



# La microzonazione sismica: procedure ed esempi applicativi

**Floriana Pergalani**  
**Politecnico di Milano**



Università degli Studi  
di Brescia



Dipartimento DICATAM



Centro di Studio e Ricerca  
di Sismologia Applicata  
e Dinamica Strutturale (CeSIA)

ASSOCIARE IDENTIFICA

OSVALDO DE DONATO

STUDIO/OWNA/VINOT

**Giornata di studio**  
**Effetti sismici locali e modelli geotecnici**  
**Università di Brescia**  
**Brescia, 20 novembre 2014**



- **Valutazione dei fattori di amplificazione e instabilità:**
  - **modificazioni del moto del suolo per effetti geologici e geomorfologici**
- **Individuazione delle zone che producono amplificazioni e instabilità**
- **Esperienze in passati terremoti**
- **Catalogazione delle situazioni tipo e valutazione degli effetti**



## Effetti di sito o di amplificazione sismica

- Litologiche
- Morfologiche

Terreni con comportamento **STABILE** nei riguardi del sisma

## Effetti di instabilità

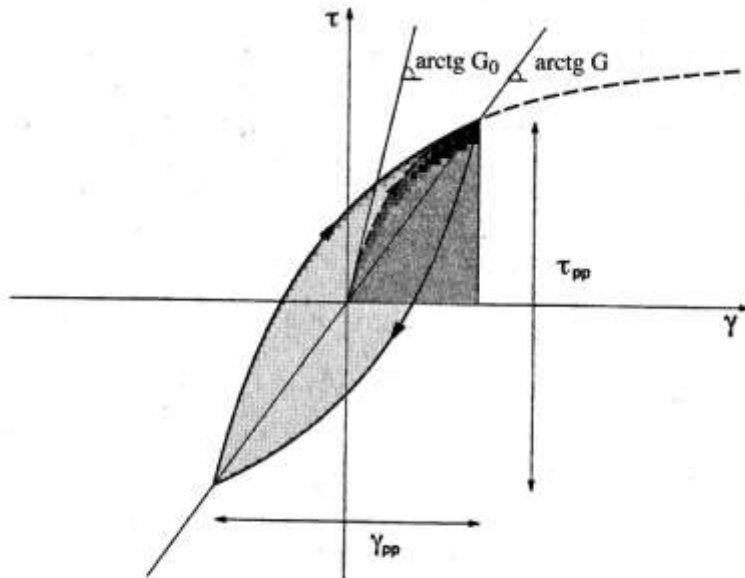
- Movimenti franosi
- Cedimenti, densificazioni, liquefazioni

Terreni con comportamento **INSTABILE** nei riguardi del sisma



*Effetti di sito di tipo areale estesi su tutta l'area con modalità diverse*  
*Effetti di instabilità di tipo puntuale concentrati in piccoli areali*

# Microzonazione sismica

Dal punto di vista ingegneristico i moti più significativi ai fini della sicurezza delle strutture sono quelli orizzontali, indotti dalle onde di taglio  $S$



$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}} \quad D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

$W_D = \text{Area}$   = Energia dissipata nel ciclo  
 $W_S = \text{Area}$   = Energia accumulata nel 1° carico

Le proprietà meccaniche del terreno sono valutate sulla base del comportamento tensio-deformativo di taglio nel piano  $\tau - \gamma$

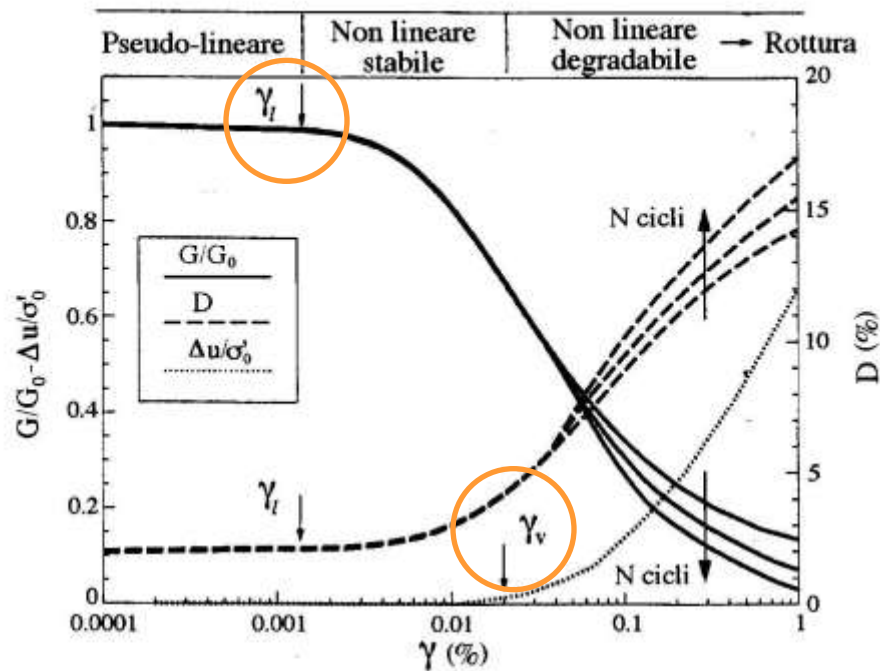
Si definiscono:

$G_0$  modulo di taglio iniziale o elastico (tangente all'origine)

$G$  modulo di taglio secante ( $\tau/\gamma$ )

$D$  rapporto di smorzamento

# Microzonazione sismica

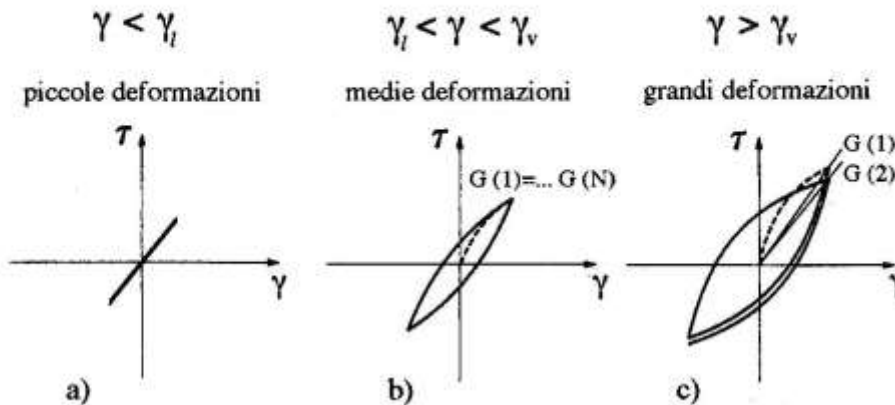


Comportamento non lineare descritto dall'evoluzione dei parametri  $G$  e  $D$  al crescere di  $\gamma$

$\gamma_l$  = soglia elastica o di linearità  
(0.0001 – 0.01 %)

$\gamma_v$  = soglia volumetrica  
(0.01 – 0.1 %)

- Modello elastico lineare (se  $D_0=0$ ) o visco-elastico ( $D_0$ )
- Modello elastico lineare equivalente (coppie  $G-D$ )
- Modello non lineare elastoplastico con incrudimento (*accoppiamento deformazioni distorsionali e volumetriche*)





**In funzione della scala di lavoro e dei risultati  
che si intende ottenere:**

- **Approccio qualitativo – Livello 1 (ICMS)**
- **Approccio semiquantitativo – Livello 2 (ICMS)**
- **Approccio quantitativo – Livello 3 (ICMS)**



## Livello 1

Studio propedeutico e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento

### Indagini

- raccolta dei dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici e sondaggi

### Elaborazioni

- sintesi dei dati e delle cartografie disponibili

### Prodotti

- carta delle indagini
- carta geologico tecnica e sezioni
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), scala 1:5000-1:10.000
- relazione illustrativa



## Livello 1

Le microzone sono distinte in:

**Zone stabili**, senza effetti di modificazione del moto sismico rispetto ad un terreno rigido ( $V_s \geq 800$  m/s) e pianeggiante (pendenza  $< 15^\circ$ )

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:**

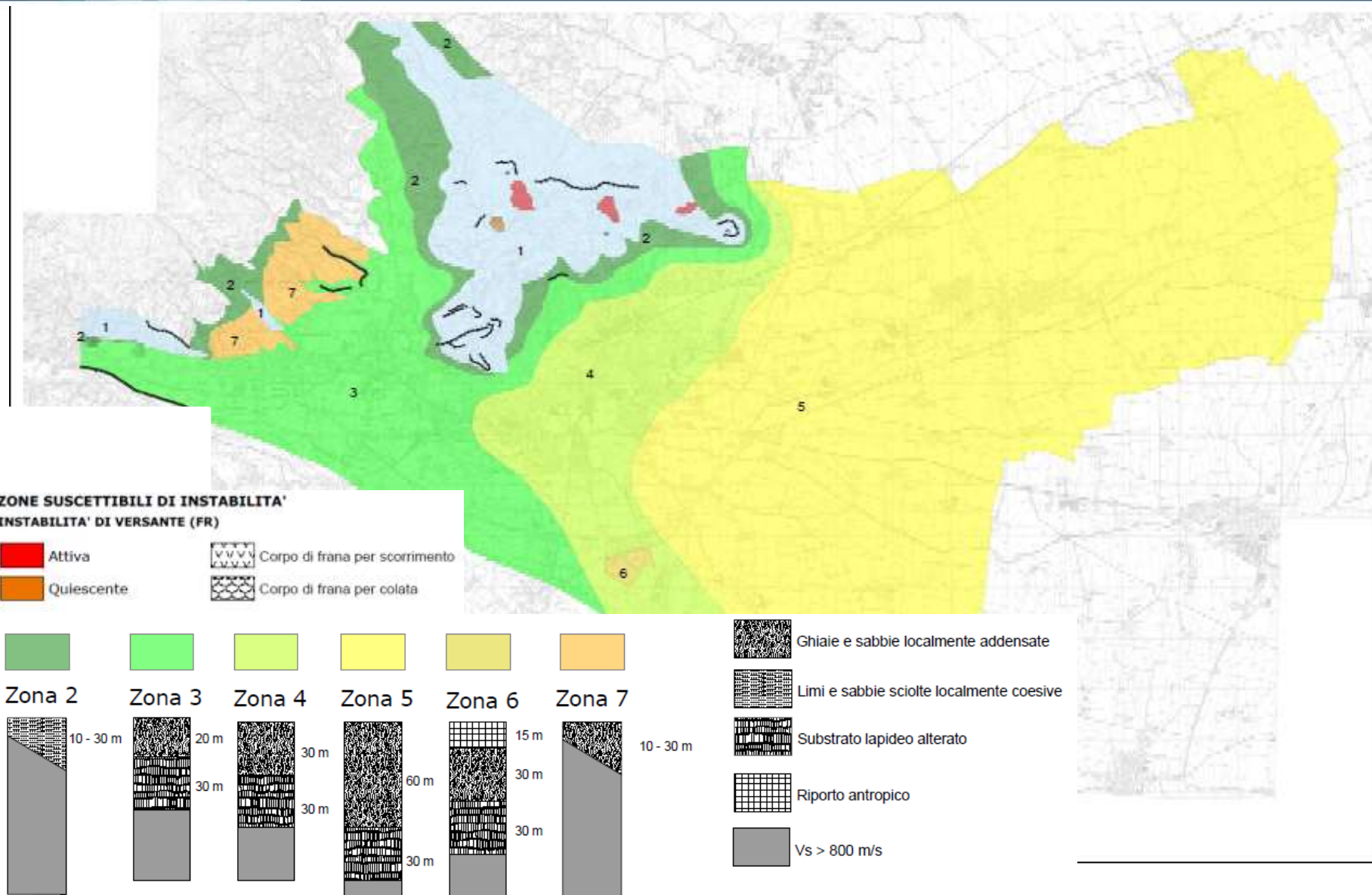
- amplificazioni litostratigrafiche per  $V_s < 800$  m/s e spessori  $> 5$  m
- amplificazioni topografiche

**Zone suscettibili di instabilità** (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali)





# Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica





## Livello 1

### Gli studi di MS1:

- Forniscono indicazioni propedeutiche all'approfondimento degli studi di MS per ciascuna microzona omogenea
- Permettono di individuare quelle aree che non possono essere analizzate con studi di MS2, in quanto caratterizzate da:
  - forme sepolte (amplificazioni 2D)
  - inversioni di velocità (rigido su soffice)
  - forte contrasto di impedenza e che devono quindi essere analizzate direttamente con studi di MS3



## Livello 2

**Risolve le incertezze del livello 1 con approfondimenti**

**Fornisce quantificazioni numeriche degli effetti con metodi semplificati**

### Indagini

- **indagini geofisiche in foro (DH/CH), sismica a rifrazione, analisi con tecniche attive e passive per la stima delle  $V_s$ , microtremori ed eventi sismici**

### Elaborazioni

- **correlazioni e confronti con i risultati del livello 1, revisione del modello geologico, abachi per i fattori di amplificazione**

### Prodotti

- **carta delle indagini**
- **carta di microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)**
- **relazione illustrativa**



## Livello 2

### Carta di Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), con metodi semplificati (livello 2)

**Zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, caratterizzate da fattori di amplificazione relativi a due periodi dello scuotimento (FA ed FV)

**Zone di deformazione permanente**, caratterizzate da parametri quantitativi (spostamenti e aree accumulo per frana, calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione)



## Livello 2

**Le tabelle degli abachi sono ordinate per:**

- litotipo (ghiaia, sabbia, argilla)
- tipo di profilo di  $V_s$  (costante, gradiente max, gradiente intermedio)
- $a_g$ , accelerazione dell'evento di riferimento (0,06-0,18-0,26)

**Per trovare il valore di FA o FV devo conoscere:**

- $a_g$ , accelerazione dell'evento di riferimento (0,06-0,18-0,26)
- litotipo prevalente della copertura
- spessore della copertura
- $V_s$  media della copertura fino al raggiungimento del bedrock sismico

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$



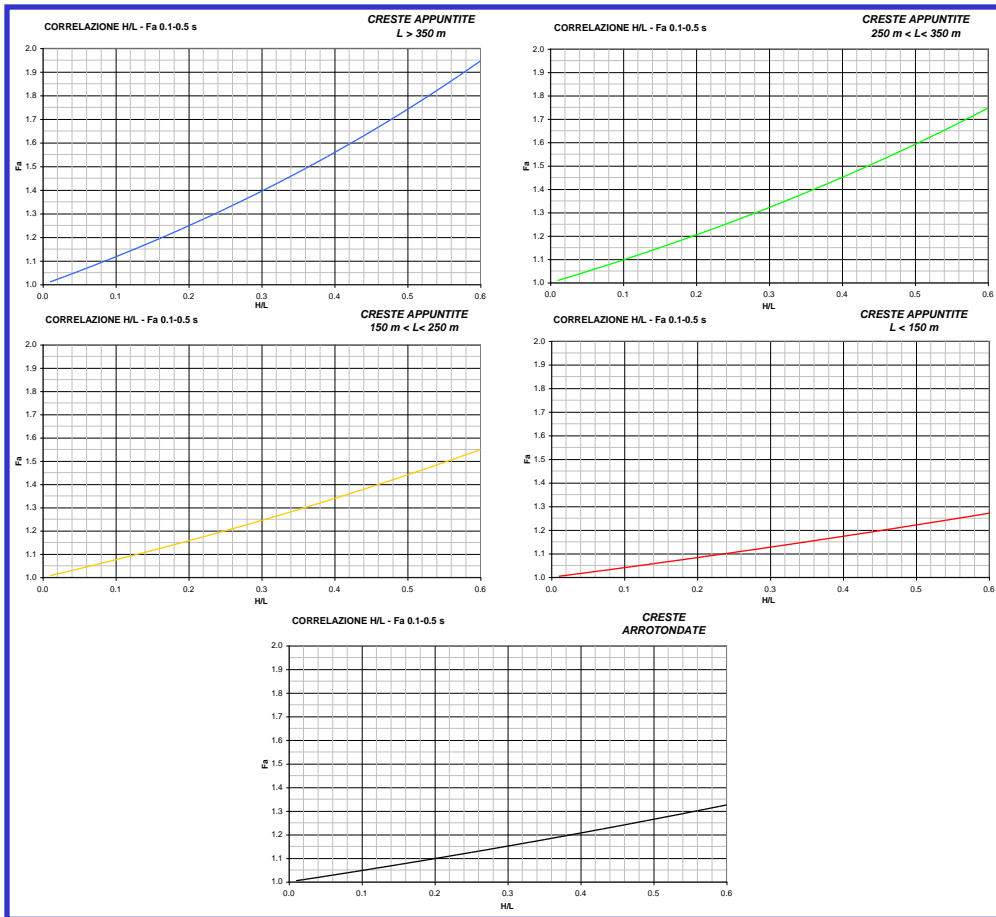
## Livello 2

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Argilla											$a_g$ (g) 0.06g											Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia										
H	$V_{20}$ (m/s)																																
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700			
5	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.00	1.04	1.02	1.00	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.00	1.04	1.02	1.00	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.00	1.04	1.02	1.00			
10	2.69	2.41	2.05	1.73	1.51	1.35	1.23	1.17	1.06	1.02	2.69	2.41	2.05	1.73	1.51	1.35	1.23	1.17	1.06	1.02	2.69	2.41	2.05	1.73	1.51	1.35	1.23	1.17	1.06	1.02			
15	2.35	2.41	2.23	1.96	1.72	1.54	1.39	1.28	1.12	1.04	2.35	2.41	2.23	1.96	1.72	1.54	1.39	1.28	1.12	1.04	2.35	2.41	2.23	1.96	1.72	1.54	1.39	1.28	1.12	1.04			
20	2.00	2.19	2.15	2.03	1.82	1.63	1.48	1.36	1.17	1.06	2.00	2.19	2.15	2.03	1.82	1.63	1.48	1.36	1.17	1.06	2.00	2.19	2.15	2.03	1.82	1.63	1.48	1.36	1.17	1.06			
25	1.98	1.97	2.04	1.94	1.81	1.67	1.53	1.40	1.21	1.08	1.98	1.97	2.04	1.94	1.81	1.67	1.53	1.40	1.21	1.08	1.98	1.97	2.04	1.94	1.81	1.67	1.53	1.40	1.21	1.08			
30	1.94	1.98	1.91	1.87	1.75	1.64	1.52	1.42	1.23	1.09	1.94	1.98	1.91	1.87	1.75	1.64	1.52	1.42	1.23	1.09	1.94	1.98	1.91	1.87	1.75	1.64	1.52	1.42	1.23	1.09			
35	1.86	1.92	1.91	1.77	1.69	1.58	1.48	1.38	1.23	1.09	1.86	1.92	1.91	1.77	1.69	1.58	1.48	1.38	1.23	1.09	1.86	1.92	1.91	1.77	1.69	1.58	1.48	1.38	1.23	1.09			
40	1.77	1.89	1.90	1.78	1.62	1.54	1.45	1.36	1.21	1.08	1.77	1.89	1.90	1.78	1.62	1.54	1.45	1.36	1.21	1.08	1.77	1.89	1.90	1.78	1.62	1.54	1.45	1.36	1.21	1.08			
50	1.70	1.79	1.82	1.75	1.62	1.50	1.39	1.31	1.19	1.07	1.70	1.79	1.82	1.75	1.62	1.50	1.39	1.31	1.19	1.07	1.70	1.79	1.82	1.75	1.62	1.50	1.39	1.31	1.19	1.07			
60	1.58	1.71	1.74	1.69	1.59	1.49	1.39	1.30	1.15	1.05	1.58	1.71	1.74	1.69	1.59	1.49	1.39	1.30	1.15	1.05	1.58	1.71	1.74	1.69	1.59	1.49	1.39	1.30	1.15	1.05			
70	1.55	1.69	1.73	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.04	1.55	1.69	1.73	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.04	1.55	1.69	1.73	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.04			
80	1.40	1.57	1.70	1.58	1.50	1.43	1.35	1.29	1.15	1.04	1.40	1.57	1.70	1.58	1.50	1.43	1.35	1.29	1.15	1.04	1.40	1.57	1.70	1.58	1.50	1.43	1.35	1.29	1.15	1.04			
90	1.37	1.58	1.63	1.63	1.49	1.39	1.33	1.26	1.15	1.03	1.37	1.58	1.63	1.63	1.49	1.39	1.33	1.26	1.15	1.03	1.37	1.58	1.63	1.63	1.49	1.39	1.33	1.26	1.15	1.03			
100	1.29	1.52	1.55	1.57	1.50	1.38	1.29	1.24	1.14	1.03	1.29	1.52	1.55	1.57	1.50	1.38	1.29	1.24	1.14	1.03	1.29	1.52	1.55	1.57	1.50	1.38	1.29	1.24	1.14	1.03			
110	1.23	1.44	1.56	1.52	1.47	1.38	1.29	1.21	1.11	1.02	1.23	1.44	1.56	1.52	1.47	1.38	1.29	1.21	1.11	1.02	1.23	1.44	1.56	1.52	1.47	1.38	1.29	1.21	1.11	1.02			
120	1.17	1.40	1.52	1.48	1.44	1.36	1.29	1.22	1.10	1.02	1.17	1.40	1.52	1.48	1.44	1.36	1.29	1.22	1.10	1.02	1.17	1.40	1.52	1.48	1.44	1.36	1.29	1.22	1.10	1.02			
130	1.09	1.35	1.47	1.48	1.39	1.34	1.28	1.21	1.09	1.00	1.09	1.35	1.47	1.48	1.39	1.34	1.28	1.21	1.09	1.00	1.09	1.35	1.47	1.48	1.39	1.34	1.28	1.21	1.09	1.00			
140	1.06	1.30	1.41	1.45	1.37	1.32	1.25	1.20	1.09	0.99	1.06	1.30	1.41	1.45	1.37	1.32	1.25	1.20	1.09	0.99	1.06	1.30	1.41	1.45	1.37	1.32	1.25	1.20	1.09	0.99			
150	1.00	1.26	1.40	1.42	1.38	1.28	1.24	1.18	1.09	0.99	1.00	1.26	1.40	1.42	1.38	1.28	1.24	1.18	1.09	0.99	1.00	1.26	1.40	1.42	1.38	1.28	1.24	1.18	1.09	0.99			



## MORFOLOGIA (creste e ciglio di scarpata)

### Parametri geometrici: altezza, larghezza, pendenza



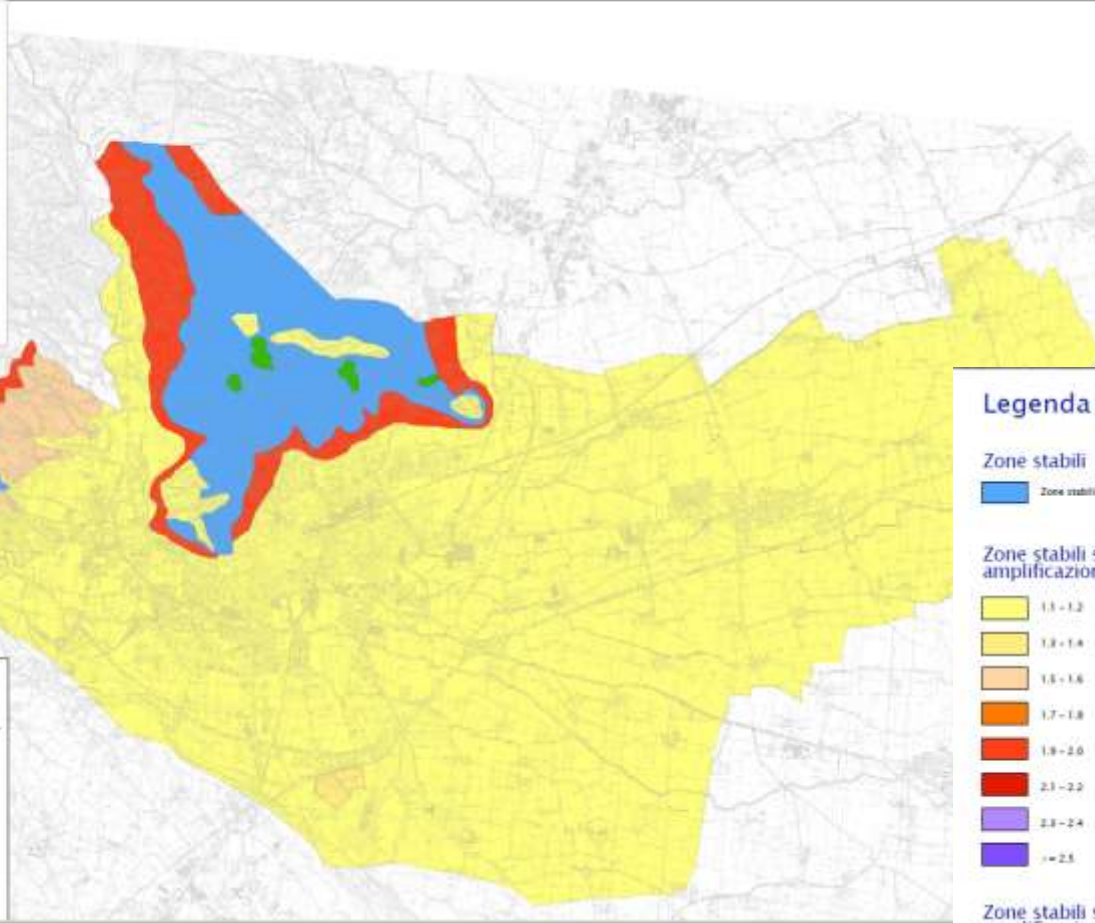
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_a$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	



# Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

REGIONE  
PIEMONTE

**MICROZONAZIONE SISMICA**  
Carta di microzonazione sismica  
Livello 2  
Scala 1:10.000  
Regione Piemonte  
Comune di Prarone



**Legenda**

**Zone stabili**

- Zone stabili (Fa < 1.0)

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Fa)**

- 1.1 - 1.2
- 1.3 - 1.4
- 1.5 - 1.6
- 1.7 - 1.8
- 1.9 - 2.0
- 2.1 - 2.2
- 2.3 - 2.4
- >= 2.5

**Zone suscettibili di instabilità**

- Instabilità di versante
- Liquificazione
- Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci
- Cedimenti differenziali
- Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità

## Legenda

### Zone stabili

Zone stabili (Fa < 1.0)

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Fa)

- 1.1 - 1.2
- 1.3 - 1.4
- 1.5 - 1.6
- 1.7 - 1.8
- 1.9 - 2.0
- 2.1 - 2.2
- 2.3 - 2.4
- >= 2.5

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Ft)

1.1 - 1.2

### Zone suscettibili di instabilità

- Instabilità di versante
- Liquificazione
- Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci
- Cedimenti differenziali
- Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità







## Livello 2

**Il risultato che si ottiene con gli abachi non va bene nel caso di:**

- forme sepolte (amplificazioni 2D)
- inversioni di velocità (rigido su soffice)
- forte contrasto di impedenza

**Gli abachi dovrebbero essere regionalizzati a partire da:**

- input sismici (studi di pericolosità di base)
- modelli litologici
- curve di decadimento del modulo di taglio (G) e di incremento del rapporto di smorzamento smorzamento (D) con la deformazione, per ciascun litotipo
- profili di Vs
- valori del Fattore di amplificazione FH calcolato come rapporto di intensità spettrale sugli spettri di risposta in accelerazione di output ed input considerando i periodi tra 0.1-0.5 s
- confronto con valori di soglia comunali (SH) calcolati come gli FH derivanti dagli spettri delle NTC per le varie categorie di suolo ed eventuale prescrizione dell'applicazione del livello 3 se  $FH > SH$



## Livello 3

**Livello di approfondimento di zone suscettibili di amplificazioni o di instabilità, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con abachi o metodi semplificati**

**Può modificare sostanzialmente le carte di microzonazione di livello 2 (es. inversione di velocità)**

### Indagini

- campagne di acquisizione dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione di profili di  $V_s$ , sismica a rifrazione, prove geotecniche in situ e in laboratorio, microtremiti, finalizzate alla definizione del modello del sottosuolo di riferimento

### Elaborazioni

- Definizione dell'input sismico
- analisi numeriche 1D, 2D e 3D per le amplificazioni e/o analisi sperimentali

### Prodotti

- carta delle indagini
- carta di microzonazione sismica con approfondimenti e relazione illustrativa



## Livello 3

**Zone di deformazione permanente**

**Zone stabili suscettibili di amplificazione  
caratterizzate da spettri di risposta in  
accelerazione al 5% dello smorzamento  
critico**

**Zone stabili**



## Due metodologie:

- **Analisi numeriche**
- **Analisi sperimentali**



## Dati e strumenti necessari:

- Moto sismico di riferimento (input sismico)
- Stratigrafia del sottosuolo
- Proprietà meccaniche dei materiali
- Codici di calcolo



## ESEMPIO UMBERTIDE

### FASI FONDAMENTALI DELLO STUDIO

**Rilevamento geologico di 5 sezioni (scala 1:10.000)**

**Raccolta dati geologici, geomorfologici, geofisici e geotecnici sia esistenti sia da indagini in sito e in laboratorio effettuate nell'ambito del progetto**

**Redazione di carte geologiche e di pericolosità sismica locale**

**Costruzione del modello geologico-geofisico ed individuazione delle sezioni rappresentative**

**Studio storico e d'archivio sul danneggiamento da terremoti della città di Umbertide**



## FASI FONDAMENTALI DELLO STUDIO

**Individuazione dell'input sismico**

**Modellazione numerica 2D e 1D e determinazione dei fattori di amplificazione e degli spettri di risposta elastici in accelerazione**

**Analisi strumentale in punti significativi (Priolo et al., 2013) e confronto delle modellazioni numeriche e sperimentali**

**Prime proposte per l'uso dei risultati sia in ambito pianificatorio sia in ambito progettuale.**



## RACCOLTA DATI

**Indagini geologiche e geotecniche (110 sondaggi)**

**Informazioni sul danneggiamento storico da terremoti (457 dati, eventi 1984 e 1997)**

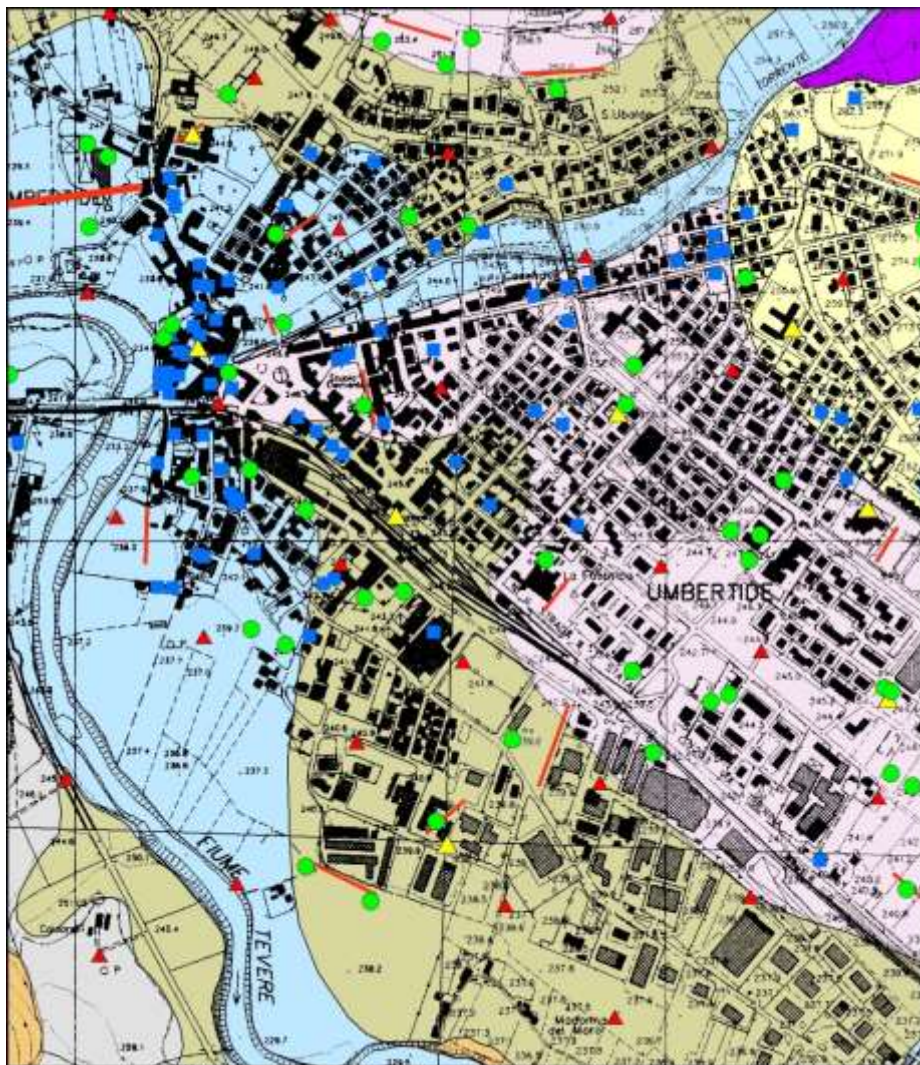
**Nuova campagna geognostica:**

- **13 sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 30-45 m ciascuno, con relativi Down Hole**
- **60 prove SPT**
- **83 siti con H/V, 20 siti H/H, 3 siti con MASW/Remi**
- **prove di laboratorio statiche e dinamiche su 20 campioni indisturbati (proprietà fisiche, analisi granulometrica, prova edometrica, prova triassiale e colonna risonante)**






# Analisi numerica







## Geologia

-  Frane attive
-  Depositi colluviali
-  Alluvioni recenti ed attuali
-  Alluvioni terrazzate 2 ordine
-  Alluvioni terrazzate 1 ordine
-  Subsistema di Citeria (CTA1a)
-  Depositi torbiditici (MUM1)

-  Danneggiamento edifici dei terremoti del 1984 e 1997

## Indagini geognostiche e geofisiche

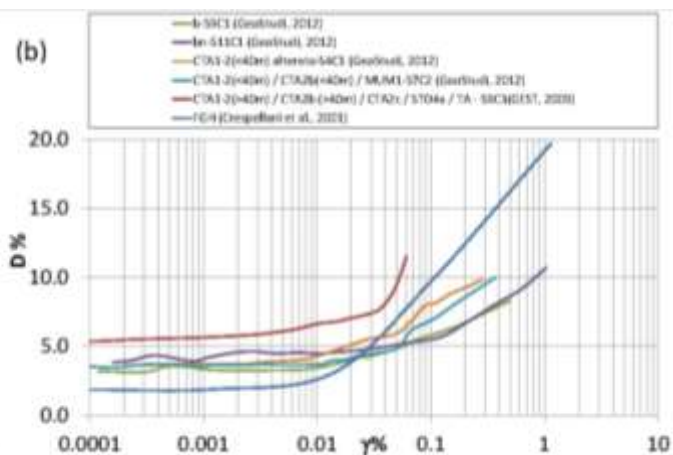
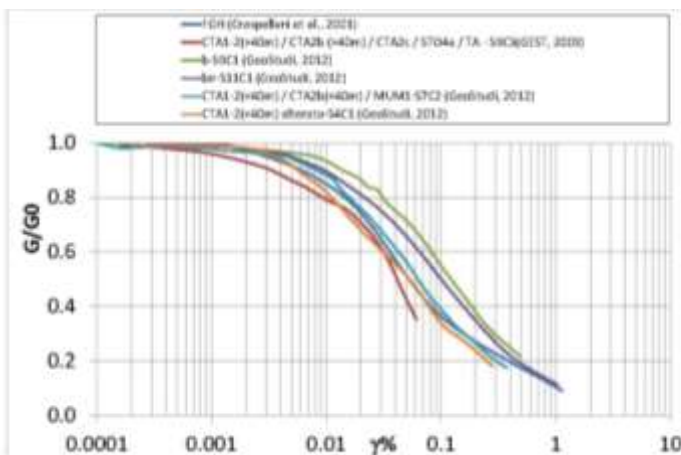
-  MASW, REMI, ERT, Sismica a rifrazione
-  Sondaggi a distruzione, carotaggio continuo, penetrometrie dinamiche, SPT, CPT, Down Hole, HVSR
-  Misure di rumore
-  Stazioni sismometriche



# Analisi numerica

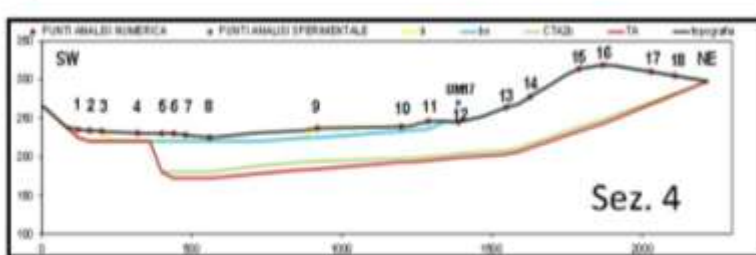
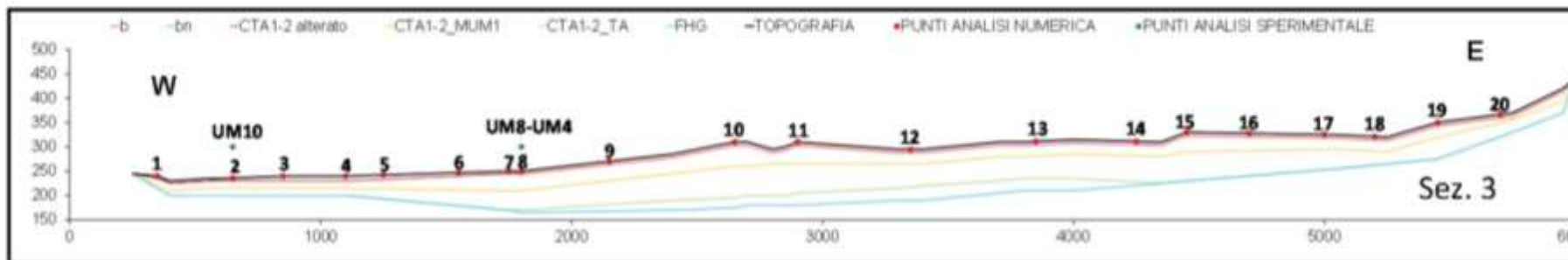
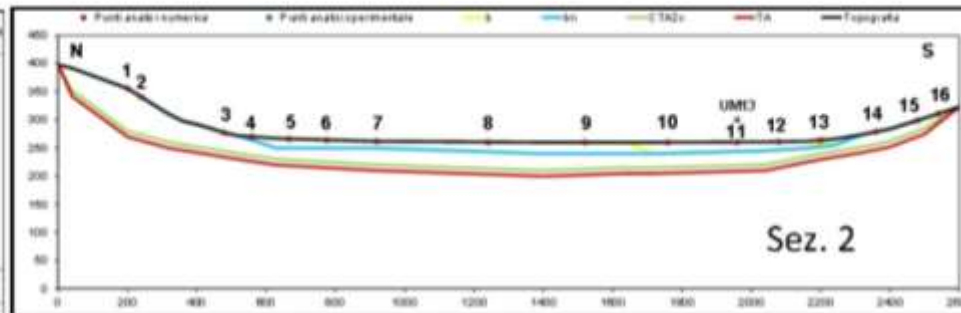
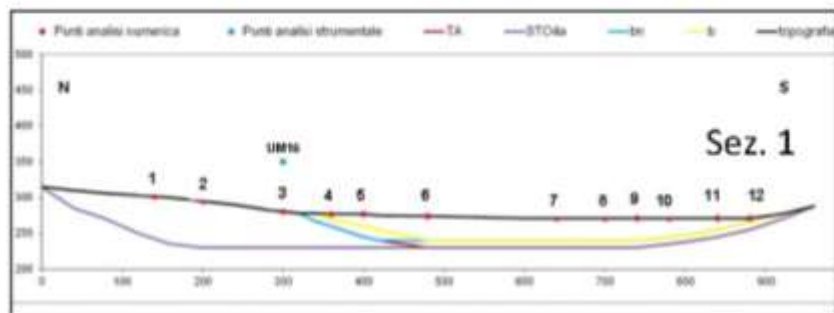
Denominazione unità geologica	Denominazione unità geofisica	Sigla unità geofisica	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\gamma$ (kN/mc)
alluvioni recenti	unità limosa alluvionale	b	300	1200	20,3
alluvioni terrazzate	unità limo-ghiaiosa	bn	340	1450	19,9
Sintema Citerna Subintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 (<40m)	480	1850	20,4
Sintema Citerna Subintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 (>40m)	540	2120	20,4
Sintema Citerna Subintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 alterato	200	1000	20,4
Sintema Citerna Subintema M. Rotondo	unità conglomeratica (40m)	CTA2c	460	1970	19,9
Sintema di Fighille	unità argillosa	FGH	700	2300	20,5
Formazione Marnoso-arenacea umbra Membro C. Spertaglia	unità pelitico arenacea	MUM1	480	1850	20,4
-----	unità torbiditica alterata	TA	540	2120	21
Scaglia Toscana Membro c. Dudda litofacies di Montanare	unità calcareo-argillitica fratturata	STO4a	460	1740	20,9
-----	substrato rigido	-----	800	2400	22

## MODELLO GEOLOGICO GEOFISICO

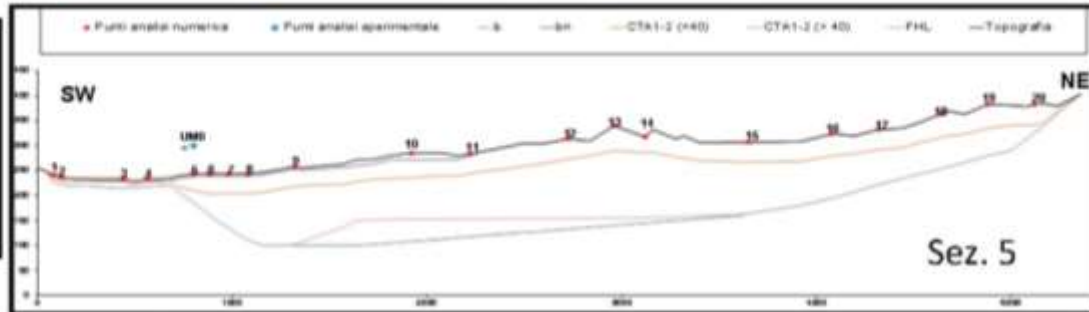




## SEZIONI GEOLOGICHE - GEOFISICHE



(a)





## INPUT SISMICO

Come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/08):

5 accelerogrammi registrati su suolo di categoria A

Compatibili con le caratteristiche sismogenetiche dell'area (distensivo)

Compatibili con valore di  $a_{max}$  atteso (GdL, 2004) (0.222g)

Compatibili con coppia magnitudo-distanza da analisi di disaggregazione (Mw 4.5-5.0; D 0-10Km)

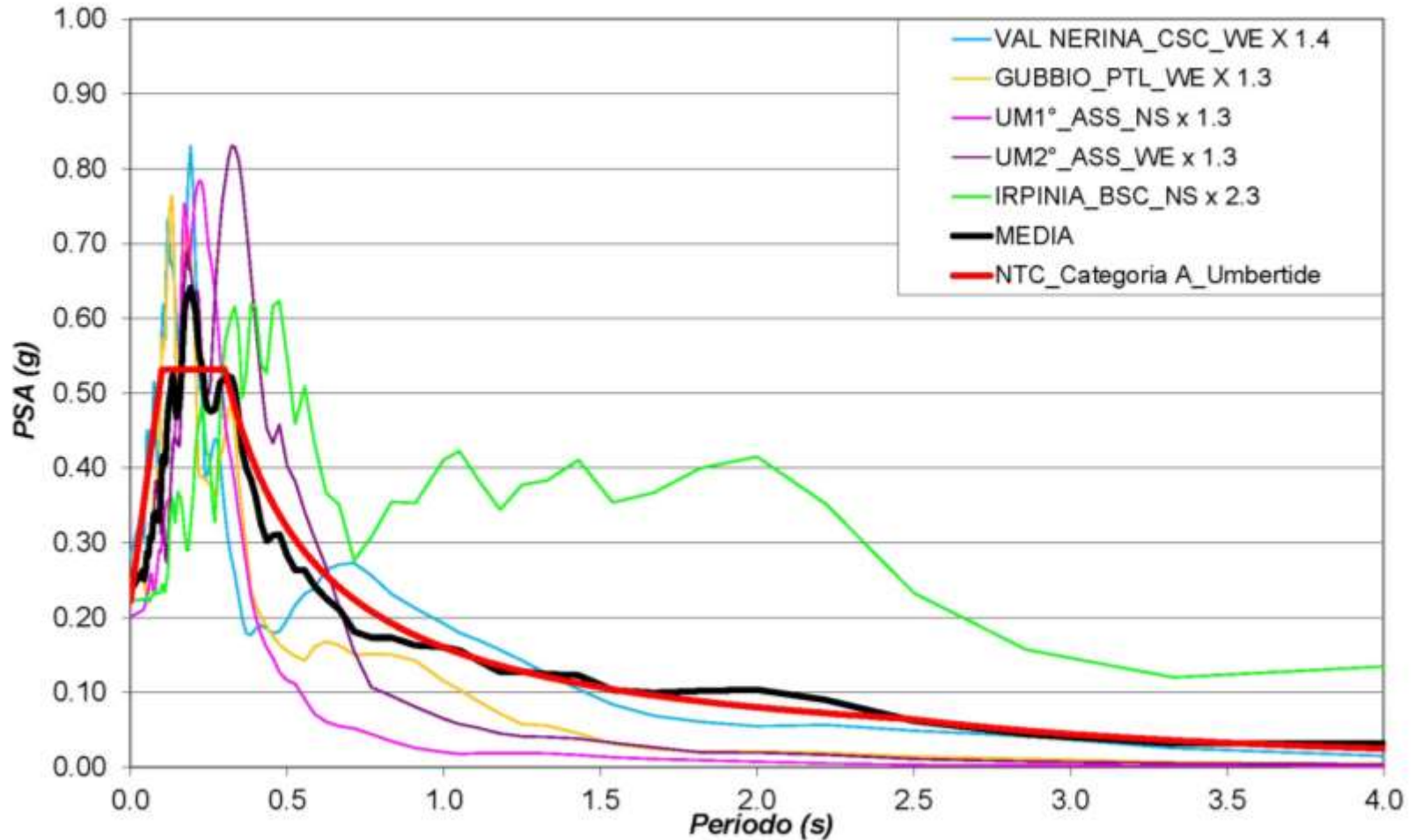
Spettro-compatibilità

Database ITACA (2010)

Sigla	Lat (°)	Long (°)	Distanza epicentrale (km)	Evento	Stazione	Comp.	Litologia	Pga (g)	SC
CSC	42.719	13.013	9.3	VAL NERINA	Cascia	W-E	Roccia	0.203	1.4
PTL	43.427	12.449	26.1	GUBBIO	Pietralunga	W-E	Roccia	- 0.177	1.3
ASS	43.075	12.604	24.1	UMBRIA-MARCHE 1° SHOCK	Assisi	N-S	Roccia	0.155	1.3
ASS	43.075	12.604	21.4	UMBRIA-MARCHE 2° SHOCK	Assisi	W-E	Roccia	0.188	1.3
BSC	41.010	15.376	28.0	IRPINIA	Bisaccia	NS	Roccia	0.096	2.3

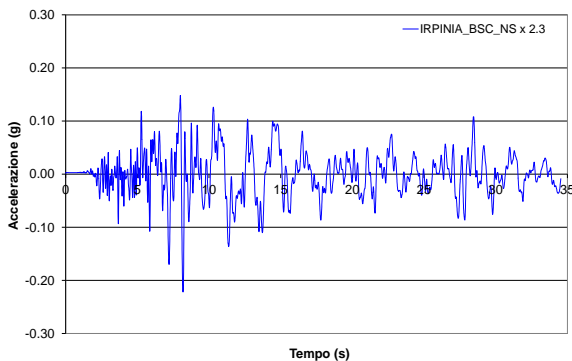
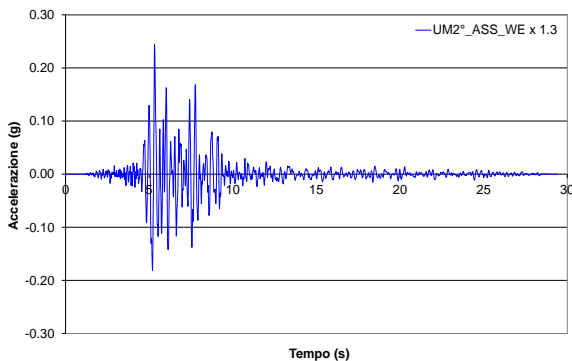
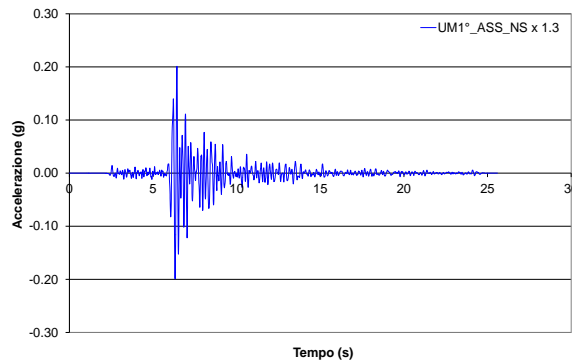
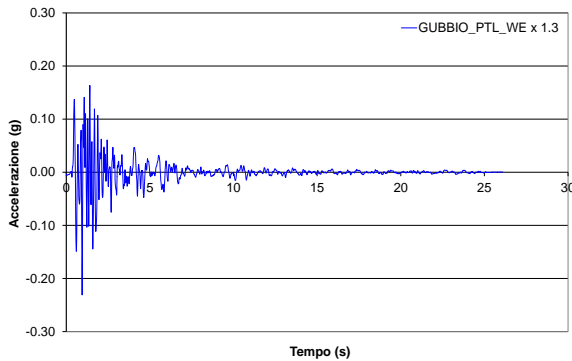
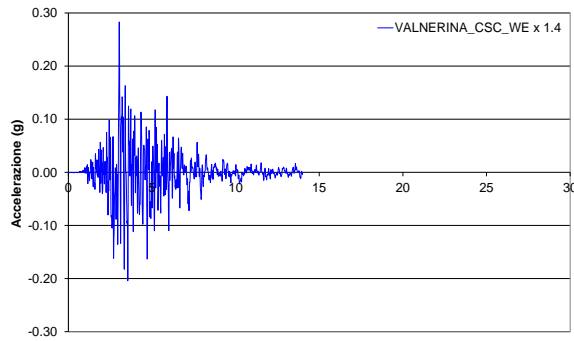


## INPUT SISMICO





# Analisi numerica



## INPUT SISMICO



## CODICI DI CALCOLO

In relazione alle caratteristiche morfologiche, geologiche, geotecniche e geofisiche dell'area in esame, che presentano un andamento tipico di valle, è stato scelto di utilizzare un codice di calcolo bidimensionale nato dalla revisione del programma QUAD4M (Hudson et al., 1993); esso permette di modellare qualsiasi sezione caratterizzata da diversi materiali con qualsiasi andamento geometrico.



## RISULTATI

Nei punti di indagine, riportati nelle sezioni, scelti in modo da avere una rappresentatività dei profili caratterizzati da diverse sequenze di unità geofisiche e diversi spessori.

I risultati sono stati espressi in termini:

Fattori di amplificazione  $F_a$  (0.1-0.5s; 0.5-1.5s; 0.1-2.5s)

Spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico

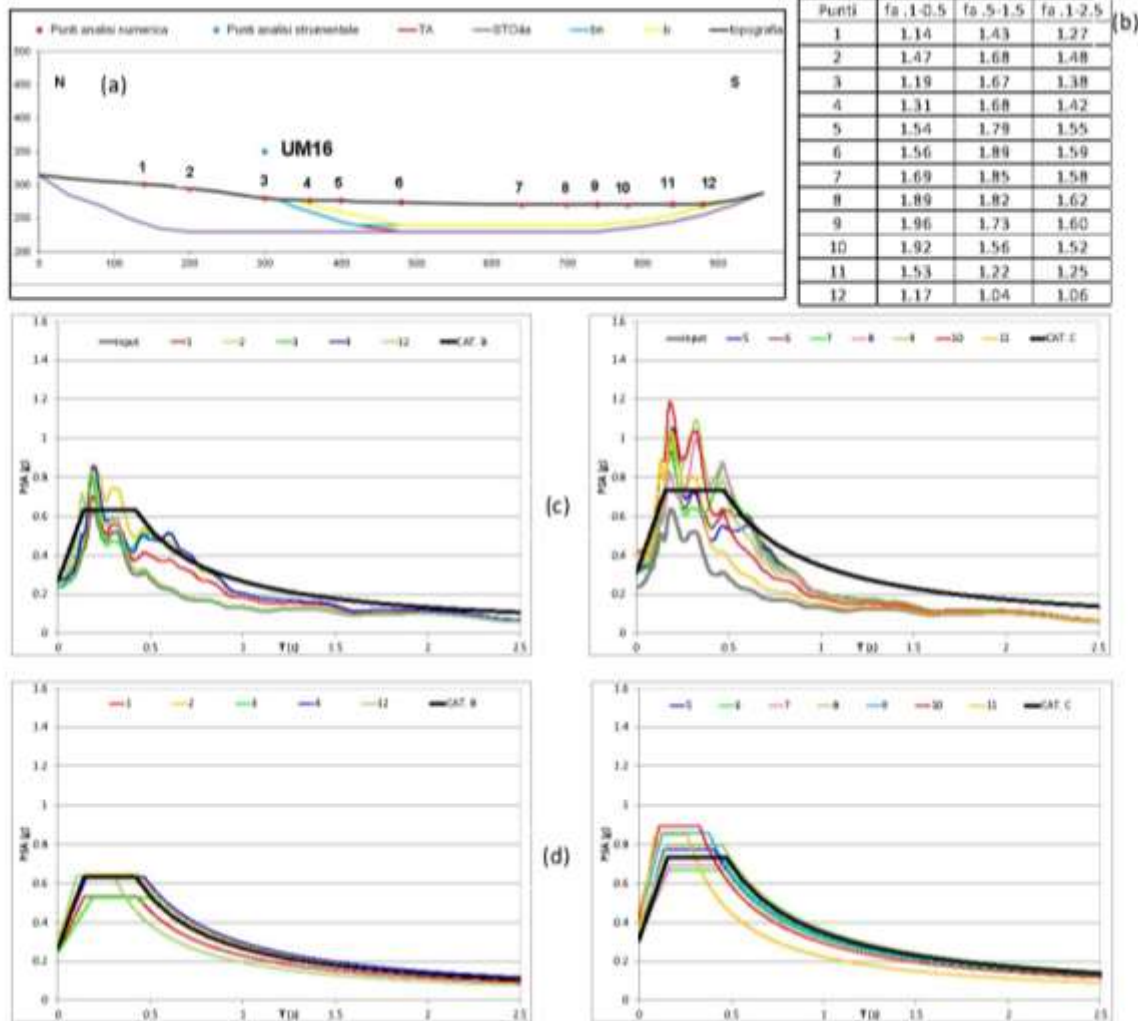




# Analisi numerica

## RISULTATI

SEZ. 1

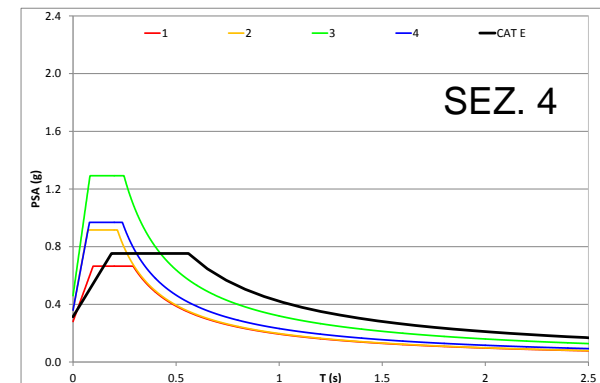
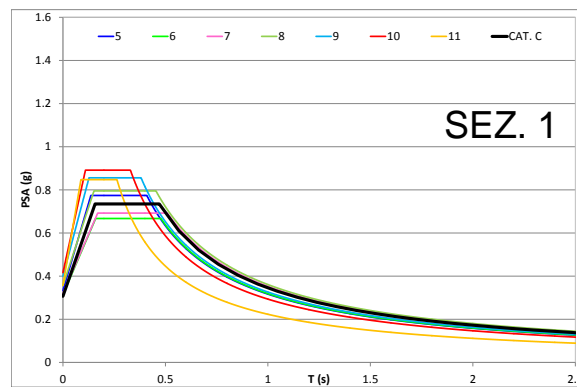
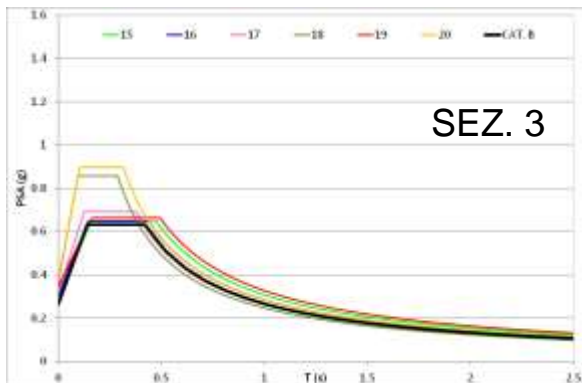




## RISULTATI

Le sezioni mostrano valori del fattore di amplificazione da medi ad alti.

La norma (NTC) in generale non risulta essere cautelativa, a meno di alcune situazioni in presenza di sottosuolo di categoria B



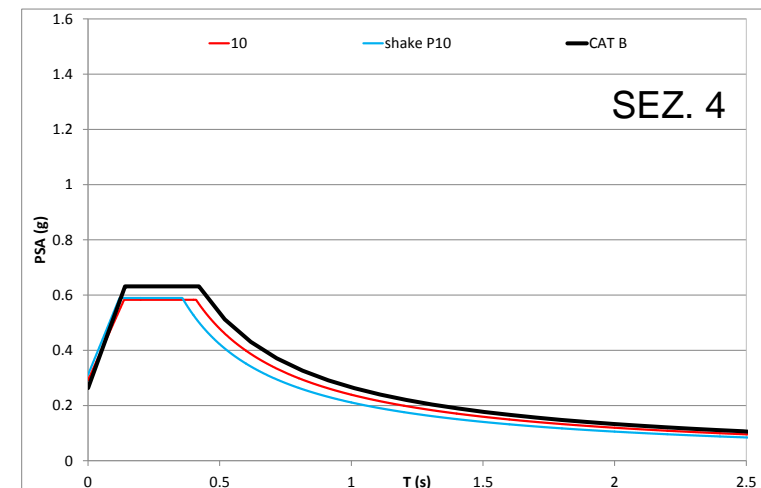
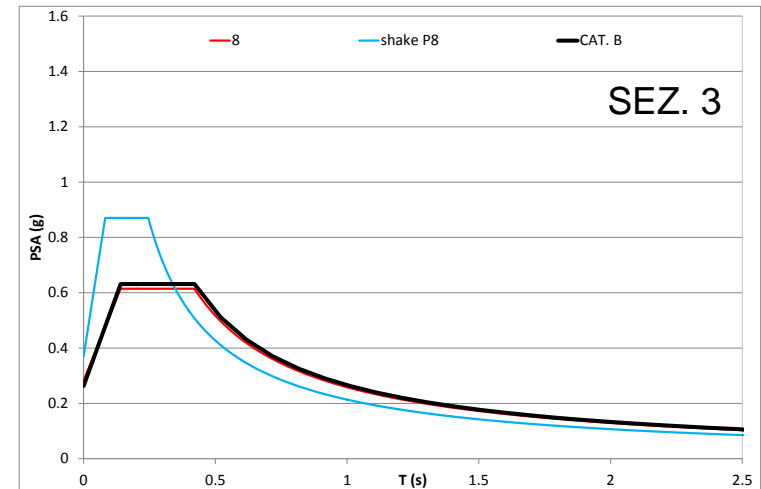


## RISULTATI

Per completare l'indagine numerica, in alcuni punti delle sezioni, è stata condotta un'analisi monodimensionale applicando il codice di calcolo SHAKE91 modificato (Idriss I.M. e Sun J.I., 1992).

L'analisi ed i confronti hanno mostrato come l'influenza della geometria delle valli porta, in alcuni casi in modo evidente ed in particolare in presenza di valle larga e profonda, ad una diminuzione ed un filtraggio dei valori delle ordinate spettrali nei bassi periodi ed ad un conseguente aumento dei valori delle ordinate spettrali negli alti periodi.

Per il sito di Umbertide, quindi, un'analisi monodimensionale non sarebbe stata esaustiva in quanto l'effetto geometrico risulta preponderante.





## Due metodologie:

- **Analisi numeriche**
- **Analisi sperimentali**



## ANALISI SPERIMENTALI – OGS Trieste

Metodo dei rapporti spettrali

20 siti di cui 3 di riferimento su substrato rigido

Sensori a 3 componenti Lennartz 3D-lite 1 s

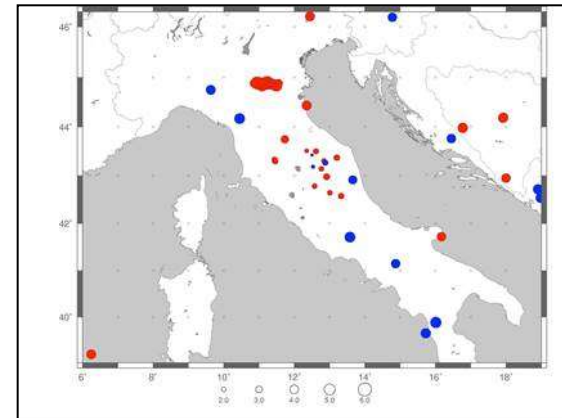
Registrazioni marzo 2012-febbraio 2013

### METODOLOGIA:

Calcolo rapporti spettrali

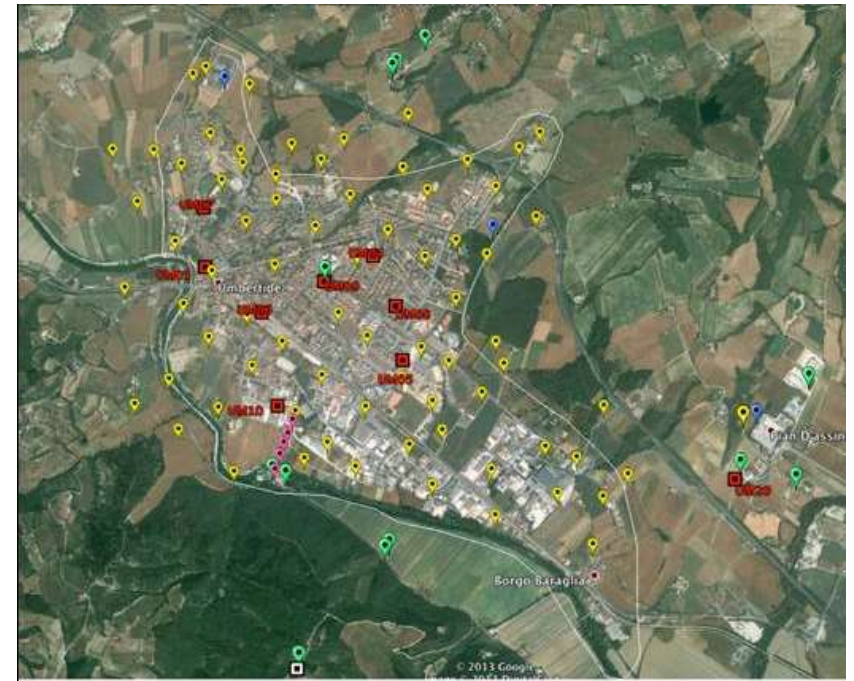
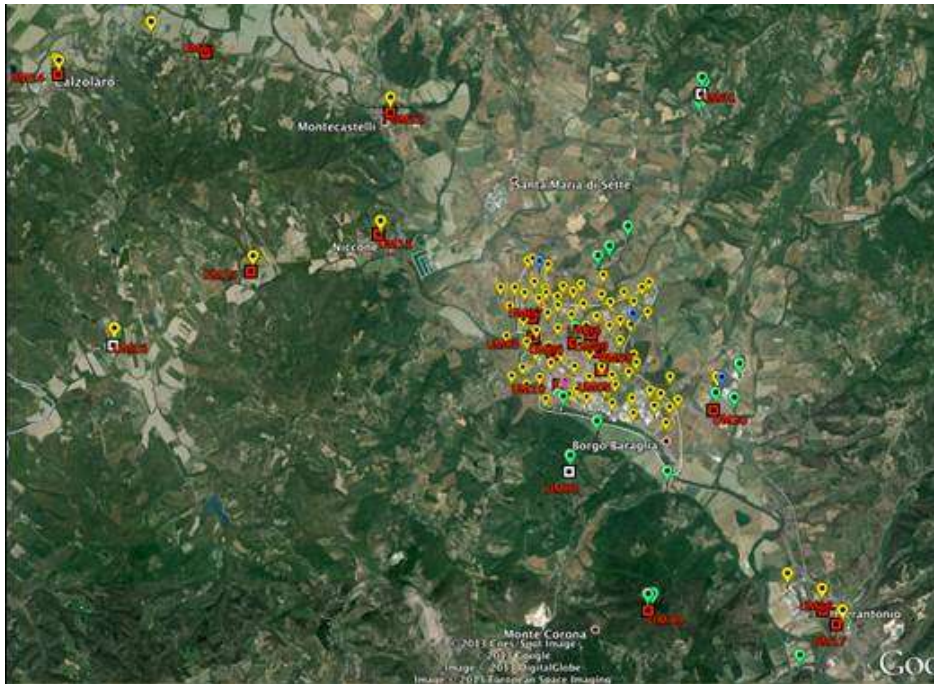
Funzione di amplificazione

Calcolo di  $F_a$  e spettri di risposta ai siti utilizzando input sismici della modellazione numerica



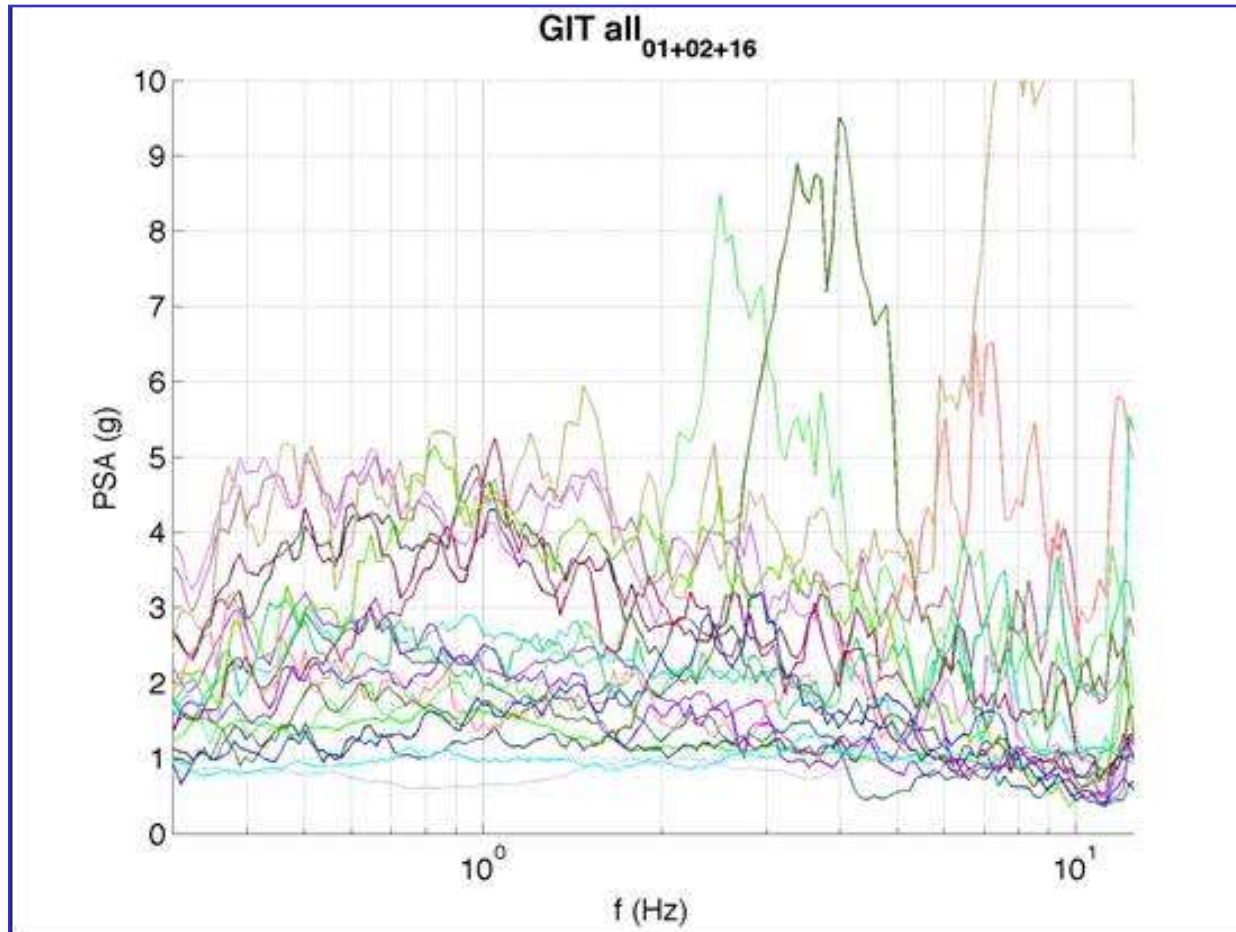


## UBICAZIONE SITI REGISTRAZIONI



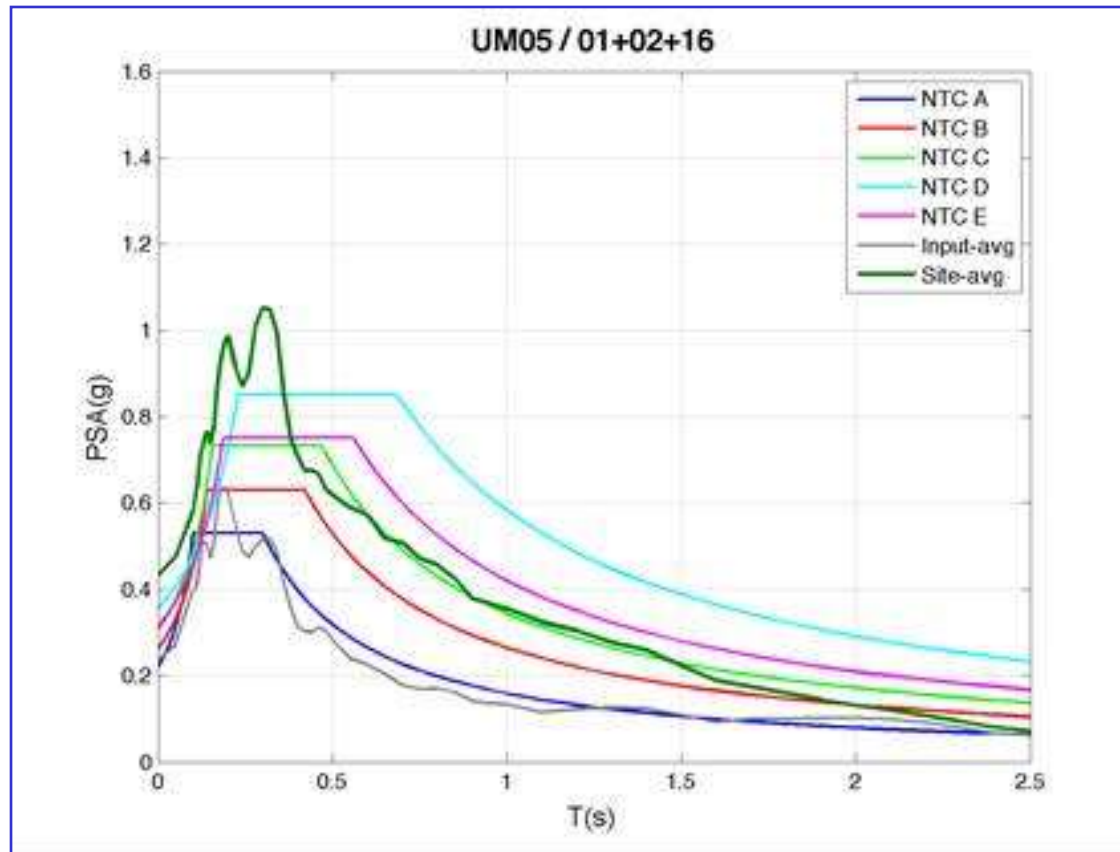


## RAPPORTI SPETTRALI





## RISULTATI

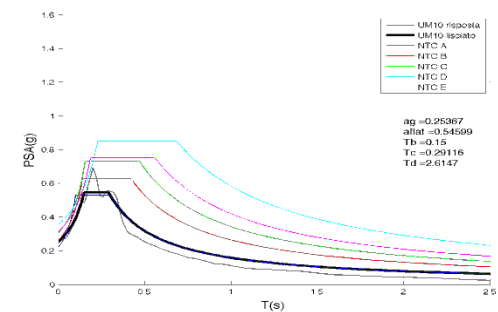
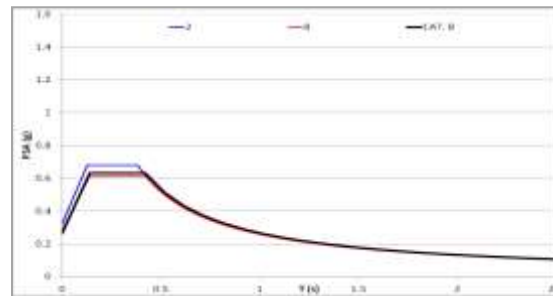
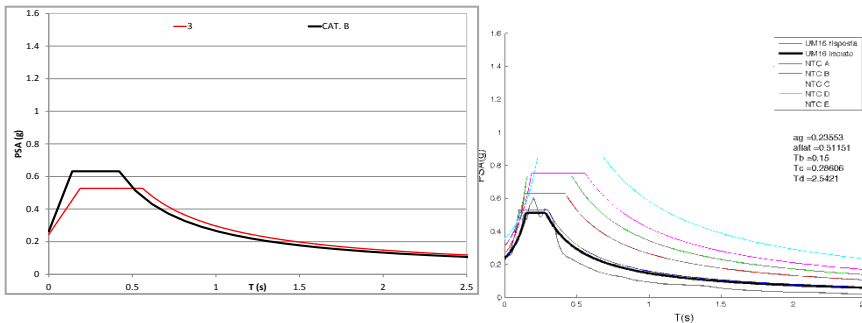






## CONFRONTO RISULTATI

I risultati ottenuti dalle analisi numeriche stati confrontati con quelli ottenuti dalla campagna strumentale: sono in generale tra loro concordi sia in termini di  $F_a$  sia in termini di spettri di risposta (sezione 1, sezione 3)



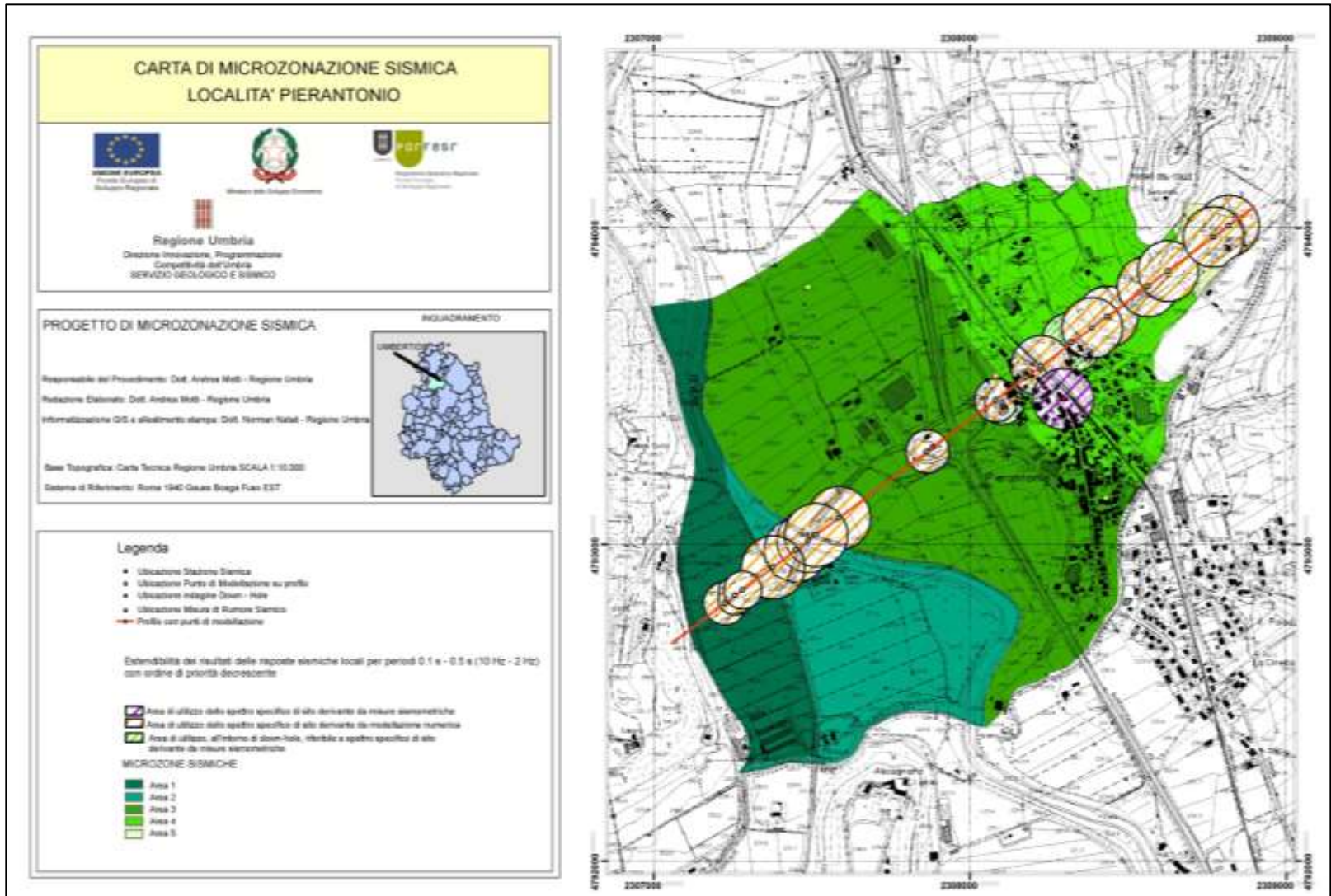


**Considerando la robustezza dei risultati ottenuti si prevede:**

- per i valori di  $F_a$  un utilizzo in fase di pianificazione per definire una graduatoria di pericolosità delle aree, previa estrapolazione geologica e geofisica e relativa redazione di opportune carte
- per gli spettri di risposta elastici un utilizzo diretto in fase di progettazione oppure un utilizzo indiretto per l'ottimizzazione della scelta dello spettro di norma che meglio rappresenta la situazione analizzata



# Utilizzo dei risultati





# Procedura

