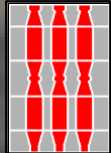


Rovereto, 11 Dicembre 2009 – VI Workshop di Geofisica

Pericolosità Sismica – Microzonazione – Effetti di Sito: punti fermi nella difesa dai terremoti

Studi geofisici finalizzati alla microzonazione sismica del centro storico di Spoleto



Regione dell'Umbria



Comune di Spoleto

Relatore: Alessandro Vuan



Ist. Naz. di Oceanografia e
di Geofisica Sperimentale

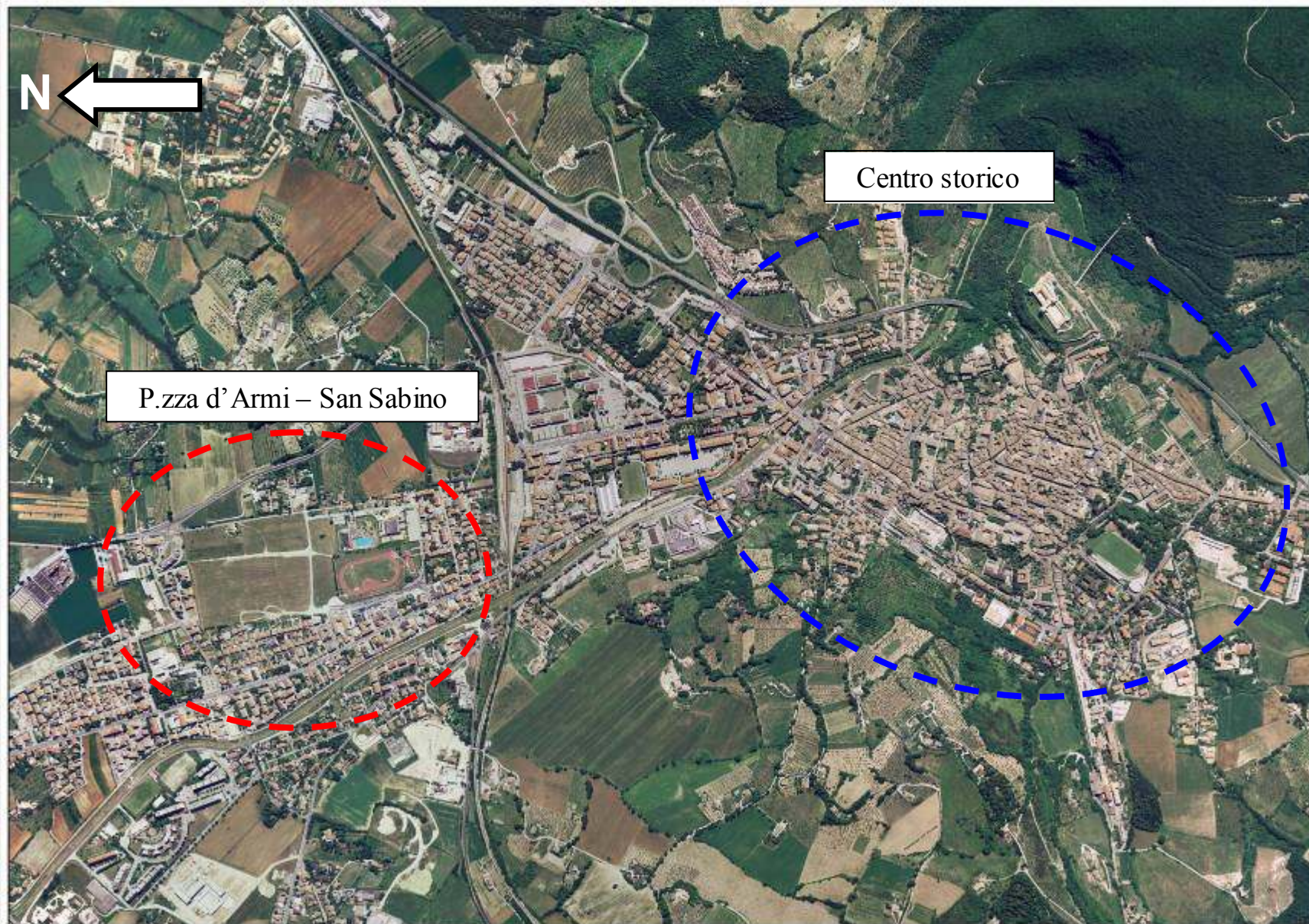
AUTORI:

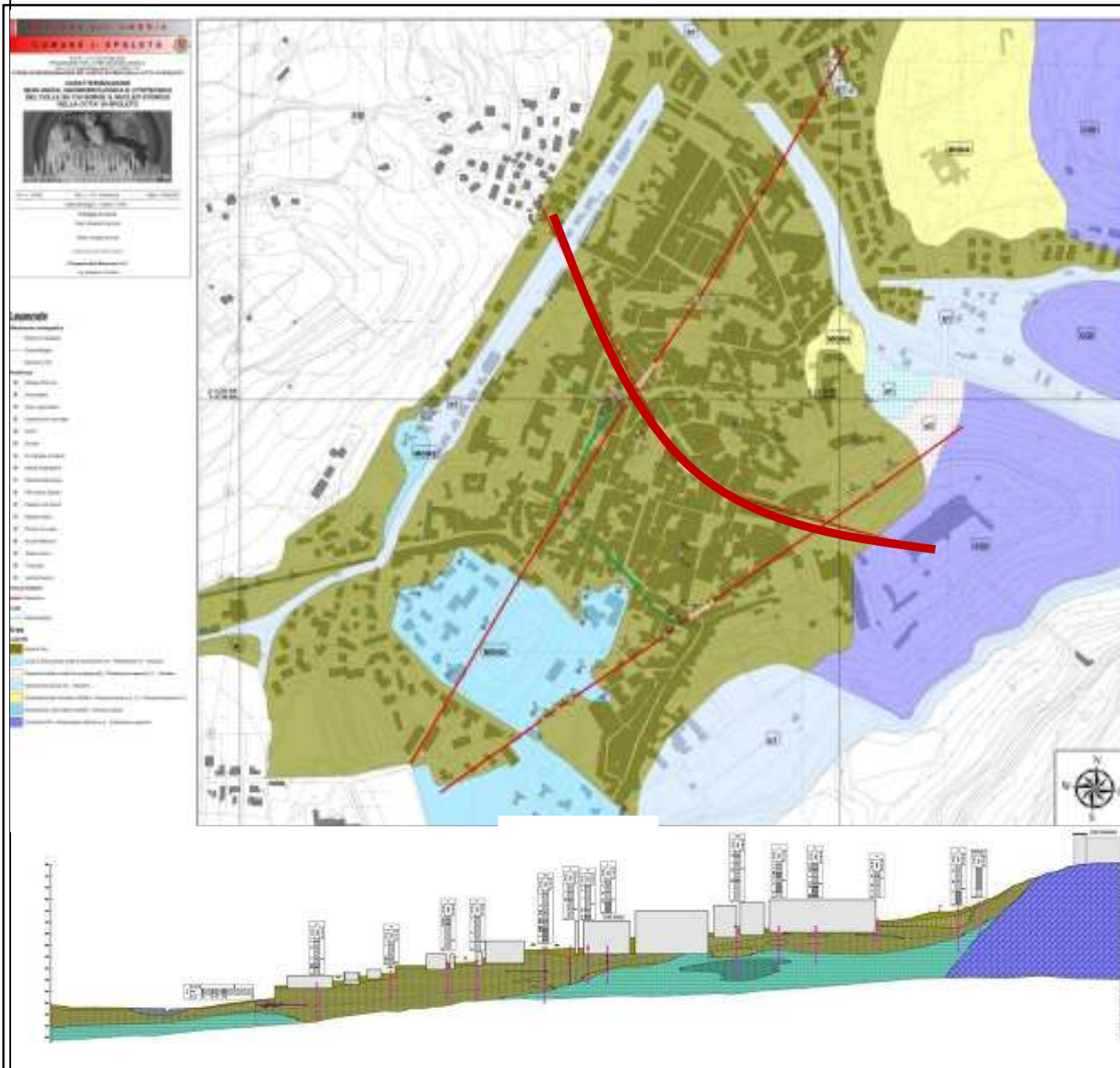
**A. Vuan, M. Romanelli, C. Barnaba, A. Restivo, L. Lovisa, E. Priolo e G. Rossi (OGS)
R. Cardinali e A. Buccioli (Comune di Spoleto)**

- 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E DATI PRECEDENTI ALLA STUDIO**
- 2. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE STANDARD (RAPPORTI SPETTRALI DA TERREMOTI E RUMORE, MISURE DI VELOCITA' S ETC..)**
- 3. ANALISI GEOFISICHE DETTAGLIATE NON STANDARD (TOMOGRAFIA ATTIVA)**
- 4. SPETTRI DI PROGETTO SPECIFICI PER SPOLETO**
- 5. ANALISI SUPPLEMENTARI INTEGRATIVE (VARIAZIONE SITO DI RIFERIMENTO, COMPORTAMENTO DISSIPATIVO)**

Studi ed indagini sulla pericolosità sismica nel Comune di Spoleto

Finalità del lavoro: caratterizzare le aree ai sensi della D.G.R. 226/2001 s. m. ed i. e dell'Ord. P.C.M. 3274/03







Riporto

Corpi di frana senza indizi di evoluzione Pleistocene - Olocene

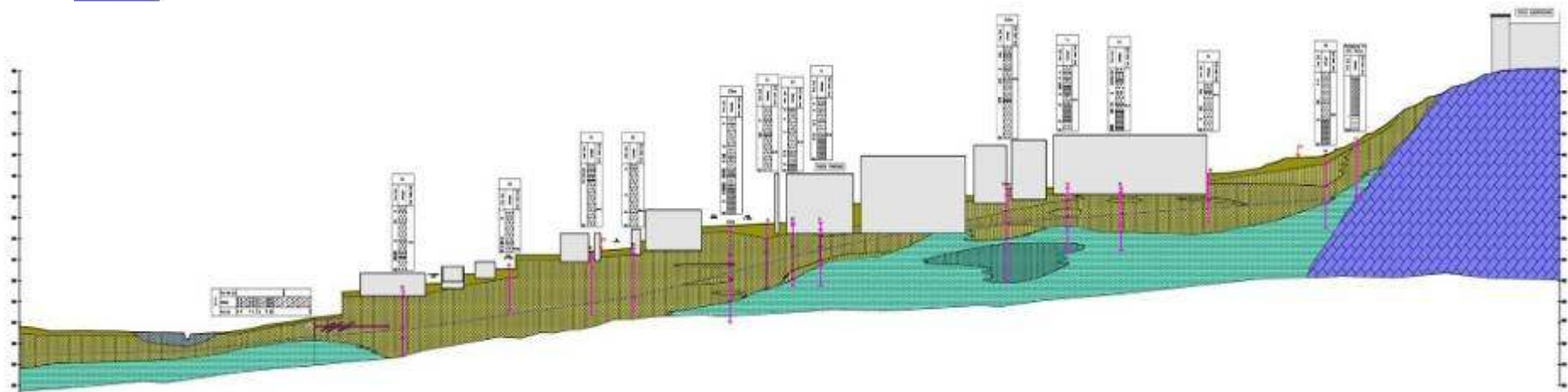
Depositi di falda e detriti di versante Pleistocene sup. Olocene

Depositi Alluvionali (ghiaie e ciottoli)

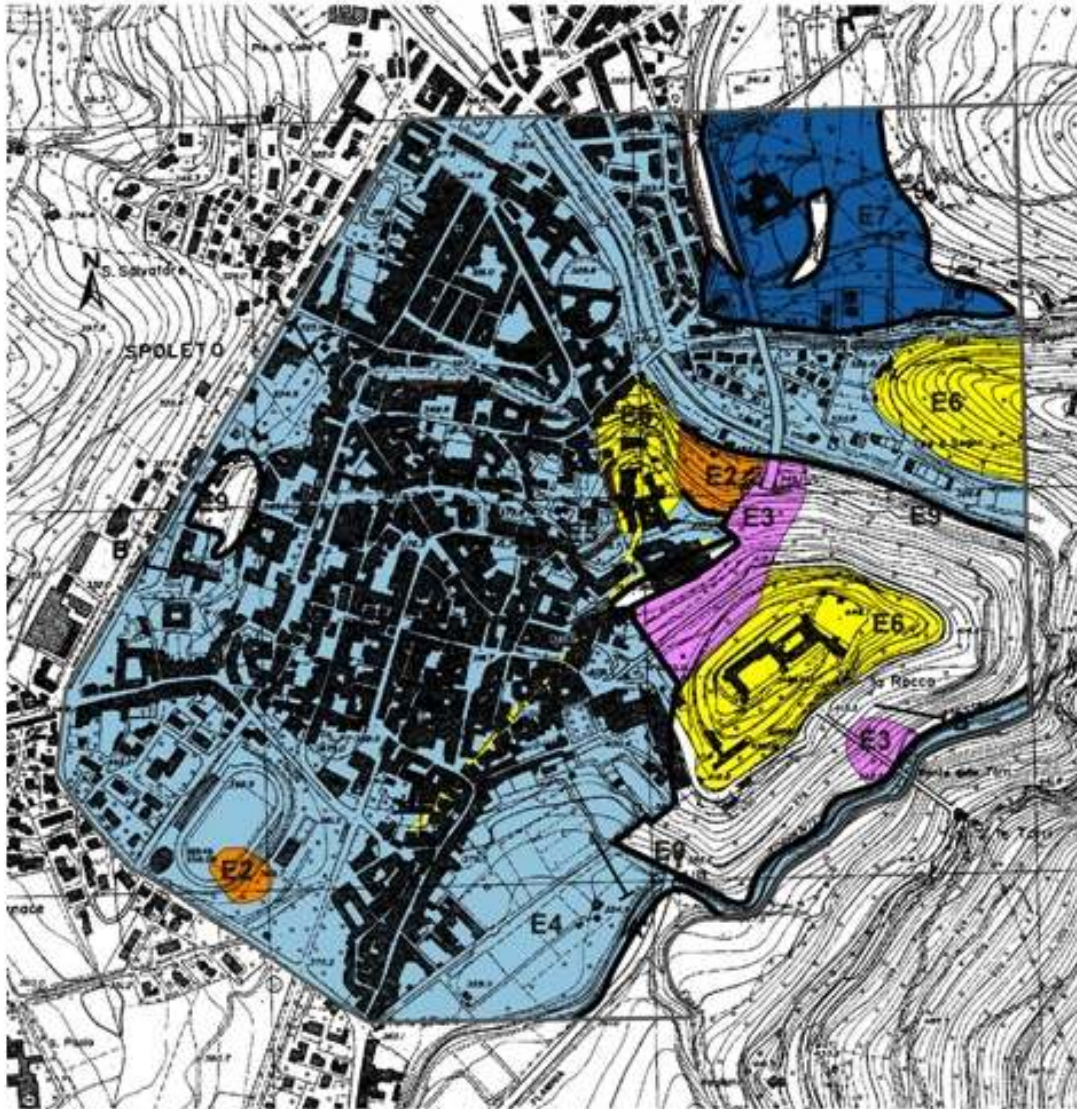
Subsistema San Silvestro Pliocene medio Pliocene sup.
(complesso ghiaioso conglomeratico $600 < V_s < 900$ m/s)

Subsistema Colle Fabbri – Pliocene medio (argille e limi sovraconsolidati) –
 $300 < V_s < 600$ m/s

Corniola (calcari) – $V_s > 1000$ m/s











Carta delle zone suscettibili di amplificazioni o instabilità dinamiche locali - SPOLETO CENTRO -



Scala 1:5.000

Legenda

- | | |
|---|---|
|  E2 - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti |  E6 - Zona di cresta rocciosa, cocuzzolo |
|  E3 - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana |  E7 - Zona di fondovalle con presenza di terreni incoerenti |
|  E4 - Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti |  E9 - Zona di contatto tra intoppi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse |
|  E5 - Zona di ciglio con H > 10m |  Traccia della sezione |

Situazione iniziale

Microzonazione sismica speditiva realizzata nel post-terremoto

(D.G.R. 4363/1998 e 561/1999)

La microzonazione speditiva fa riferimento a terreni di fondazione particolarmente scadenti e incoerenti.

Indagini effettuate

INDAGINI

- RegISTRAZIONI di terremoti (17 siti “sensibili”);
- RegISTRAZIONI di rumore sismico (~100 siti);
- RegISTRAZIONI con sorgente attiva (~15 battute, 20 stazioni);
- Acquisizione sismica tipo MASW (2 siti).

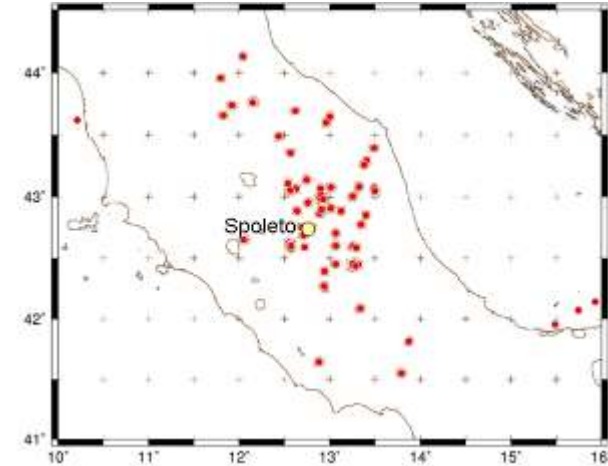
METODI DI ELABORAZIONE

- Rapporti spettrali (rispetto a sito di riferimento, ed altro ...);
- Rapporti spettrali H/V da rumore;
- Inversione tomografica di V_p e V_s ;
- Stime di V_s da inversione di onde di superficie.

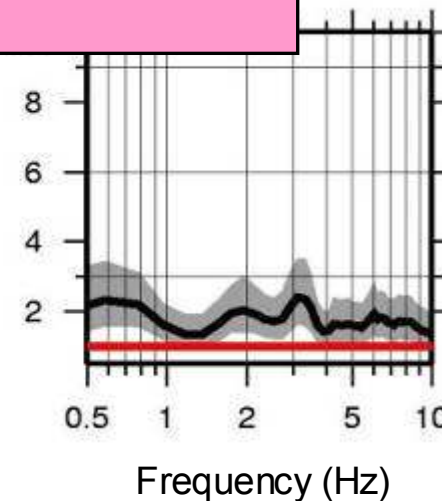
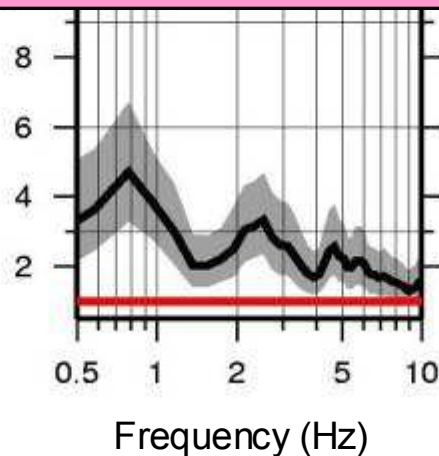
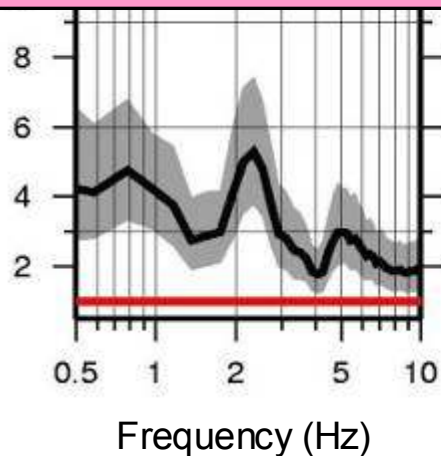
Registrazioni di terremoti

Rapporti spettrali rispetto a sito di riferimento + altri metodi

- Periodo: dicembre 2005 - ottobre 2006;
- N. siti: 9 + 8;
- N. eventi registrati: 113 ($M \leq 4.2$).
- Utilizzati diversi schemi di stima della risposta

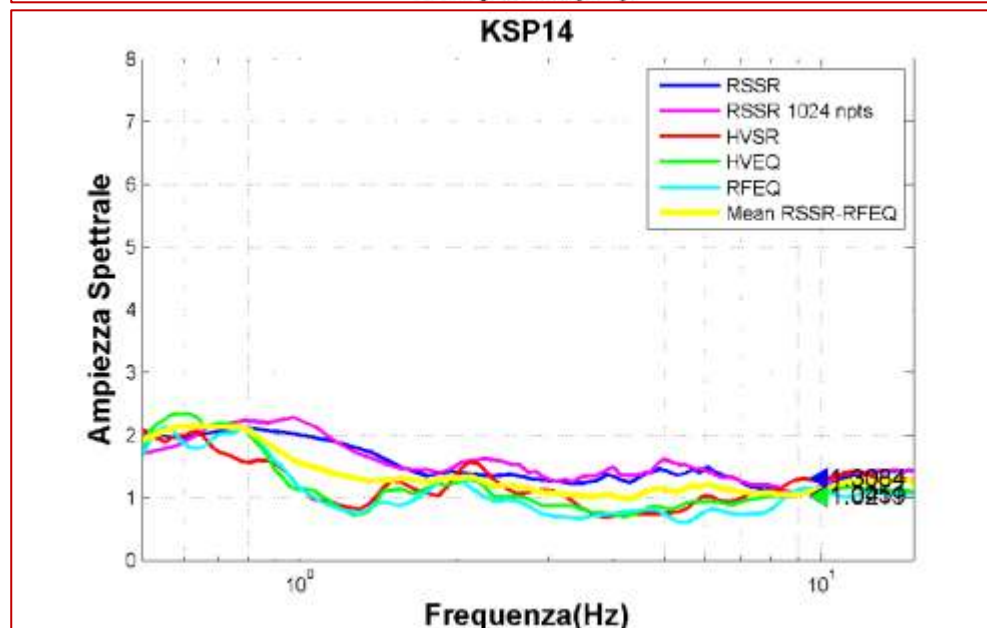
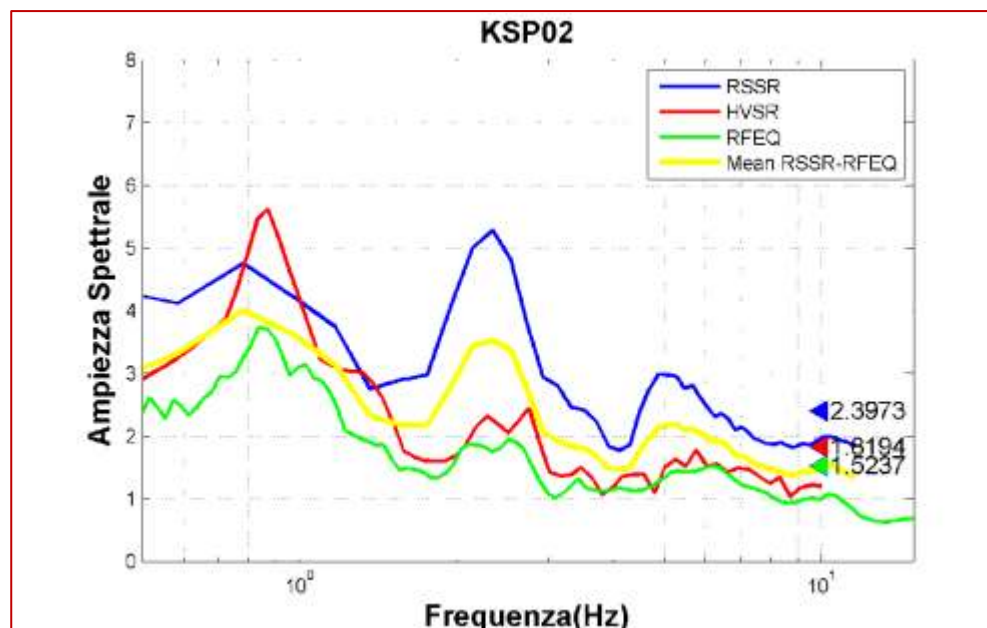


Si ottengono stime simili da terremoti vicini e lontani,
profondi e superficiali \Rightarrow **amplificazione 1D**



04

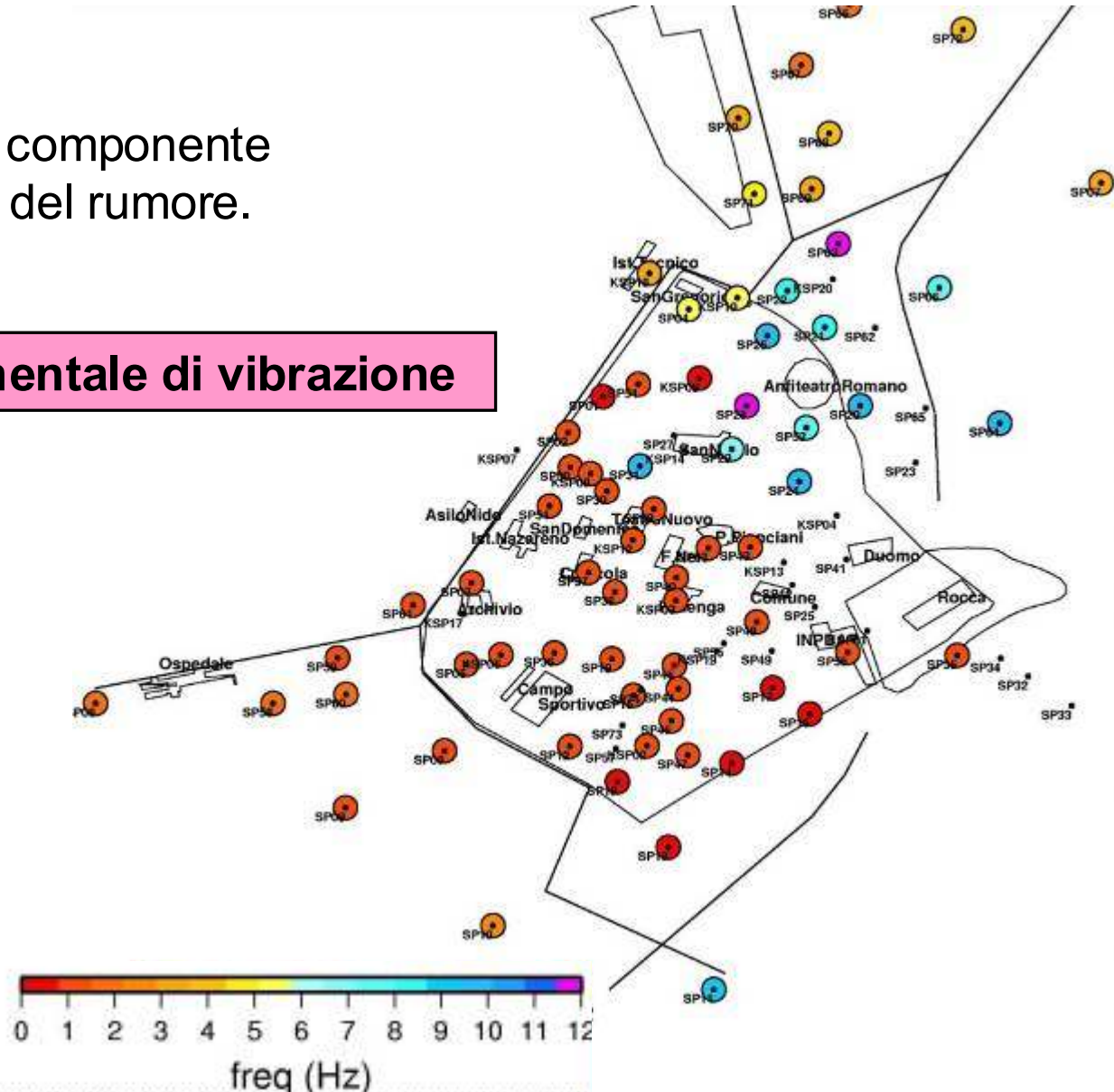
Rapporti spettrali rispetto a sito di riferimento + altri metodi



Rapporti spettrali H/V da rumore sismico

- Siti misurati: ~100;
- Rapporti spettrali tra componente orizzontale e verticale del rumore.

f_0 : frequenza fondamentale di vibrazione

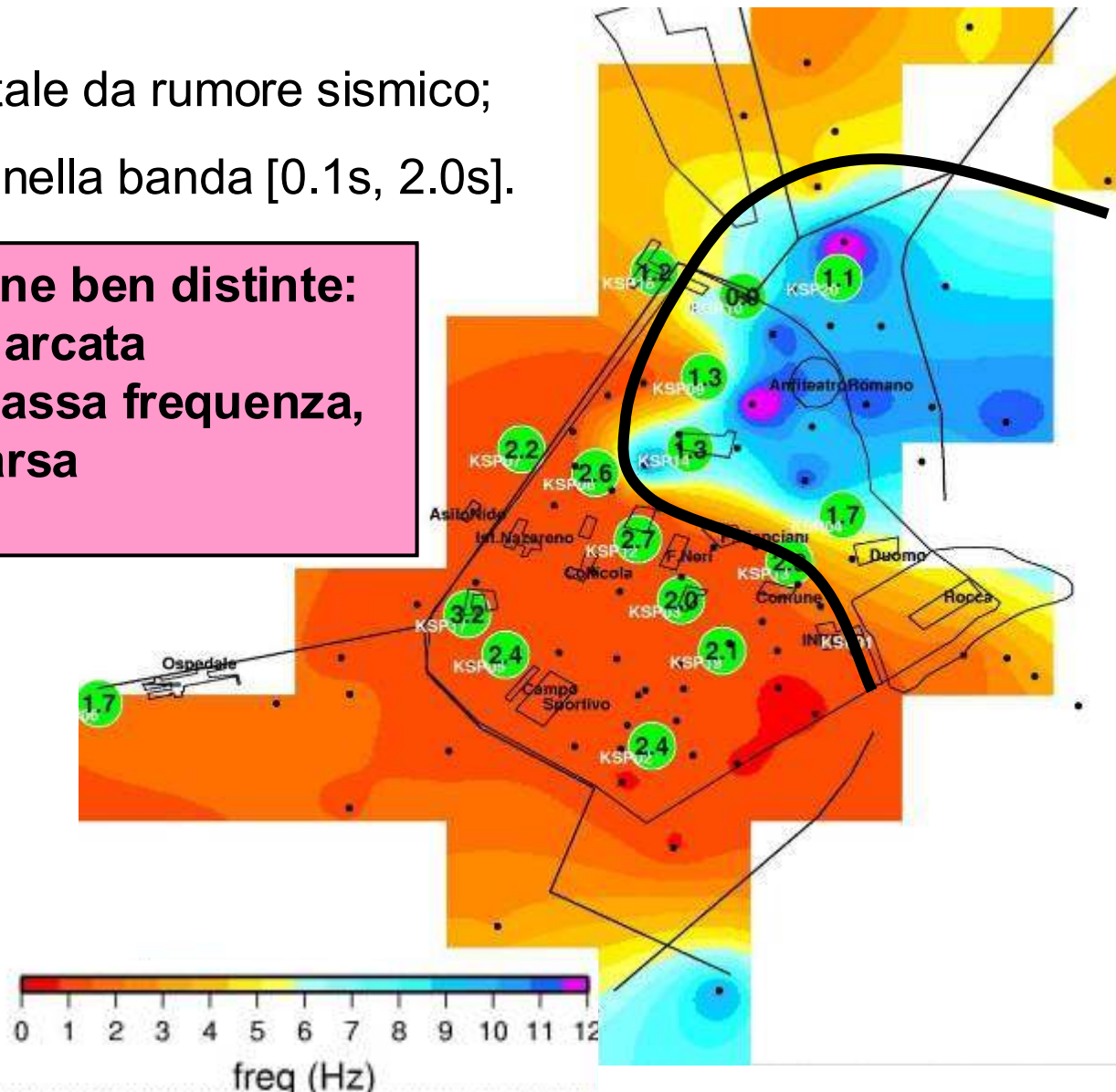


Registrazioni di terremoti

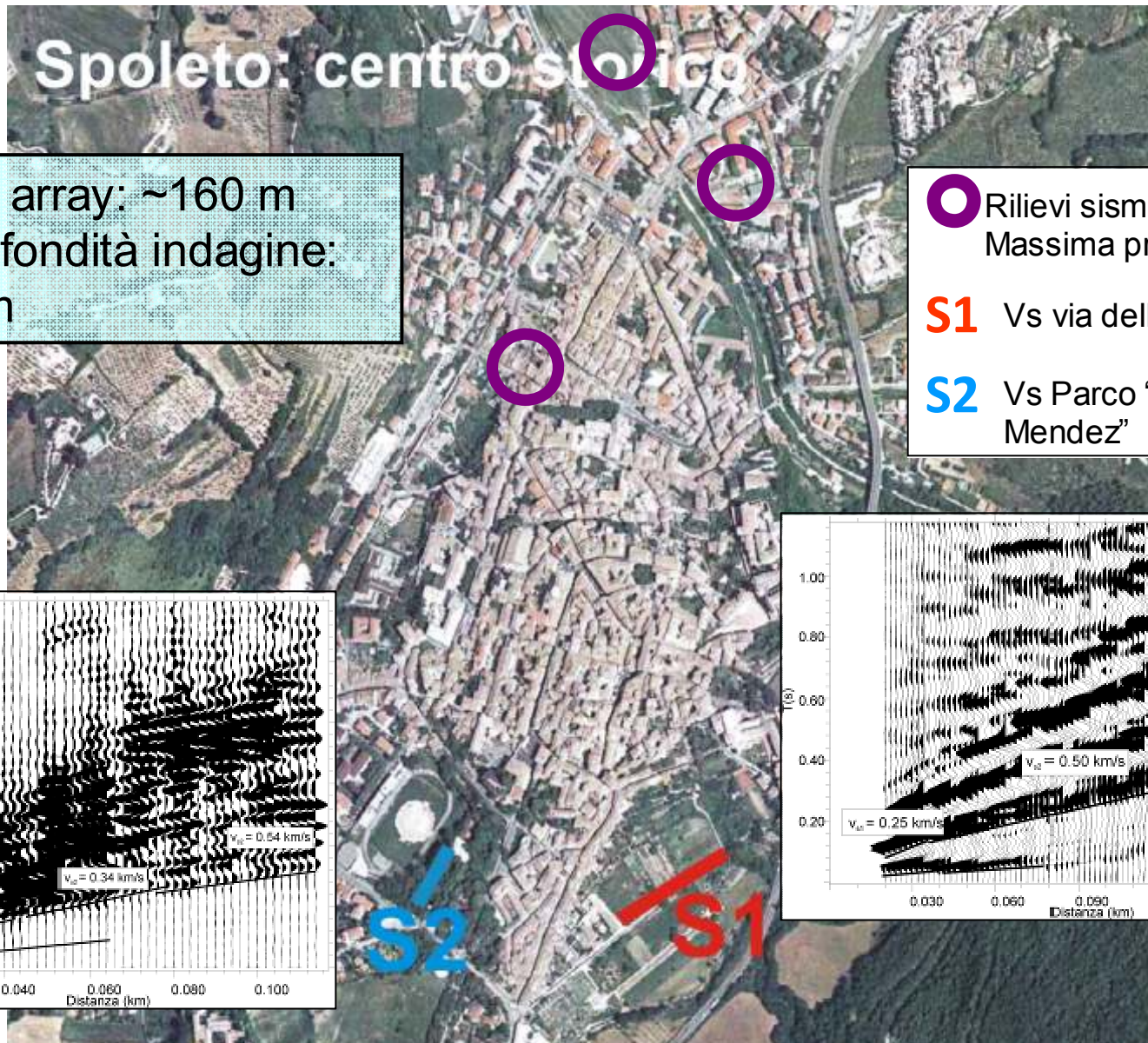
Rapporti spettrali rispetto a sito di riferimento

- Frequenza fondamentale da rumore sismico;
- Amplificazione media nella banda [0.1s, 2.0s].

**Si individuano due zone ben distinte:
A) a Sud Ovest con marcata
amplificazione in bassa frequenza,
B) a Nord-Est con scarsa
amplificazione.**



Stima di V_s da analisi delle onde di superficie

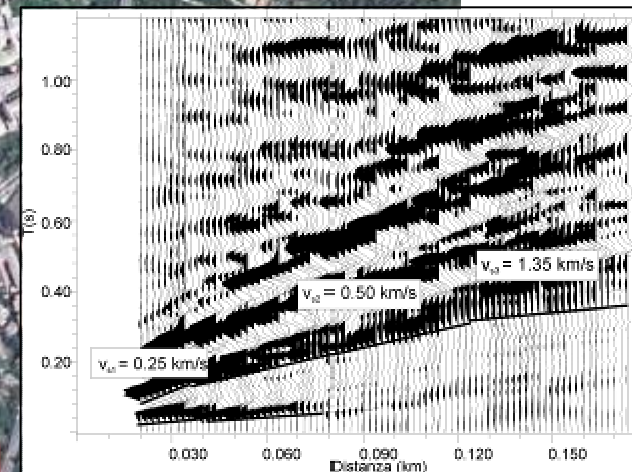
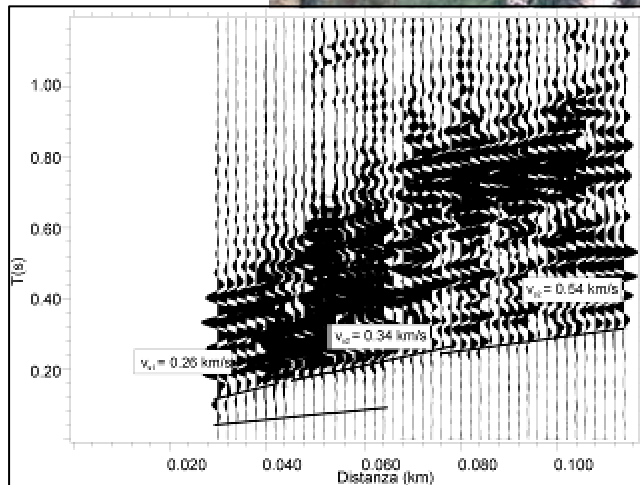


- Apertura array: ~ 160 m
- Max. profondità indagine: $\sim 80-100$ m

○ Rilievi sismici preesistenti
Massima profondità 30 m

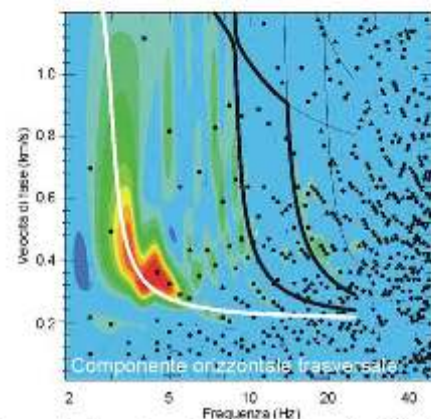
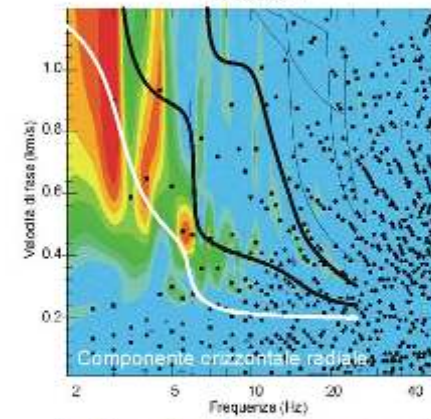
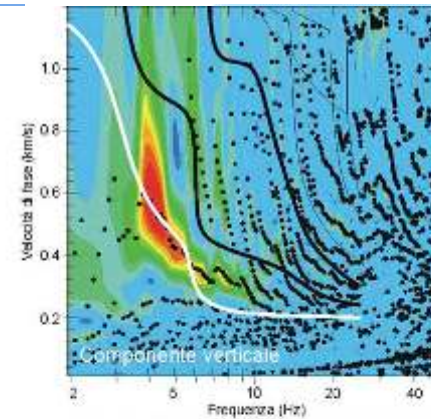
S1 Vs via delle Mura

S2 Vs Parco "Chico Mendez"



Acquisizioni con sorgente attiva

Massa da 1200 kg in caduta da 8-10 m

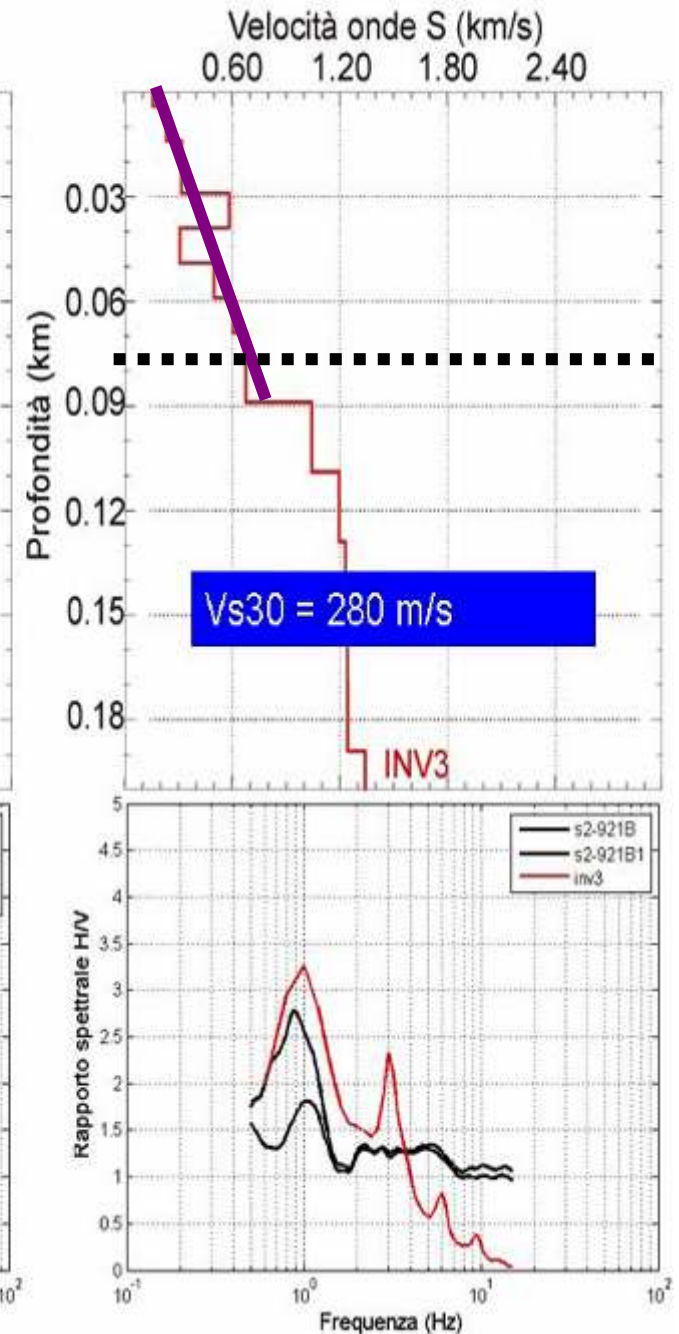
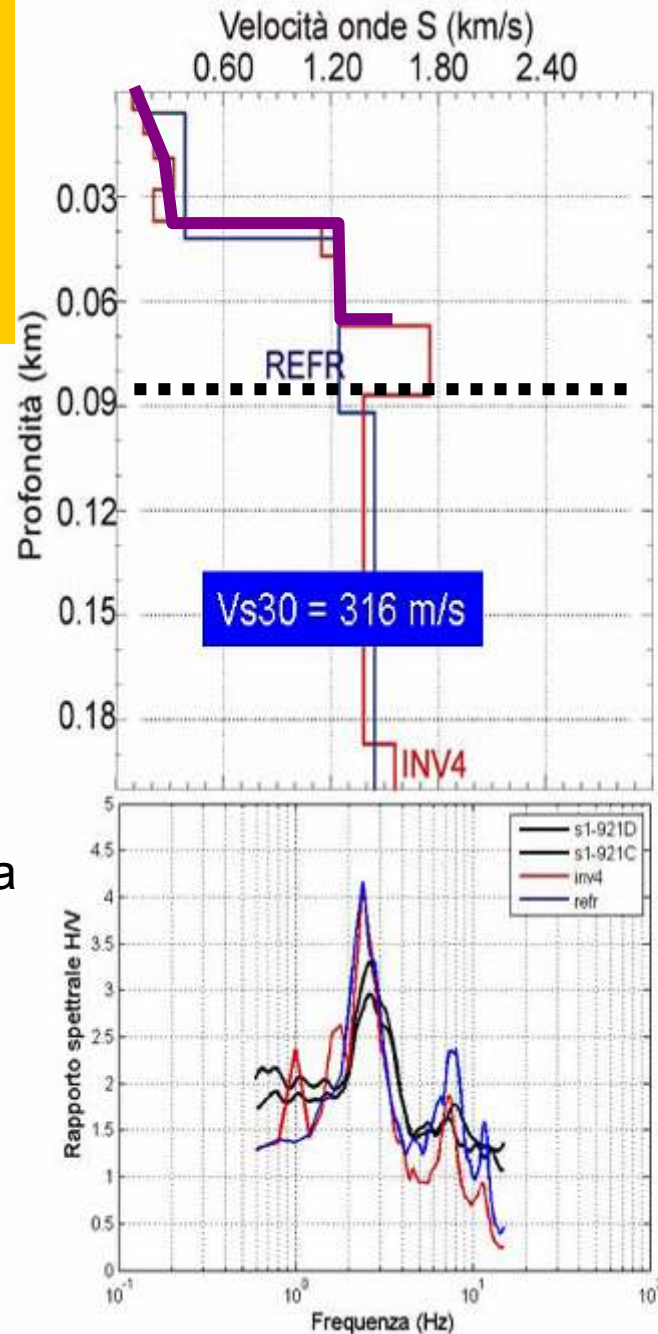


Stima di V_s da dispersione delle onde di superficie

Inversione del profilo di velocità **vincolata** con la frequenza fondamentale di risonanza.

..... Max prof. risolta

- H/V da rumore
- Funzione trasf. profilo invertito



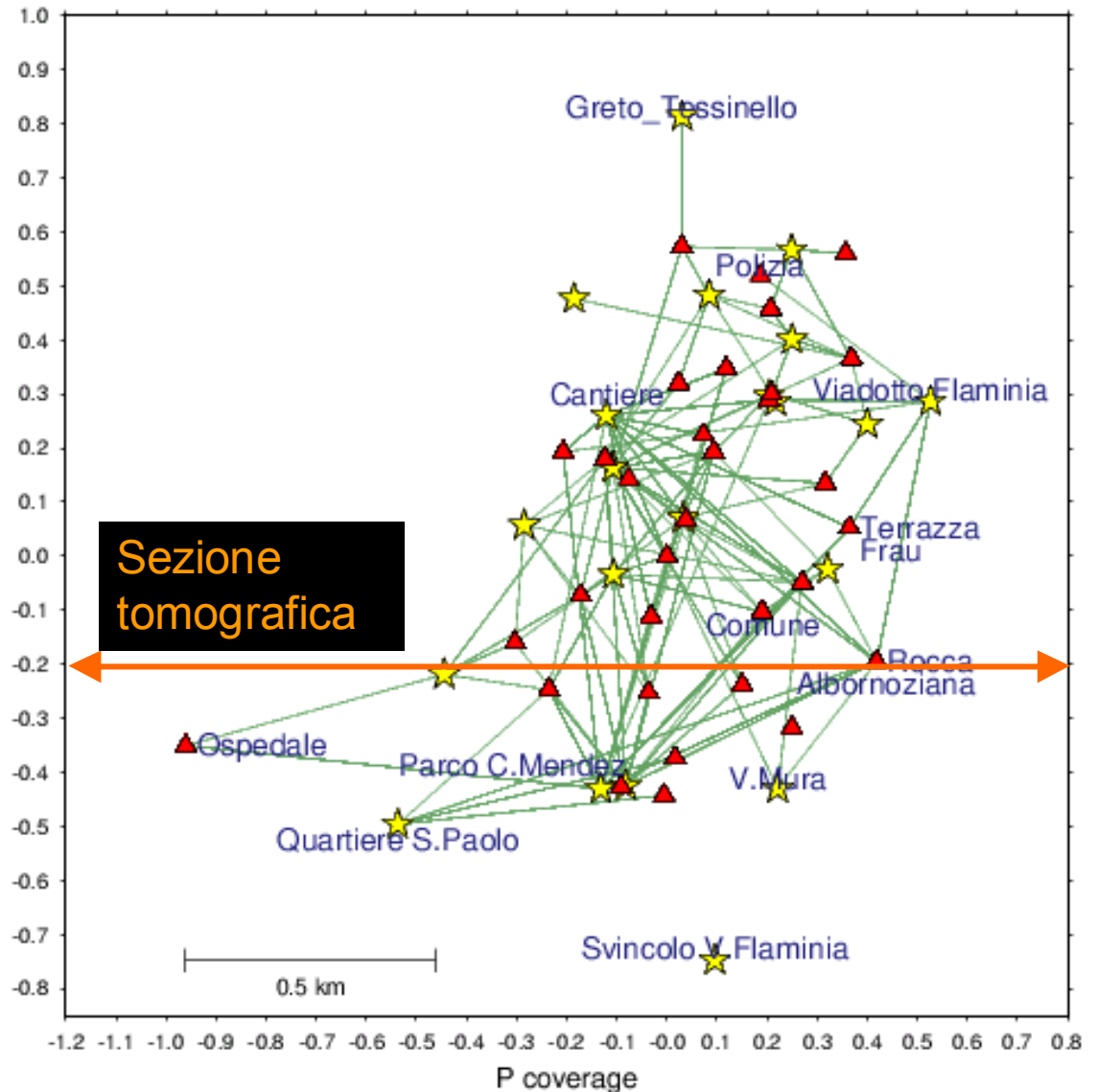
Tomografia sismica

Siti sorgenti: ~20

Ricevitori per ogni sorgente: ~20

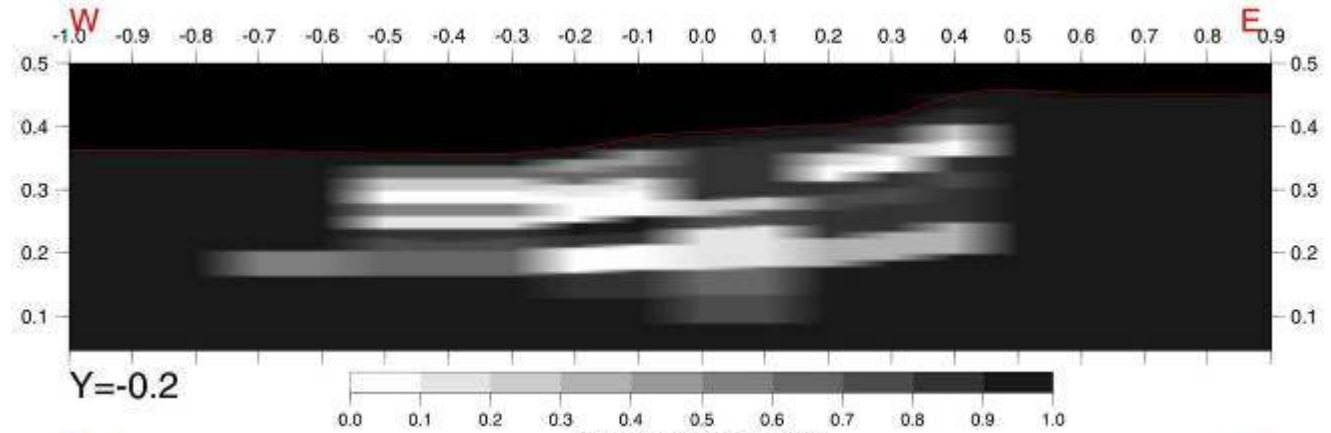
Totale raggi: 266 P,
131 S

Non si riescono a risolvere i 40 m più superficiali

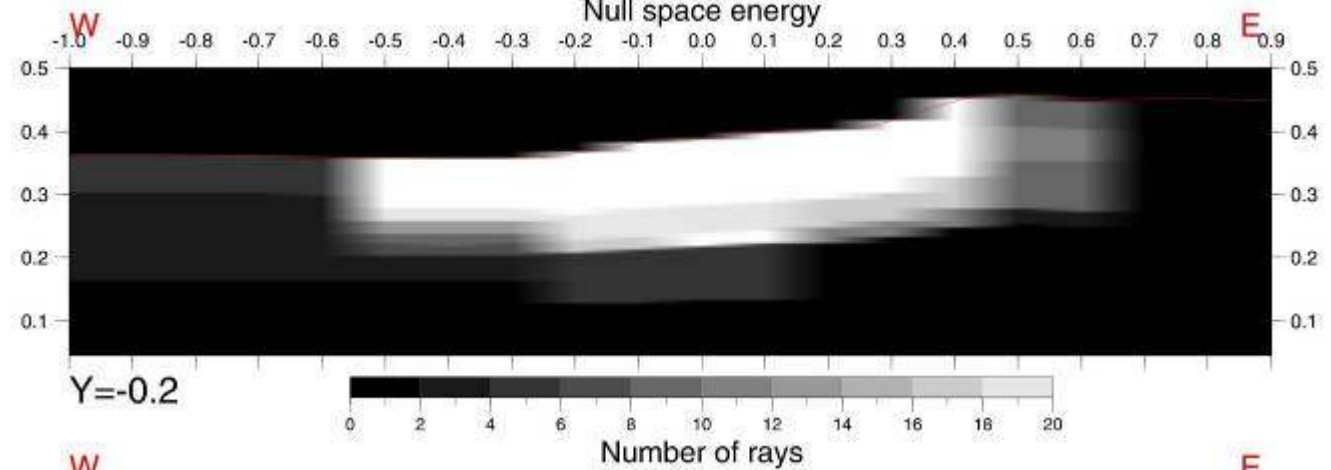


Tomografia sismica

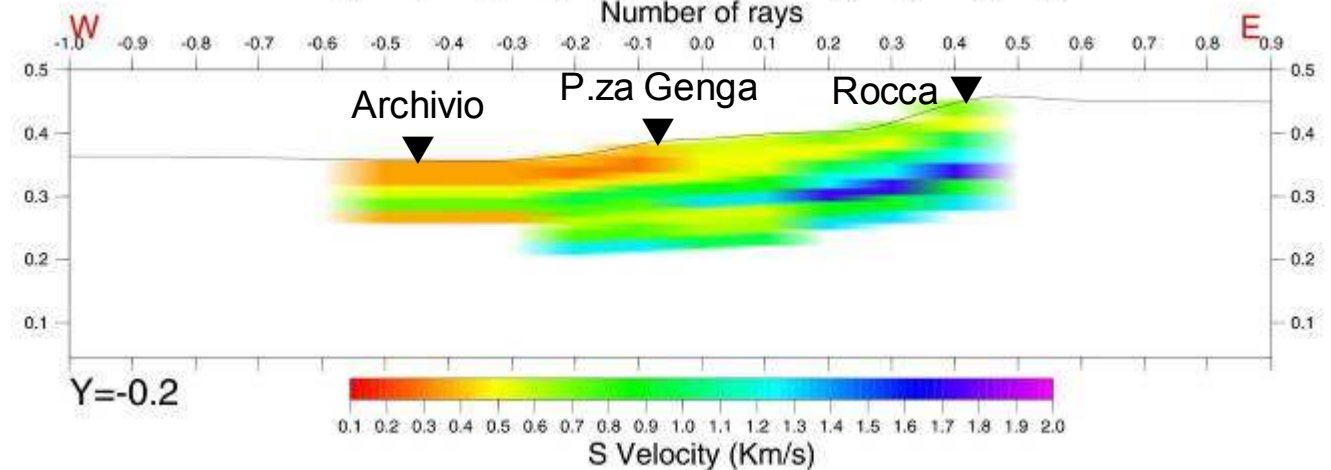
Energia dello spazio nullo



Numero di raggi per cella



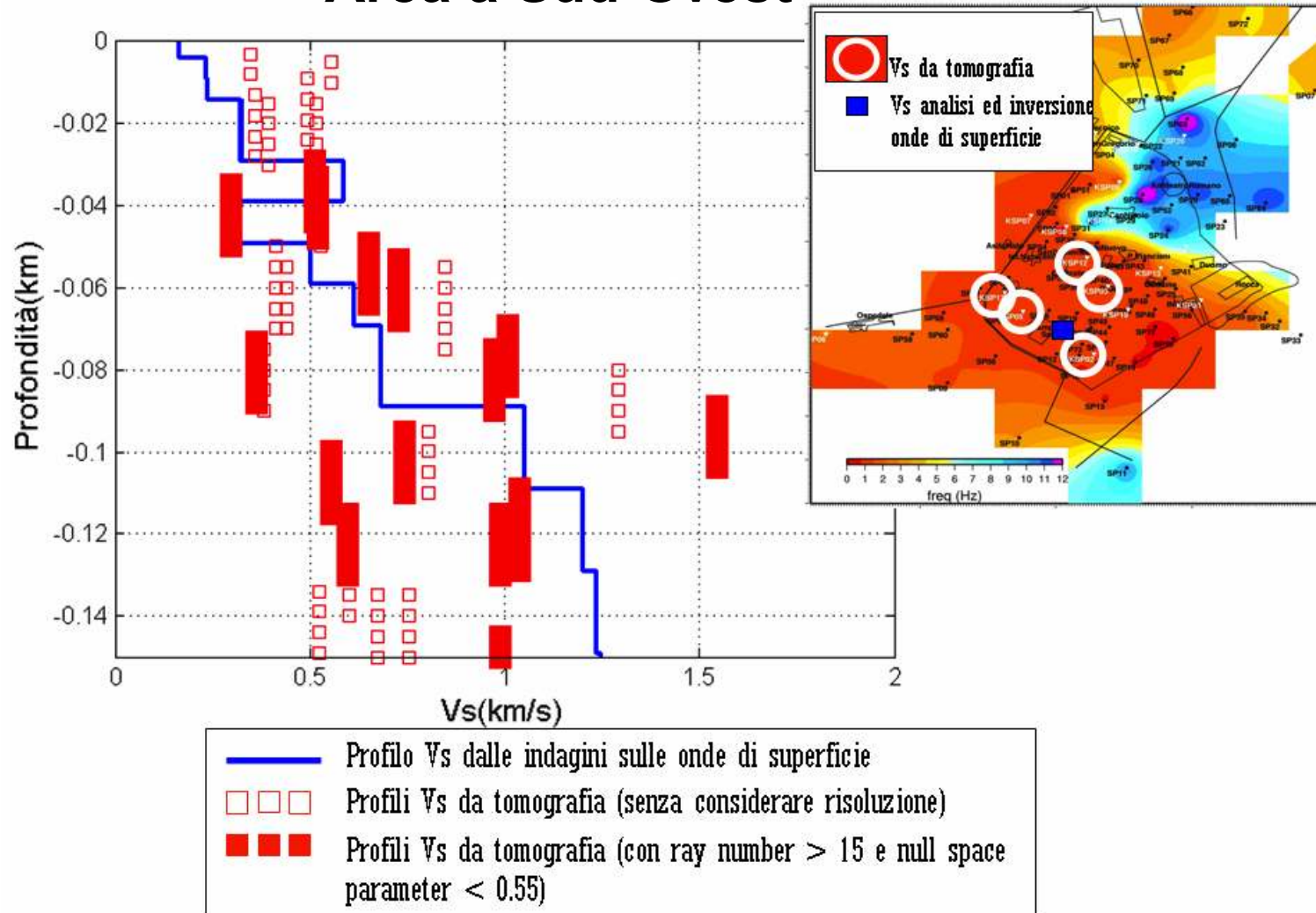
Campo di velocità S invertito



Confronto tra stime di V_s

Tomografia vs. dispersione onde di superficie

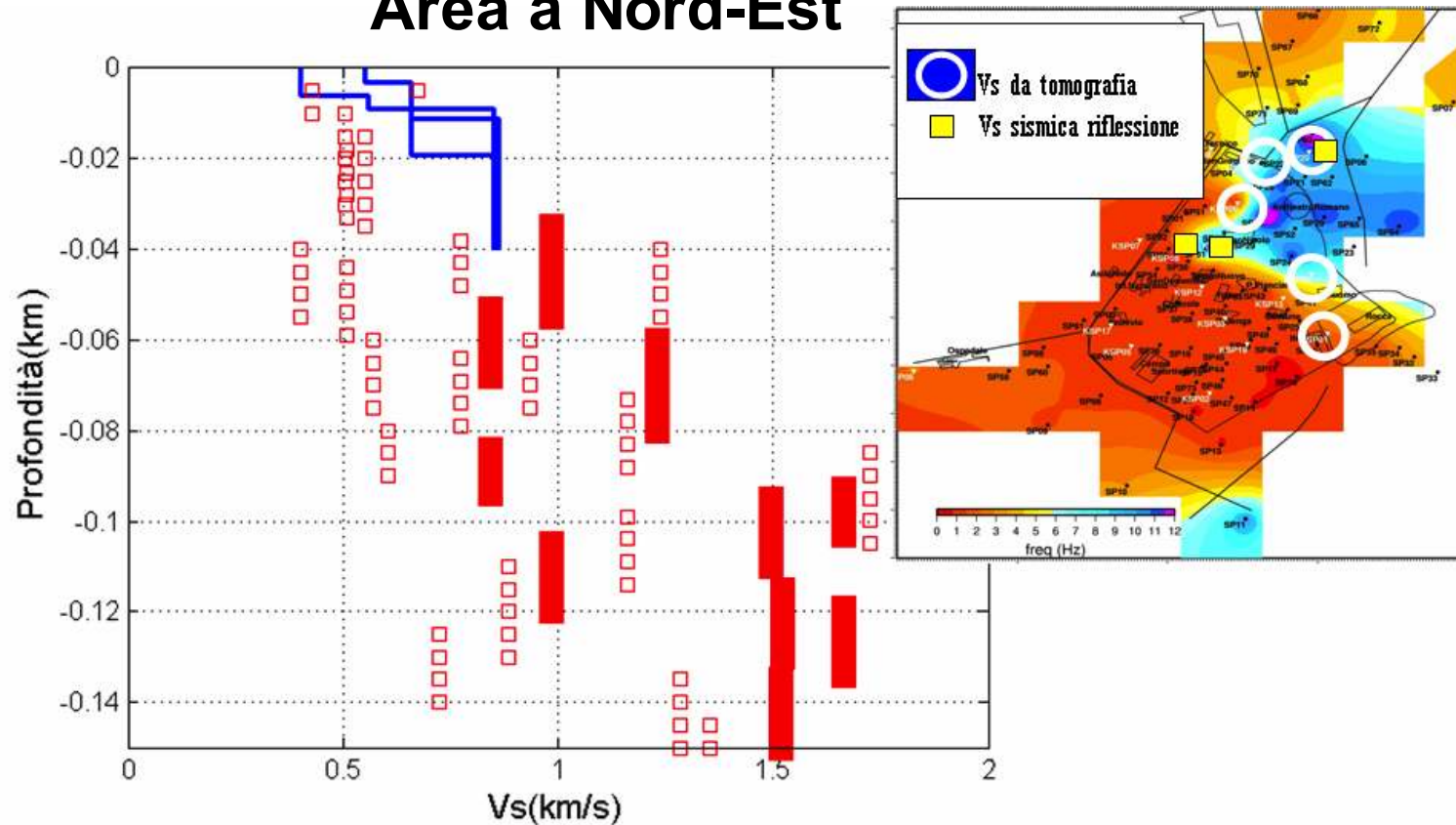
Area a Sud-Ovest



Confronto tra stime di Vs

Tomografia vs. dispersione onde di superficie

Area a Nord-Est



- Profili Vs30 dalle indagini professionisti locali (sismica riflessione)
- □ □ Profili Vs da tomografia (senza considerare risoluzione)
- ■ ■ Profili Vs da tomografia (con ray number > 15 e null space parameter < 0.55)

Spettri di risposta (e di progetto) specifici di sito

Procedura di calcolo

Per i siti dove sono stati registrati i terremoti:

- **selezione di storie accelerometriche** compatibili con la storia e la pericolosità sismica di Spoleto;
- per ogni sito, **calcolo delle storie accelerometriche amplificate** attraverso convoluzione degli accelerogrammi con la funzione di trasferimento stimata da terremoti;
- **calcolo dei fattori di amplificazione**, degli **spettri di risposta** e della loro incertezza;
- **confronto con gli spettri di progetto da normativa** e quelli a pericolosità uniforme (*Progetto Sismologico S1*).

Selezione dell'input sismico

1. Registrazioni delle reti Kik-net e K-net (Giappone);
2. Registrazioni selezionate nel progetto S5;
3. Dati sintetici (*Deodatis et al., 2003*).

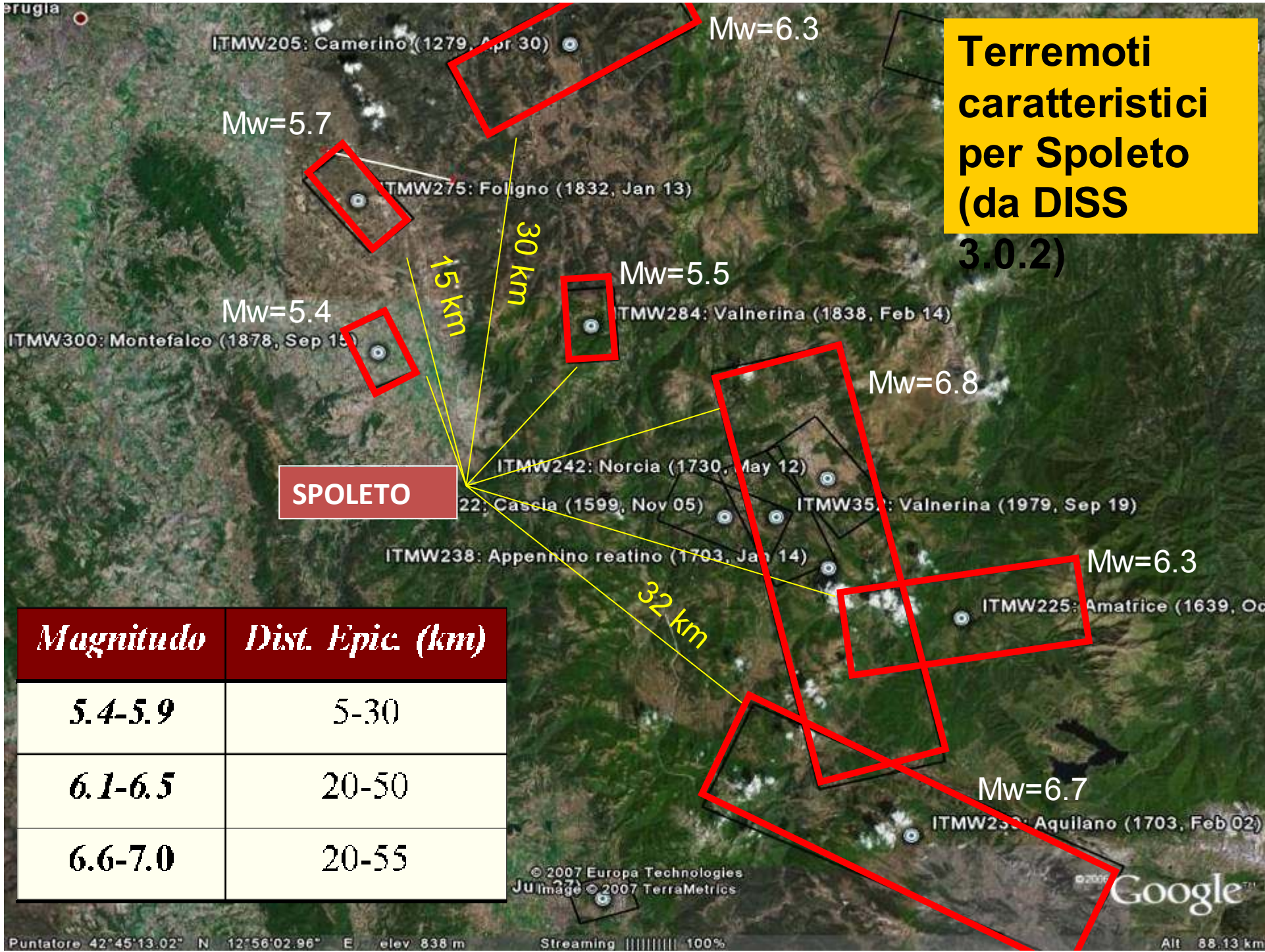
Criteri di selezione:

- 1) Siti su suolo A ($V_{s30} > 1000$ m/s);
- 2) magnitudo e distanze caratteristiche per Spoleto (DISS3.0.2);
- 3) PGA compatibili con l'**OPCM 3519** a Spoleto (0.20-0.225 g)^(*);
- 4) Spettri di risposta compatibili con gli spettri a pericolosità uniforme definiti nel progetto S1.

^(*) Importante: non sono le accelerazioni di ancoraggio dello spettro di progetto per Zona1/Suolo A.

**Terremoti
caratteristici
per Spoleto
(da DISS**

3.0.2)



SPOLETO

<i>Magnitudo</i>	<i>Dist. Epic. (km)</i>
5.4-5.9	5-30
6.1-6.5	20-50
6.6-7.0	20-55

Selezione dati accelerometrici compatibili con spettro a pericolosità uniforme

1. Registrazioni delle reti Kik-net e K-net (Giappone);
2. Registrazioni selezionate nel progetto S5;
3. Dati sintetici (*Deodatis et al., 2003*).

Criteri di selezione:

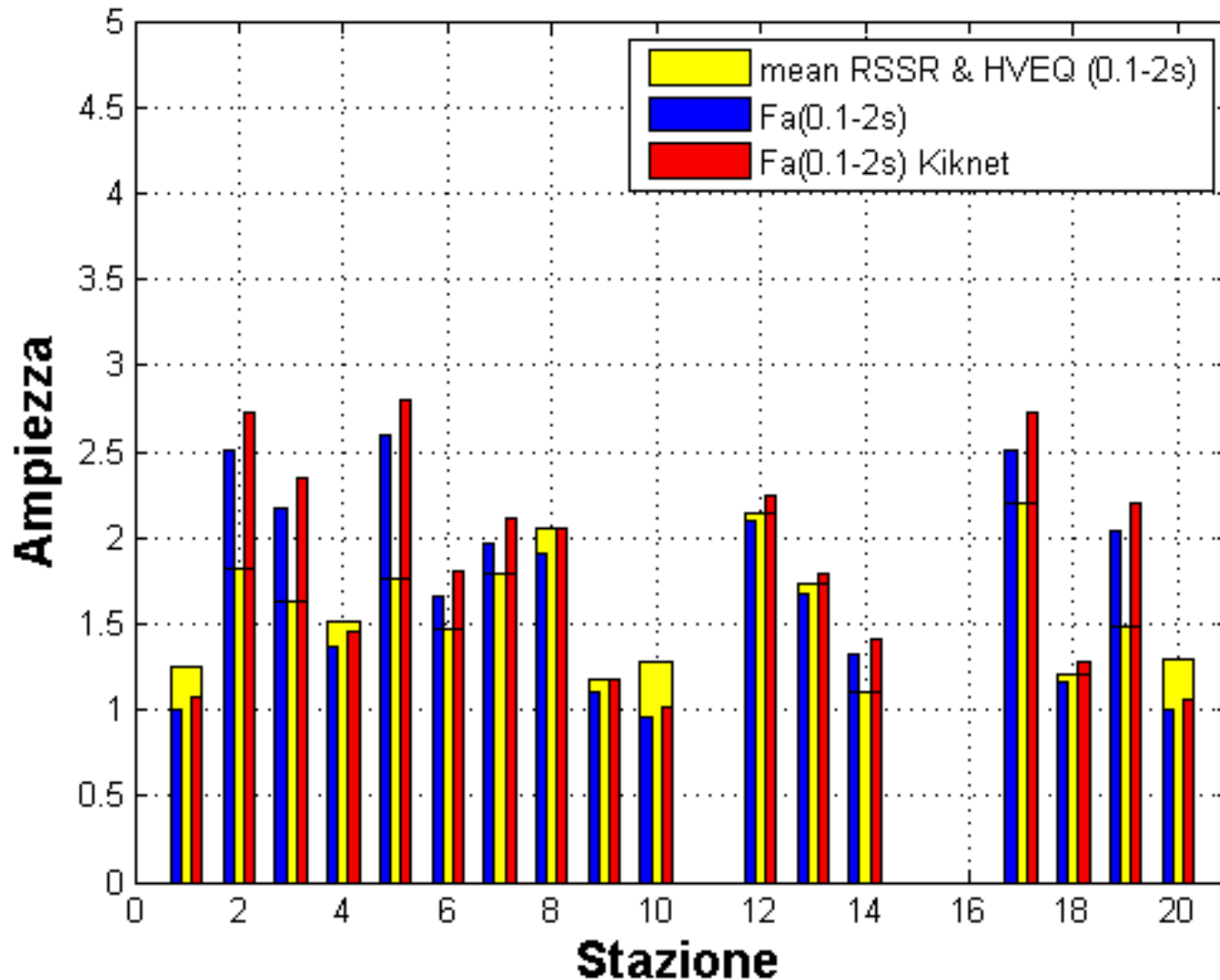
- 1) Siti su suolo A ($V_{e20} > 1000$ m/s);
- 2) magnitudo e distanza (da DISS3.2);
- 3) PGA compatibili (0-0.225 g)^(*);
- 4) Spettri di risposta compatibili con gli spettri a pericolosità uniforme definiti nel progetto S1.

Data-set accelerometrico

- 5 storie registrate;
- 6 storie sintetiche.

^(*) Importante: non sono le accelerazioni di ancoraggio dello spettro di progetto per Zona1/Suolo A.

Amplificazione media nella banda $T=[0.1s, 2.0s]$

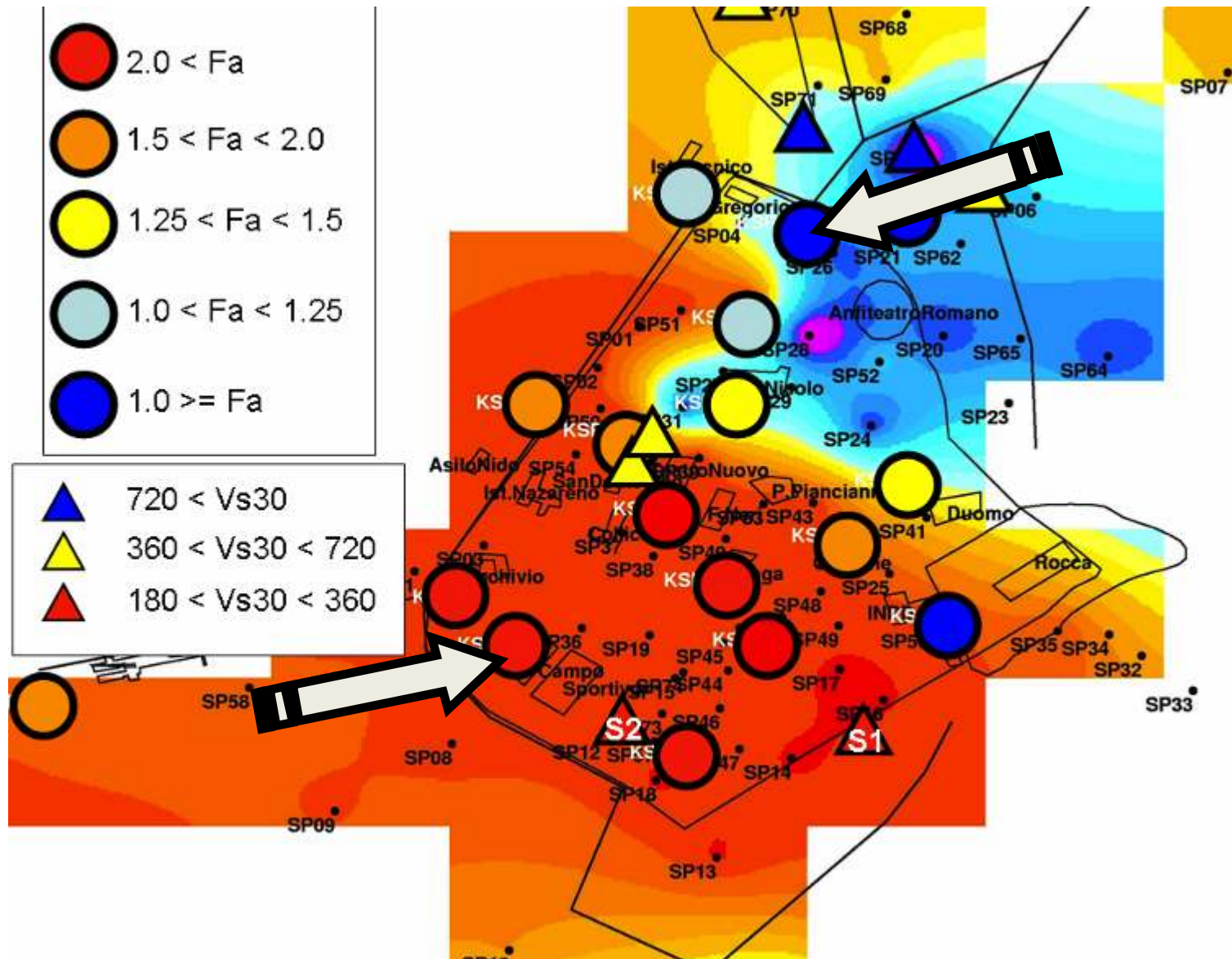


Rapporti spettrali
da registrazioni di
terremoti locali

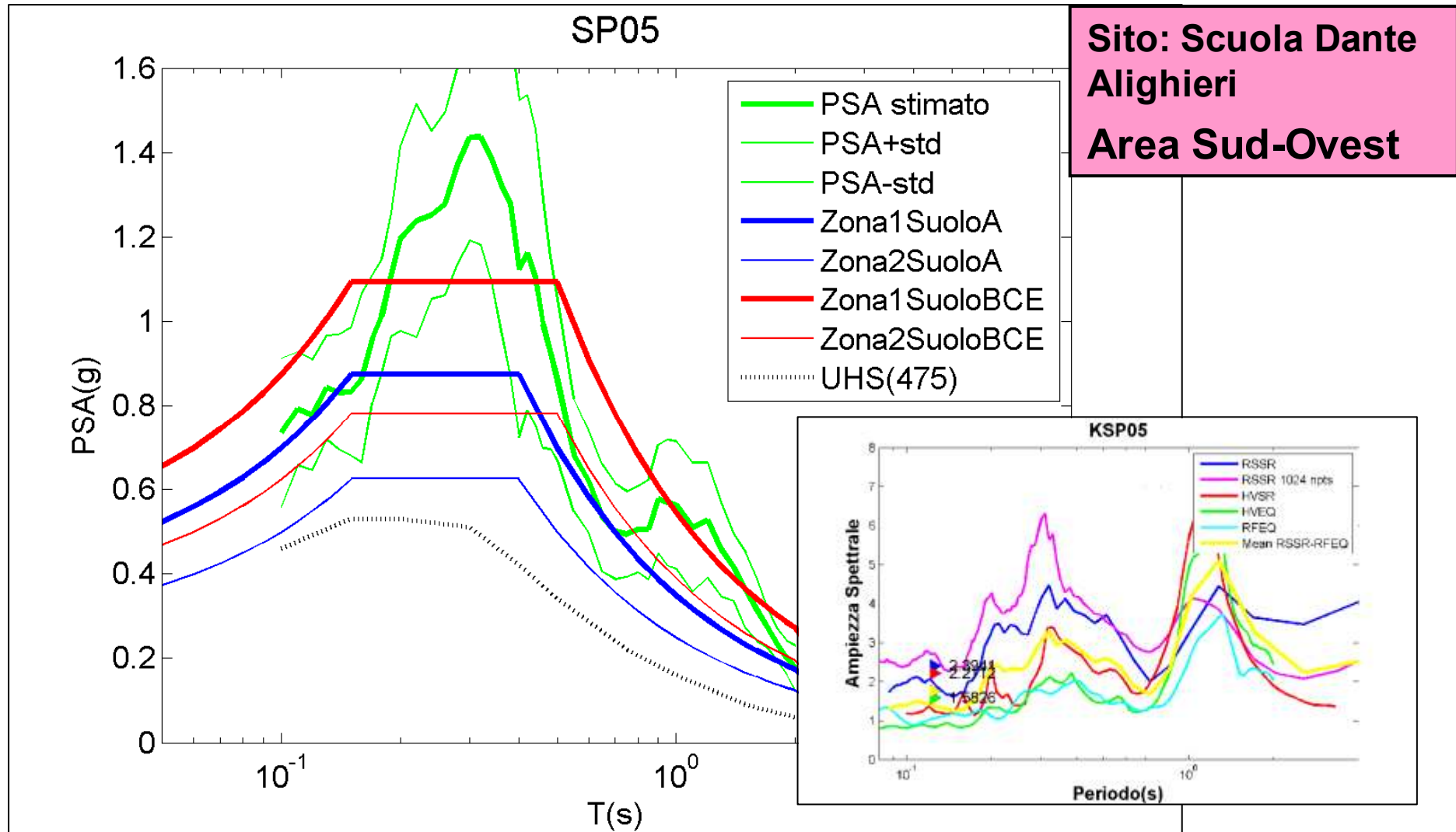
Fa da intensità di
Housner per storie
accel. registrate e
sintetiche

Fa da intensità di
Housner per storie
accel. registrate

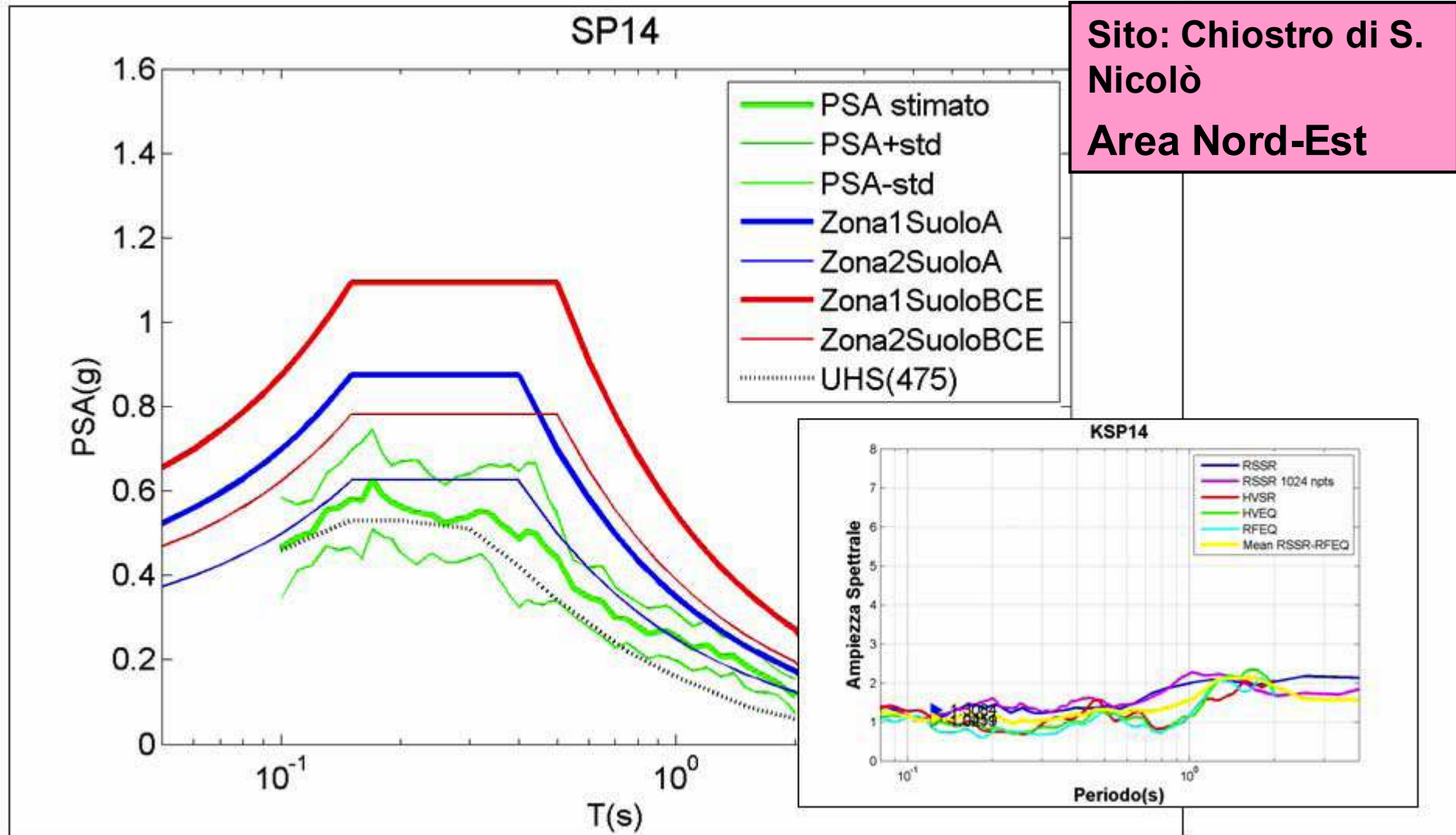
Amplificazione media ($Fa_{[0.1s, 2.0s]}$)



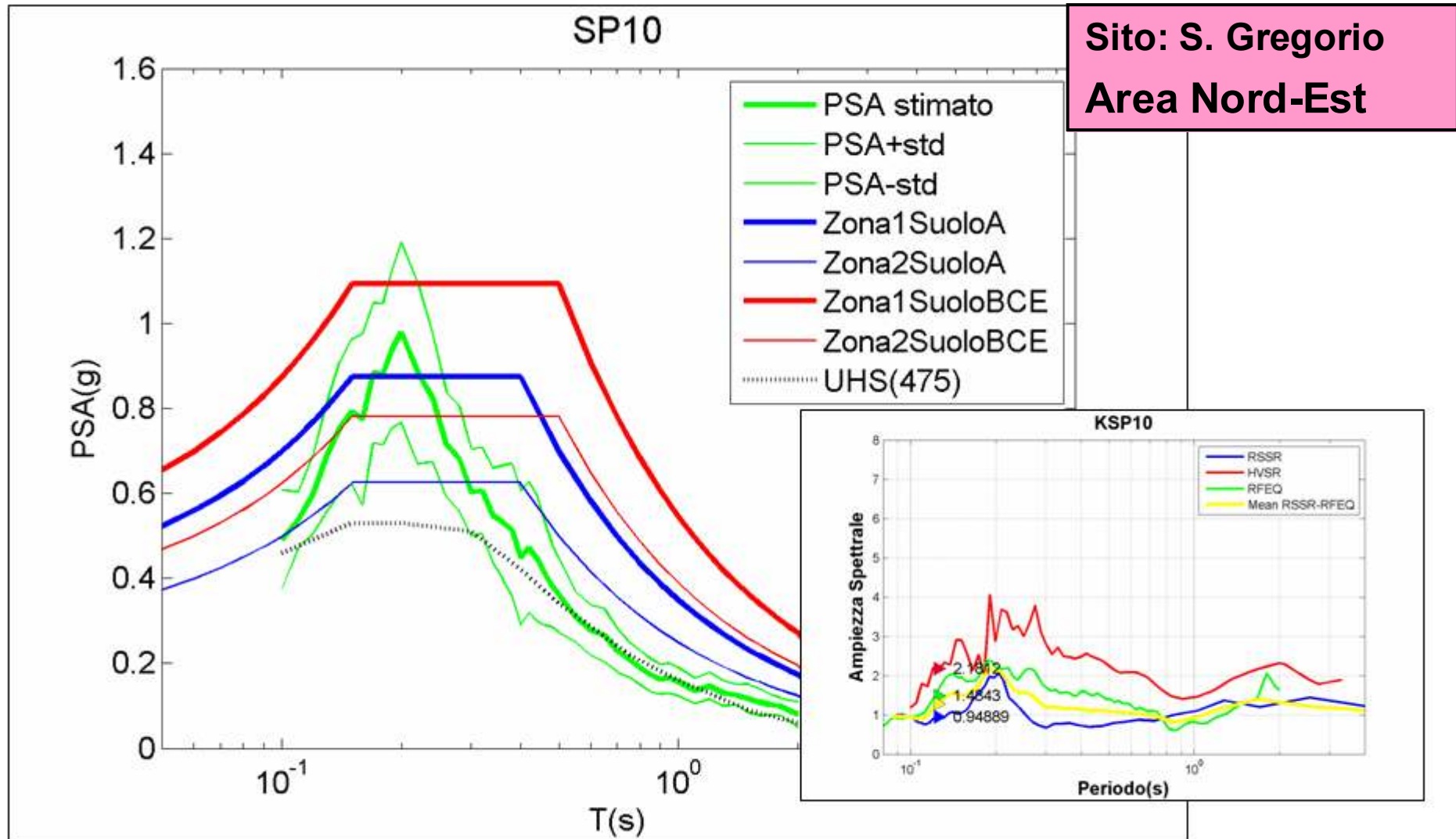
Spettri di risposta (e di progetto) specifici di sito



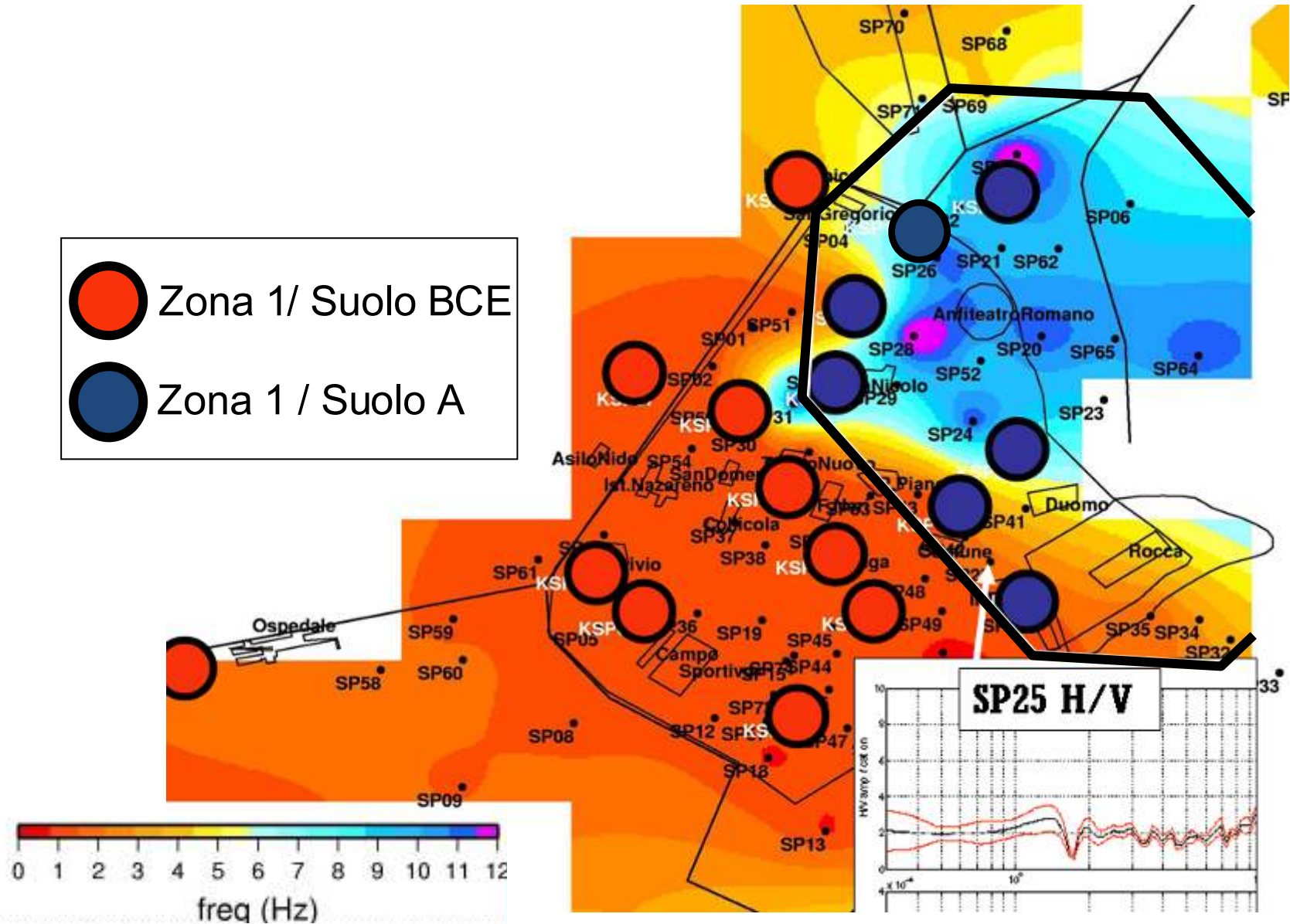
Spettri di risposta (e di progetto) specifici di sito



Spettri di risposta (e di progetto) specifici di sito



Spettri di risposta (e di progetto) di sito



Conclusioni

- **Livello di sismicità sufficientemente elevato** da consentire di stimare la risposta spettrale da registrazione di terremoti.
- Nonostante il centro storico di Spoleto presenti una topografia irregolare **la risposta è principalmente di tipo 1D**.
- Sono stati definiti **modelli di Vs a profondità di circa 100 m** consistenti con la risposta sismica misurata e una **immagine tomografica della struttura di velocità** sotto il centro storico.
- Sono stati definiti **spettri di risposta (e di progetto) specifici di sito** per 17 siti.
- La mappa dell'amplificazione sismica attesa divide il centro storico di Spoleto in **due aree ben distinte**.

• **Limiti dello studio:** la stima della risposta sismica vale per moti medio/deboli.

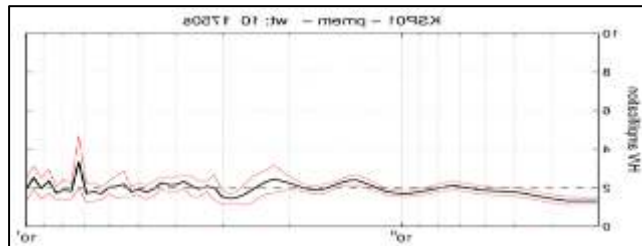
Studio integrativo successivo

- Valutazione della scelta delle **stazioni di riferimento**
- Ulteriore **controllo e verifica dei risultati tomografici** mediante analisi della risposta per incidenza verticale onde SH
- Valutazione effetti di **non linearità**
- Miglioramento e revisione dei **criteri nella mappatura** della risposta locale

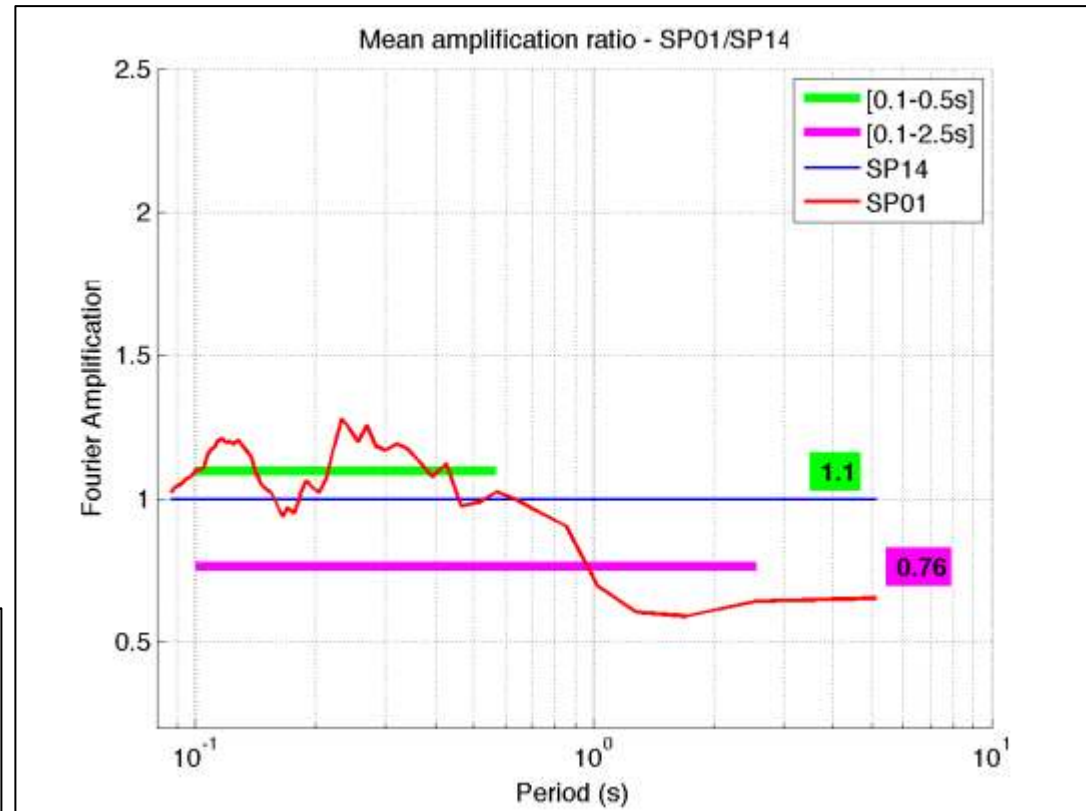
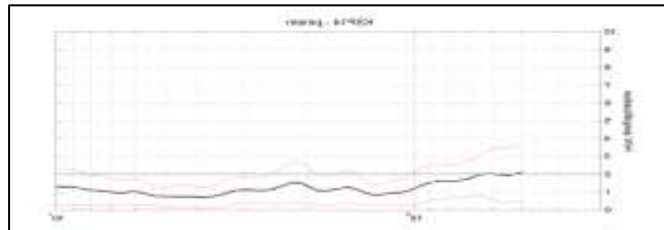
- approfondimenti

Stazioni di riferimento

Sito KSP01 $V_s > 1000-1100$ m/s
Corniola calcare

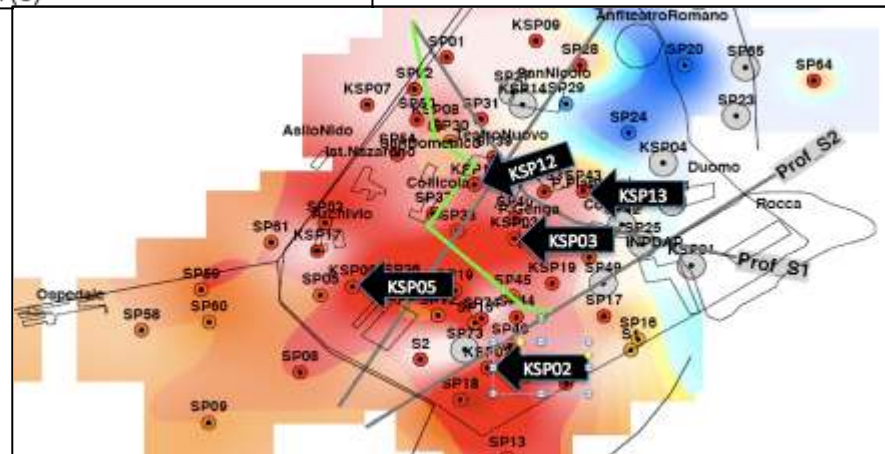
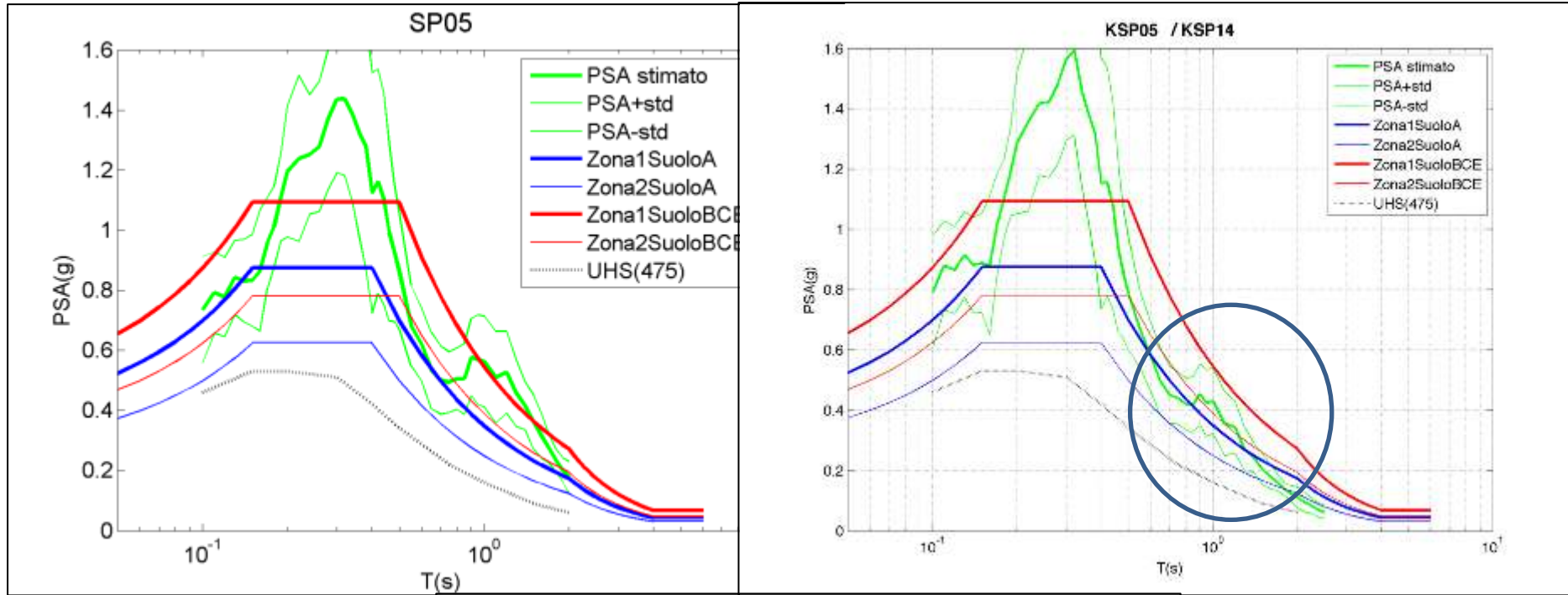


Sito KSP14 $V_s \geq 800$ m/s
Subsistema San Silvestro
ghiaie e ciottoli addensati

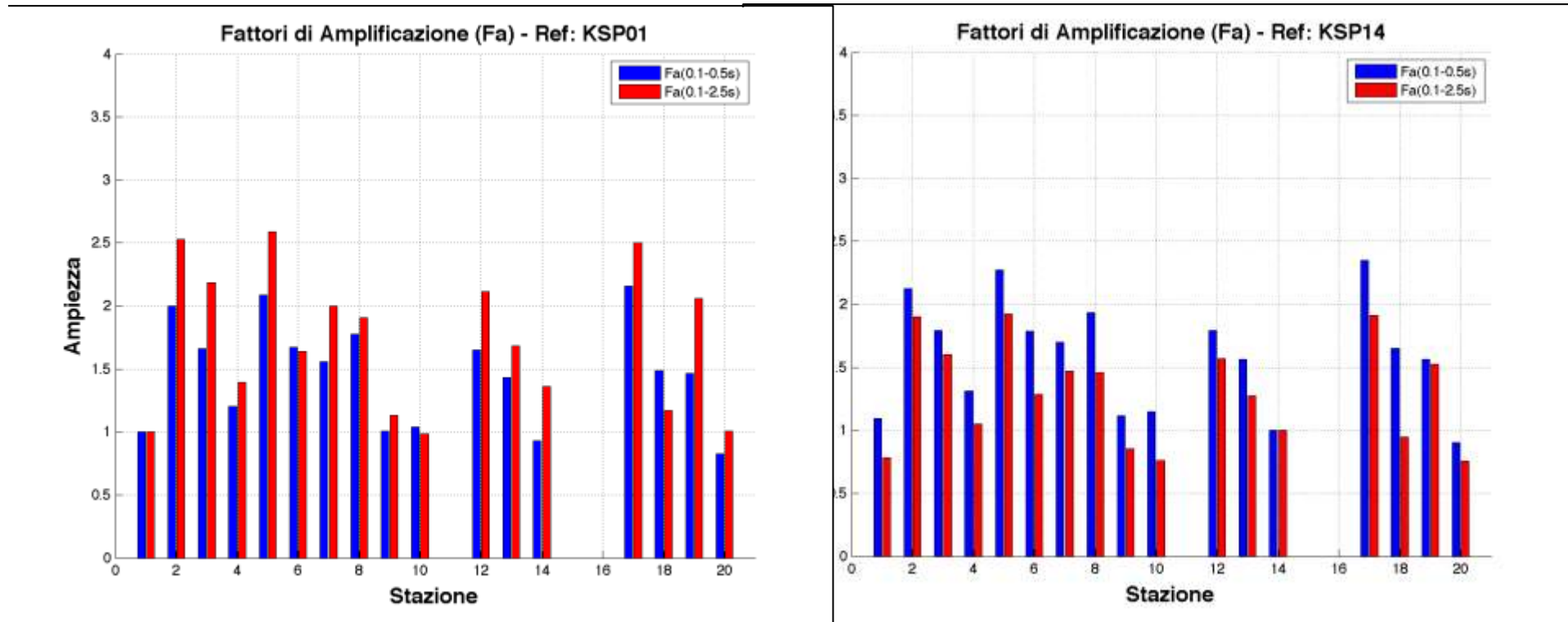


Entrambi i siti mostrano H/V piatto – ma il rapporto delle curve di amplificazione mostra una debole amplificazione in alta frequenza (10%) e una deamplificazione (25%) delle basse frequenze (>2Hz)

Stazioni di riferimento

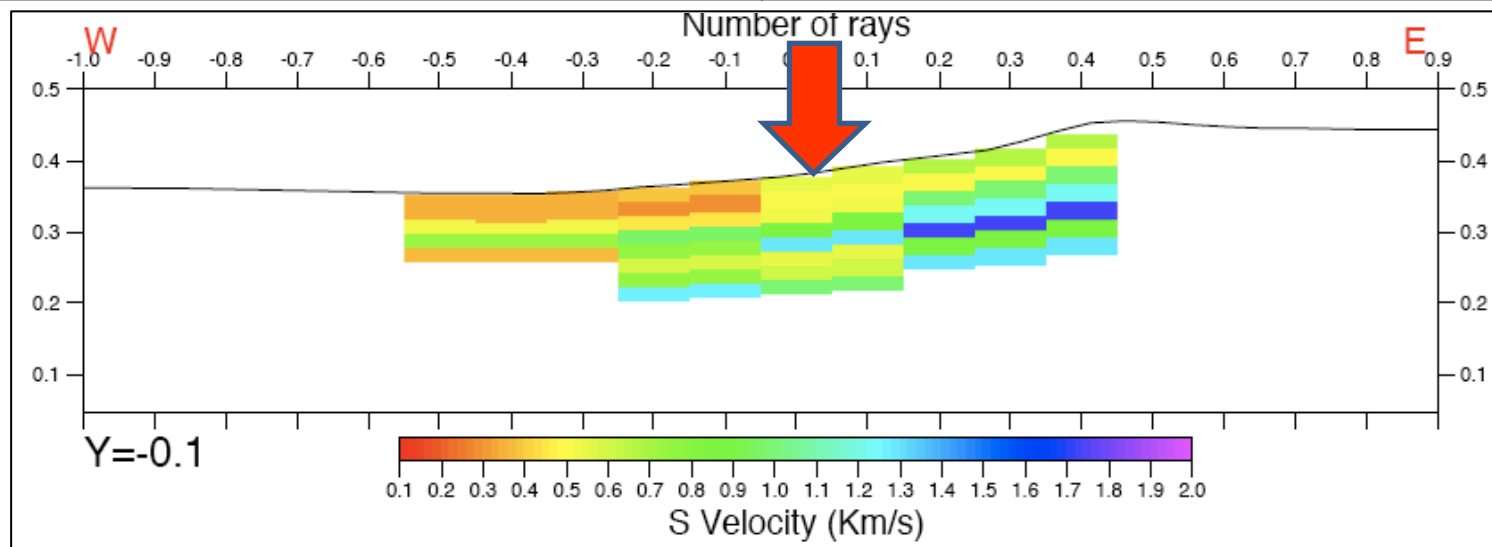
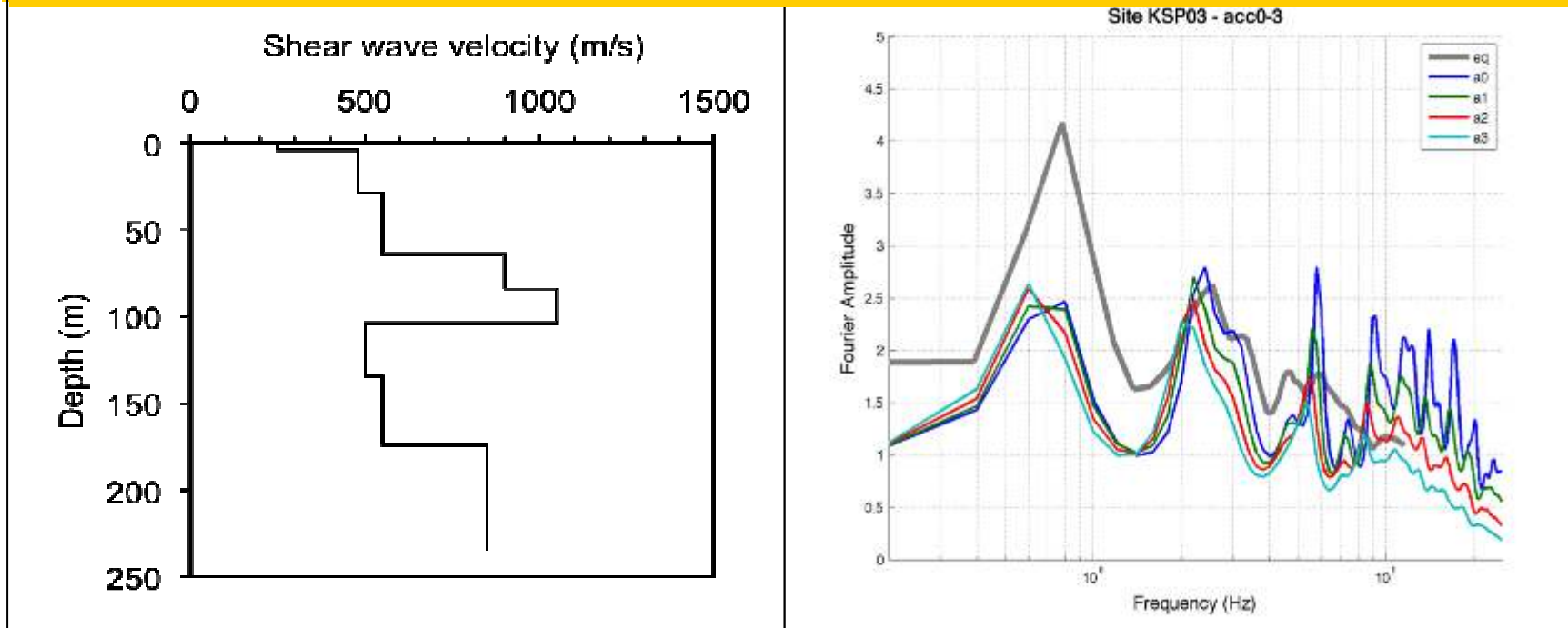


Stazioni di riferimento

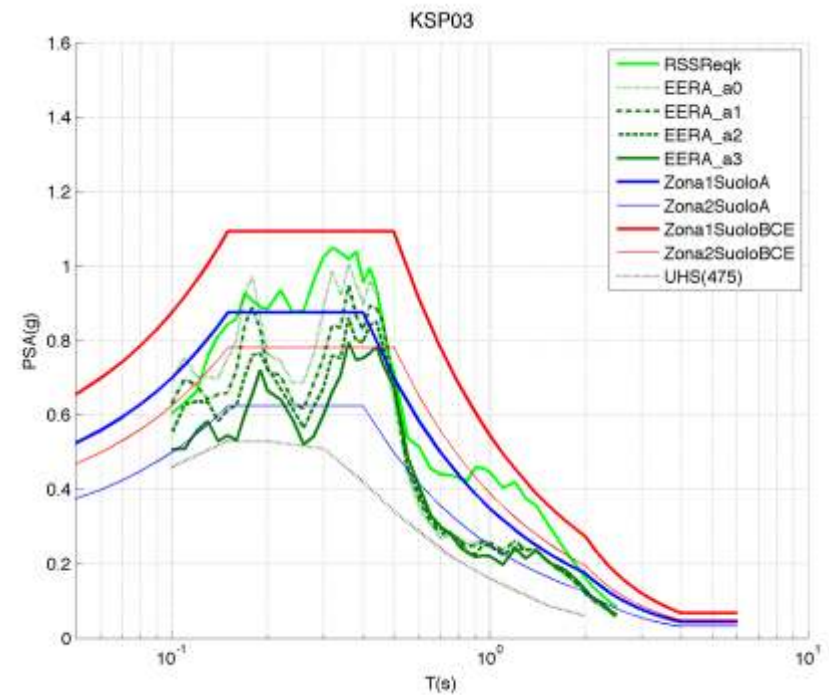
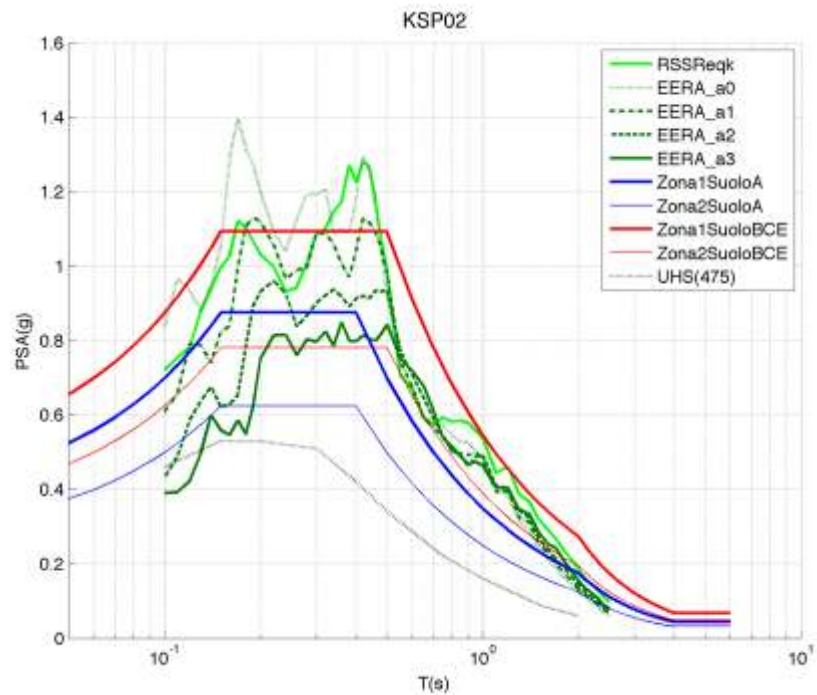
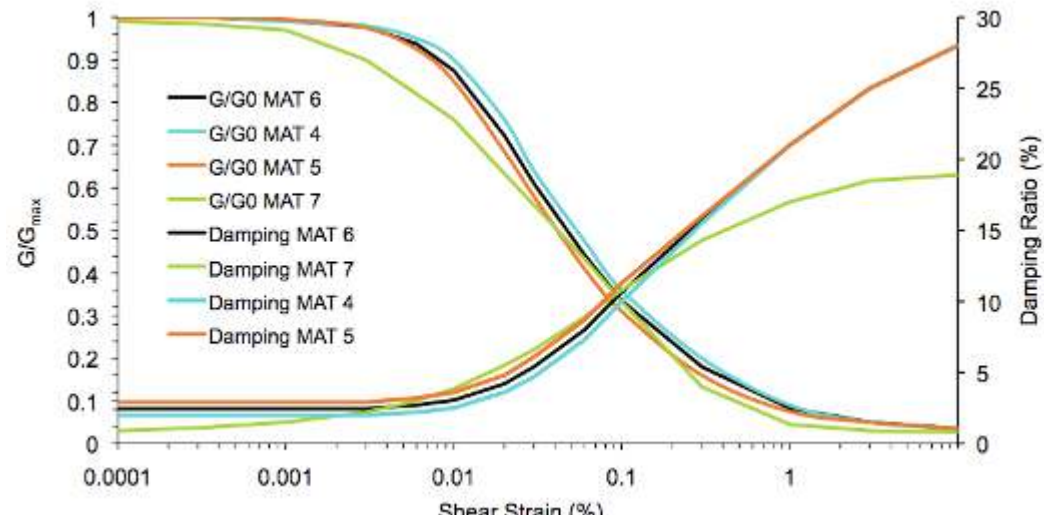


Viene confermata una generale diminuzione degli Fa corrispondente ad un 20% specialmente per gli Fa calcolati tra 0.1 e 2.5 s.

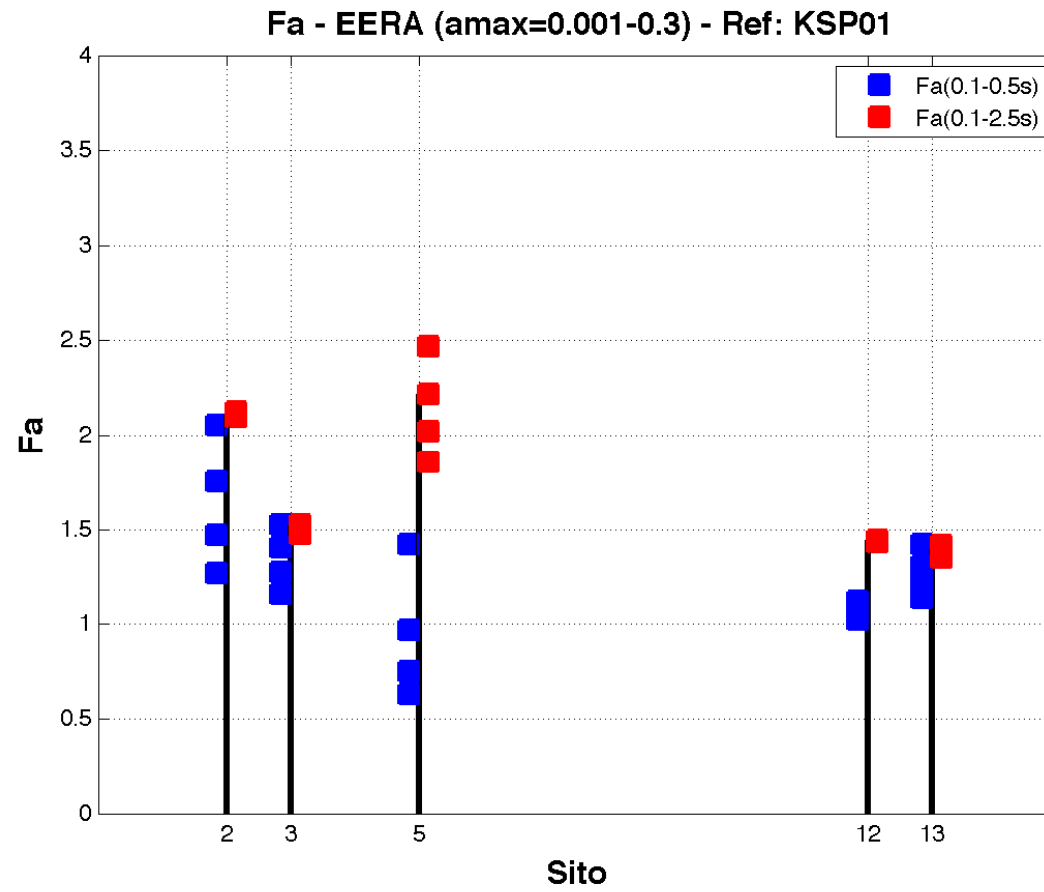
Verifica sui risultati tomografici: Sito KSP03



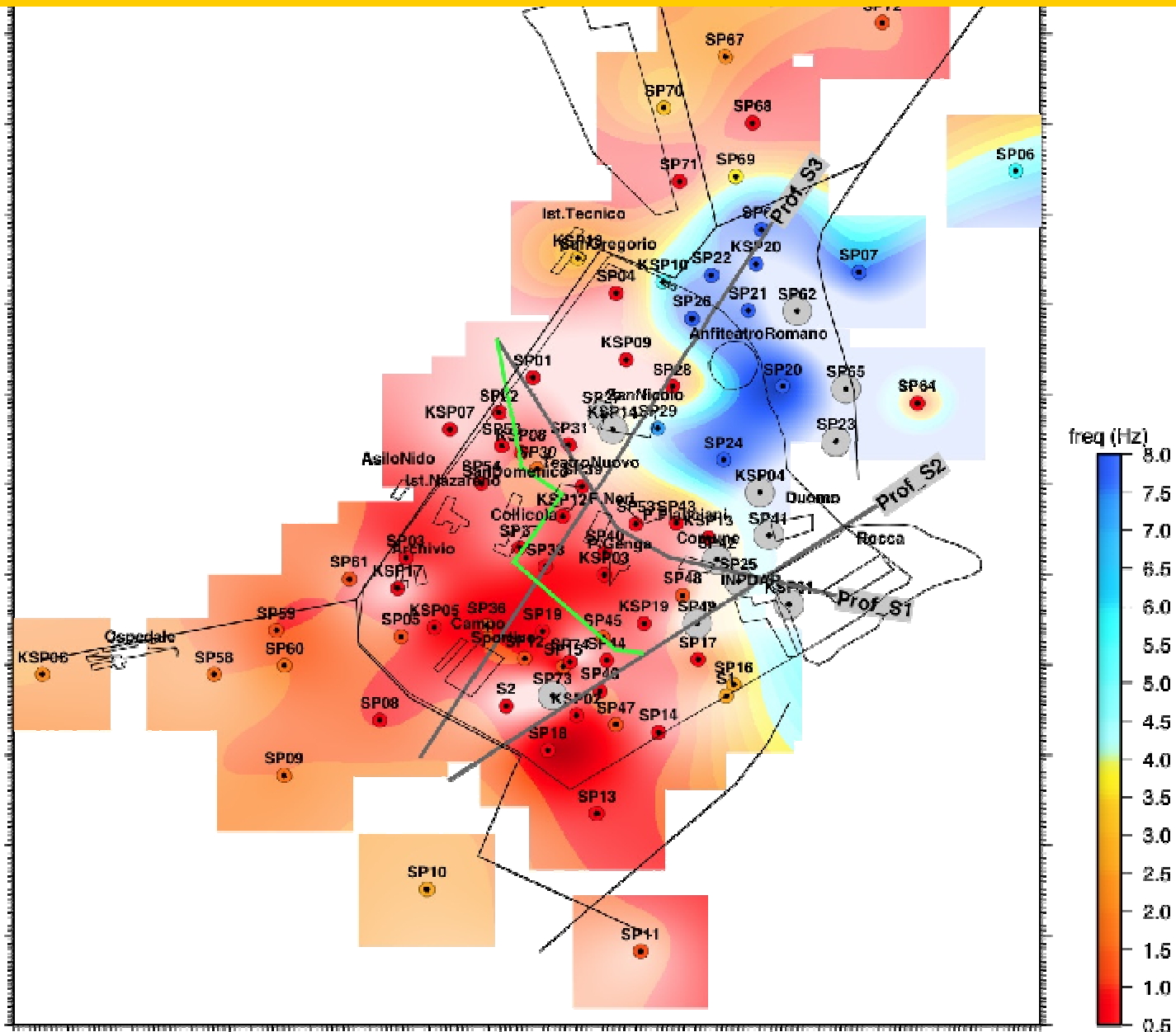
Non linearità



Non linearità: incertezza in Fa



MAPPATURA



CONCLUSIONI studio integrativo

1) l'utilizzo di più siti di riferimento rappresentativi del bedrock sismico nell'accezione sismologica e ingegneristica INCERTEZZA RISULTANTE 25% SULLA STIMA DELLA RISPOSTA LOCALE,

2) la valutazione numerica degli effetti dissipativi dovuti al moto forte del suolo partendo dalla risposta sismica di sito stimata per via sperimentale.

Seppur lo studio sia datato 2005-2006 ci sembra ancora molto attuale sia per la sua **interdisciplinarietà** sia per la possibilità di utilizzare e adattare i risultati ottenuti con qualsiasi normativa e con eventuali successive modifiche

Se vogliamo trovare un limite vero è che purtroppo lo **studio è stato realizzato circa 8 anni dopo il terremoto dell'Umbria 1997 con i lavori di riadeguamento del centro storico già in fase di conclusione.**