

"La normativa italiana sulla microzonazione sismica, che recepisce in toto quella europea, prevede come parametro cardine la velocità delle onde S fino a 30 metri di profondità. Questa prescrizione è stata introdotta dal legislatore copiando supinamente la normativa della California, ignorando che lì è inteso solo come indicatore speditivo (e gratuito, visto che è indipendentemente noto quasi ovunque) del grado di compattazione del suolo. Quest'ultima è a sua volta uno stimatore indiretto del parametro ingegneristico fondamentale, che è la frequenza di risonanza del suolo."

"E' chiaro che il legislatore ignorava 1) che in Italia (e in Europa) il parametro Vs30 non è affatto noto indipendentemente e 2) che è molto difficile misurarlo con i metodi di prospezione classici. La soluzione ovvia sarebbe quella di correggere la normativa consultando esperti in materia. Ma, vista l'inerzia del sistema, è difficile sperare che questo succeda in tempi brevi. Sic stantibus rebus, il Vs30 può essere misurato con la prospezione sismica passiva, sia usando tecniche ad array (es. ReMI), sia usando tecniche a stazione singola (es. H/V). Queste ultime, a patto di avere un sondaggio di taratura, sono allo stesso tempo molto più economiche e più accurate di quelle ad array, e consentono anche di avere la misura diretta della frequenze di risonanza del suolo, che è già ora il parametro cardine nei paesi sismici più progrediti come il Giappone."

**Prof. Francesco Mulargia**

 **DIPARTIMENTO di SCIENZE della TERRA  
e GEOLOGICO-AMBIENTALI**



**Dipartimento di Scienze della Terra e  
Geologico Ambientali  
Università di Bologna**

*in collaborazione con:*

**Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna**

*Organizza*  
**Giornata Informativa**

*F. Mulargia, S. Castellano, P.L. Rossi*


**Prospezione Sismica passiva e stima del Vs30  
per la microzonazione sismica**

**Relatore: prof. F. Mulargia**

*15 dicembre 2006; ore 15:00*

AULA MAGNA DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA TERRA  
E GEOLOGICO AMBIENTALI  
Via Zamboni, 67

**Segreteria Organizzativa:**  
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna  
Via Guerrazzi, 6; 40125 Bologna  
Tel: 051 2750142; Fax: 051 6561872  
Sito web: [www.geologi.emilia-romagna.it](http://www.geologi.emilia-romagna.it)  
E-mail: [geosegr@tin.it](mailto:geosegr@tin.it)



Stratigrafia sismica  
passiva  
e  
stima del Vs30

Parte I

*La riduzione del rischio  
sismico in Italia*

*ovvero*

*Come ovviare a una normativa  
sciocca*

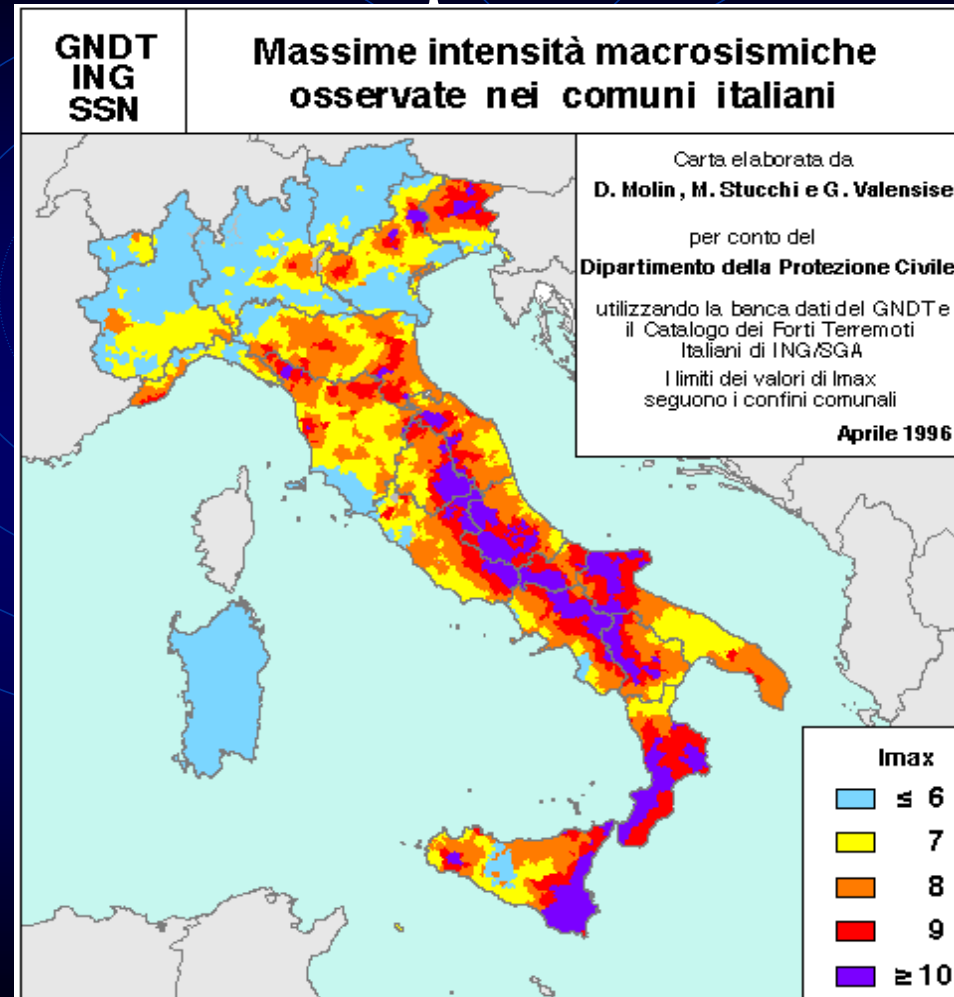
# L'Italia è un paese sismico

- Oltre 120000 morti negli ultimi 100 anni
- Oltre 100.000 milioni di € di danni negli ultimi 25 anni

*in altre parole*

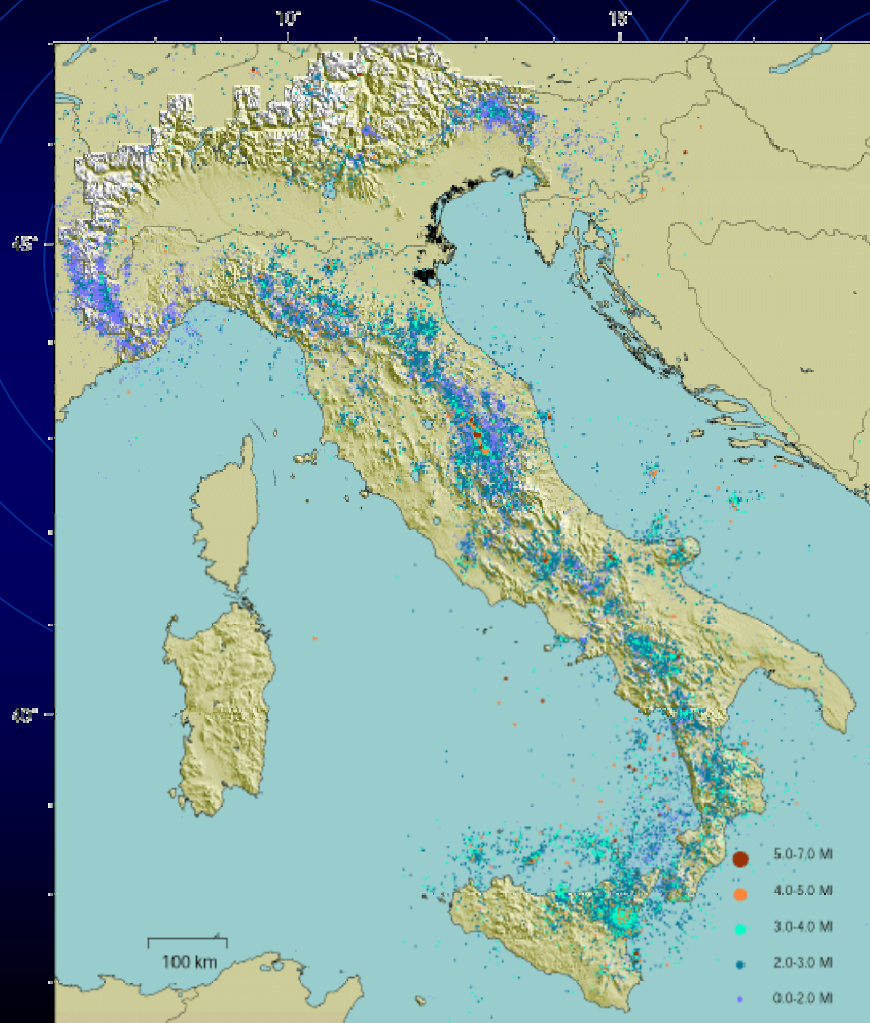
- Un terremoto catastrofico ogni qualche decina di anni
- Un terremoto distruttivo ogni qualche anno

# L'Italia è un paese sismico



<http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/imax.html>

# L'Italia è un paese sismico



Epicentri degli  
ultimi 25 anni



*Quindi il rischio sismico  
deve essere affrontato in  
modo molto serio*

# Il rischio sismico

Rischio sismico =

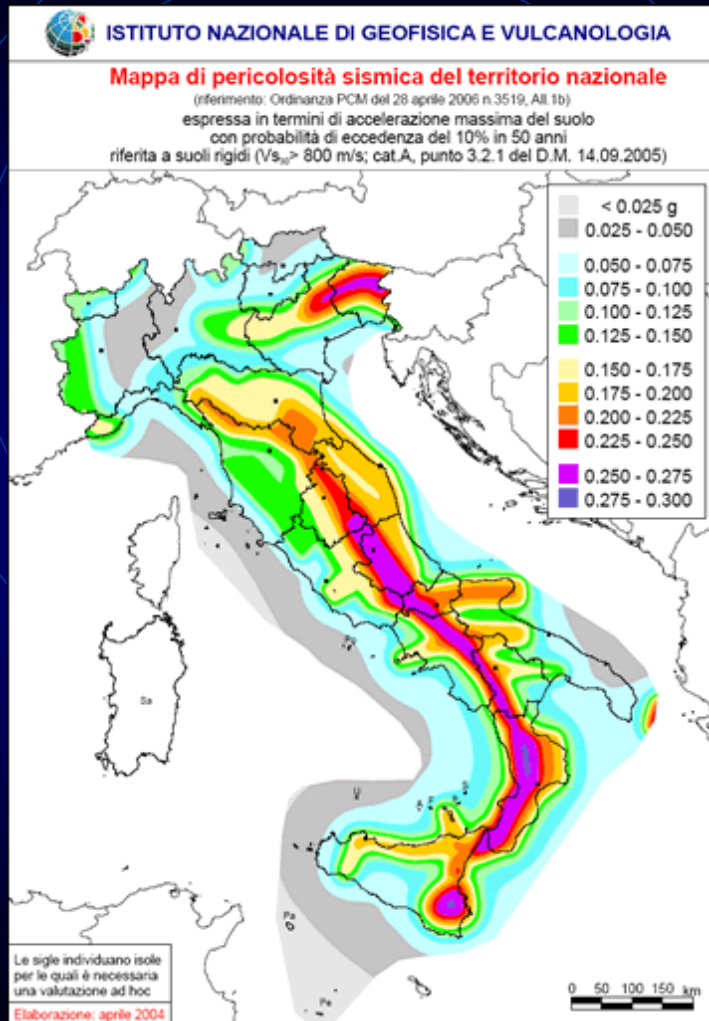
Pericolosità X Valore esposto X  
Vulnerabilità

**Pericolosità:** elevata nelle zone sismiche

**Valore esposto:** elevato nelle zone urbanizzate

**Vulnerabilità:** bassa solo per gli edifici antisismici  
su suoli stabili





# La pericolosità in Italia è ampiamente studiata

Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b  
 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

materiale scaricabile ai siti

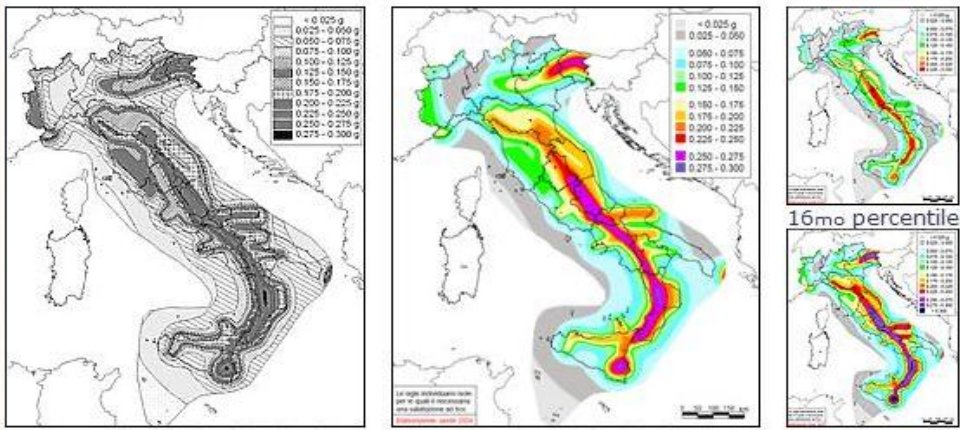
<http://zonesismiche.mi.ingv.it/> e <http://esse1.mi.ingv.it/>

Zone sismiche - INGV - Microsoft Internet Explorer

Indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

INGV - zonesismiche.mi.ingv.it

**Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b**  
**Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale**



mappe di pericolosità sismica (versione in b/n per la G.U. n.108 del 11/05/2006)

mappe di pericolosità sismica (versione originale)

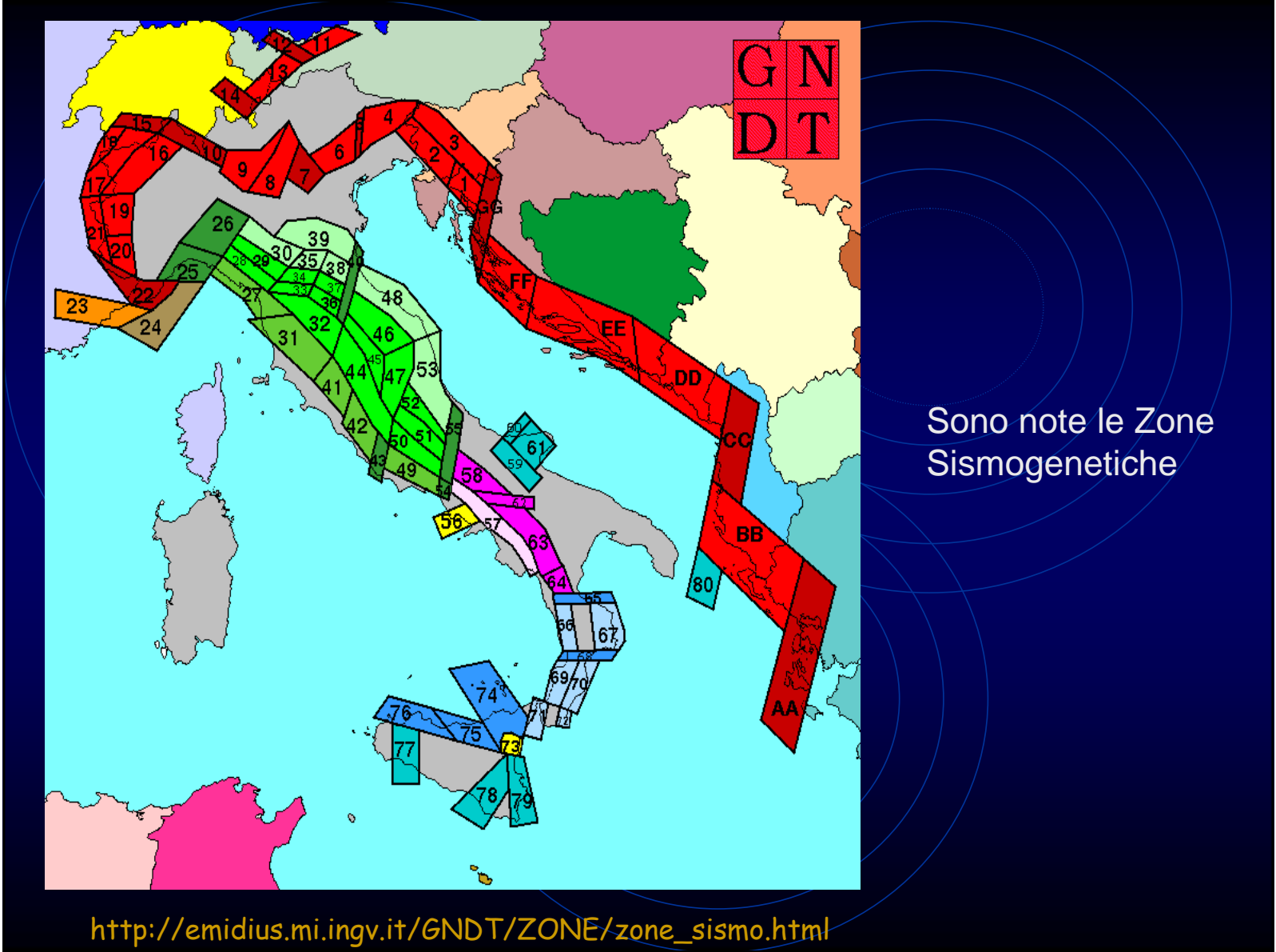
16<sup>mo</sup> percentile

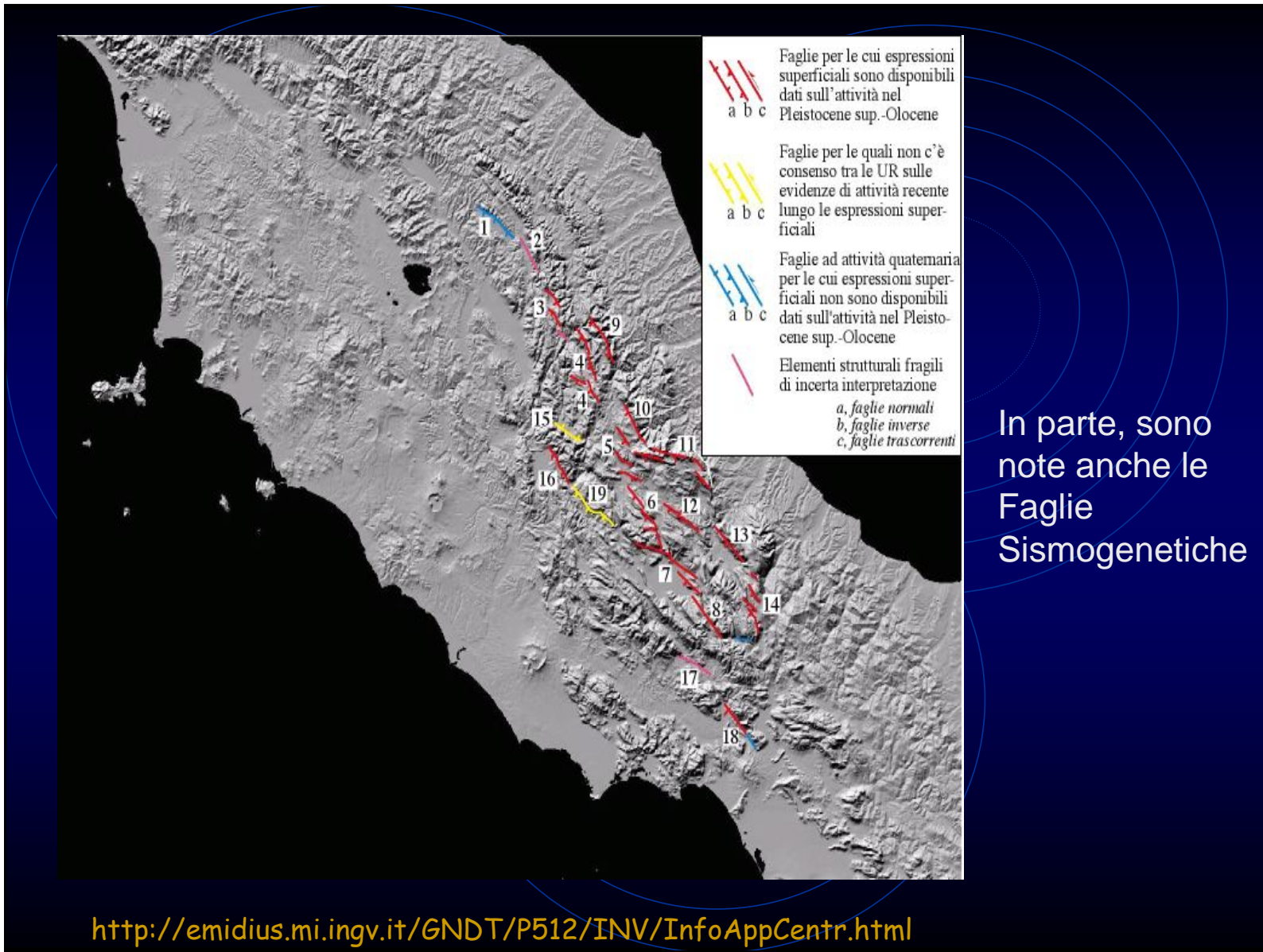
84<sup>mo</sup> percentile

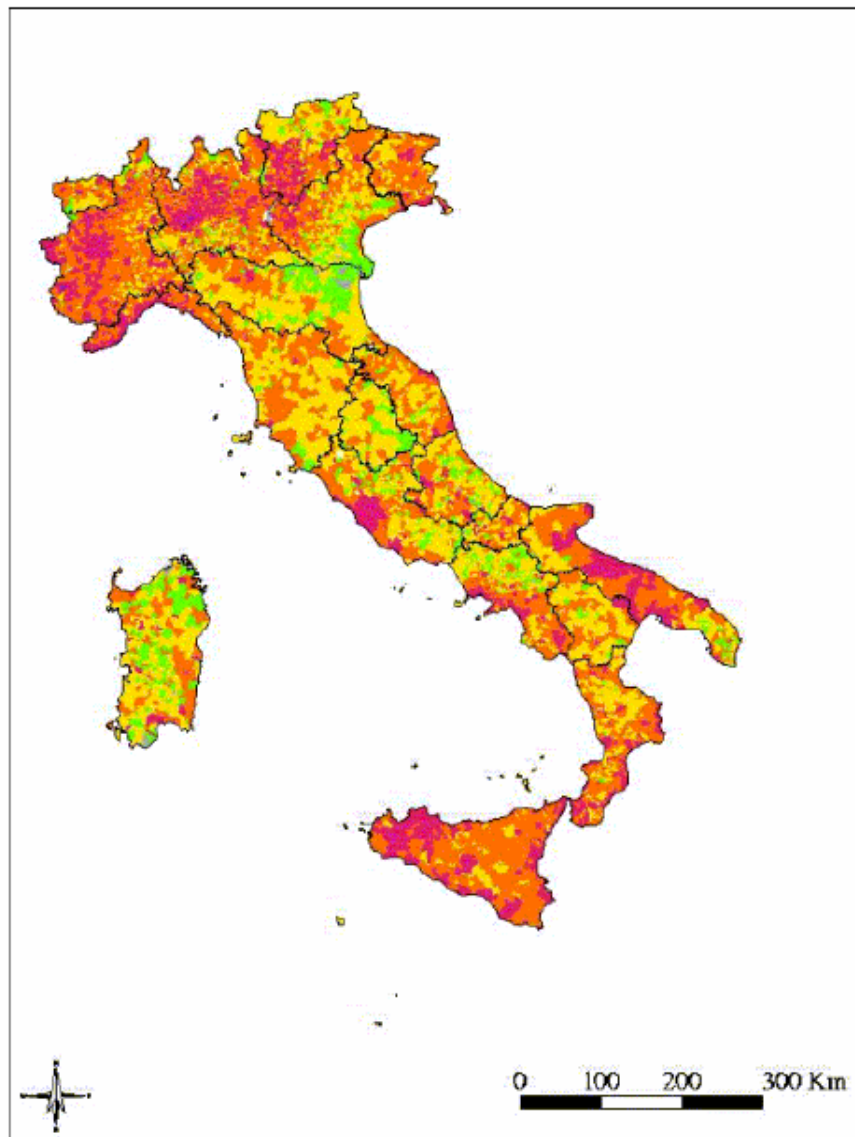
**Riferimenti normativi**

- ▶ **Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006)** criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)
- ▶ **Norme tecniche per le costruzioni** D.M. 14/09/05 (G.U. n. 222 del 23/11/2005)
- ▶ **Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003)** primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche

Internet







E' ben noto il  
Valore Esposto

[www.istat.it/](http://www.istat.it/)



*il vero problema è quindi  
la stima della Vulnerabilità*

## La *Vulnerabilità Sismica*

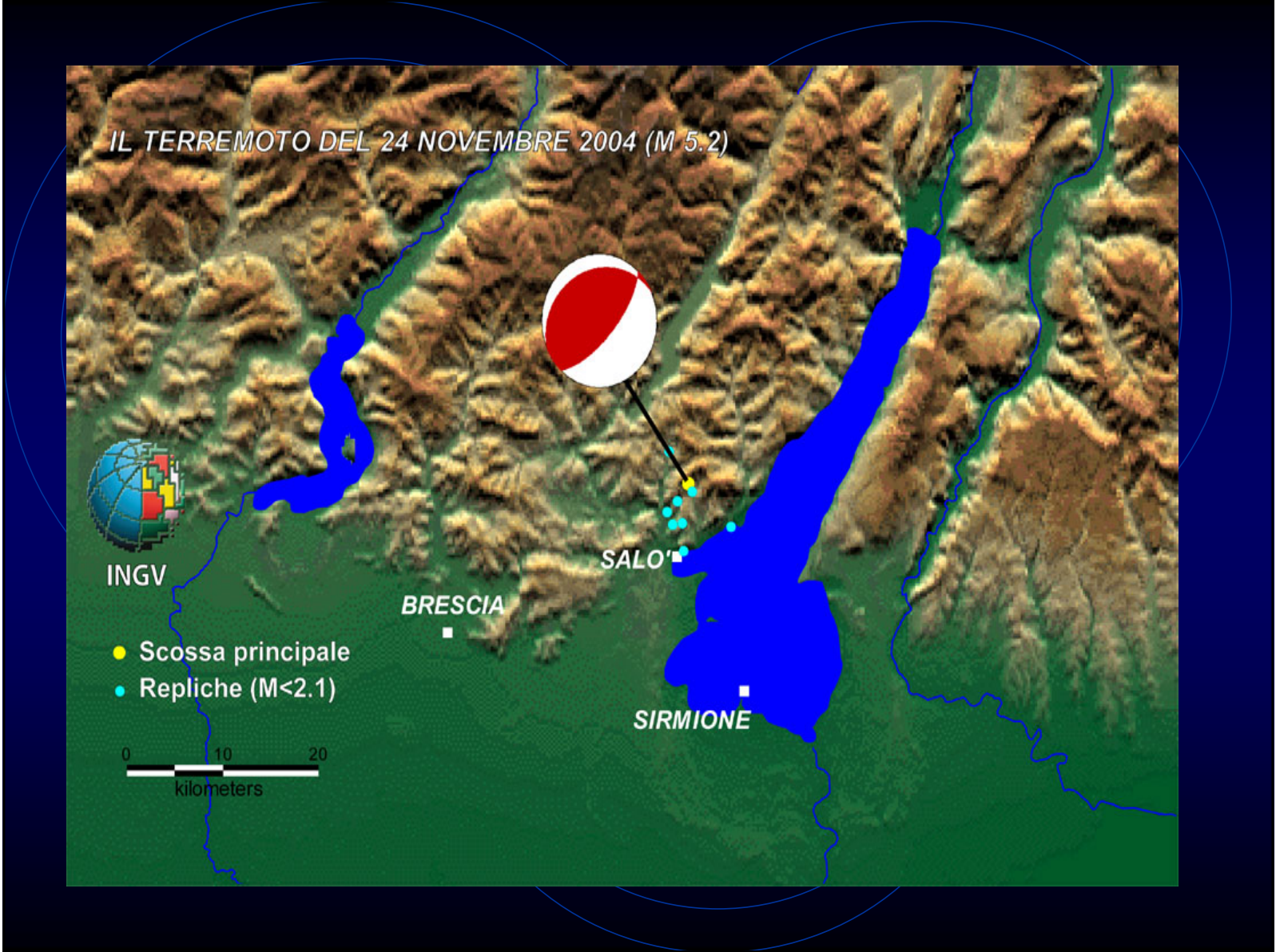
- indica idealmente le mancanze di resistenza di un edificio alle sollecitazioni sismiche
- dipende moderatamente dalla qualità intrinseca di costruzione
- dipende molto
  - dalla *stabilità dei suoli*
  - dagli *effetti di sito*

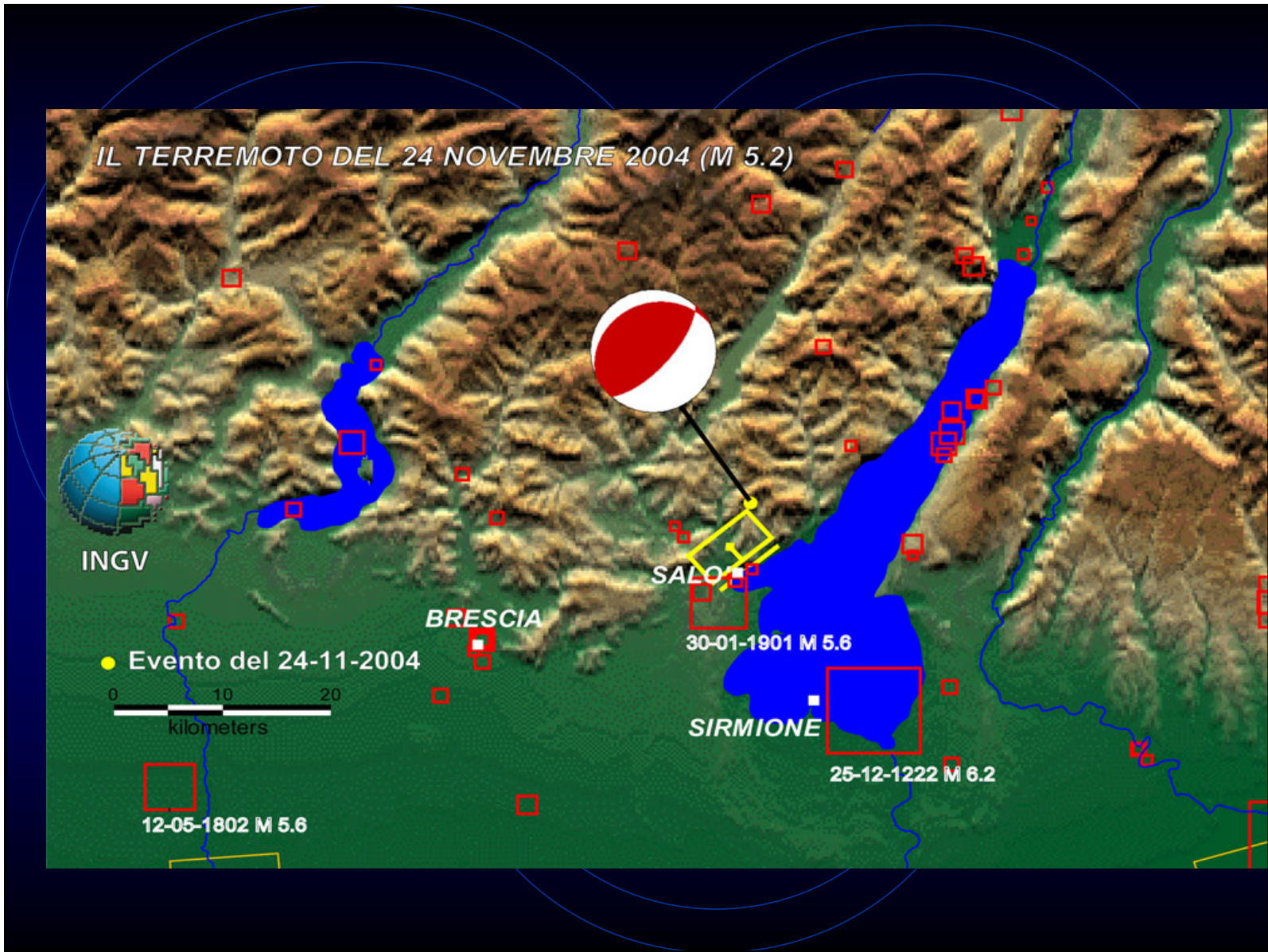
# La stabilità dei suoli

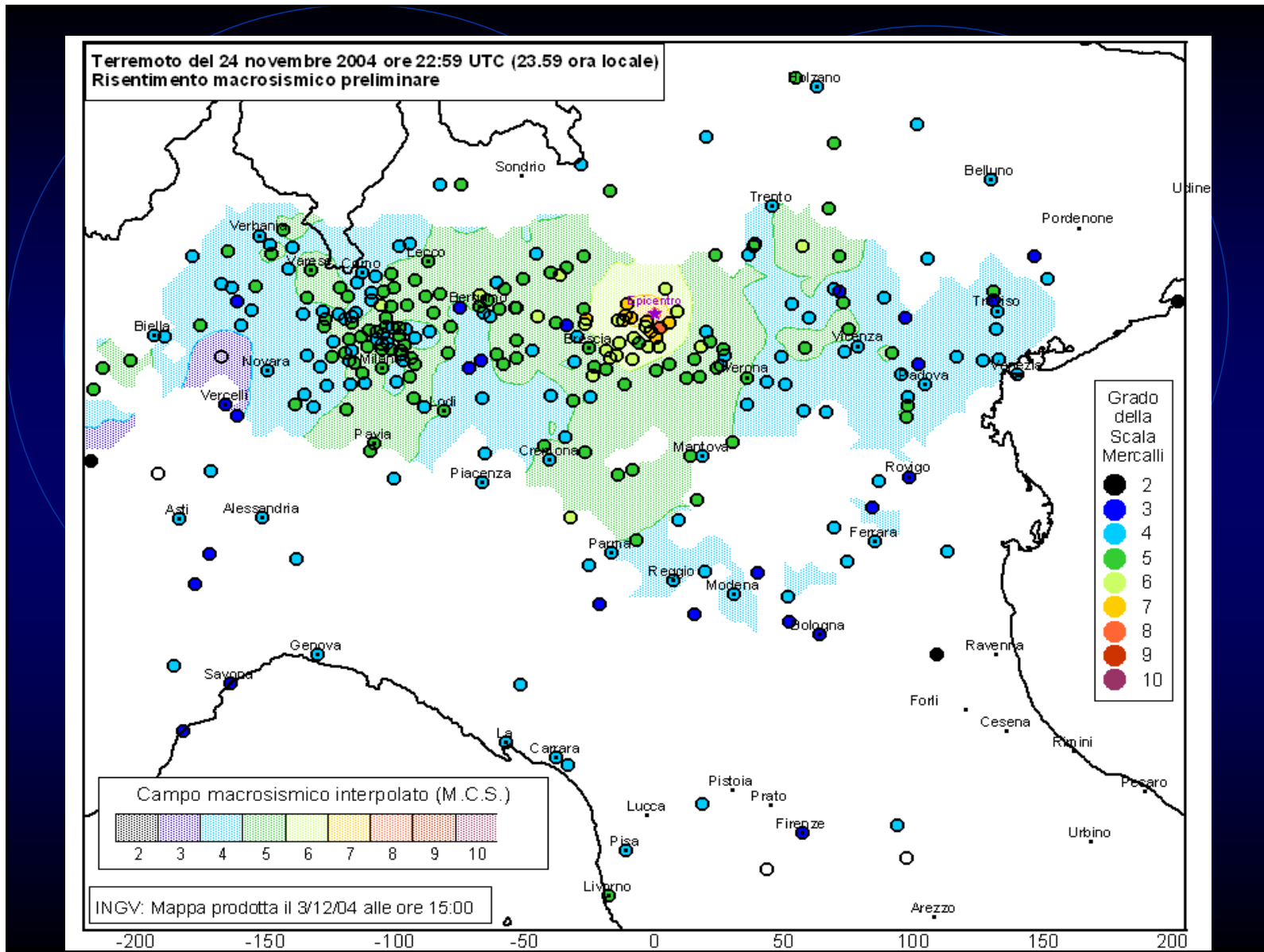
- E' molto spesso la causa predominante dei danni

*Un esempio per tutti: il terremoto “di Salò”  
del 24 novembre 2004,  $m=5.2$*

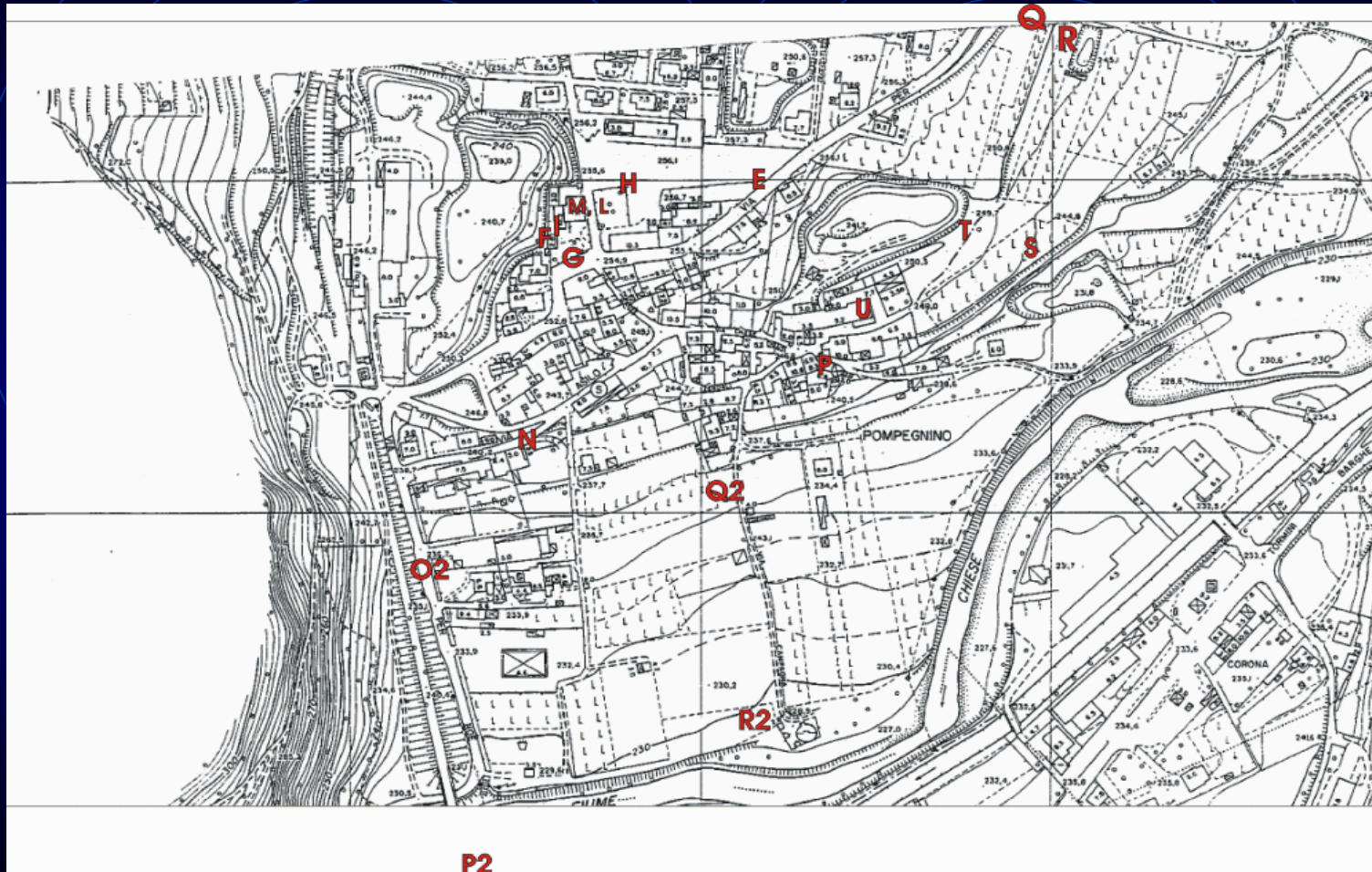








Un'analisi approfondita ha mostrato che i danni erano limitati agli edifici sul ciglio di tre vecchie cave



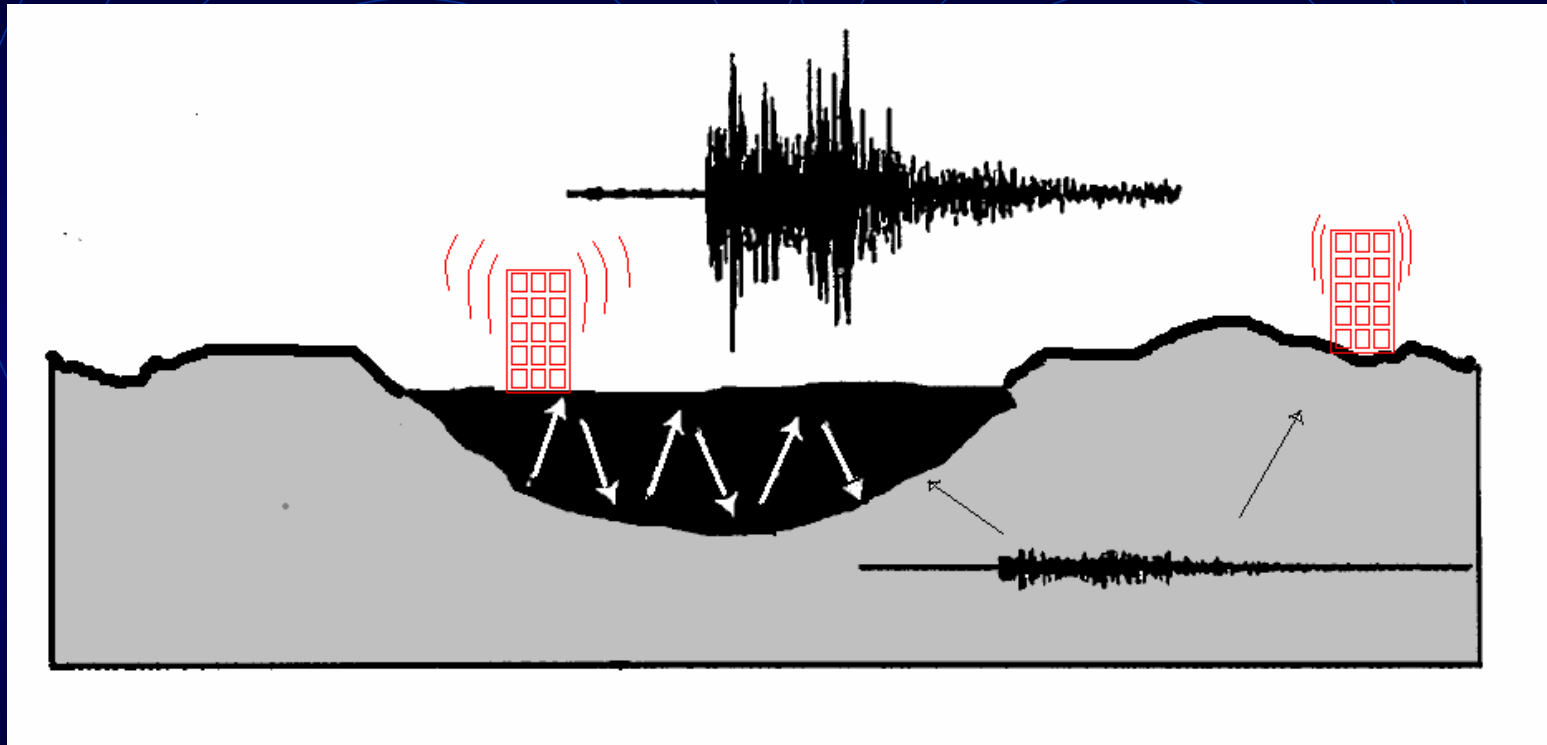
P2

Da Mulargia e Castellaro 2006

# Gli effetti di sito

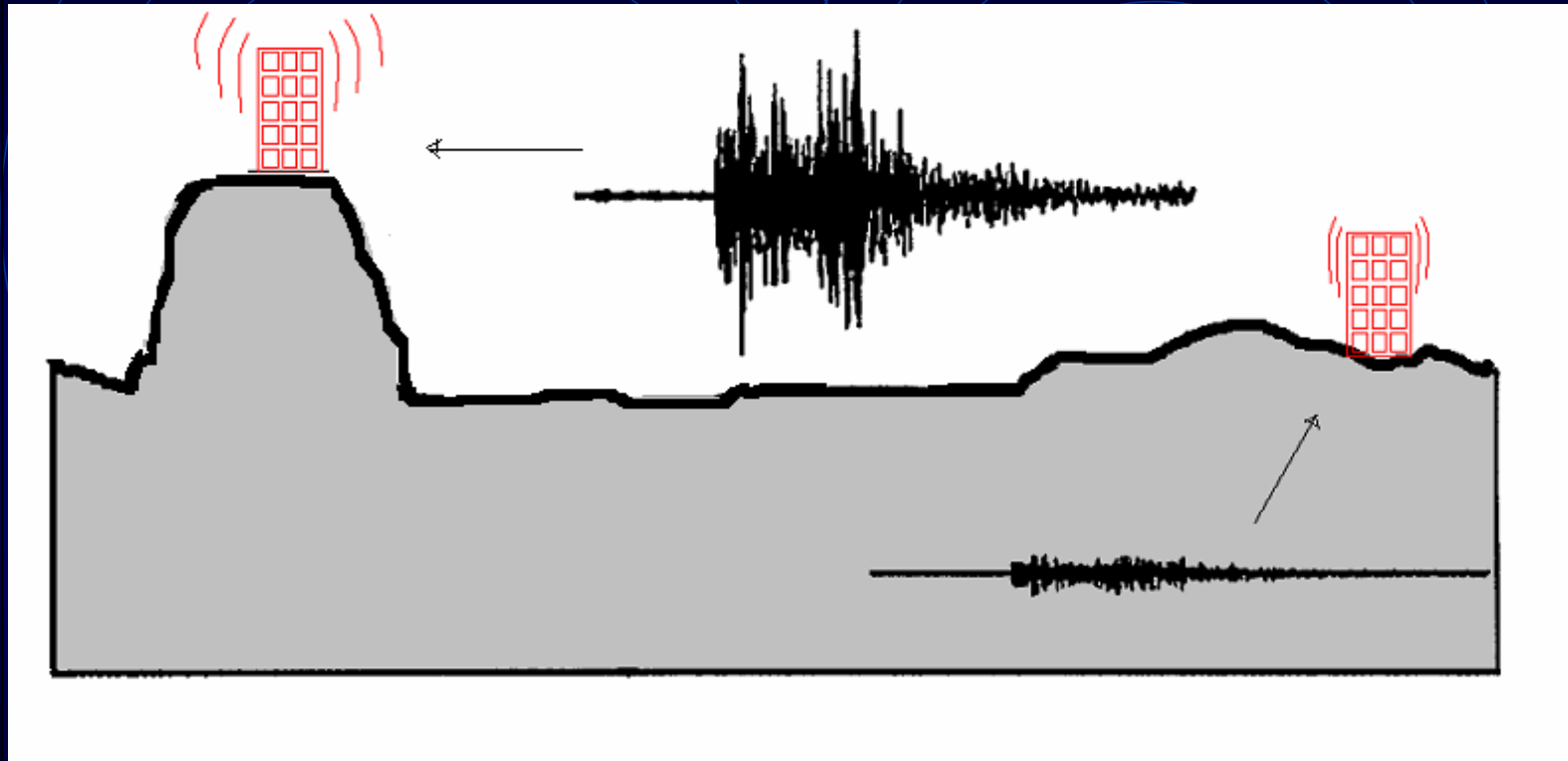
- sono amplificazioni locali delle onde sismiche
- sono spesso più distruttive della stessa grandezza del terremoto: 10000 morti a Città del Messico per un terremoto  $m=6.5$  a 300 km di distanza, che all'epicentro non ha fatto vittime e prodotto ben pochi danni! E anche a Messina nel 1908...
- sono dovuti a particolari condizioni geologiche e topografiche

## Gli effetti di sito

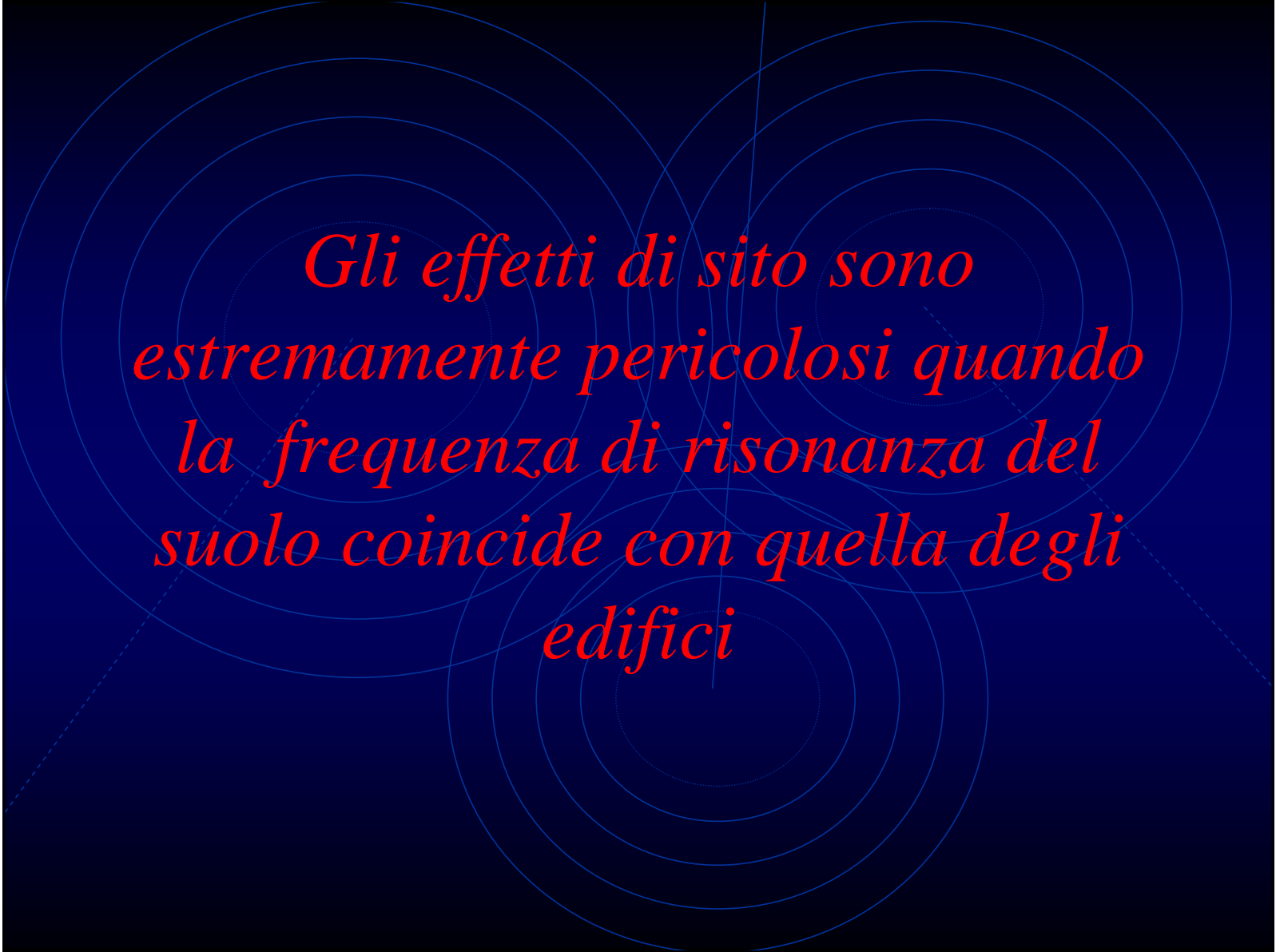


Fisicamente sono l'amplificazione delle onde sismiche dovuta alla **risonanza delle coltri sedimentarie**

## Gli effetti di sito



oppure alla **risonanza dei rilievi topografici**



*Gli effetti di sito sono  
estremamente pericolosi quando  
la frequenza di risonanza del  
suolo coincide con quella degli  
edifici*



# Prevedere la coincidenza di risonanze: l'approccio sciocco

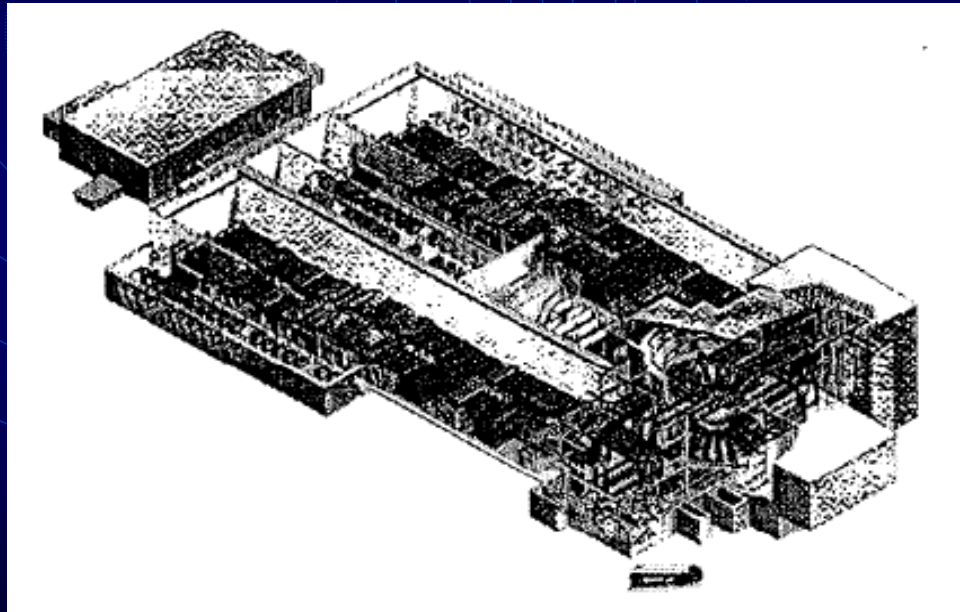
- Trascurare ogni effetto topografico
- Assumere un modello di suolo a strati piani e paralleli
- Misurare la velocità delle onde sismiche nel sottosuolo
- Calcolare la frequenza di risonanza per il modello del sottosuolo
- Costruire modelli ad elementi finiti degli edifici
- Calcolarne la frequenza di risonanza
- Confrontare le frequenze di ris. di suolo ed edifici

**Approccio seguito - purtroppo! - dalla legislazione italiana e dall'EC8**

# Conseguenze dell'approccio sciocco

- Occorre misurare il profilo di velocità delle onde S con la profondità
- Usando cross-hole e down-hole questo ha costi molto elevati
- Non solo: cross-hole e down-hole hanno anche un'accuratezza modesta

La cosa è poco nota perché quasi  
nessuno può permettersi misure ripetute



La US National Ignition Facility (Fusione Nucleare Controllata)  
da [Tabatabaie e Sommer UCRL-JC- 130342](#)

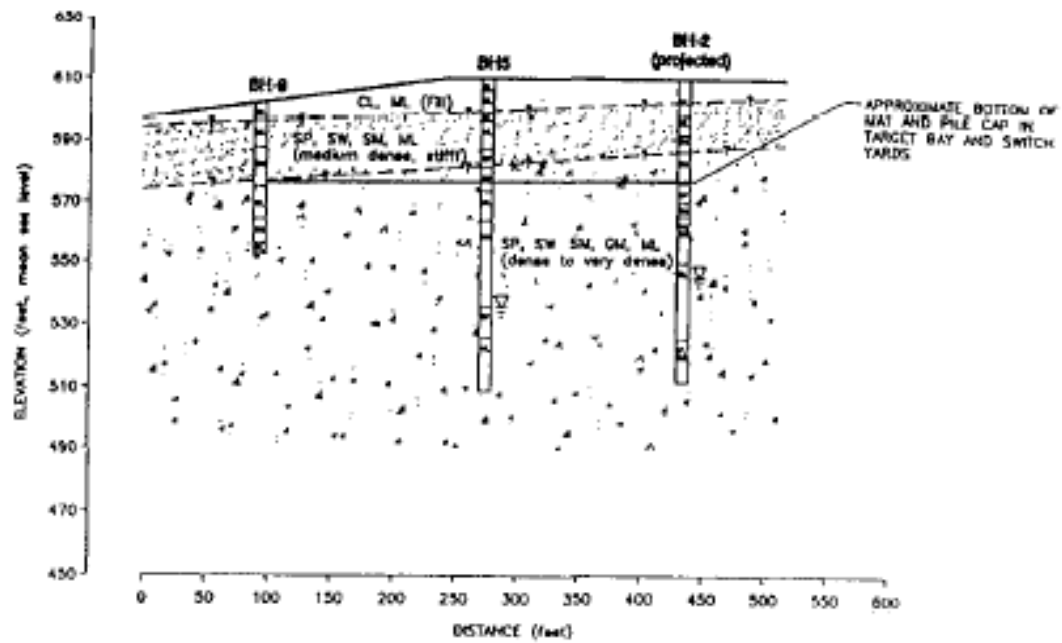


Figure 8 Idealized Soil Profile

La US National Ignition Facility (Fusione Nucleare Controllata)  
 da [Tabatabaie e Sommer UCRL-JC- 130342](#)

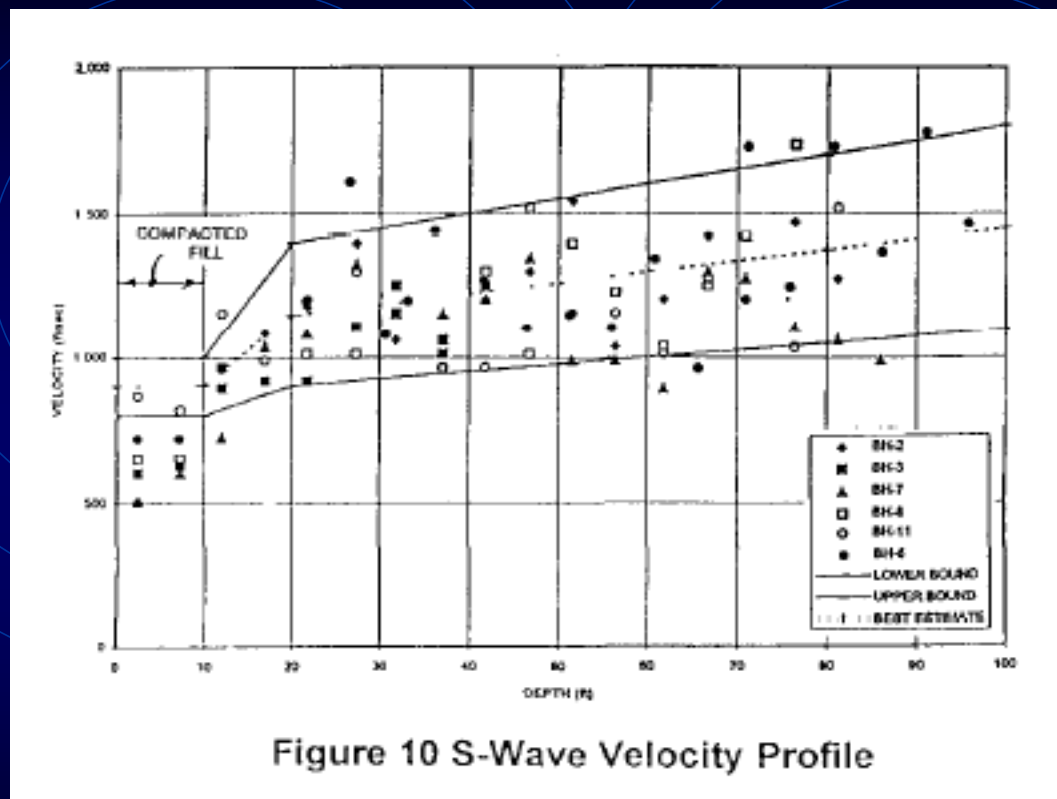
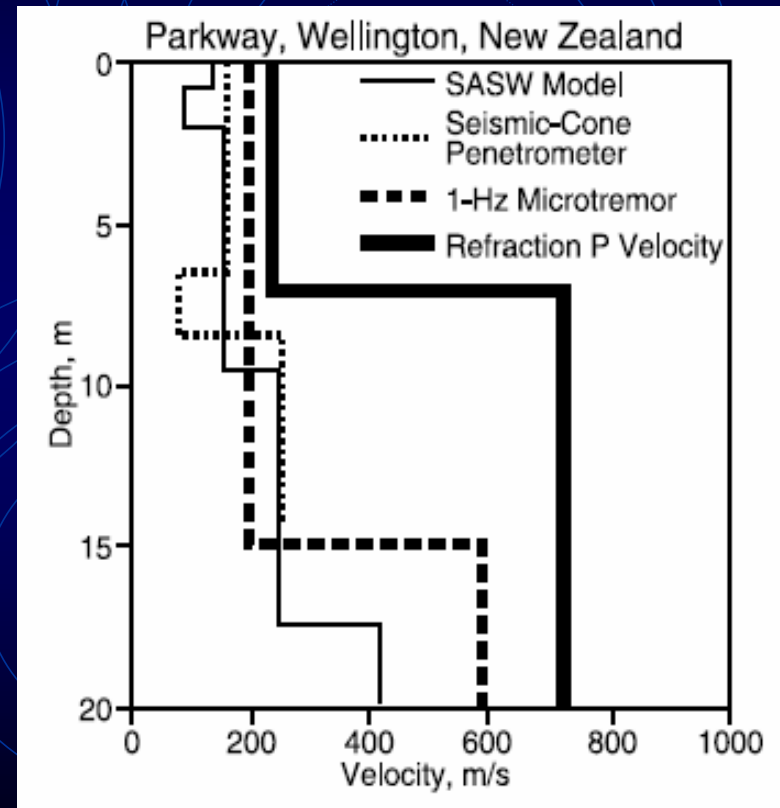


Figure 10 S-Wave Velocity Profile

La US National Ignition Facility (Fusione Nucleare Controllata)  
 da Tabatabaie e Sommer UCRL-JC- 130342

# I metodi ad array attivo o passivo (SASW, REMI, ecc.)

- Fanno risparmiare rispetto a down-hole
- Ma l'accuratezza è ancora più bassa



Da Louie, BSSA 2001

Riassumendo, per quanto riguarda la misura di Vs

*Indipendentemente da quanto si spende si hanno stime scadenti:*

- Gli errori sono dell'ordine del 50% con cross-hole e down-hole
- E del 100% e oltre con SASW e REMI

*E questo è solo l'inizio, perché...*

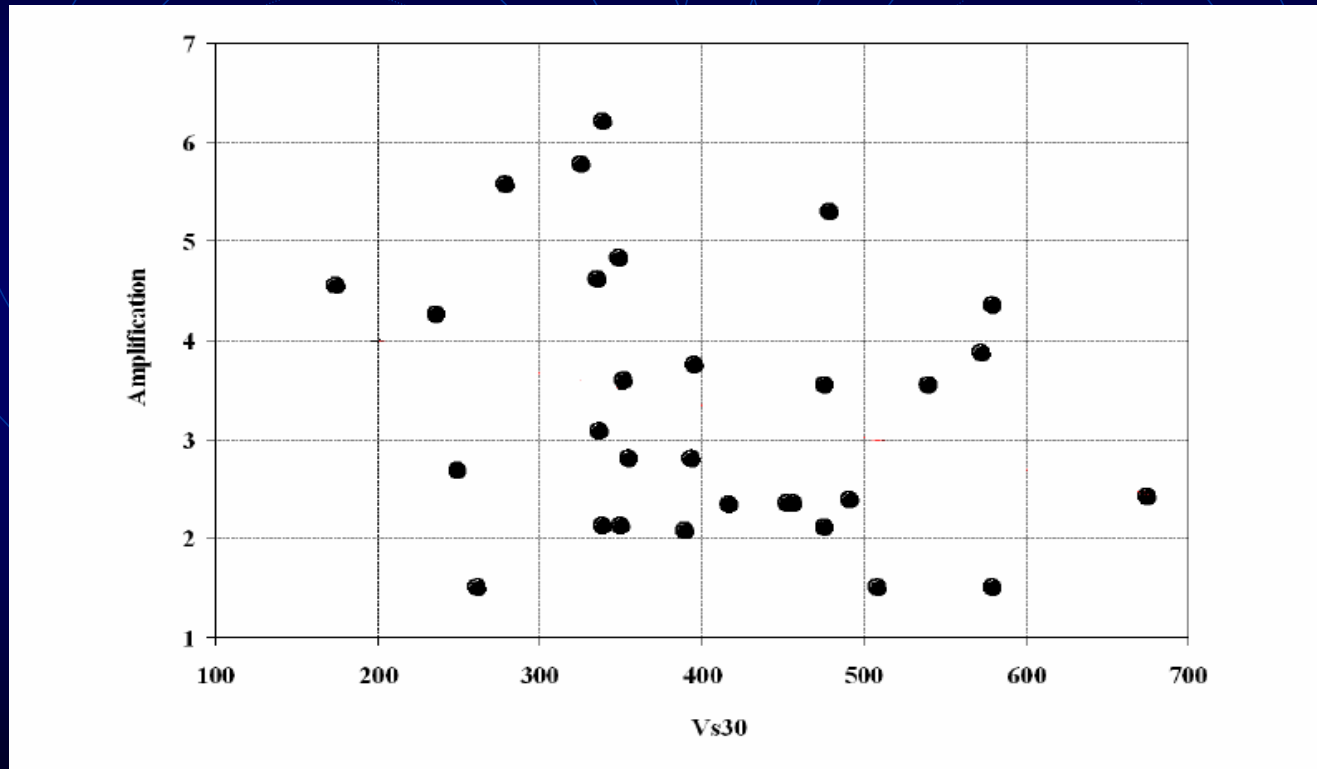
*...perché....*

anche se la  $V_s$  fosse nota con grande accuratezza,  
per stimare il parametro fondamentale  
dell'amplificazione (la frequenza di risonanza)  
occorrerebbe comunque

- Usare modelli basati su pesanti assunzioni e approssimazioni
- Trascurare del tutto gli effetti topografici



*In due parole, il Vs30 con  
l'amplificazione non c'entra!*



Da Mucciarelli e Gallipoli, ECEES 2006

# Questo fatto è ben noto!

Anderson, Lee, Zeng e Day BSSA 1996

Borcherdt Proc. NCEE USC, 1992

Di Giacomo et al., BSSA 2005

Martino et al., Natural Hazards 2006

Park e Hashash 13th WCEE 2004

Stewart, Liu. e Choi BSSA 2003

Wald e Mori BSSA 2000

*“Vs30 seems to work fine only if a site has a strictly monotonic velocity profile increasing with depth and a strong impedance contrast in the first dozen meters”*

Da Mucciarelli e Gallipoli, 2006



*Si può fare meglio?*

La risposta della Regione Lombardia



## **ANALISI DEL RISCHIO SISMICO**

**ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI  
SISMICI DI SITO IN LOMBARDIA FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE  
DELL'ASPETTO SISMICO NEI PIANI DI GOVERNO DEL  
TERRITORIO**

**Allegato 5**

**Floriana Pergalani**

**Massimo Compagnoni**

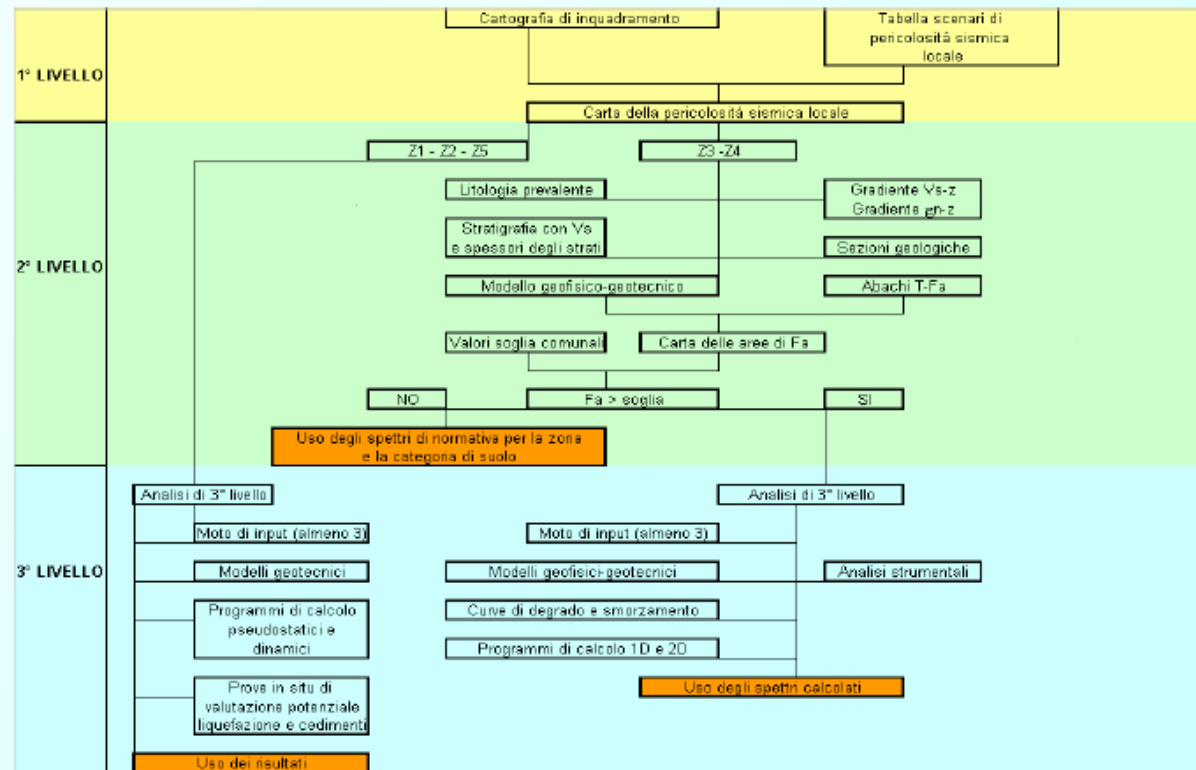
**Piano di Governo del Territorio:  
criteri ed indirizzi per la redazione della componente geologica, idrogeologica e sismica  
Milano, 29 Marzo 2006 – Palazzo delle Stelline**

- **3 livelli di approfondimento:**

**1° livello di tipo qualitativo**

**2° livello di tipo semiquantitativo  
(curve di correlazione)**

**3° livello di tipo quantitativo**





## 1° livello: aree PSL



<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

## ↘ 2° livello:



- Permette di valutare gli effetti di amplificazione sismica di tipo litologico e morfologico tramite l'utilizzo di opportune schede di valutazione
- Schede di valutazione disponibili:
  - 5 schede litologiche:
    - litologie ghiaiose
    - litologie limoso argillose tipo 1 e 2
    - litologie limoso sabbiose tipo 1 e 2
  - 2 schede morfologiche:
    - creste rocciose
    - scarpate rocciose

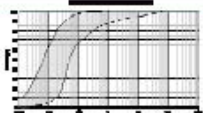



## 2° livello: litologica

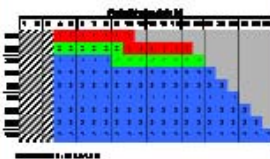
### Struttura delle schede di valutazione litologica

**GRANULOMETRICA:**  
 Da dati non validi statisticamente (adattarsi a dati statisticamente validi) o ricavati per altri dati validi, dai dati analitici originali, dai dati analitici sintetici, dai dati analitici globali o validi con dei coefficienti di correzione.


**NOTE:**  
 Coefficiente di variazione:  
 Funzione di distribuzione del 90%  
 Funzione di distribuzione del 10%  
 Funzione globale che ad un coefficiente del 90%  
 Funzione globale che ad un coefficiente del 10%  
 Funzione globale che ad un coefficiente del 10%  
 A PARCO: range di validità per alcuni parametri geotecnici significativi validi per dati statisticamente validi.

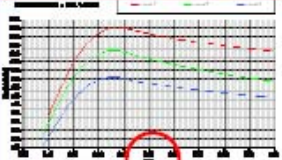
**INDICAZIONE DEL TIPO DI STRATIGRAFIA**



**INDICAZIONE DEL TIPO DI CURVA**



**INDICAZIONE DEL TIPO DI CURVA**



$F_{0.1-0.5} = -1.99T^2 + 2.02T + 0.79$

CUNA	Tutte pedreglie	Tutte leguminose
1	0.18 < T ≤ 0.40 $F_{0.1-0.5} = -1.99T^2 + 2.02T + 0.79$	0.40 < T ≤ 1.00 $F_{0.1-0.5} = 0.00 - 0.00T^2$
2	0.18 < T ≤ 0.40 $F_{0.1-0.5} = -1.99T^2 + 2.02T + 0.79$	0.40 < T ≤ 1.00 $F_{0.1-0.5} = 0.00 - 0.00T^2$
3	0.18 < T ≤ 0.40 $F_{0.1-0.5} = -1.99T^2 + 2.02T + 0.79$	0.40 < T ≤ 1.00 $F_{0.1-0.5} = 0.00 - 0.00T^2$

Individuazione della litologia prevalente sulla base della distribuzione granulometrica e di alcuni parametri geotecnici indicativi del litotipo

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i} \times \sum_{i=1}^n h_i$$

Scelta della curva di correlazione  $T/Fa$  sulla base delle caratteristiche dello strato superficiale

Calcolo del valore di  $Fa$  per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s in funzione del valore del periodo proprio calcolato  $T$  e della curva e/o equazione scelta

Ricostruzione dell'andamento della  $Vs$  con la profondità e verifica della validità della scheda scelta



## COSTRUZIONE DEL MODELLO GEOFISICO

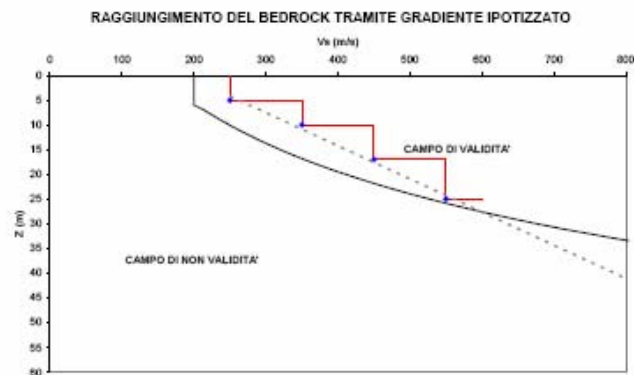
sulla base del modello geologico dell'area e della conoscenza dell'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità

## CONOSCENZA DEI VALORI DI $V_s$

si adotterà qualsiasi metodo di indagine di tipo diretto o indiretto (scelto dal *GEOLOGO*), in grado di fornire un modello geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale

## RAGGIUNGIMENTO DEL BEDROCK ( $V_s \geq 800$ m/s)

In mancanza del raggiungimento del bedrock con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di  $V_s$  con la profondità, sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s



Tipicamente: stima di  $V_s$  in superficie con SPT e poi grad.  $V_s(z) \propto z^{1/6}$



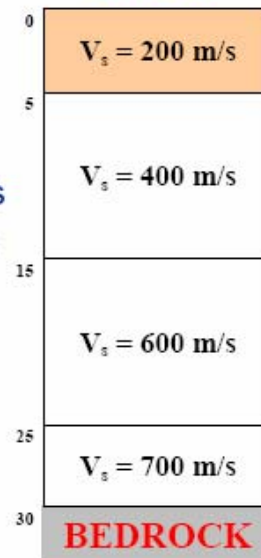
## Benefici dell'applicazione 2° livello



### ESEMPIO 1

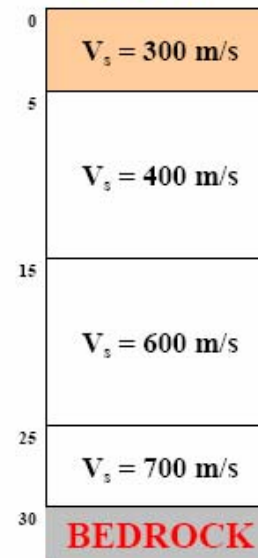
30 m di limi sabbiosi di tipo 2 in zona sismica 3 con categoria di suolo B  
Valore di soglia 0.1-0.5 s = 1.7

#### CASO A



$$V_{s30} = 406 \text{ m/s}$$
$$T = 0.248 \text{ s}$$
$$Fa_{0.1-0.5} = 2.2$$

#### CASO B



$$V_{s30} = 508 \text{ m/s}$$
$$T = 0.240 \text{ s}$$
$$Fa_{0.1-0.5} = 1.7$$

## *In conclusione, l'approccio della Regione Lombardia*

- Supera l'impiccio del Vs30
- Introduce il Fattore di Amplificazione
- Caratterizza (qualitativamente) le possibili instabilità dei suoli
- Stima però la frequenza di risonanza, attraverso la curva Vs e un modello di suolo ultrasemplificato, il che ha un'affidabilità molto bassa



*Come fare meglio per davvero?*

L'Approccio Razionale

# Prevedere la coincidenza di risonanze: l'Approccio Razionale

- Misurare la frequenza di risonanza al sito
- Misurare la frequenza di risonanza dell'edificio
- Confrontarle

*Approccio seguito dai paesi sismici più avanzati come il Giappone (e anche dalla Francia per le centrali nucleari)*



ELSEVIER

Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22 (2002) 1159–1167

**SOIL DYNAMICS  
AND  
EARTHQUAKE  
ENGINEERING**

[www.elsevier.com/locate/soildyn](http://www.elsevier.com/locate/soildyn)

Short communication

Seismic evaluation of existing nuclear facility using ambient vibration test  
to characterize dynamic behavior of the structure and microtremor  
measurements to characterize the soil: a case study

Ph. Volant<sup>a,\*</sup>, N. Orbovic<sup>a</sup>, F. Dunand<sup>b</sup>

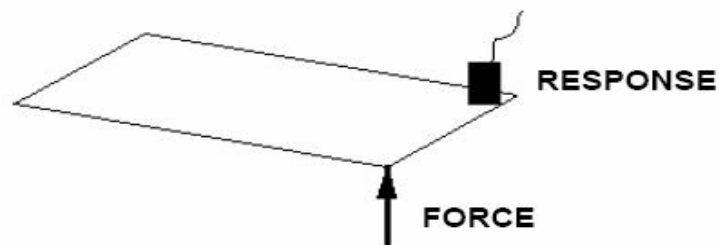
<sup>a</sup>*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, BP 17, 92262 Fontenay-aux-Roses, France*

<sup>b</sup>*Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, BP 53, 38041 Grenoble Cedex, France*



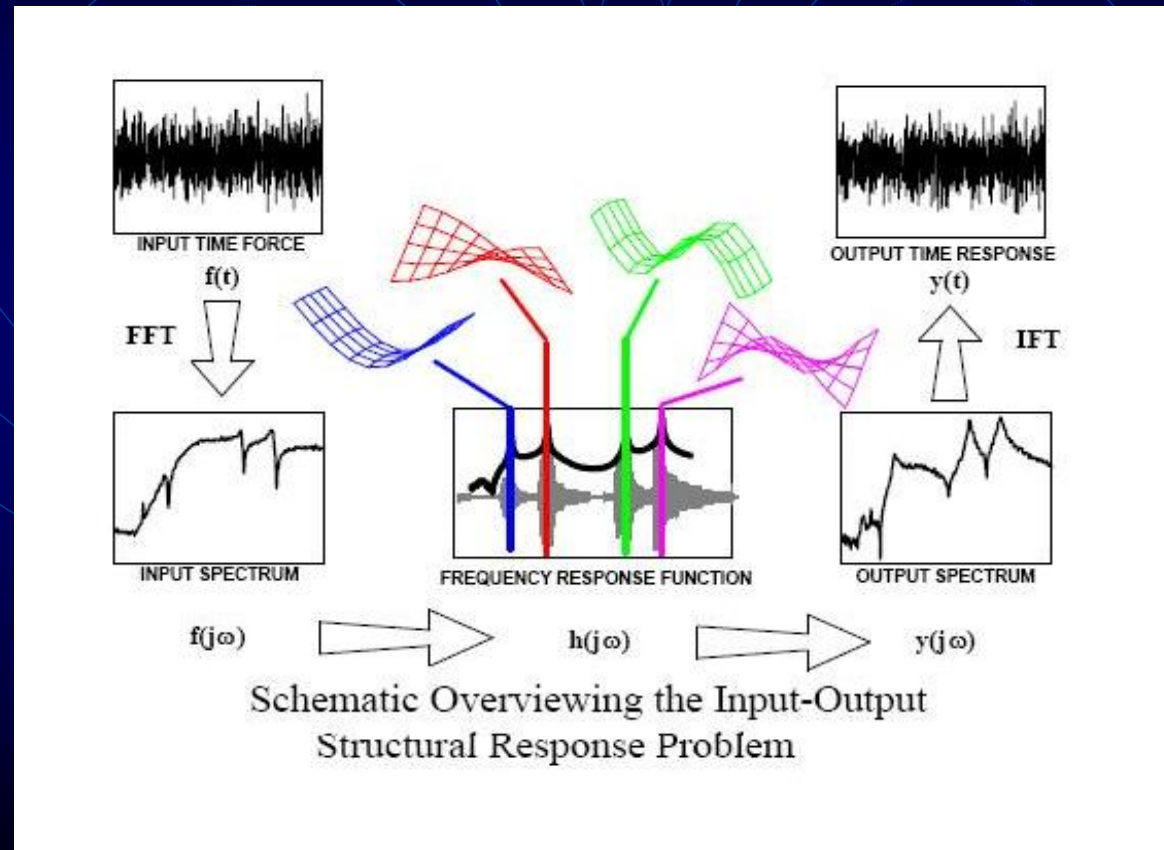
# La chiave di volta: usare il tremore sismico come funzione di eccitazione

- La prassi comune in ingegneria è misurare le frequenze di risonanza come risposta a funzione di eccitazione nota



Simple Plate Excitation/Response Model

Una scelta ottimale è quella di usare una funzione di eccitazione random



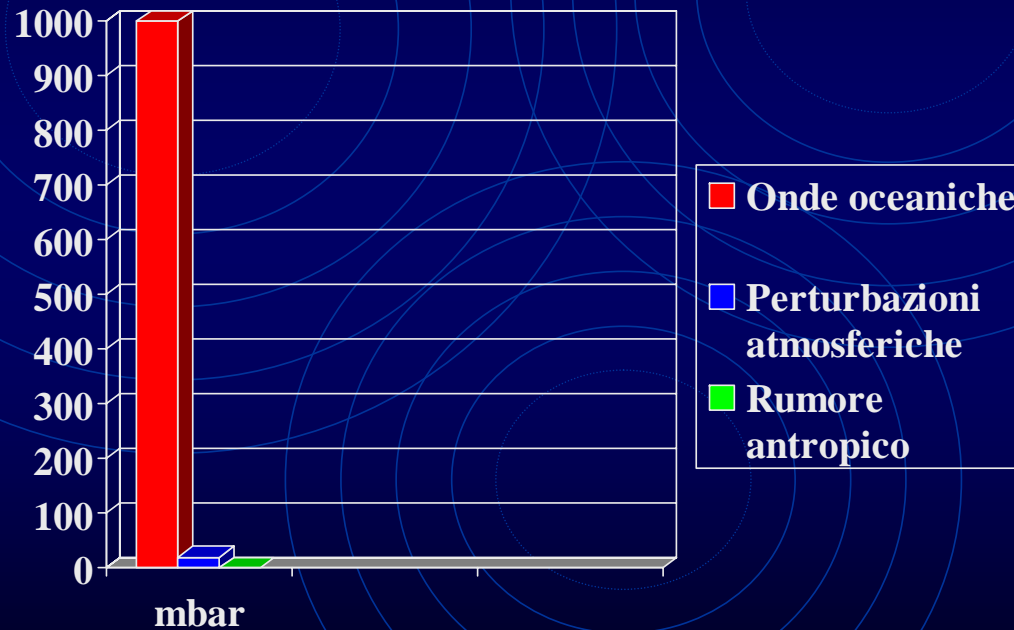
## Il tremore sismico di fondo

- Può essere utilizzato convenientemente come funzione di eccitazione perché
  - ha uno spettro stabile quasi-random
  - E' sempre presente in qualsiasi punto della superficie terrestre

## Il tremore sismico di fondo

- Ha tre origini fondamentali:
  - Le onde oceaniche
  - le perturbazioni atmosferiche
  - Il rumore antropico: industrie, autostrade, ferrovie, ecc...

Le ampiezze a seconda  
dell'origine sono molto diverse

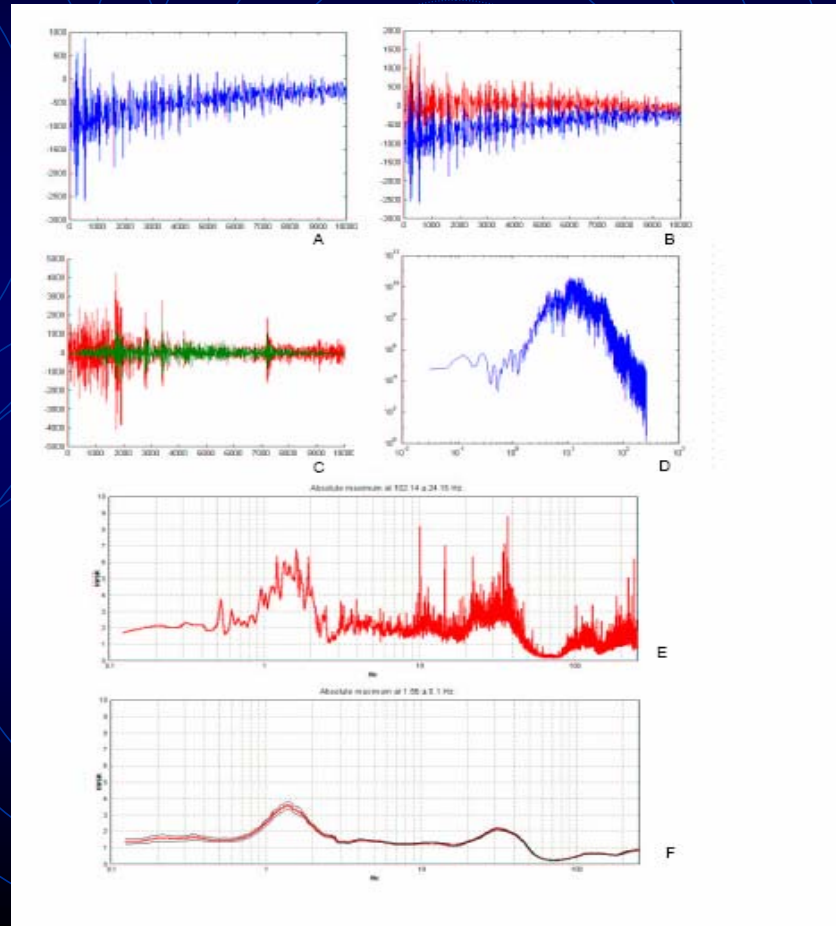


## Ciò fa sì che

- Il tremore prodotto dalle tempeste oceaniche si estenda sino a più di 3000 km
- Il tremore prodotto dalle perturbazioni atmosferiche si propaghi sino a 2-300 km
- Il tremore antropico non vada oltre i 10-30 km

# La tecnica base per la misura diretta delle frequenze di risonanza: la tecnica HVSR

- Registrazione a stazione singola
- Analisi nel dominio delle frequenze
- Rapporto spettrale tra componenti orizzontali e verticale
- Originariamente introdotta da Nogoshi et Igarashi (1971)



# Vincoli strumentali

- Il tremore sismico di fondo
  - ha ampiezze molto più piccole di quelle delle onde da terremoto ( $<10^{-9}$  m in spostamenti)
  - ha una banda di frequenze molto larga (0.1 - 100 Hz)
  - va studiato su intervalli relativamente lunghi (misure di spettro medio su  $10^3$  secondi)

*Quindi, non sono utilizzabili i sismometri “standard” ma servono catene strumentali broad-band ad altissima sensibilità e risoluzione e grande stabilità temporale*



## Catene strumentali broad-band



**Guralp 3T**

30 kg , 20,000€ no software

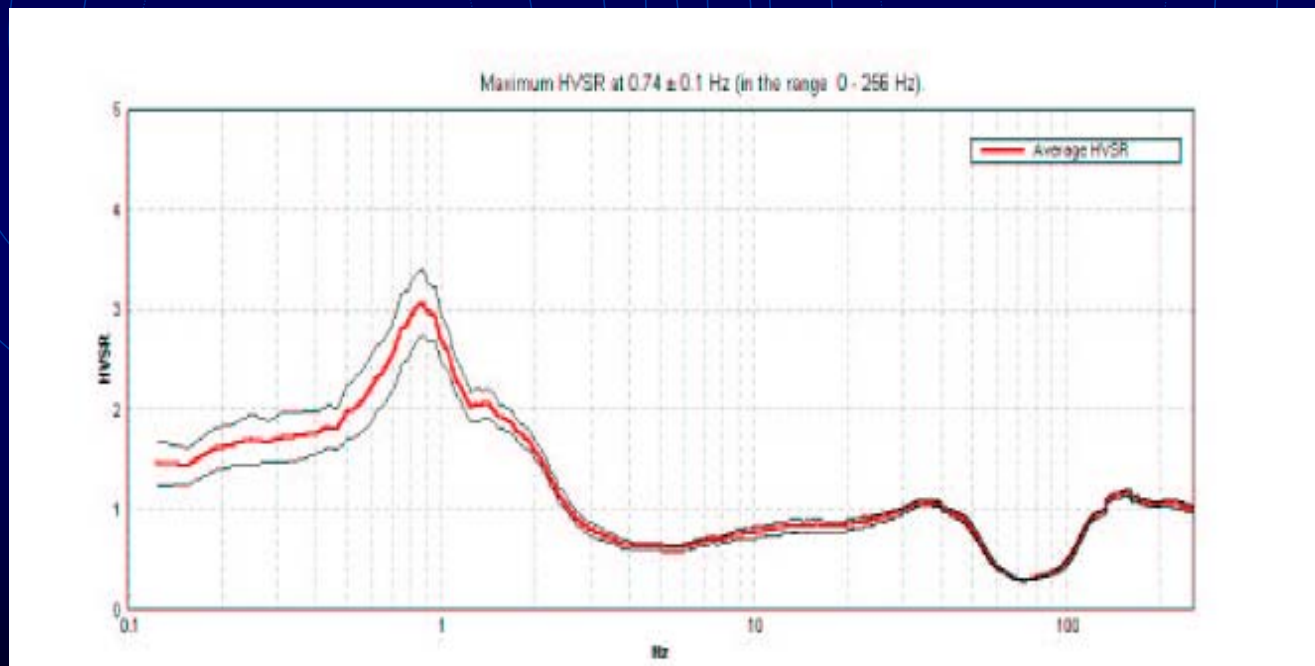
## Tromografi digitali

**Tromino**

1 kg, 8000€  
software ded.

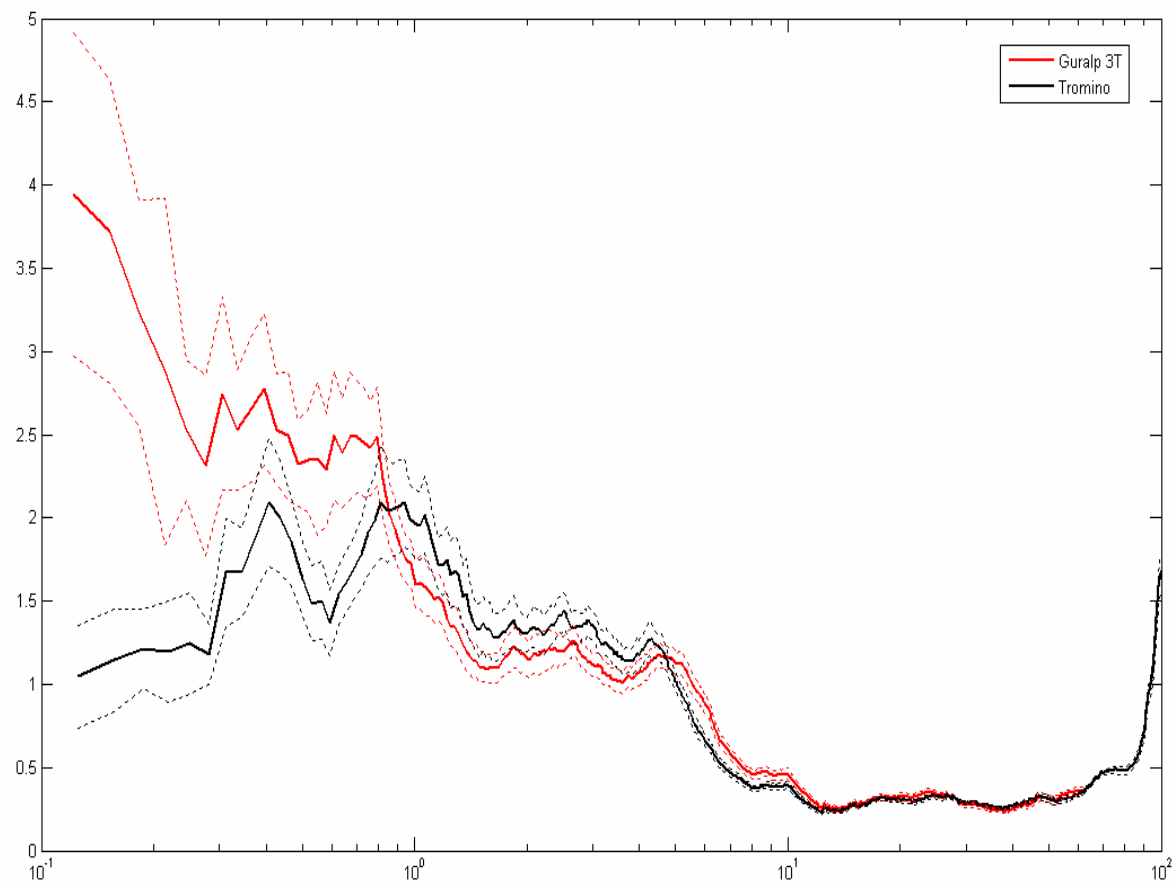


Visto che lo scopo è la misura corretta  
dei picchi H/V (il cui massimo è la frequenza di  
risonanza)



Casaglia (Ferrara) Da Castellaro, Mulargia, Albarello, 2006

le prestazioni sono “quasi” comparabili

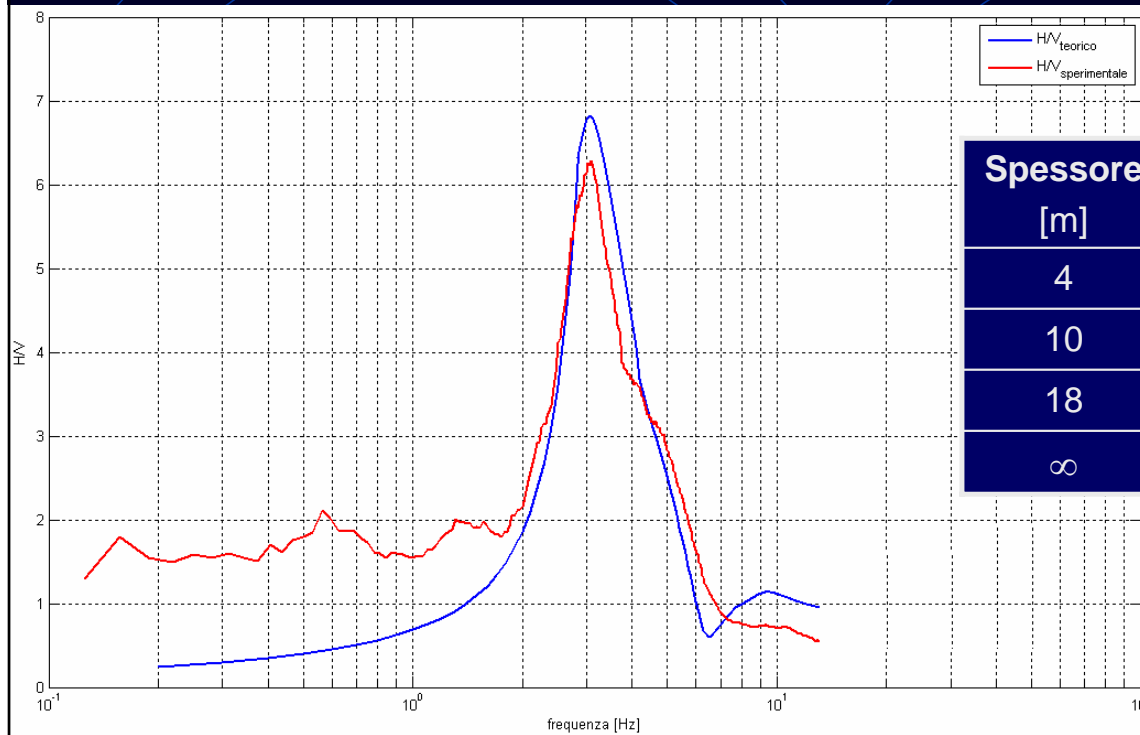


Una volta identificati i picchi H/V la misura della frequenza di risonanza è fatta, ed è **molto accurata!**

Poi, per stimare il Vs30 si può operare in 2 modi:

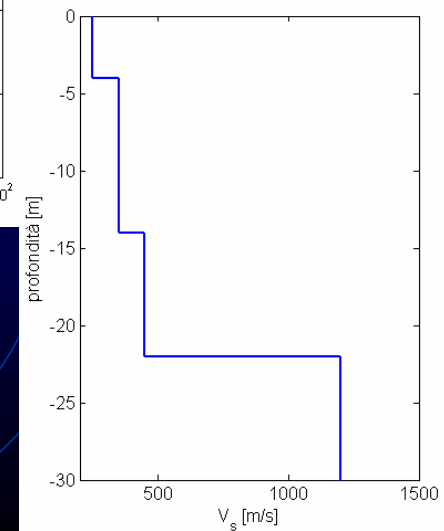
1. Senza avere nessuna stratigrafia di controllo, ma avendo il software adatto si può invertire lo spettro H/V
2. Avendo una stratigrafia di controllo lo si calcola direttamente

# 1) Inversione degli spettri H/V

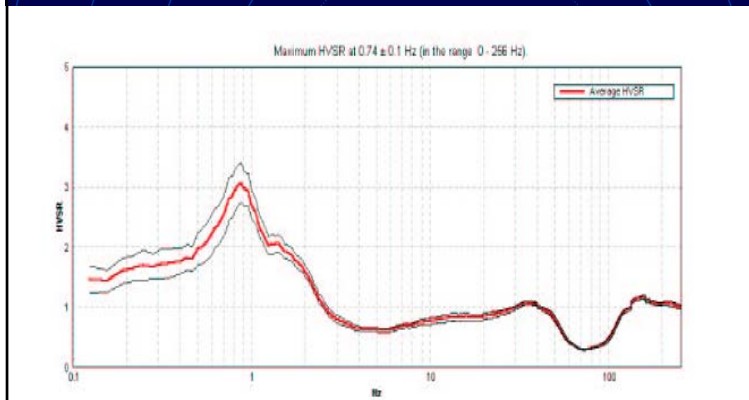


Spessore [m]	Profondità [m]	V <sub>s</sub> [m/s]
4	4	250
10	14	350
18	32	450
∞	∞	1200

Modo fondamentale o.s. + 4 modi superiori



## 2) Stima del Vs30 usando un sondaggio di controllo



$$H = 130 \text{ m}, f_{H/V} = 0.74 \text{ Hz}$$

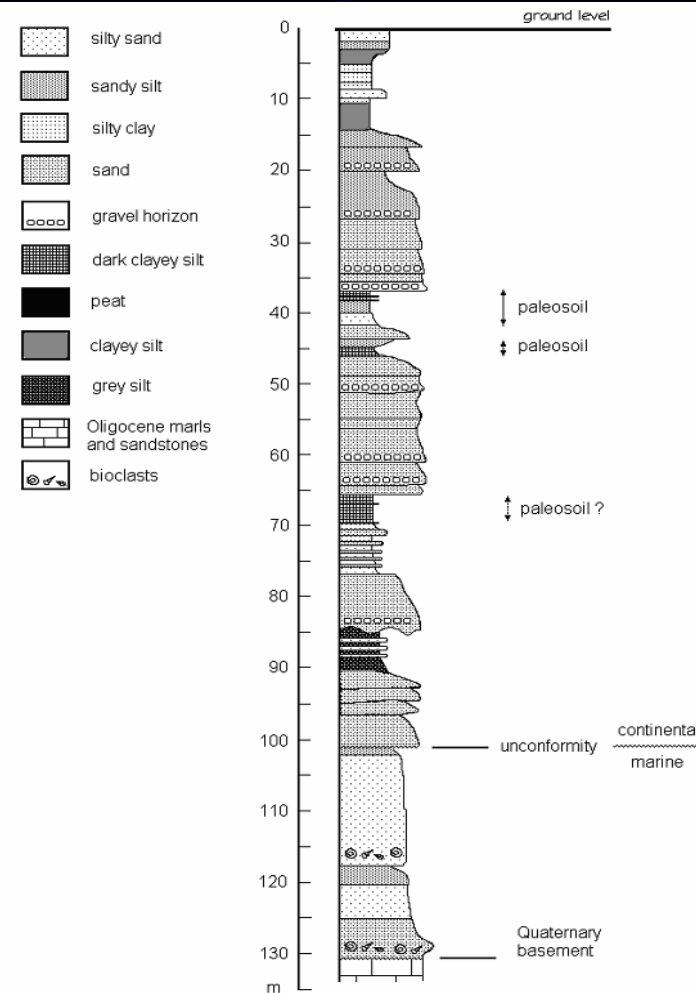
$$\langle V_s \rangle = f_{H/V} \times 4h = 385 \text{ m/s}$$

$$K_{130} = (130)^{0.18} = 2.4$$

$$V_{s0} = 385 / 2.4 = 160 \text{ m/s}$$

$$K_{30} = (30)^{0.18} = 1.84 \quad V_{s30} =$$

$$160 \times 1.84 = 295 \text{ m/s}$$



Casaglia (Ferrara)



*E la Regione Emilia-Romagna??*

Parte II

*La stratigrafia sismica  
passiva*

*ovvero*

*Come esplorare il sottosuolo  
quasi gratis*

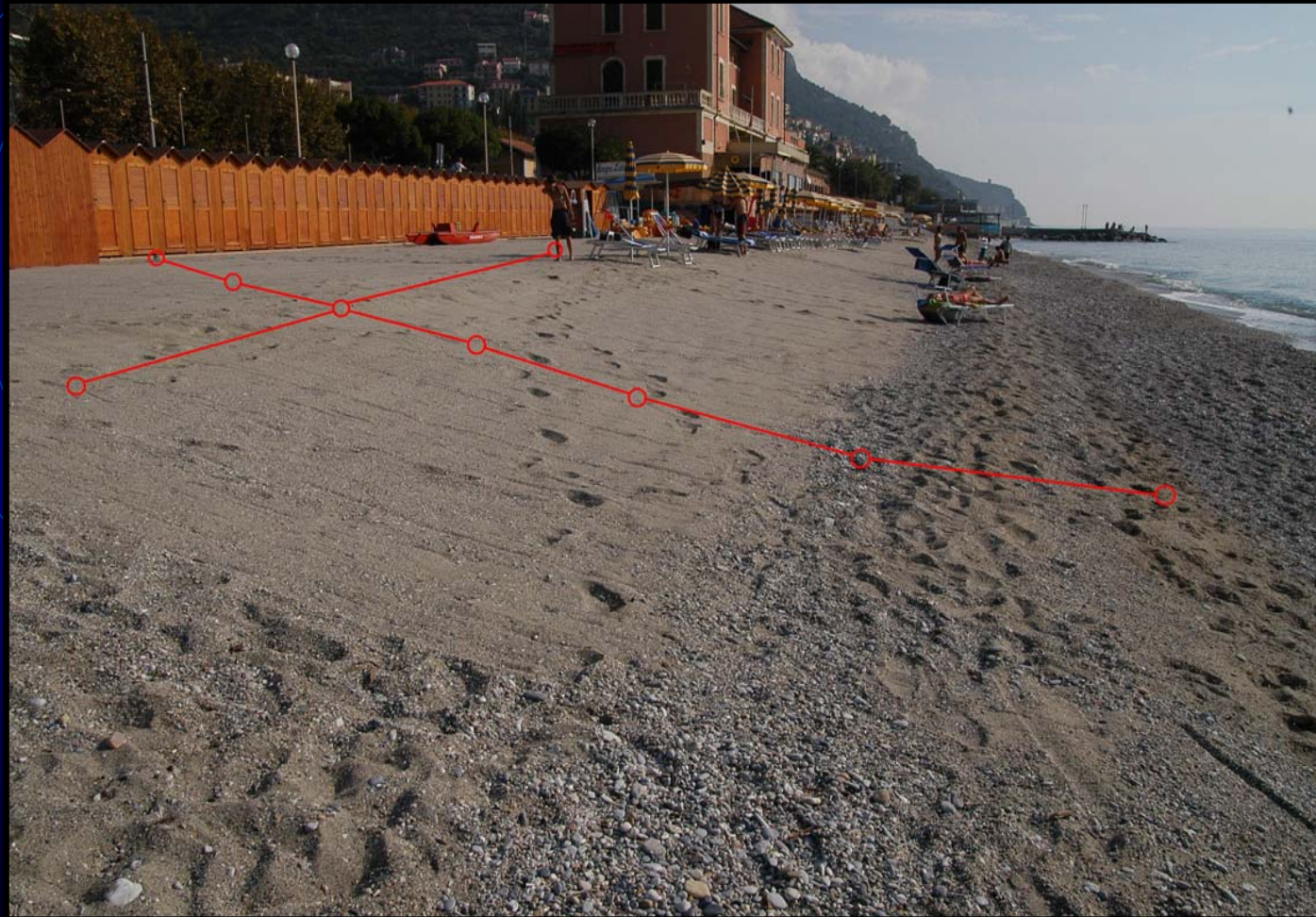


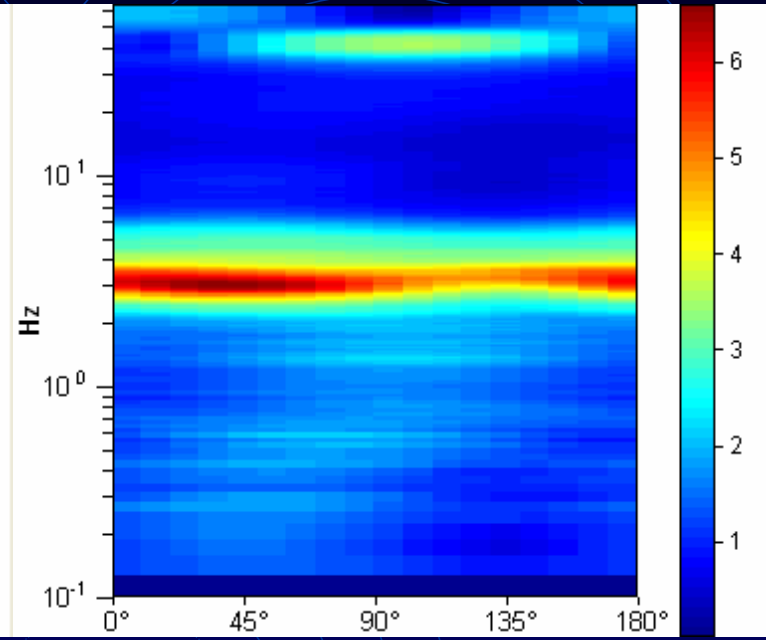
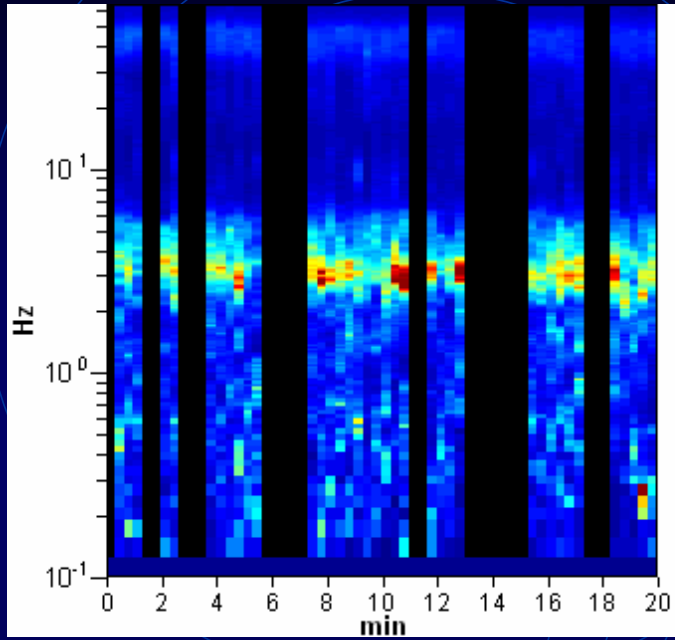
# L'analisi dei dati di tremore è complessa

- Perché è composto essenzialmente da onde di superficie
- Perché il tremore è un campo diffuso
- Perché il tremore è composto da onde multiple-scattered
- Perché l'approccio sismologico classico sorgente-tragitto-stazione non si applica

E' anche molto potente

## Misure in spiaggia (Borgio Verezzi, Liguria)

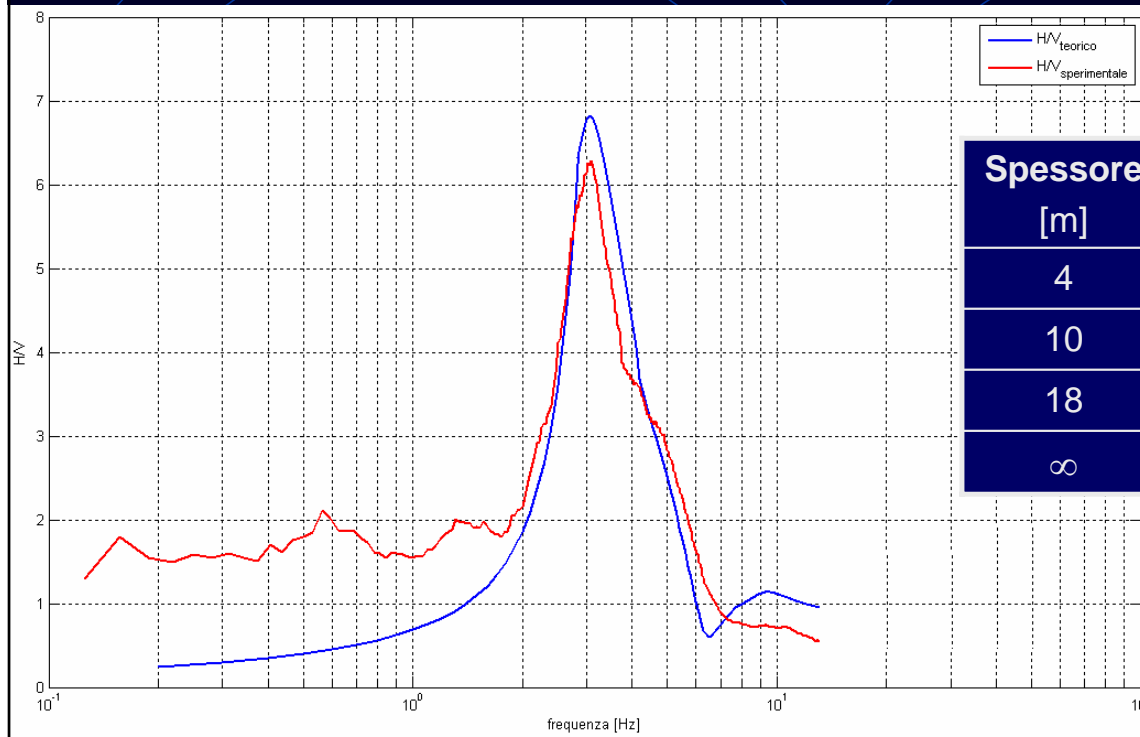




software Tromino Grilla

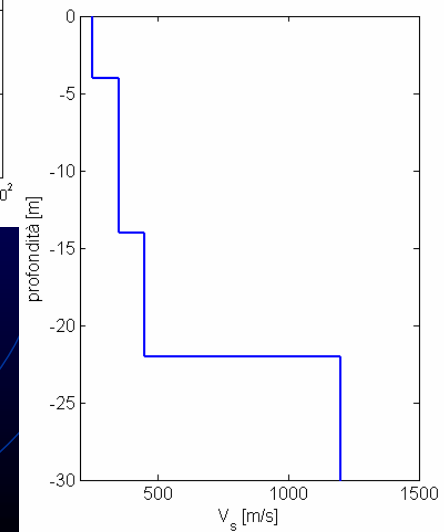


# Inversione degli spettri



Spessore [m]	Profondità [m]	$V_s$ [m/s]
4	4	250
10	14	350
18	32	450
$\infty$	$\infty$	1200

Modo fondamentale o.s. + 4 modi superiori



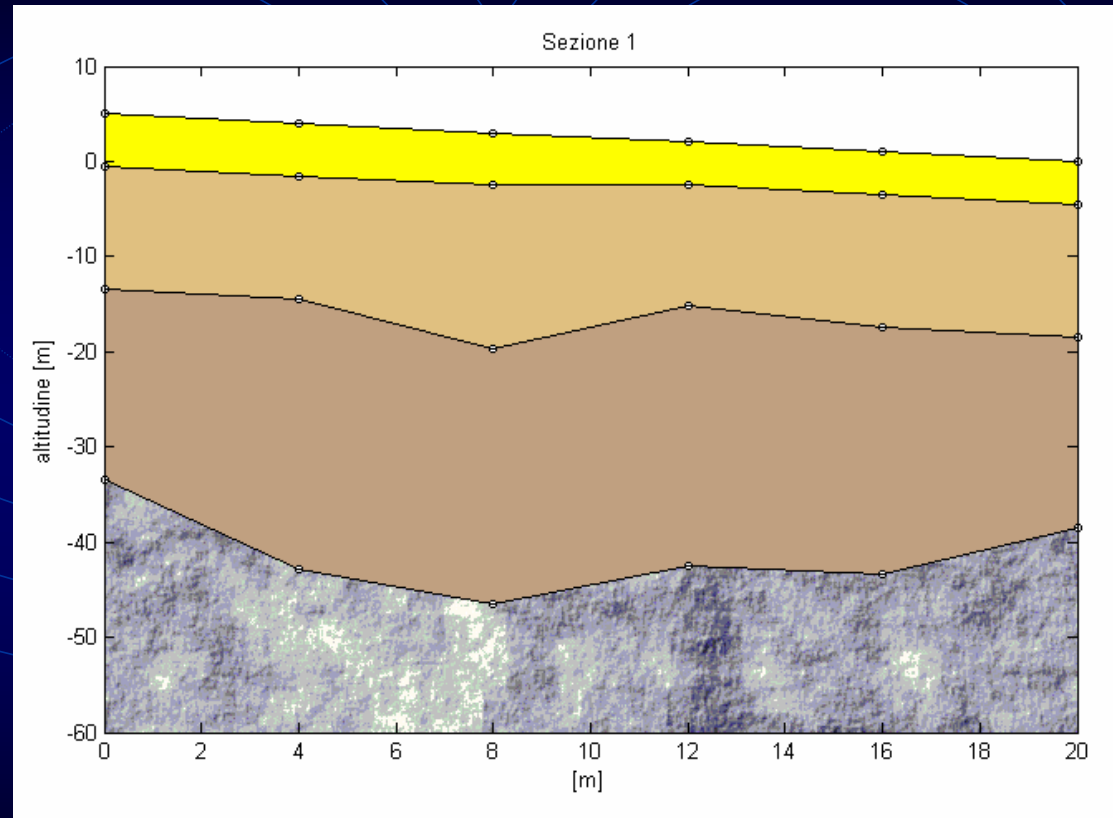
# Profilo Longitudinale

**Sabbie di  
ripascimento**

**Sabbie-ghiaie**

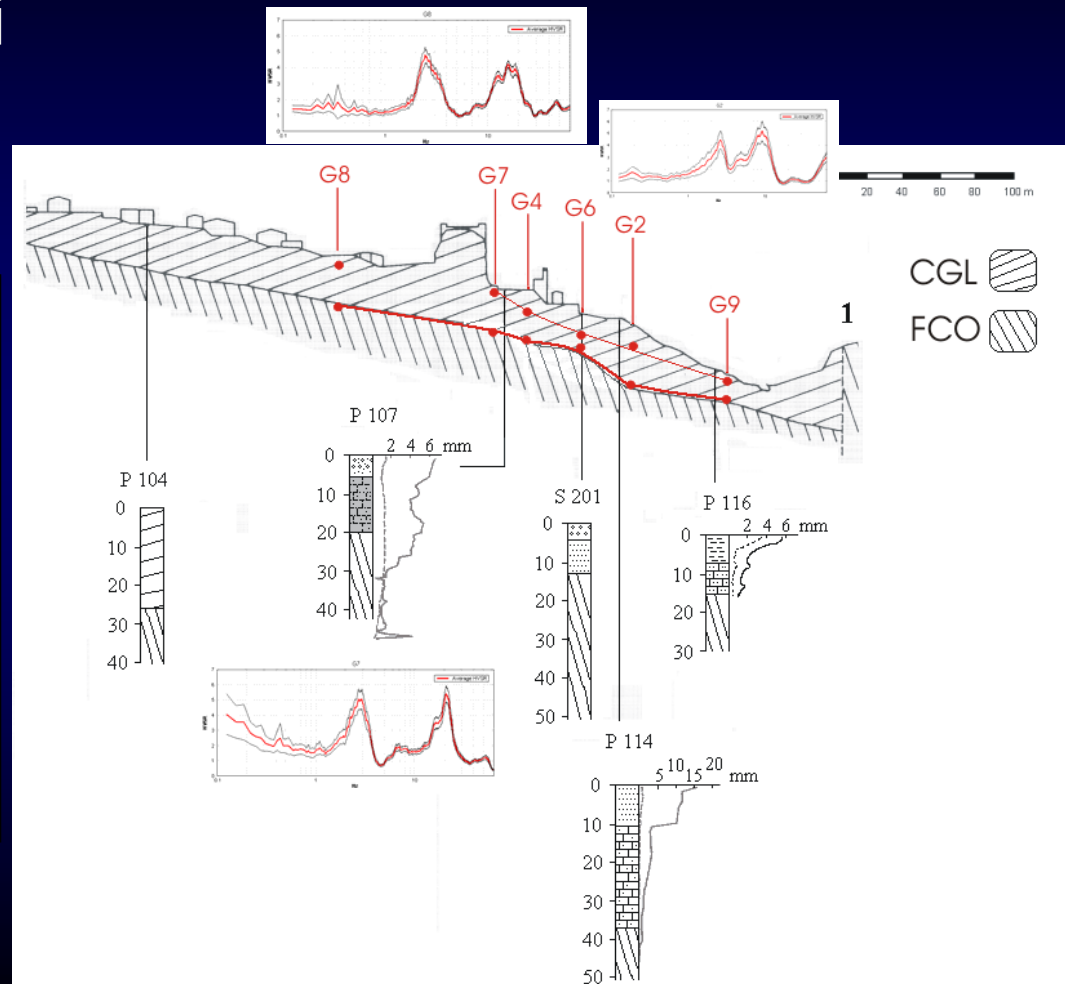
**Beachrock  
(arenaria)**

**Bedrock  
(calcare mass.)**

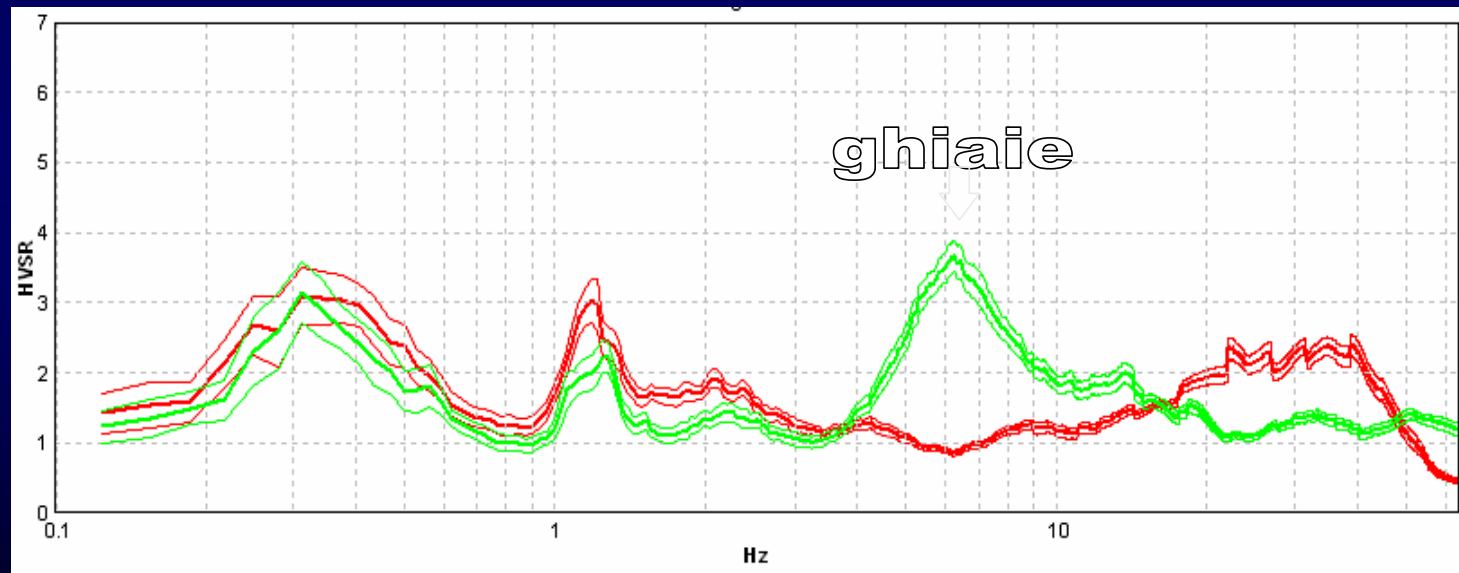
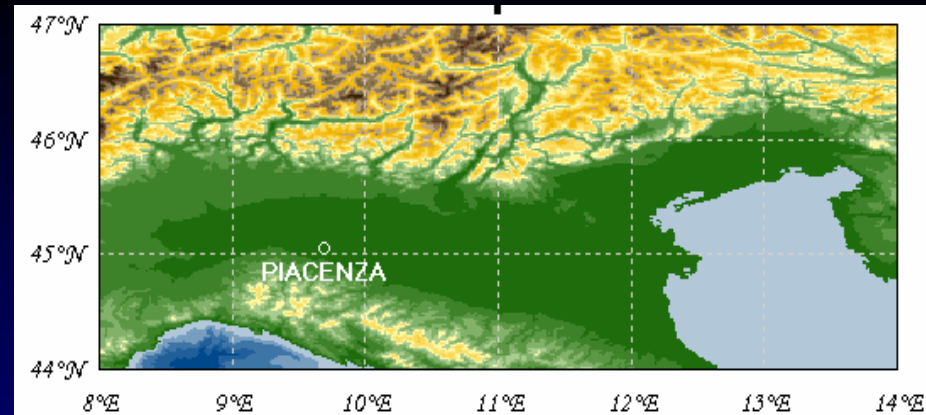


# Superfici di scivolamento di frana

identificate dai  
picchi

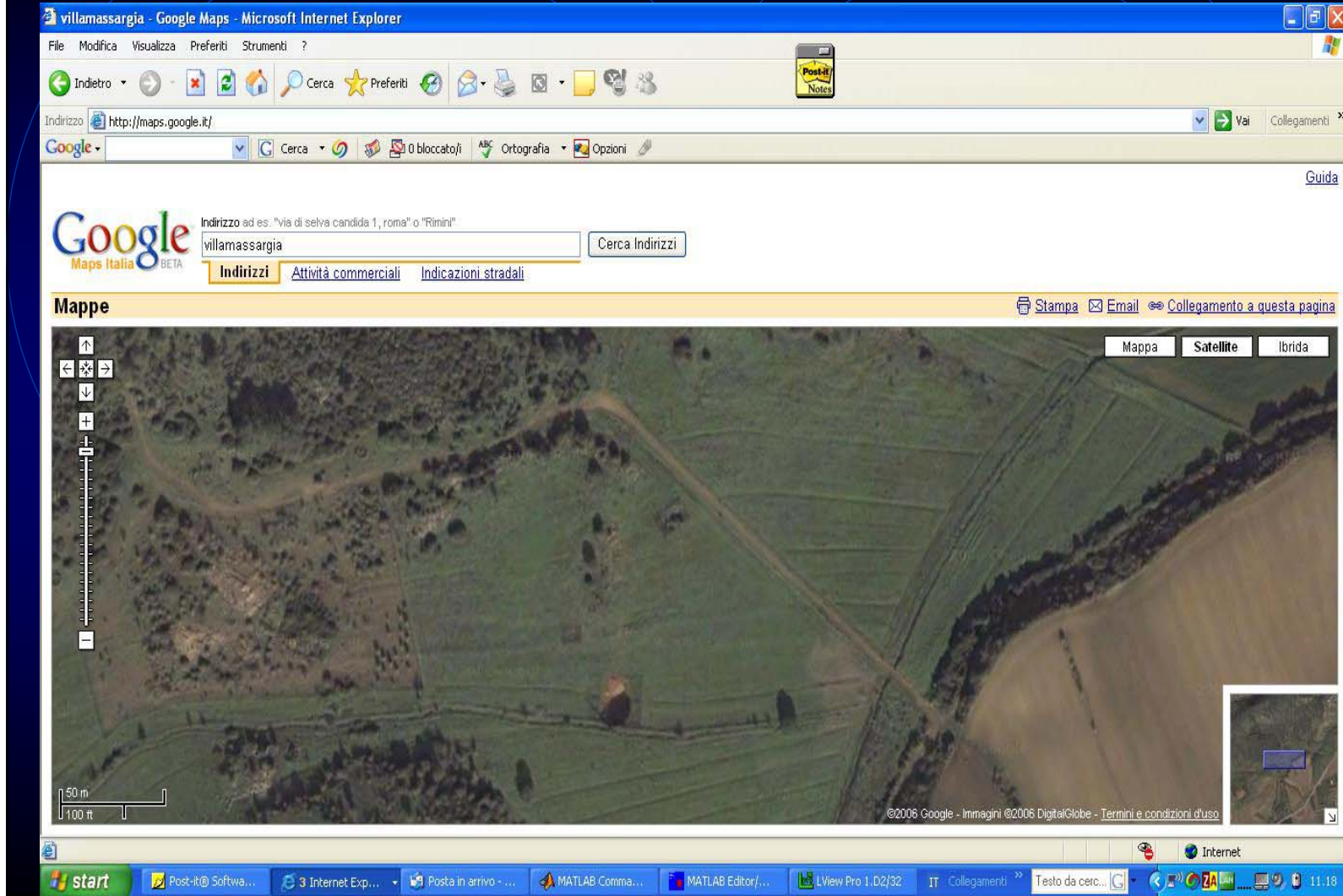


# Alternanza di ghiaie e argille in Pianura Padana



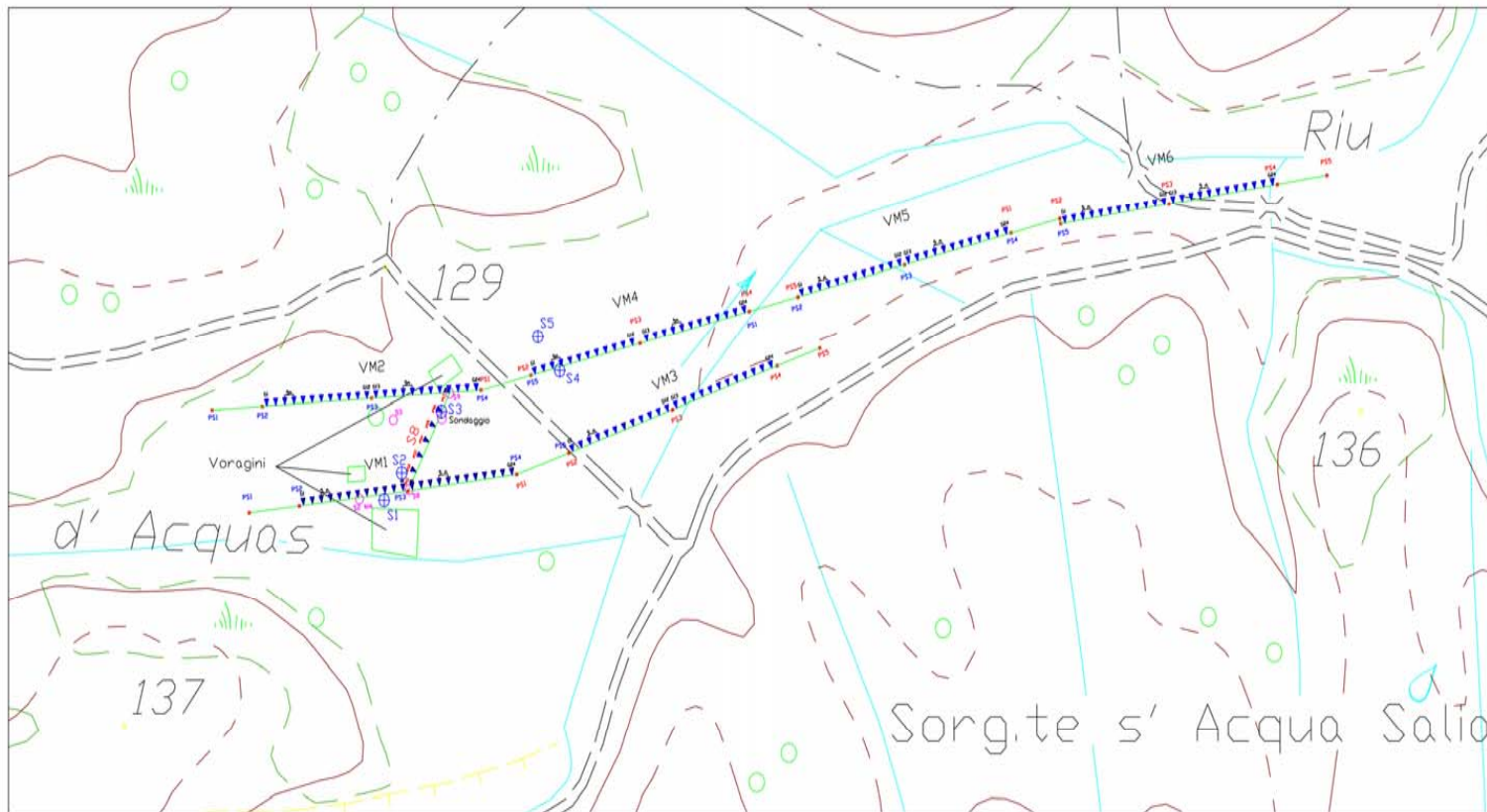
Due siti a 100 metri di distanza. RegISTRAZIONI in contemporanea

# Sinkholes in Sardegna Sud-occidentale









Posizionamento stazioni

- S1 (TR 10)
- S2 (TR 11)
- S3 (TR 12)
- S4 (TR 13)
- S5 (TR 14)

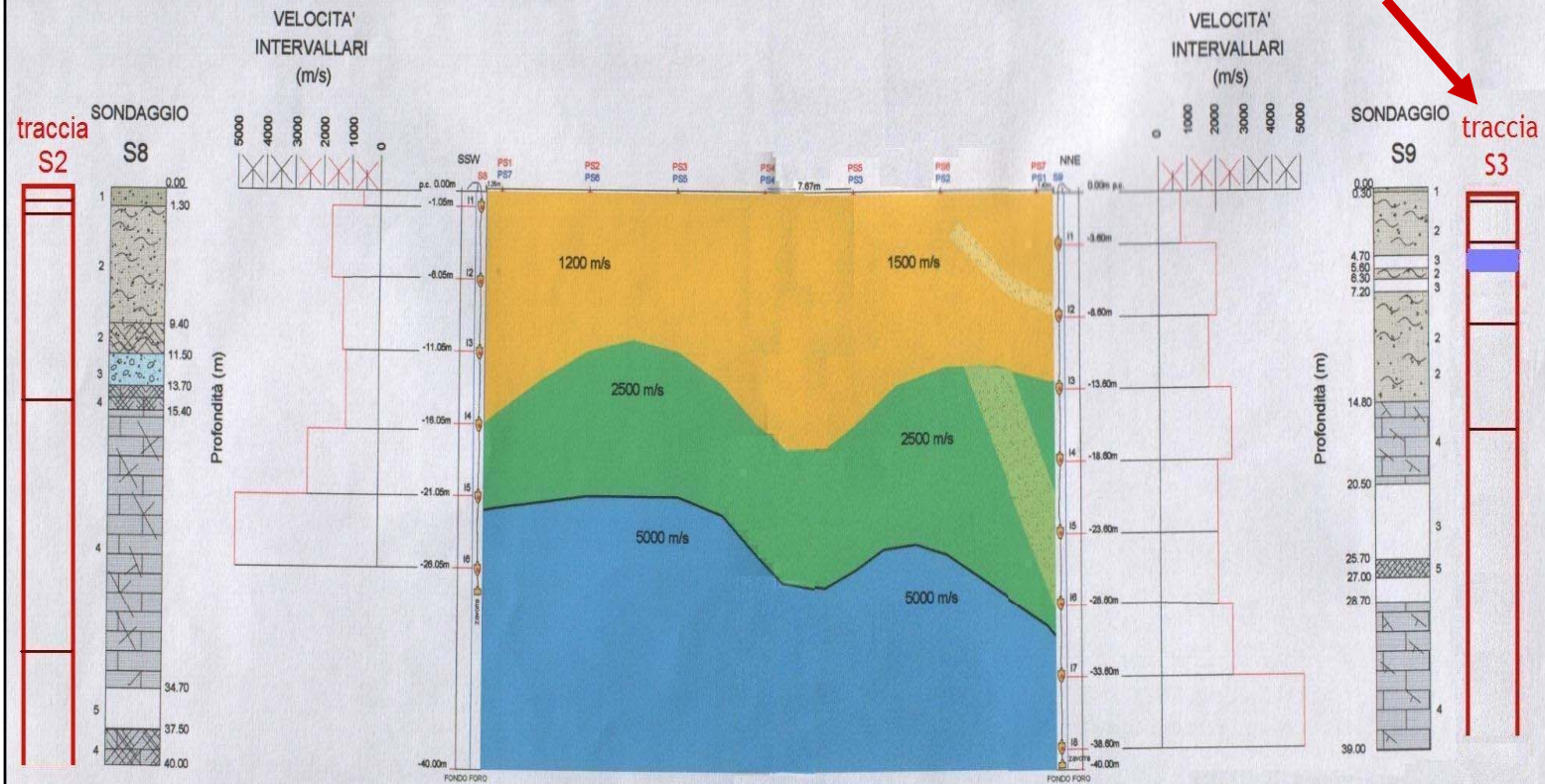
⊕ Coordinate: WGS 84 → Roma 40 Gauss Boaga

STRATIGRAFIA  
SISMICA  
PASSIVA

# TOMOGRAFIA

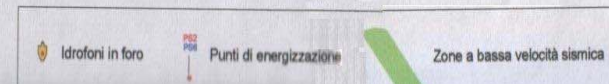
SONDAGGI S8 - S9

Sinkhole in  
embrione!

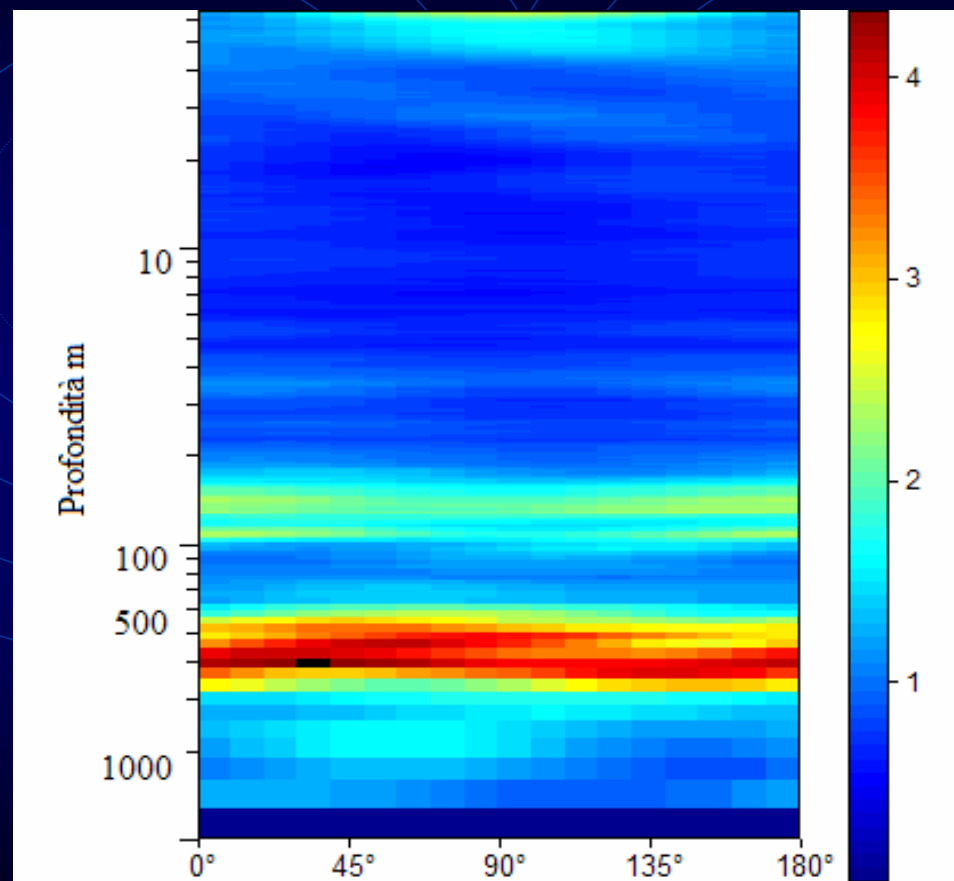


- 1) Suolo sabbioso-argilloso.
- 2) "Formazione del Cixerri" in facies limoso-sabbiosa e siltosa.
- 3) Microconglomerato oolitico ossidato e breccia cementata. 4) Dolomia grigia a tratti intensamente fratturata. 5) Cavità

LEGENDA



# Interfaccie profonde



Pisa, Piazza dei Miracoli