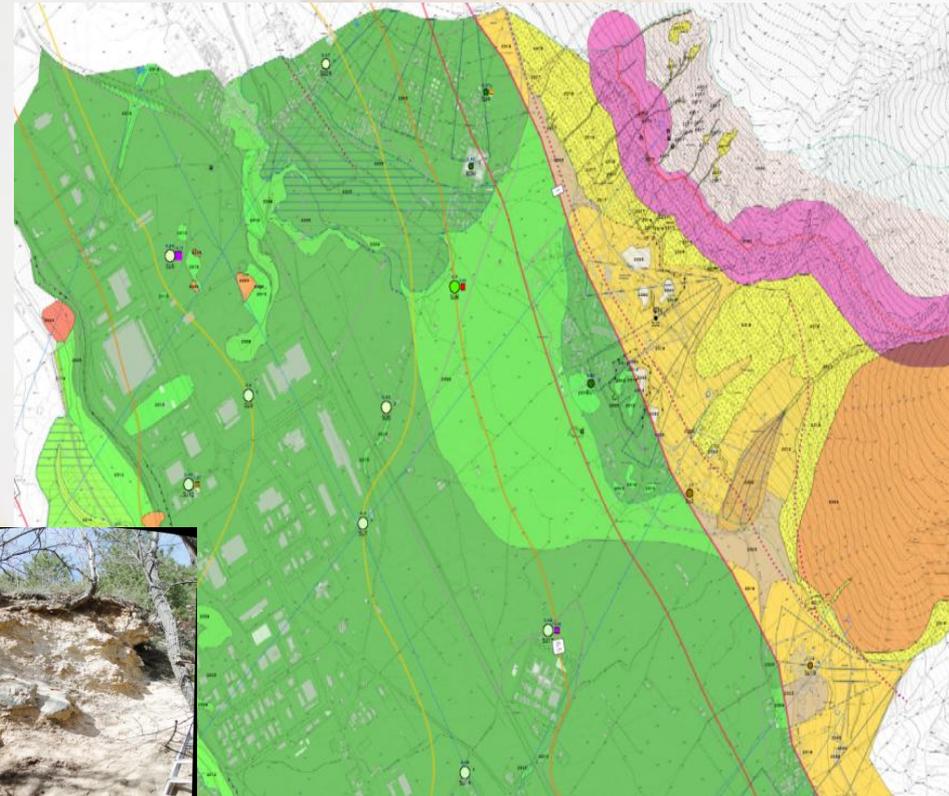
## b) zone suscettibili di instabilità per faglia attiva e capace



*Dimensionamento delle zone suscettibili di instabilità per la faglia diretta attiva e capace del M. Morrone. a) Carta delle MOPS, la fascia rosa (codice 3060) delimita la zona suscettibile di instabilità: 150 m al tetto e 30 m al letto della traccia nei tratti dove la faglia ha una "traccia certa", ad es., specchio di faglia affiorante, come per i siti in b), c, d); 150 m + 150 m, nei settori, invece, dove la faglia ha una "traccia incerta".*

# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS

*b) zone suscettibili di instabilità per faglia attiva e capace  
Il problema degli splay...*



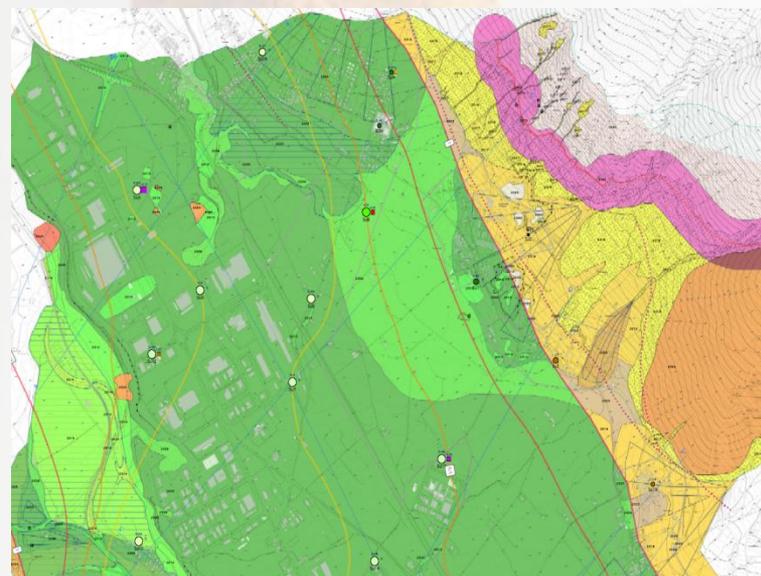
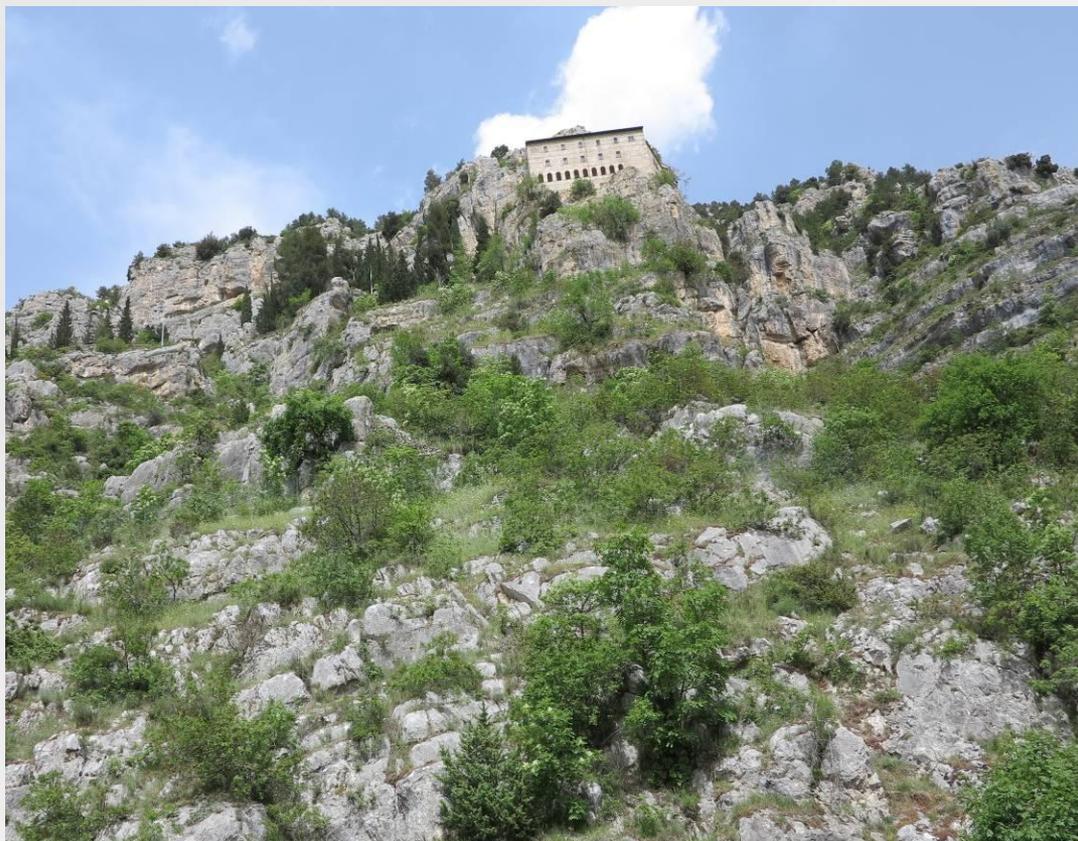
# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

## Zona Potenzialmente Instabile per Instabilità di Versante (Frana da Crollo)



Instabilità di Versante

*evidenziare la pericolosità legata al potenziale innesco di frane da crollo di ammassi rocciosi alle pendici del M. Morrone, particolarmente in occasione dello scuotimento conseguente ad un forte evento sismico.*



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**



# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

## Zone di Attenzione (per Instabilità):

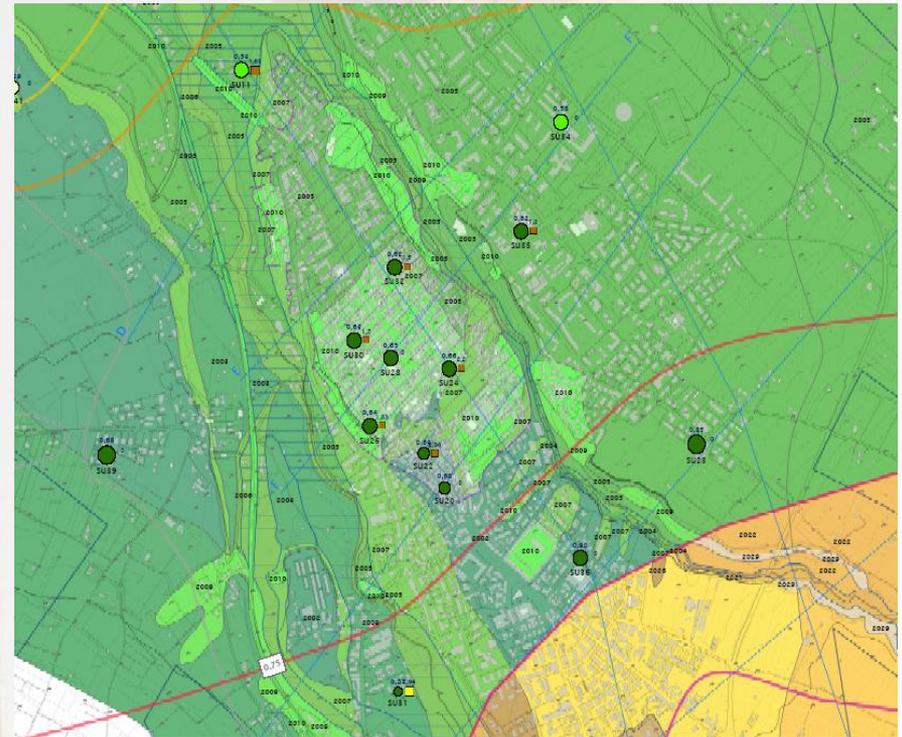
### 1) Liquefazione



*Sbancamento nei depositi alluvionali olocenici sabbioso-limosi con lenti ghiaiose in sinistra del F. Gizio, a sud-ovest del centro abitato di Sulmona.*

## **Zone di Attenzione (per Instabilità):** **2) Cedimenti Differenziali**

La Zona di Attenzione per cedimenti differenziali corrisponde sostanzialmente al centro storico di Sulmona compreso tra la Villa Comunale a nord, Piazza Garibaldi- San Francesco a sud, limitato ad est ed ovest dalle mura cittadine (area della *Sulmo* romana e medievale).



# Esempio di prove CH e DH disponibili

## Inversione di velocità Vs

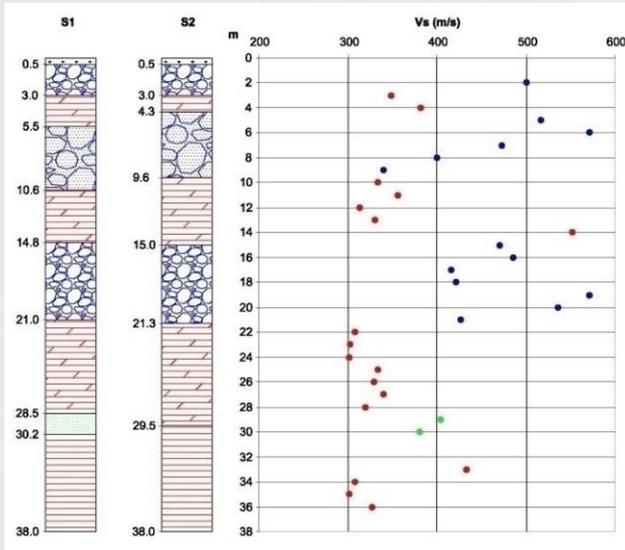


Diagramma (dal Progetto S.I.S.MA) di variazione della Vs con la profondità affiancato alle colonne stratigrafiche dei sondaggi in Viale dell'Agricoltura, area industriale di Sulmona (Scarascia Mugnozza, Progetto S.I.S.MA, 2006). L'andamento delle Vs indica una netta inversione della velocità a circa 21 m dal p.c., in corrispondenza del passaggio dalle ghiaie (con intercalazioni argillose-limoso-sabbiose) dell'unità at1 all'unità argilloso-limosa lacustre (lac).

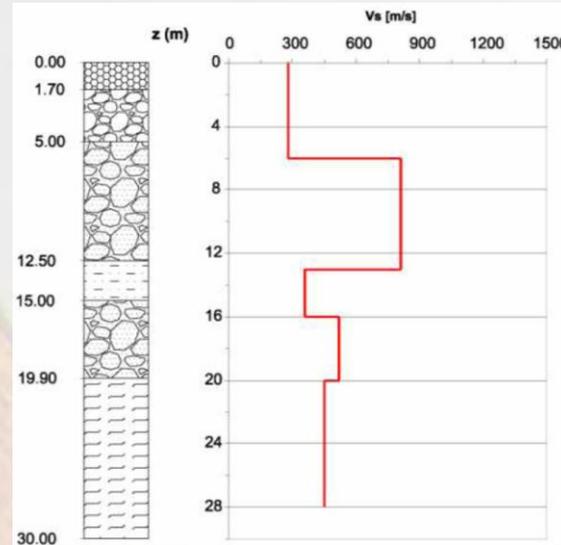


Diagramma di variazione della Vs con la profondità (ottenuto mediante prova di sismica in foro di tipo Down-Hole: DH) affiancato alla colonna stratigrafica del sondaggio nella Villa Comunale di Sulmona (Progetto S.I.S.MA, 2006). Anche in questo caso l'andamento delle Vs indica una minore velocità dell'unità più profonda argilloso-limosa lacustre (lac) rispetto alla Vs media delle ghiaie contenenti intercalazioni argillose-limoso-sabbiose (at1). Il limite tra at1 e lac sembra attestarsi intorno a 20 m di profondità.

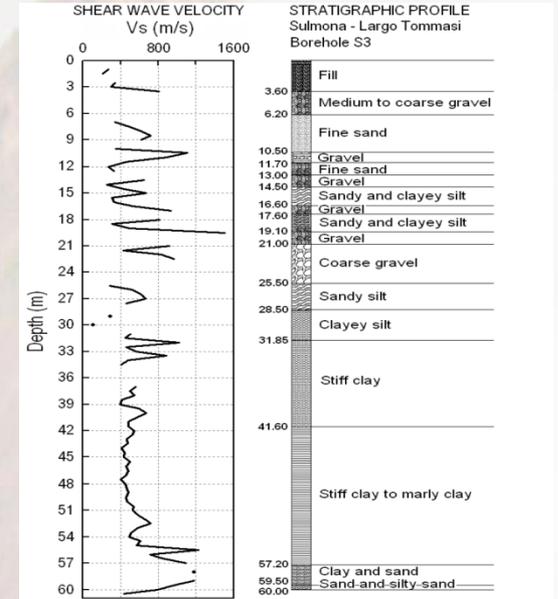


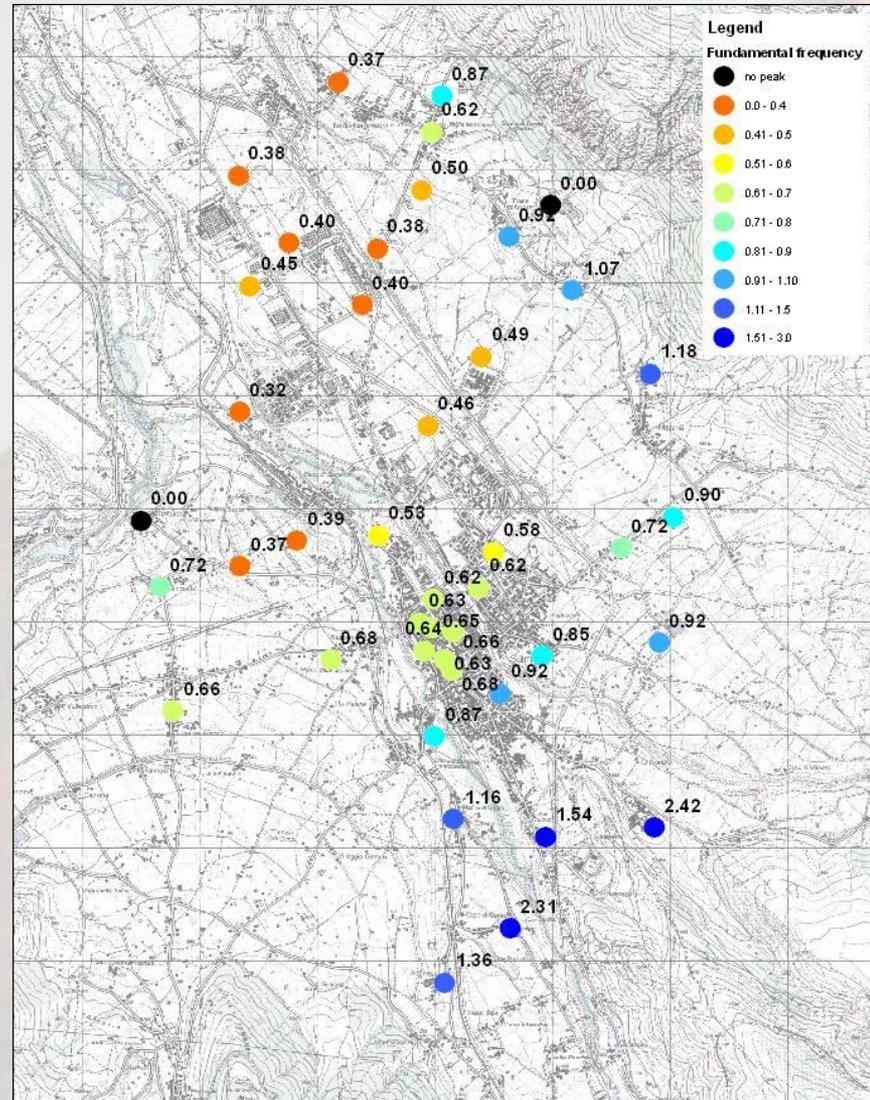
Figure 5. Sulmona (Largo Tommasi) – Profile of  $V_s$  obtained by SDMT in back-filled boreholes and stratigraphic profile.

Profilo di variazione della Vs con la profondità (ottenuto mediante prova in foro di tipo Dilatometro sismico SDMT) affiancato alla colonna stratigrafica del sondaggio presso Largo Tommasi al centro storico di Sulmona (Totani et al., 2009), corrispondente all'indagine puntuale n. 40 nel Database e nella Carta G-T allegata. Anche in questo caso l'andamento delle Vs indica una minore velocità dell'unità più profonda argilloso-limosa lacustre (lac) rispetto alla Vs media delle ghiaie contenenti intercalazioni argillose-limoso-sabbiose (at1). Il limite tra at1 e lac sembra attestarsi intorno a 20 m di profondità.

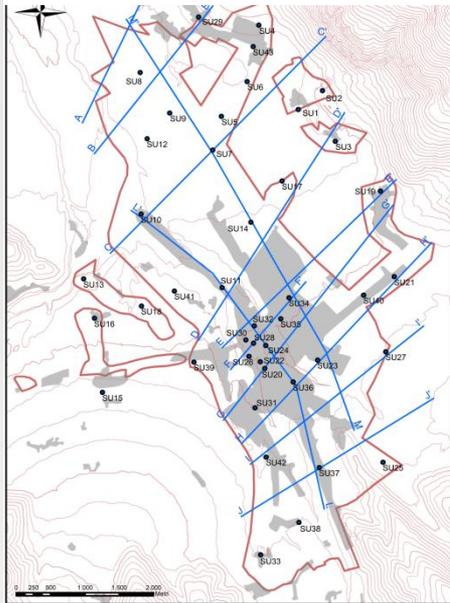
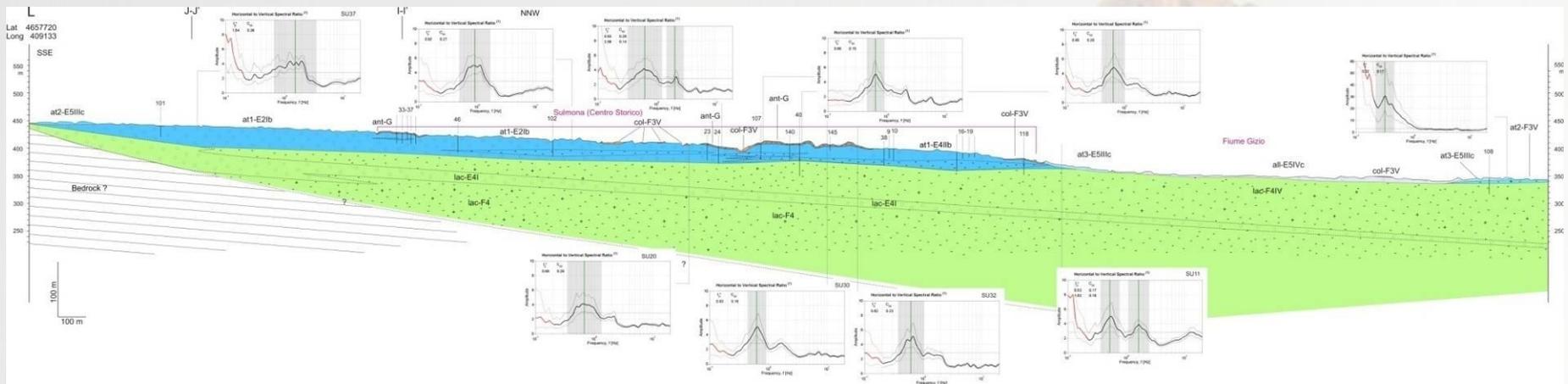
## Acquisizione di 43 nuove misure di rumore sismico (HVSr)



Sopra l'acquisitore Reftek-130, sotto il sismometro Lennartz-5s



*Mapa della frequenza di risonanza dei siti (i punti di colore nero indicano curve con risposta piatta).*

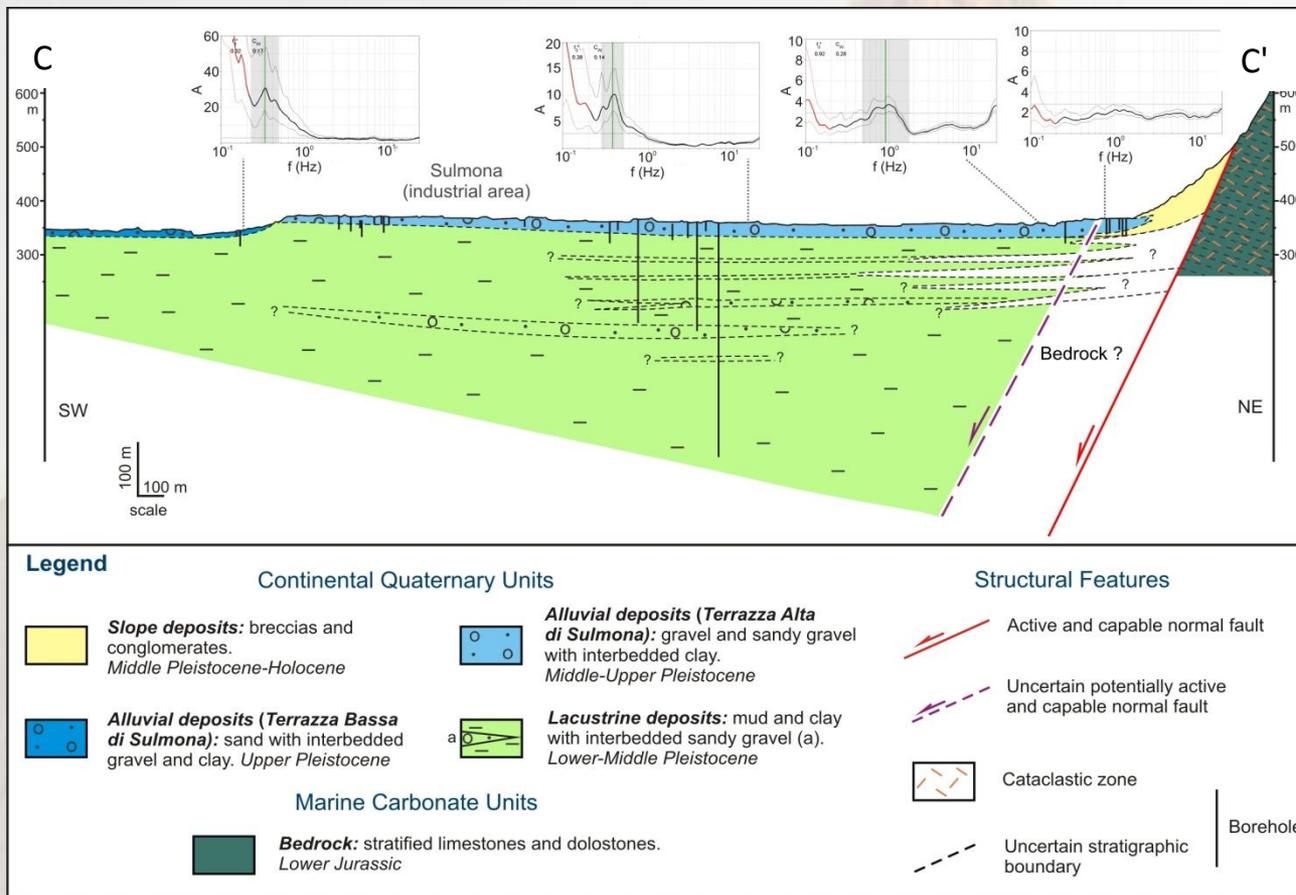


**Legend**

**Continental Quaternary Units**

|   |   |
|---|---|
| <p> <b>Slope deposits:</b> breccias and conglomerates. Middle Pleistocene-Holocene</p> <p> <b>Alluvial deposits (Terrazza Bassa di Sulmona):</b> sand with interbedded gravel and clay. Upper Pleistocene</p> | <p> <b>Alluvial deposits (Terrazza Alta di Sulmona):</b> gravel and sandy gravel with interbedded clay. Middle-Upper Pleistocene</p> <p> <b>Lacustrine deposits:</b> mud and clay with interbedded sandy gravel (a). Lower-Middle Pleistocene</p> |
|---|---|

Geologic cross-section along the Sulmona tectonic basin. HVSR diagrams are also reported above the topography.



Geologic cross-section across the Sulmona tectonic basin. HVSR diagrams are also reported above the topography.

# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

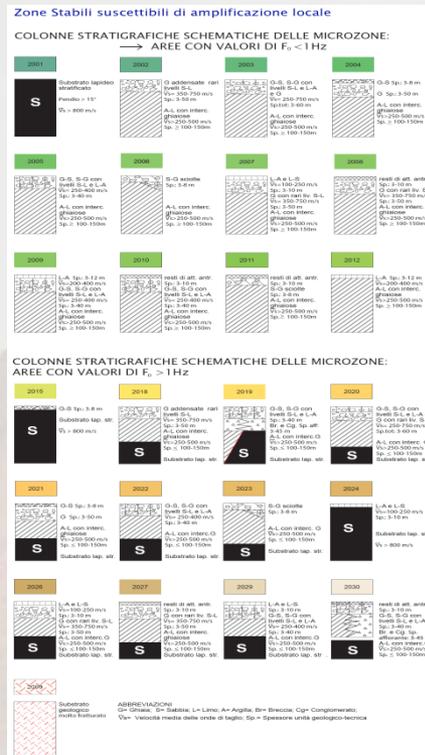
## a) zone stabili suscettibili di amplificazione

I dati Geologico-Tecnici + frequenze di risonanza dei terreni hanno permesso di suddividere il territorio comunale in due macroaree:

1) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale ricadenti nella macroarea con  $f_0 < 1$  Hz;

2) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale comprese nella macroarea con  $f_0 \geq 1$  Hz).

*Sebbene questa scelta abbia portato, quasi, ad una duplicazione del numero di microzone, essa è giustificata dal fatto che le aree con  $f_0 \geq 1$  Hz hanno un maggior interesse ingegneristico (fenomeno della doppia risonanza).*



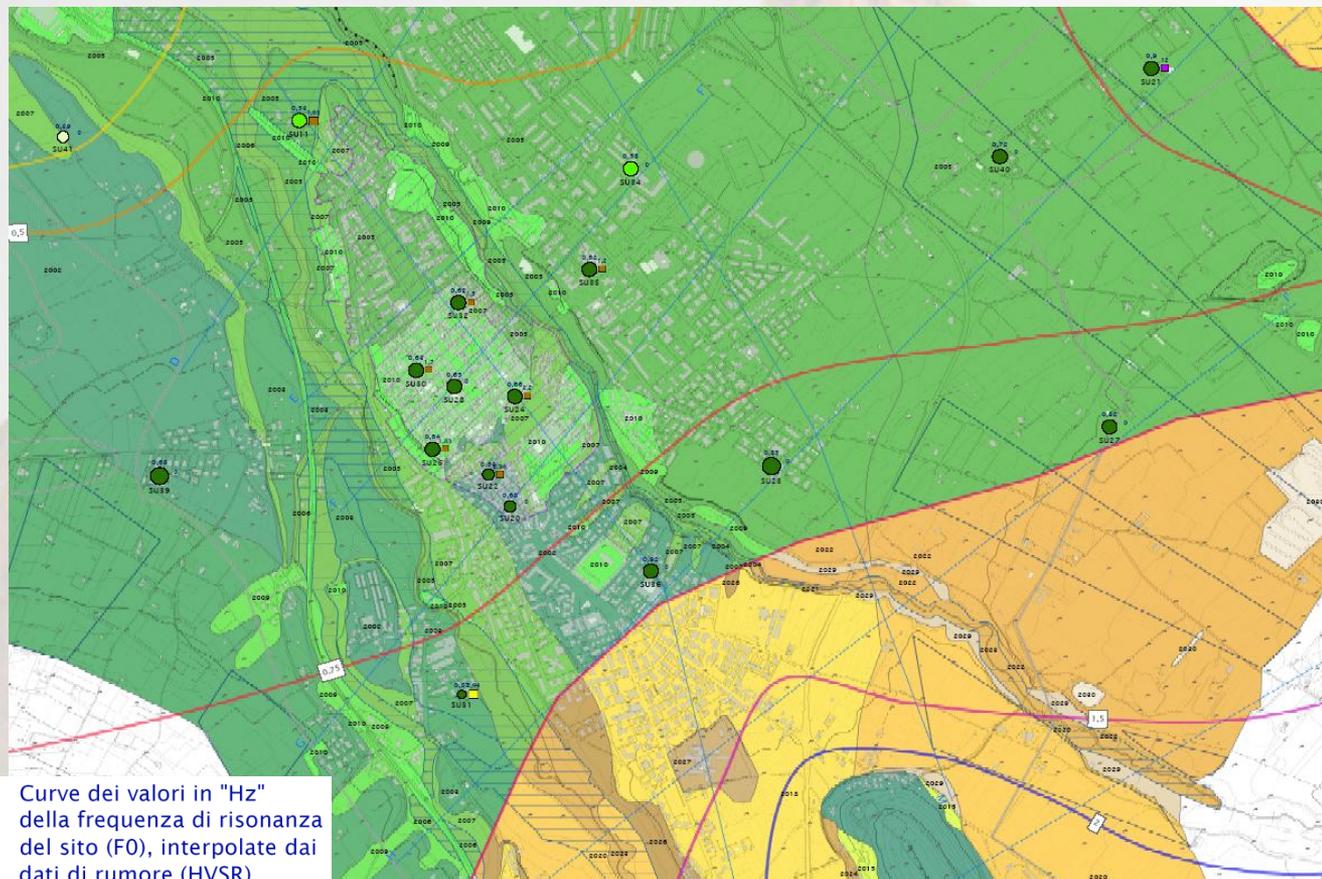
# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

## a) zone stabili suscettibili di amplificazione

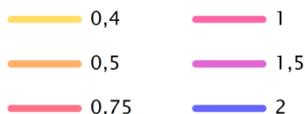
I dati Geologico-Tecnici + frequenze di risonanza dei terreni hanno permesso di suddividere il territorio comunale in due macroaree:

- 1) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale ricadenti nella macroarea con  $f_0 < 1$  Hz;
- 2) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale comprese nella macroarea con  $f_0 \geq 1$  Hz).

*Sebbene questa scelta abbia portato, quasi, ad una duplicazione del numero di microzone, essa è giustificata dal fatto che le aree con  $f_0 \geq 1$  Hz hanno un maggior interesse ingegneristico (fenomeno della doppia risonanza).*

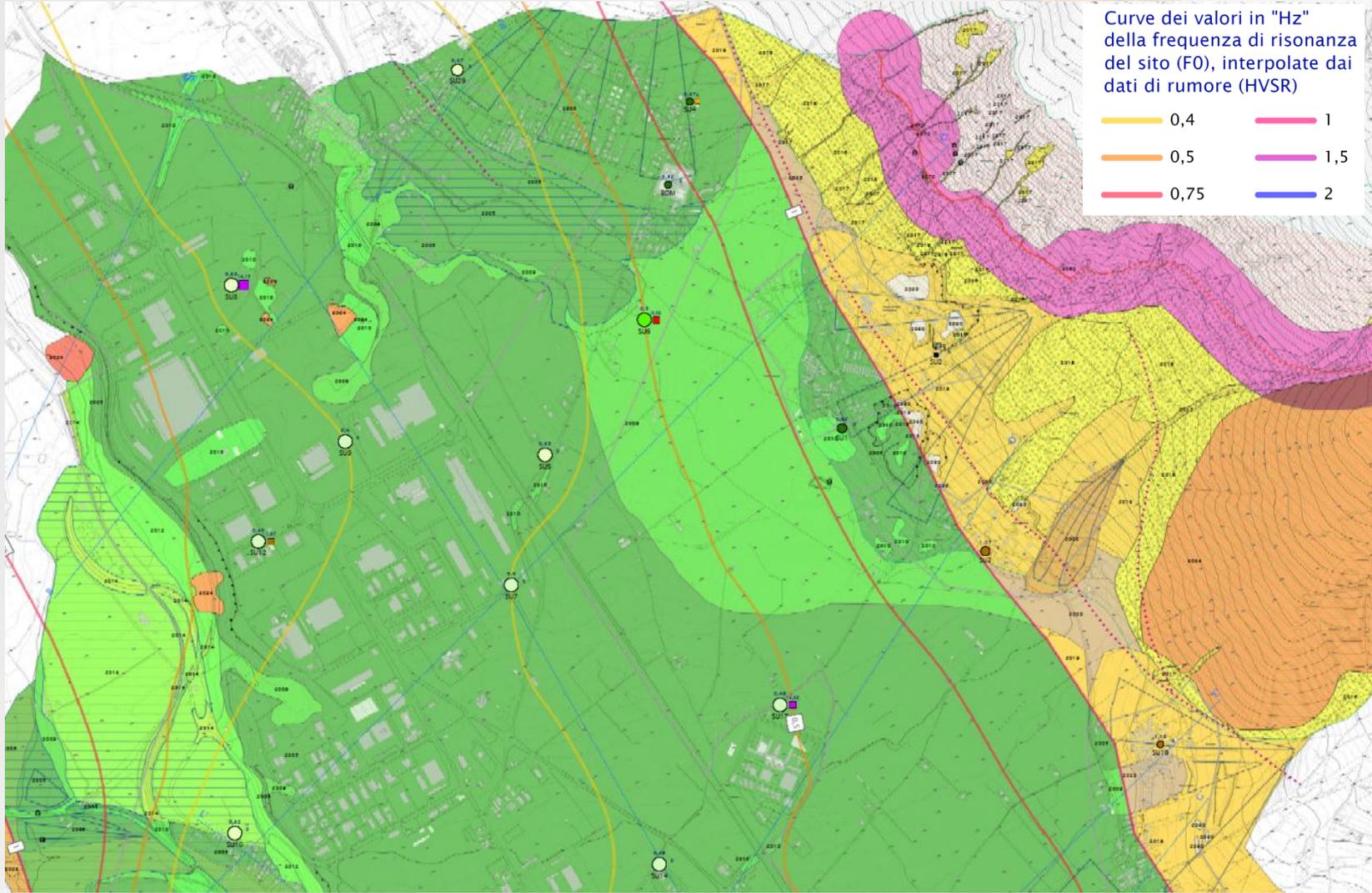


Curve dei valori in "Hz" della frequenza di risonanza del sito ( $f_0$ ), interpolate dai dati di rumore (HVSR)



# Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS

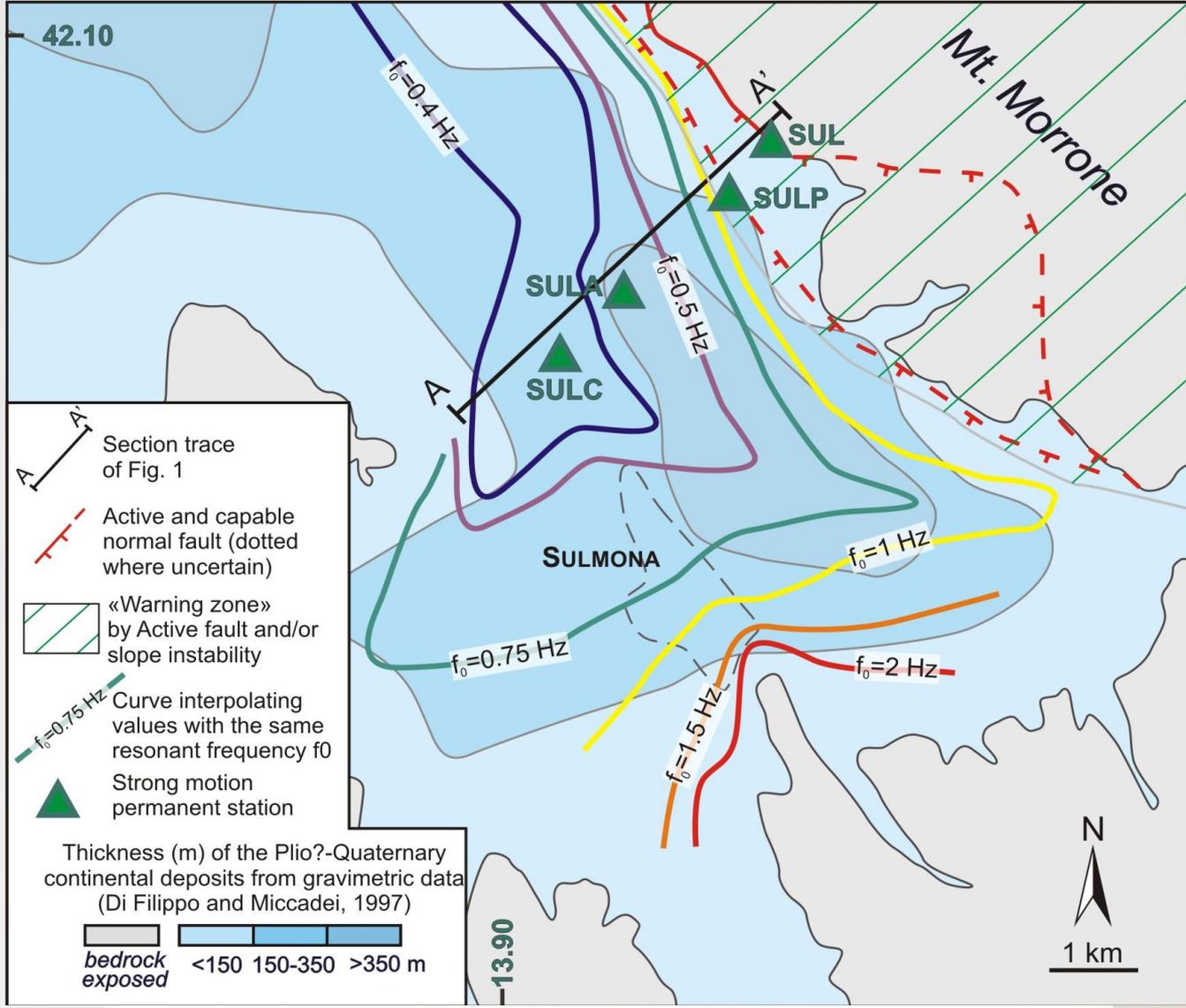
## a) zone stabili suscettibili di amplificazione



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**



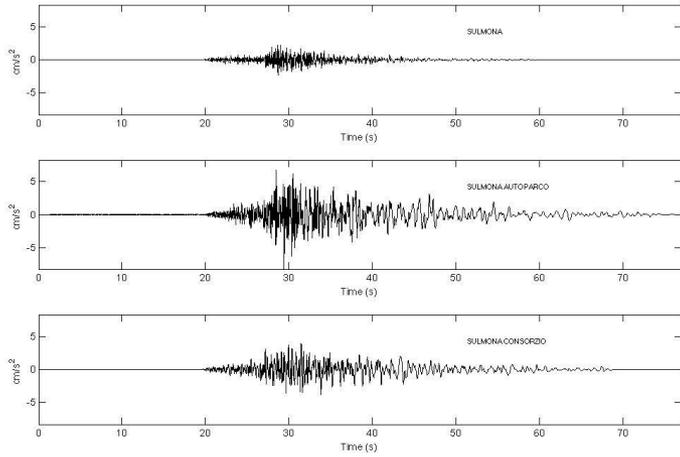
# THICKNESS OF THE QUATERNARY CONTINENTAL DEPOSITS vs RESONANT FREQUENCY $f_0$ FROM HVSR DATA



Thickness of the Plio-Quaternary continental deposits from gravimetric data (Di Filippo and Miccadei, 1997) and interpolated pattern of the resonant frequency  $f_0$  obtained by noise measurements (this study).

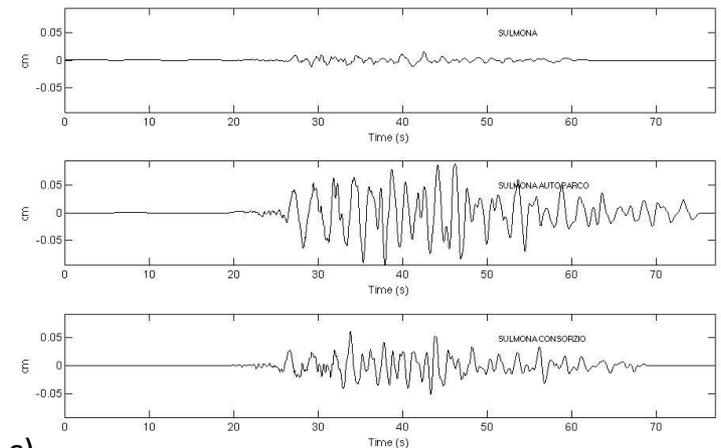
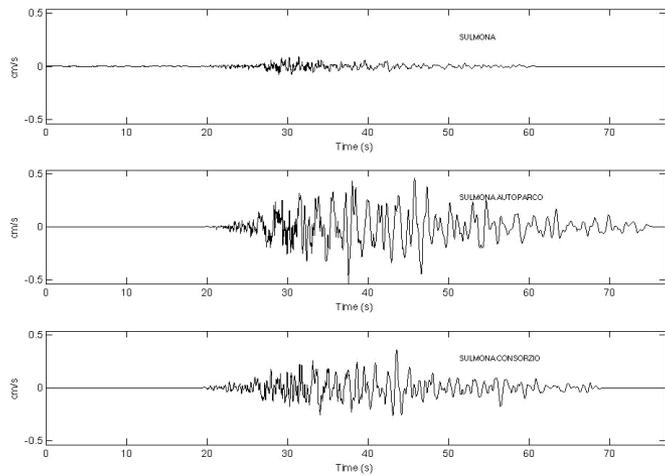
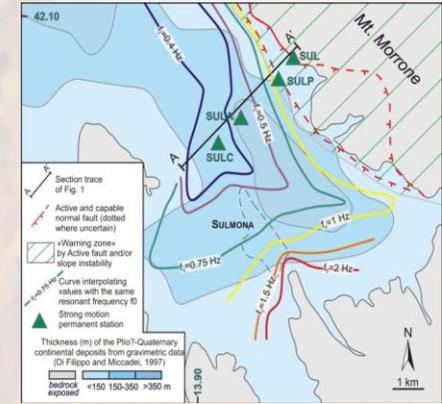


## Location of the RAN stations



Peak ground acceleration, velocity and displacement (in bold the ratio between the peak values of soil sites, SULA and SULC, and the rock site (SUL)

| Station | PGA (cm/s <sup>2</sup> ) | PGV (cm/s)   | PGD (cm)     |
|---------|--------------------------|--------------|--------------|
| SUL     | 2.342                    | 0.093        | 0.015        |
| SULA    | 8.271 (3.53)             | 0.540 (5.80) | 0.093 (6.20) |
| SULC    | 4.927 (2.10)             | 0.363 (3.90) | 0.062 (4.13) |



a)

b)

a) acceleration; b) velocity; c) displacement recorded at the station Sulmona (SUL), Sulmona Autoparco (SULA) and Sulmona Consorzio (SULC).



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
33° Convegno Nazionale Bologna



***GRAZIE***  
***per l'attenzione***



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA  
**33° Convegno Nazionale Bologna**

