

Elementi di sismologia per la Microzonazione Sismica



Lucia Luzi

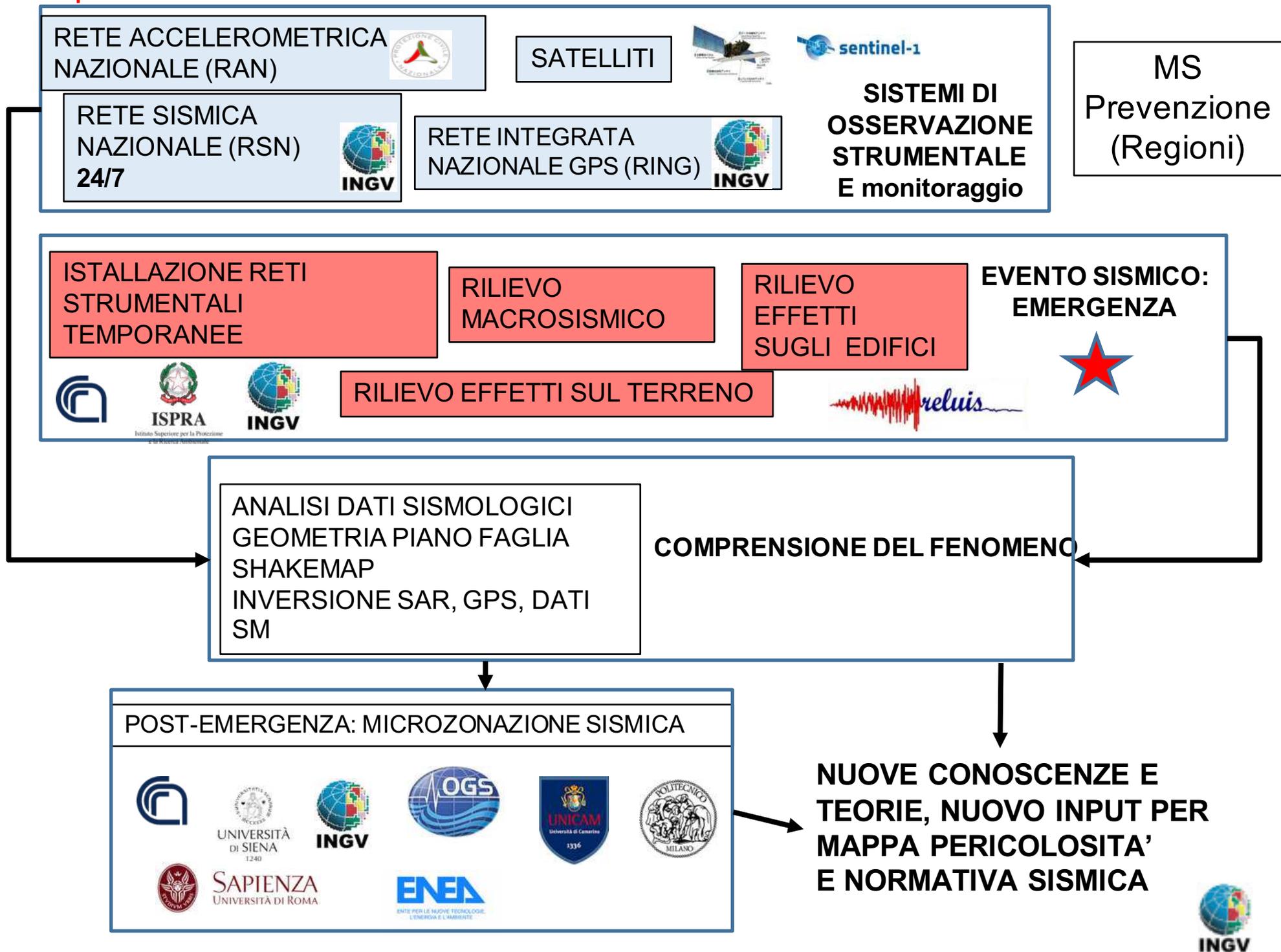
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

lucia.luzi@ingv.it



Indice

- Segnali sismici e parametri del moto del suolo
- Dall'equazione di un'onda al calcolo dell'amplificazione stratigrafica
- Analisi spettrali per determinare gli effetti di sito
- Pericolosità sismica e spettro compatibilità



Introduzione

ZONAZIONE: suddivisione del territorio in una serie di domini omogenei classificati secondo il **grado di pericolosità** reale o potenziale di un fenomeno

MICROZONAZIONE SISMICA: è una tecnica di analisi sismica che ha lo scopo di individuare, ad una scala sufficientemente piccola (scala comunale o sub comunale), le zone del territorio caratterizzate da **comportamento sismico omogeneo**. La MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità

MS: un approccio multidisciplinare

Sismologia

Ingegneria

Geologia

Misure
geofisiche

**Rilievi di
superficie**

Calcolo pericolosità sismica

Monitoraggio
Analisi spettrali

**Lab
geotecnica**

Cartografia

Simulazioni

**Selezione input
sismico**

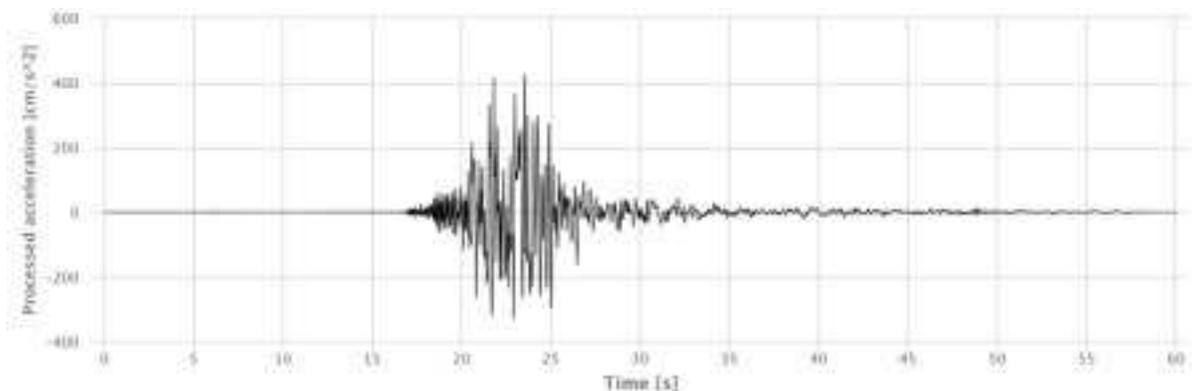
Qual è il contributo della sismologia

Obiettivo: definire i contributi al moto del suolo di **sorgente sismica, propagazione e sito**

Modelli teorici -> simulazioni

Analisi di segnali sismici -> tecniche empiriche applicate alle registrazioni di terremoti o microtremoni

Strumento principale e obiettivo finale: segnali sismici



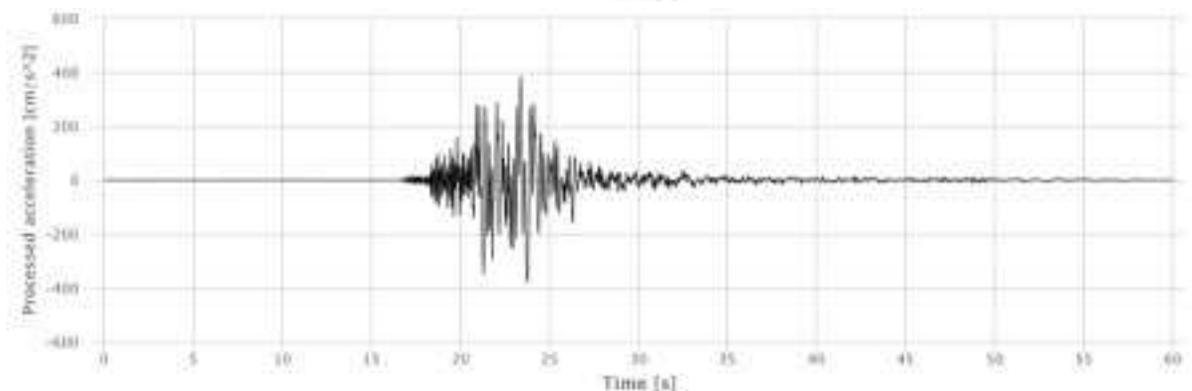
EW

Accelerogramma

30-10-2016 Mw 6.5

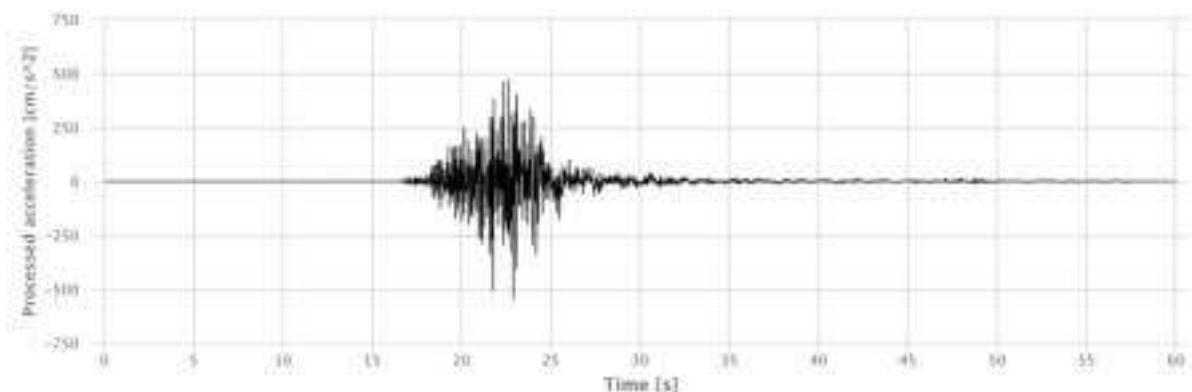
Accumoli

R = 18.6 km



NS

unità misura: cm/s²
m/s² o multipli di g
(9.8 m/s²), es. g/10



UP

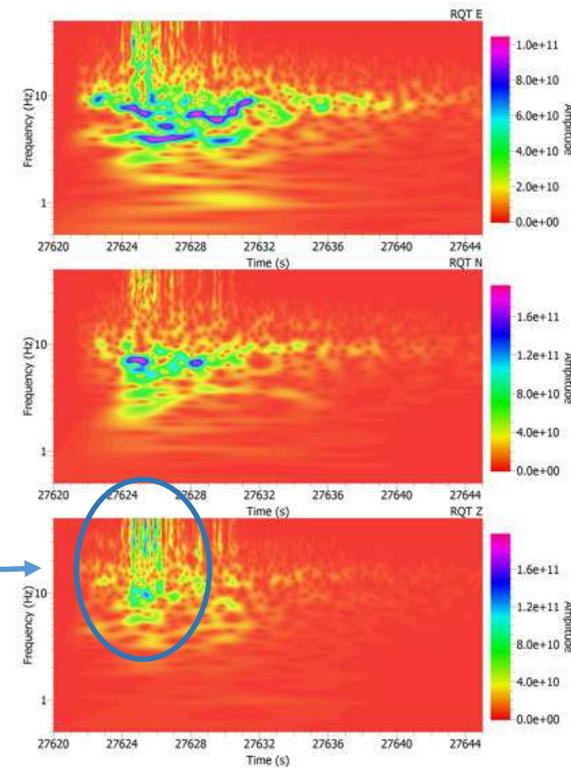
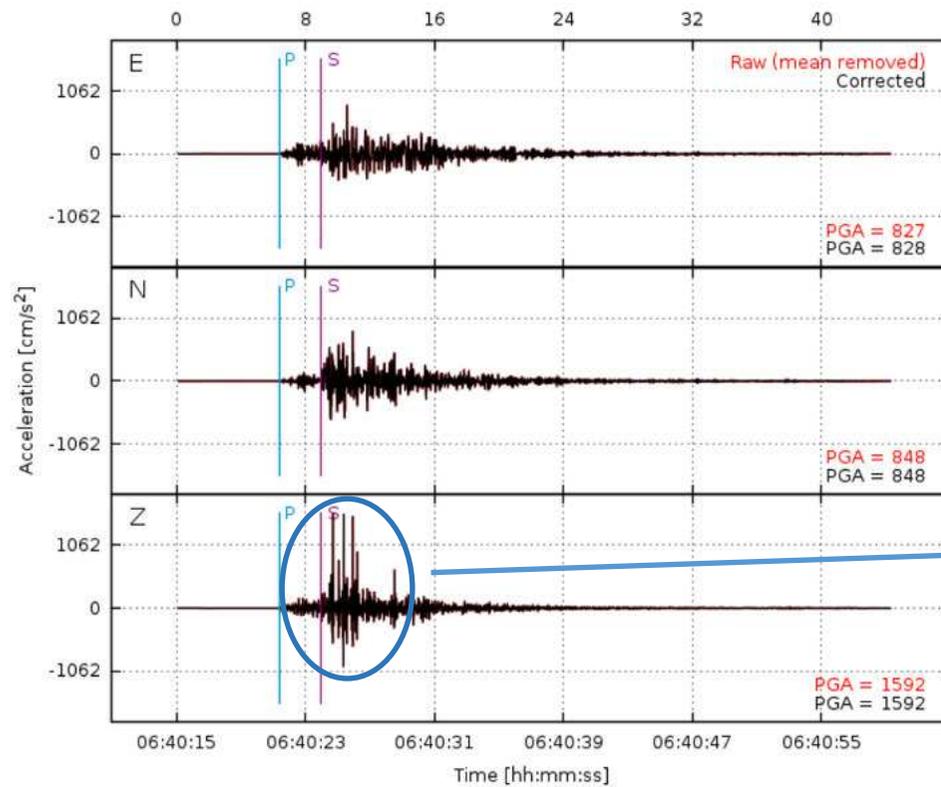
Perché si usano le registrazioni accelerometriche

- Gli accelerometri vengono in genere configurati per registrare forti accelerazioni (es. 2g) senza che il segnale saturi
- E' possibile ottenere per integrazione dell'accelerazione i segnali di velocità e spostamento
- L'inversione permette di ricostruire la cinematica e la dinamica della rottura lungo il piano di faglia
- Sono di grande utilità per applicazioni ingegneristiche (vengono impiegati per la progettazione di edifici e infrastrutture, per stimare le leggi di attenuazione del moto del suolo per le mappe di pericolosità e gli effetti di sito)

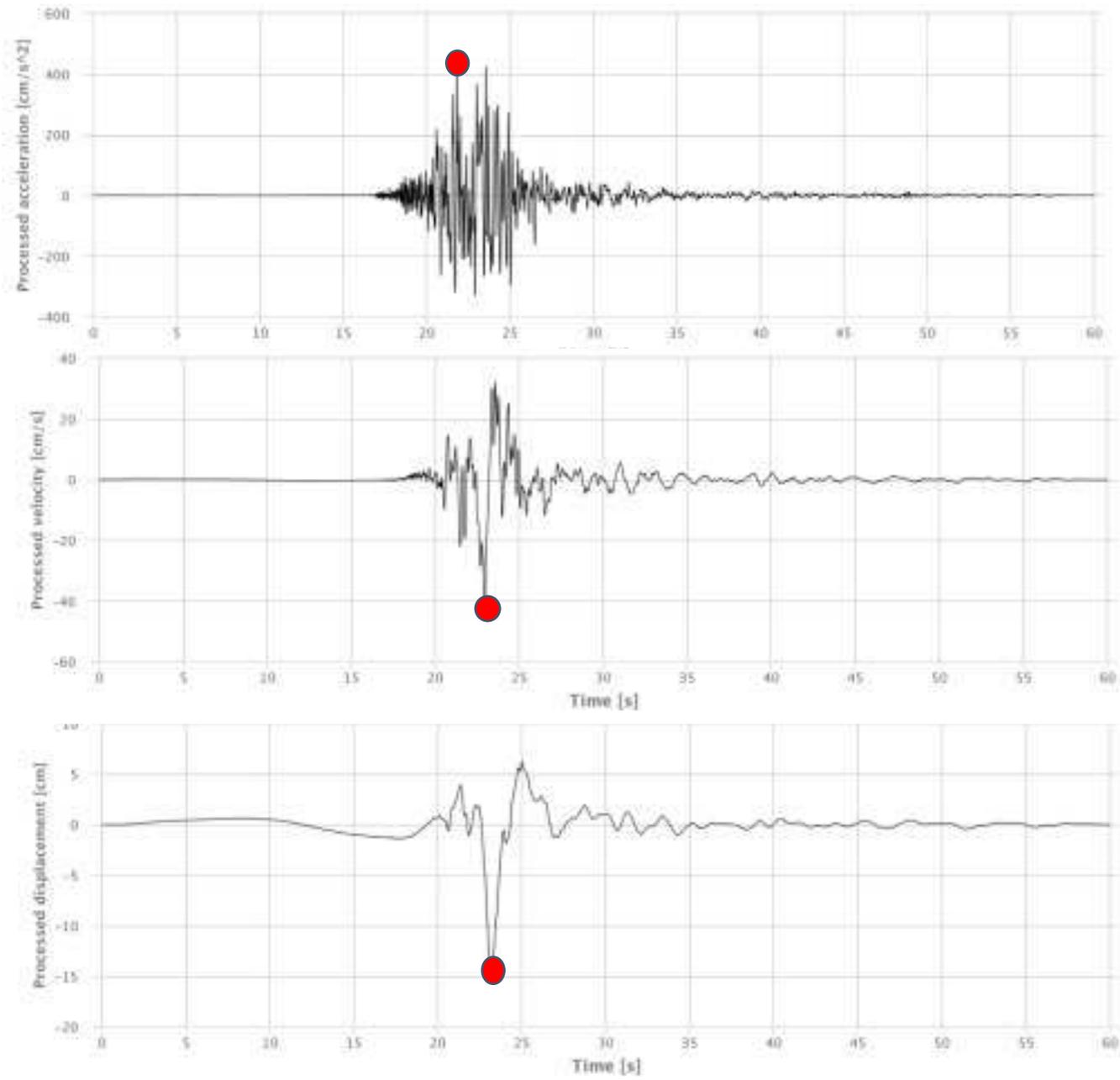
Stazione RQT



Evento Mw 6.5



Parametri accelerometrici



PGA (EW)

426 cm/s²

30-10-2016 Mw 6.5

Accumoli

R = 18.6 km

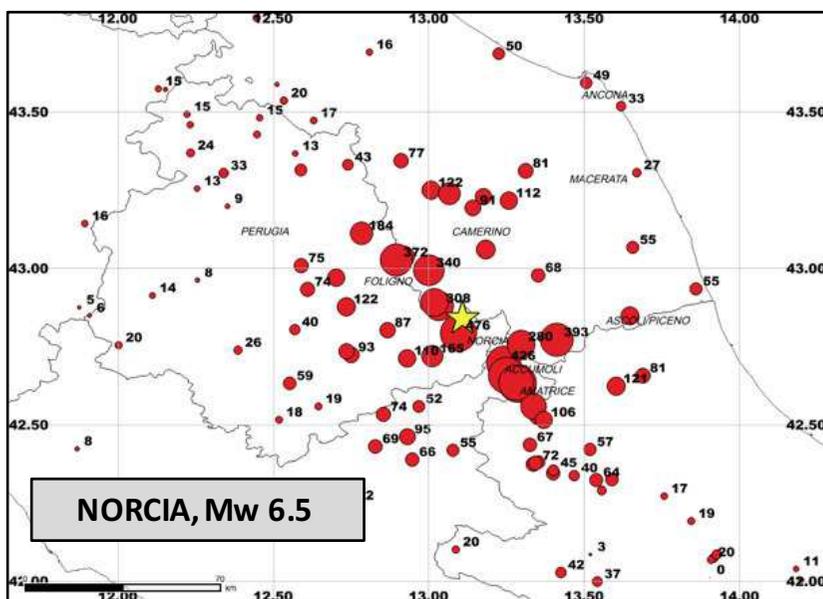
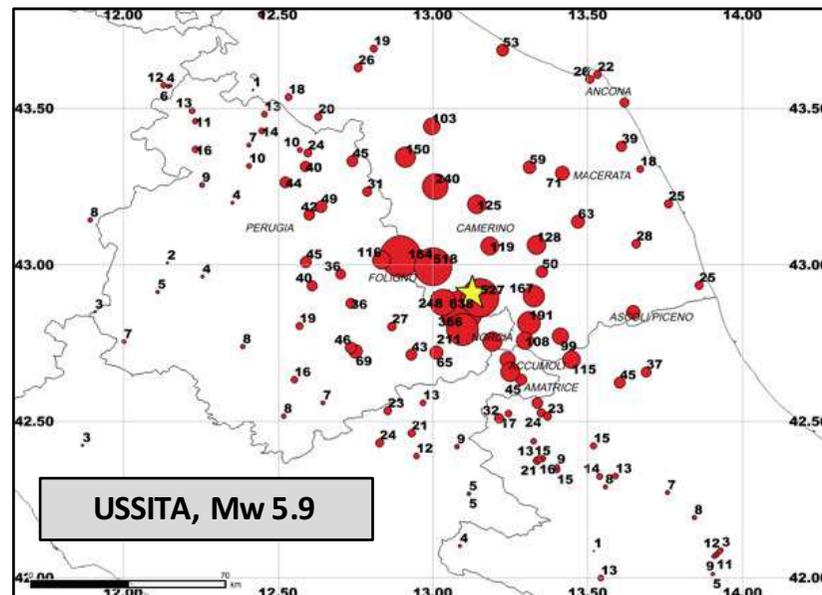
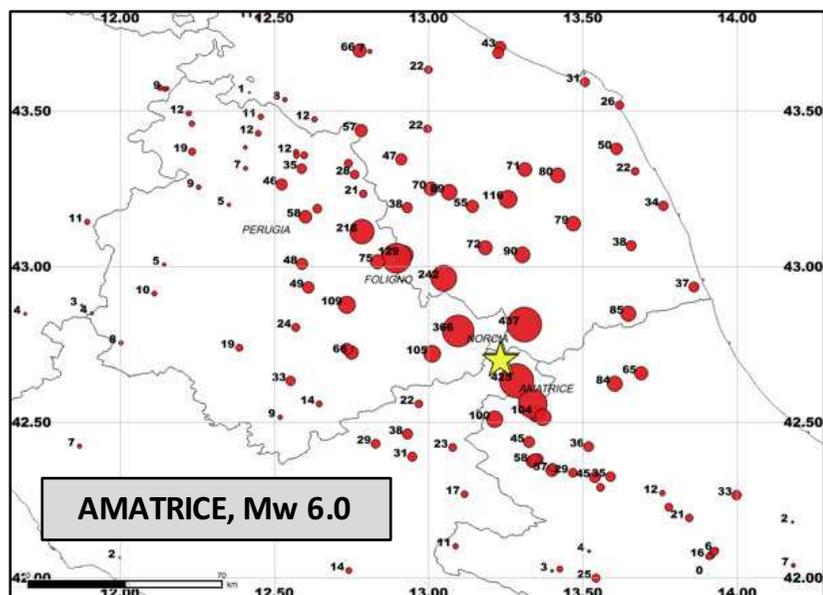
PGV (EW)

-44.0 cm

PGD (EW)

-14.3 cm

Picco di Accelerazione orizzontale



PGA più elevate:

AMATRICE 850 gal Mw 6.0 (24 Agosto)

CAMPI 706 gal Mw 5.4 (26 Novembre) e 638 gal, Mw 5.9 (26 Ottobre)

COLFIORITO 611 gal, Mw 5.9 (26 Ottobre)

ShakeMap (mappa di scuotimento)

- E' la rappresentazione dello **scuotimento** del terreno prodotto da un terremoto.
- Viene calcolata per **interpolazione** di osservazioni accelerometriche e velocimetriche della rete sismica nazionale e accelerometrica nazionale e **leggi predittive del moto del suolo**. Gli effetti di sito sono tenuti in conto attraverso una mappa litotecnica a scala 1:100.000
- Considera le seguenti grandezze: Intensità macrosismica, PGA, PGV e accelerazioni spettrali a 0.3, 1.0 e 3s
- E' calcolata per tutti i terremoti con $M_L \geq 3.0$
- La **Legge 1 agosto 2012, n. 122 - interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici che hanno interessato il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, il 20 e il 29 maggio 2012 (12G0148)** - riporta all'art. 3 le norme da adottare per la "Ricostruzione e riparazione delle abitazioni private e di immobili ad uso non abitativo; contributi a favore delle imprese; disposizioni di semplificazione procedimentale". Al comma 10 del suddetto articolo, si fa riferimento alle mappe di scuotimento.

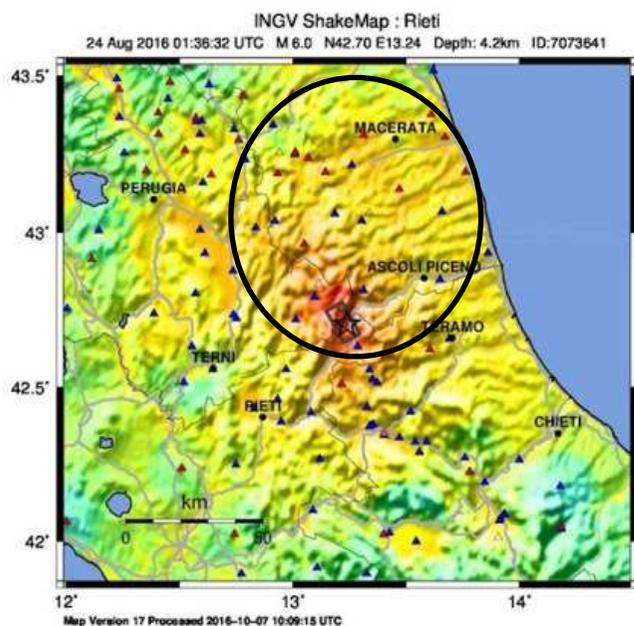
Leggi predittive del moto del suolo

Equazioni empiriche che forniscono una stima del moto del suolo (es. picchi accelerazione, velocità) in funzione della **magnitudo**, della **distanza sorgente – sito** per diverse categorie di suolo.

PGA peak ground acceleration (massima accelerazione registrata ad un sito, in valore assoluto)

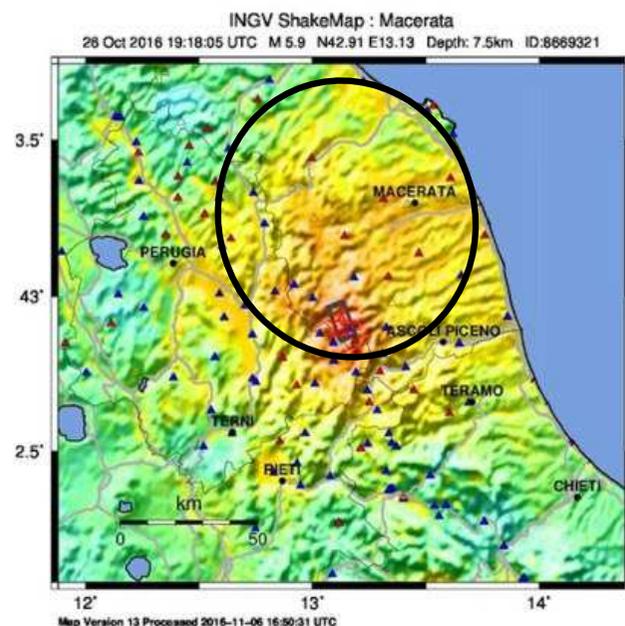
PGV peak ground velocity (massima velocità registrata ad un sito, in valore assoluto)

<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/>



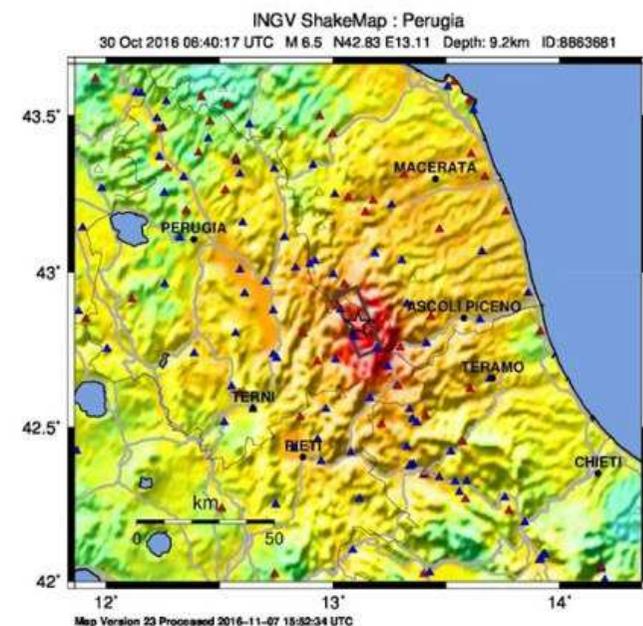
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Scale based upon Faenza and Michelin, 2010, 2011



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Scale based upon Faenza and Michelin, 2010, 2011



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Scale based upon Faenza and Michelin, 2010, 2011

Le mappe di scuotimento in intensità macrosismica vengono calcolate utilizzando le relazioni di conversione determinate da Faenza e Michelin (2010, 2011), tra i parametri di scuotimento (PGA, PGV) e la scala delle intensità MCS

Lo scuotimento associato agli eventi del 24/08 e del 26/10 è maggiore in direzione N-NNE

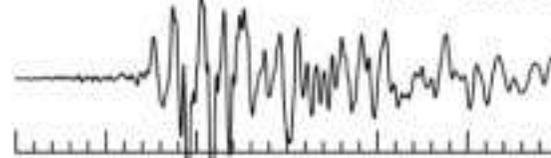
I valori di picco non sono sufficienti

depositi alluvionali

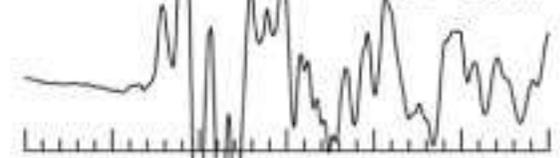
0301 - M_w 6.5 - R 65km



Max = 13 cm/s

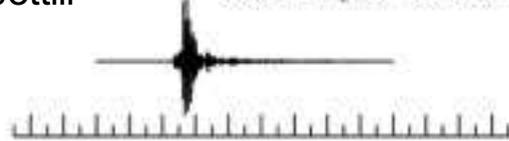


Max = 2.0 cm



depositi sottili

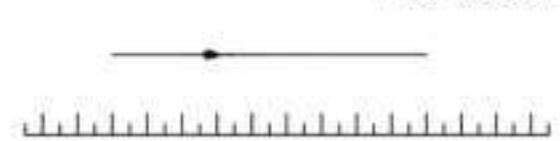
NCR2 - M_L 3.0 - R 0.6km



Max = 2.1 cm/s



Max = 0.06 cm



roccia

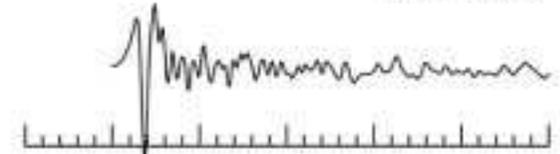
SRT - M_w 5.6 - R 28km



Max = 6.9 cm/s

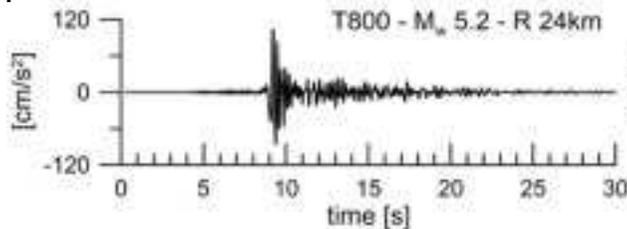


Max = 1.2 cm

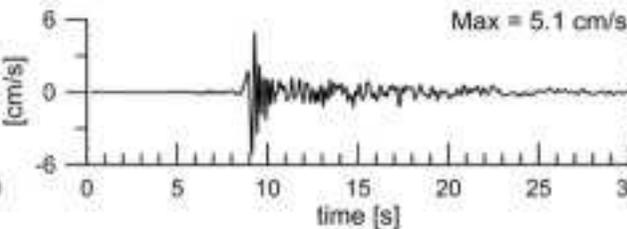


depositi alluvionali

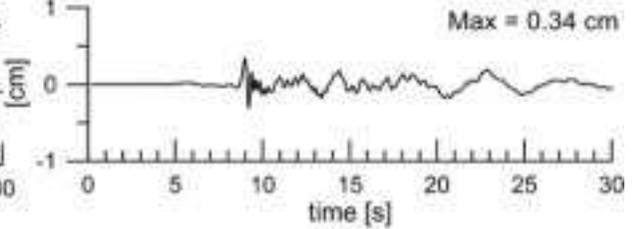
T800 - M_w 5.2 - R 24km



Max = 5.1 cm/s



Max = 0.34 cm



Equazione di un'onda elastica

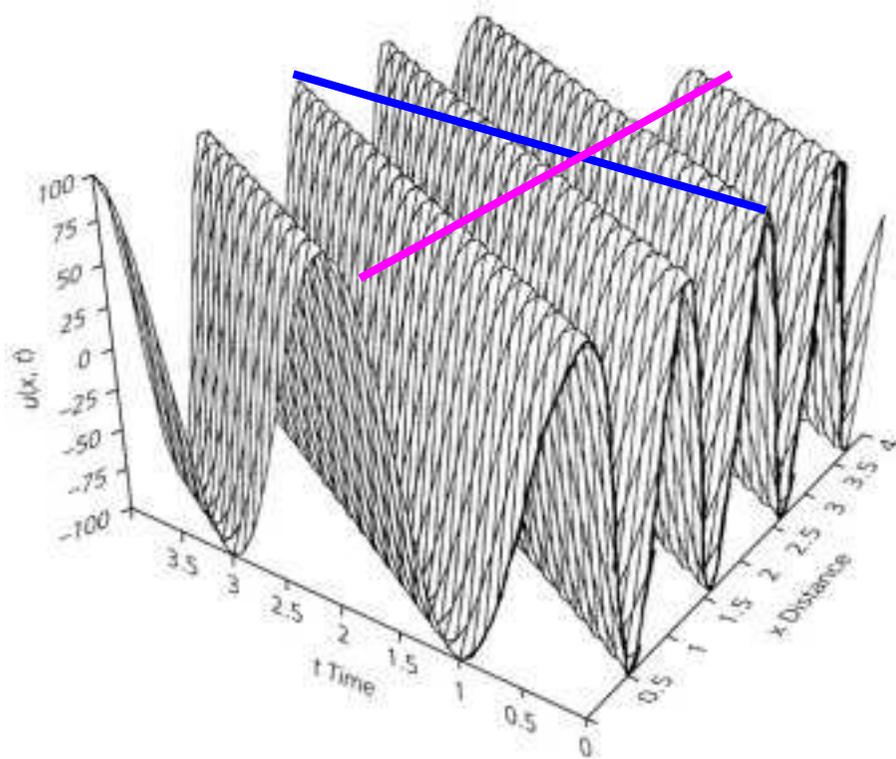
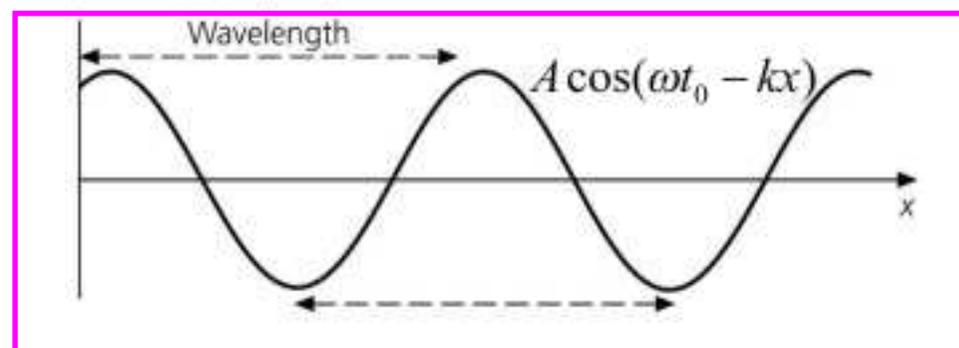
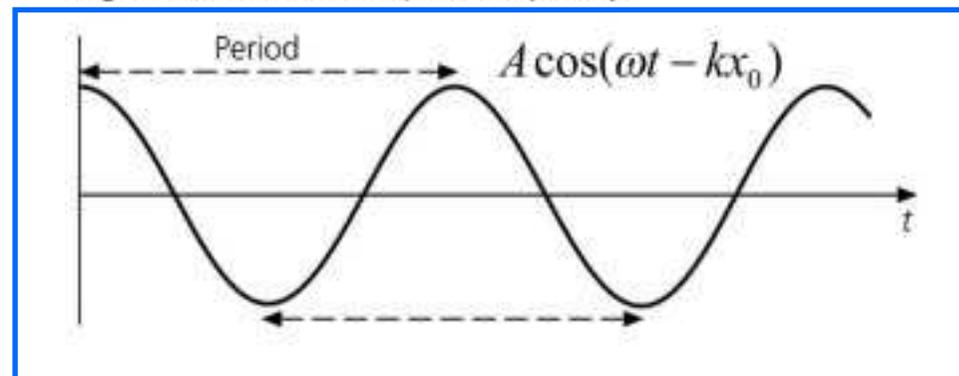


Figure 2.2-4: Harmonic wave, $u = A \cos(\omega t - kx)$.

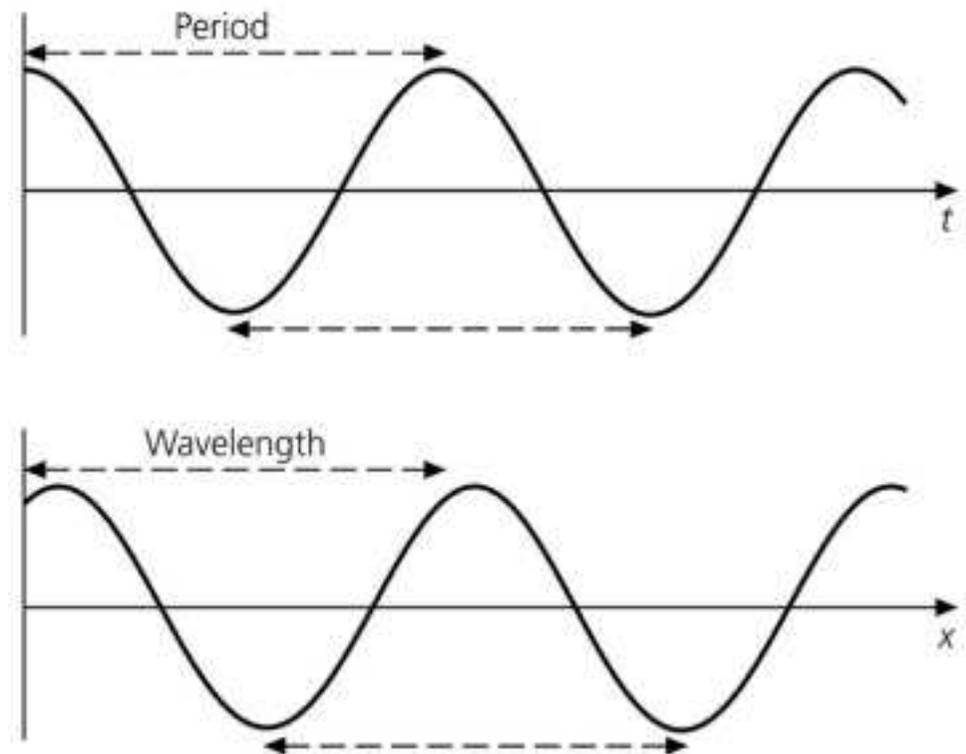


$$u(x, t) = A \cos(\omega t + kx)$$

Parametri fondamentali

Table 2.2-1 Relationships Between Wave Variables		
QUANTITY	UNITS	
Velocity	distance/time	$v = \omega/k = f\lambda = \lambda/T$
Period	time	$T = 2\pi/\omega = 1/f = \lambda/v$
Angular Frequency	time ⁻¹	$\omega = 2\pi/T = 2\pi f = kv$
Frequency	time ⁻¹	$f = \omega/(2\pi) = 1/T = v/\lambda$
Wavelength	distance	$\lambda = 2\pi/k = v/f = vT$
Wavenumber	distance ⁻¹	$k = 2\pi/\lambda = \omega/v = 2\pi f/v$

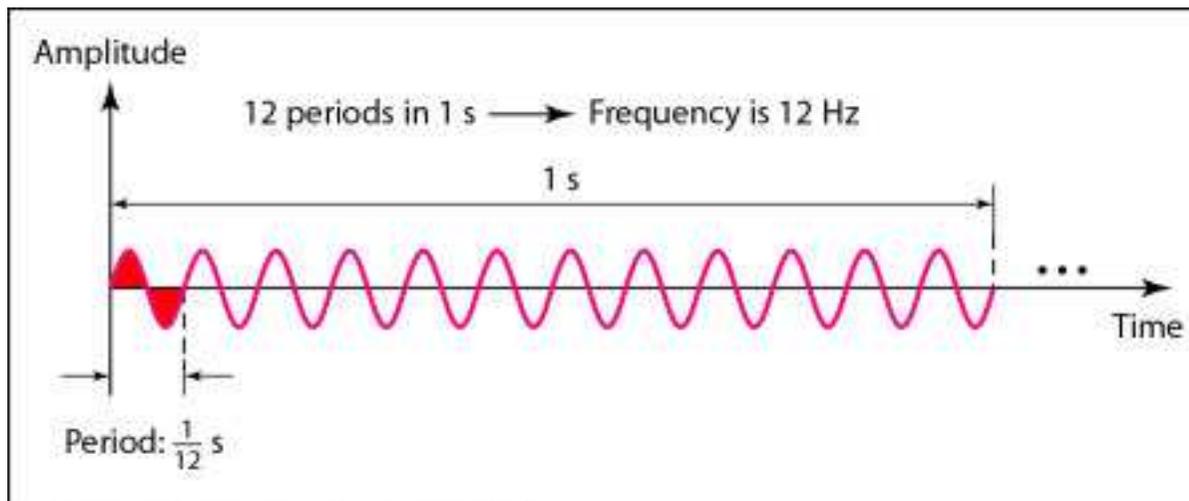
Figure 2.2-4: Harmonic wave, $u = A \cos(\omega t - kx)$.



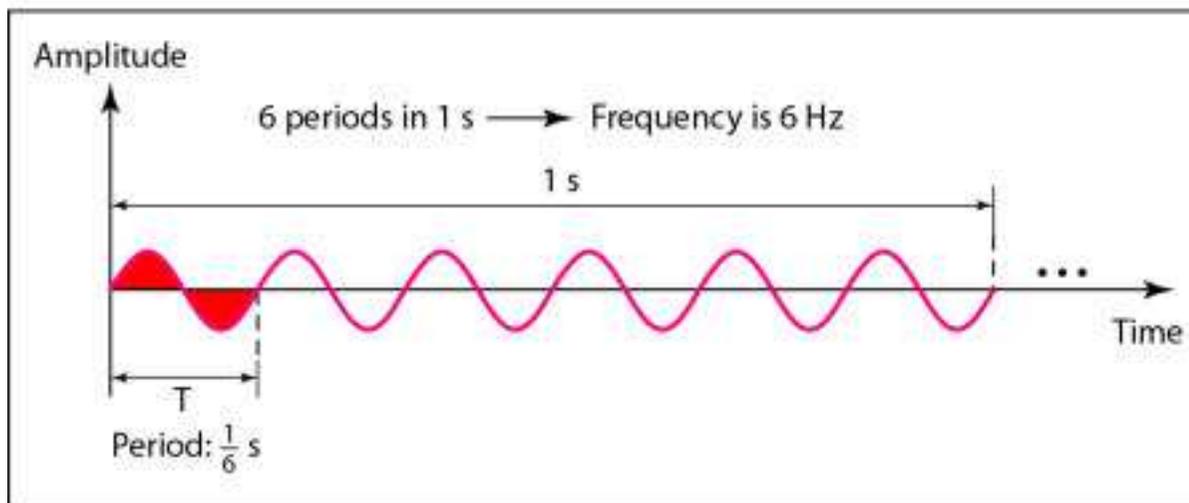
Frequenza **f**: numero di oscillazioni per unità di tempo

Numero d'onda **k**: numero di oscillazioni per unità di spazio

Frequenza/periodo



a. A signal with a frequency of 12 Hz

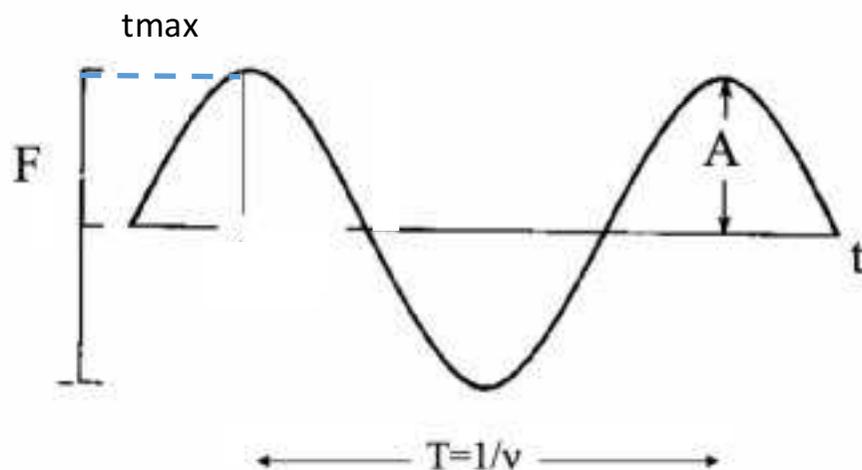


b. A signal with a frequency of 6 Hz

Frequenza:
numero di cicli
compiuti nell'unità
di tempo

La frequenza è
l'inverso del
periodo

Fase



$$\phi = 2\pi\nu t_{\max}$$

$$T = 1/\nu$$

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$$

$$F(t) = A \cos(2\pi\nu t - \phi)$$

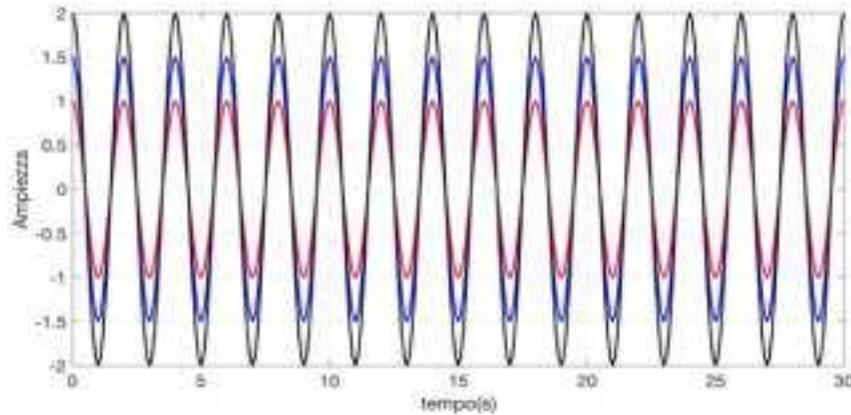
$$F(t) = A \cos(\phi) \cos(2\pi\nu t) + A \sin(\phi) \sin(2\pi\nu t)$$



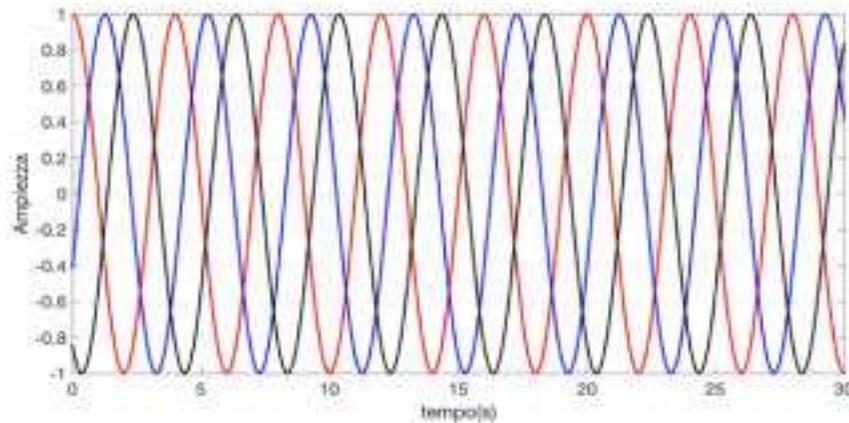
$$F(t) = \alpha \cos(2\pi\nu t) + \beta \sin(2\pi\nu t)$$

$$A^2 = \alpha^2 + \beta^2$$

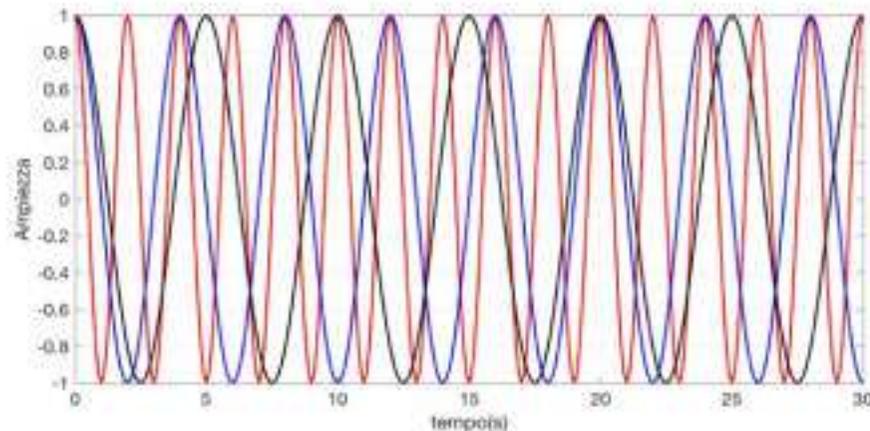
$$\phi = \operatorname{atan}\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)$$



Stessa frequenza e fase, diversa ampiezza



Stessa frequenza e ampiezza, diversa fase



Stessa ampiezza e fase, diversa frequenza

Teorema di Fourier

“Data una qualunque funzione continua (del tempo) è sempre possibile trovare una combinazione lineare di funzioni elementari (in forma di cosinusoidi) che permettono di rappresentarla con la precisione voluta”

$$F(t) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\alpha_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + \beta_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \right)$$

T è il periodo (o la lunghezza d'onda fondamentale)

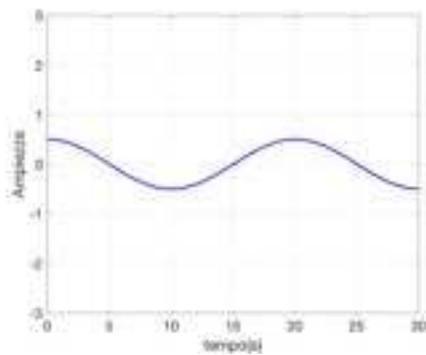
In pratica si tratta di tante cosinusoidi con frequenze pari a sottomultipli (n/T) della frequenza fondamentale ($1/T$)

Si noti che la serie richiede una **somma infinita di addendi** ciascuno dei quali descritto da due parametri (α e β)

$$A_n^2 = \alpha_n^2 + \beta_n^2$$

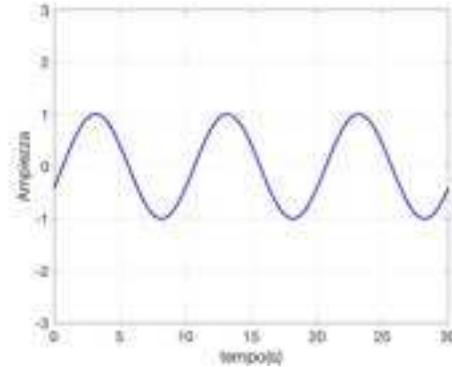
$$\phi_n = \text{atan}\left(\frac{\beta_n}{\alpha_n}\right)$$

Esempio: somma di 4 cosinusoidi



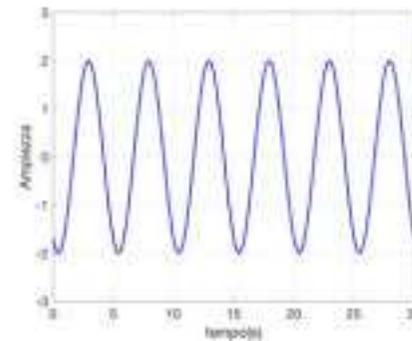
$A = 0.5$ $T=20$ $\phi = 0.01$

+



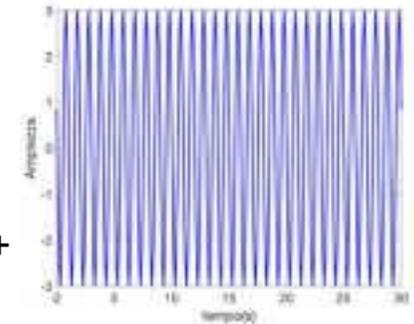
$A = 1$ $T=10$ $\phi = 2$

+

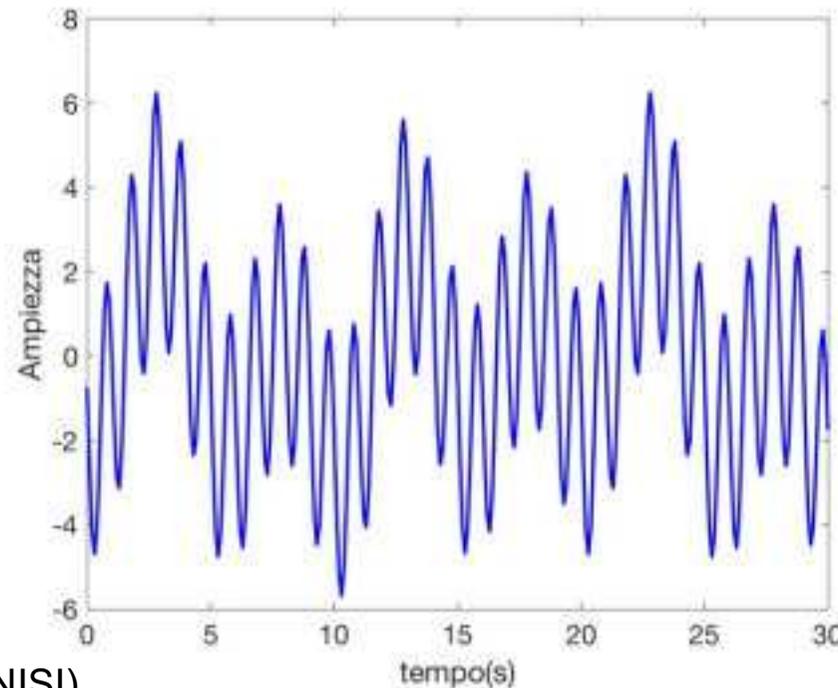


$A = 2$ $T=5$ $\phi = 10$

+

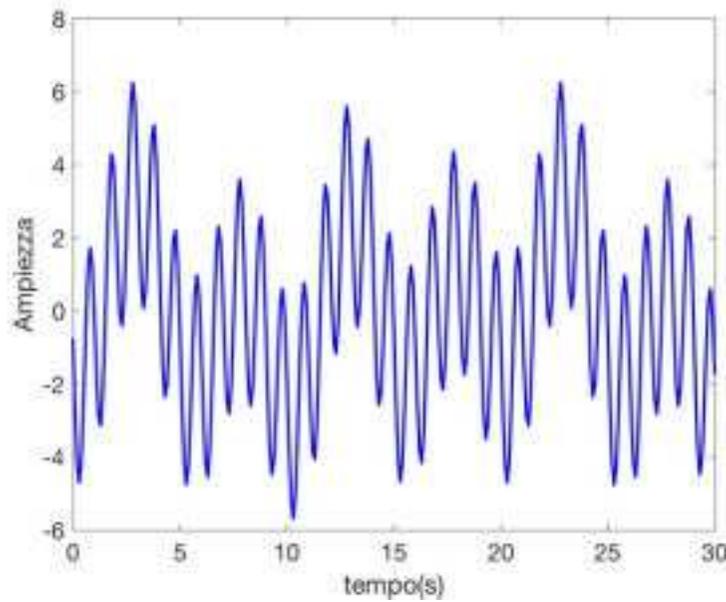


$A = 3$ $T=1$ $\phi = 5$

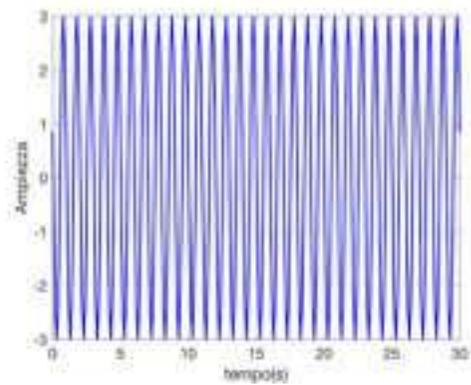
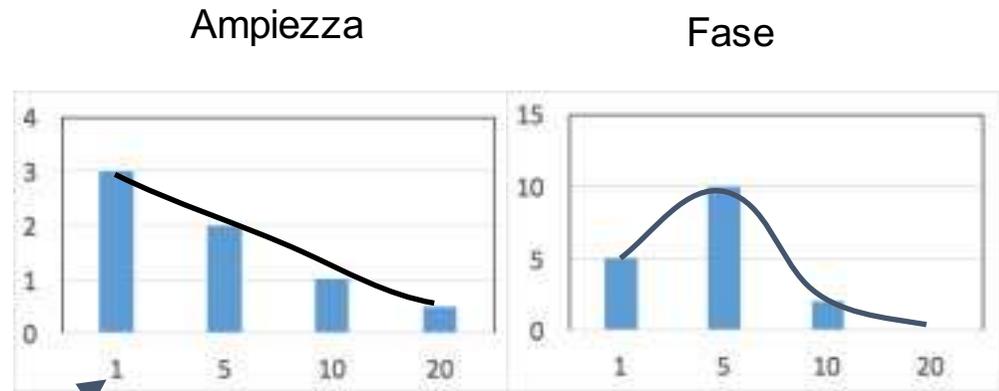


modificato da prof. Albarello (UNISI)

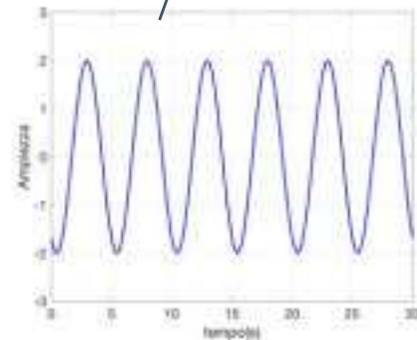
Spettri di ampiezza e fase



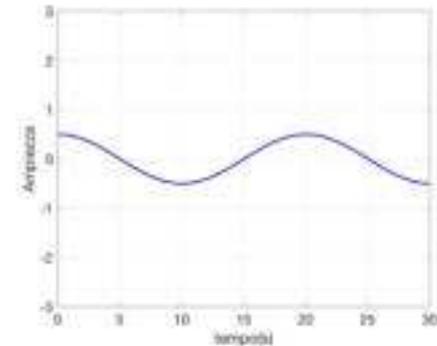
Fourier



$A = 3 \quad T = 1 \quad \phi = 5$



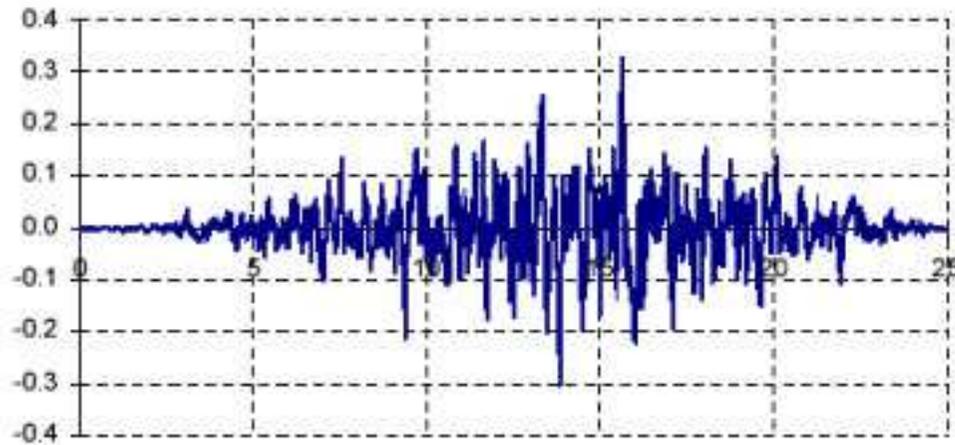
$A = 2 \quad T = 5 \quad \phi = 10$



$A = 0.5 \quad T = 20 \quad \phi = 0.01$

Segnali complessi: sismogrammi

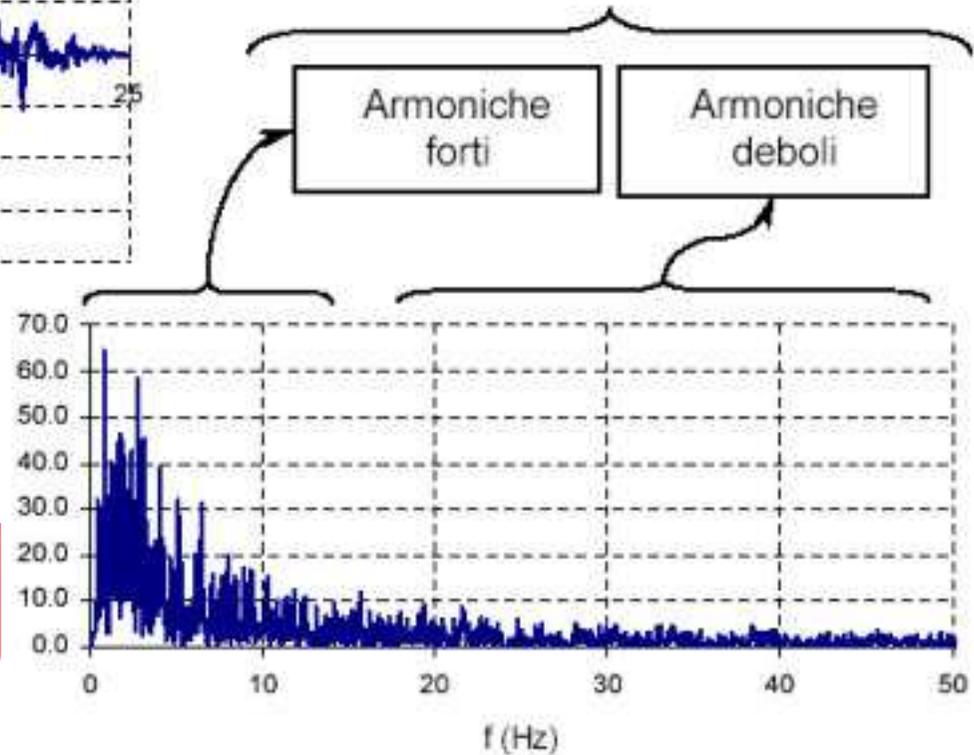
Dominio del tempo



Frequenze
presenti nel
terremoto

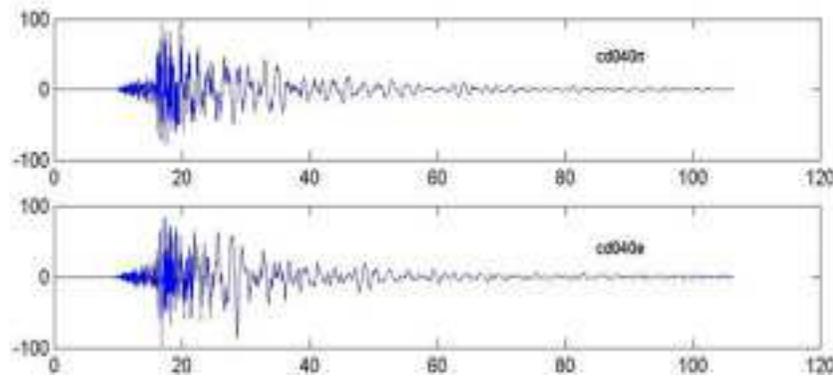


$$F(t) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\alpha_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + \beta_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \right)$$

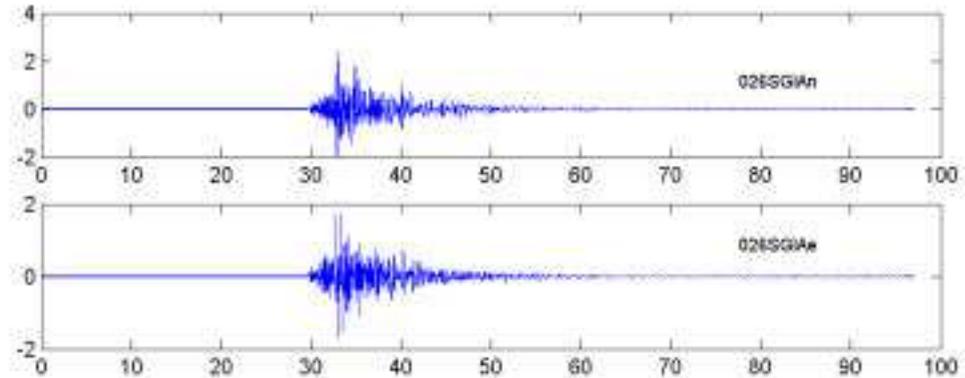


Dominio della frequenza

Esempio di spettri di Fourier di registrazioni con diverso contenuto in frequenza

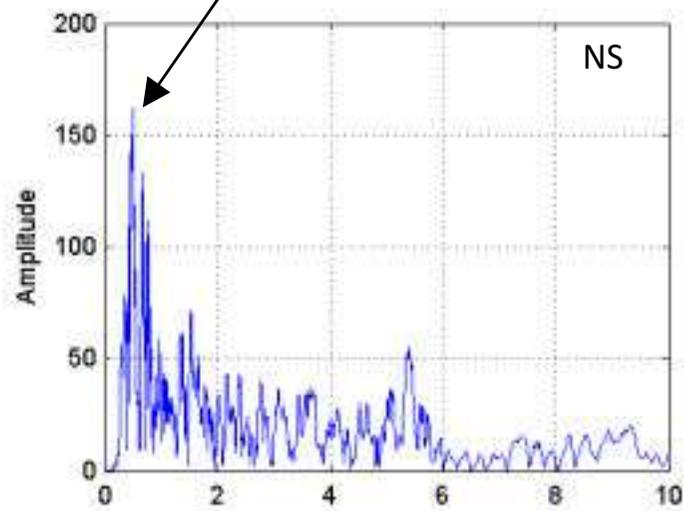


Gubbio piana



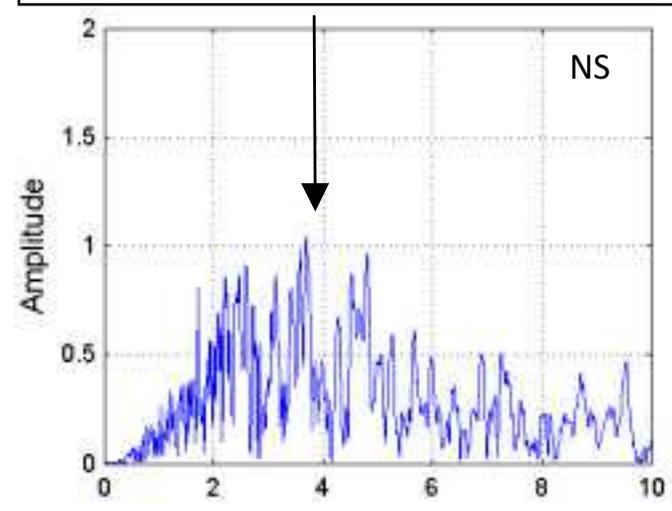
San Giuliano di Puglia

Elevato contenuto in bassa frequenza (0.3 Hz)



frequency

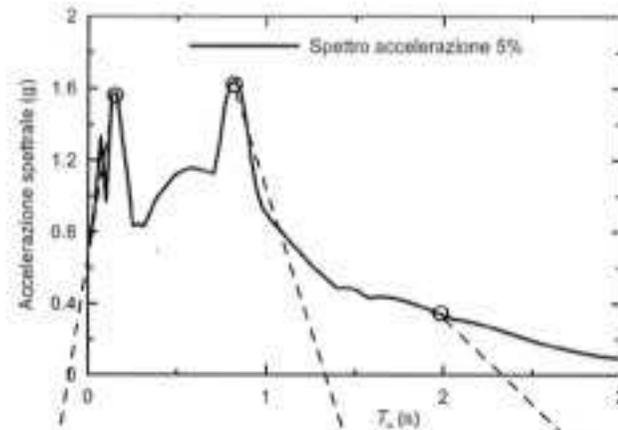
Lo spettro ha ampia banda con ampiezze maggiori per frequenze > 2 Hz



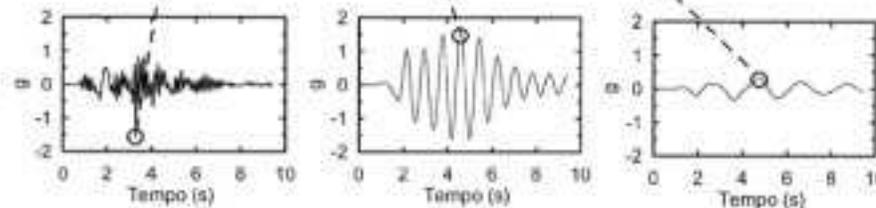
frequency

Spettro di risposta

Selezione del valore massimo



Spettro di accelerazione al 5% di smorzamento



Equazione del moto

$T_n = 0.15$ s
Es: casa a 2 piani



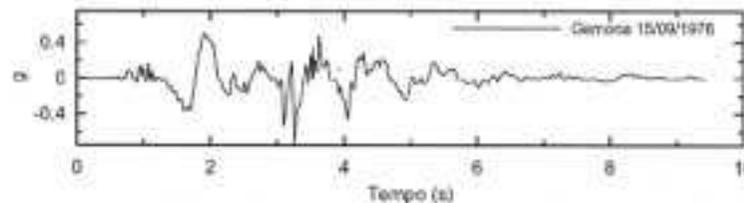
$T_n = 0.80$ s
Es: edificio in CA a 6-5 piani



$T_n = 2$ s
Es: edificio in CA a 25 piani



Sistemi ad 1 grado di libertà
 K, m, ξ



Spettro Fourier / spettro risposta

Lo spettro di Fourier è la scomposizione di un segnale nelle sue armoniche

Lo spettro di risposta è dato dall'interazione del moto del suolo (accelerogramma) e una struttura elastica, per questo viene utilizzato nell'ingegneria sismica

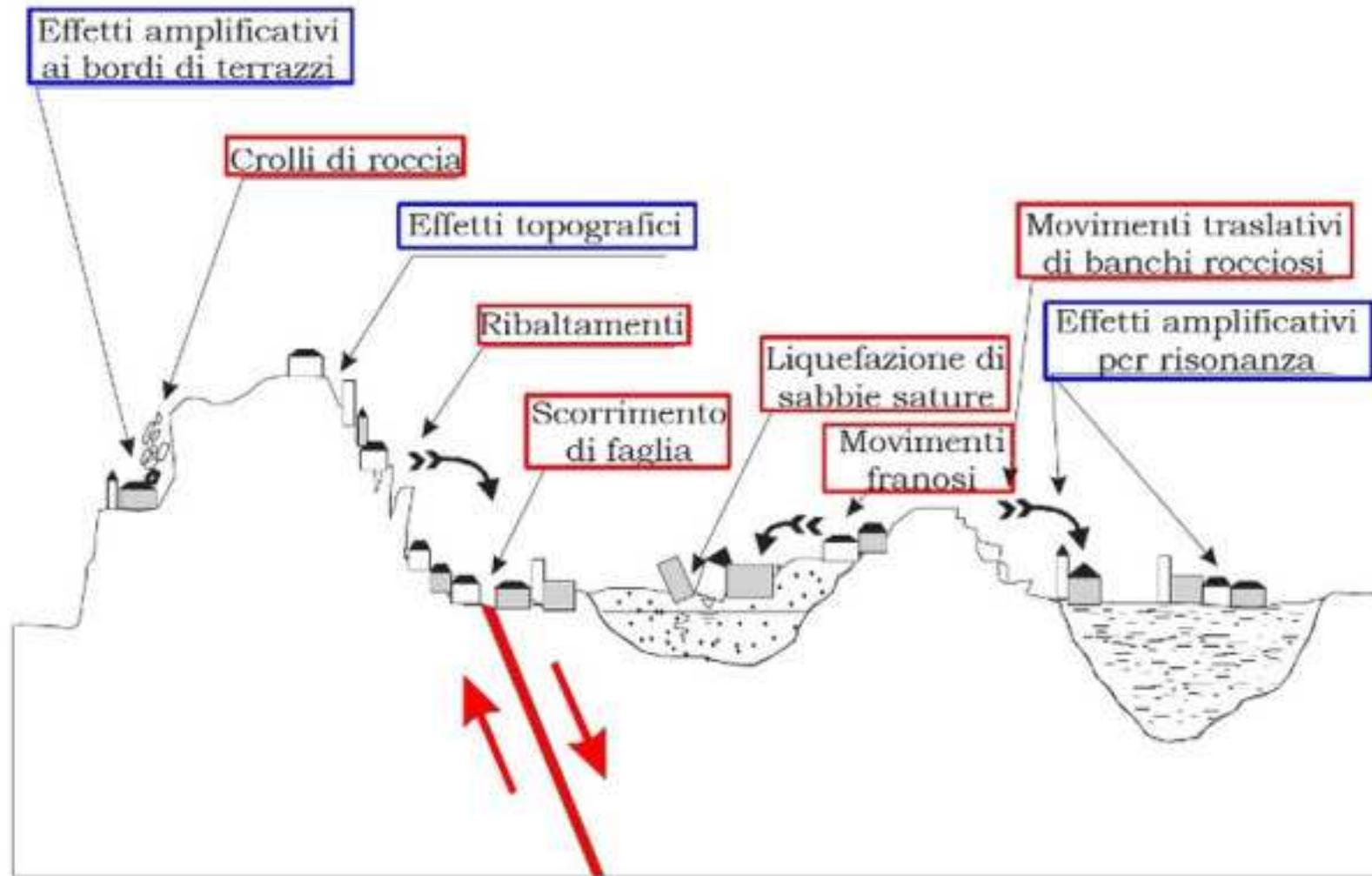
Effetti di sito

- Si definiscono **effetti di sito** le condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche che a scala locale possono modificare le caratteristiche dello scuotimento sismico, e in superficie e produrre deformazioni permanenti del terreno (frane sismoindotte, liquefazione)
- La valutazione degli effetti di sito è di fondamentale importanza per la valutazione della pericolosità e la riduzione del rischio sismico

Tipologia di effetti di sito

- Amplificazione dovuta alla **stratificazione**
- Amplificazione dovuta alla **geometria sepolta**
(effetti di valle/bacino)
- Amplificazione dovuta alla **geometria superficiale**
(topografia)
- Amplificazione dovuta a **discontinuità laterali**
- **Liquefazione**
- **Frane**

Tipologia di effetti di sito



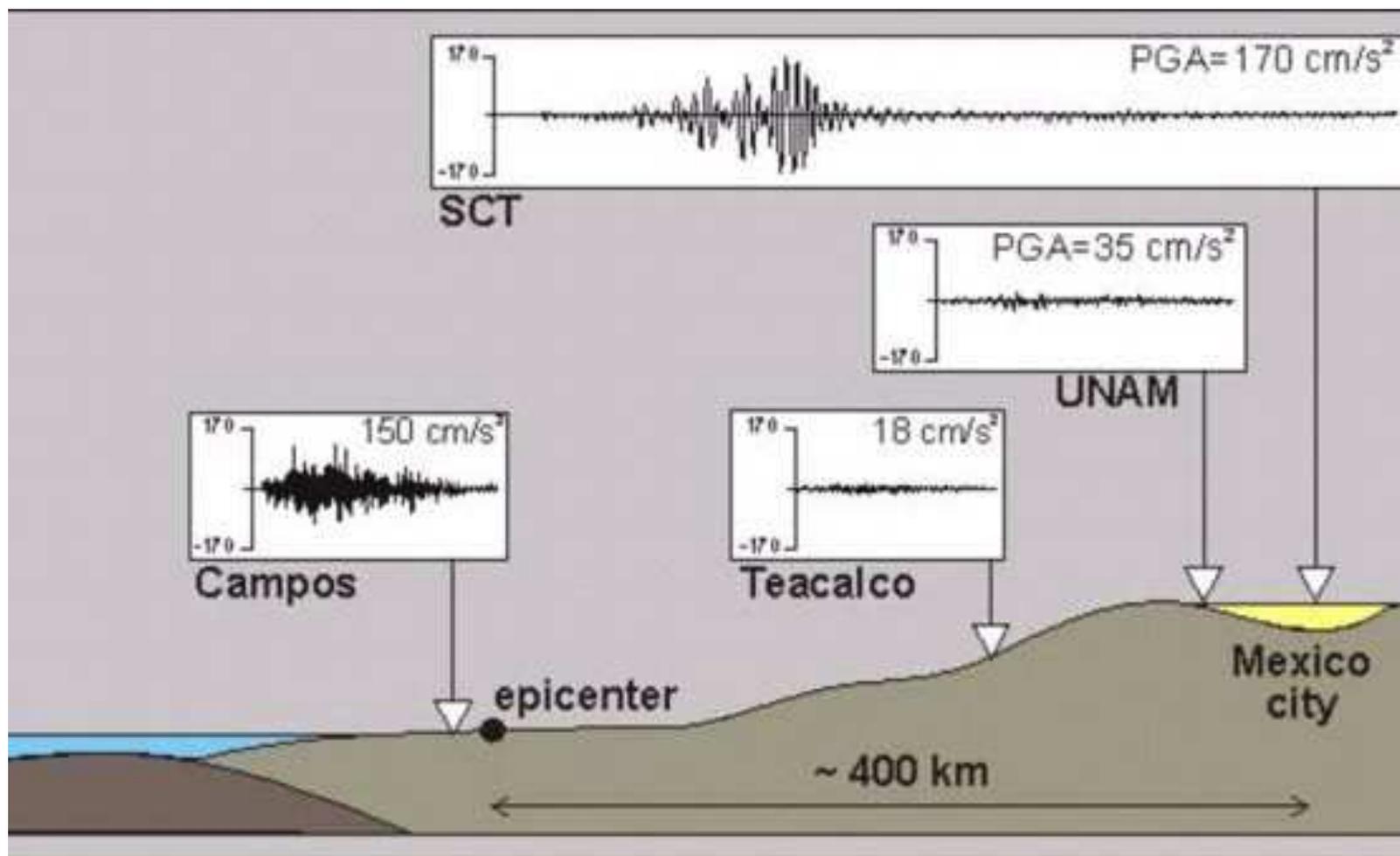
[Crespellani, 1998 – modificata].

Un caso molto noto

Città del Messico (1985)

- Stazioni sismiche tra loro vicine, lontane dalla stessa sorgente sismica, hanno registrato sismogrammi tra loro molto diversi
- A causa della comune distanza dalla sorgente, i termini di sorgente e di percorso sono gli stessi
- Le differenze sono unicamente dovute alla geologia di superficie

Uno scuotimento molto severo prodotto a 400 km dalla zona di faglia dovuto alla risposta di argille lacustri estremamente soffici



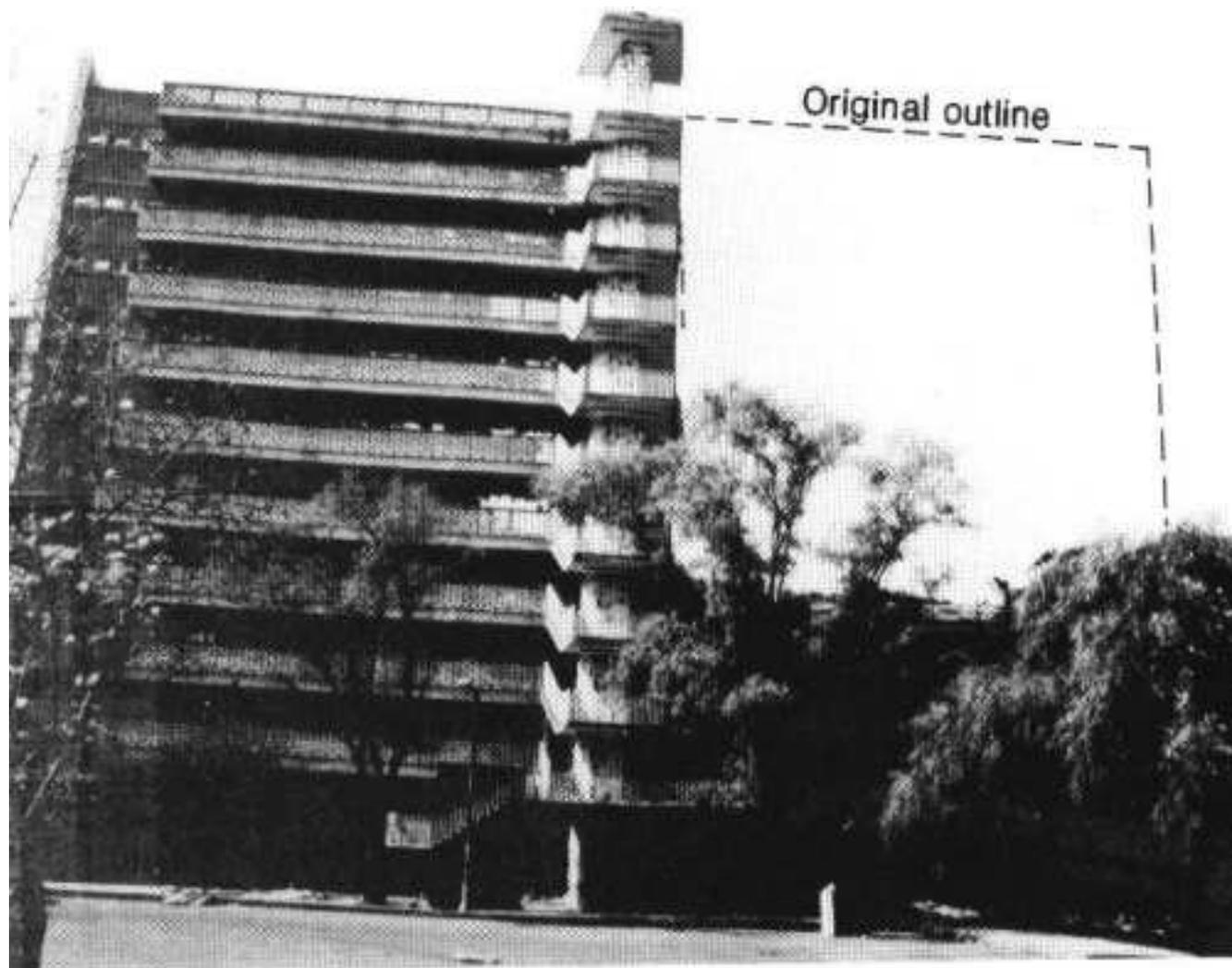
Il danno più severo si è verificato per edifici con un numero di piani compreso tra 7 e 18



(EEFIT, 1986)

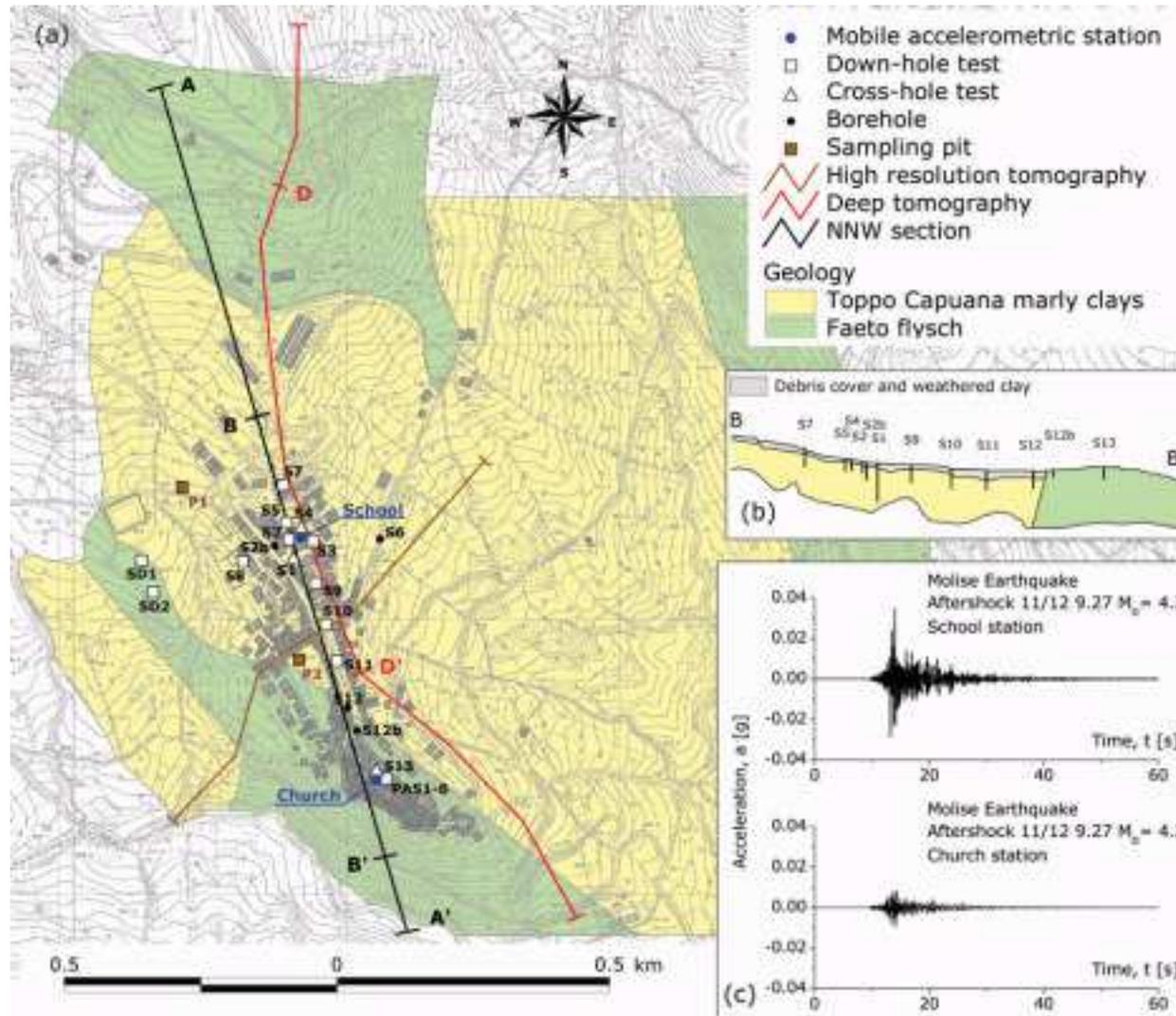
Il danneggiamento a Città del Messico è stato prevalentemente causato dalla coincidenza tra il periodo dominante del moto del suolo e il periodo naturale di vibrazione di alcuni edifici

Terremoto di Città del Messico, 1985



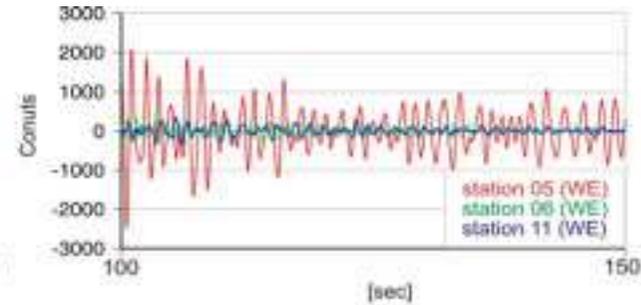
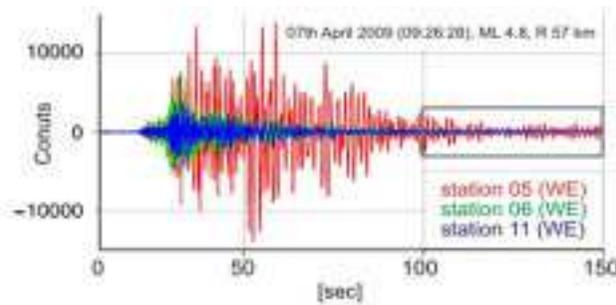
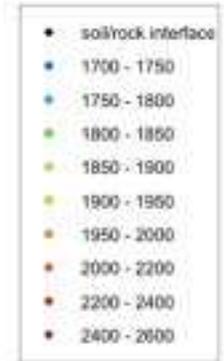
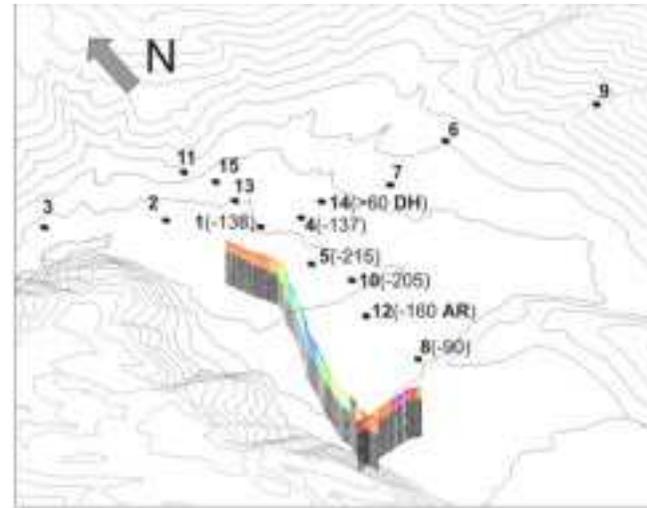
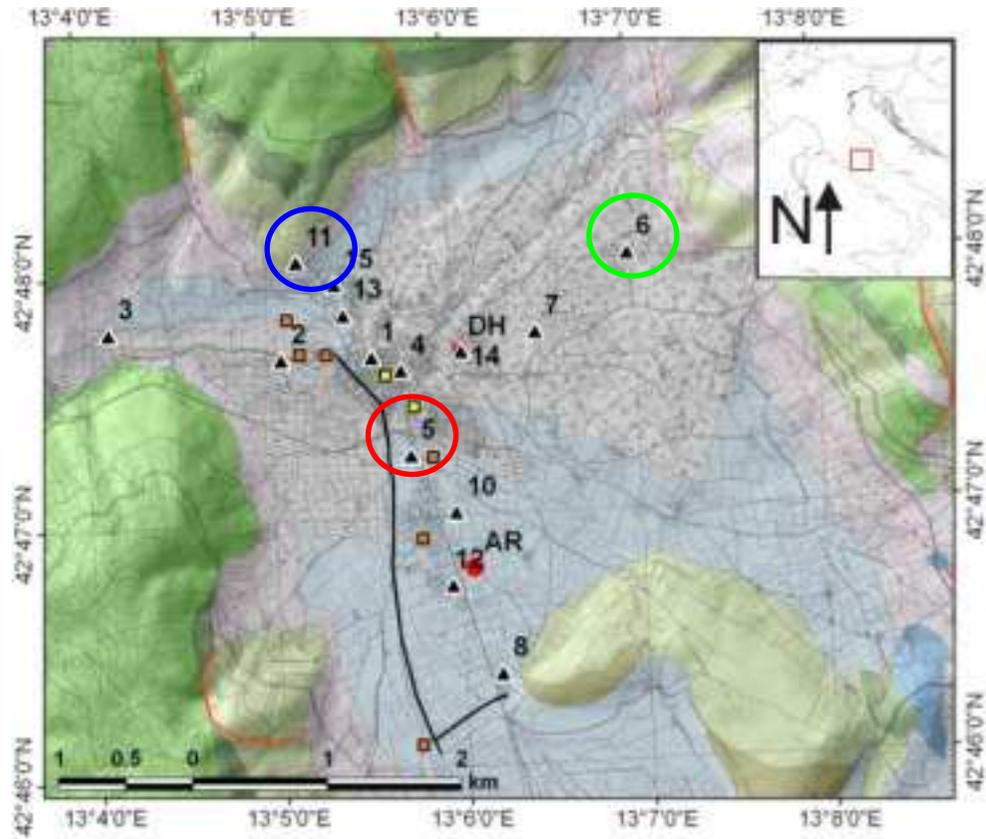
San Giuliano di Puglia

Da Puglia et al, 2008

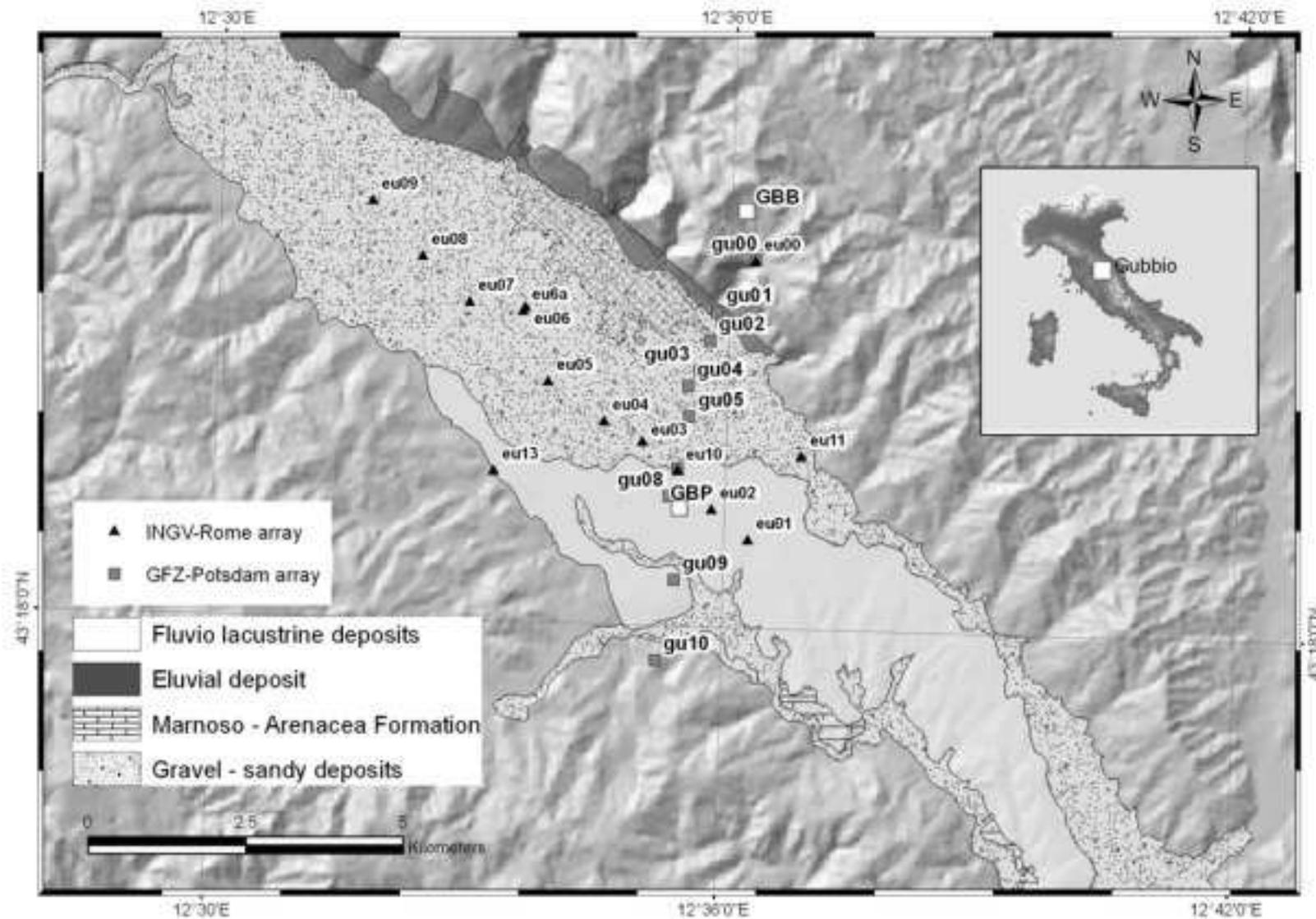


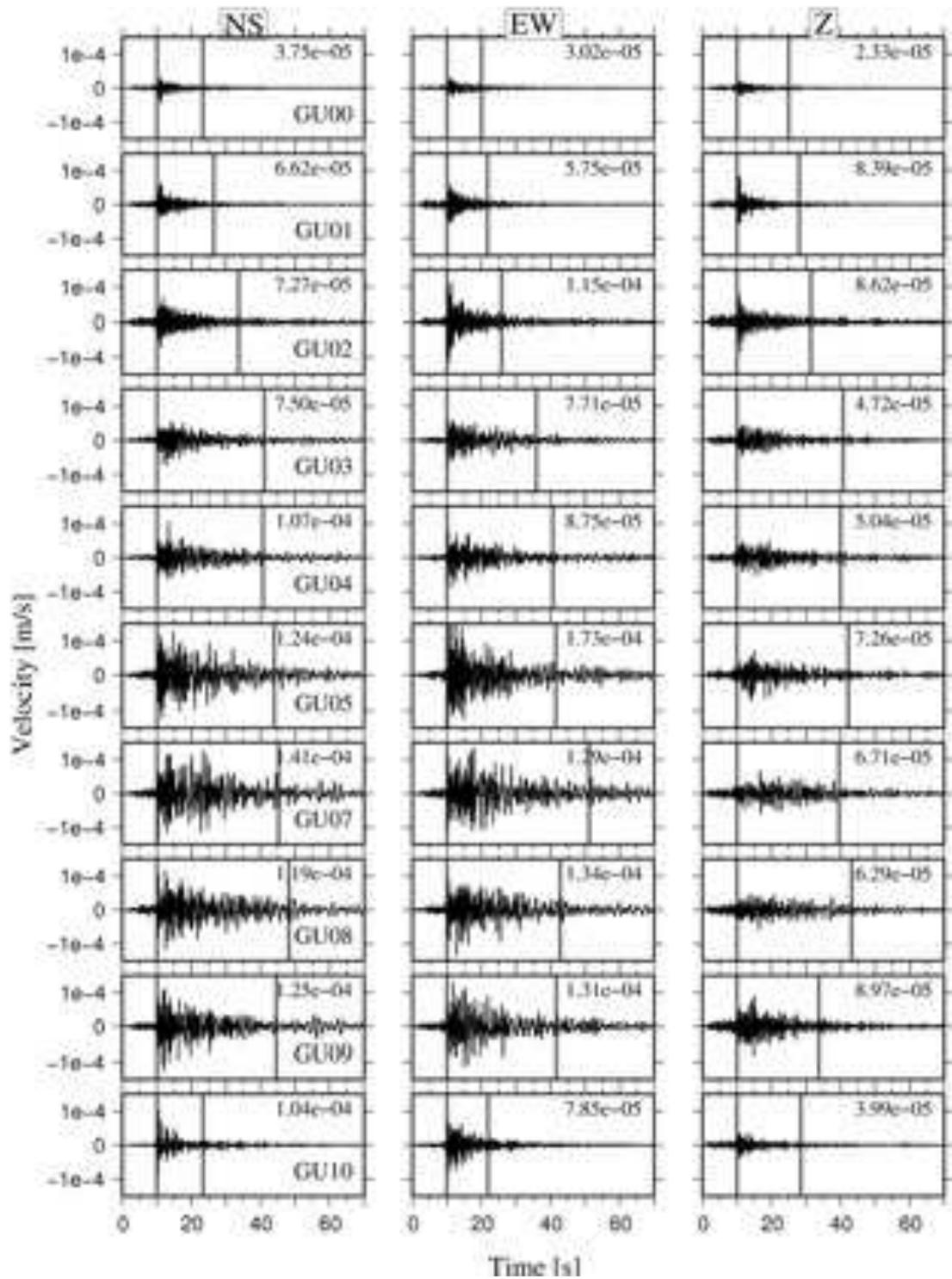
San Giuliano di Puglia: accelerazione registrata alla scuola e nel centro storico durante un aftershock del Novembre 2012 alle 9.27

Norcia



Bacino di Gubbio





Roccia
(calcari)

Centro bacino

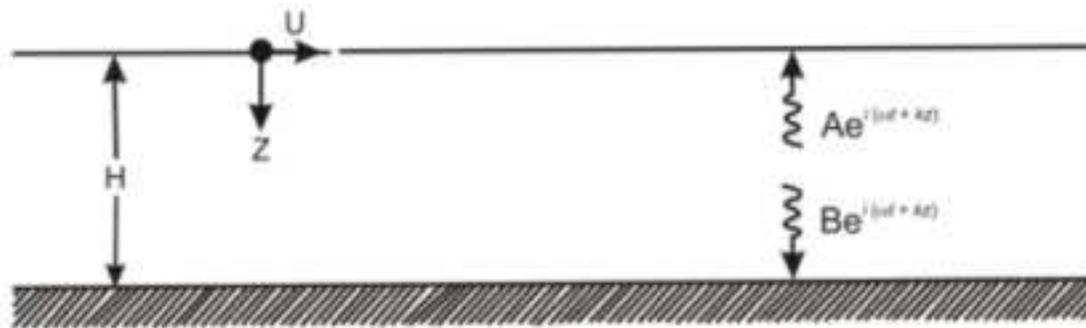
Roccia
(arenaria)

Propagazione di un'onda attraverso un suolo elastico posto su substrato rigido

V_s = velocità dell'onda di taglio

$k = \omega / V_s$ = numero d'onda

ω = frequenza angolare



$$u(z,t) = A\cos(\omega t + kz) + B\cos(\omega t - kz) \quad (1)$$

$$u(z,t) = Ae^{i(\omega t + kz)} + Be^{i(\omega t - kz)} \quad (2)$$

alla superficie libera ($z=0$) lo sforzo di taglio e la deformazione si annullano

$$\tau(0,t) = G\gamma(0,t) = G \frac{\partial u(0,t)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Sostituisco (2) in (3) e derivo rispetto a z

$$Gik(Ae^{ik(0)} - Be^{-ik(0)})e^{i\omega t} = Gik(A - B)e^{i\omega t} = 0 \quad (4)$$

La (4) è soddisfatta se $A = B$

$$u(z,t) = 2A \frac{e^{ikz} + e^{-ikz}}{2} e^{i\omega t} = 2A\cos(kz)e^{i\omega t}$$

Suolo elastico su substrato rigido

Per $z = H$, la funzione di trasferimento tra 0 e H, per ogni frequenza:

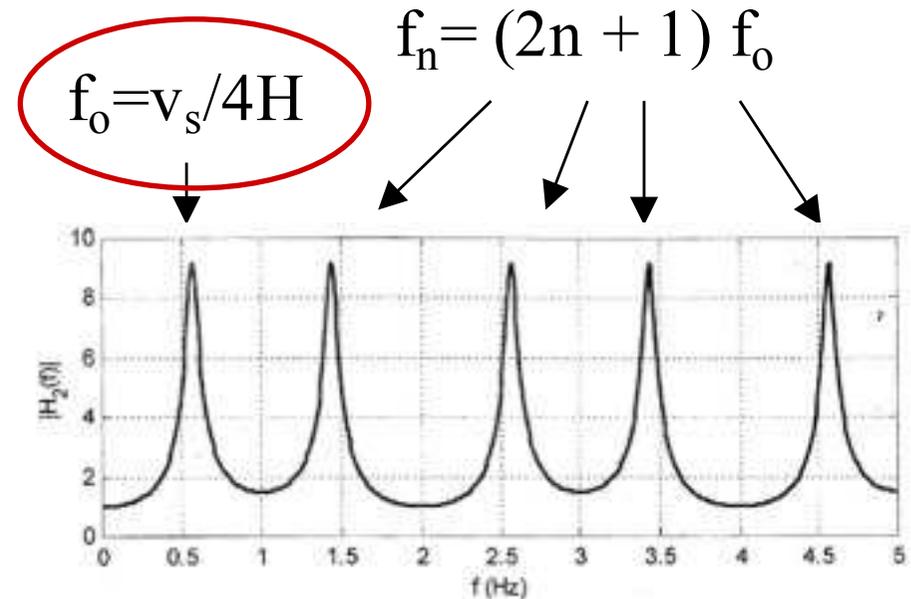
$$F(\omega) = \frac{u_{\max}(0, t)}{u_{\max}(H, t)} = \frac{2Ae^{i\omega t}}{2A\cos H e^{i\omega t}} = \frac{1}{\cos kH} = \frac{1}{\cos\left(\frac{\omega H}{v_s}\right)} \quad (5)$$

Il denominatore di (5) si annulla quando

$$\left(\frac{\omega H}{v_s}\right) = \frac{2\pi f H}{v_s} = \frac{\pi}{2} + n\pi$$

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad f_n = (2n + 1)f_0$$

$k = \omega / v_s =$ numero d'onda
 $\omega =$ frequenza angolare



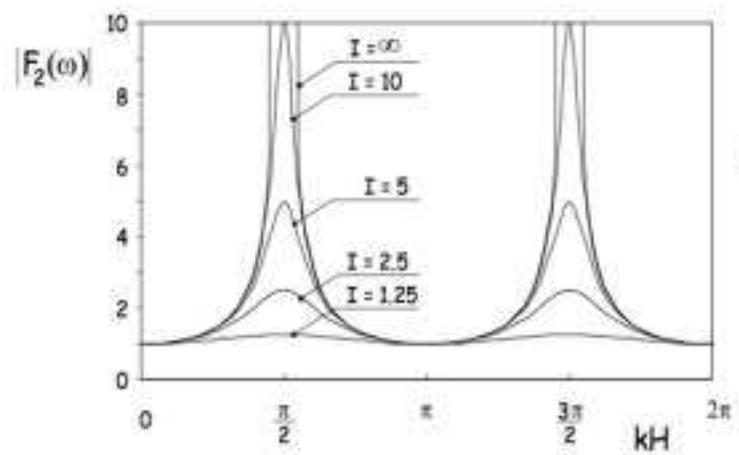
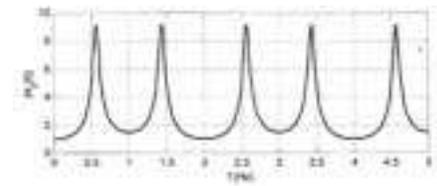
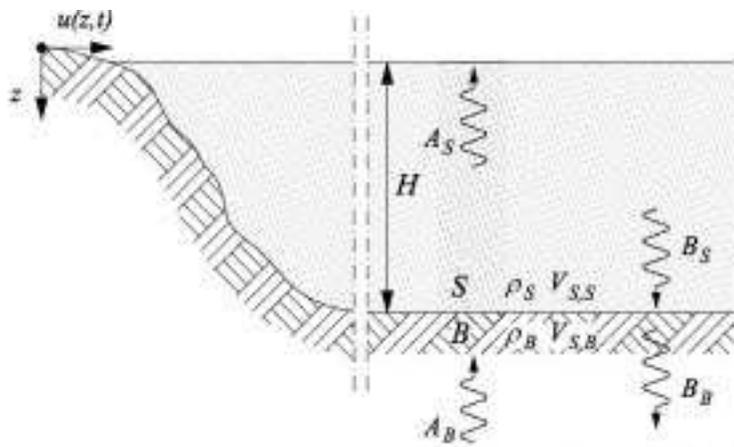
$f_0 =$ frequenza fondamentale (o di risonanza)

Da Kramer, 1996



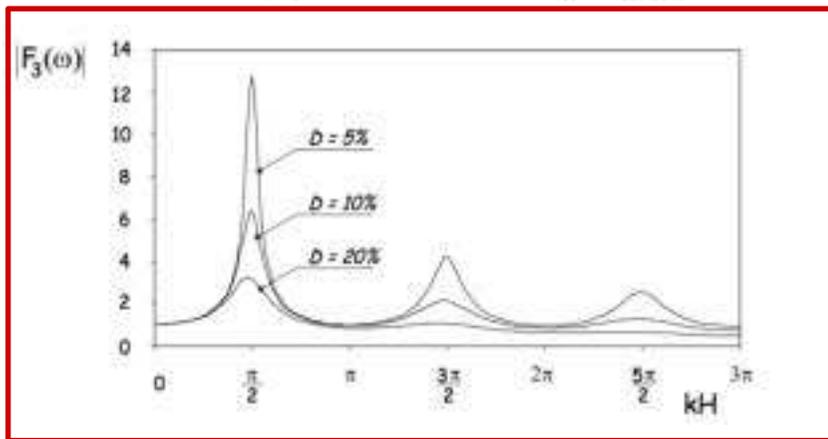
Strato viscoelastico e substrato deformabile

Substrato deformabile



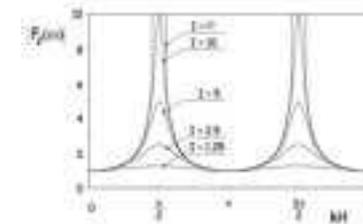
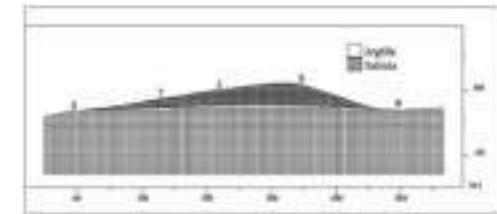
$$I = (\rho_B \cdot V_{S,B}) / (\rho_S \cdot V_{S,S})$$

Strato viscoelastico: dissipazione dell'energia, sia per effetto dello smorzamento interno sia per scattering (causati dalla riflessione e riflessione delle onde sismiche che si verificano in corrispondenza dell'interfaccia con il bedrock deformabile)



Metodi per il calcolo della risposta sismica locale

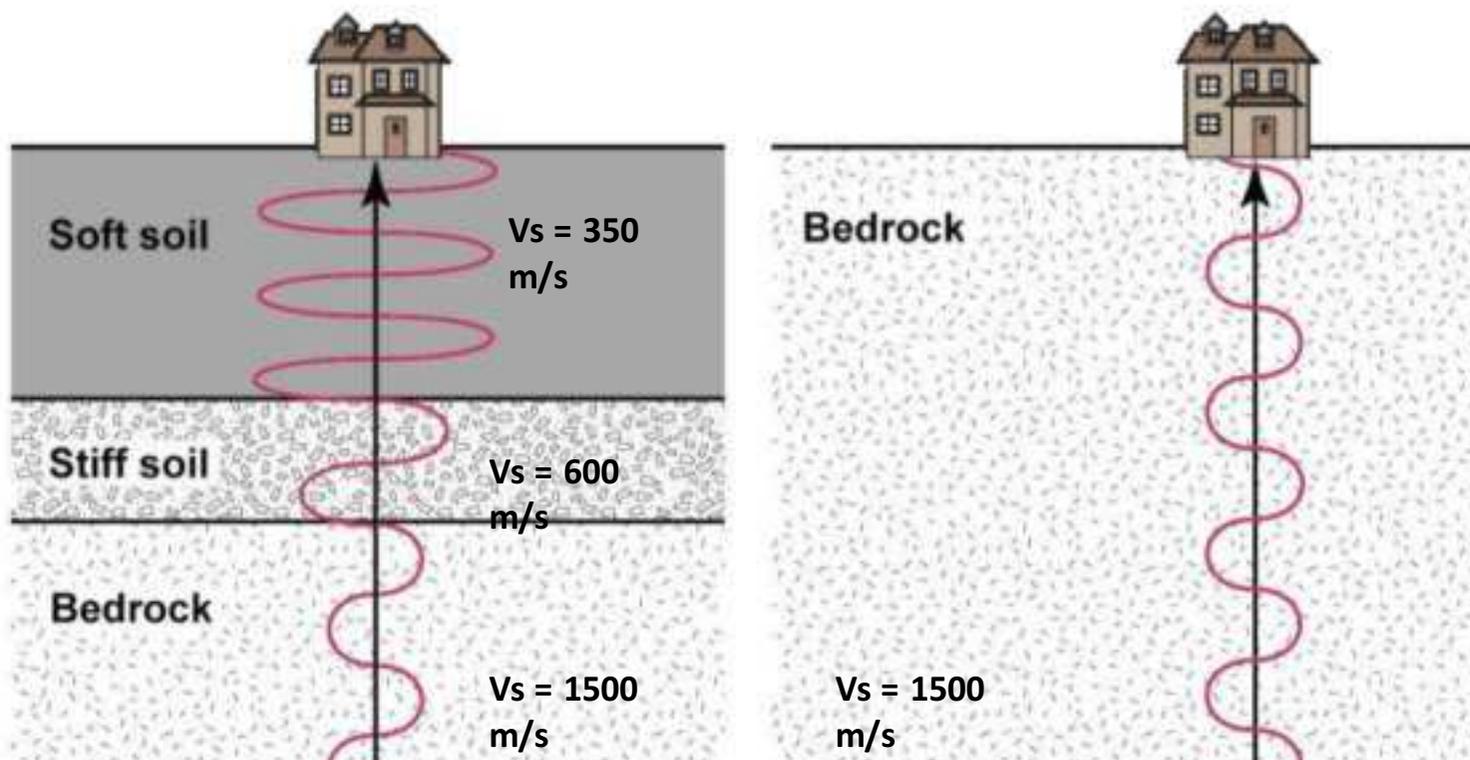
- Metodi **sperimentali**: basati sulle registrazioni
- Metodi **numerici**: basati sulla teoria della propagazione delle onde in mezzi elastici ed anelastici
- **Normativa sismica**



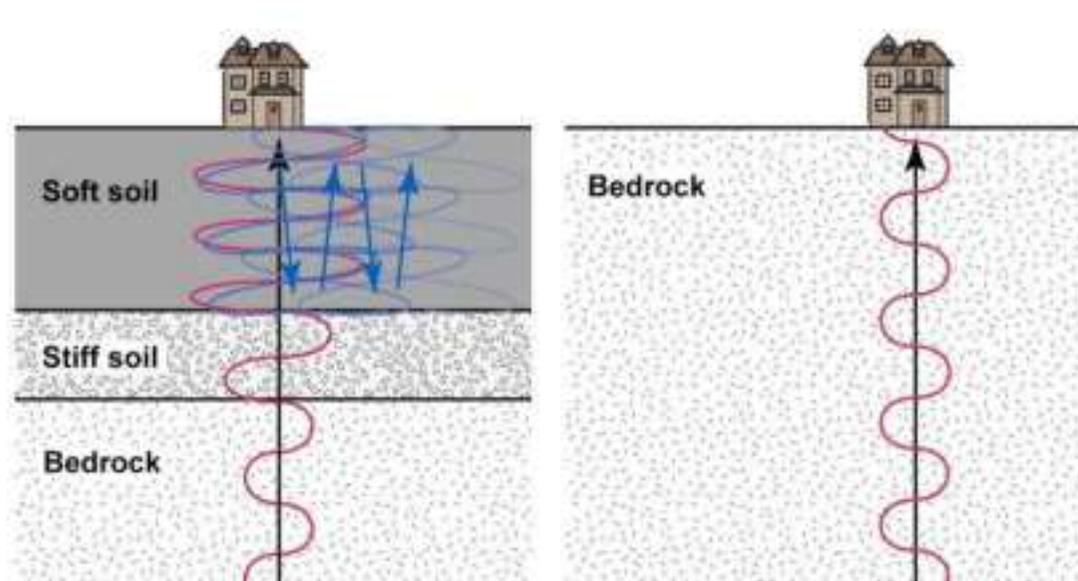
Amplificazione stratigrafica

Consideriamo una semplice armonica (funzione seno), con una specifica energia, che si propaga dal substrato al deposito.

L'onda, propagandosi da un mezzo a velocità più alta ad uno a velocità più bassa, a causa della conservazione dell'energia, aumenta di ampiezza (poiché la velocità diminuisce da uno strato all'altro)

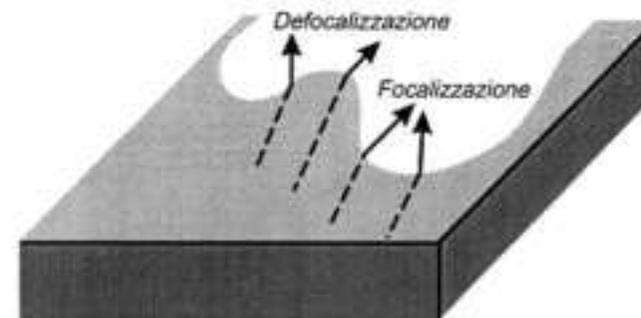
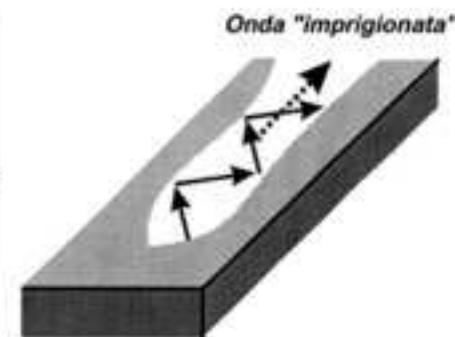
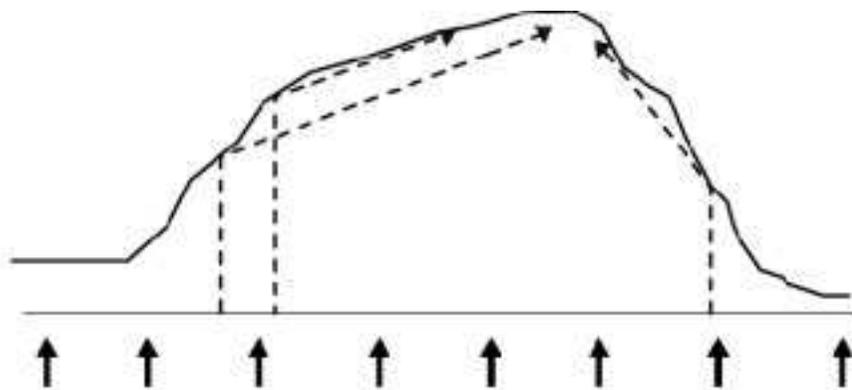


Le onde, in corrispondenza di discontinuità vengono riflesse e rifratte e possono dare luogo a interferenze costruttive



Depositi

Topografia



Analisi spettrali

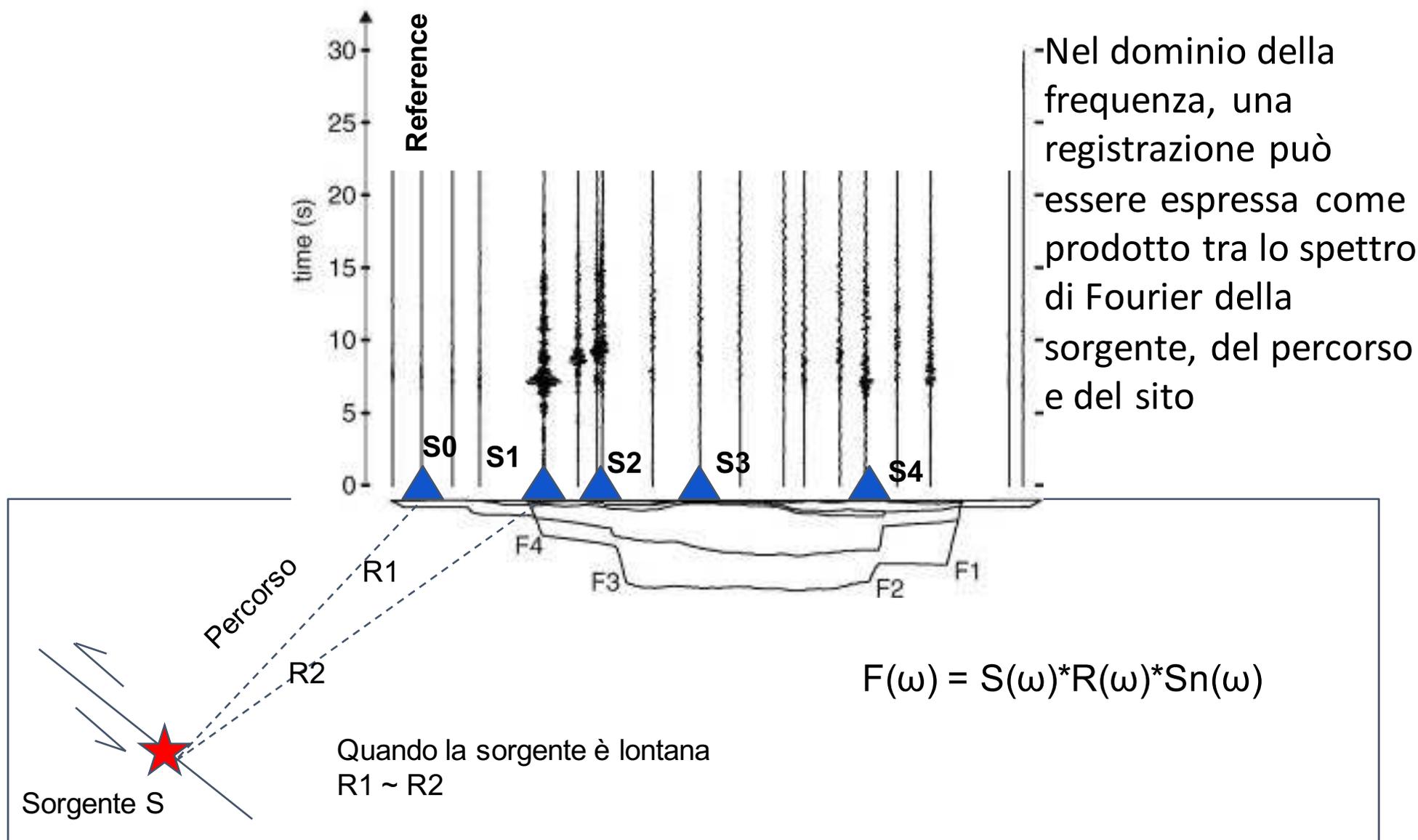
Le analisi spettrali sfruttano il teorema di Fourier (dominio del tempo -> dominio frequenza) e possono essere eseguite su registrazioni di diversa natura:

- **Microtremori** o rumore ambientale Sono le registrazioni delle vibrazioni causate da disturbi naturali o antropici, costantemente presenti, con dimensioni dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. Tali vibrazioni sono chiamate rumore
- **Terremoti** si analizzano le onde di taglio (S)

Analisi spettrali

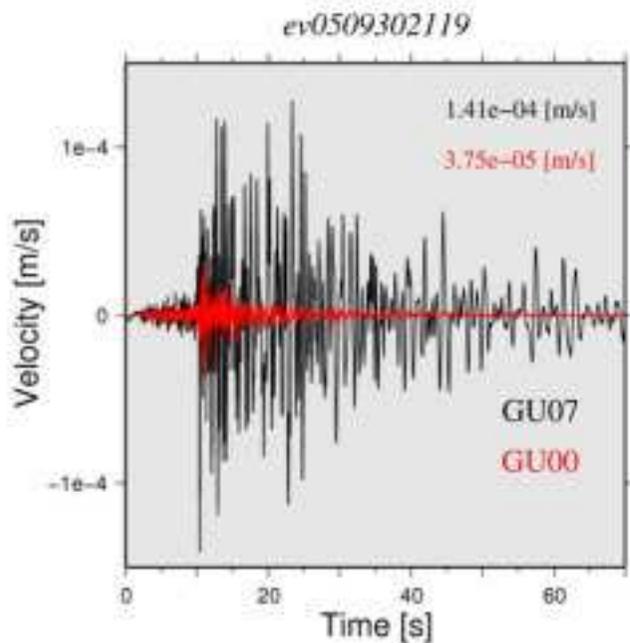
- **SSR (standard spectral ratio)**: si assume che per uno stesso terremoto (stessa sorgente) due stazioni vicine abbiano la stessa attenuazione, per cui la differenza tra gli spettri è solo dovuta all'effetto di sito
- **HVSR (horizontal to vertical spectral ratio)**: si assume che la **componente verticale** del moto **non subisca fenomeni di amplificazione** (si esegue su singola stazione)

Standard spectral ratio (SSR)



Standard spectral ratio (SSR)

Dominio del tempo



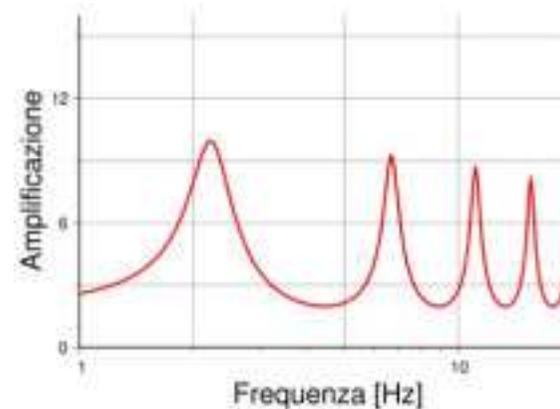
Dominio della frequenza



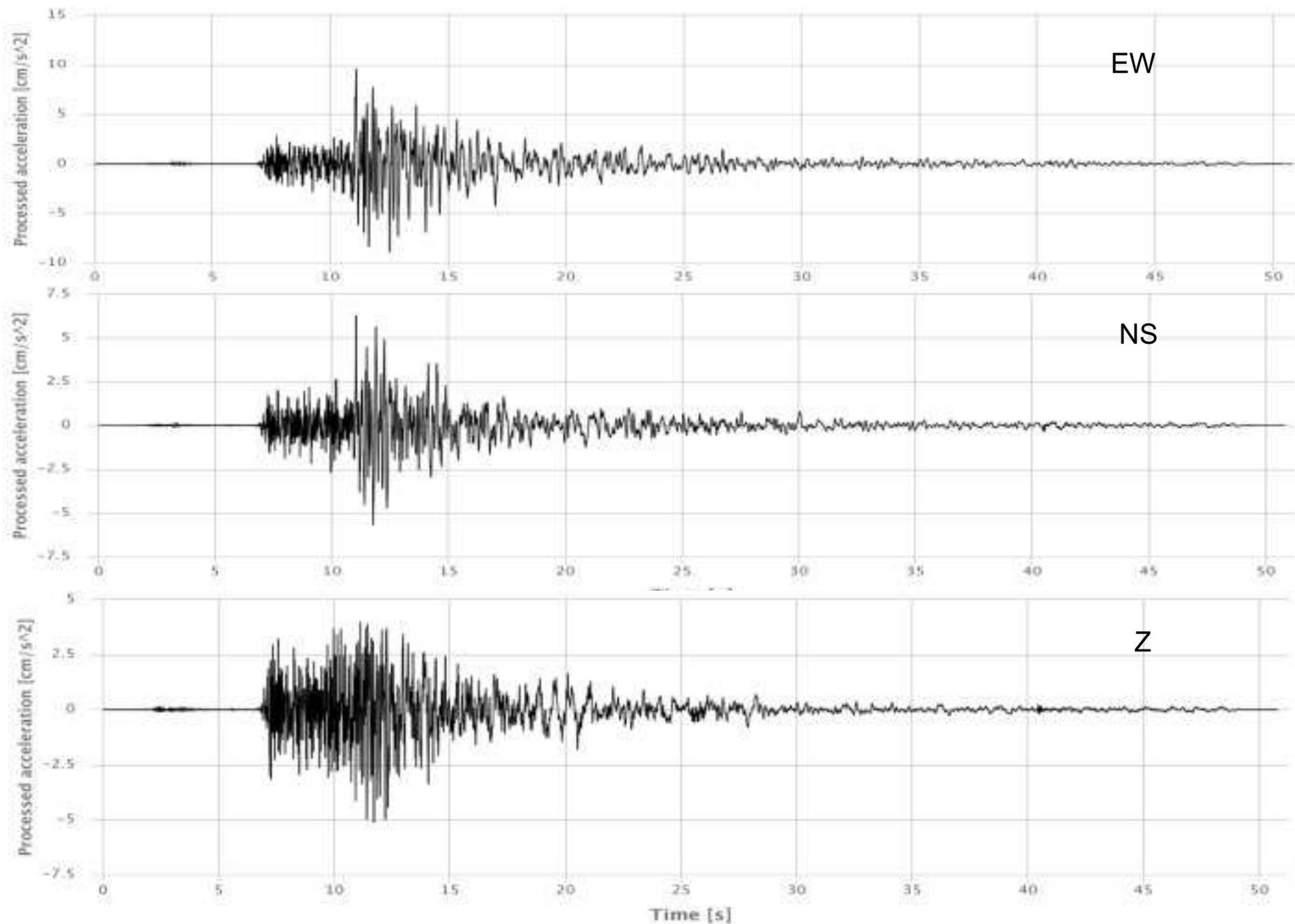
Gli spettri di Fourier sono utili perché ogni registrazione può essere espressa, nel dominio della frequenza, come prodotto tra lo spettro di Fourier della sorgente, del percorso e del sito

Funzione di amplificazione

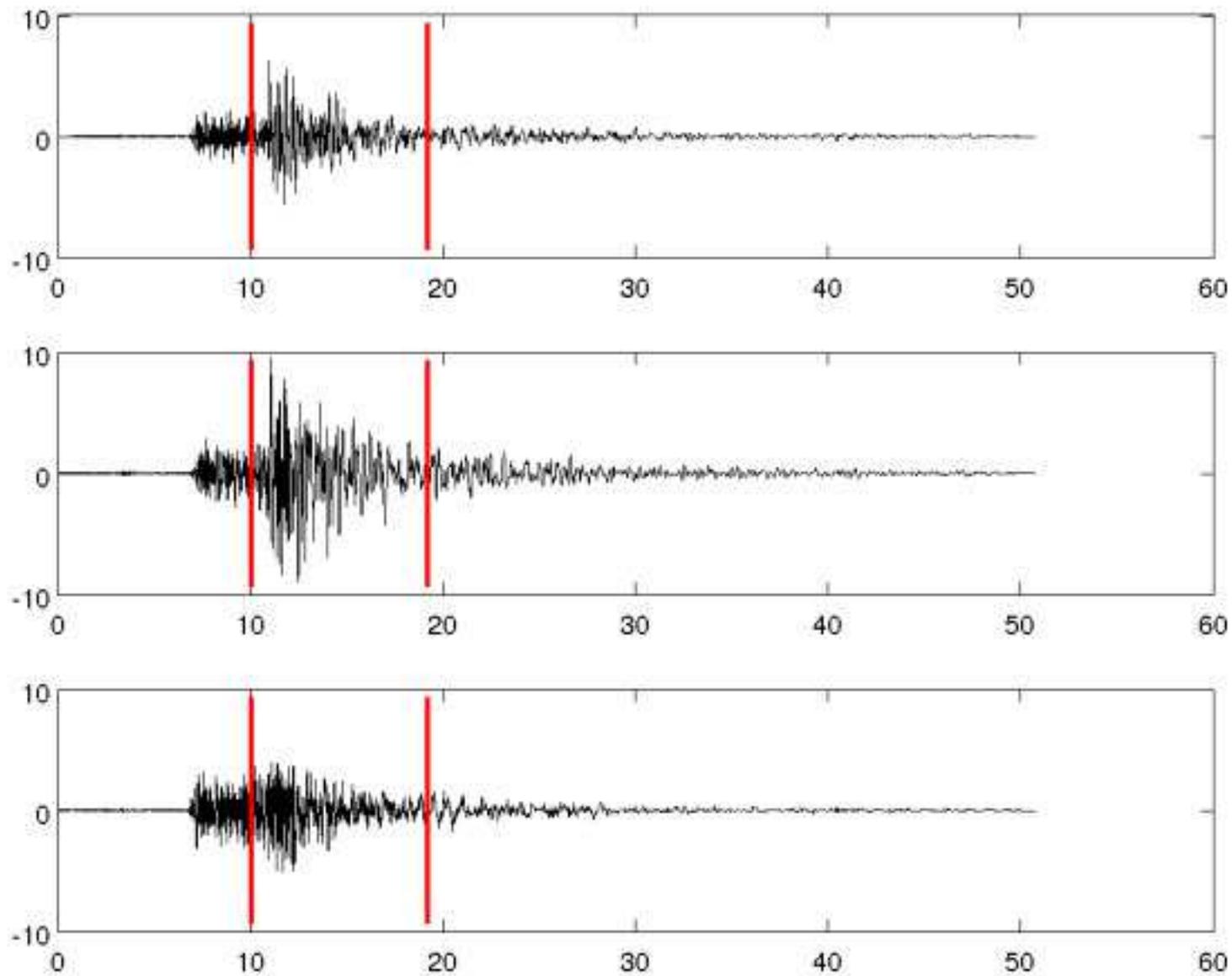
$$\frac{\text{Spettro sito}}{\text{Spettro riferimento}} = \frac{\cancel{S} * \cancel{R} * S1}{\cancel{S} * \cancel{R} * S2}$$



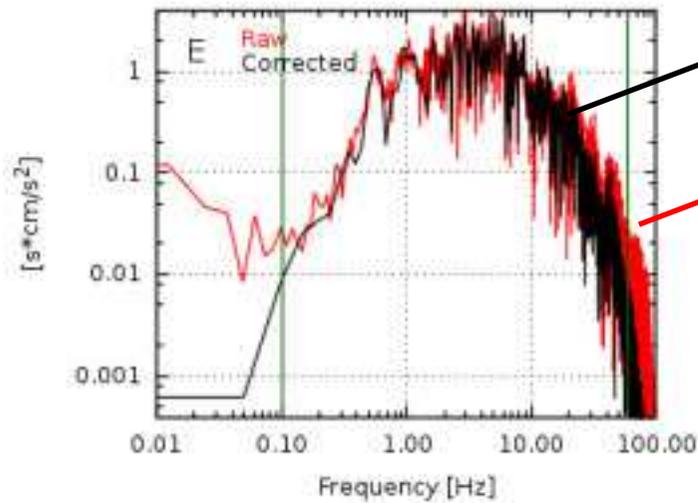
Esempio: calcolo HVSR



Selezione della fase S: durata della finestra circa 10 s



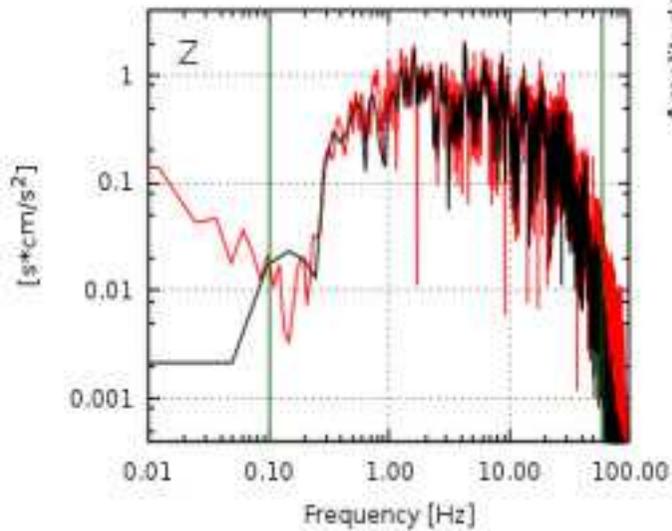
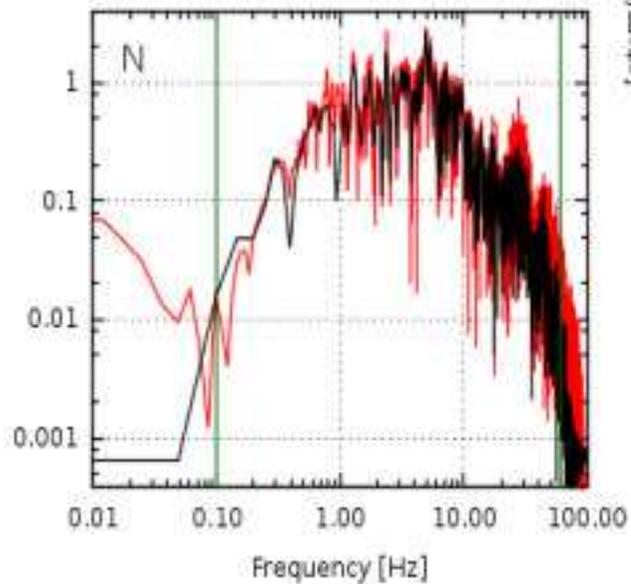
Spettri di Fourier



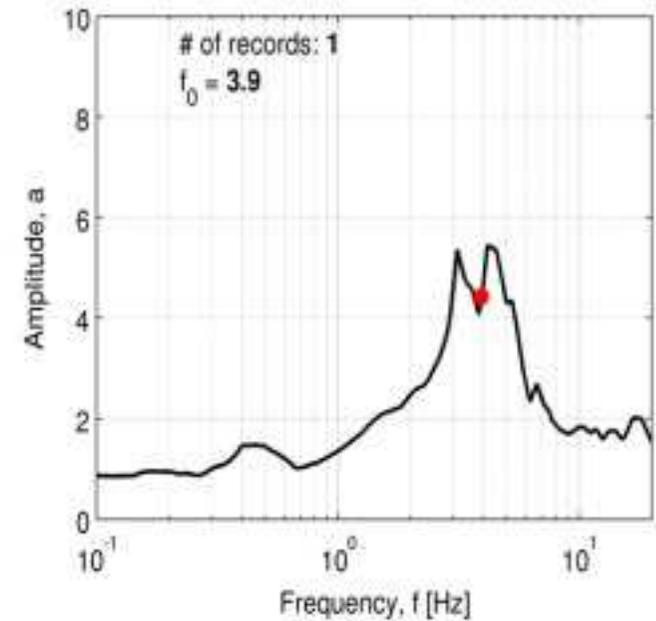
Finestra S

segnale intero

Le componenti orizzontali vengono combinate

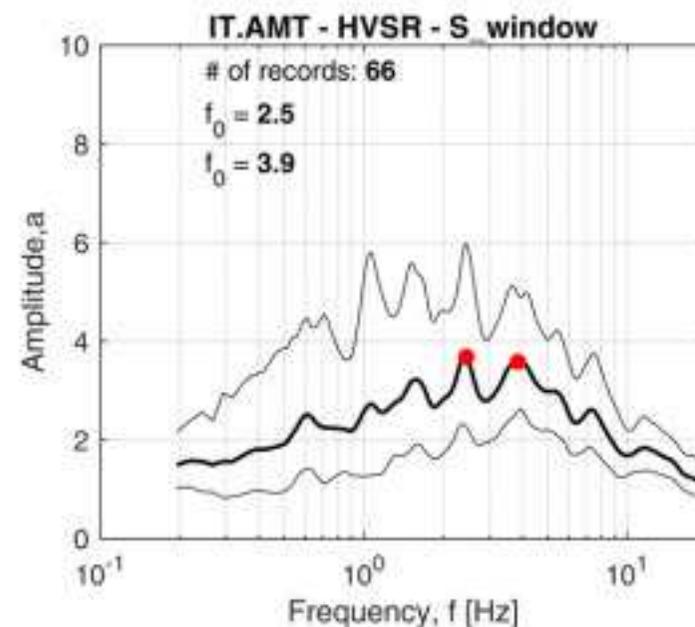
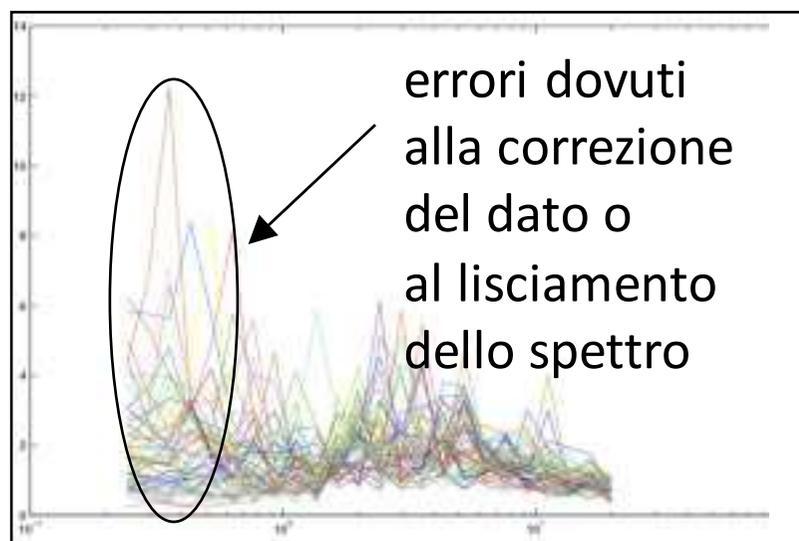


HVSR

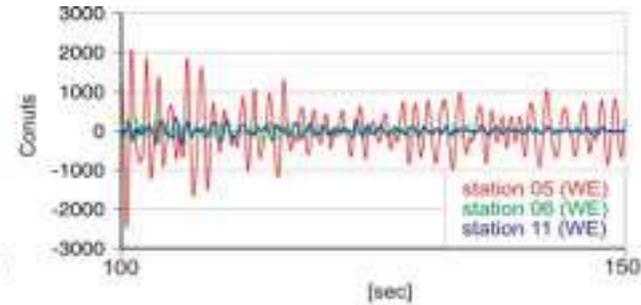
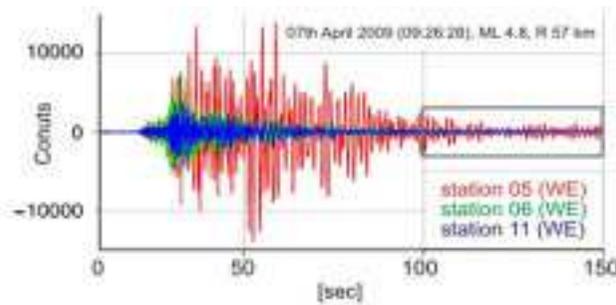
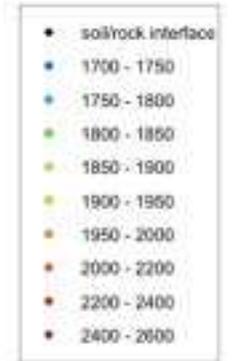
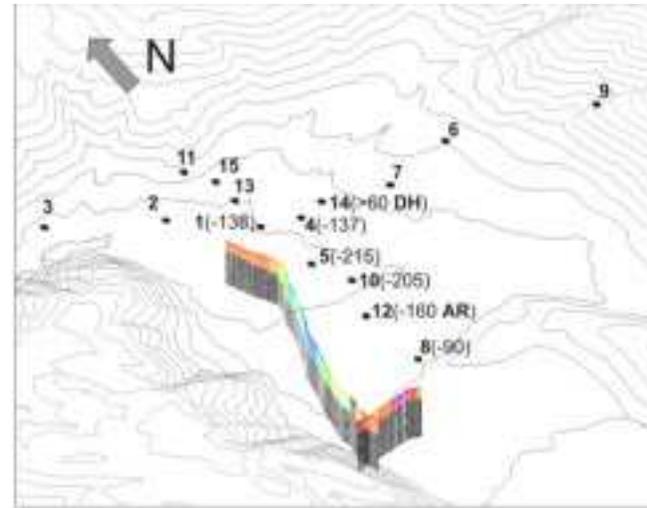
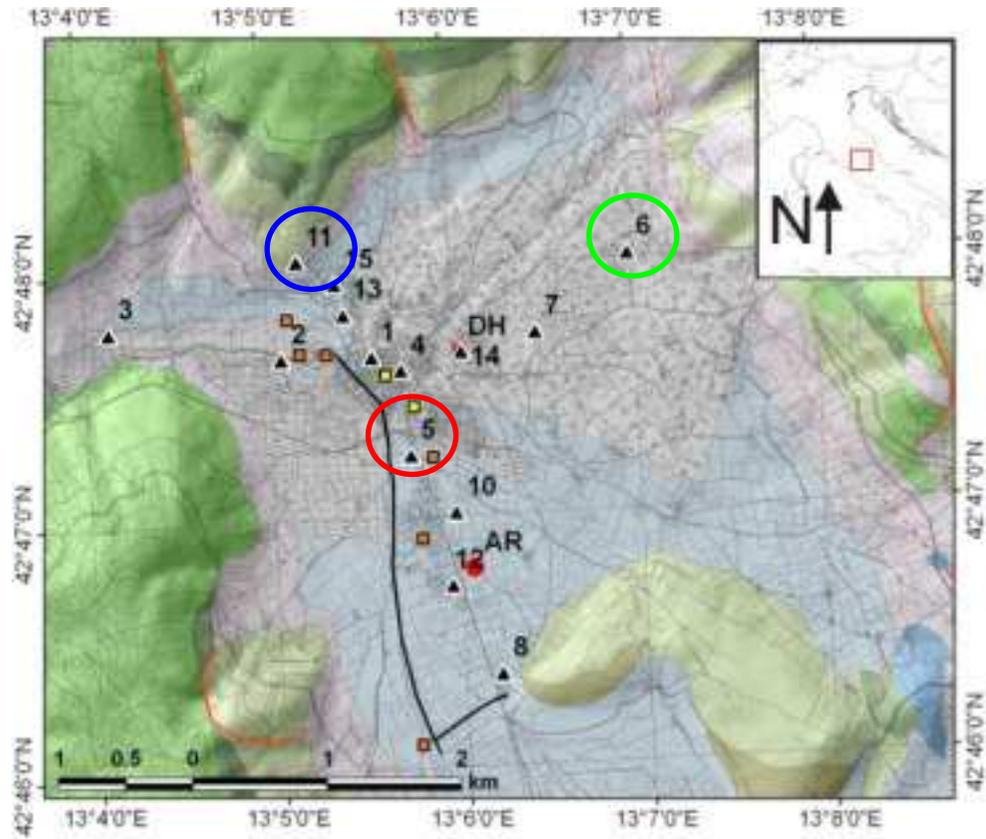


Calcolo HVSR e f_0

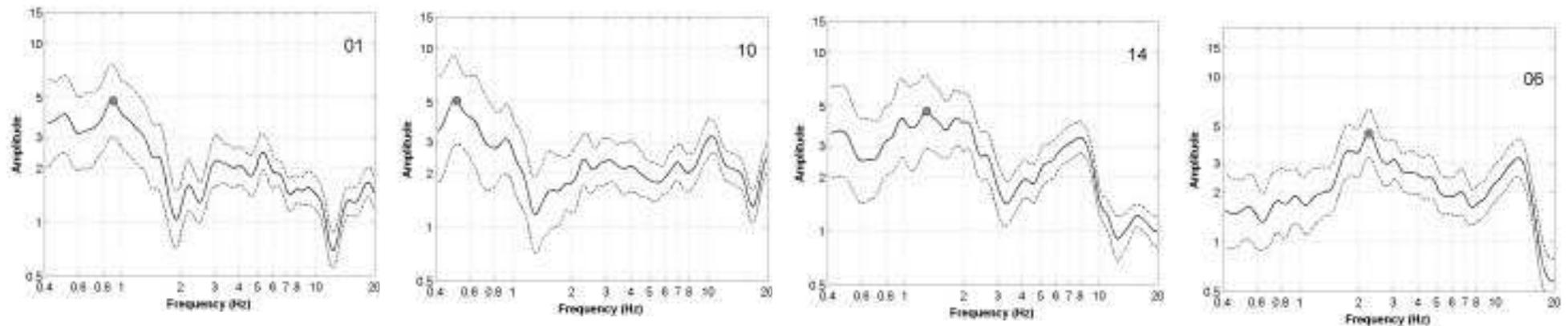
- Per ottenere una funzione di trasferimento attendibile deve essere utilizzato un numero elevato di registrazioni per un sito
- I rapporti spettrali vengono mediati e viene calcolata la deviazione standard



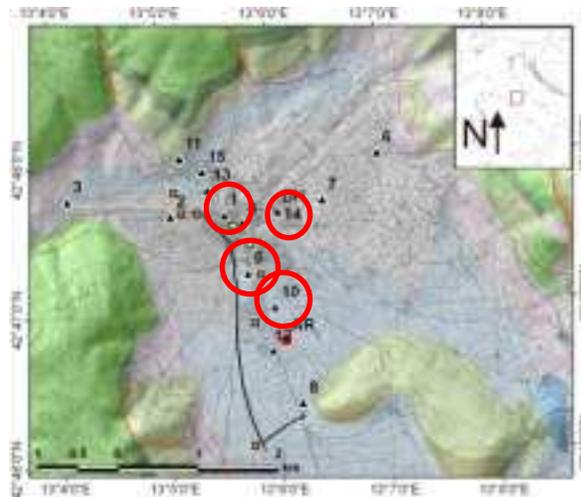
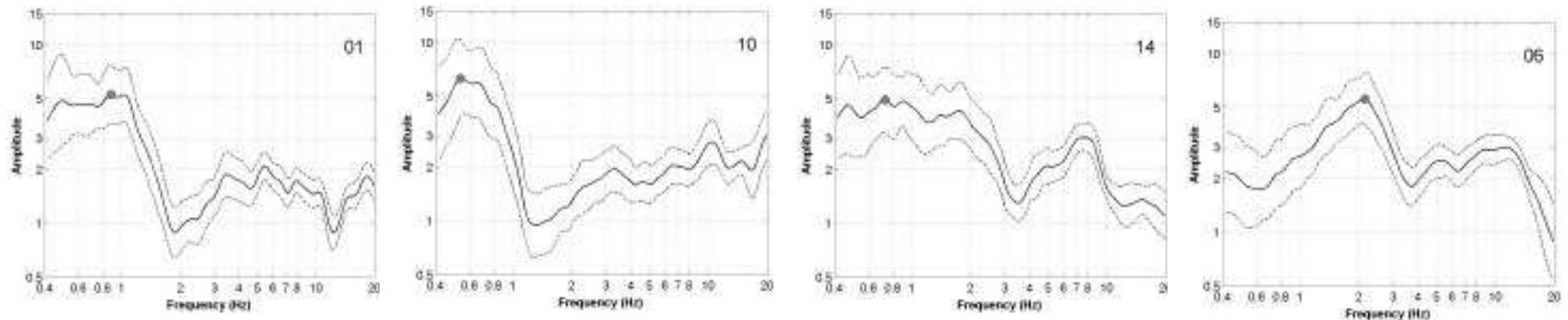
Norcia



Rapporto spettrale standard (Standard Spectral Ratio) delle componenti orizzontali

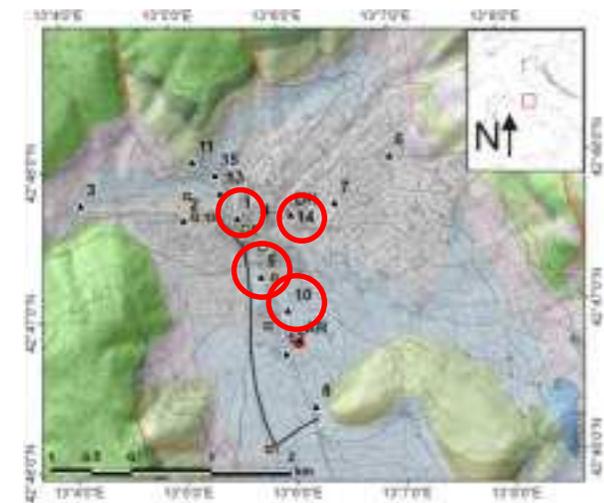
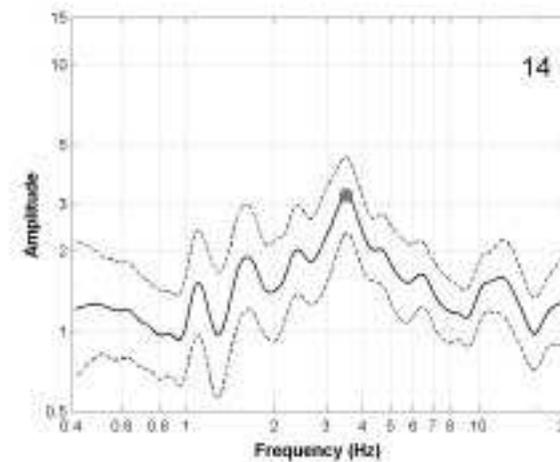
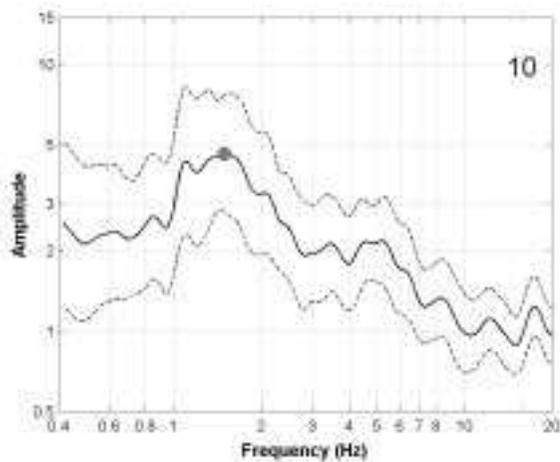
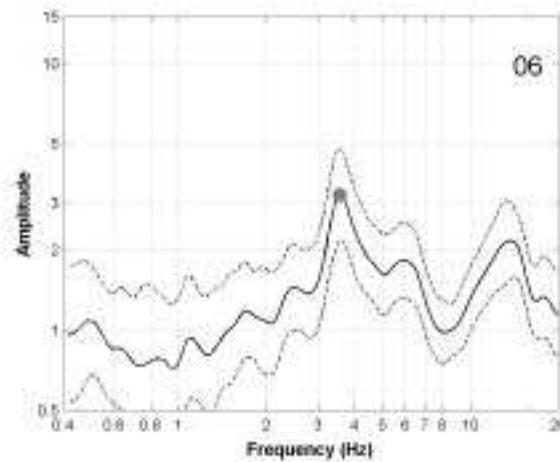
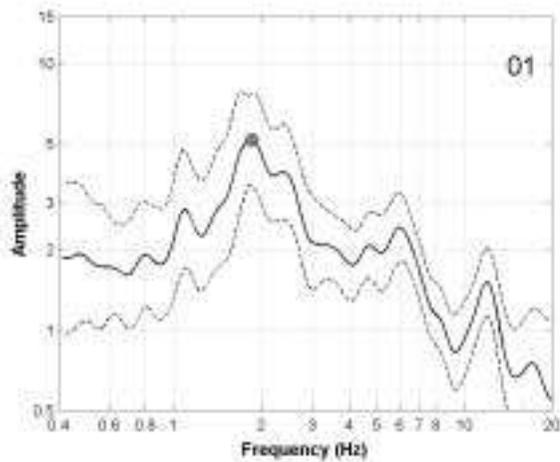


Rapporto spettrale tra componente orizzontale e verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)



- Le frequenze di risonanza sono $< 1\text{Hz}$ al centro della piana e
- 1Hz ai bordi (staz 6). Le ampiezze dell'amplificazione è di circa 5 rispetto alla stazione di riferimento (staz 11).
 - HVSr e SSR coincidono in termini di ampiezza e frequenza di risonanza

Rapporto spettrale standard (Standard Spectral Ratio) delle componenti verticali



Sismica passiva

- Le tecniche di sismica passiva sono basate sulla misura e l'analisi delle **vibrazioni del terreno** indotte da sorgenti non controllate
- In particolare, l'*ambient vibration seismology* è basata sullo studio del cosiddetto “rumore sismico ambientale” (*ambient vibrations*)
- Il termine “rumore” è mutuato dalla sismologia nella quale costituiva un elemento di disturbo rispetto al “segnale” costituito da eventi sismici o terremoti di origine tettonica

Vibrazioni ambientali

- Le vibrazioni ambientali sono piccole vibrazioni del terreno (spostamenti di 10^{-4} - 10^{-3} cm, a frequenze molto al di sotto della soglia di percezione umana) che è possibile osservare in qualunque punto della Terra
- Vengono anche usati i termini di **rumore sismico** (*seismic noise*), **microtremore** (*microtremor*), **microsismi** (*microseisms*), **rumore ambientale** (*ambient vibrations*)

Lunghezze d'onda

- Per velocità delle onde sismiche (onde S) dell'ordine di 500 e 1000 m/s, $f < 1$ Hz, le lunghezze d'onda diventano rapidamente grandi

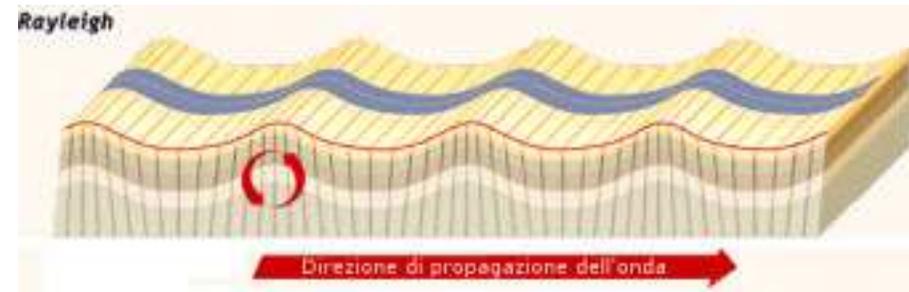
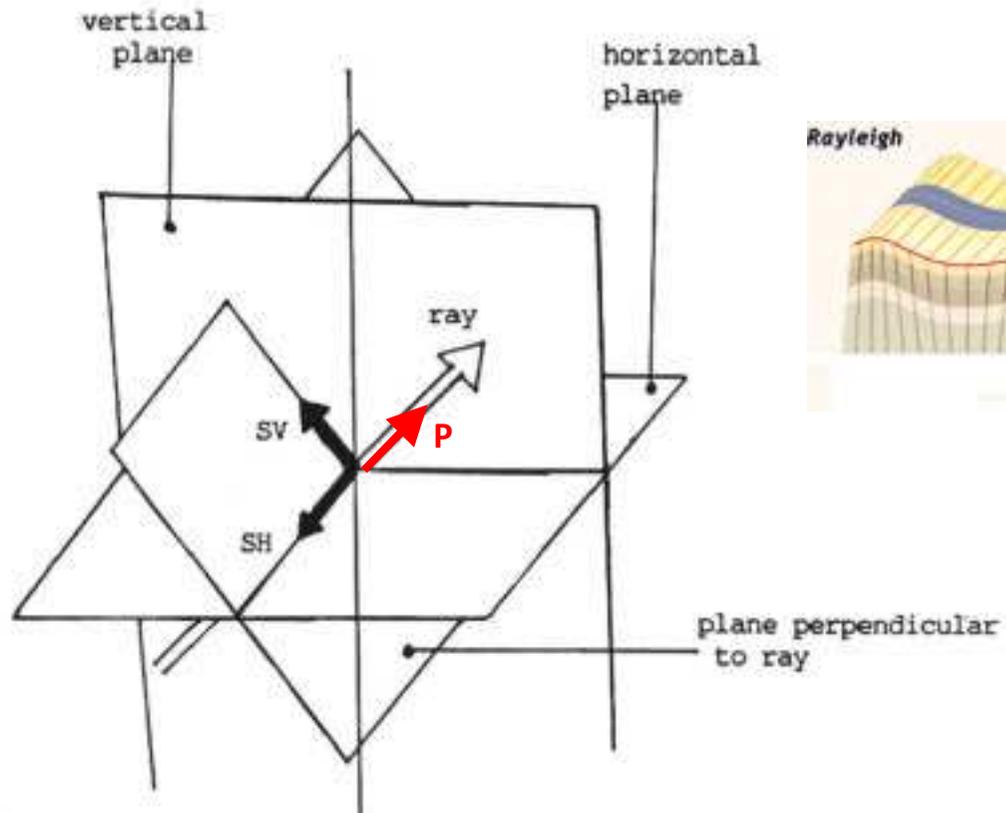
		Vs (m/sec)	Vs (m/sec)
Frequenza (Hz)	Periodo (sec)	500	1000
10	0.1	50	100
5	0.2	100	200
1	1	500	1000
0.5	2	1000	2000
0.1	10	5000	10000
0.05	20	10000	20000
0.01	100	50000	100000

Onde coinvolte

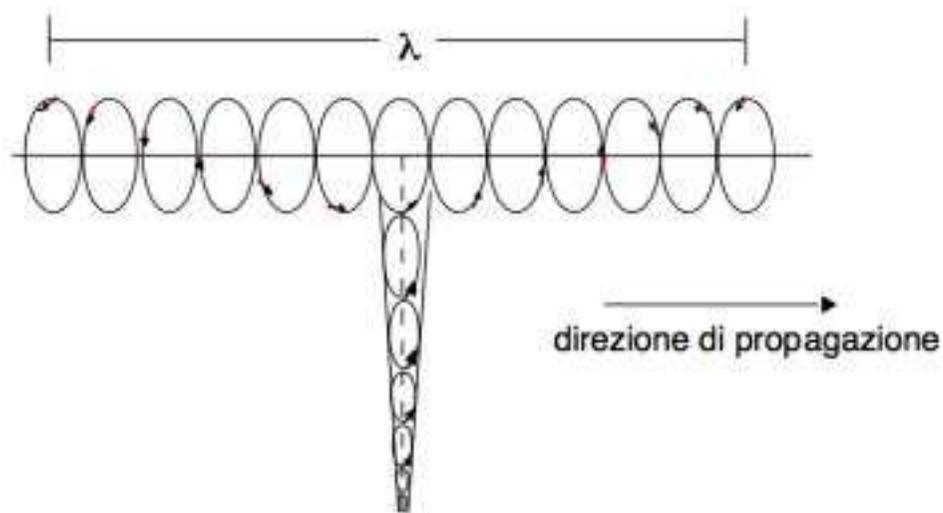
- Ci si aspetta che nel campo di vibrazioni siano presenti tutte le diverse fasi sismiche (onde P, onde S, onde di Rayleigh, Love e relativi modi superiori).
- Dato che, in generale, le onde di volume si attenuano più rapidamente e che la maggior parte delle possibili sorgenti si trovano alla superficie, ci si può aspettare che un ruolo dominante sia giocato dalle onde superficiali

Rayleigh waves

Le onde di Rayleigh sono una combinazione di onde SV e P

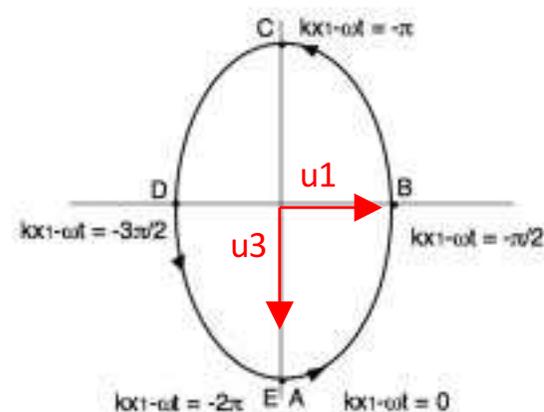


Onde di Rayleigh



1. **Ellitticità:** ovvero l'andamento dei rapporti fra le ampiezze orizzontali e verticali del moto (u_1 , u_3) in funzione della frequenza: l'ellitticità è massima in corrispondenza della frequenza di risonanza delle onde S
2. **Dispersione:** ovvero le variazioni di velocità di propagazione delle onde superficiali in funzione della frequenza di vibrazione

Gli spostamenti lungo u_1 e u_3 sono sfasati di 90° : moto delle particelle di tipo ellittico e retrogrado



$$u_1 = -0.42Ak \sin(kx_1 - \omega t)$$

$$u_3 = 0.62Ak \cos(kx_1 - \omega t)$$

HVSR del rumore o di Nakamura

La tecnica a stazione singola (HVSR o “di Nakamura”) è finalizzata alla **determinazione della curva di “ellitticità”** (curva HVSR) da misure di vibrazioni ambientali sulle tre componenti. Il massimo della curva di ellitticità identifica la frequenza di risonanza delle onde S nel sottosuolo

Requisiti per una misura attendibile

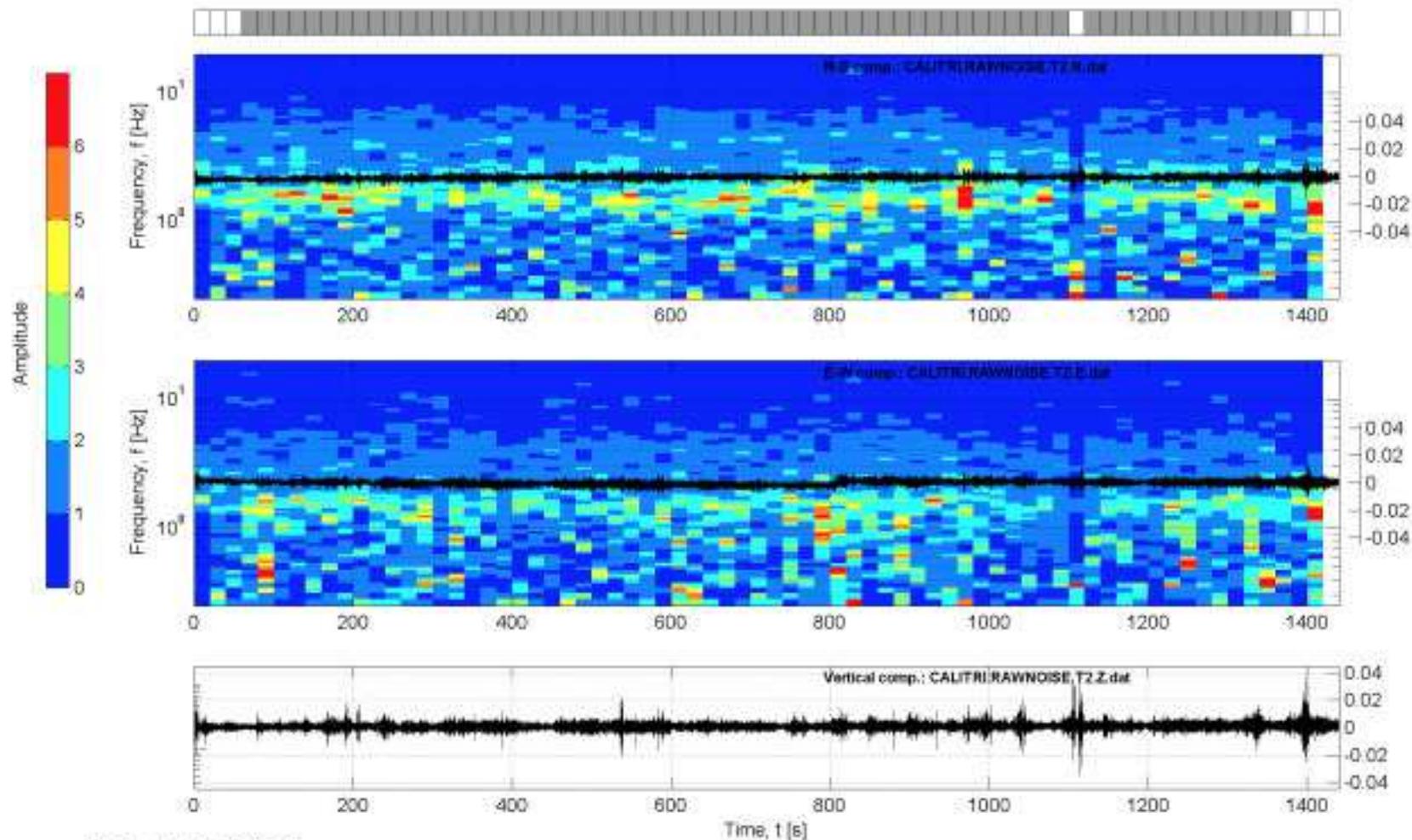
Perché la misura ottenuta possa essere considerata una stima delle proprietà medie del campo di rumore sismico

1. I rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato (almeno 20 minuti di misura)

2. Gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano sorgenti “dominanti”

3. La misura non contenga errori sistematici (p.es. dovuti al cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)

Per controllare che siano rispettate queste condizioni occorre analizzare la stazionarietà nel tempo dei rapporti H/V misurati (criteri statistici) e la presenza di eventuali direzionalità nel segnale



Station: Calitri_OSS_T2

Recording duration: 24:00 [min:sec] ($dt = 0.0078125$ [s])

Window length (l_w) = 20 [s]

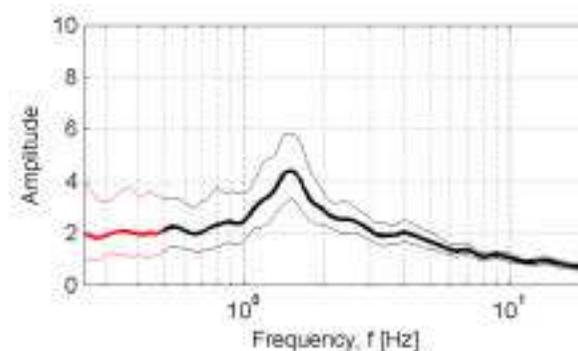
Minimum expected $f_0 = 0.5$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.25 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: $b = 40$

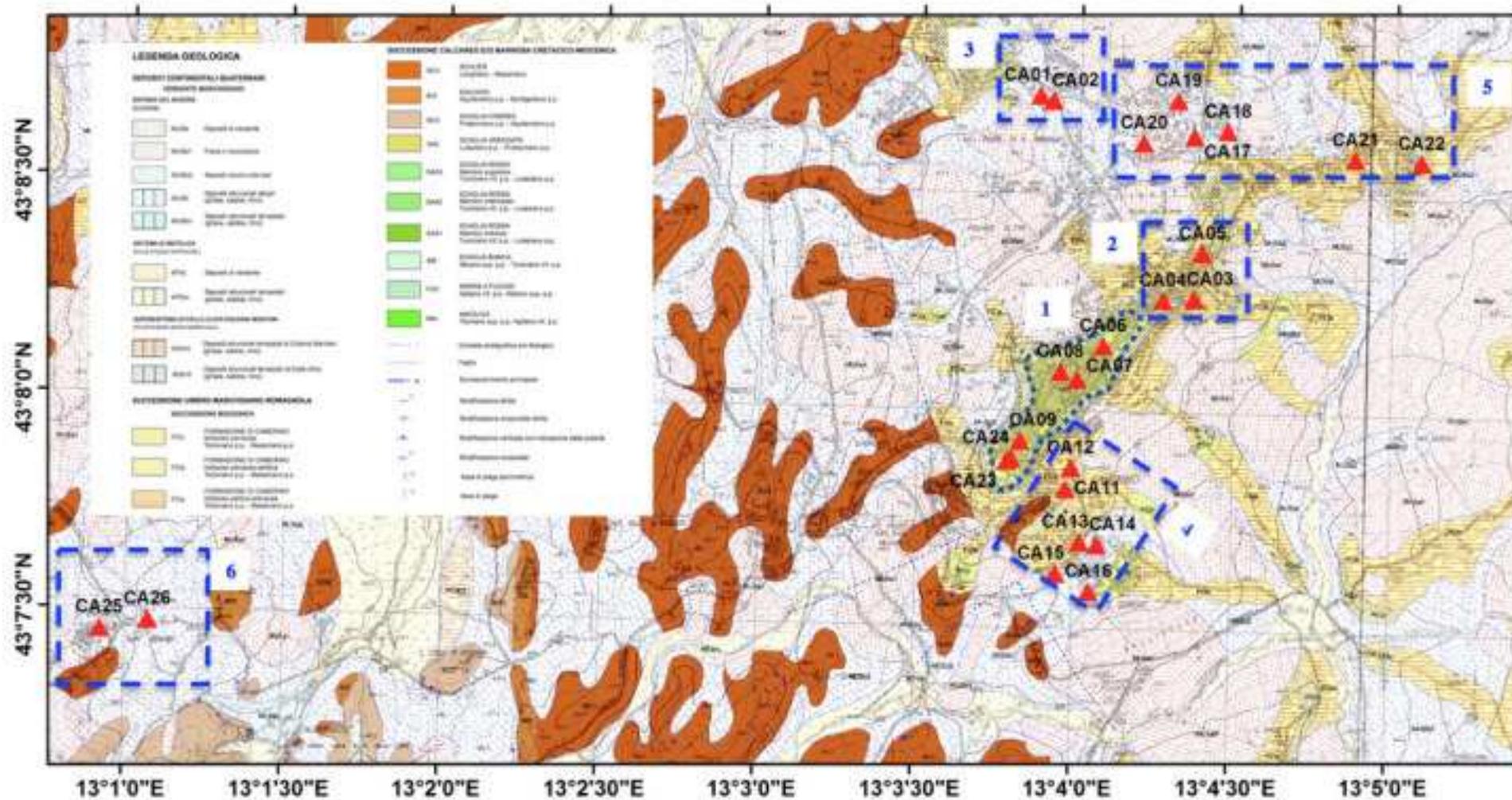
Save not filtered spectra: yes



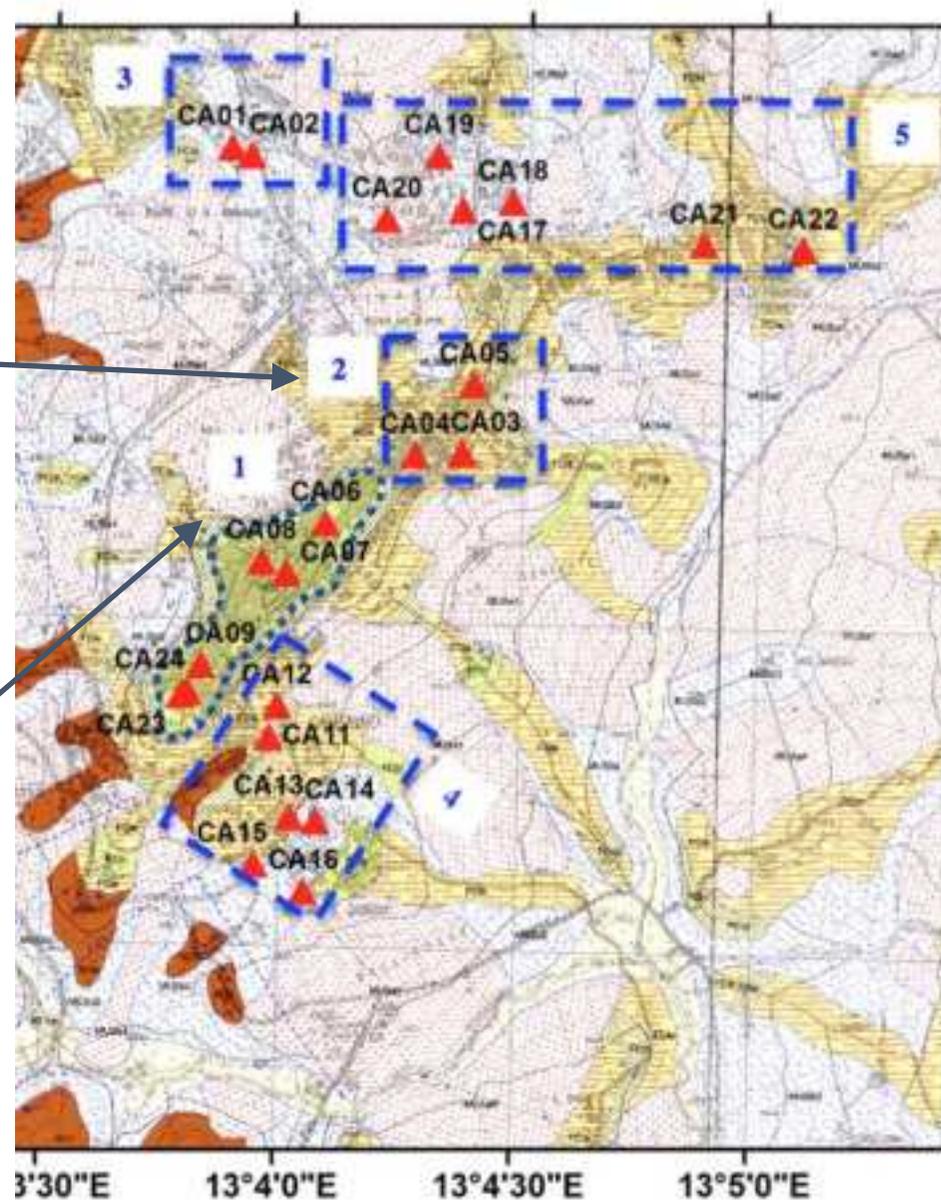
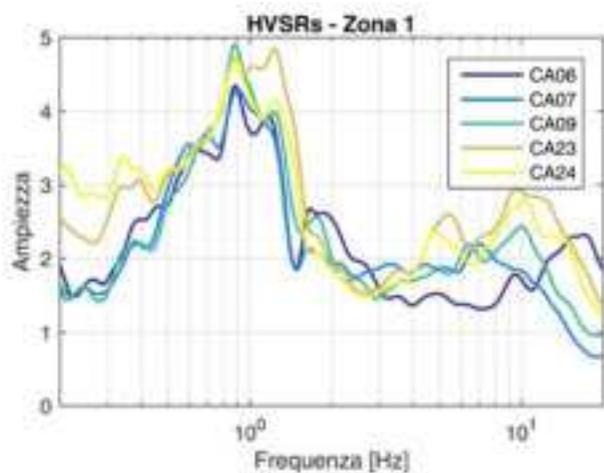
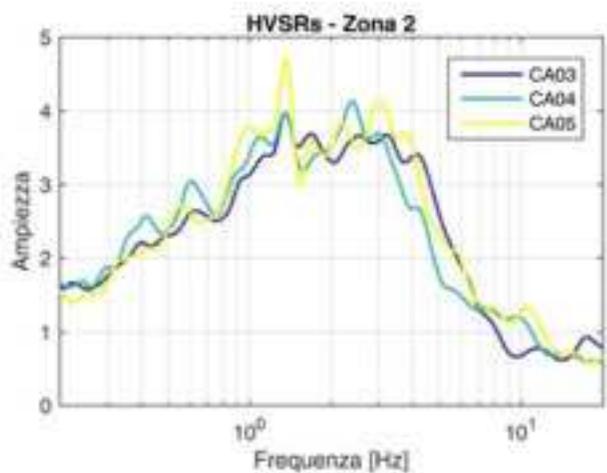
Developed in the field of the DPC-INGV S4-Project (2007-2009)
by Rodolfo Puglia - Dino Bindi - Lucia Luzi - Francesca Paolucci



Campagna di misura a Camerino

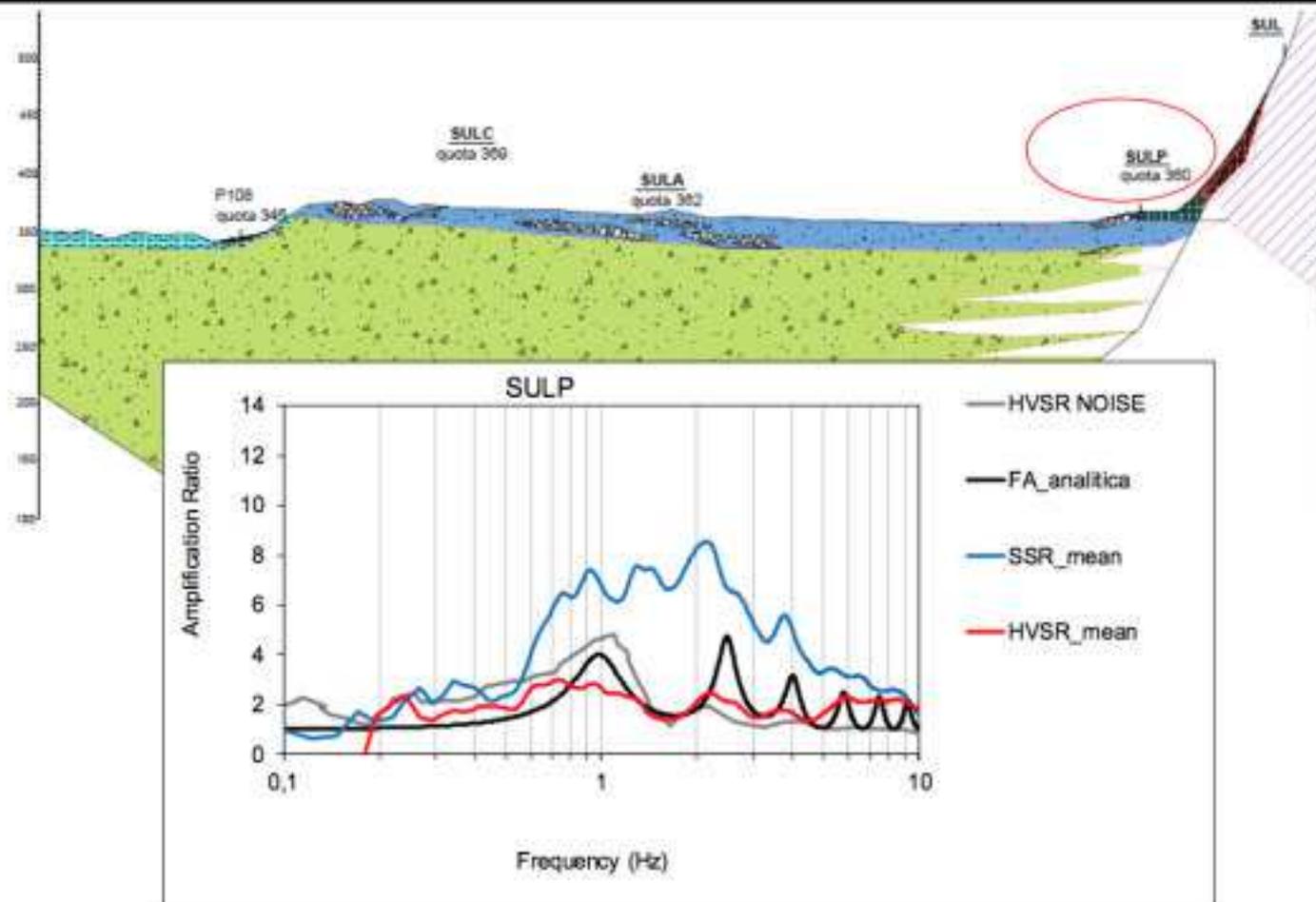


Risposta sismica del centro storico



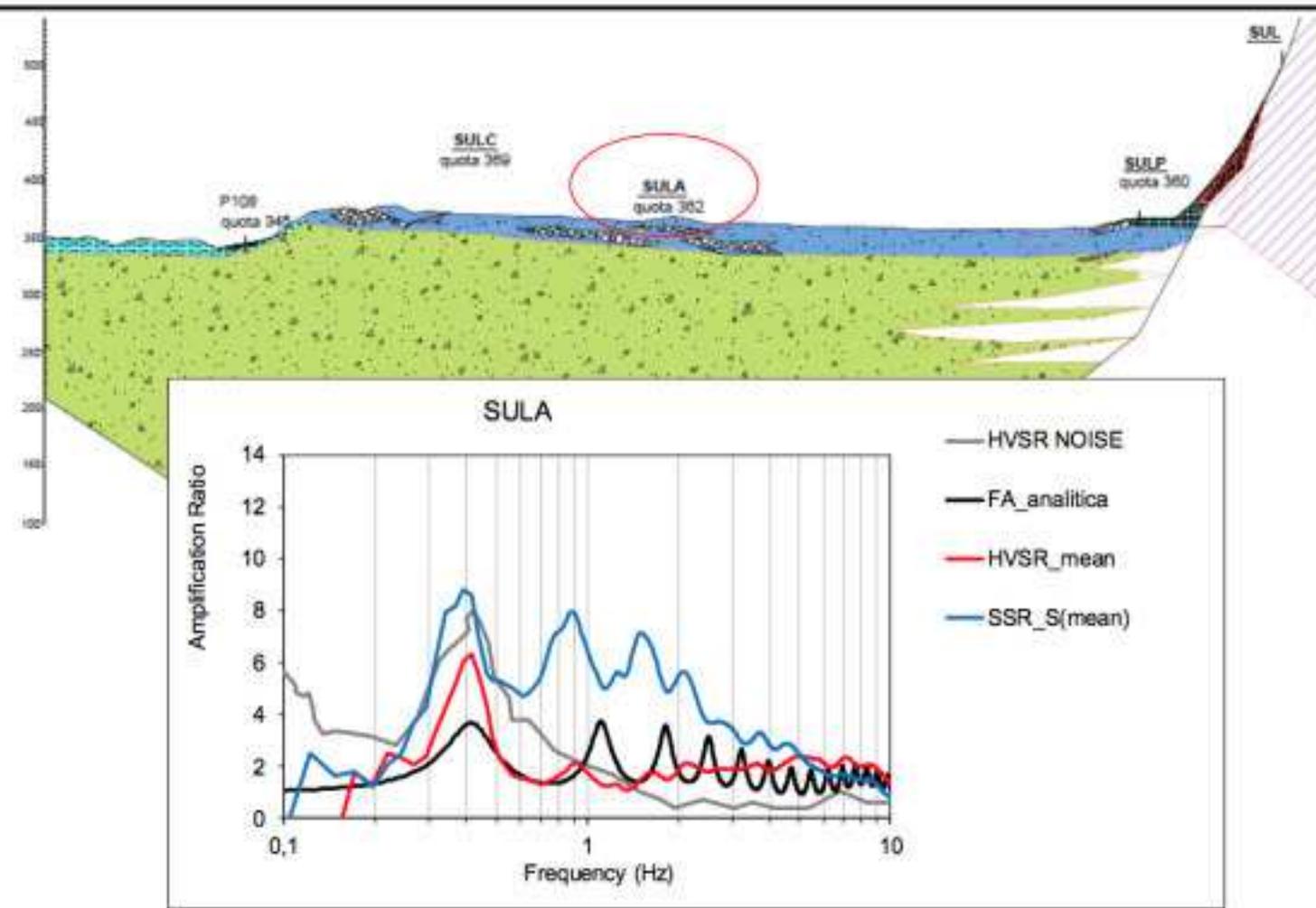
Sulmona

Determinazione analitica vs sperimentale della risposta in frequenza



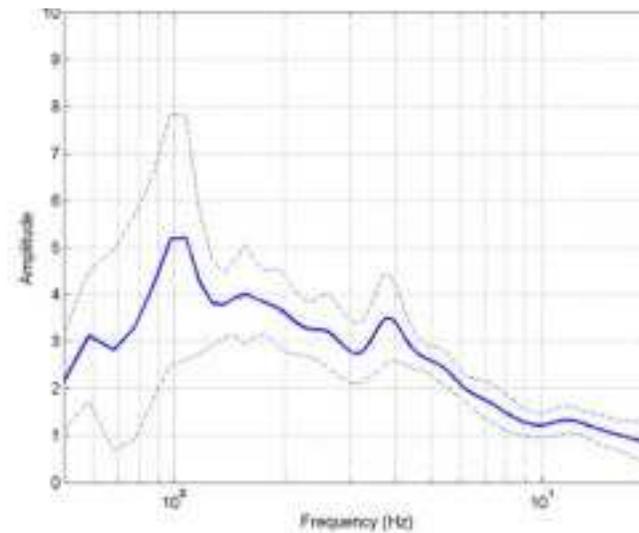
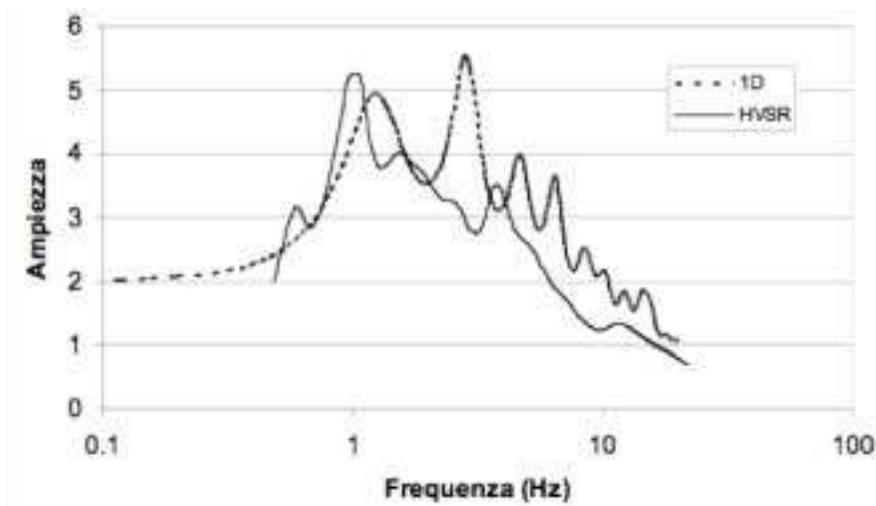
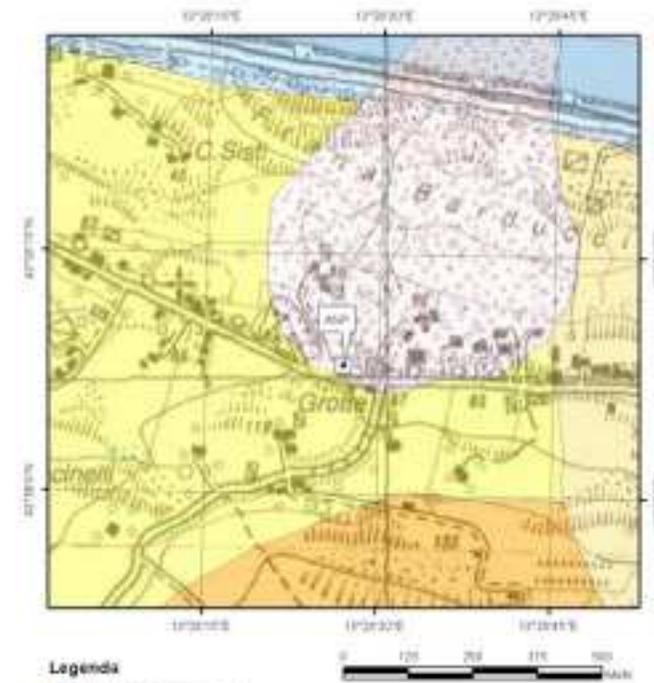
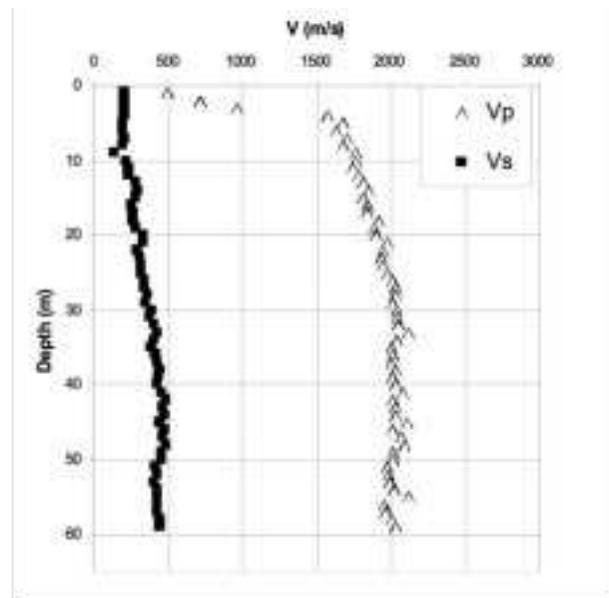
Sulmona

Determinazione analitica vs sperimentale della risposta in frequenza



Ancona Palombina

Spessore (m)	Densità (KN/m ³)	Velocità (m/s)	Q
10.0	17.7	201.3	10.0
10.0	17.7	274.1	12.0
10.0	17.7	337.2	12.0
10.0	19.6	418.8	12.0
10.0	19.6	466.9	12.0
10.0	19.6	429.4	12.0
40.0	20.0	500.0	12.0
0.0	21.0	1000.0	50.0



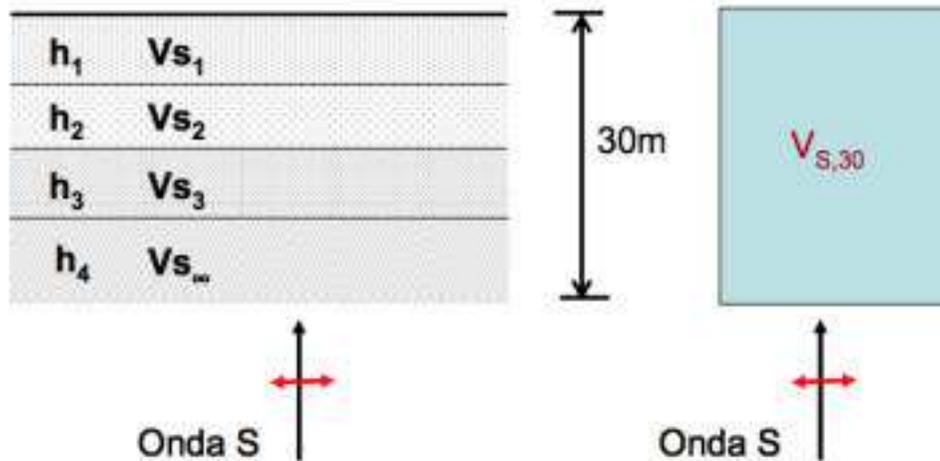
Categorie di sottosuolo NTC08

In assenza di studi per la valutazione della risposta sismica locale, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III di NTC08)

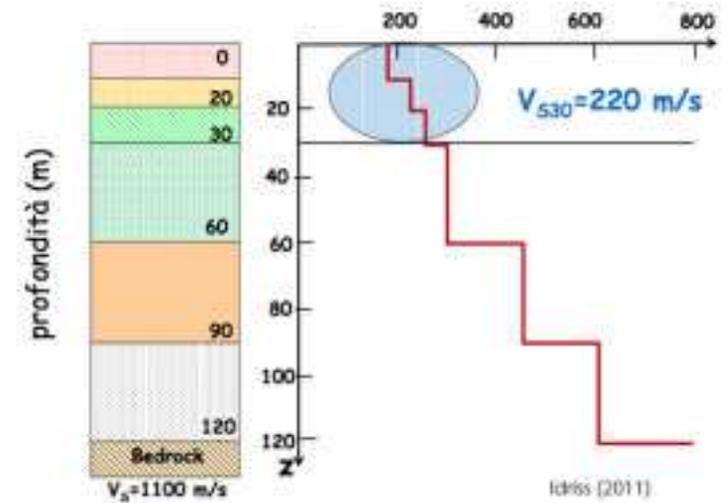
Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{v,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Calcolo $V_{S,30}$

Rappresenta la velocità media in termini di lentezza, basata sul tempo che l'onda di taglio impiega a percorrere i 30 m



$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1..N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

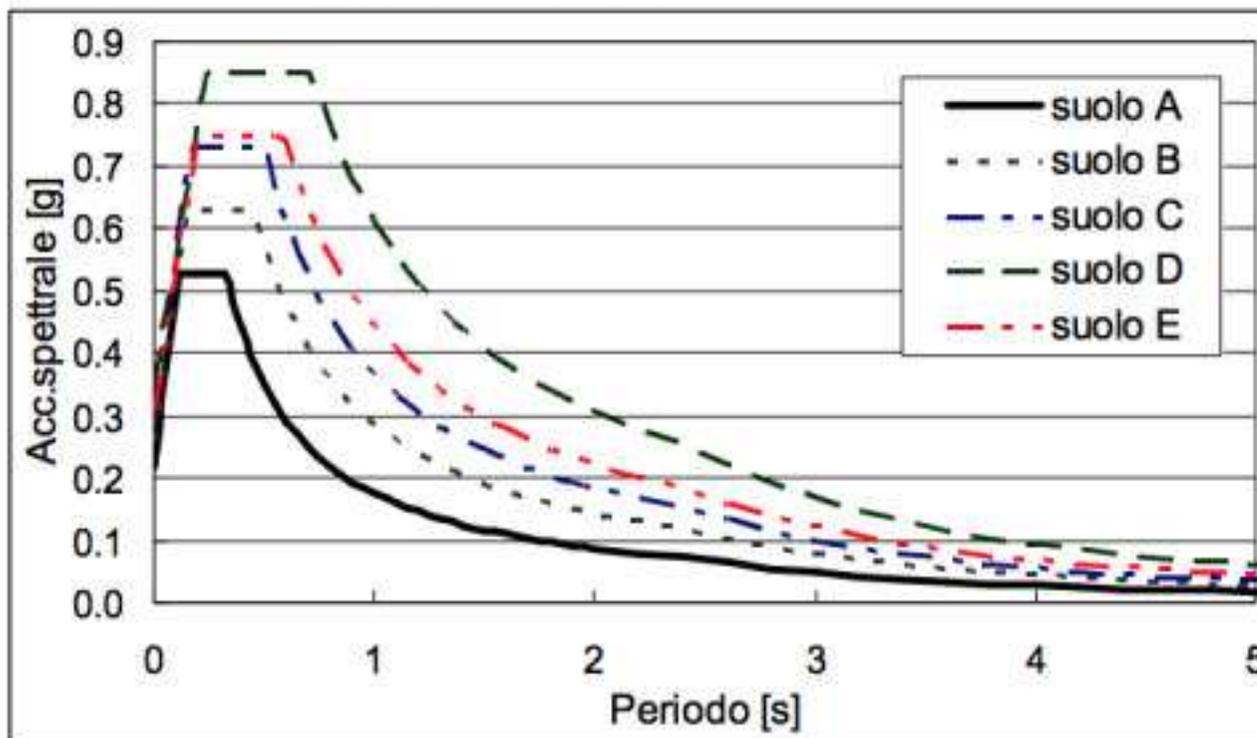


Spettri NTC08

ag F_0 T_c^*
 0.216 2.45 0.33

PGA = S · ag

Spettri di risposta elastici



SUOLO	S
A	1
B	1.19
C	1.38
D	1.61
E	1.42

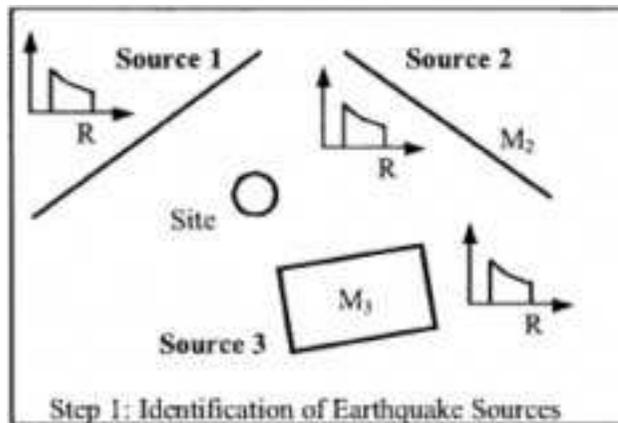
AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA O TOPOGRAFICA

	TECNICHE EMPIRICHE	MODELLI TEORICI
Tipologia dati	Registrazioni di terremoti o di microtremore	Sondaggi, parametri geofisici, parametri dei terreni
Tecniche di analisi	Rapporti spettrali	Modelli teorici 1D 2D 3D <i>input sismico</i>
Risultati	HVSR SSR	- Accelerogrammi - Spettri di risposta

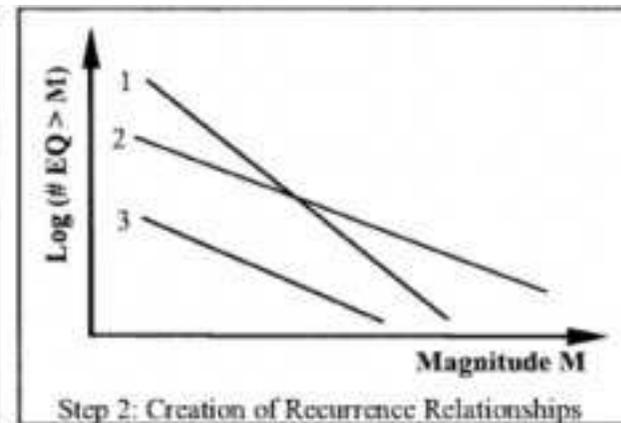
In assenza di studi per la valutazione della risposta sismica locale -> NTC08

Pericolosità sismica probabilistica

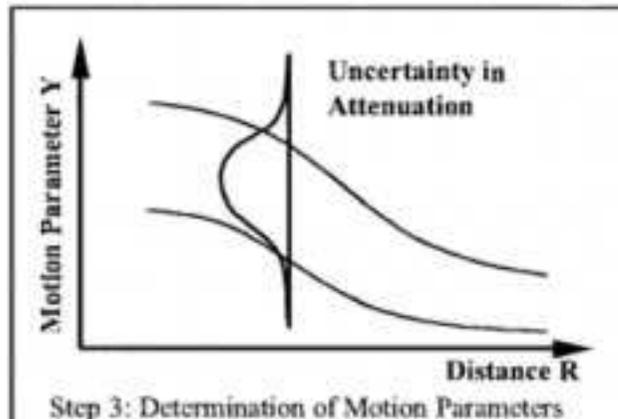
1 Sorgenti sismiche



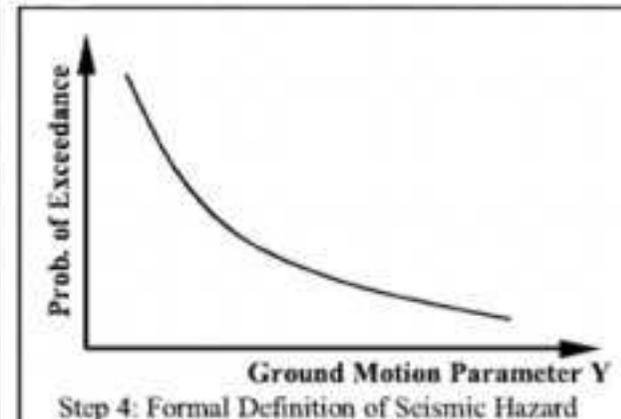
2 Tassi di sismicità



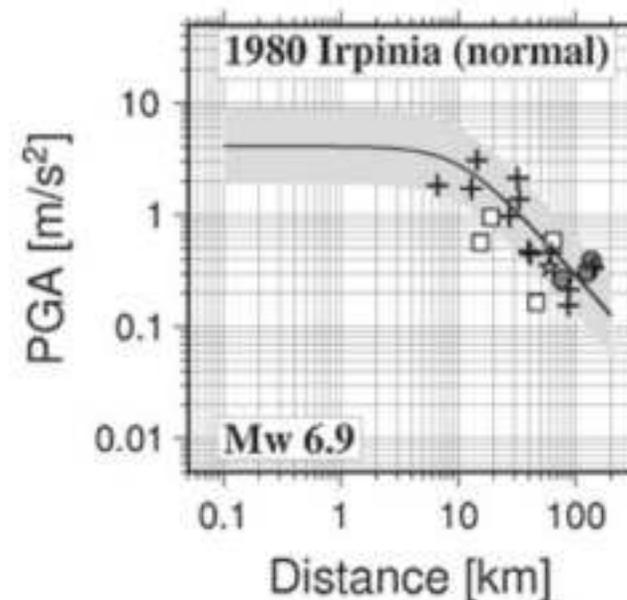
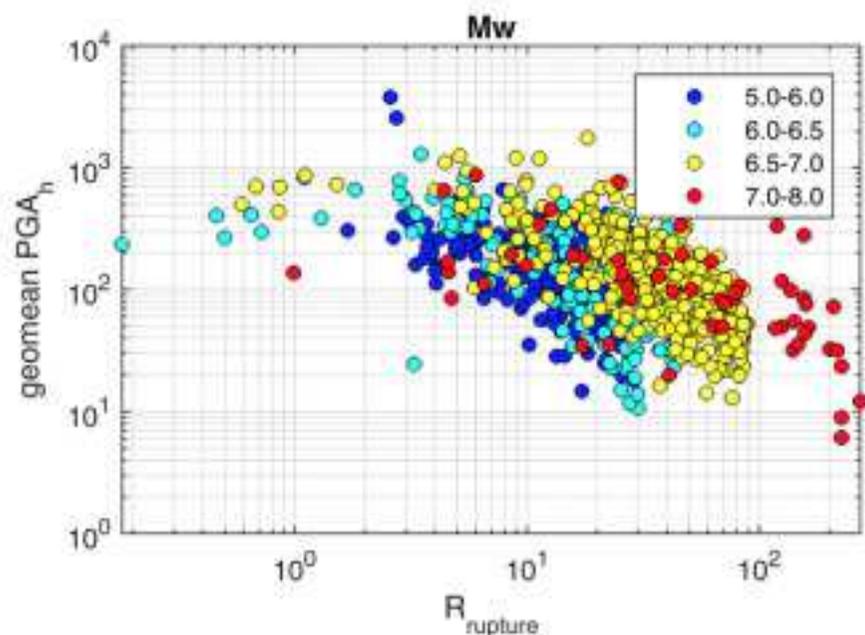
3 Leggi predittive del moto del suolo



4 Calcolo della pericolosità



3. Leggi predittive del moto del suolo

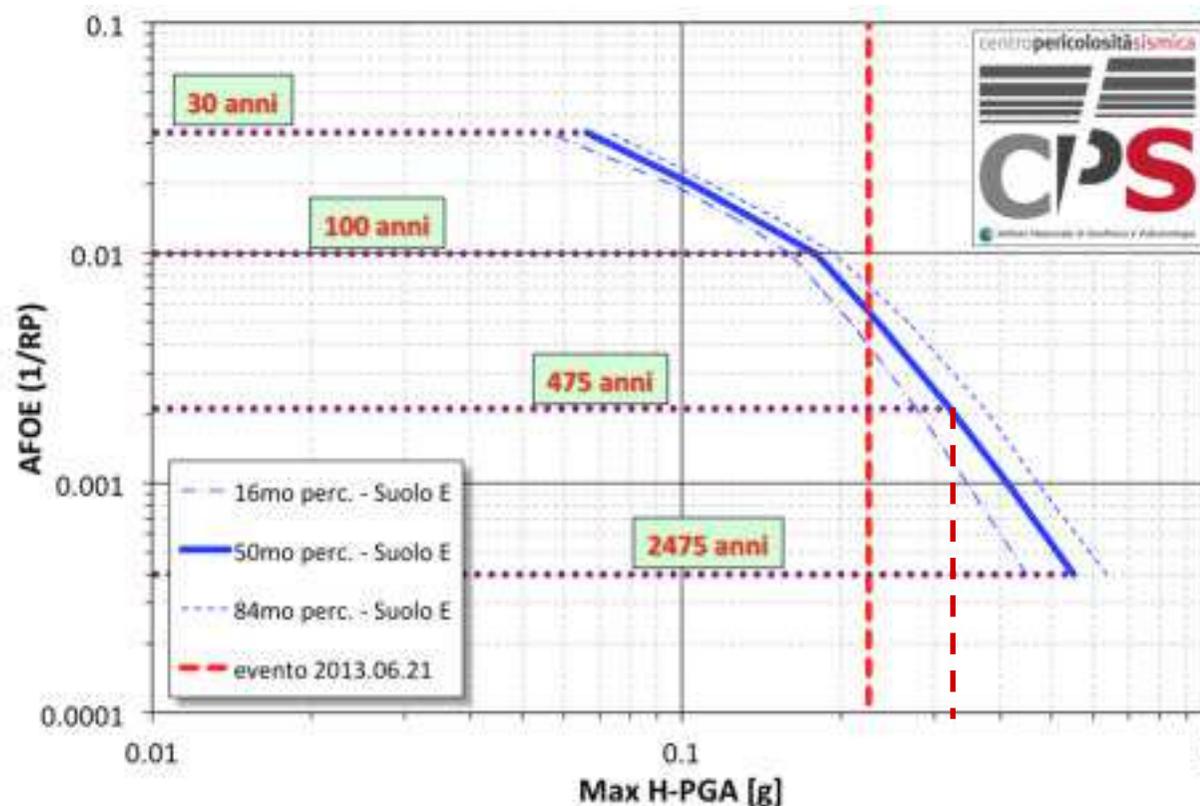


$$\log_{10} Y = e_1 + F_D(R, M) + F_M(M) + F_S + F_{sof}$$

$Y = PGA, PGV$, ordinate spettrali.

Y è funzione di Magnitudo (M), distanza sorgente - sito (R), stile di fagliazione (F_{sof}) ed effetto di sito (F_s)

Curva di pericolosità



AFOE Annual Frequency of Exceedance (frequenza annuale di eccedenza)

<https://ingvcps.wordpress.com/>

probabilità superamento

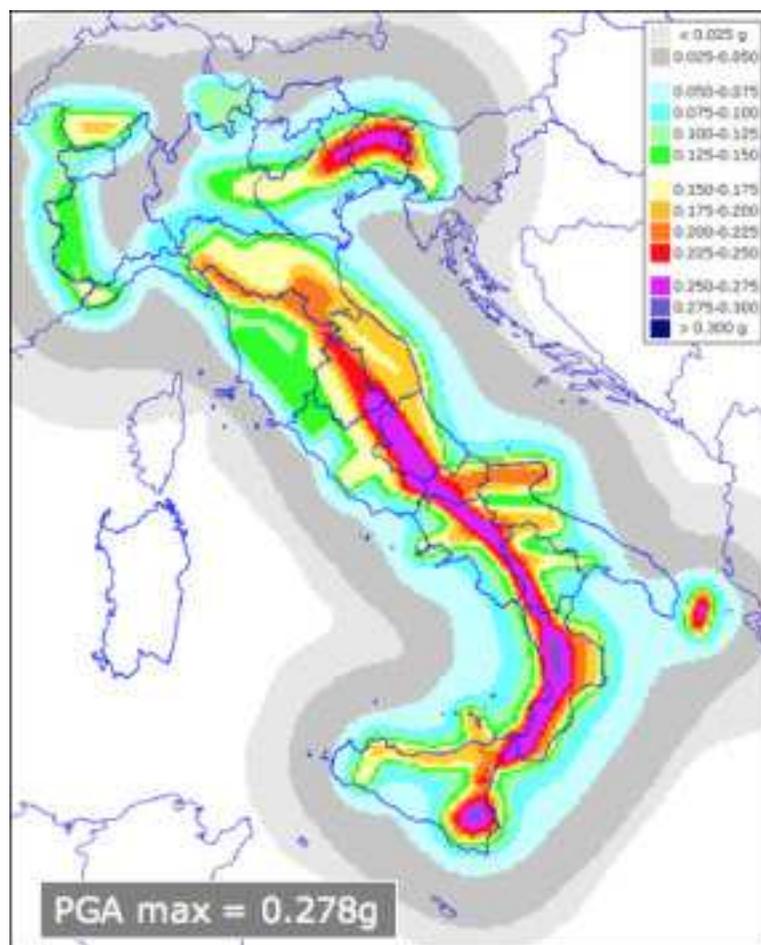
$$\lambda = -\frac{\ln(1 - \underbrace{P(Y_T > y^*)}_{= 10\%})}{\underbrace{t}_{50}} = \frac{\ln(1 - 0.1)}{50} = 0.00211$$

intervallo temporale

combinazione di modello poissoniano e modello di ricorrenza



MPS04 (mediana)

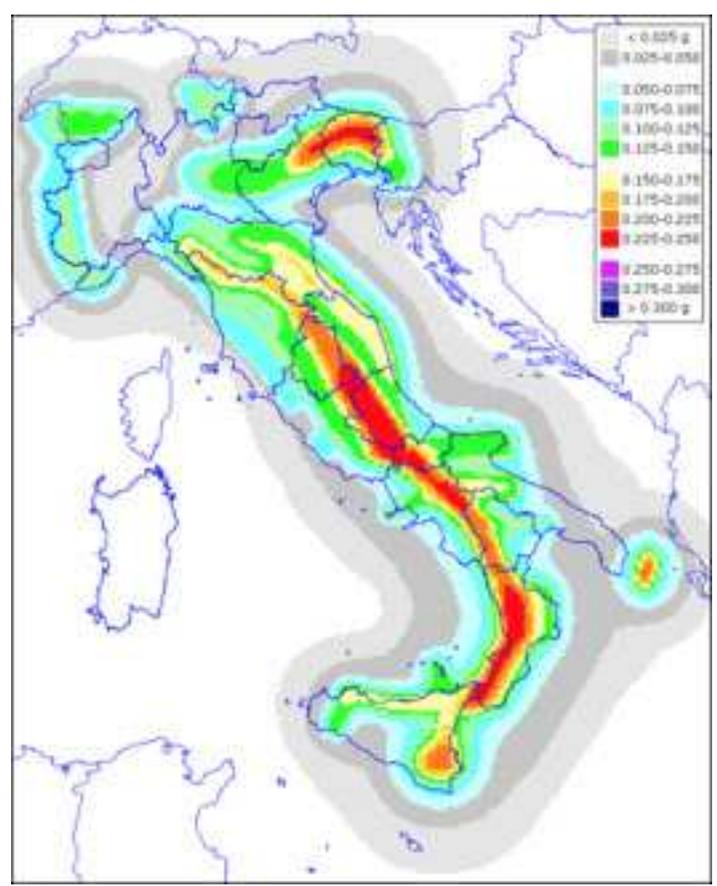


Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima orizzontale (a_{max}) su suolo rigido ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo l'Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003
Gruppo di Lavoro MPS, 2004

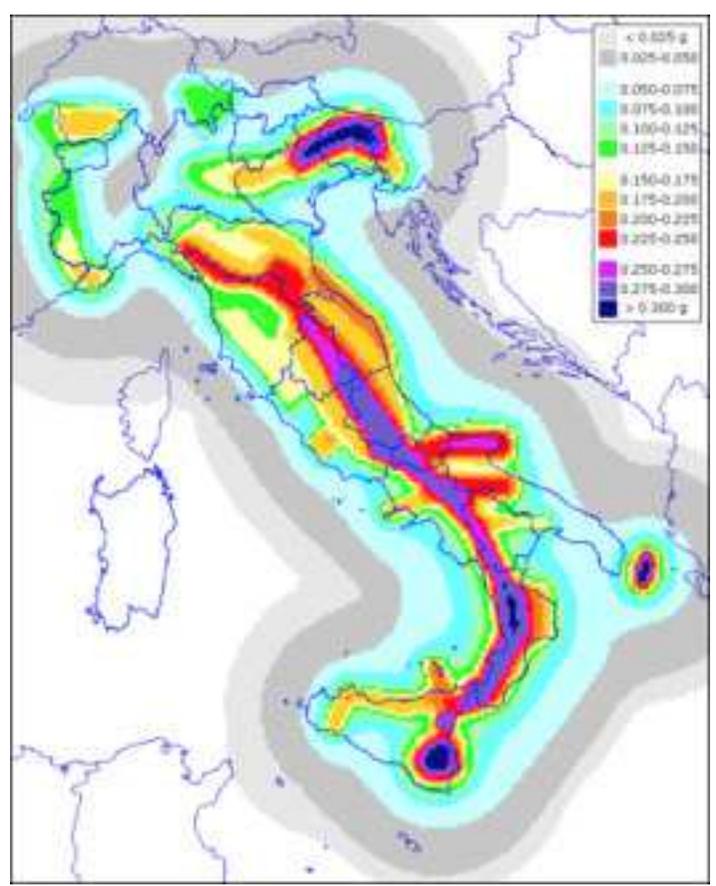
Perchè 50 anni? 50 anni è la vita media di una struttura

MPS04 (16^{mo} e 84^{mo} percentile)

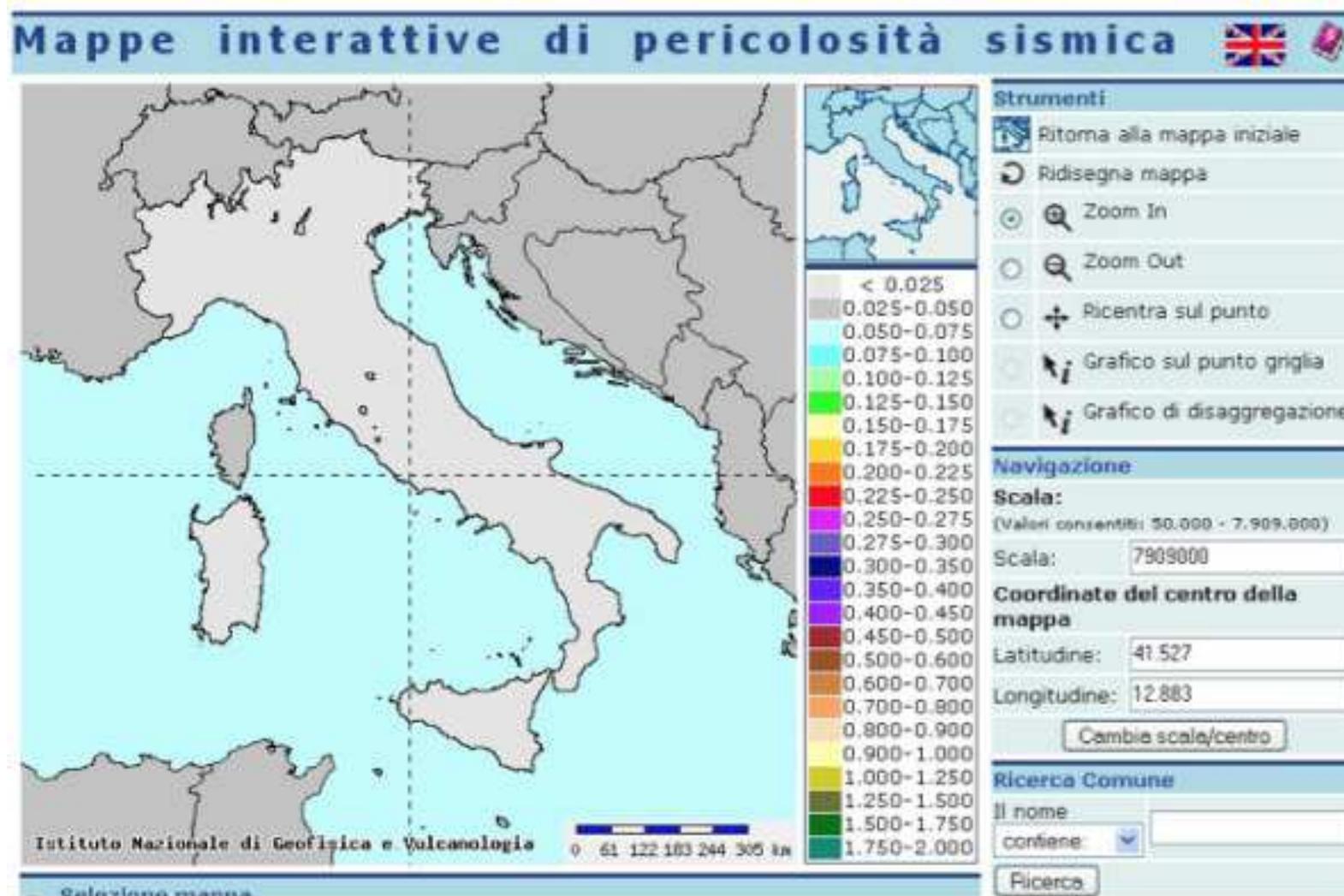
16^{mo} percentile



84^{mo} percentile

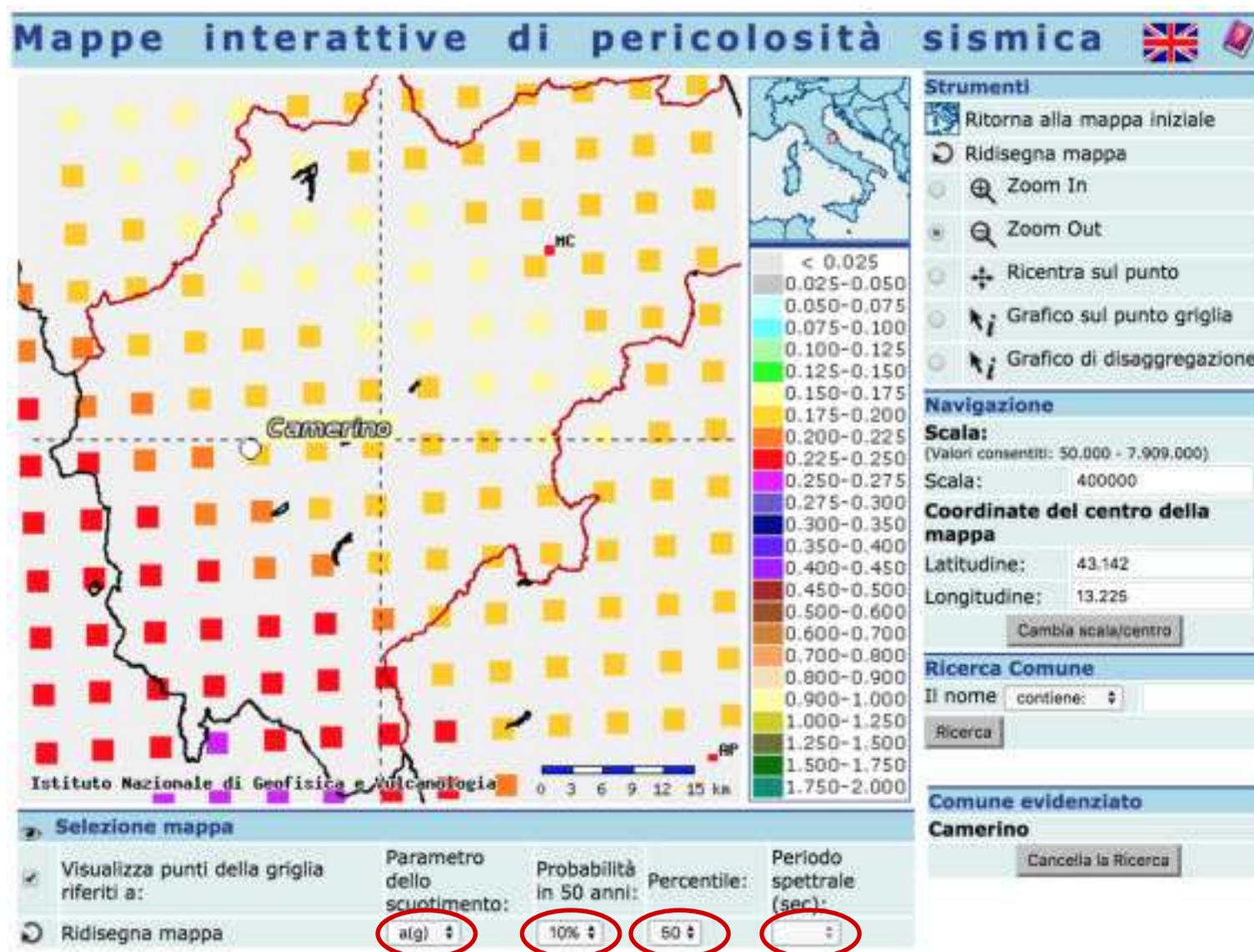


Webgis MPS04



<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

Esempio: Comune di Camerino

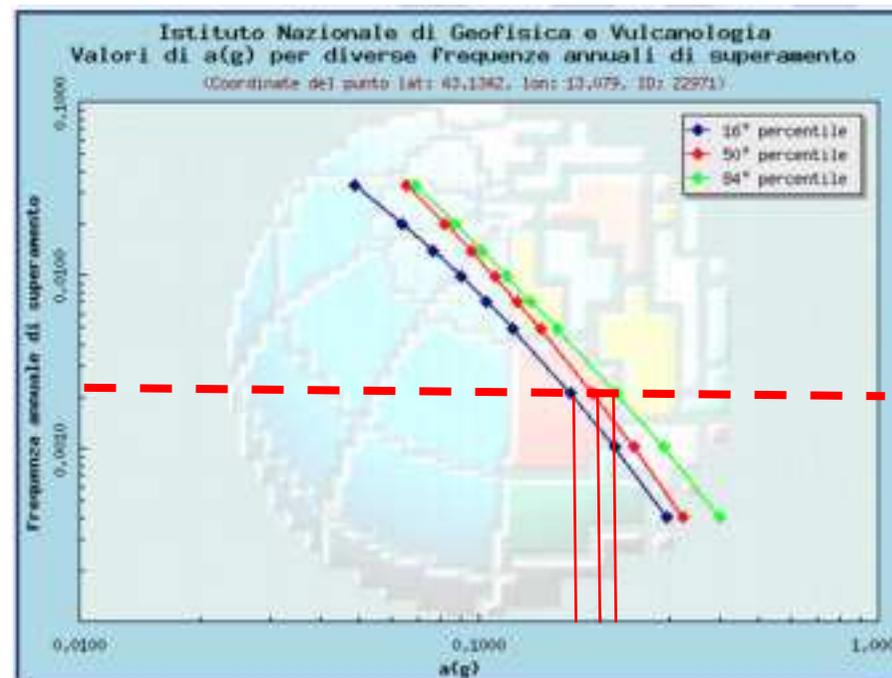


Webgis MPS04

Selezione:

- 1) Parametro ingegneristico**
- 2) Probabilità di eccedenza in 50 anni**
- 3) Percentile**

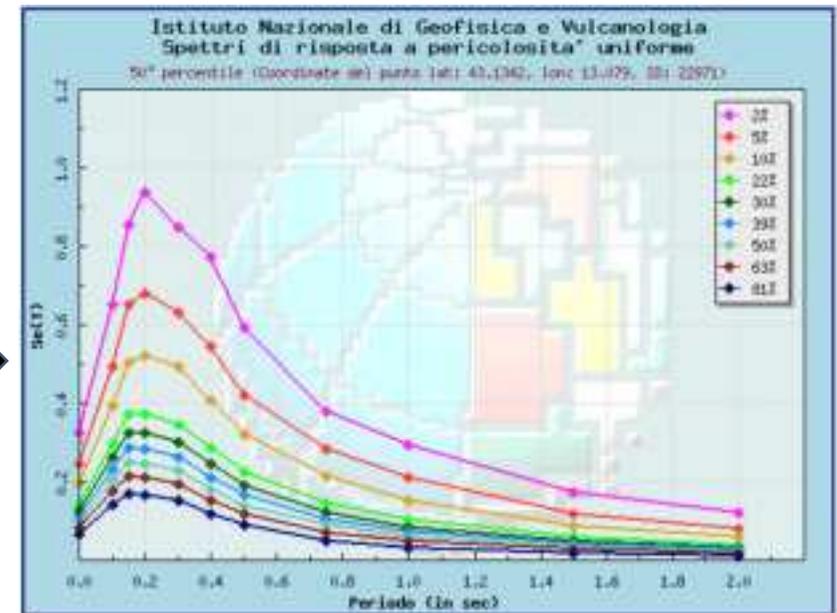
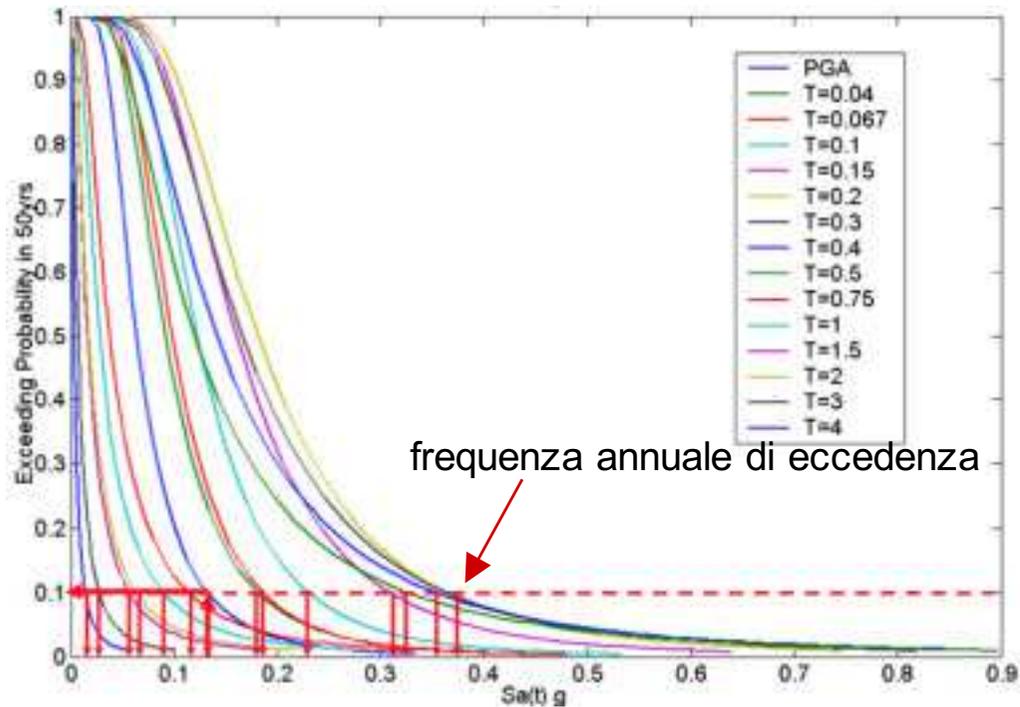
Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 43.1342, lon: 13.079, ID: 22971)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2931	0.3233	0.4014
0.0010	0.2175	0.2437	0.2882
0.0021	0.1682	0.1927	0.2196
0.0050	0.1208	0.1424	0.1563
0.0071	0.1037	0.1244	0.1348
0.0099	0.0898	0.1096	0.1174
0.0139	0.0765	0.0955	0.1015
0.0200	0.0638	0.0819	0.0870
0.0333	0.0488	0.0656	0.0692



$$\lambda = -\frac{\ln(1 - P(Y_T > y^*))}{t} = \frac{\ln(1 - 0.1)}{50} = 0.00211$$

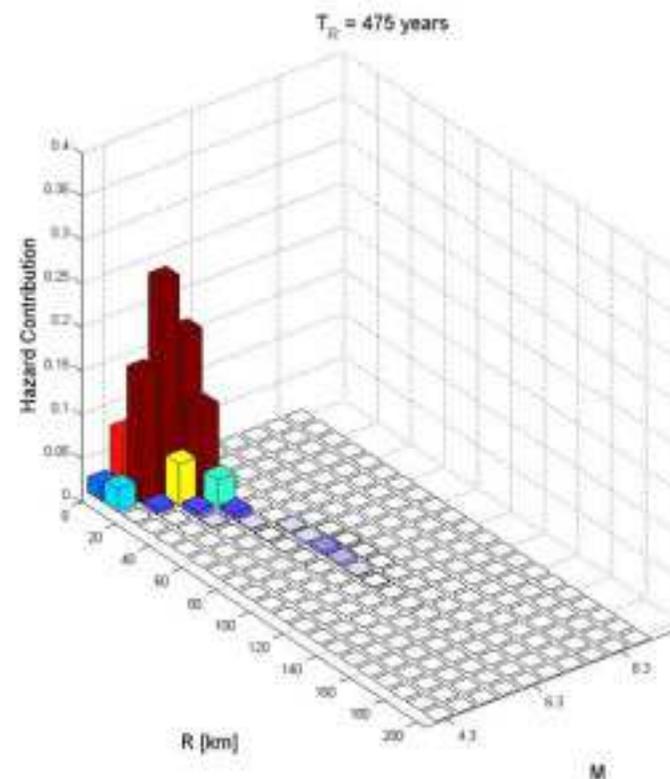
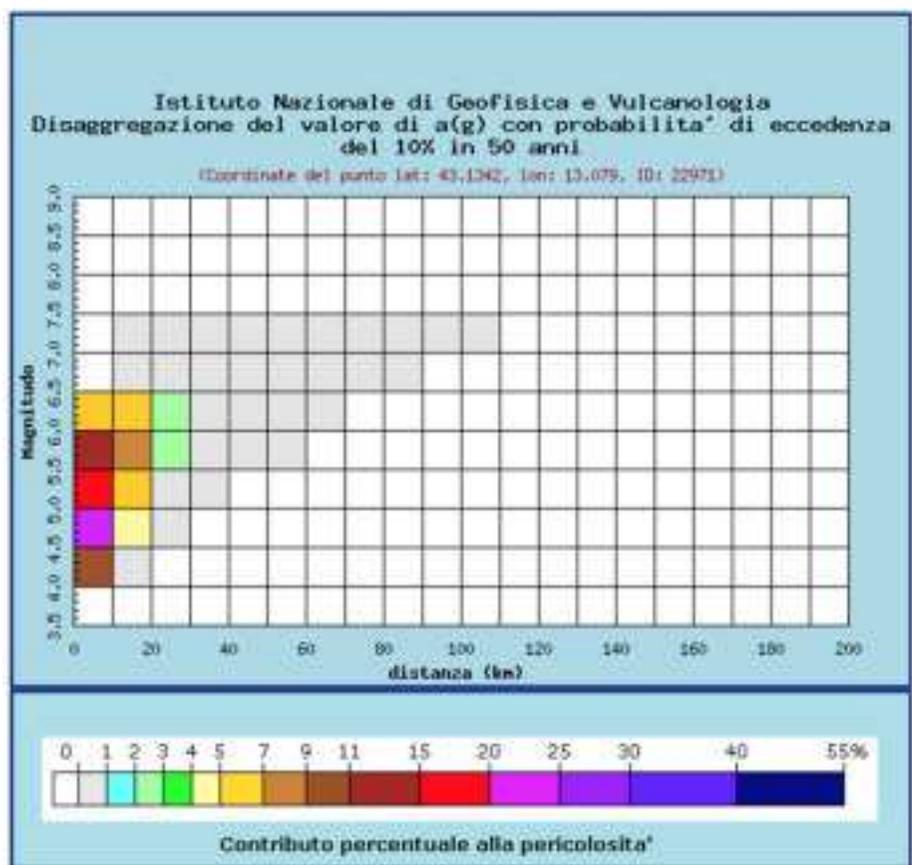
=10%

Spettro a probabilità uniforme

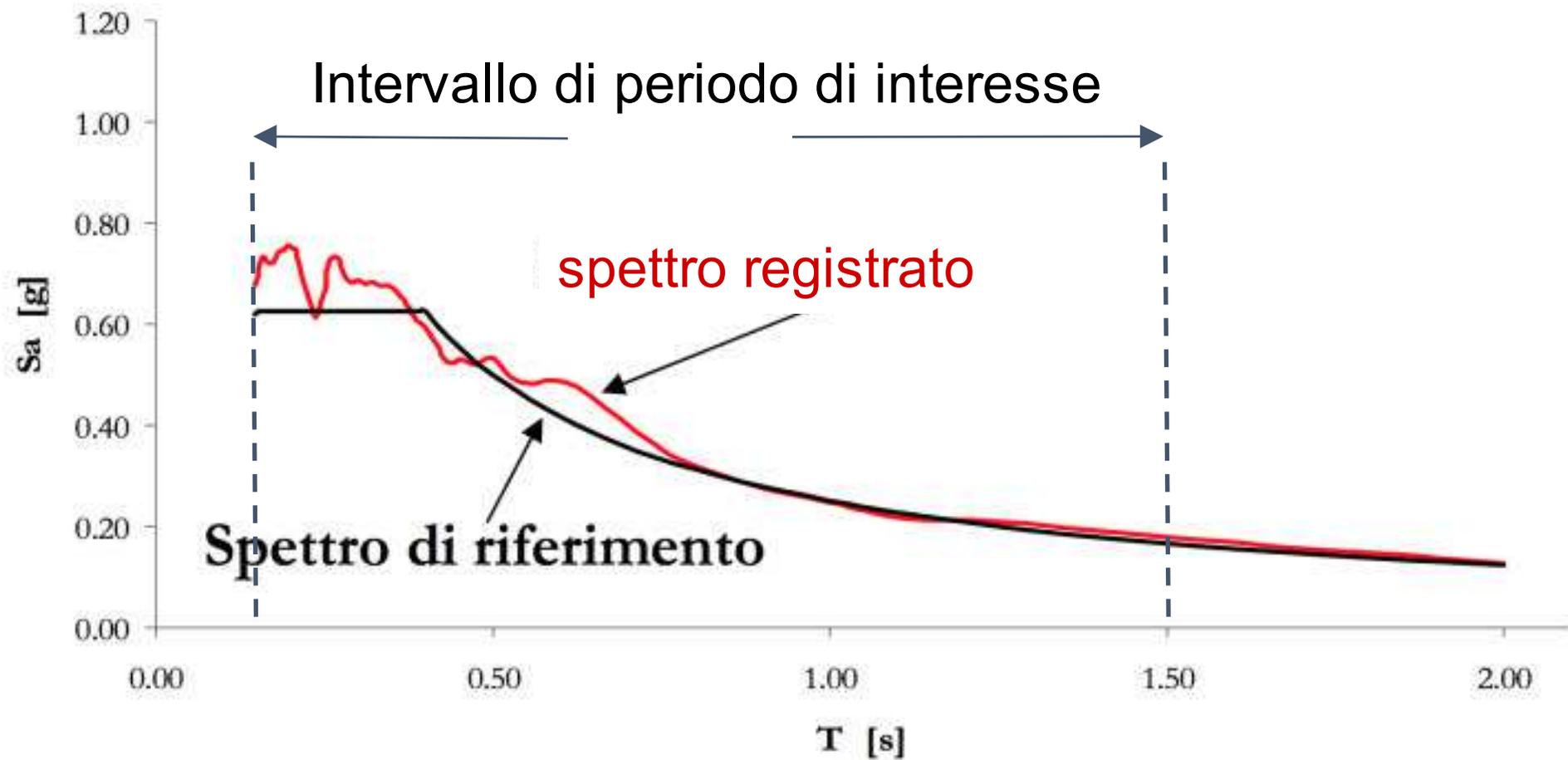


Disaggregazione

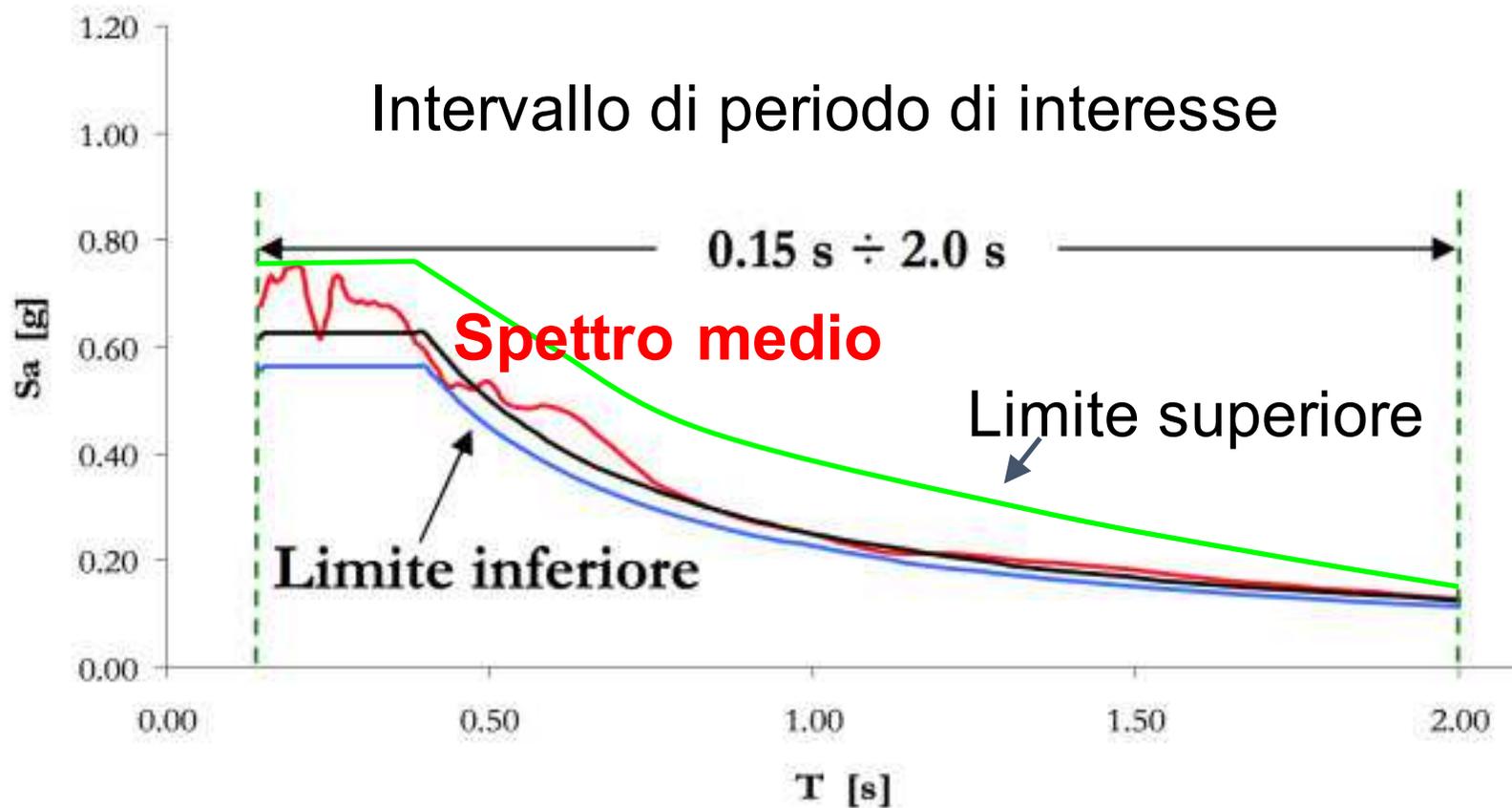
Serve ad ottenere le magnitudo e distanze che più contribuiscono alla occorrenza o al superamento della accelerazione di progetto.



Spettro compatibilità



Spettro compatibilità



Selezione accelerogrammi spettro-compatibili

REXELite Record Selection

Session title	UntitledSession		
Target spectrum			
Latitude [degrees]	43.142	Longitude	13.225
Site classification (EC8)	A		
Topography	T1 - flat surfaces, isolated cliffs and slopes with average slope angle not greater than 15°		
Nominal life [years]	50 years - ordinary structures		
Building functional type	2 - ordinary structures (Cu=1.0)		
Limit state probability	Life safety (P=10%)		
Ground motion components	One horizontal component		
Preliminary record search			
Station site classification criteria	Same site class as target spectrum		
Magnitude	min	5.5	max 6.5
Type of magnitude to consider	Mw or Ml indifferently		
Epicentral distance [km]	min	10	max 30
Include...	late trigger events	No	analog records: No
Focal mechanism	Any mechanism		
Spectrum matching parameters and analysis options			
Period range [s]	lower	0.15	upper 2
Tolerance [%]	lower	10	upper 30
Scaled records	No		

REXELITE

Accept parameters...

<http://esm.mi.ingv.it/>



ESM Engineering Strong Motion Database

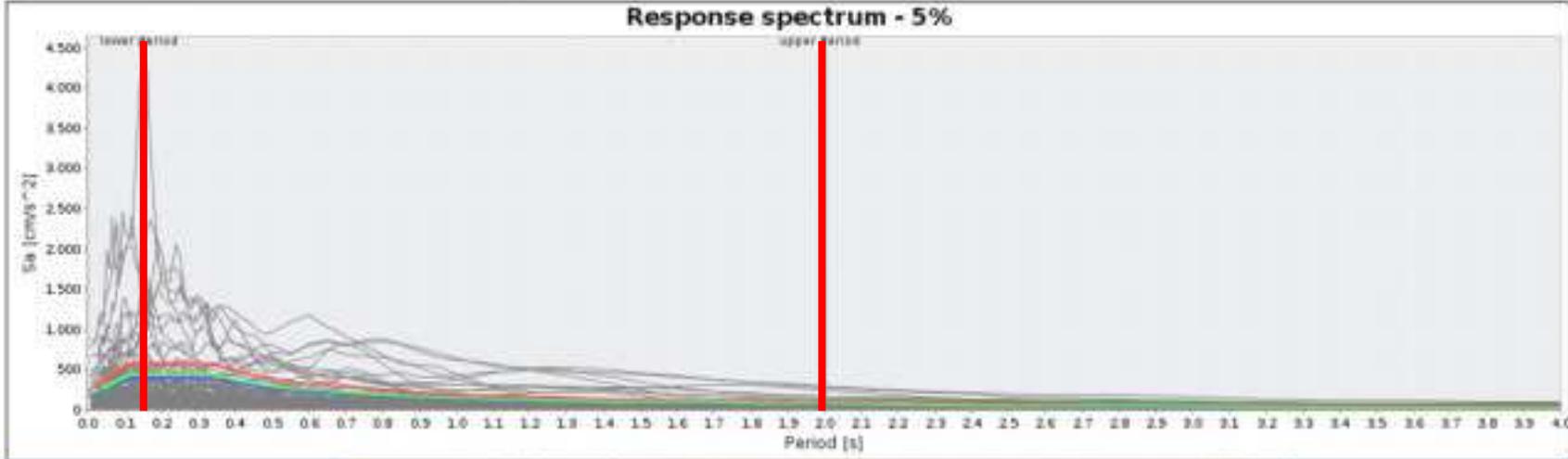


Homepage
Waveforms
Stations
Events
REXELite
Admin
Return

► REXELite Confirm Input Data

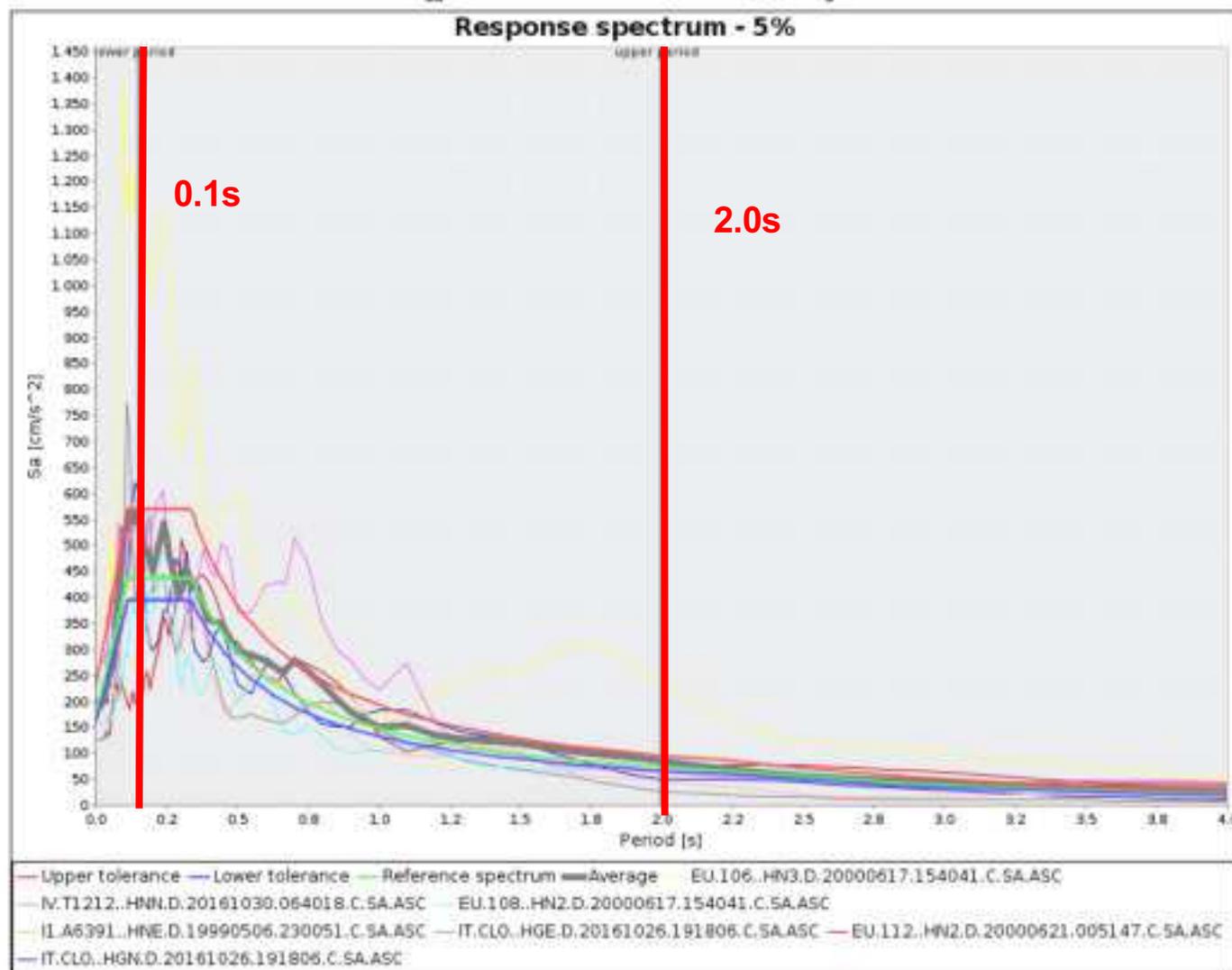
Session title	UntitledSession		
Latitude [degrees]	43.142	Longitude	13.225
Site classification (EC8)	A		
Topography	T1 - flat surfaces, isolated cliffs and slopes with average slope angle not greater than 15°		
Nominal life [years]	50 years - ordinary structures		
Building functional type	2 - ordinary structures (Cu=1.0)		
Limit state probability	Life safety (P=10%)		
Ground motion components	One horizontal component		
Station site classification criteria	Same site class as target spectrum		
Focal mechanism	Not selected		
Magnitude	min 5.5	max	6.5
Type of magnitude to use	Mw or Mi indifferently		
Epicentral distance [km]	min 10.0	max	30.0

Response spectrum - 5%



The plot displays multiple grey lines representing individual response spectra. Two vertical red lines are drawn at 0.1s and 2.0s, with their respective peak values on the y-axis labeled as 4500 and 4000. The y-axis ranges from 0 to 4500 cm/s², and the x-axis ranges from 0.0 to 4.0 seconds.

7 accelerogrammi spettro compatibili



Microzonazione centro Italia

9-2-2017

GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA

Serie generale - n. 33

LEGGI ED ALTRI ATTI NORMATIVI

DECRETO-LEGGE 9 febbraio 2017, n. 8.

Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017.

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

dell'11 gennaio 2017, nonché n. 436 del 22 gennaio 2017, recanti ulteriori interventi urgenti di protezione civile conseguenti agli eccezionali eventi sismici di cui trattasi;

Visto il decreto del Presidente della Repubblica in data 9 settembre 2016 recante nomina del Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori in

Con il Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, all'articolo 1 viene promossa l'immediata effettuazione del piano finalizzato a dotare i **131 Comuni*** maggiormente colpiti dal sisma

* I comuni diventeranno poi 139

Microzonazione centro Italia

- Dotare i Comuni maggiormente colpiti dal sisma della microzonazione sismica di **livello III**.
- Studi eseguiti come indicato negli *-Indirizzi e criteri per la micro- zonazione sismica-* approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome

Microzonazione centro Italia

- Supporto e coordinamento scientifico da parte del **Centro per la Microzonazione Sismica** e le sue applicazioni
(www.centromicrozonazioneismica.it/)
- Affidamento degli incarichi da parte dei Comuni ad esperti di particolare e comprovata specializzazione in materia di prevenzione sismica

Assegnazione finanziamenti



Presidenza del Consiglio dei Ministri

IL COMMISSARIO DEL GOVERNO PER LA RICOSTRUZIONE NEI TERRITORI
INTERESSATI DAL SISMA DEL 24 AGOSTO 2016

Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017

*Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello
ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal
24 agosto 2016 e proroga di termini di cui all'ordinanza n. 13 del 9 gennaio 2017*

Il Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni di Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria interessati dall'evento sismico del 24 agosto 2016, Vasco Errani, nominato con decreto del Presidente della Repubblica 9 settembre 2016, ai sensi dell'art. 11 della legge 23 agosto 1988, n. 400;



The screenshot shows the top navigation bar of the CENTROMS website. The logo 'CENTROMS' is on the left, followed by menu items: HOME, CHI SIAMO, ATTIVITÀ, BLOG, DOWNLOAD, and FORUM. On the right, there are flags for Italy and the UK, and a search icon. Below the navigation bar, the main heading 'CENTROMS' is displayed in large white letters, followed by the subtitle 'Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni'. The main content area features a large photograph of a street in a town with significant earthquake damage. Debris is piled up on the left, and workers in high-visibility vests and hard hats are visible in the foreground. In the background, there are damaged buildings and a road with a guardrail.

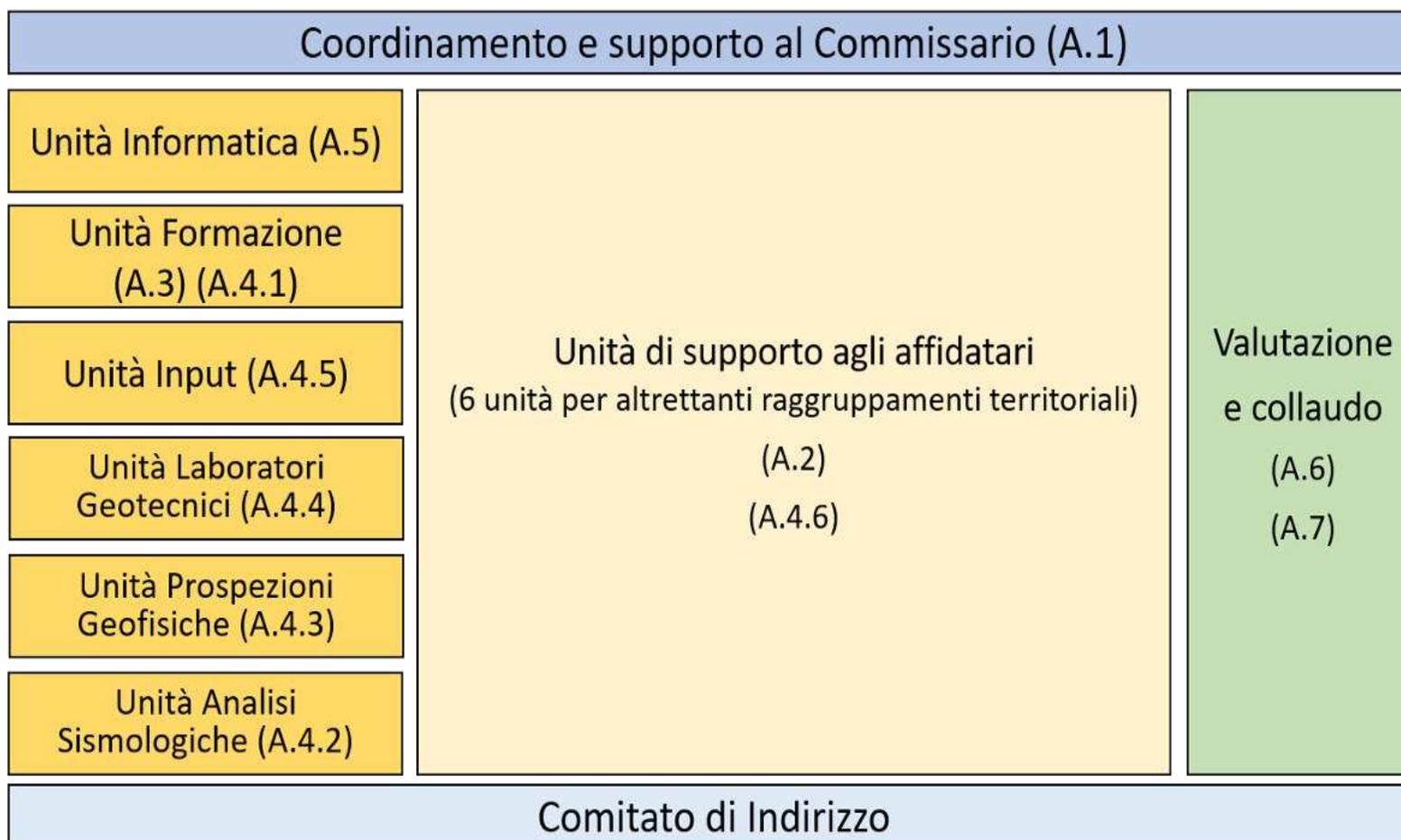
Seconda giornata di presentazione sullo stato di avanzamento delle attività propedeutiche alla microzonazione sismica delle

Eventi

21 Feb 2017
13:00 -

Accordo di collaborazione formalizzato tra Università ed Enti di Ricerca che ha l'obiettivo quello di **fornire supporto scientifico e tecnico ai soggetti istituzionalmente interessati alla microzonazione sismica** e alle sue applicazioni, con particolare riferimento alla pianificazione urbanistica e alle problematiche geologiche, geotecniche e geofisiche connesse all'emergenza sismica.

Organizzazione della MS del centro Italia



Unità operative

Tabella A1. Organizzazione delle 6 Unità operative che affiancheranno gli affidatari.					
Raggruppamenti	Responsabile Unità operativa	Supporto geologia	Supporto geofisica	Supporto modellazione 1D	Modellazione 2D
Abruzzo	Alessandro Pagliaroli (UNICH-PE-INGEO)	UNIVAQ-DICEAA UNICH-PE-INGEO INGV	INGV UNIGE-DISTAV UNIVAQ-DICEAA	UNICH-PE-INGEO INGV	UNICH-PE-INGEO INGV UNIVAQ-DICEAA
Lazio	Salvatore Martino (UNIROMA1-DST)	UNIROMA1-DST ENEA	UNIROMA1-DICEA CNR IMAA	UNIROMA1-DST ENEA	UNIROMA1-DST
Marche 1	Dario Albarello (UNISI-DSFTA)	UNISI-DSFTA	UNIFI-DICeA UNISANNIO-DST	UNISI-DSFTA UNIFI-DICeA	UNISI-DSFTA UNIFI-DICeA
Marche 2	Stefano Catalano (UNICT-DISBGA)	UNICT-DISBGA CNR IAMC	CNR IAMC UNICT-DISBGA	UNINA-DICEA CNR IGAG	UNINA-DICEA CNR IGAG
Marche 3	Marco Amanti (ISPRA)	ISPRA	ISPRA CNR IAMC POLITO-DISEG	POLITO-DISEG UNIROMA1-DISG ISPRA	POLITO-DISEG UNIROMA1-DISG ISPRA
Umbria	Floriana Pergalani (POLIMI-DICA)	UNIPG-DFG	POLIMI-DICA CNR IDPA INGV	POLIMI-DICA CNR IDPA INGV	POLIMI-DICA CNR IDPA INGV

Raggruppamenti di comuni

- Abruzzo (14)
- Lazio (16)
- Marche1 (28)
- Marche2 (30)
- Marche3 (30)
- Umbria (16)



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività
associate al Terremoto Centro Italia
Rieti - 26 ottobre 2016



Arquata-Montegallo



Coordinamento attività: Marco Amanti (ISPRA)

Gruppo di lavoro



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate
al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



- ISPRA
- CNR-IAMC
- OGS
- UNI CH-PE
- UNI Cam
- UNI CT
- UNI NA
- UNI ROMA1
- UNI SI
- UNI Urb
- Consulenti DPC



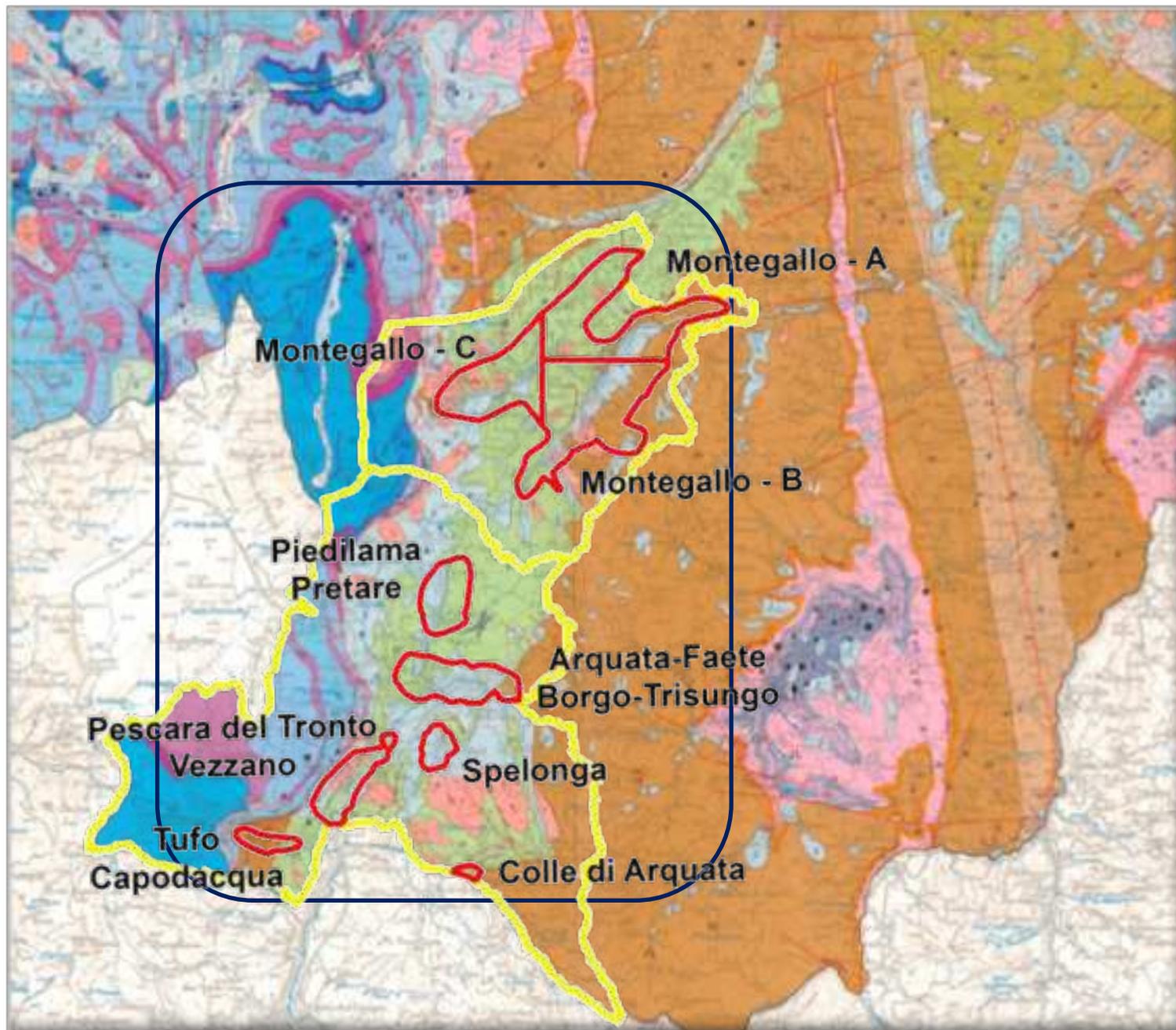
Inquadramento geologico



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016

Limite comunale Arquata-Montegallo

Limite aree di Microzonazione di Arquata-Montegallo



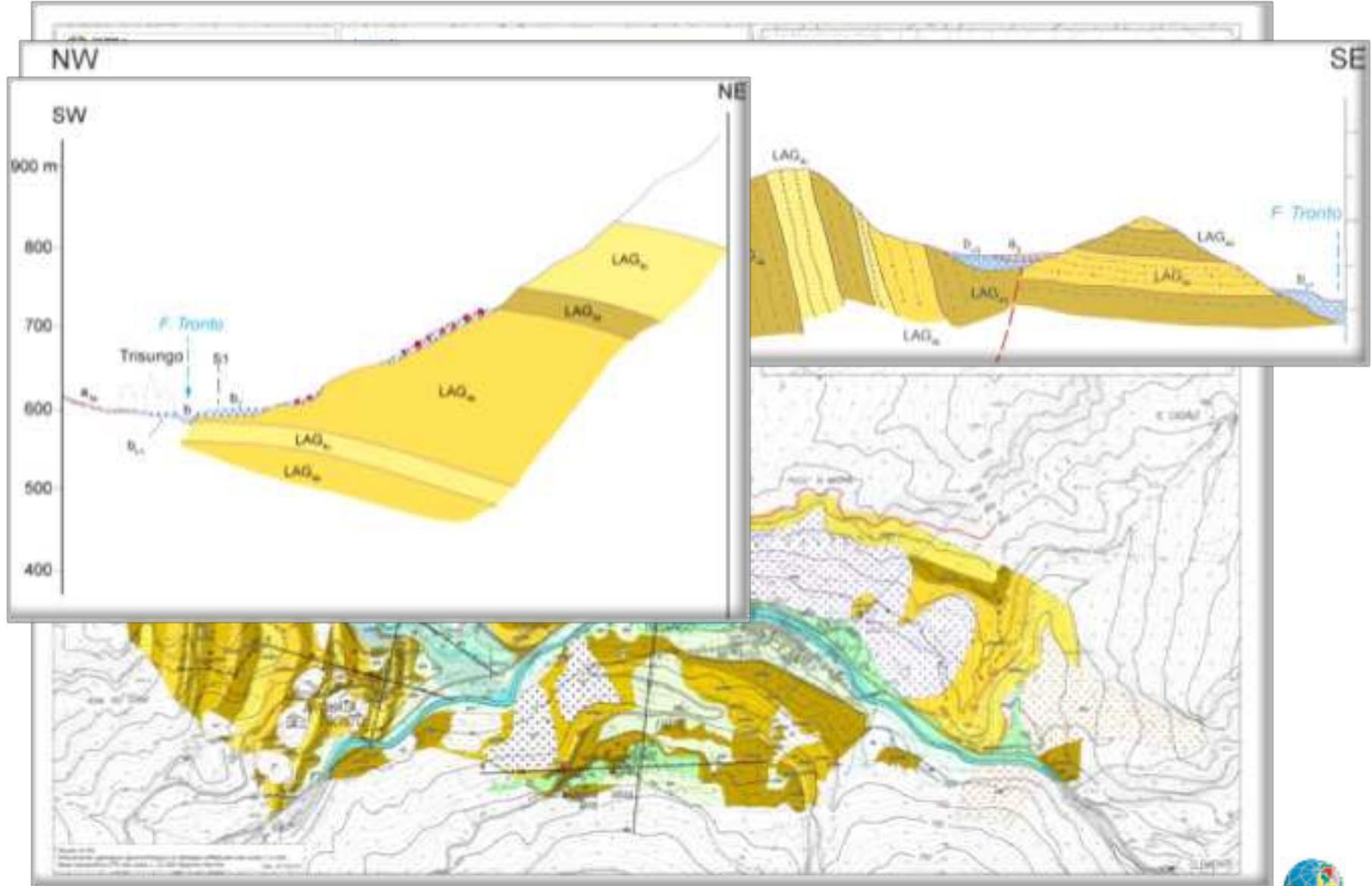


Arquata/Faete/Borgo/Trisungo

Gruppo Geofisica ISPRA: Puzzilli, Ferri, Eulilli, Porfidia, Calcaterra, Gambino.

Gruppo Geo ISPRA: Capotorti, Chiarini, Muraro, Graciotti, Pantaloni.

Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



Gentile concessione di Marco Amanti

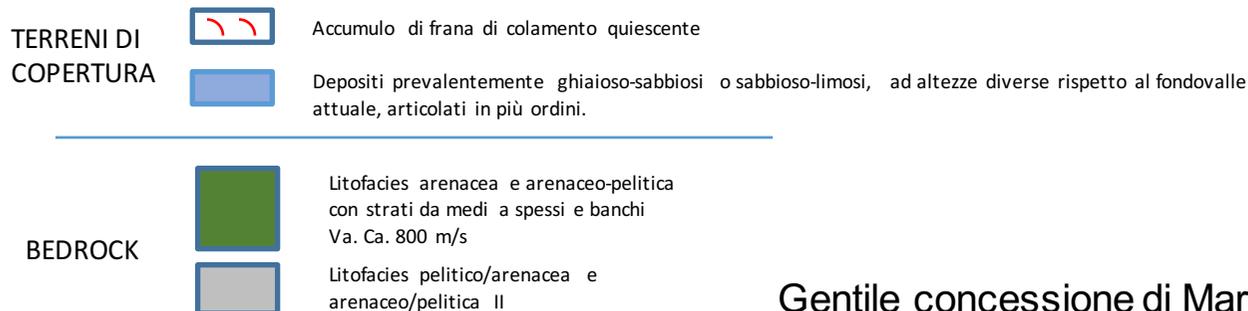
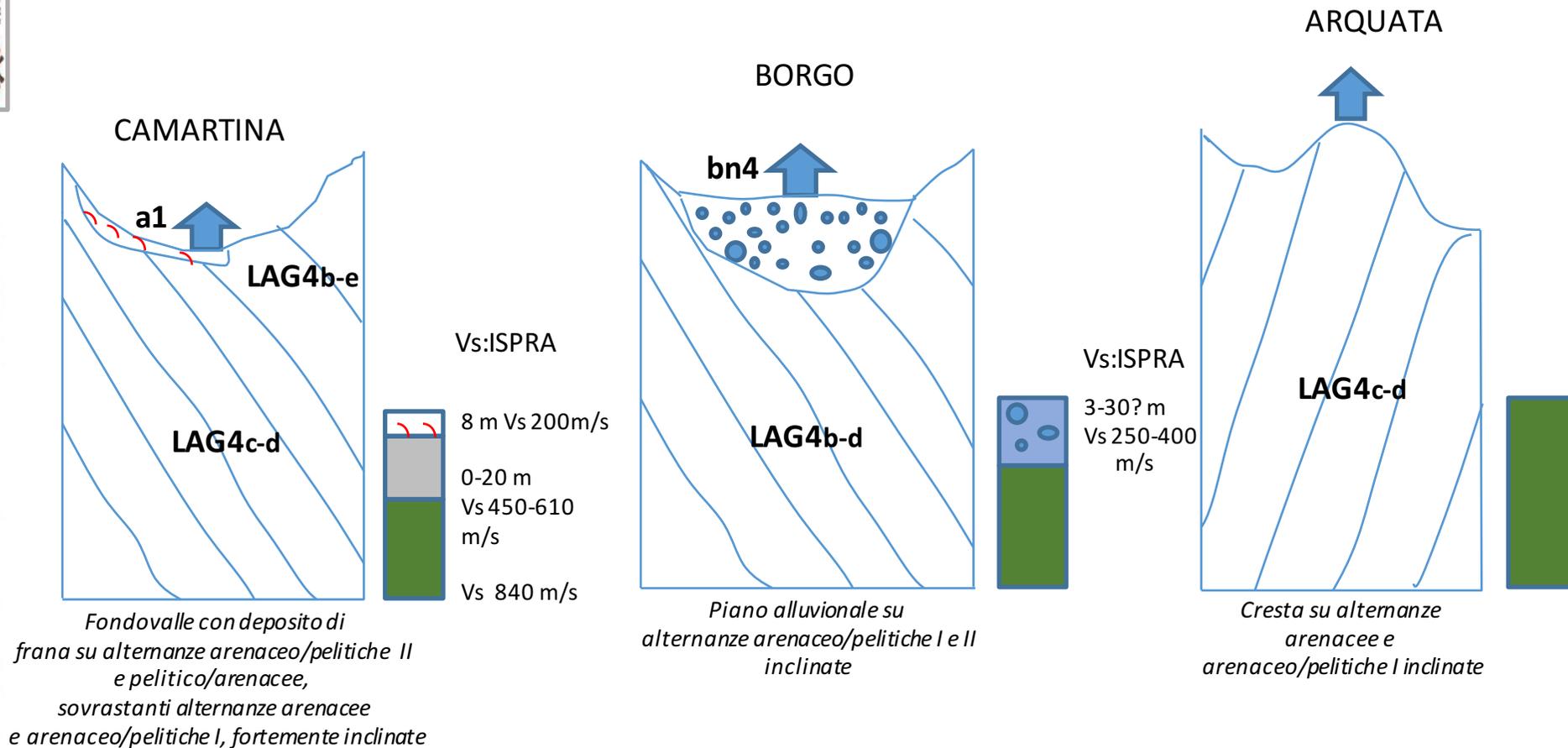


Arquata/Faete/Borgo/Trisungo

Contesti geologico geomorfologici



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



Gentile concessione di Marco Amanti

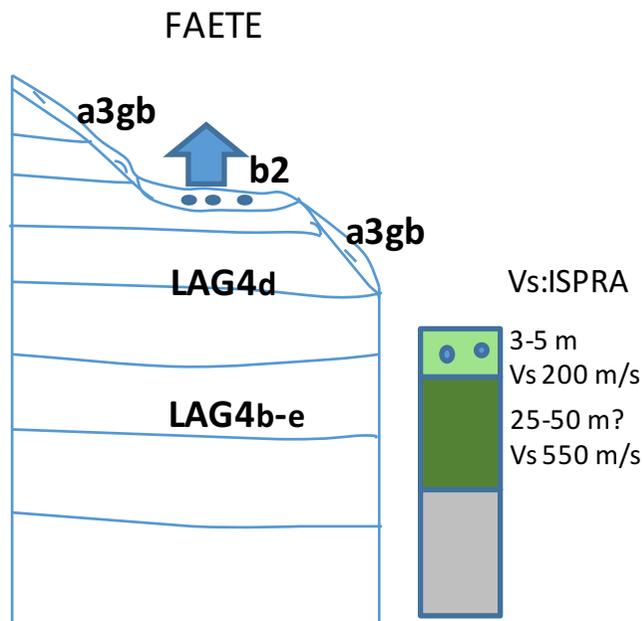


Arquata/Faete/Borgo/Trisungo

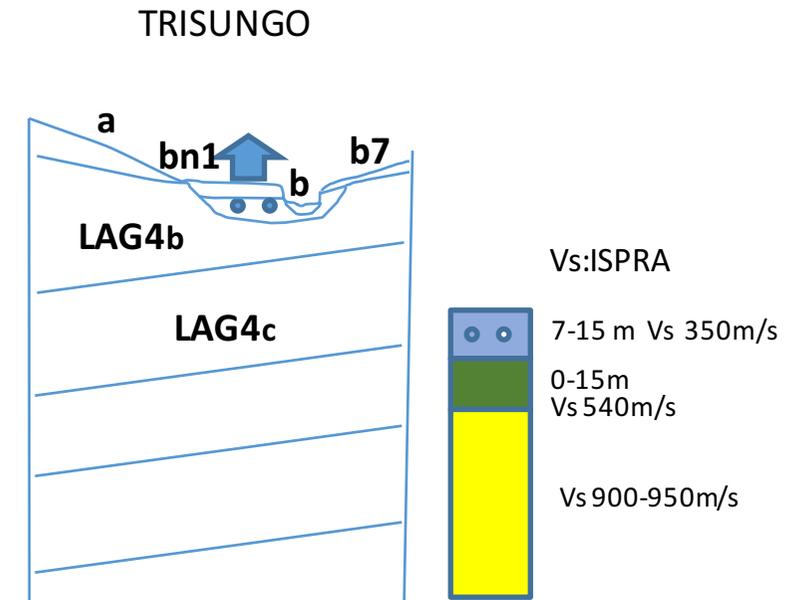
Contesti geologico geomorfologici



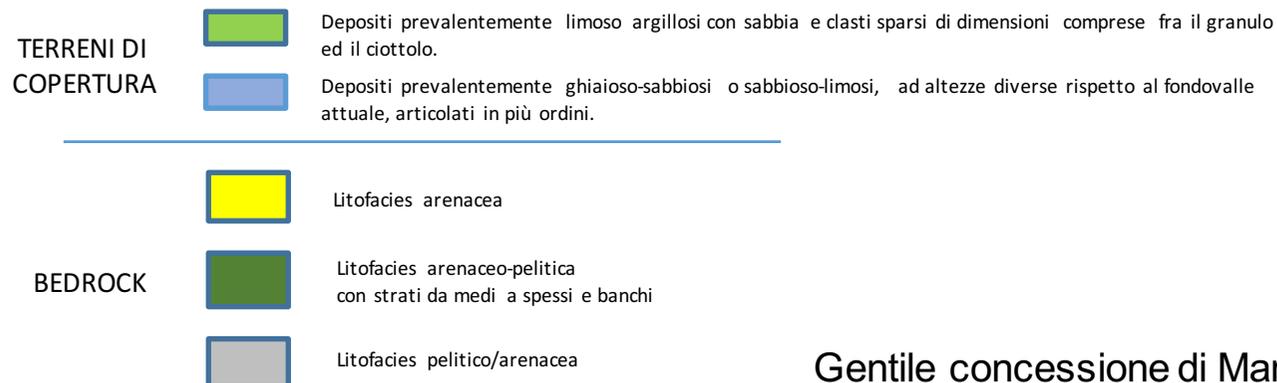
Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



Superficie strutturale con depositi colluviali su alternanze arenaceo/pelitiche e pelitico/arenacee suborizzontali



Fondovalle con depositi alluvionali su alternanze arenaceo/pelitiche o arenacee, inclinate



Gentile concessione di Marco Amanti



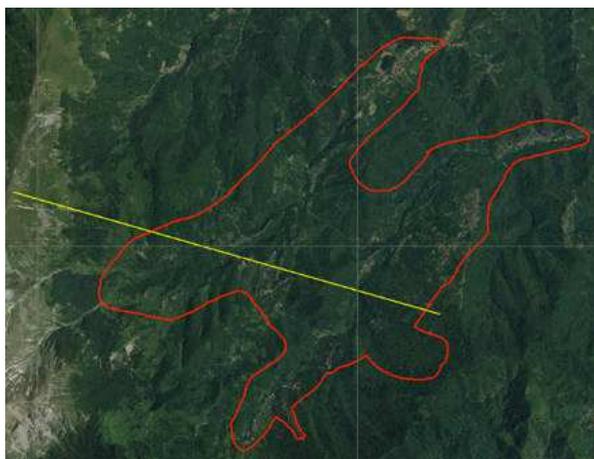
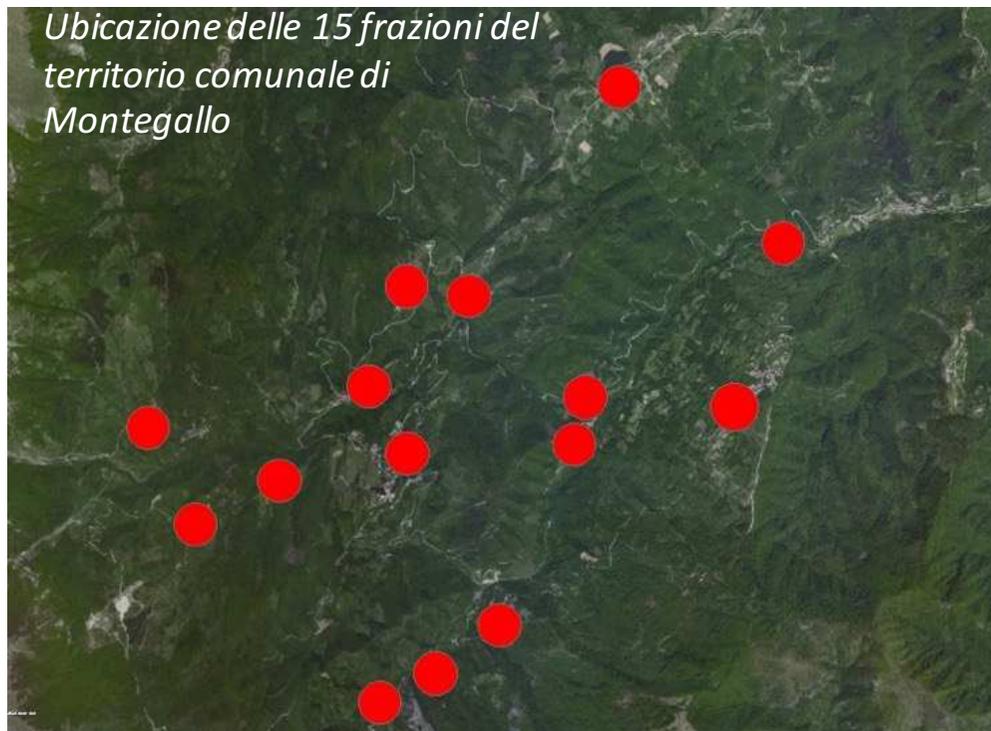
Stato avanzamento: Montegallo



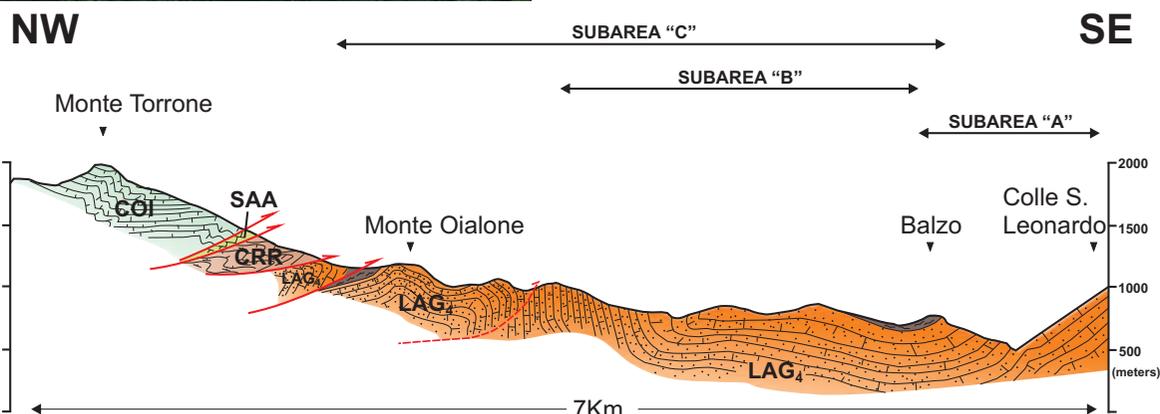
Gruppo **Geo UNISI**: : Albarello, Fantozzi, Paolucci, Peruzzi, Pieruccini.

Gruppo **Geo UNI CH-PE**: Pizzi, Vessia, Di Domenica, Giallini, D'Elia, Voltattorni D'Angelo, Di Giovanni, Solari.

Gruppo **Geo CNR IAMC** : Di Fiore, Cavuoto, ...



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



Successione Giurassica

COI =Corniola

Successione Calcareo-marnosa cretacio-miocenica

SAA = Scaglia rossa
CRR = Marne con Cerroigna

Successione miocenica

LAG4 = Formazione della Laga, Membro del Lago di Campotosto

Gentile concessione di
Marco Amanti



Stato avanzamento: Montegallo



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate
al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016

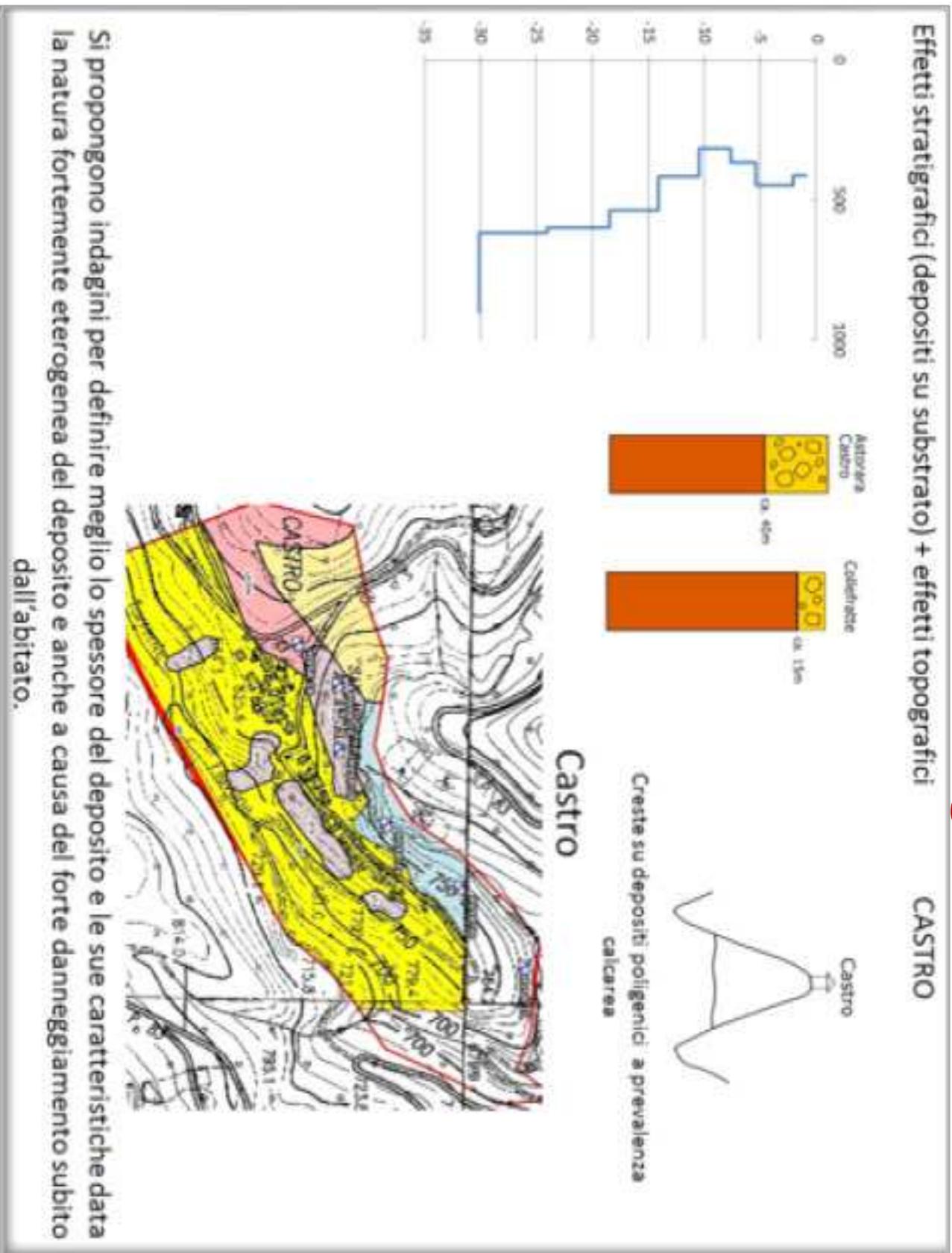


FRAZIONI	EFFETTI STRATIGRAFICI						EFFETTI TOPOGRAFICI	EFFETTI DI INSTABILITA'
	SUBSTRATO	DEPOSITI SU SUBSTRATO					CRESTE	FRANE
	Alternanze litofacies arenacee e pelitico-arenacee	Depositi detritici di versante a grandi blocchi, a composizione arenacea e pelitica con abbondante matrice siltoso-sabbiosa da poco a molto addensati	Depositi detritici di versante fini, a composizione arenacea e pelitica con abbondante matrice siltoso-sabbiosa da poco a molto addensati	Depositi di conoide alluvionale, eterometrici, a composizione arenacea, da debolmente a molto addensati	Depositi alluvionali, ghiaioso-sabbiosi, da debolmente a molto addensati	Depositi di origine poligenica, a composizione calcarea, da debolmente a molto cementati		
Balzo	X						X	
Casale Nuovo	X						X	
Pistrino	X							
Collicello							X	
Colleluce							X	
Castro						X	X	
Collefratta						X	X	
Astorara						X		
Forca		X						
Interprete		X						
Corbara		X						X
Bisignano		X						X
Abetito		X						X
Propezzano		X						X
Fonditore		X						X
Rigo				X				
Migliarelli				X				
Uscerno			X		X			

Gentile concessione di Marco Amanti

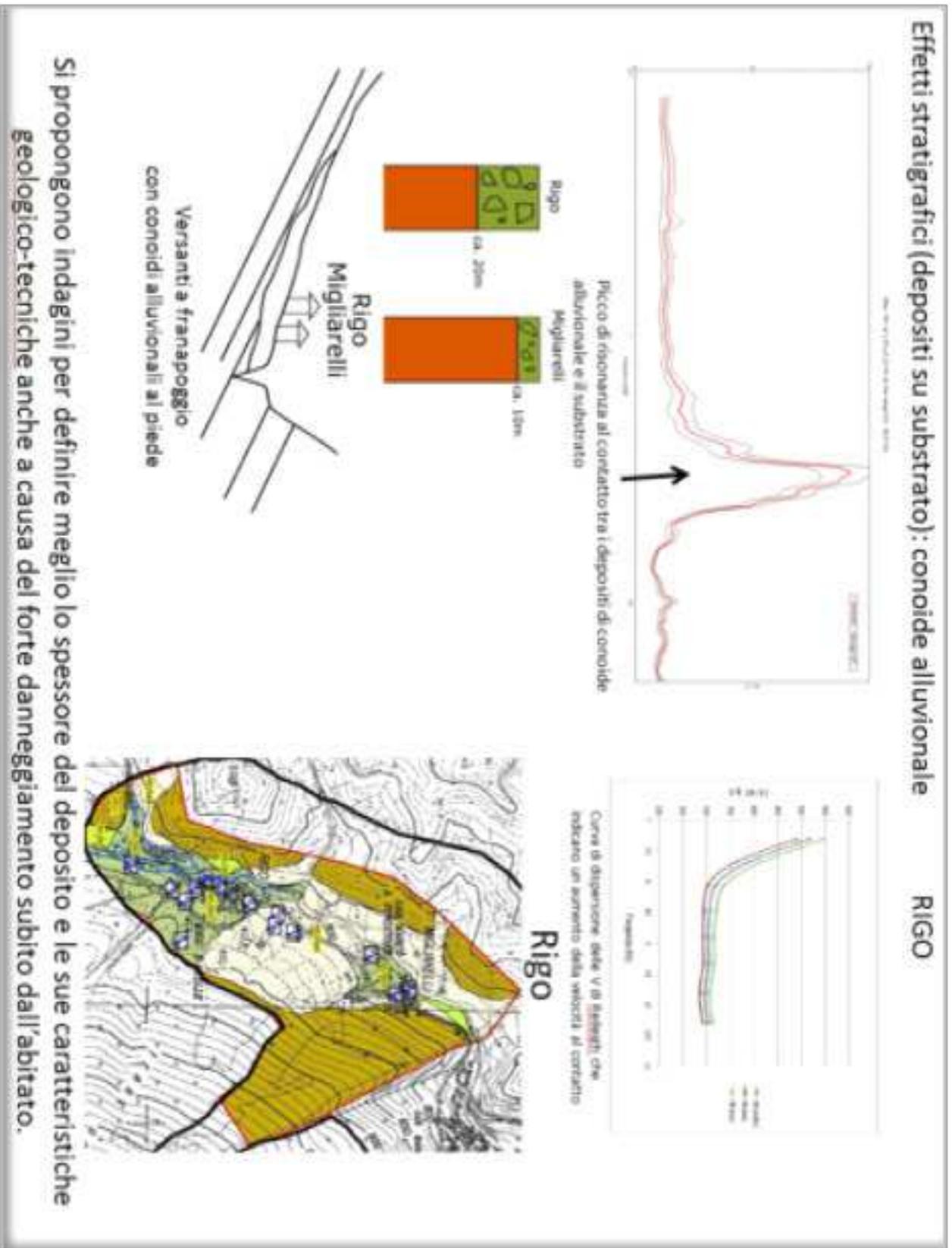


Stato avanzamento: Montegallo



Gentile concessione di Marco Amanti

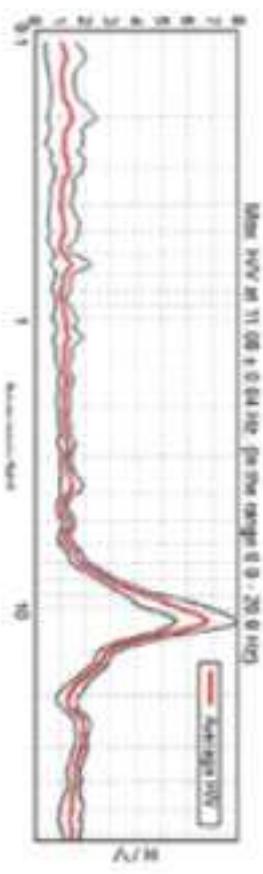
Stato avanzamento: Montegallo



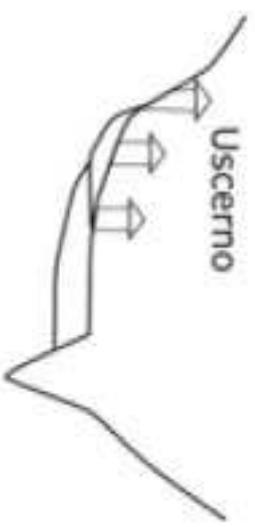
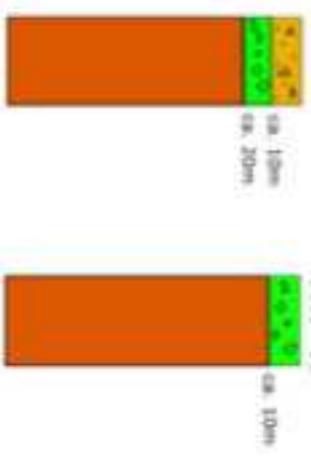
Gentile concessione di Marco Amanti

Stato avanzamento: Montegallo

Effetti stratigrafici (depositi su substrato): terrazzi alluvionali USCERNO



USCERNO



Si propongono indagini per definire meglio lo spessore del deposito e le sue caratteristiche trattandosi dell'unico caso di centro abitato su depositi alluvionali terrazzati.

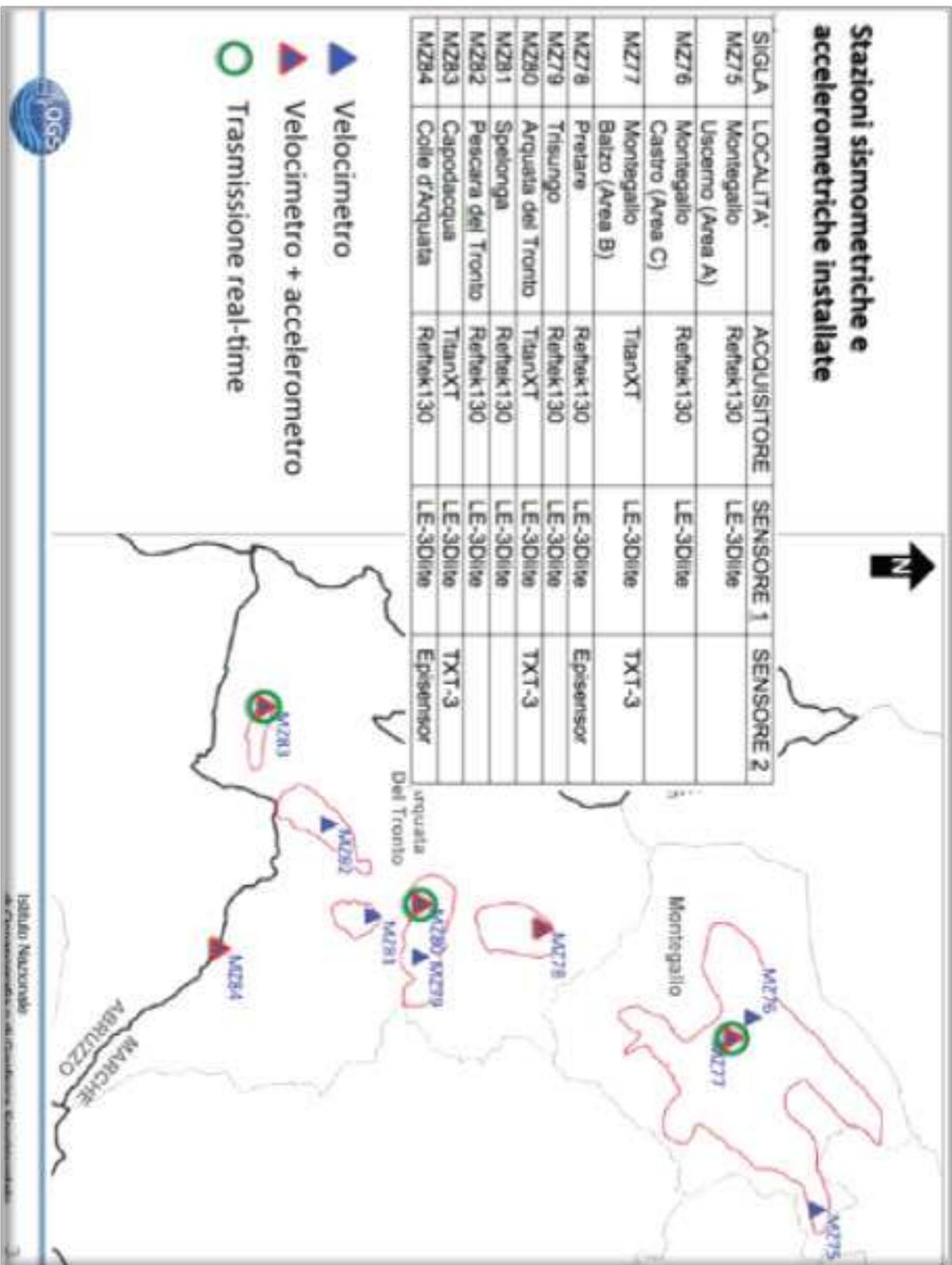
Gentile concessione di Marco Amanti

Campagna sismometrica OGS

Stazioni sismometriche e accelerometriche installate

SIGLA	LOCALITA'	ACQUISITORE	SENSORE 1	SENSORE 2
MZ75	Montegallo	Reftek130	LE-3Dlite	
MZ76	Montegallo	Reftek130	LE-3Dlite	
MZ77	Montegallo	TitanXT	LE-3Dlite	TXT-3
MZ78	Preiare	Reftek130	LE-3Dlite	Episensor
MZ79	Trisungo	Reftek130	LE-3Dlite	
MZ80	Arquata del Tronto	TitanXT	LE-3Dlite	TXT-3
MZ81	Spelonga	Reftek130	LE-3Dlite	
MZ82	Pescara del Tronto	Reftek130	LE-3Dlite	
MZ83	Capodacqua	TitanXT	LE-3Dlite	TXT-3
MZ84	Colle d'Arquata	Reftek130	LE-3Dlite	Episensor

- ▲ Velocimetro
- ▲ Velocimetro + accelerometro
- Trasmissione real-time

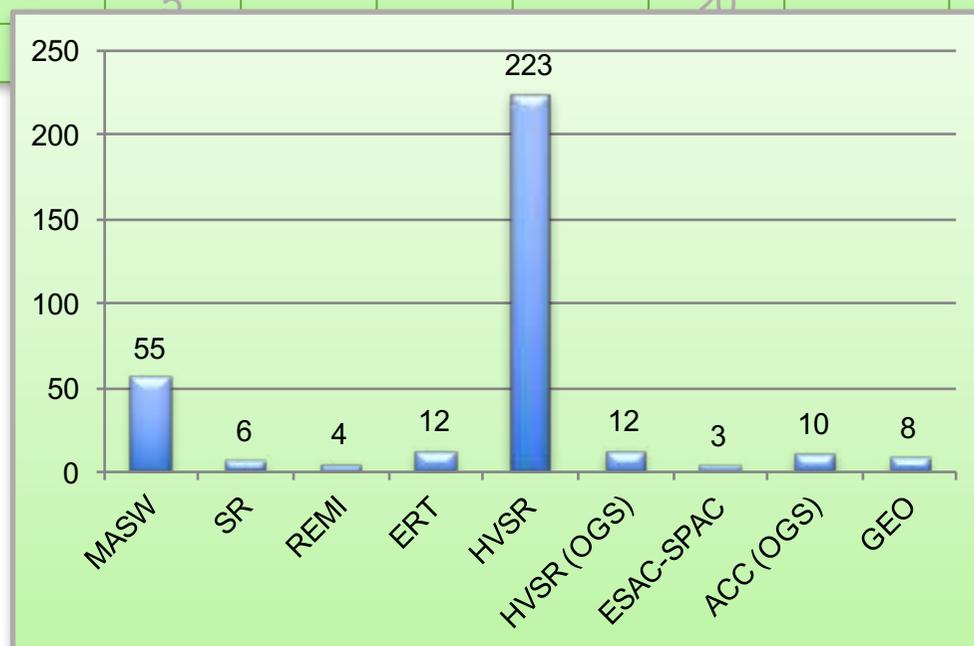


Gentile concessione di Marco Amanti



Tabella riassuntiva indagini e stazioni di misura

località	MASW	SR	REMI	ERT	HVSR	HVSR (OGS)	ESAC-SPAC	ACC (OGS)	GEO
Montegallo (A+B+C)	28			7	101	4	3	3	
Pretare	4	1	4		74	2		1	
Tufo-Capodacqua	6					2		1	
Spelonga-Colle di Arquata					2			2	8
Pescara-Vezzano	2	1		1		2		1	
Arquata-Borgo-Faete-Trisungo	10	4		4	26	2		2	
Santa Lucia-Capitignano	5				20				
TOTALI							3	10	8



Workshop sullo stato di avanzamento delle attività associate al Terremoto Centro Italia - Rieti - 26 ottobre 2016



Gentile concessione di Marco Amanti

