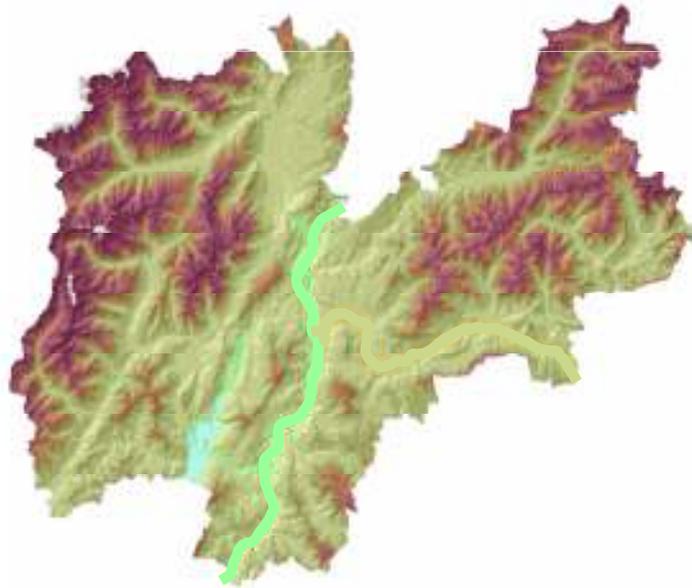


# INDAGINI GEOFISICHE ED ANALISI GEOTECNICHE NEGLI STUDI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE: ESPERIENZE IN PROVINCIA DI TRENTO

---



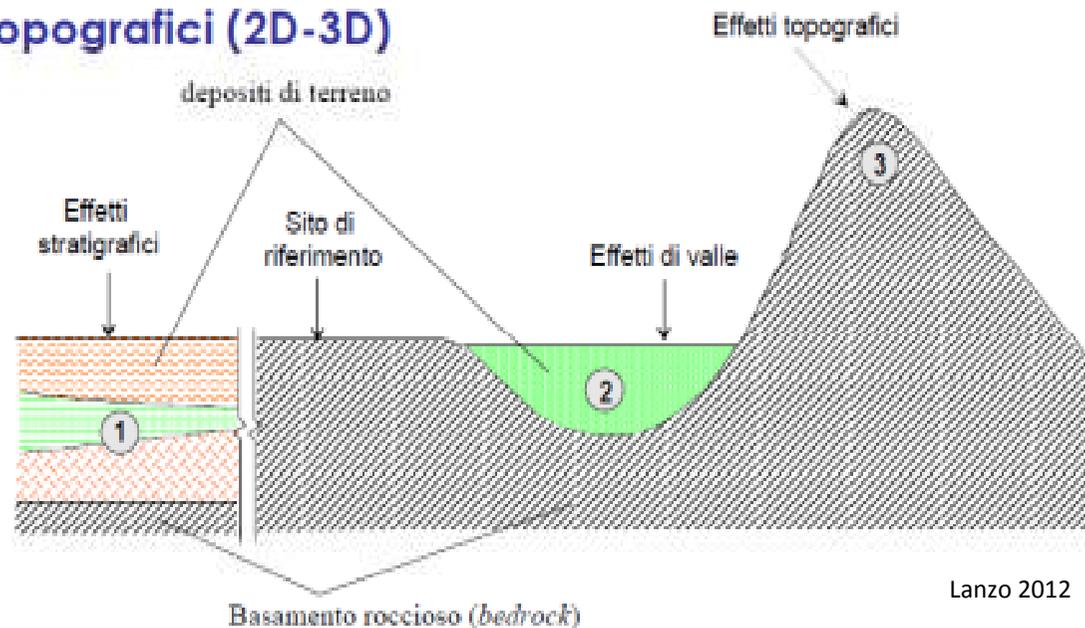
Andrea Franceschini

Fabio Fedrizzi

Servizio Geologico  
Provincia Autonoma di Trento

# RISPOSTA SISMICA LOCALE

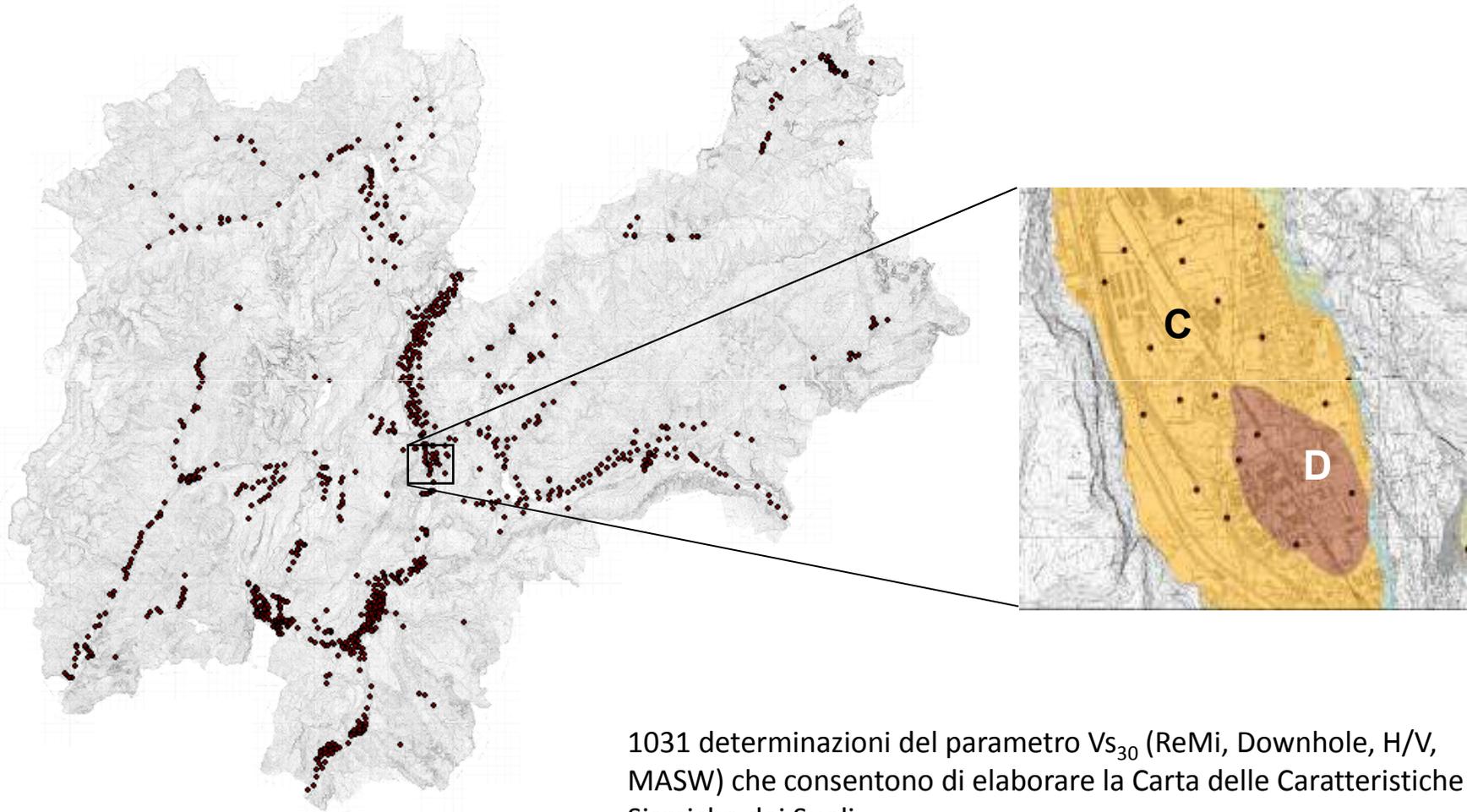
1. stratigrafici (1D)
2. di valle (2D-3D)
3. topografici (2D-3D)



Le analisi di Risposta Sismica Locale hanno la finalità di valutare come le caratteristiche del sito modificano il moto sismico sia in termini di contenuto in frequenza che di ampiezza

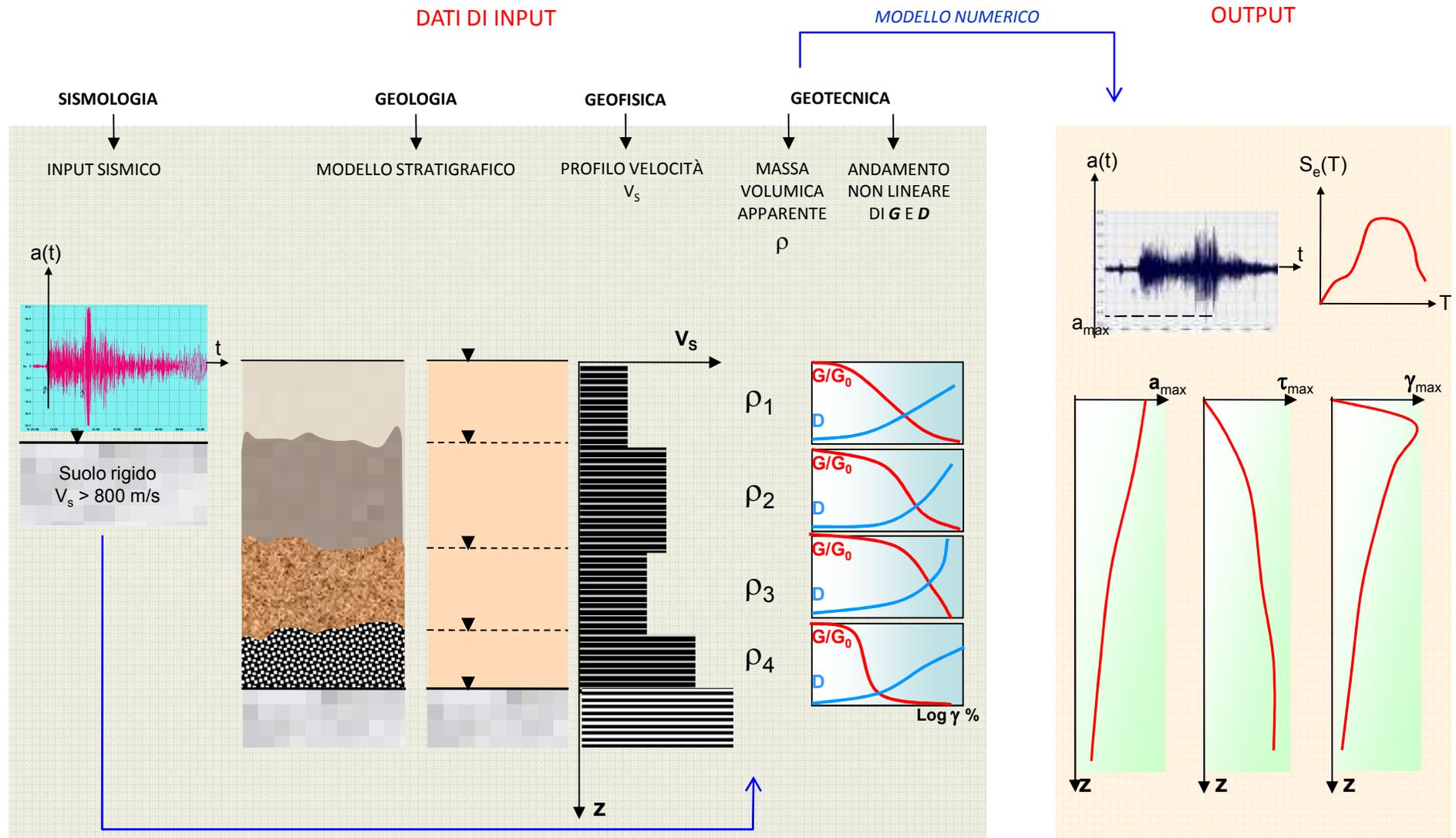
**Approccio semplificato (D.M. 14.01.2008 – par. 3.2.2): determinazione parametro  $V_{s30}$  e condizioni topografiche**

# APPROCCIO SEMPLIFICATO: DETERMINAZIONE $V_{s30}$

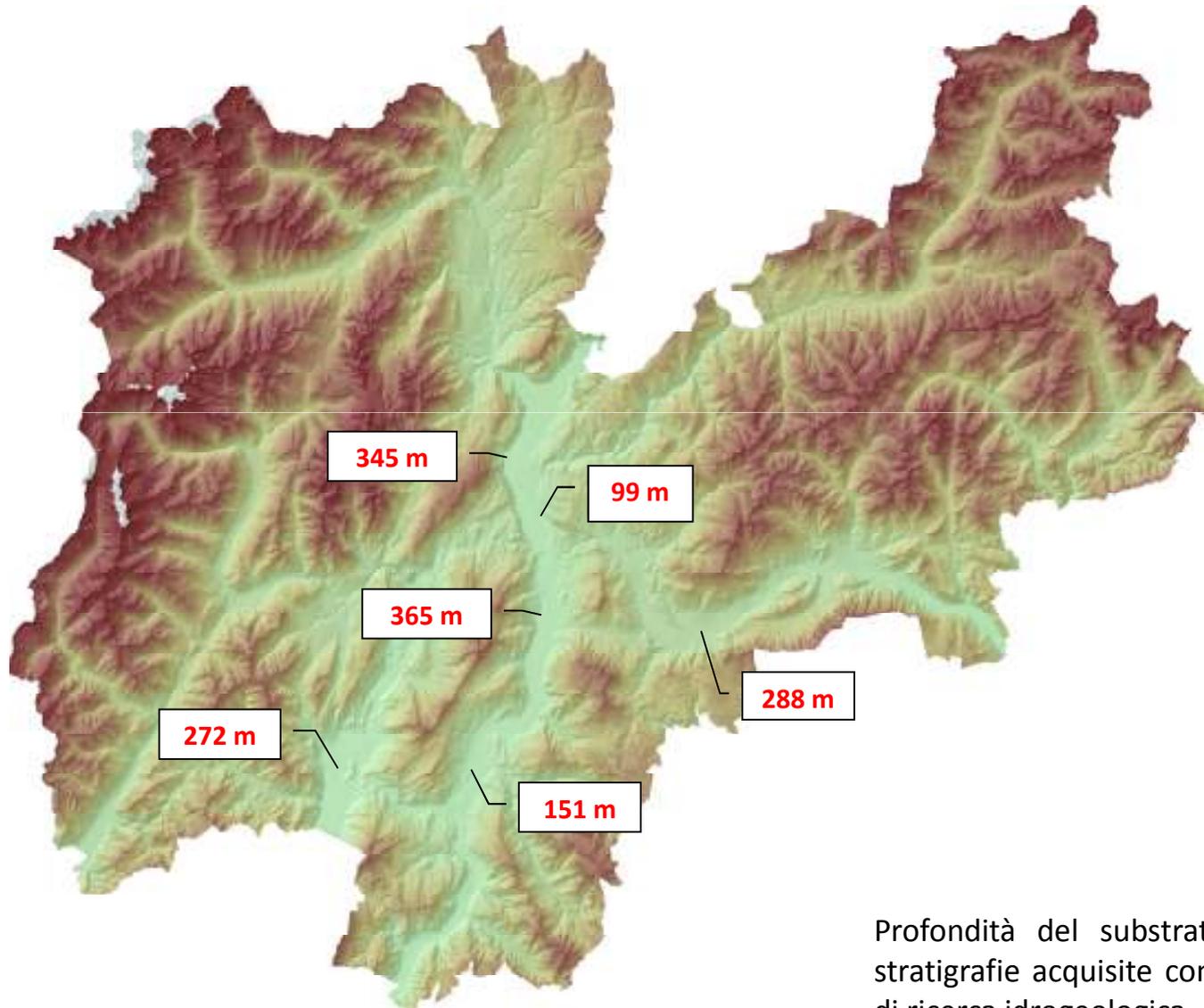


1031 determinazioni del parametro  $V_{s30}$  (ReMi, Downhole, H/V, MASW) che consentono di elaborare la Carta delle Caratteristiche Sismiche dei Suoli

# RISPOSTA SISMICA LOCALE: METODI NUMERICI



# GEOLOGIA: PROFONDITÀ SUBSTRATO DA INDAGINI DIRETTE



Profondità del substrato roccioso determinato con stratigrafie acquisite con sondaggi geognostici e pozzi di ricerca idrogeologica

# GEOFISICA: TECNICHE D'INDAGINE

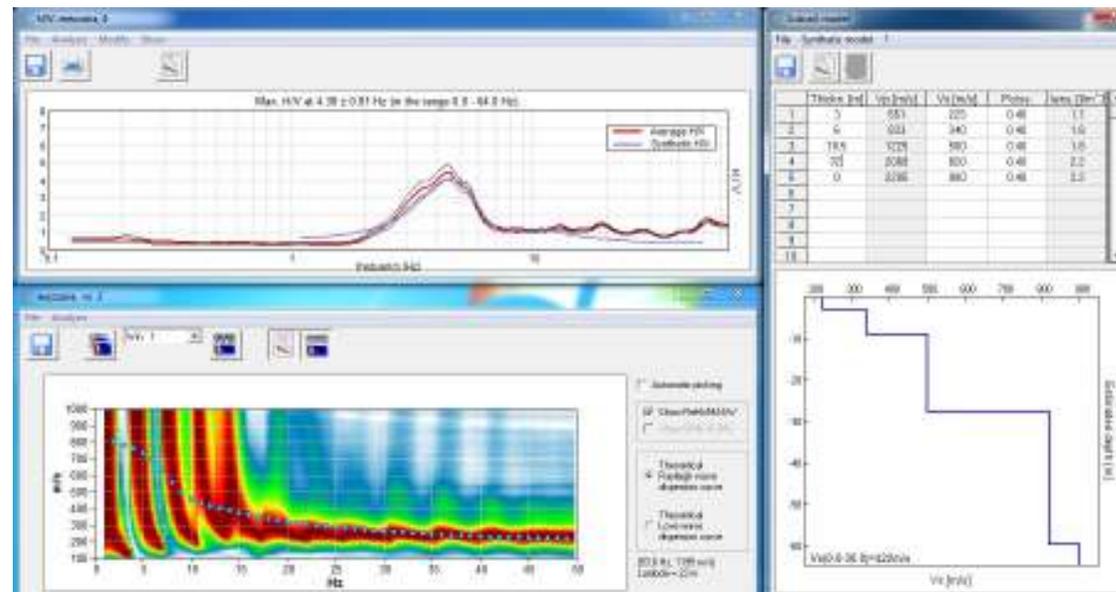
Indagini geofisiche: uso combinato tra tecniche sismiche passive a stazione singola e tecniche in array

Metodo H/V: la curva H/V mostra il valore del rapporto tra le ampiezze spettrali delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione, consentendo di individuare a quali frequenze di vibrazione ( $f_0$ ) il moto del terreno può risultare amplificato per fenomeni di risonanza

Relazione tra  $V_s$ ,  $h$  e  $f_0$ :

Necessità di definire una seconda incognita!

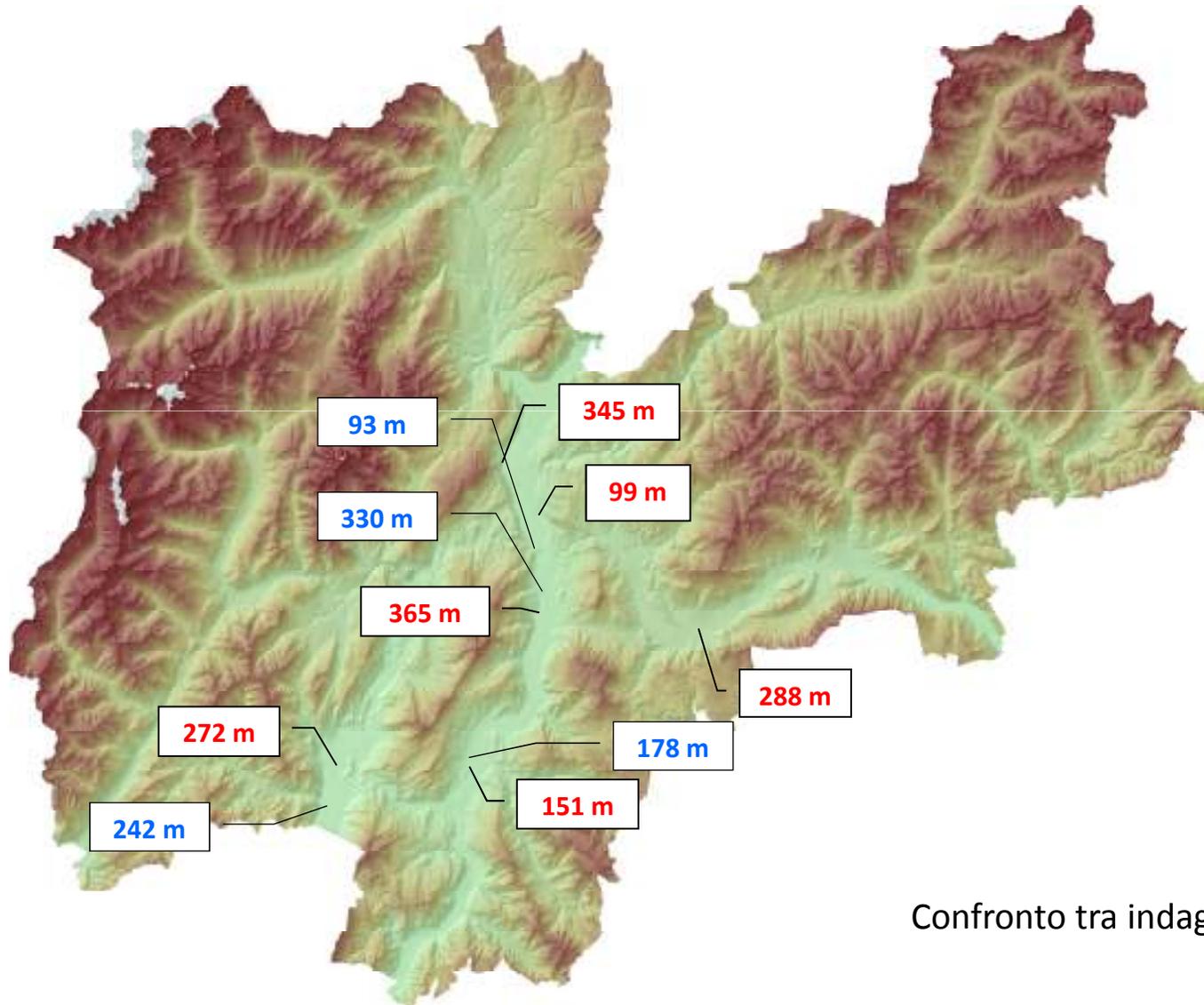
Curva H/V



Indagine "in array"  
(MASW)



# GEOFISICA: TARATURA INDAGINI



Confronto tra indagini **dirette** ed **indirette**

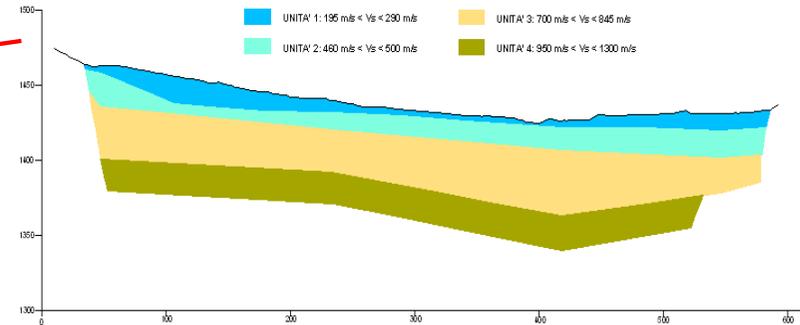
# MICROZONAZIONE MS3 A CANAZEI



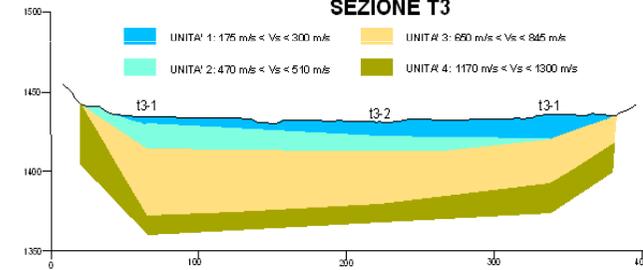
23 curve H/V + 23 indagini MASW,  
2 indagini ERT, 1 DH



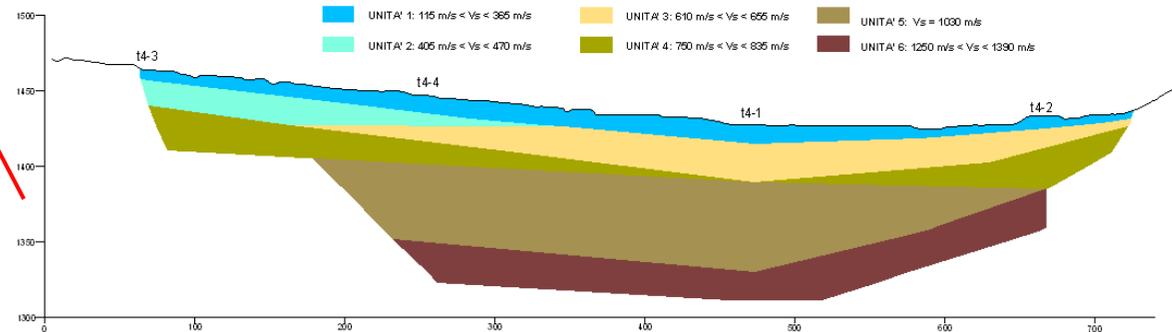
SEZIONE T1



SEZIONE T3



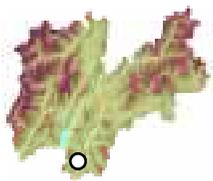
SEZIONE T4



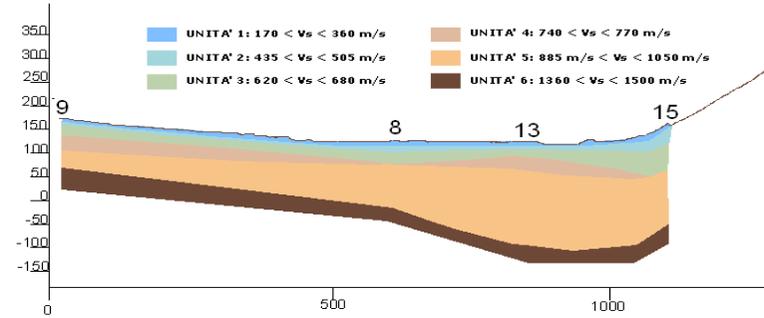
# ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE AD AVIO



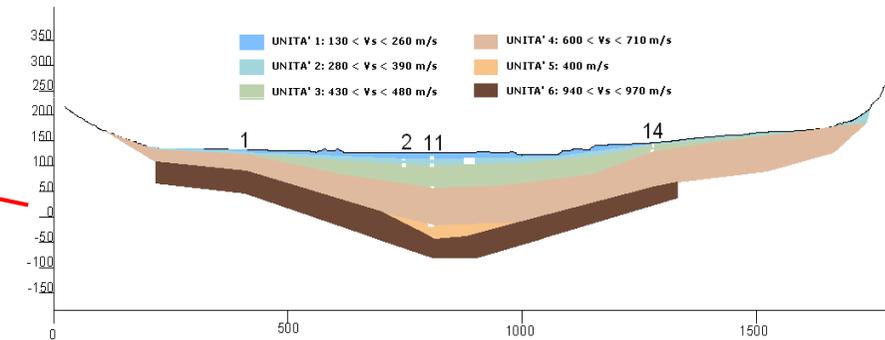
19 curve H/V + 19 indagini MASW



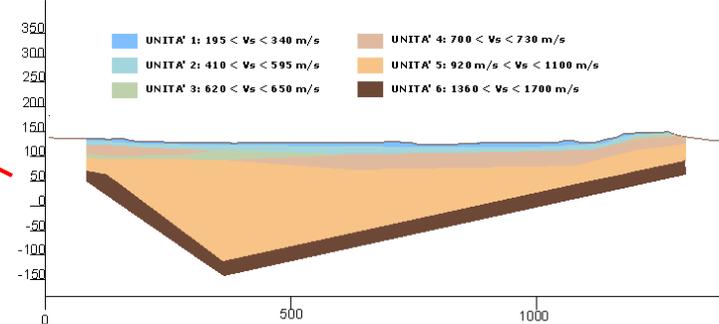
**PROFILO 3**



**PROFILO 1**



**PROFILO 5**



# GEOTECNICA: RUOLO DELLA SPERIMENTAZIONE

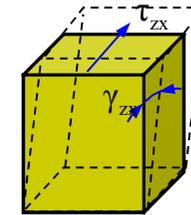
Generalmente nei problemi dinamici riguardanti i terreni saturi, la velocità di applicazione delle sollecitazioni è sufficientemente elevata da potere assumere condizioni di drenaggio impedito (condizioni non drenate).

In condizioni di carico ciclico si definiscono:

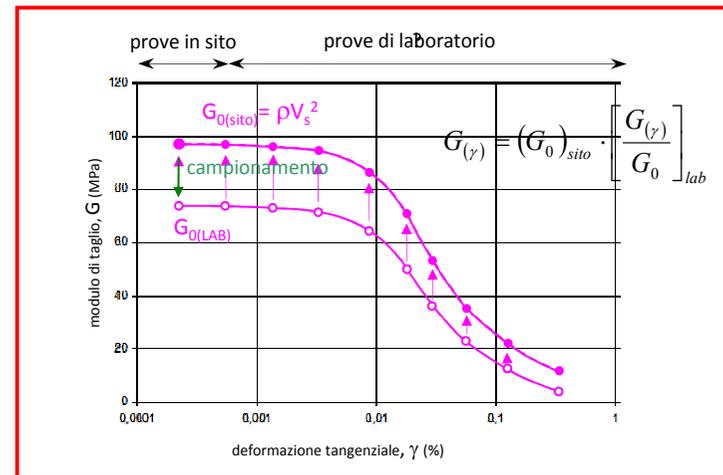
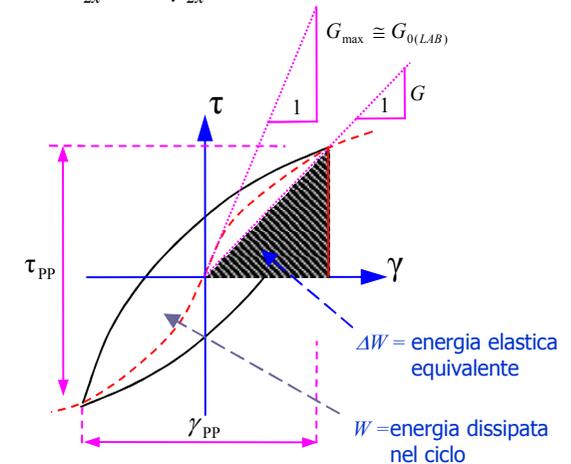
$G$  = Modulo di taglio  $G_{eq} = \frac{\tau_{PP}}{\gamma_{PP}}$

$D$  = Fattore di smorzamento  $D = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$

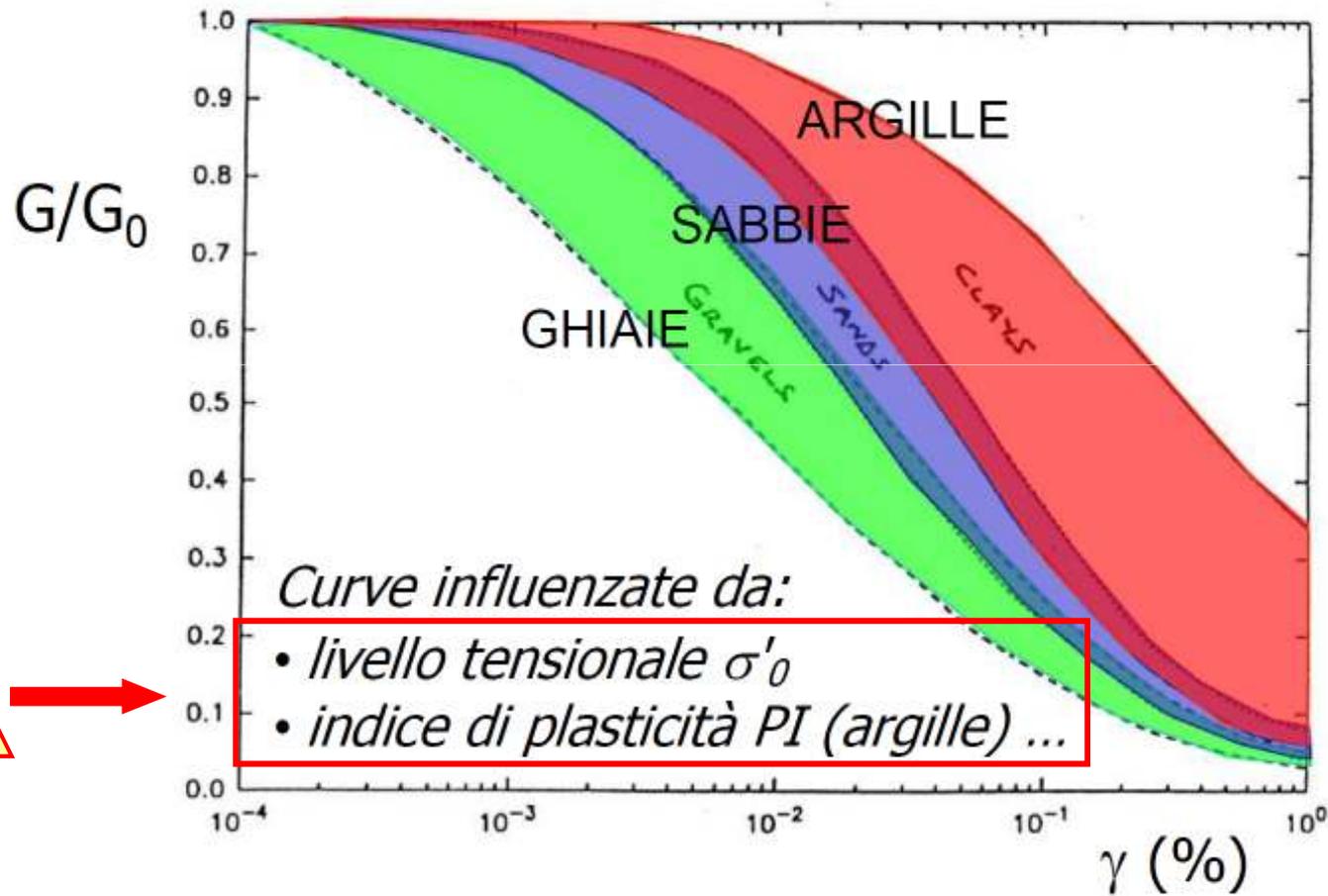
Problema della non linearità: all'aumento del livello della sollecitazione il ciclo di isteresi si inclina sempre di più e si allarga progressivamente.



$$\tau_{zx} = G \cdot \gamma_{zx}$$



# CRITERI DI SCELTA DELLE CURVE DI DECADIMENTO



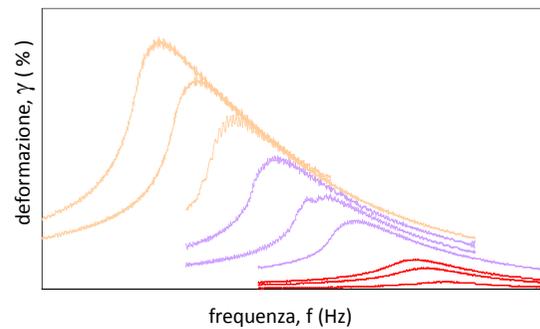
# COLONNA RISONANTE E TAGLIO TORSIONALE CICLICO

## Colonna Risonante (RC)

- vibrazione torsionale sinusoidale a frequenza variabile
- alta frequenza (intervalli da 50 a 300 Hz)

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\omega_n l}{V_S} \tan \frac{\omega_n l}{V_S}$$

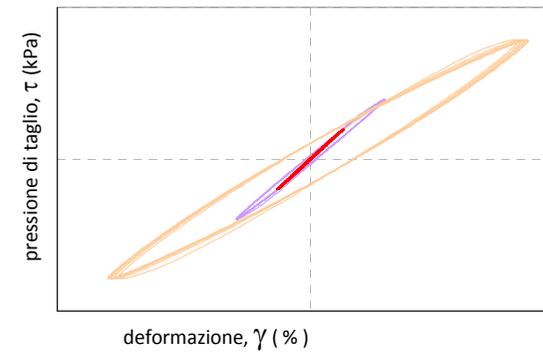
$$G = \rho \cdot V_S^2$$



## Taglio Torsionale Ciclico (CTS)

- vibrazione torsionale sinusoidale a frequenza costante
- bassa frequenza (0,1 – 5 Hz)

$$G_{eq} = \frac{\tau_{PP}}{\gamma_{PP}}$$



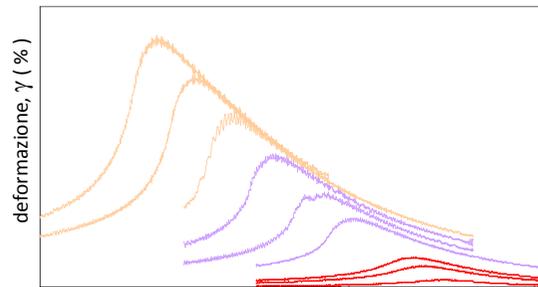
# COLONNA RISONANTE E TAGLIO TORSIONALE CICLICO

## Colonna Risonante (RC)

- vibrazione torsionale sinusoidale a frequenza variabile
- alta frequenza (intervalli da 50 a 300 Hz)

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\omega_n l}{V_S} \tan \frac{\omega_n l}{V_S}$$

$$G = \rho \cdot V_S^2$$

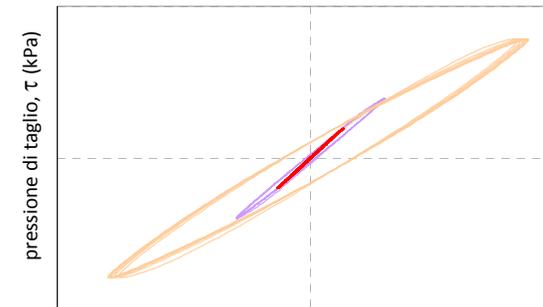


frequenza, f (Hz)

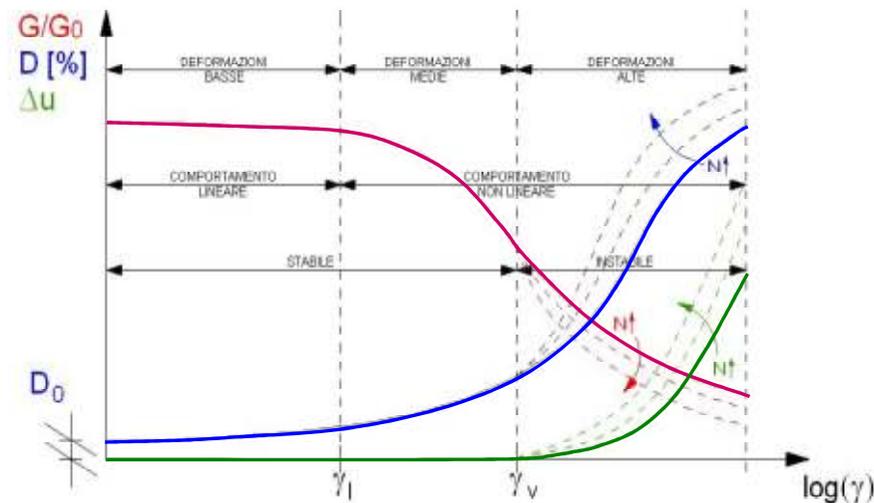
## Taglio Torsionale Ciclico (CTS)

- vibrazione torsionale sinusoidale a frequenza costante
- bassa frequenza (0,1 – 5 Hz)

$$G_{eq} = \frac{\tau_{PP}}{\gamma_{PP}}$$



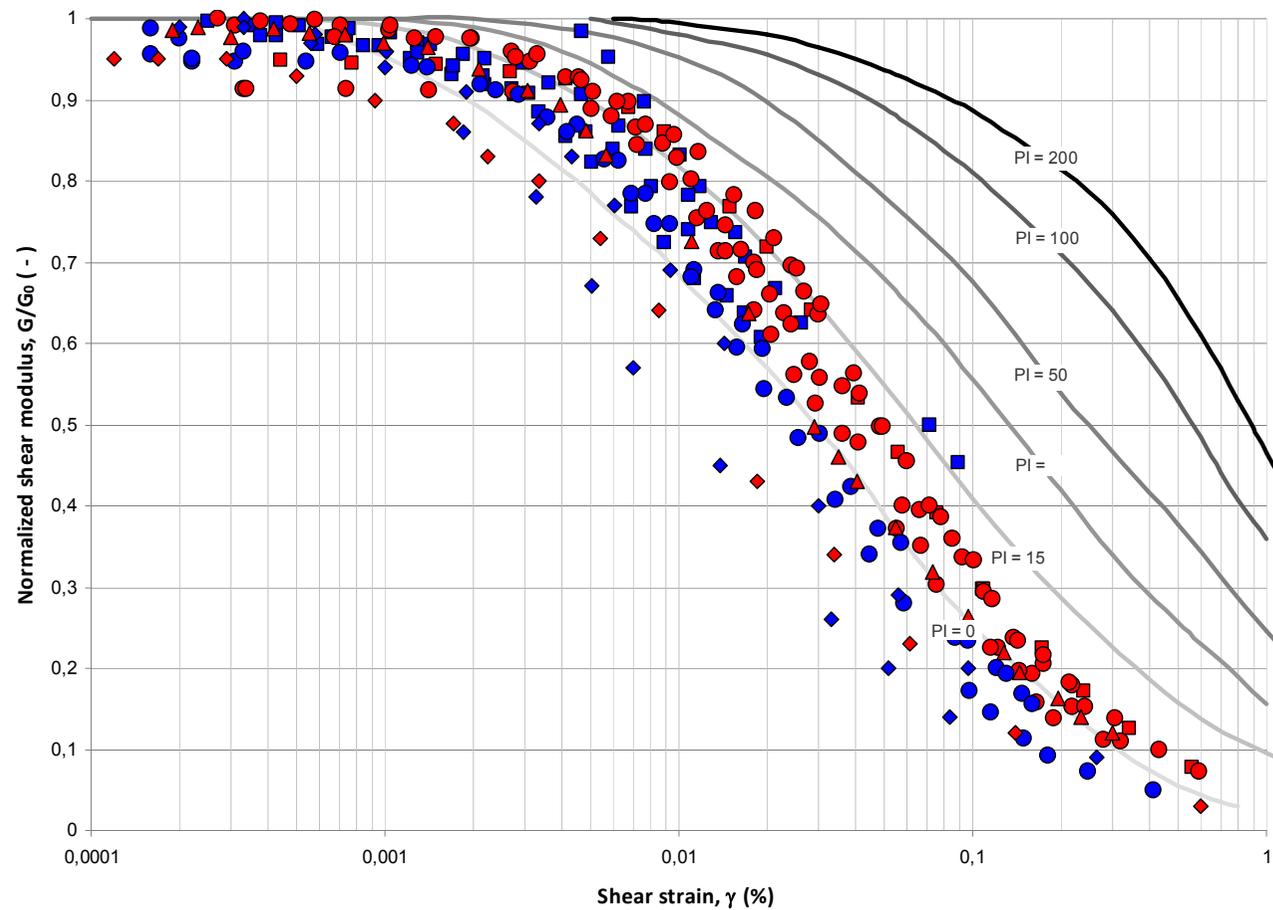
deformazione,  $\gamma$  (%)



# ARGILLE E LIMI: INFLUENZA DELLA PLASTICITÀ

- Limi e argille: confronto con bibliografia ( Vucetic & Dobry, 1981 )

- **Caldes**, 6 campioni, argille di media e bassa plasticità
  - **Murazzi**, 5 campioni, limi e argille di media e bassa plasticità
  - ◇ **Villazzano**, 3 campioni, argille di bassa plasticità
  - △ **Strigno**, 1 campione, argilla di media plasticità
- IP  $\geq$  15
- IP < 15



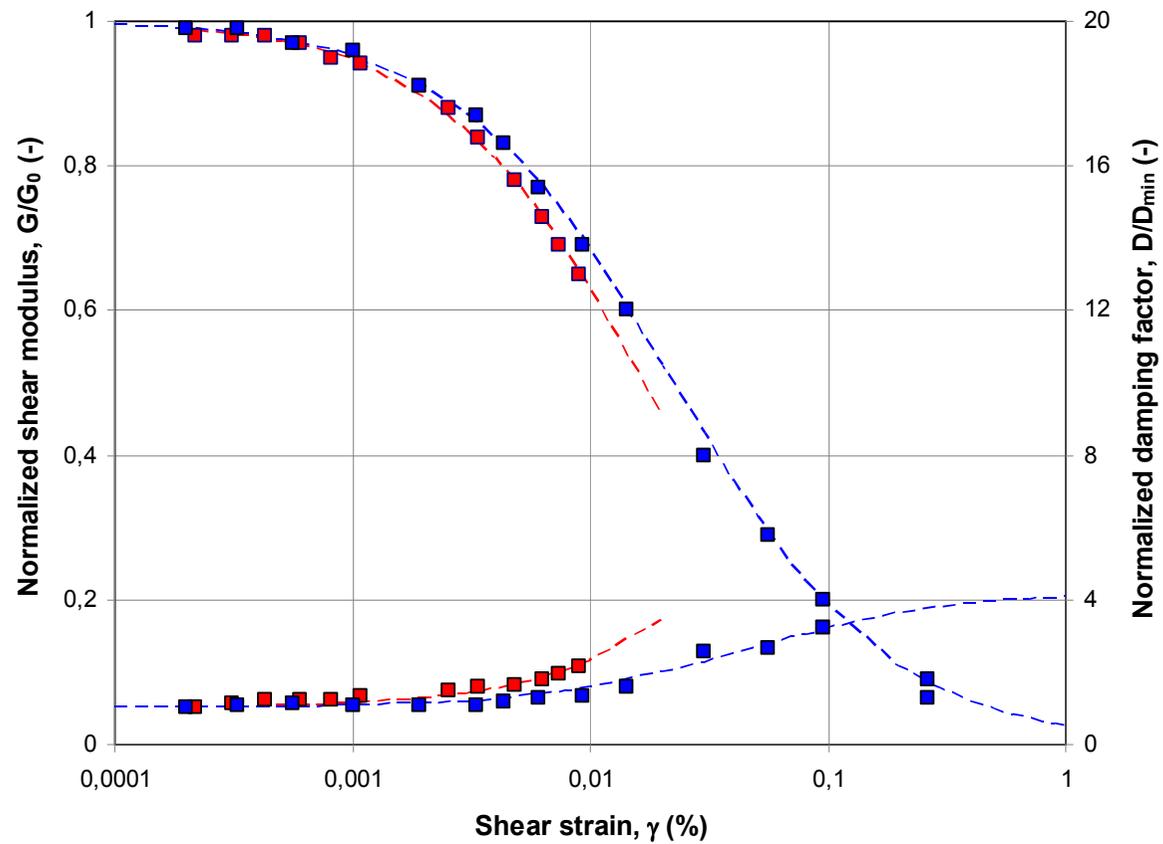
# INFLUENZA DELLA PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE MEDIA

- Prove ripetute sullo stesso provino a diverse pressioni di consolidazione

$\sigma'_m = 100$  kPa

$\sigma'_m = 200$  kPa

□ Loc. Murazzi, sabbia limosa

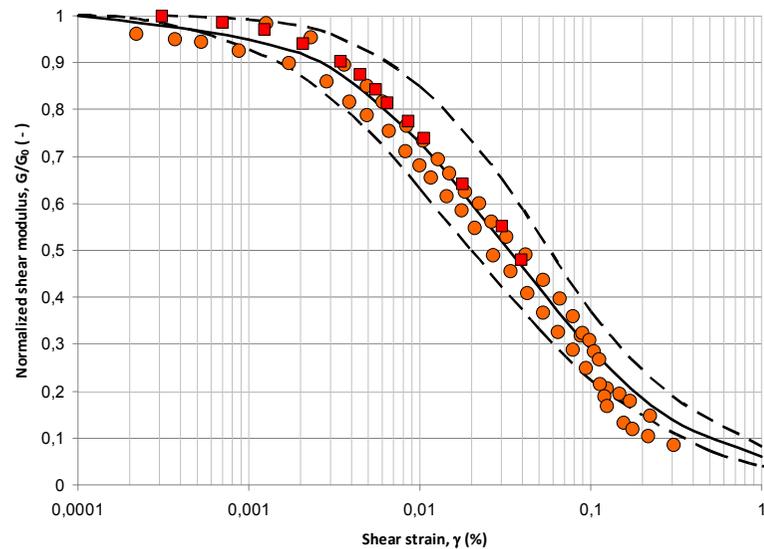
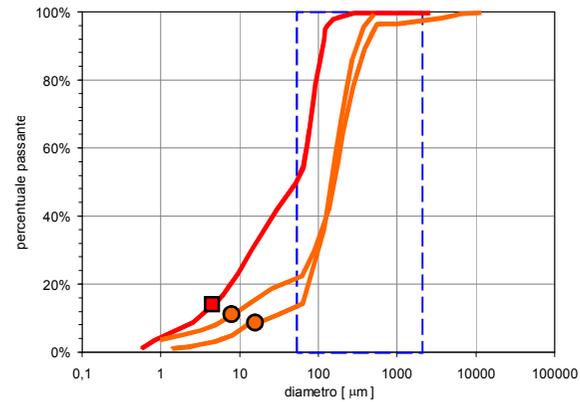


# SABBIE: INFLUENZA DEL GRADO DI ADDENSAMENTO

- Sabbie: confronto con bibliografia ( Seed & Idriss, 1970 )

● Caldes, 2 campioni di sabbia limosa

■ Murazzi, 1 campione di sabbia con limo



# SABBIE: INFLUENZA DEL GRADO DI ADDENSAMENTO

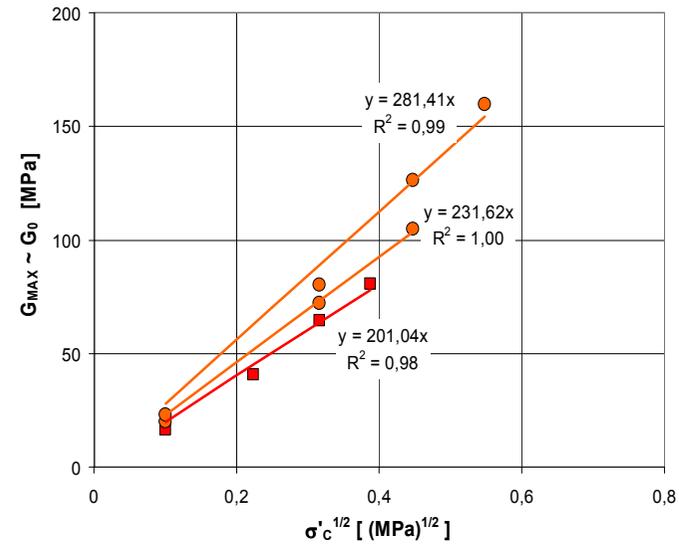
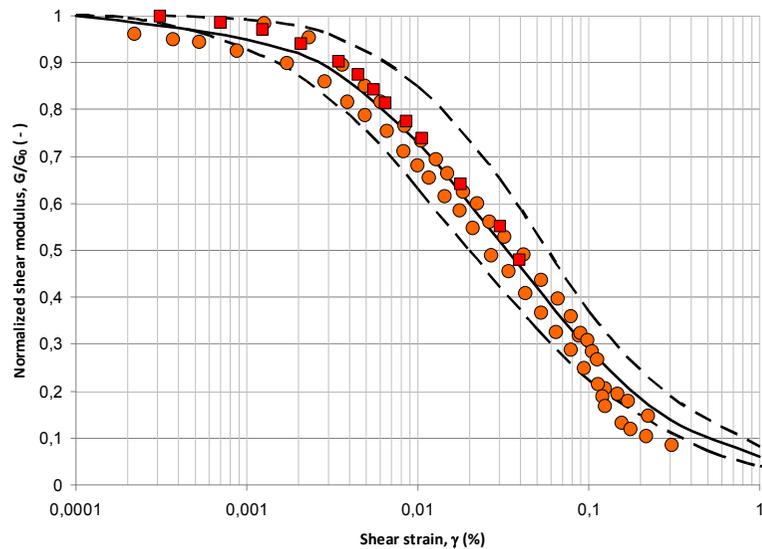
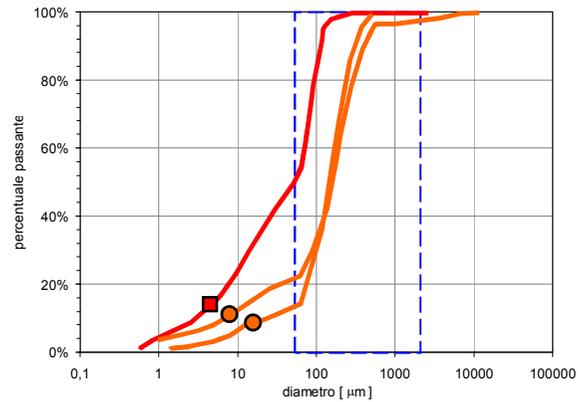
- Sabbie: confronto con bibliografia (Seed & Idriss, 1970)

- Caldes, 2 campioni di sabbia limosa
- Murazzi, 1 campione di sabbia con limo

$$G = 1000K_2(\sigma'_c)^{1/2} \quad [\text{psf}]$$

$$G_{\max} = 1000K_{2(\max)}(\sigma'_c)^{1/2} \quad [\text{psf}]$$

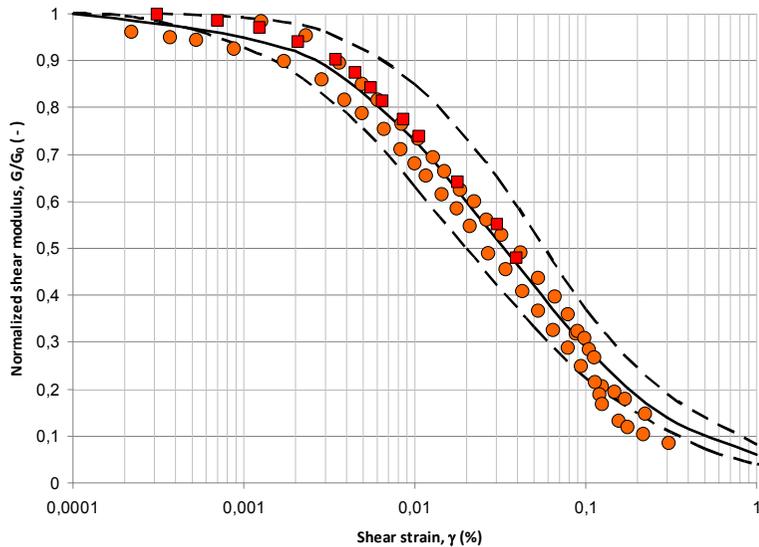
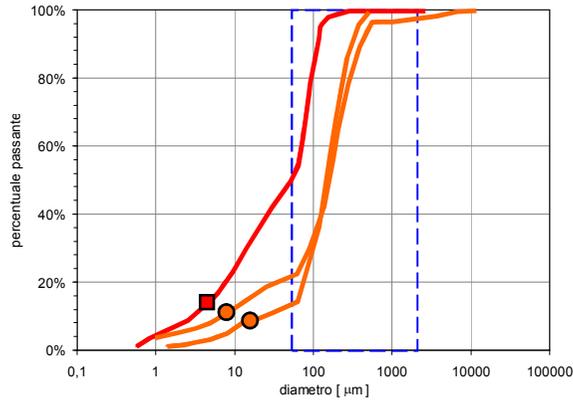
$$\frac{G_{\max}}{\sqrt{\sigma'_c}} = 6,92 \cdot (K_2)_{\max} \quad [\text{MPa}]$$



# SABBIE: INFLUENZA DEL GRADO DI ADDENSAMENTO

- Sabbie: confronto con bibliografia (Seed & Idriss, 1970)

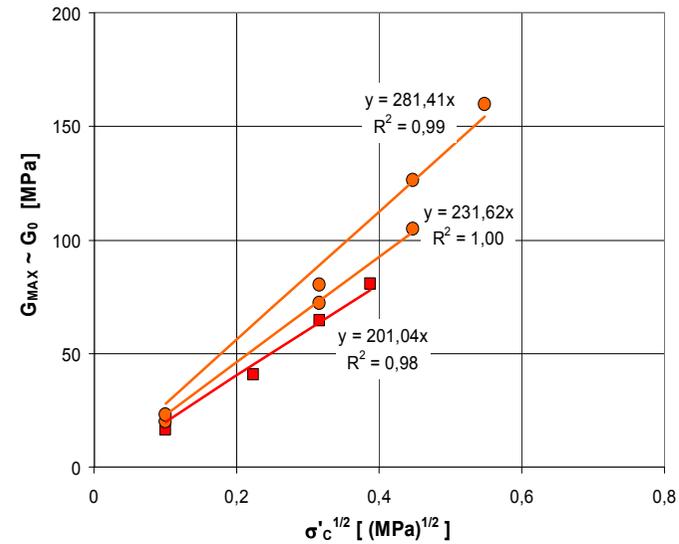
- Caldes, 2 campioni di sabbia limosa
- Murazzi, 1 campione di sabbia con limo



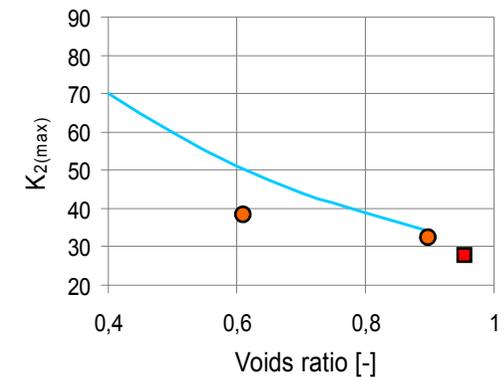
$$G = 1000K_2(\sigma'_c)^{1/2} \quad [\text{psf}]$$

$$G_{\max} = 1000K_{2(\max)}(\sigma'_c)^{1/2} \quad [\text{psf}]$$

$$\frac{G_{\max}}{\sqrt{\sigma'_c}} = 6,92 \cdot (K_2)_{\max} \quad [\text{MPa}]$$



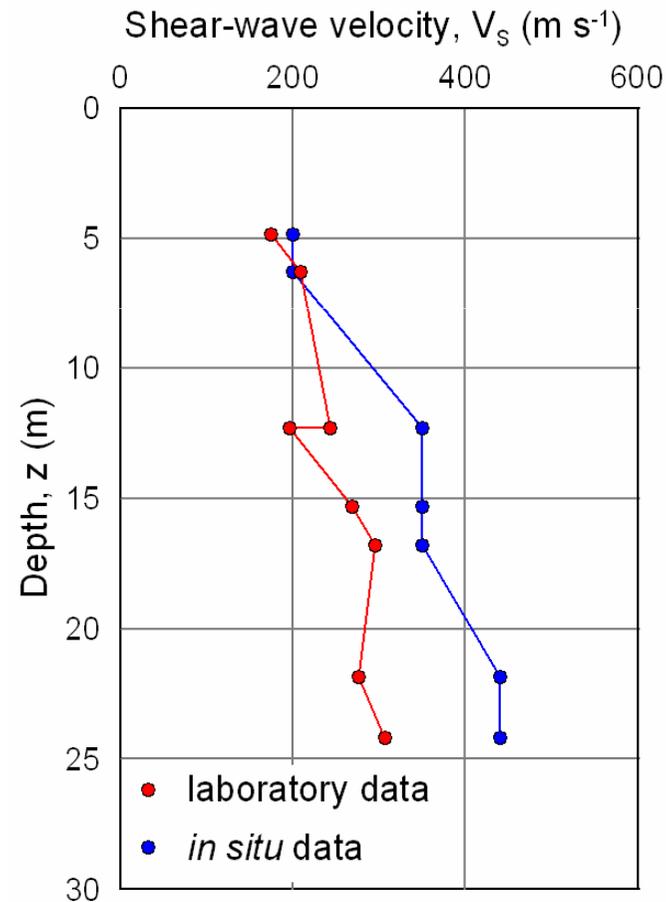
Seed, & Idriss, 1970		This study	
Voids ratio	$K_{2(\max)}$	Voids ratio	$K_{2(\max)}$
-	-	-	-
0,4	70		
0,5	60		
0,6	51	0,61	39,2
0,7	44		
0,8	39	0,89	33,5
0,9	34	0,95	28,1



# CONFRONTO CON PROVE GEOFISICHE *IN SITU*

- Confronto tra velocità delle onde di taglio  $V_s$  ottenute da prove geofisiche *in situ* (ERT, MASW, FTAN, HVSR)
- I valori di  $V_s$  di laboratorio sono ottenuti dai valori di  $G_0$  ottenuti da 8 campioni analizzati a diverse profondità
- I valori di  $G_0$  sono ottenuti con interpolazione riferita alla pressione dello strato di riferimento di più valori misurati in RC

Caldes, 8 campioni



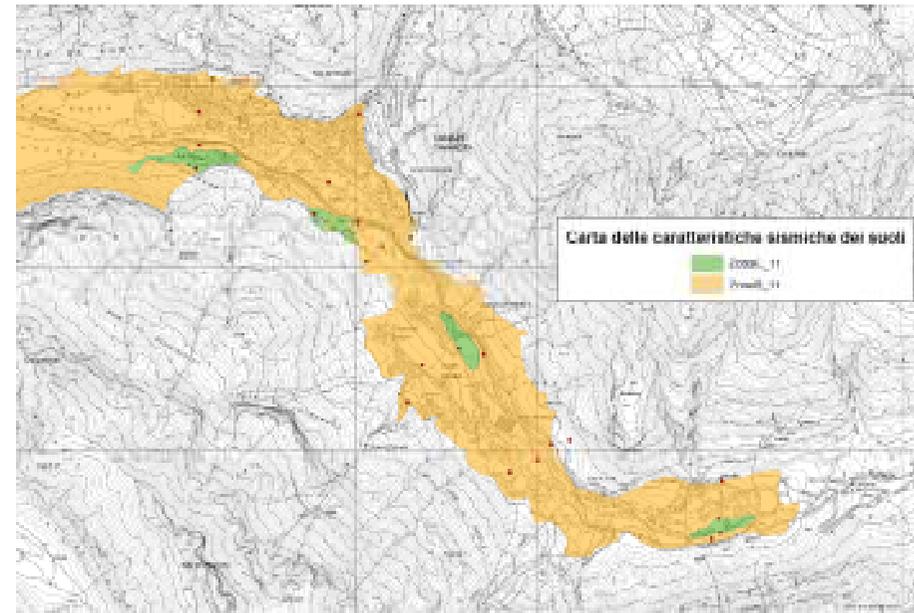
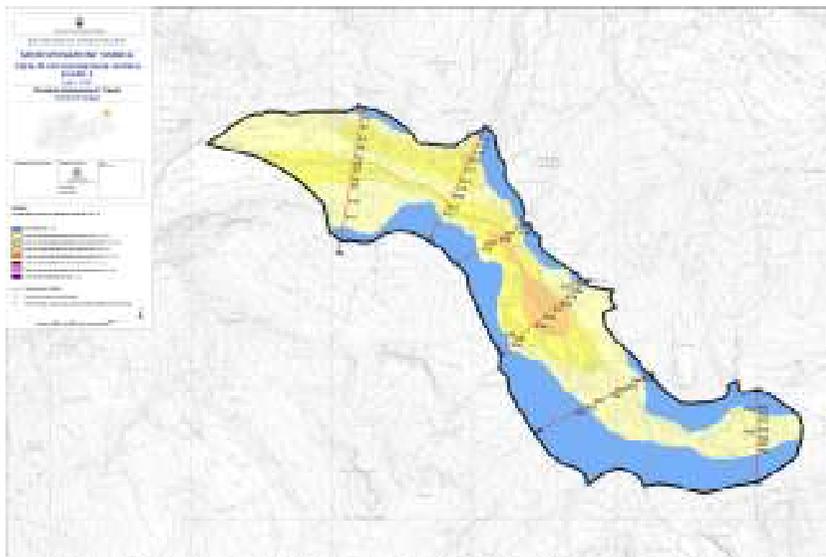
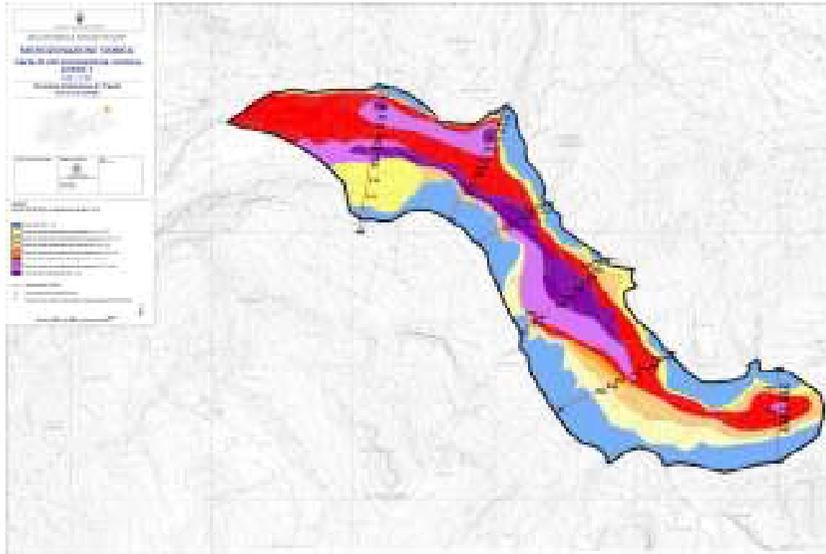
$$G = \rho \cdot V_s^2$$

Generalmente:

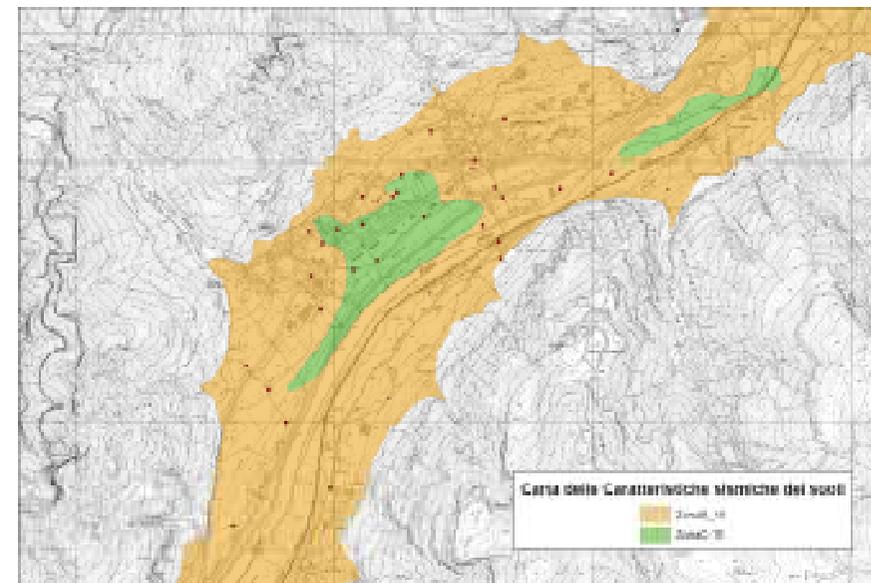
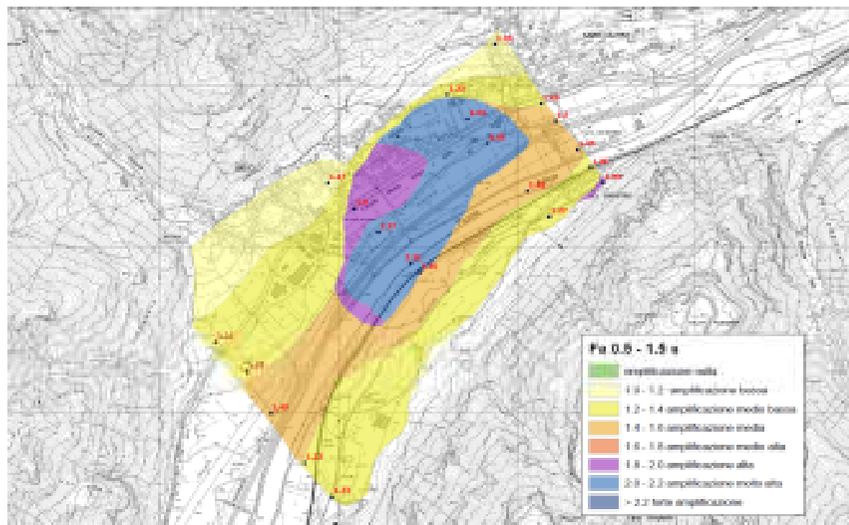
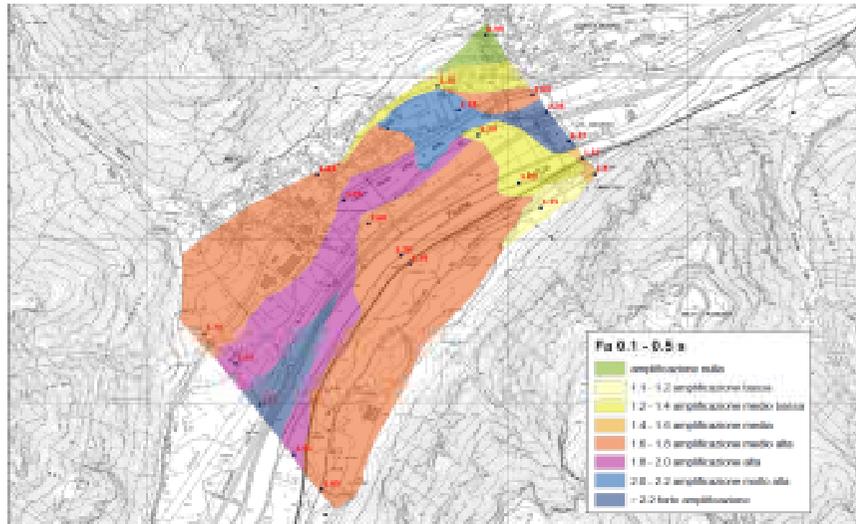
$$\frac{G_{0(sito)}}{G_{0(LAB)}} = 1,5 \div 2,5$$

da Paola Monaco,  
2014

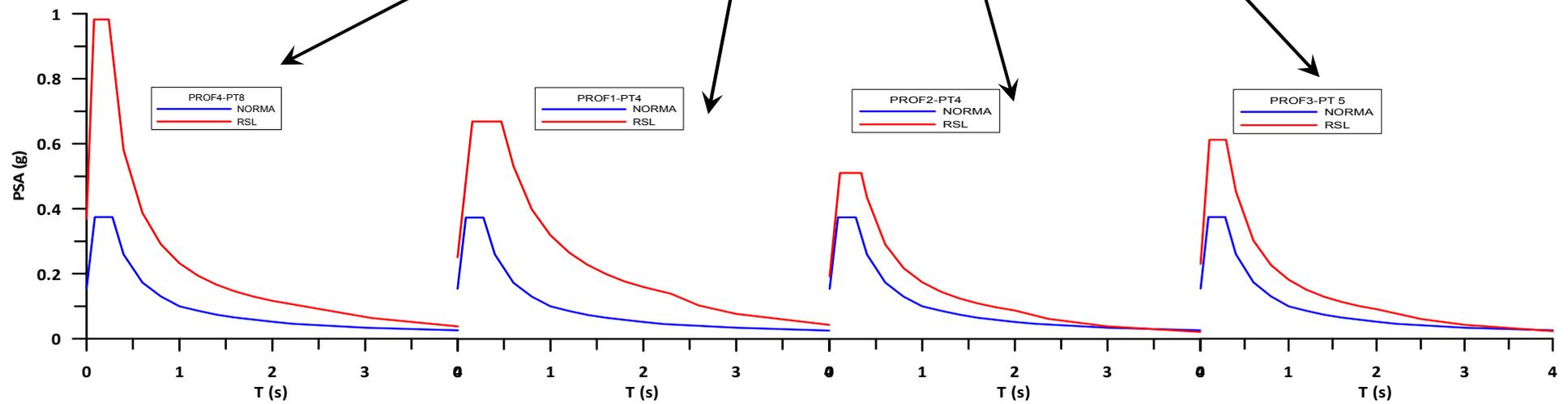
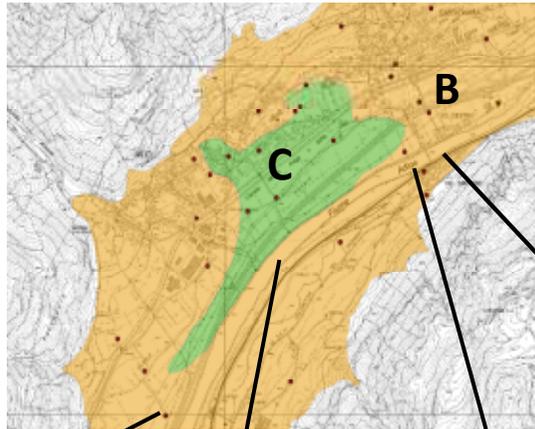
# CONFRONTO TRA APPROCCIO SEMPLIFICATO E ANALISI APPROFONDITE: CANAZEI



# CONFRONTO TRA APPROCCIO SEMPLIFICATO E ANALISI APPROFONDITE: AVIO



# CONFRONTO TRA APPROCCIO SEMPLIFICATO E ANALISI APPROFONDITE: AVIO



Tr 475 anni – Vn 50 anni

# CONCLUSIONI

- Sono state condotte analisi di risposta sismica locale e confrontate con l'approccio semplificato in due località del Trentino. Dal confronto è emerso come l'approccio semplificato spesso non riproduca la complessità della situazione reale.
- Il lavoro ci ha consentito di individuare una metodologia che comprende sia indagini geofisiche che analisi geotecniche, e di individuare dei criteri per una scelta appropriata delle curve che descrivono il comportamento ciclico dei terreni, siano esse scelte da bibliografia o determinate sperimentalmente.
- Il lavoro è partito adesso e in futuro vediamo.....