

# Linee guida per la Microzonazione Sismica: metodologie ed esempi applicativi

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

**Convegno tra geologia e geofisica 2017**  
**XIV Workshop di Geofisica**  
**V Giornata di formazione**

**Microzonazione sismica: un approccio integrato tra geologia e geofisica**



**Rovereto, 1 Dicembre 2017**



POLITECNICO MILANO 1863

# Microzonazione sismica



- **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**



# Microzonazione sismica

<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



# Microzonazione sismica

## OSSERVAZIONI SULLE FRANE INDOTTE DA SISMA

Terremoto di El Salvador del 13 gennaio 2001 (M=7.7)



# Microzonazione sismica

## Movimenti franosi



Kobe, Giappone, 1995



Terremoto di Loma Prieta, USA, 1989



# Microzonazione sismica



Terremoto dell'Aquila, 2009



# Microzonazione sismica

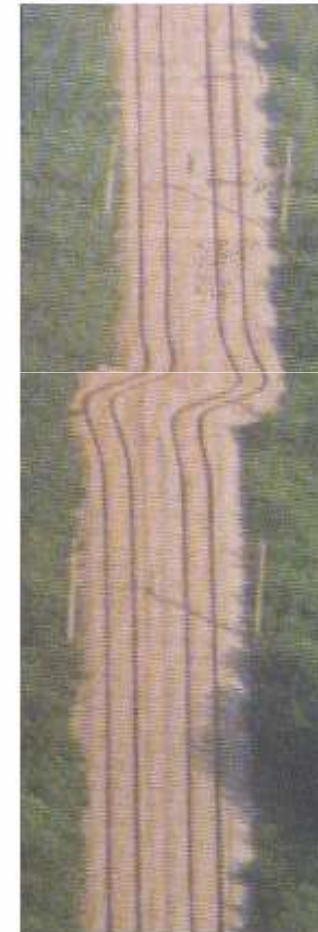
Osservazioni sulle rotture di faglia in superficie



# Microzonazione sismica

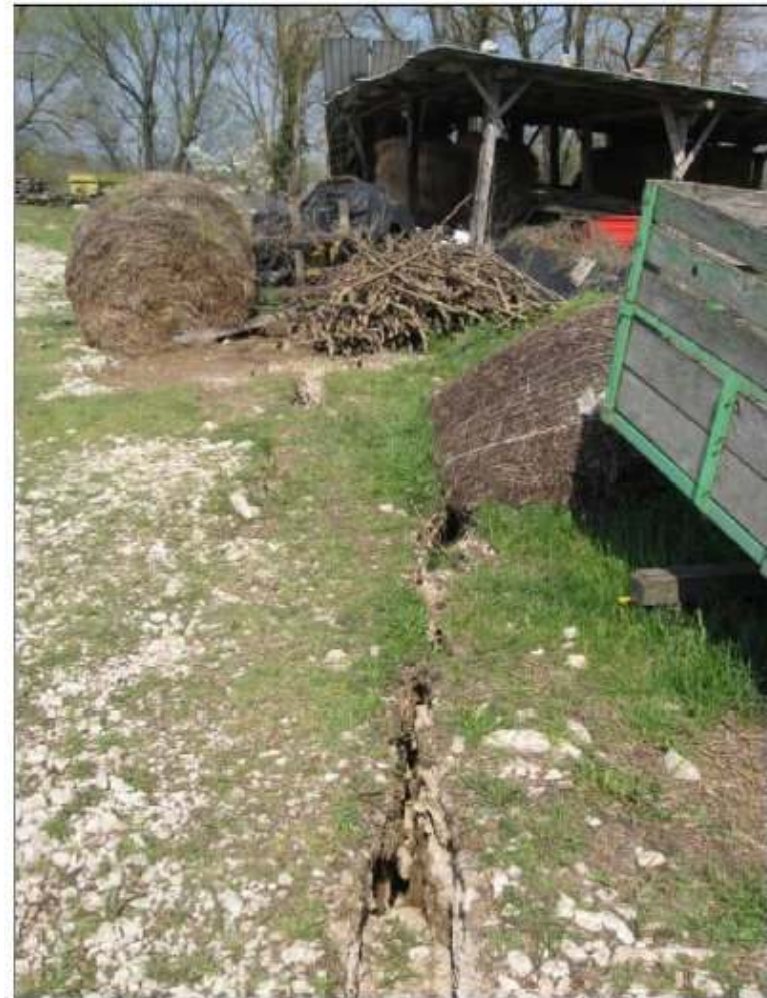
## Osservazioni sugli scorrimenti di faglia

Scorrimento della faglia anatolica,  
Kokaeli, 1999





# Microzonazione sismica



Terremoto dell'Aquila, 2009



# Microzonazione sismica



Terremoto dell'Aquila, 2009



# Microzonazione sismica

## Osservazioni sui fenomeni di liquefazione



# Microzonazione sismica



# Microzonazione sismica

## FENOMENI DI LIQUEFAZIONE



# Microzonazione sismica



# Microzonazione sismica

## Osservazioni sugli effetti amplificativi



## 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

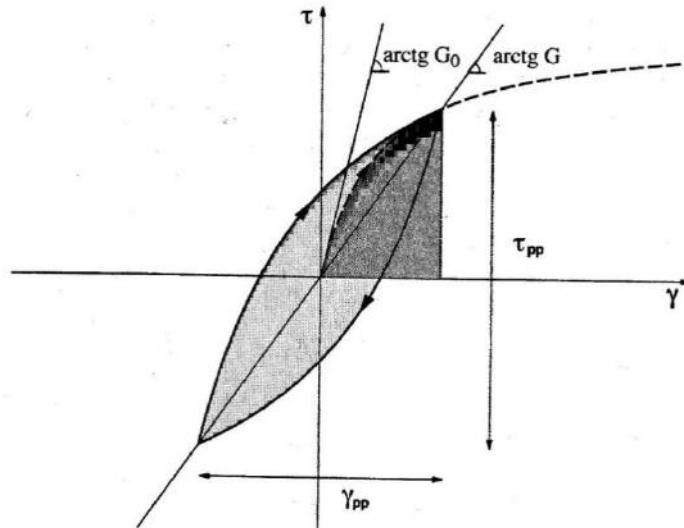
Terreni con comportamento **INSTABILE** nei riguardi del sisma







# 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  $S$



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

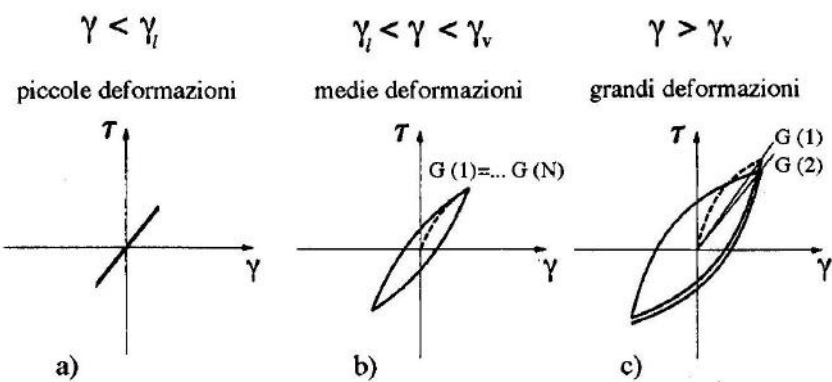
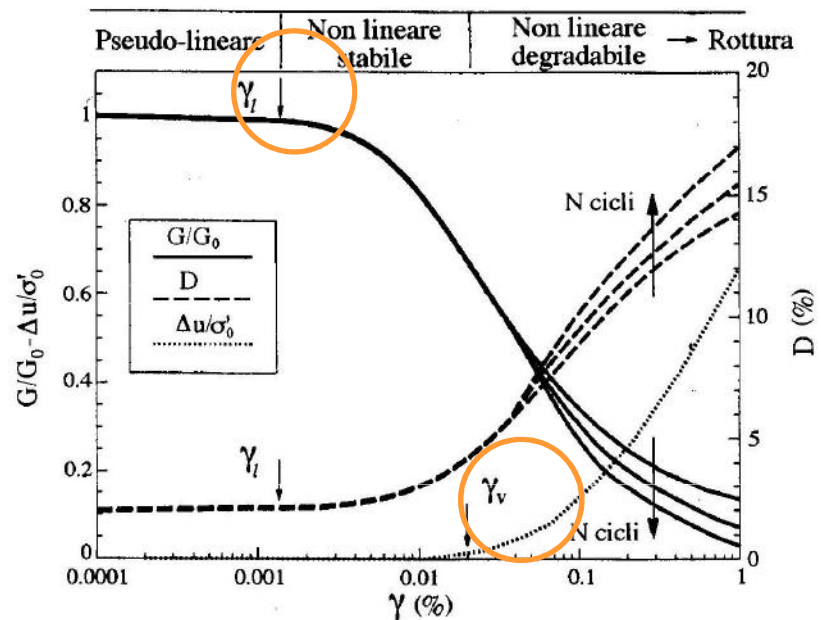
$W_D = \text{Area}$   = Energia dissipata nel ciclo  
 $W_S = \text{Area}$   = Energia accumulata nel 1° carico

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 %)

- a) Modello elastico lineare (se  $D_0=0$ ) o visco-elastico ( $D_0$ )
- b) Modello elastico lineare equivalente (coppie  $G-D$ )
- c) 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 1:5.000-1:10.000
- 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  $< 15^\circ$ )

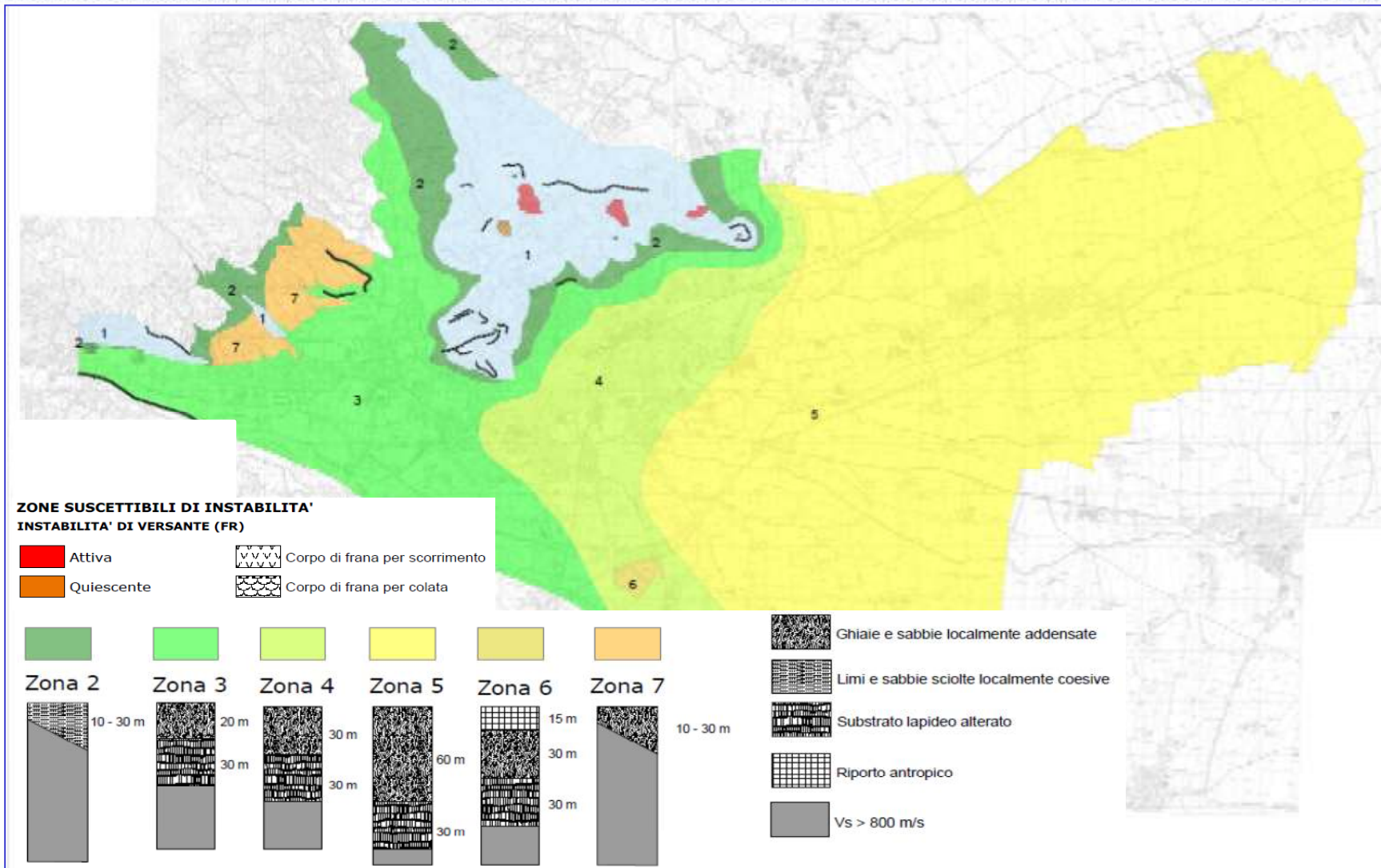
**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:**

- 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 Vs, microtremiti 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

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



# Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

## Livello 2

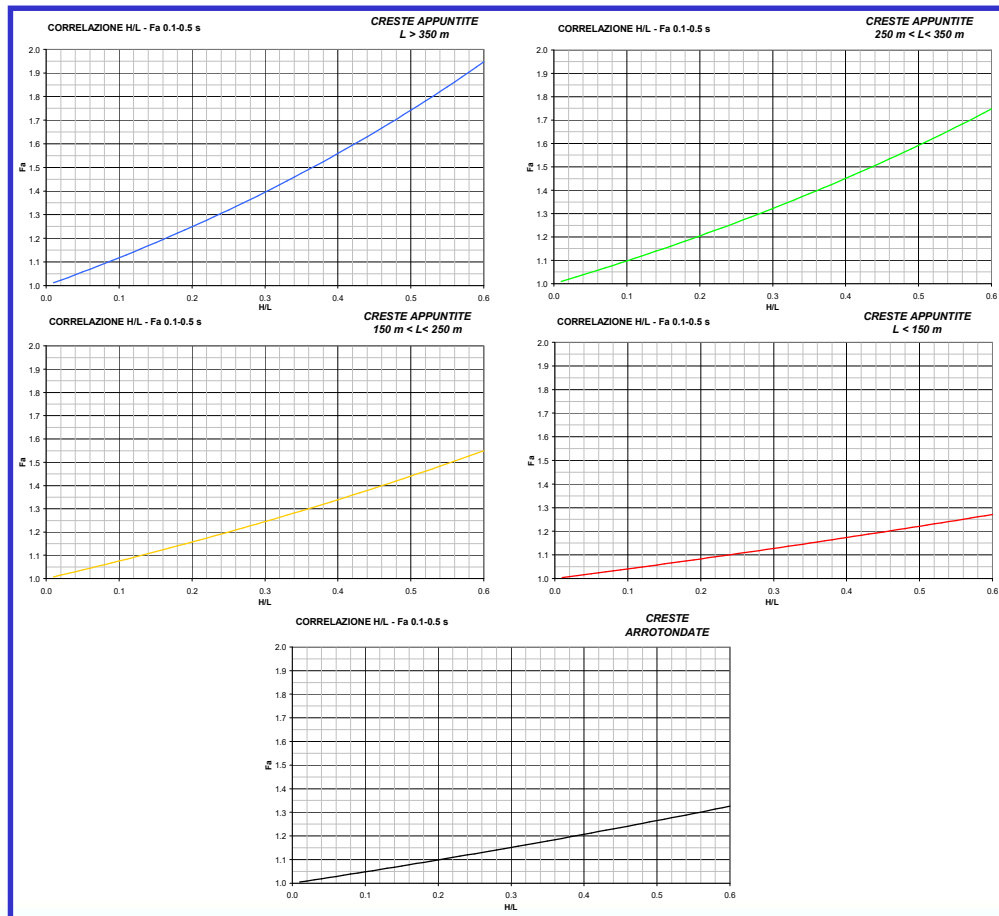
Fattore di amplificazione <i>F<sub>A</sub></i>	Tipo di terreno Argilla										
	<i>a<sub>g</sub></i> (g) 0.06g										
<i>H</i>	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia										
	<i>V<sub>eq</sub></i> (m/s)										
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
5	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.08	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	
15	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	
25	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	
35	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	
50	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	
70	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	
90	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	
110	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	
130	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	
150	1.00	1.26	1.40	1.42	1.38	1.28	1.24	1.18	1.09	0.99	



# Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

## MORFOLOGIA (creste e ciglio di scarpata)

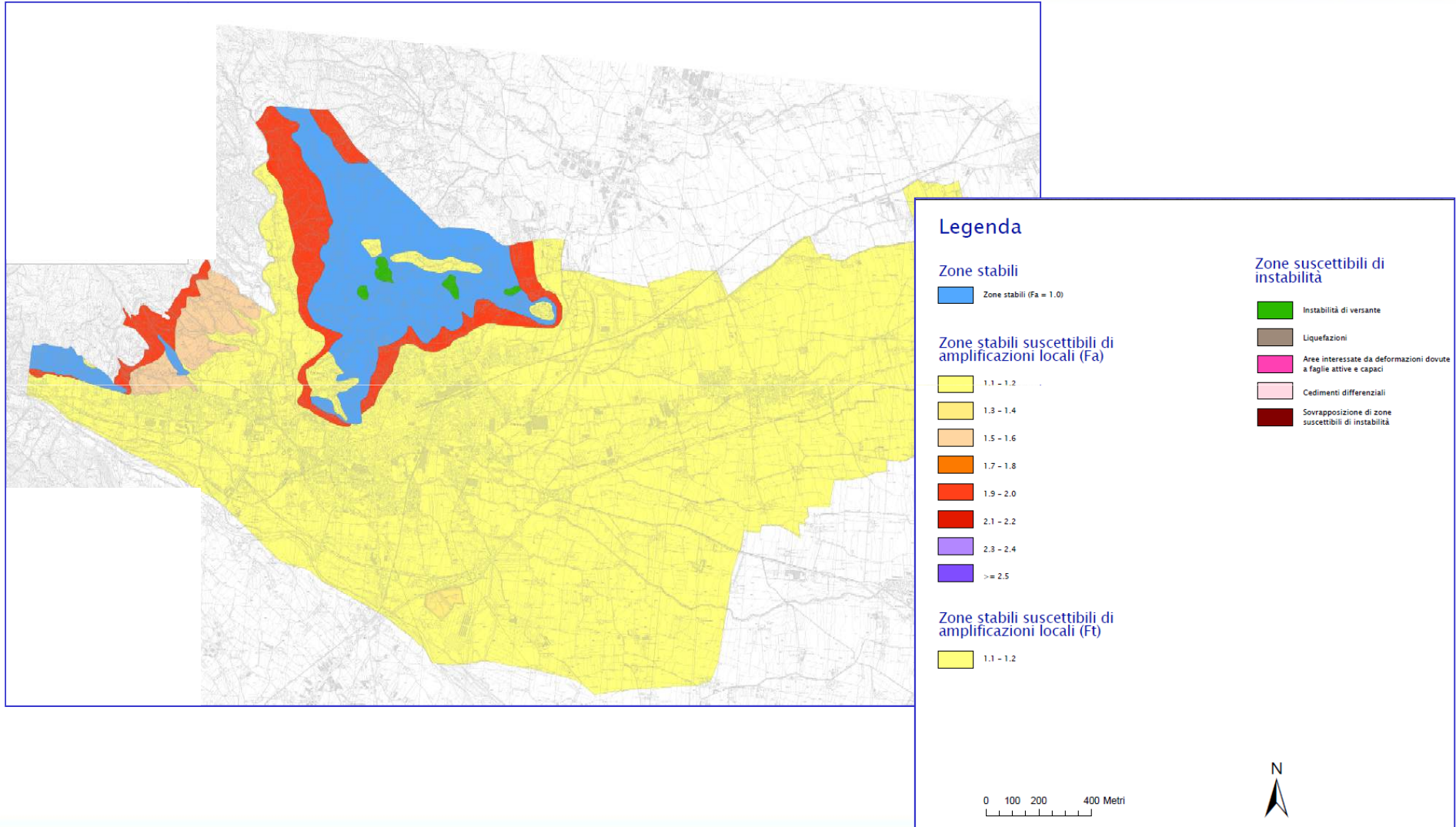
Parametri geometrici: altezza, larghezza, pendenza



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



## 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**



## 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

### Indagini

- campagne di acquisizione dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione di profili di Vs, sismica a rifrazione, prove geotecniche in situ e in laboratorio, microtremori, 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 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), con approfondimenti e relazione illustrativa



## Due categorie di problemi

– Amplificazioni

Approccio Numerico

Approccio Sperimentale

– Instabilità





## Dati e strumenti necessari:

1. Moto sismico di riferimento (input sismico)
2. Modello geologico e stratigrafia del sottosuolo
3. Proprietà meccaniche dei materiali
4. Codici di calcolo
5. Risultati
  - spettri di risposta in accelerazione al 5% dello smorzamento critico



## Riferimenti Normativi

### DM 14-01-2008 NTC e circolare esplicativa

Al punto 3.2.3.6 e 7.11.3.5.2:

- Accelerogrammi artificiali
- Accelerogrammi simulati - sintetici
- Accelerogrammi naturali – registrati

Utilizzo di almeno 5 (7) accelerogrammi per RSL e opere e sistemi geotecnici



# Input sismico



## Banche dati accelerometriche

- **JAPAN K-NET** <http://www.k-net.bosai.go.jp/> **KiK-net** <http://www.kik.bosai.go.jp/>
- **ITALY Italian ACcelerometric Archive: ITACA** <http://itaca.mi.ingv.it/>
- **ITALY Center for Engineering Strong Ground Motion Data: CESMD** <http://strongmotioncenter.org/>
- **USA PEER Strong Motion Database** [http://peer.berkeley.edu/peer\\_groun](http://peer.berkeley.edu/peer_groun)
- **USA d\_motion\_database U.S. Geological Survey National Strong Motion Project: NSMP** <http://nsmg.wr.usgs.gov/>
- **EUROPE European Strong-Motion Data Base: ESMD** <http://www.isesd.hi.is/>
- **NEW ZEALAND Institute of Geological and Nuclear Sciences: GNS** <http://www.geonet.org.nz>
- **TURKEY Turkish National Strong Motion Project: T-NSMP** <http://daphne.deprem.gov.tr>
- **IRAN Iran Strong Motion Network ISMN** <http://www.bhrc.ac.ir/>



## Banche dati accelerometriche regionali

**Regione Emilia-Romagna:** selezione di gruppi di 3 accelerogrammi naturali scalati per ciascun comune – banca dati utilizzata ESMD con criterio di similarità degli spettri di risposta (Marcellini et al., 2007)

**Regione Lombardia:** selezione di gruppi di 5 accelerogrammi naturali scalati per ciascuna fascia di pericolosità regionale – banca dati utilizzata ITACA (Politecnico di Milano, 2009)

**Regione Lazio:** gruppo di 5 accelerogrammi naturali e di 5 ibridi spettro-compatibili per ciascuna UAS (ENEA, 2011)



# Input sismico



**SELEZIONE AUTOMATICA (Roxel etc..)**

**SELEZIONE MANUALE**

**Identificazione spettro di target**

**Selezione da banca dati in base ai criteri:**

- **Valore di massima accelerazione orizzontale attesa**
- **Registrazione su roccia o suolo categoria A**
- **Coppia magnitudo-distanza**
- **Meccanismo della sorgente**
- **Compatibilità della media con lo spettro di risposta di target derivato da NTC 2008**



- **Modello geologico s.l.**
- **Costruzione delle sezioni da modellare**
- **Reperimento dei parametri geotecnici e geofisici necessari per la modellazione (velocità onde  $S$ , velocità onde  $P$ , modulo di taglio, coefficiente di Poisson, rapporto di smorzamento, densità, curve di decadimento)**



## MODELLAZIONE

Scelta dei programmi di calcolo (monodimensionali, bidimensionali, ecc.) in funzione della situazione geologica da analizzare:

- Solo effetti litostratigrafici: modelli 1D
- Anche effetti geometria sepolta: modelli 2D
- Effetti topografici: modelli 2D



## PROGRAMMI DI CALCOLO MONODIMENSIONALI

- Shake:**                    **modello a strati continui paralleli**  
**dominio frequenze**  
**lineare equivalente**  
**sforzi totali**
- Desra - Onda:**        **modello a masse concentrate**  
**non lineare**  
**sforzi efficaci**

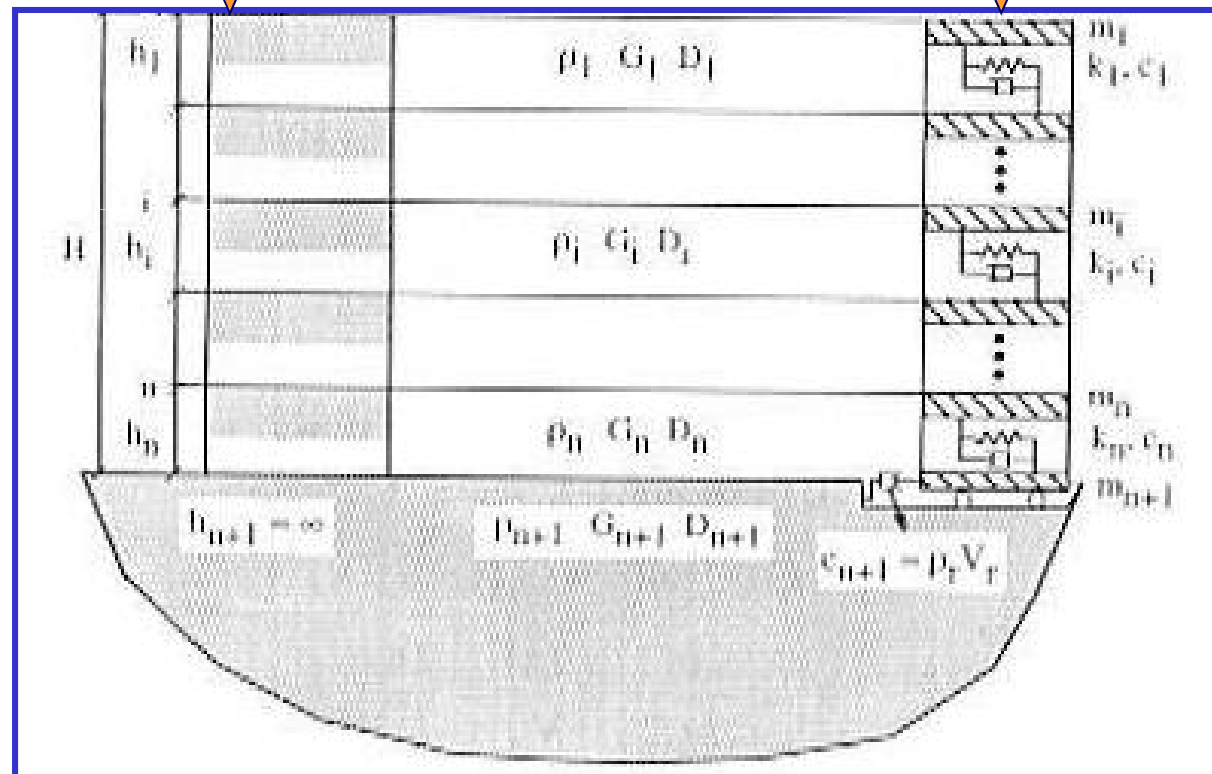




# Codici di calcolo

Modello a strati continui

Modello a masse concentrate



## PROGRAMMI DI CALCOLO MONODIMENSIONALI

### Limiti:

modello a volte troppo semplicistico per alcune situazioni reali

### Vantaggi:

applicabilità su aree vaste (colonnine tipo)

non necessita della conoscenza della geometria sepolta bidimensionale

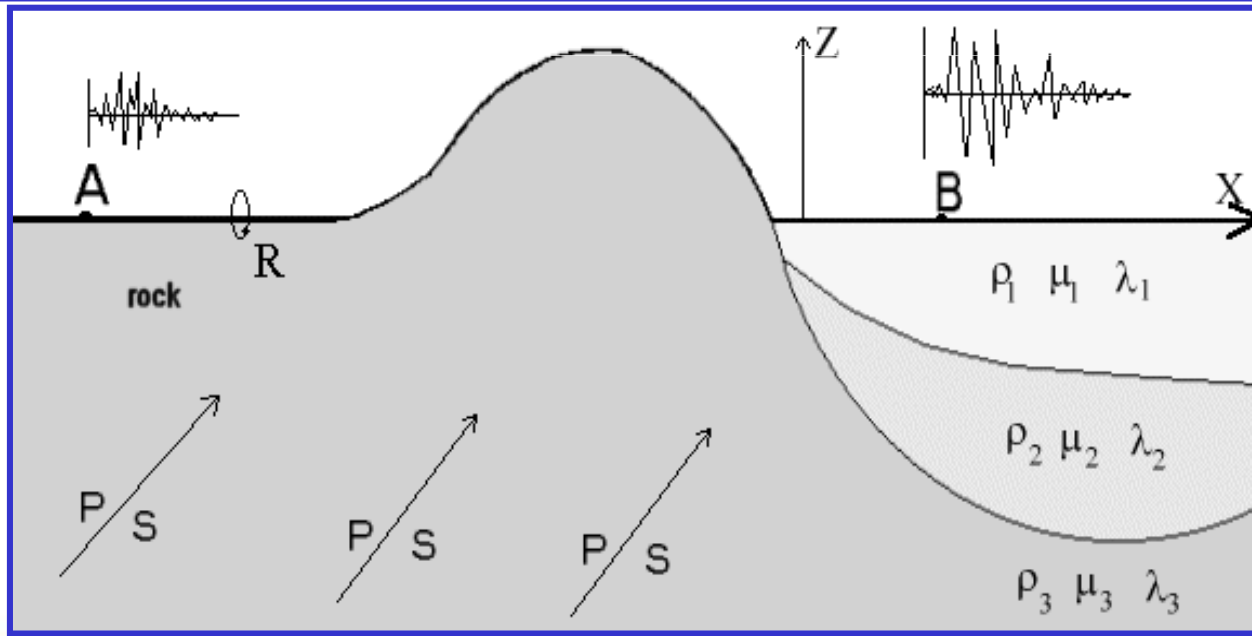
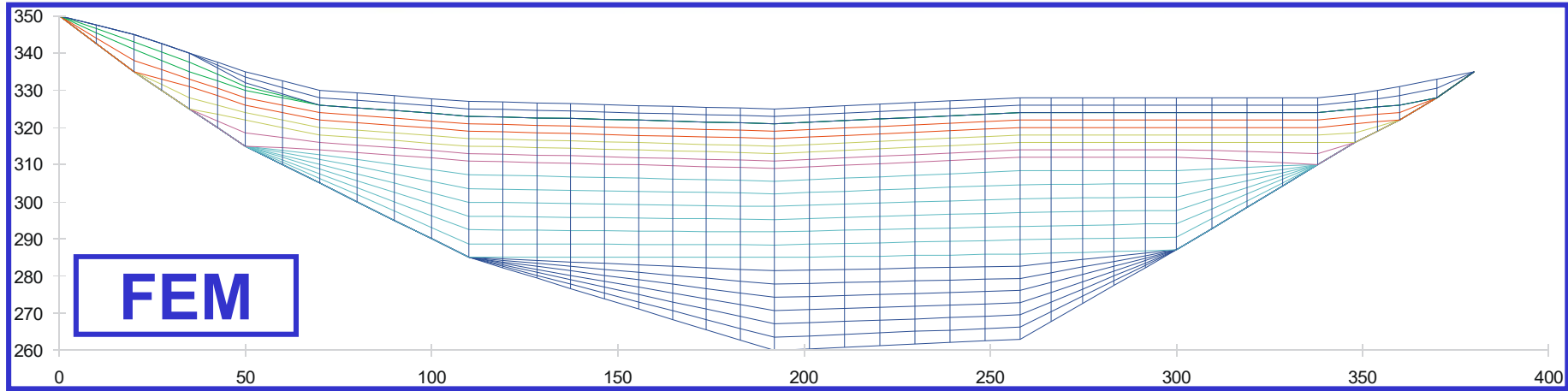


## PROGRAMMI DI CALCOLO BIDIMENSIONALI

<b>Flac:</b>	<b>differenze finite (DFM)</b> <b>varie leggi costitutive</b>
<b>Quad - Flush:</b>	<b>elementi finiti (FEM)</b> <b>modello a masse concentrate</b> <b>lineare equivalente</b> <b>dominio del tempo</b>
<b>Besoil – Elco:</b>	<b>elementi di contorno (BEM)</b> <b>elastico</b> <b>dominio delle frequenze</b>
<b>Else:</b>	<b>elementi spettrali (SM)</b> <b>elastico</b> <b>possibili versioni 3D</b>
<b>Ahnse:</b>	<b>metodo ibrido SM-FEM</b>



# Codici di calcolo



**BEM**

## PROGRAMMI DI CALCOLO BIDIMENSIONALI

### Limiti:

**complessità nella costruzione del modello**

**necessità di conoscenza delle caratteristiche geometriche sepolte (> indagini)**

### Vantaggi:

**buona risposta**

**possibilità di modellazione per casi particolari**



## *Due categoria di problemi*

– Amplificazioni

Approccio Numerico

Approccio Sperimentale

– Instabilità



# Analisi sperimentale



- **Acquisizione di dati strumentali** attraverso campagne di registrazione eseguite in sito usando velocimetri o accelerometri
- **Registrazioni** di rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti elaborati permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica-sorgente

I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo HVSR di **Nakamura (1989)** e il metodo dei rapporti spettrali HHSR di **Kanai e Tanaka (1961)**



## METODO DI NAKAMURA - HVSR

- **Componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione**
- **Al bedrock il rapporto tra la componente verticale e quella orizzontale è prossimo all'unità**
- **Il rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale fornisce un fattore di amplificazione e il periodo proprio dei depositi**
- **In generale è necessario effettuare la media di quanti più eventi possibile; in questo modo si può inoltre valutare l'effetto di più sorgenti di rumore tra loro combinate, superando il problema di una loro eventuale accentuata localizzazione**



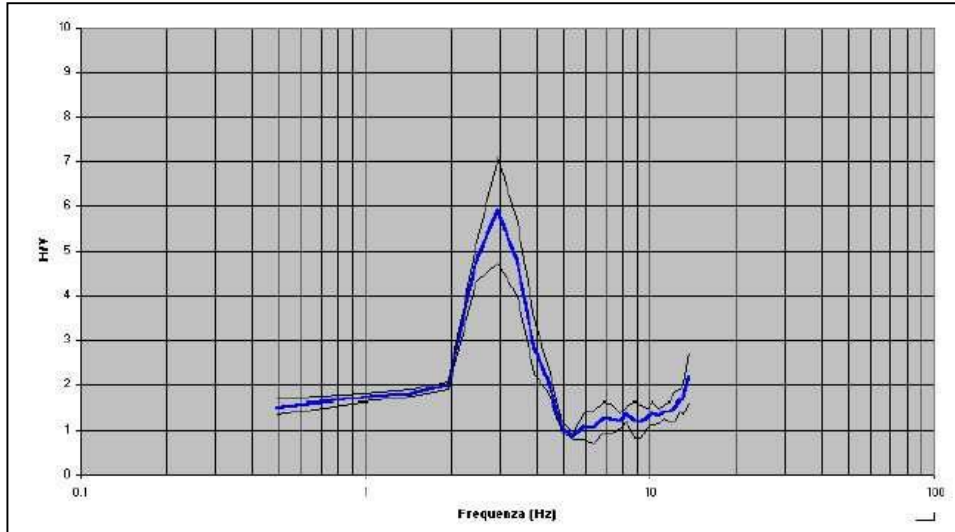


## METODO DEI RAPPORTI SPETTRALI - HHSR

- Basato su registrazioni accelerometriche, velocimetriche o di spostamento in corrispondenza di varie stazioni tra cui una considerata di riferimento (posta su bedrock)
- Il rapporto tra lo spettro di Fourier delle stazioni e lo spettro di Fourier del riferimento permette di calcolare le funzioni di trasferimento del deposito che, applicate al moto di input, forniscono il grado di amplificazione

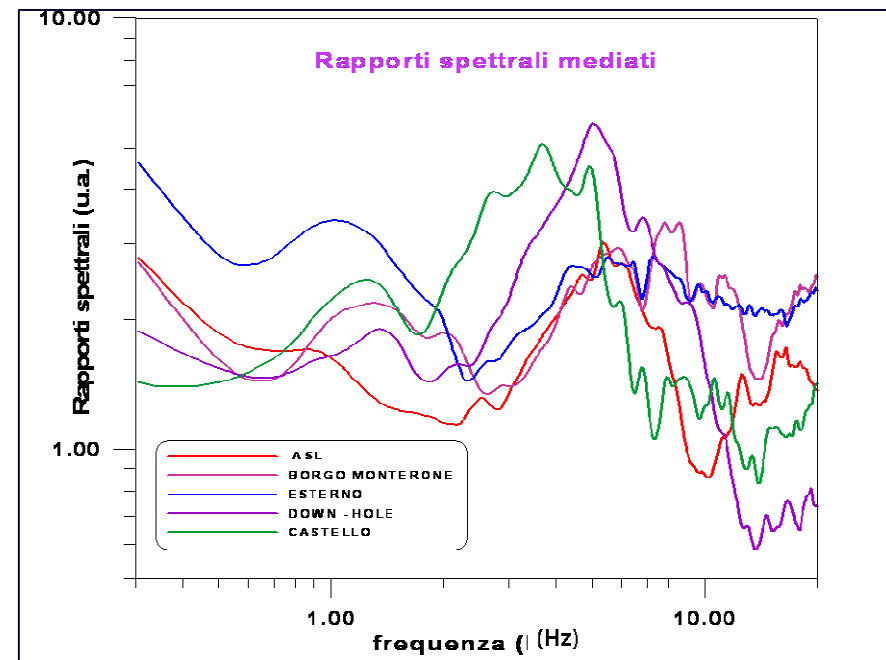


# Analisi sperimentale



## HVSR Funzione ricevitore

## HHSR Funzione di trasferimento



# Analisi sperimentale



## HVSR - HHSR

### Limiti:

Risposta solo in campo elastico

Difficoltà nella scelta del sito di riferimento (HHSR)

Tempi di acquisizione sufficientemente lunghi

### Vantaggi:

Semplicità ed economicità (HVSR)

Determinazione periodo proprio deposito (HVSR)

Determinazione funzione di trasferimento (HHSR)

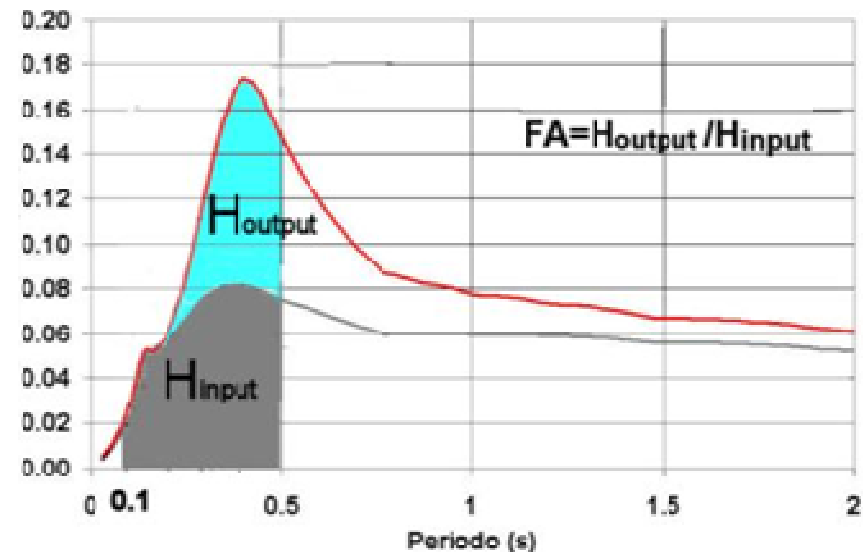


## TIPI DI RISULTATO

- Accelerogrammi in superficie
- Spettri risposta elastici e di Fourier in superficie
- Fattori di amplificazione ( $F_a$ )

Rapporti di intensità spettrale ( $S_I$ ) calcolati per gli spettri in pseudoaccelerazione, 5% di smorzamento, per diversi intervalli di periodo (es: 0.1-0.5s):

$$F_a = S_{I_{out}} / S_{I_{inp}}$$



## OBIETTIVI

- **Microzonazione sismica di livello 3 utilizzando sia analisi numeriche sia analisi sperimentali del centro urbano;**
- **Rendere disponibili strumenti operativi per la pianificazione urbanistica, per la pianificazione delle emergenze per la protezione civile e per la progettazione.**



# Applicazione - Umbertide



## ENTI COINVOLTI

- Regione Umbria
- Comune di Umbertide

## ENTI DI RICERCA

- INOGS di Trieste
- CNR-IDPA di Milano
- Politecnico di Milano
- Professionisti



# Applicazione - Umbertide



## FASI FONDAMENTALI DELLO STUDIO

Rilevamento geologico di dettaglio dell'area (scala 1:10.000)

Redazione della cartografia geologica e della pericolosità sismica locale

Raccolta dati geologici, geomorfologici, geofisici e geotecnici esistenti

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

Esecuzione di un nuovo programma di indagine in sito e in laboratorio



# Applicazione - Umbertide



## FASI FONDAMENTALI DELLO STUDIO

**Individuazione dell'input sismico**

**Costruzione del modello geologico - geofisico ed individuazione di 5 sezioni geologico - geofisiche rappresentative**

**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 urbanistico sia in ambito progettuale.**





# Applicazione - Umbertide



## RACCOLTA DATI ESISTENTI

Indagini geologiche e geotecniche (110 sondaggi)

Informazioni sul danneggiamento storico da terremoti (457 dati relativi agli eventi 1984 e 1997)

## NUOVA CAMPAGNA GEOGNOSTICA

13 sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 30-45 m ciascuno

60 prove SPT

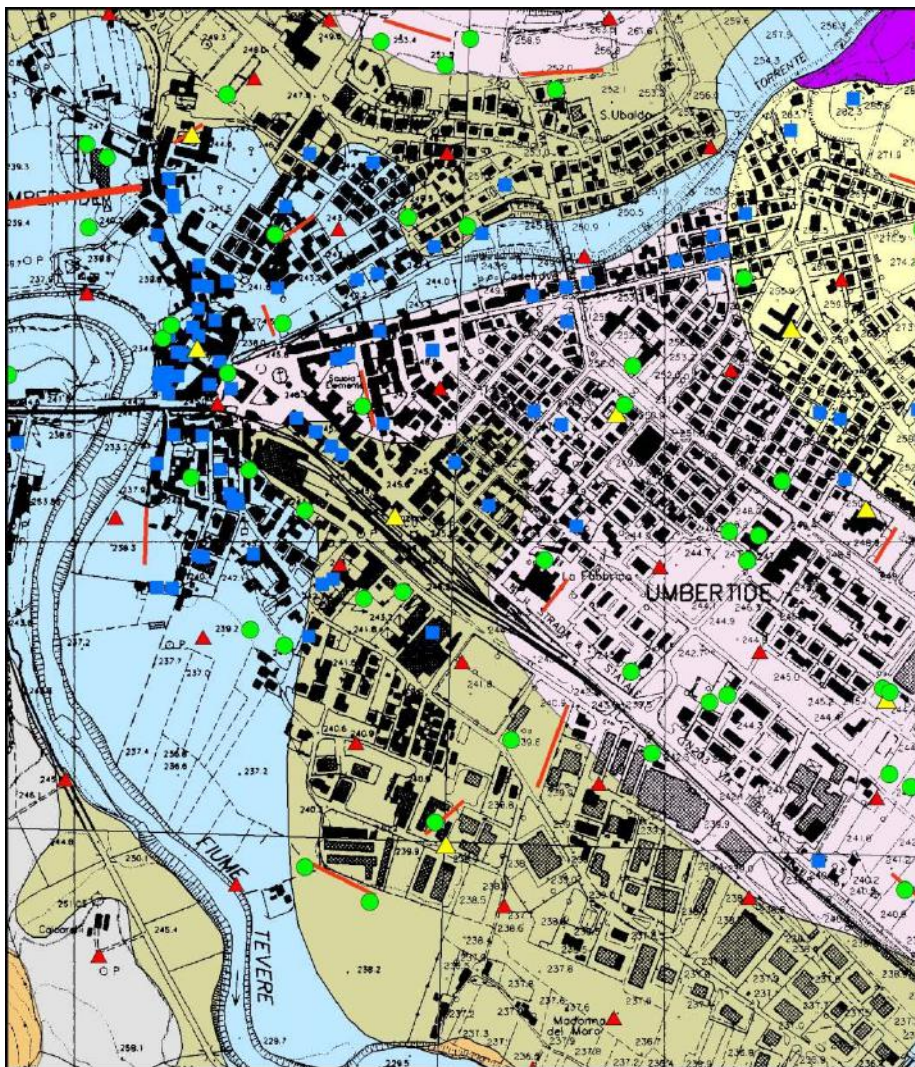
13 Down Hole

83 siti con H/V, 20 siti H/H, 3 siti con MASW/Remi

20 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio statiche e dinamiche (proprietà fisiche, analisi granulometrica, prova edometrica, prova triassiale e colonna risonante)



# Applicazione - Umbertide



## CARTA GEOLOGICA e INDAGINI ESISTENTI

Geologia	
Frane attive	Danneggiamento edifici dei terremoti del1984 e 1997
Depositi colluviali	<b>Indagini geognostiche e geofisiche</b>
Alluvioni recenti ed attuali	MASW,REMI,ERT, Sismica a rifrazione
Alluvioni terrazze 2 ordine	Sondaggi a distruzione,carotaggio continuo, penetrometrie dinamiche, SPT, CPT,Down Hole, HVSR
Alluvioni terrazze 1 ordine	Misure di rumore
Subsistema di Citerna (CTA1a)	Stazioni sismometriche
Depositi torbiditici (MUM1)	



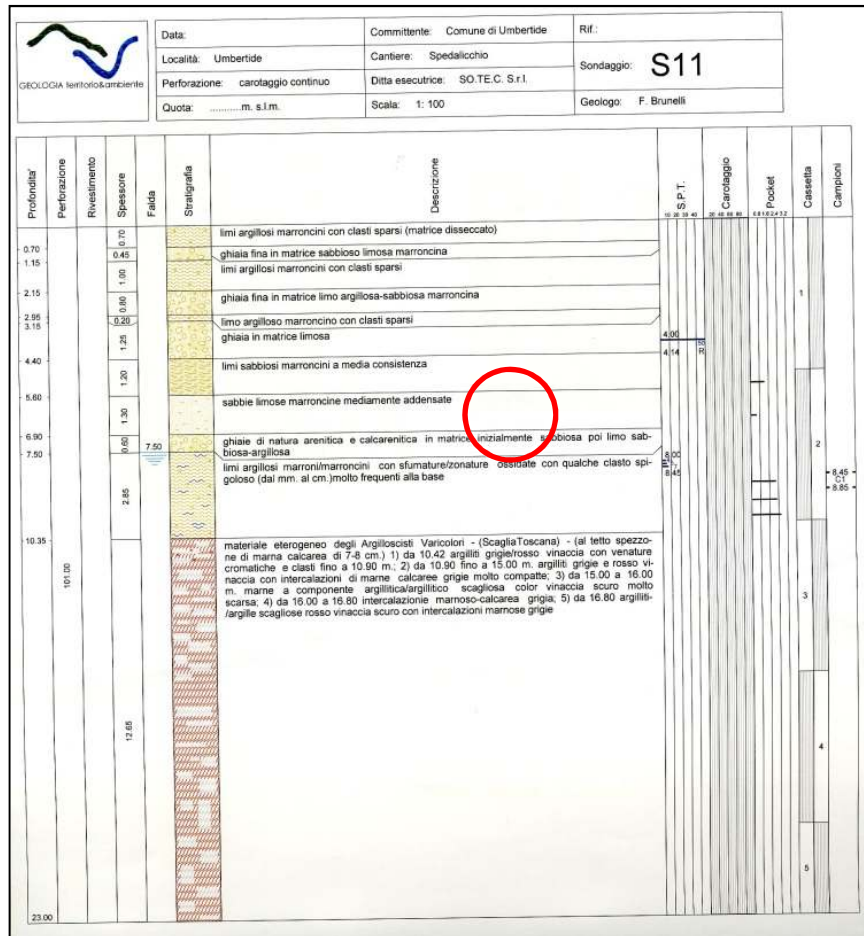
# Applicazione - Umbertide

## NUOVI SONDAGGI E RELATIVI DH

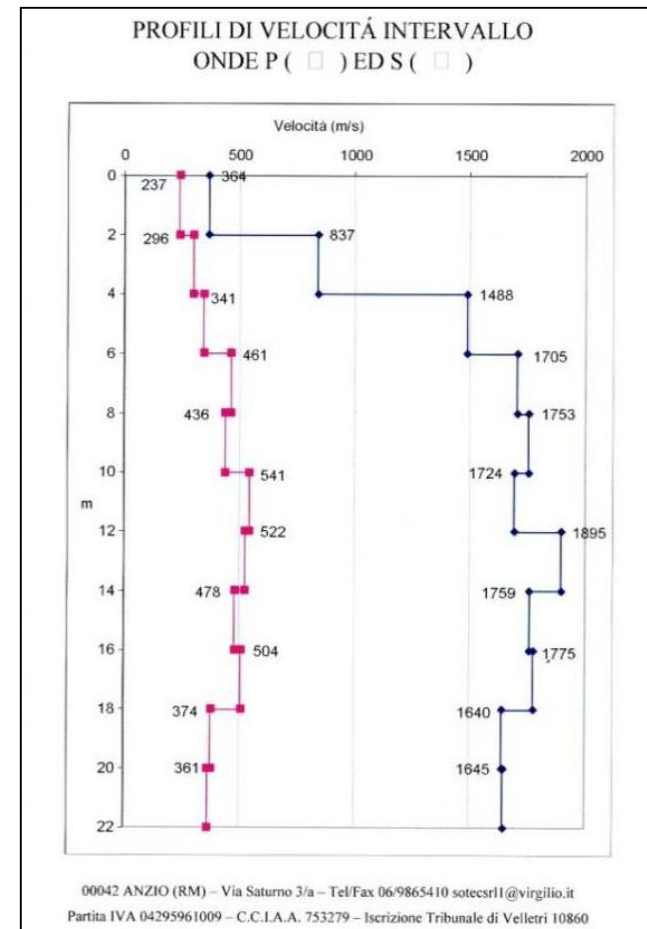


# Applicazione - Umbertide

## ESEMPIO NUOVE INDAGINI



**SONDAGGIO**

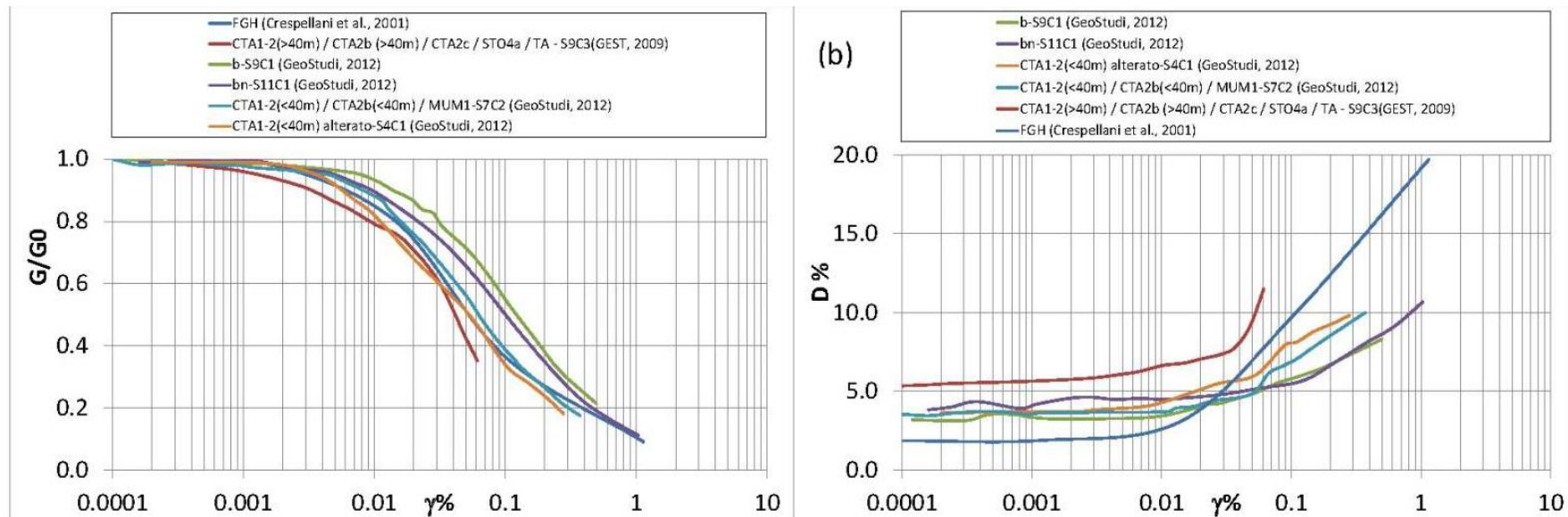


**DH**



# Applicazione - Umbertide

## CURVE DI DECADIMENTO



**DESUNTE DALLE PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE NELL'AMBITO  
SIA DEL PROGETTO UMBERTIDE SIA DI PRECEDENTI PROGETTI  
(ALTAVALTIBERINA – PERUGIA)**



# Applicazione - Umbertide

## MODELLO GEOLOGICO GEOFISICO

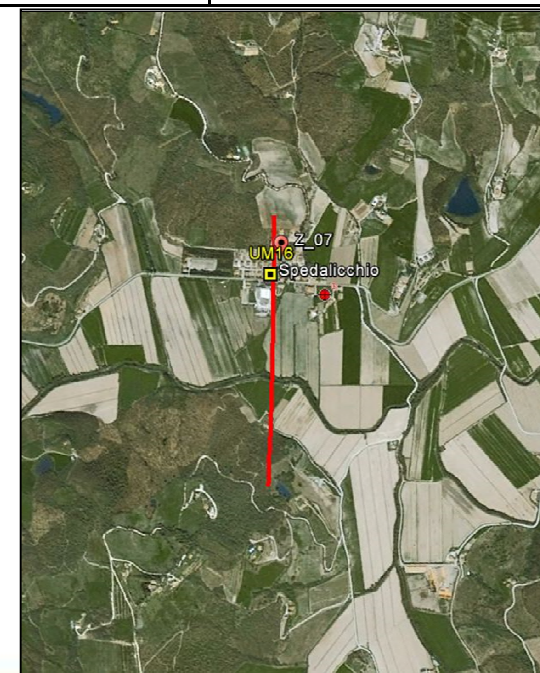
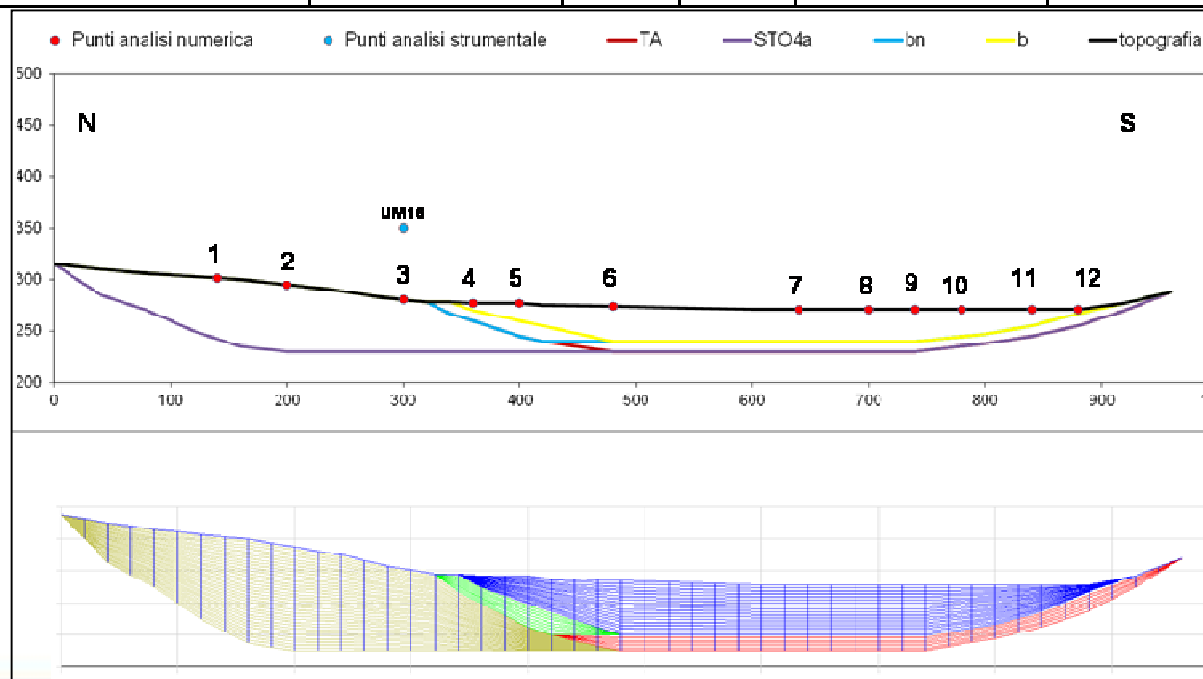
<i>Denominazione unità geologica</i>	<i>Denominazione unità geofisica</i>	<i>Sigla unità geofisica</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s)</i>	<i>V<sub>p</sub> (m/s)</i>	<i>γ (kN/mc)</i>
Alluvioni recenti	unità limosa alluvionale	b	300	1200	20.3
Alluvioni terrazzate	unità limo-ghiaiosa	bn	340	1450	19.9
Sintema Citerna Subsintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 alterato	200	1000	20.4
Sintema Citerna Subsintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 (<40m)	480	1850	20.4
Sintema Citerna Subsintema Molin dell'Olio	unità limo-ghiaio-sabbiosa	CTA1-2 (>40m)	540	2120	20.4
Sintema Citerna Subsintema M. Rotondo	unità conglomeratica (40m)	CTA2c	460	1970	19.9
Formazione Marnoso-arenacea umbra Membro C. Spertaglia	unità pelitico arenacea	MUM1	480	1850	20.4
	unità torbiditica alterata	TA	540	2120	21.0
Scaglia Toscana Membro c. Dudda litofacies di Montanare	unità calcareo-argillitica fratturata	STO4a	460	1740	20.9
Sintema di Fighille	unità argillosa	FGH	700	2300	20.5
Substrato rigido		-	800	2400	22.0



# Applicazione - Umbertide

## SEZIONE e MODELLO – PROFILO n. 1

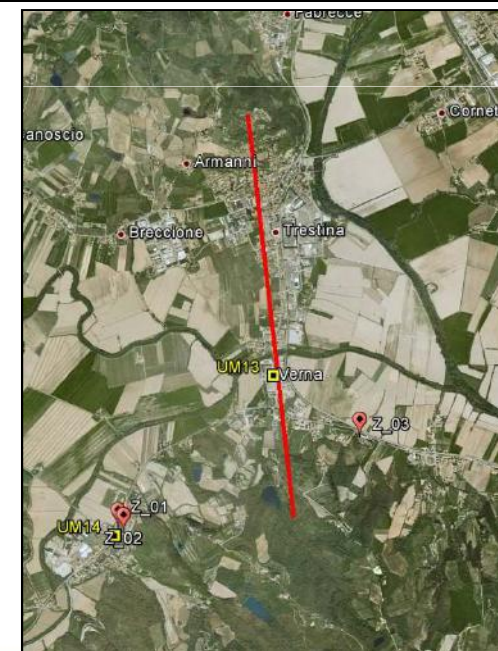
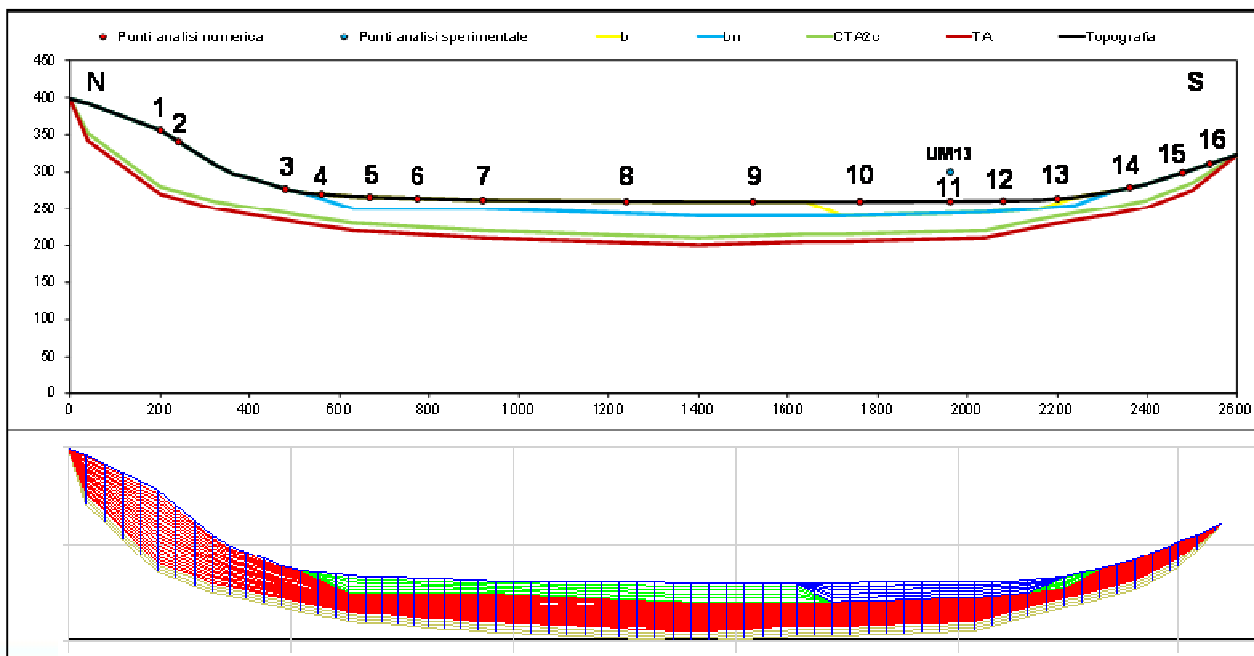
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1- GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
STO4a	20.9	460	1740	0.46	5.26	S9C3 – GEST,2009
TA	20.0	540	2120	0.47	5.26	S9C3 – GEST, 2009
SUBSTRATO RIGIDO	22.0	800	2400	0.44	0.05	-



# Applicazione - Umbertide

## SEZIONE e MODELLO – PROFILO n. 2

LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1- GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA2c	19.9	460	1970	0.47	5.26	S9C3 – GEST,2009
TA	20.0	540	2120	0.47	5.26	S9C3 – GEST, 2009
SUBSTRATO RIGIDO	22.0	800	2400	0.44	0.05	-

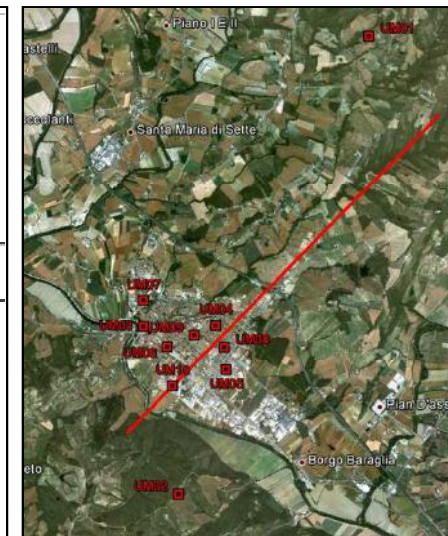
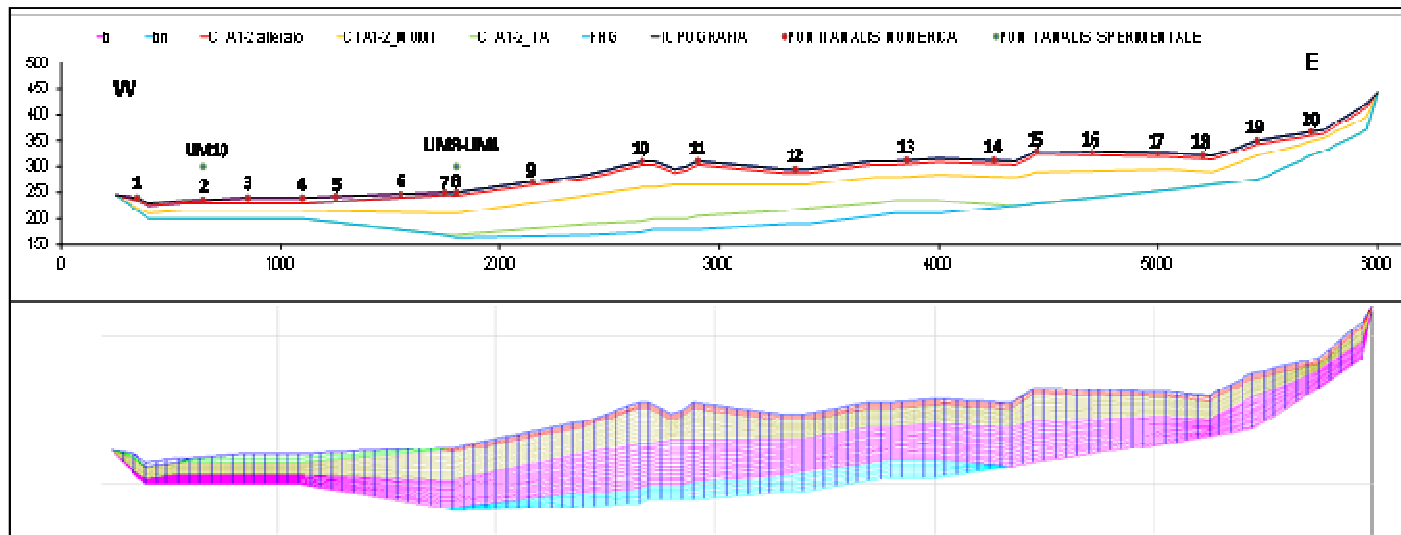




# Applicazione - Umbertide

## SEZIONE e MODELLO – PROFILO n. 3

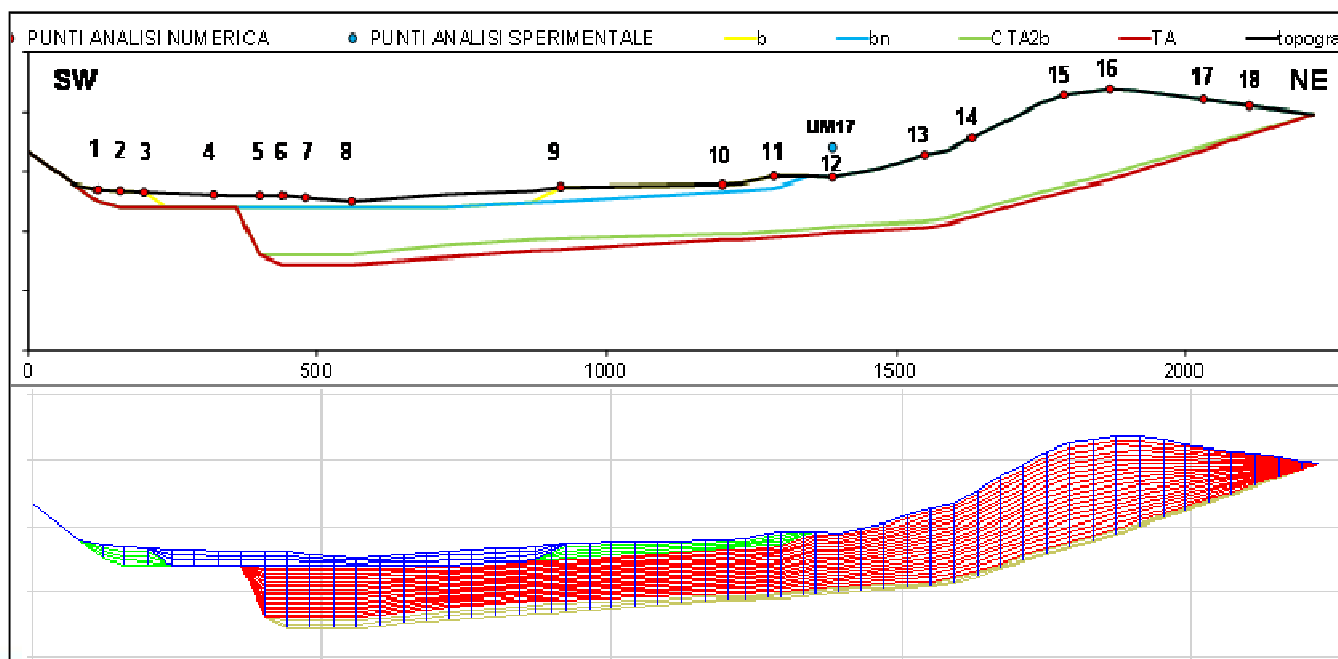
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1 – GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA1-2 (<40m) / MUM1	20.4	480	1850	0.46	3.54	S7C2 – GeoStudi, 2012
CTA1-2 (>40m) / TA	21.0	540	2120	0.47	5.26	S9C3 – GEST, 2009
CTA1-2 alterato	19.0	200	1000	0.48	3.64	S4C1 – GeoStudi, 2012
FGH	20.5	700	2300	0.45	1.86	Crespellani et al., 2001
SUBSTRATO RIGIDO	22.0	800	2400	0.44	0.05	-



# Applicazione - Umbertide

## SEZIONE e MODELLO – PROFILO n. 4

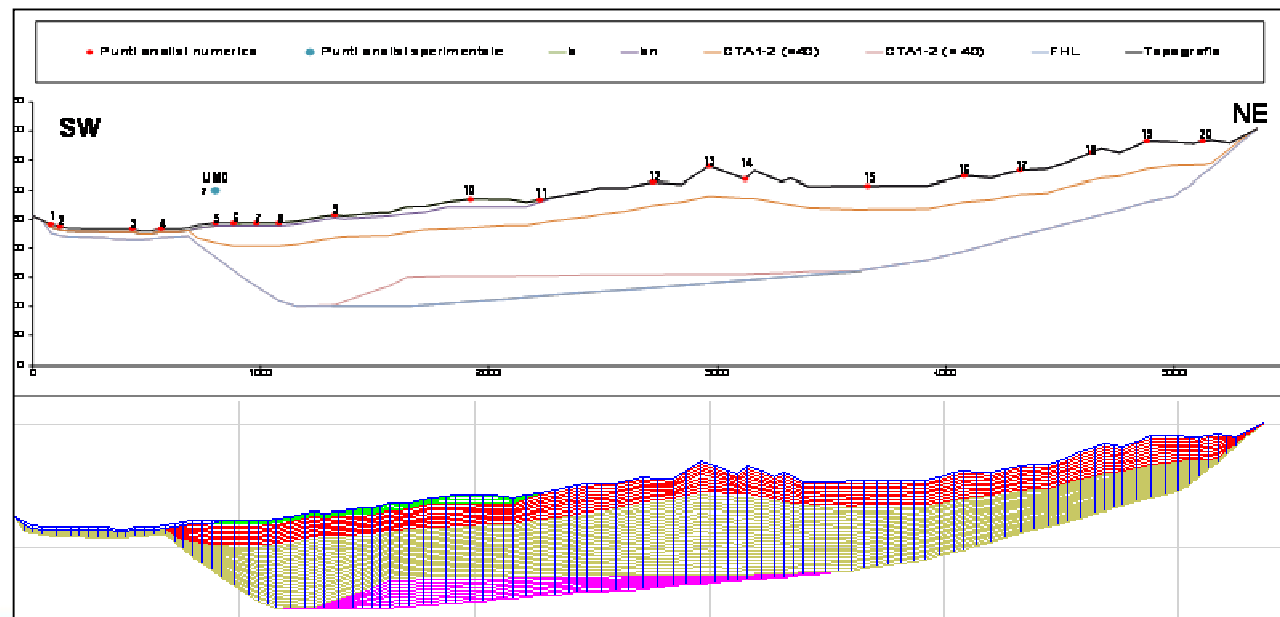
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1 – GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA2b (<40m)	20.4	480	1850	0.46	3.54	S7C2 – GeoStudi, 2012
CTA2b (>40m) / TA	21.0	540	2120	0.47	5.26	S9C3 – GEST, 2009
SUBSTRATO RIGIDO	22.0	800	2400	0.44	0.05	-



# Applicazione - Umbertide

## SEZIONE e MODELLO – PROFILO n. 5

LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1 – GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA1-2 (<40m)	20.4	480	1850	0.46	3.54	S7C2 – GeoStudi, 2012
CTA1-2 (>40m)	21.0	540	2120	0.47	5.26	S9C3 – GEST, 2009
FGH	20.5	700	2300	0.45	1.86	Crespellani et al., 2001
SUBSTRATO RIGIDO	22.0	800	2400	0.44	0.05	-



## INPUT SISMICO: criteri di selezione

In base ai criteri previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/08) sono stati selezionati 5 accelerogrammi registrati:

Database ITACA (2010): eventi italiani

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

Compatibili con le caratteristiche sismogenetiche dell'area (distensivo)

Compatibili con coppia magnitudo-distanza da analisi di disaggregazione ( $M_w$  4.5-5.0; D 0-10 km e  $M_w$  5.5-6.0; D 20-30 km)

Registrati su sottosuolo di categoria A

Spettro-compatibilità con lo spettro elastico previsto su sottosuolo A



# Applicazione - Umbertide

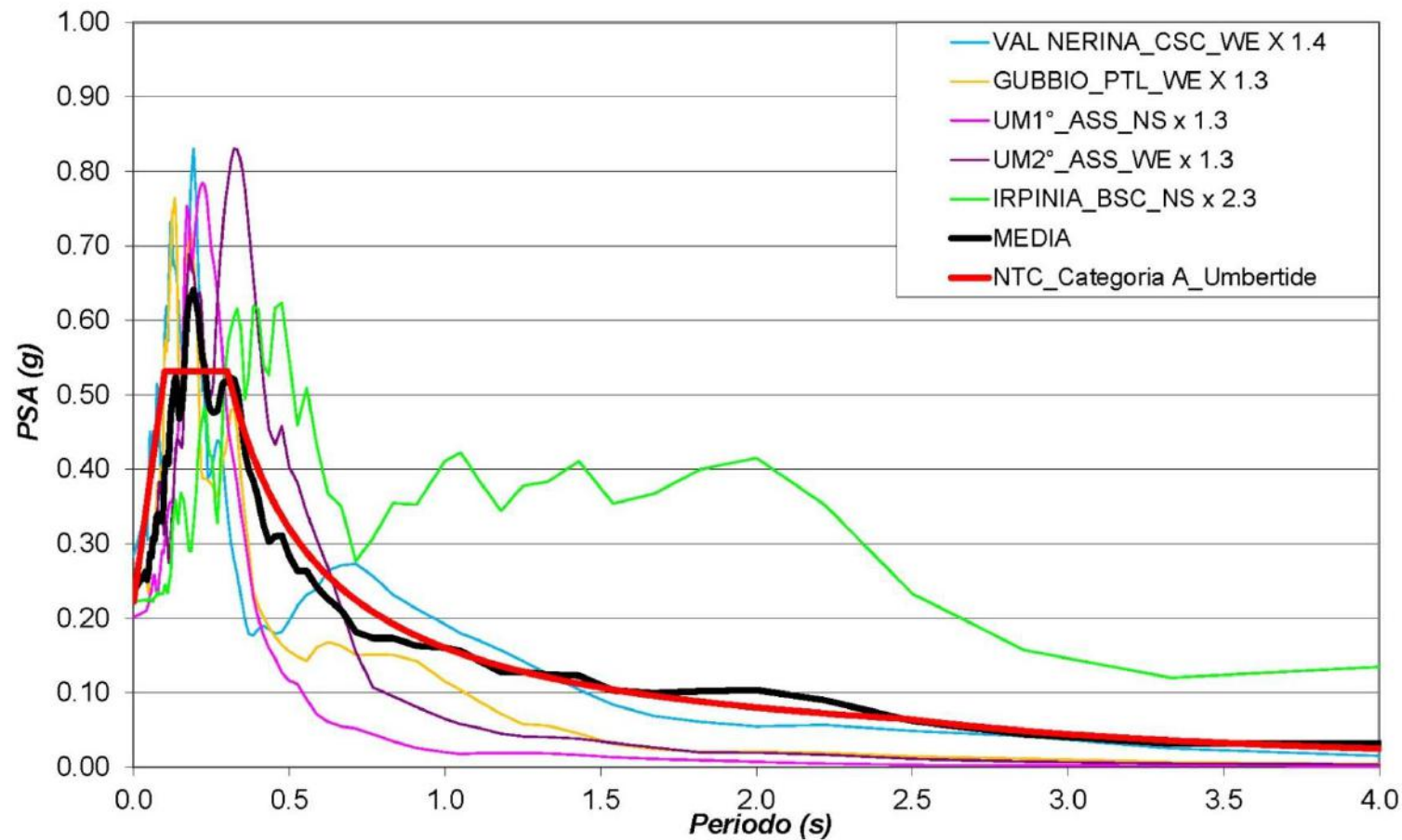
<i>Evento</i>	<i>Data</i>	<i>Ora</i>	<i>Lat (°)</i>	<i>Long (°)</i>	<i>Profondità (km)</i>	<i>M<sub>W</sub></i>	<i>M<sub>L</sub></i>	<i>Regime tettonico</i>
VAL NERINA	1979-09-19	21:35:37	42.800	13.040	6.0	5.8	5.5	Faglia normale
IRPINIA	1980-11-23	18:34:53	40.760	15.309	15.0	6.5	6.9	Faglia normale
GUBBIO	1984-04-29	05:03:00	43.208	12.568	6.0	5.6	5.2	Faglia normale
U-M1° SHOCK	1997-09-26	00:33:12	43.023	12.891	3.5	5.7	5.6	Faglia normale
U-M 2° SHOCK	1997-09-26	09:40:25	43.015	12.854	9.9	6.0	5.8	Faglia normale

<i>Sigla</i>	<i>Lat (°)</i>	<i>Long (°)</i>	<i>D (km)</i>	<i>Evento</i>	<i>Stazione</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Pga (g)</i>	<i>SC</i>
CSC	42.719	13.013	9.3	VAL NERINA	Cascia	W-E	R	0.203	1.4
PTL	43.427	12.449	26.1	GUBBIO	Pietralunga	W-E	R	- 0.177	1.3
ASS	43.075	12.604	24.1	U-M 1° S	Assisi	N-S	R	0.155	1.3
ASS	43.075	12.604	21.4	U-M 2° S	Assisi	W-E	R	0.188	1.3
BSC	41.010	15.376	28.0	IRPINIA	Bisaccia	NS	R	0.096	2.3

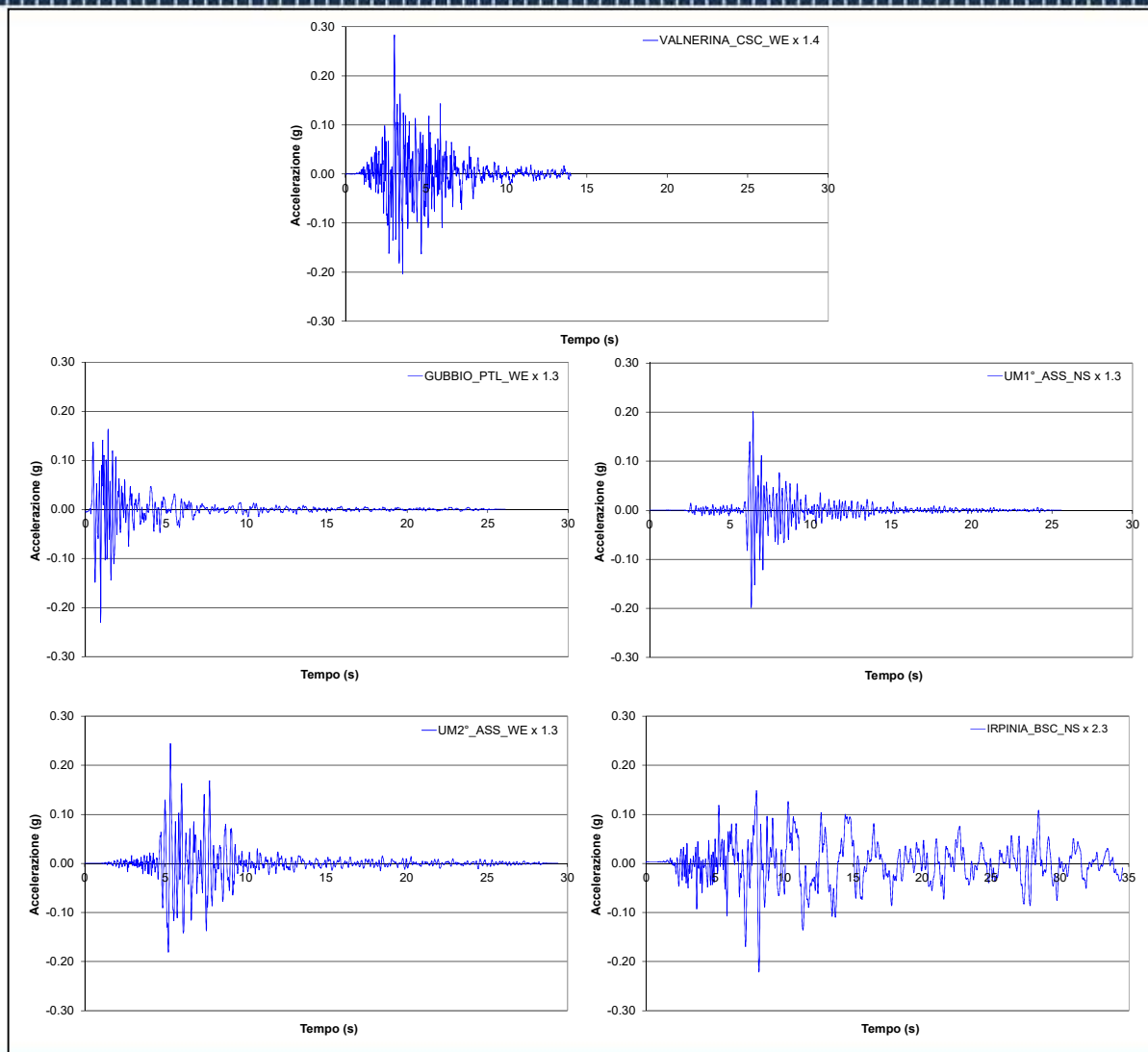


# Applicazione - Umbertide

## INPUT SISMICO: spettro-compatibilità



# Applicazione - Umbertide



**INPUT  
SISMICO**

**accelerogrammi**



## CODICI DI CALCOLO UTILIZZATO

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 FEM caratterizzata da diversi materiali con qualsiasi andamento geometrico.





## RISULTATI

Nei punti di indagine, riportati nelle sezioni e scelti in modo da avere una rappresentatività delle situazioni geometriche e sismostratigrafiche presenti nell'area investigata

I risultati sono stati espressi in termini di:

- 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

*Risultati finali ottenuti dalla media aritmetica delle 5 serie di risultati ciascuna ottenuta applicando separatamente i 5 accelerogrammi di input*

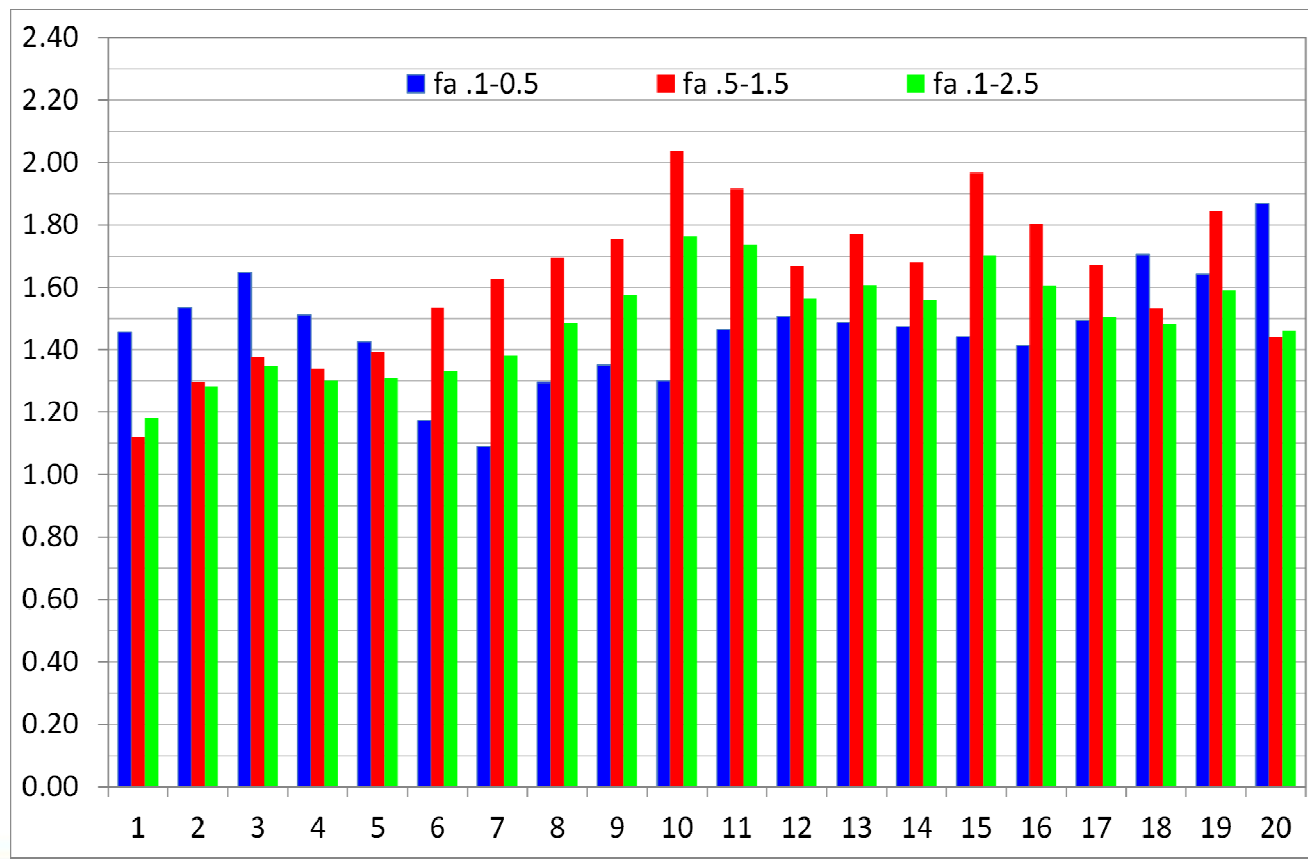


# Applicazione - Umbertide

## RISULTATI: Fattori di amplificazione

### Esempio profilo n. 3

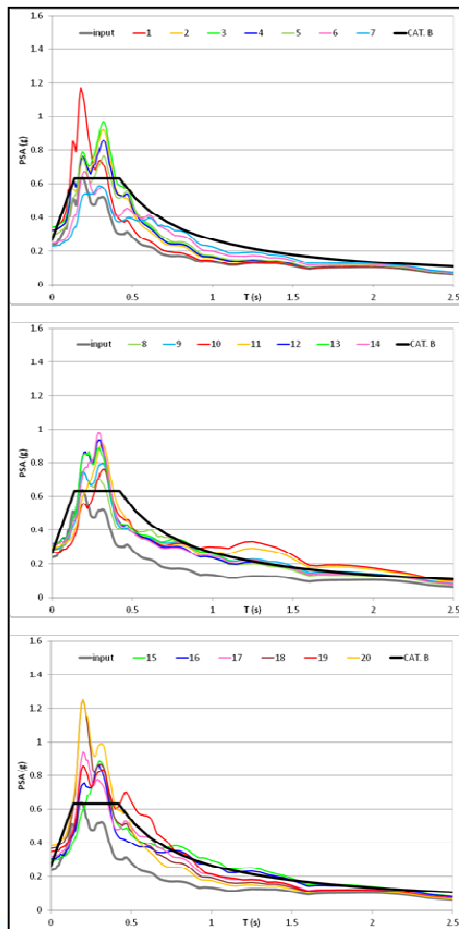
Punti	fa .1-2.5	fa .1-0.5	fa .5-1.5
1	1.18	1.46	1.12
2	1.28	1.54	1.30
3	1.35	1.65	1.38
4	1.30	1.51	1.34
5	1.31	1.43	1.39
6	1.33	1.17	1.53
7	1.38	1.09	1.63
8	1.48	1.30	1.69
9	1.58	1.35	1.76
10	1.76	1.30	2.04
11	1.74	1.46	1.92
12	1.56	1.51	1.67
13	1.61	1.49	1.77
14	1.56	1.47	1.68
15	1.70	1.44	1.97
16	1.60	1.41	1.81
17	1.50	1.49	1.67
18	1.48	1.71	1.53
19	1.59	1.64	1.84
20	1.46	1.87	1.44



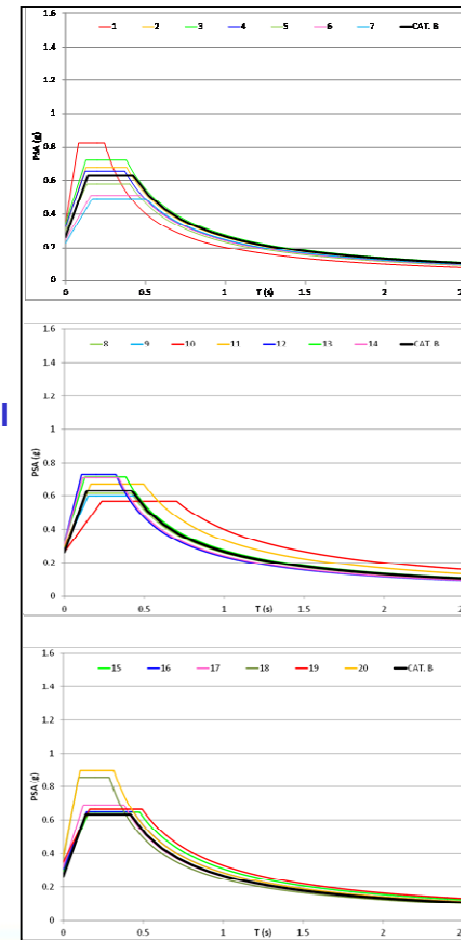
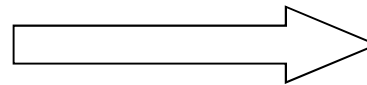
# Applicazione - Umbertide

## RISULTATI: Spettri di risposta elastici

### Esempio profilo n. 3



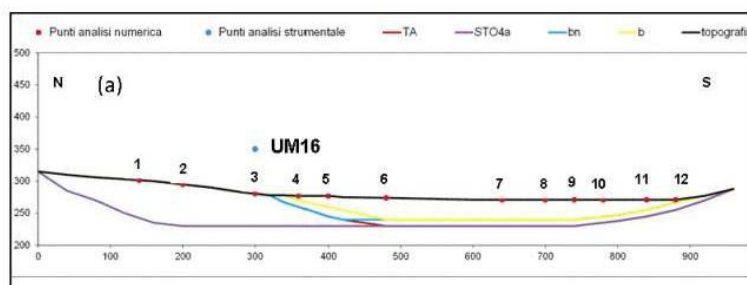
PROCEDURA DI  
“ADATTAMENTO” DEGLI SPETTRI  
PROPOSTA DAGLI ICMS (2008)



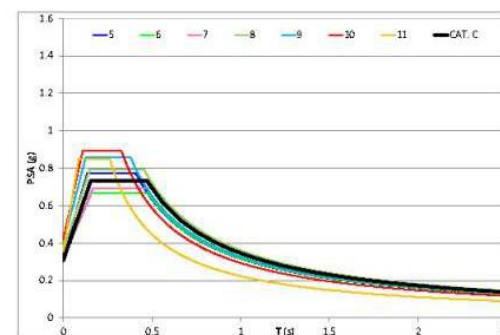
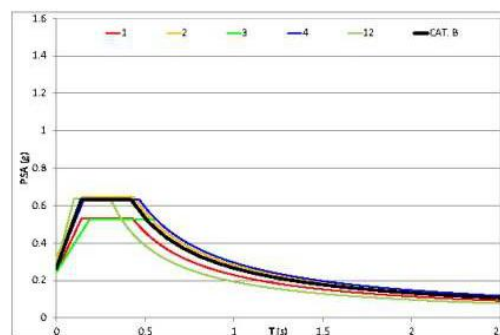
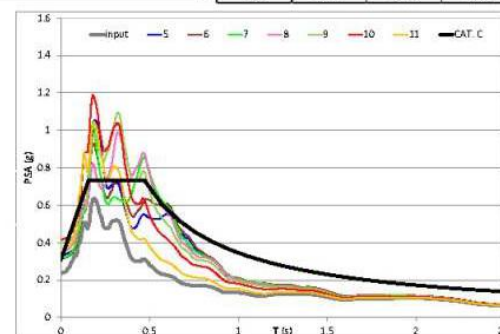
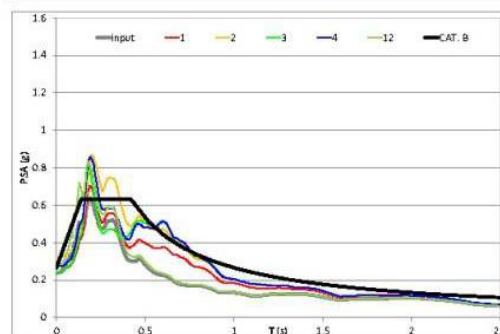
# Applicazione - Umbertide

## RISULTATI

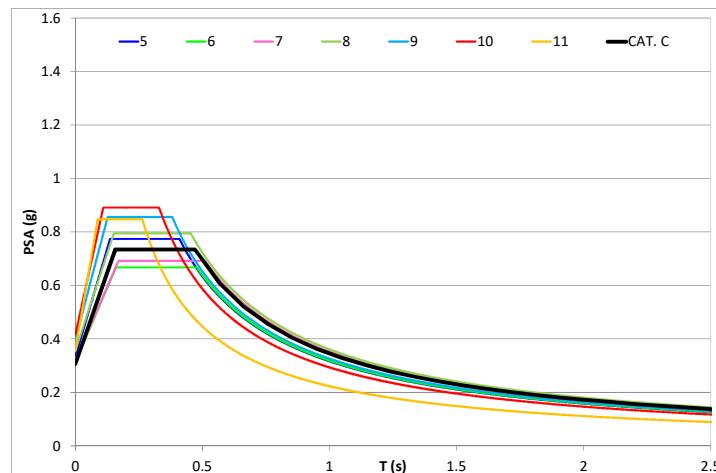
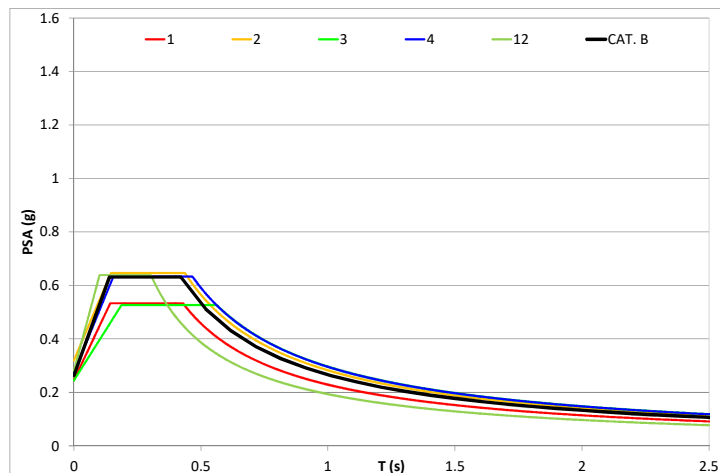
SEZ. 1



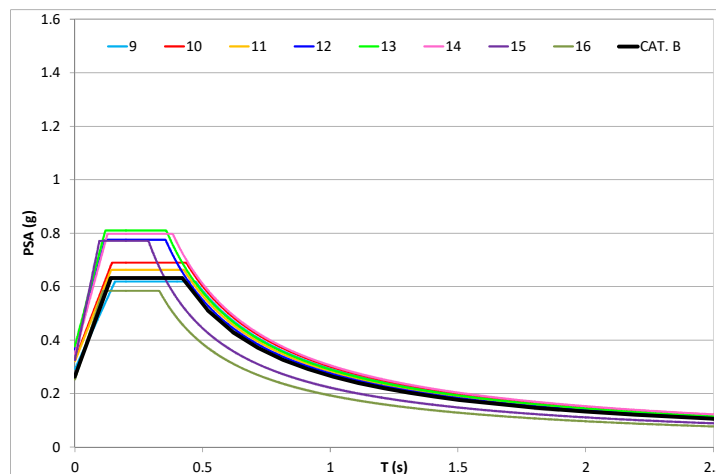
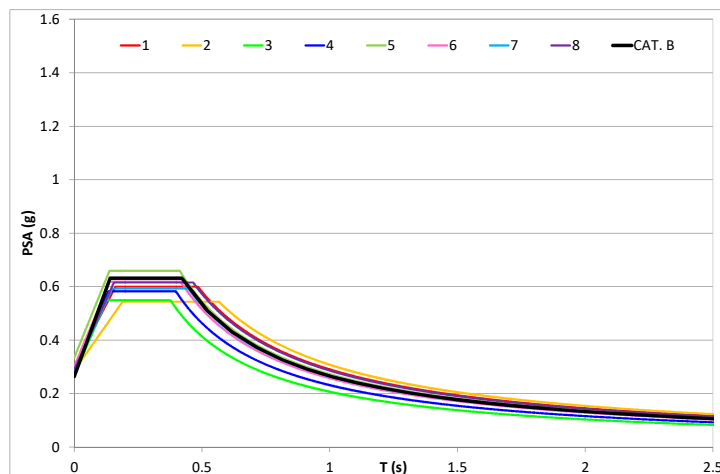
Punti	fa .1-0.5	fa .5-1.5	fa .1-2.5
1	1.14	1.43	1.27
2	1.47	1.68	1.48
3	1.19	1.67	1.38
4	1.31	1.68	1.42
5	1.54	1.79	1.55
6	1.56	1.89	1.59
7	1.69	1.85	1.58
8	1.89	1.82	1.62
9	1.96	1.73	1.60
10	1.92	1.56	1.52
11	1.53	1.22	1.25
12	1.17	1.04	1.06



# Applicazione - Umbertide



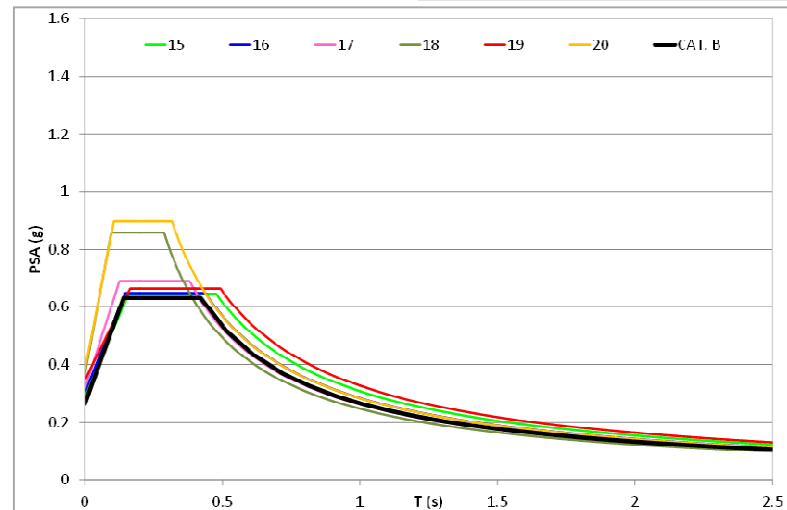
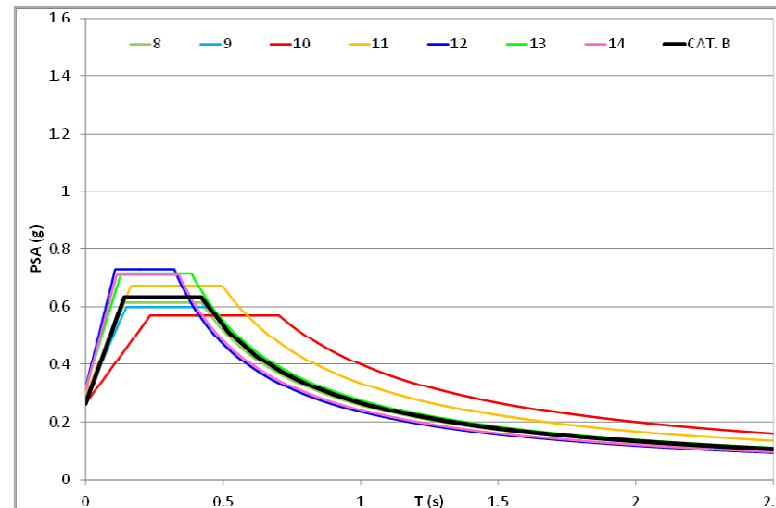
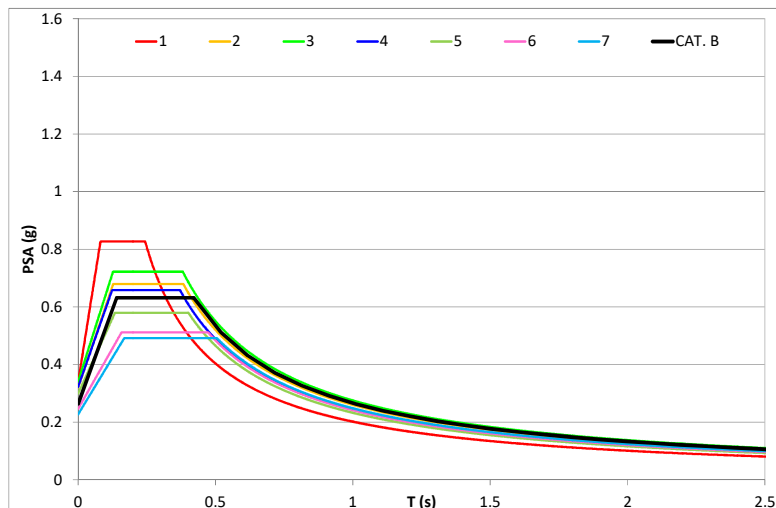
SEZ. 1



SEZ. 2



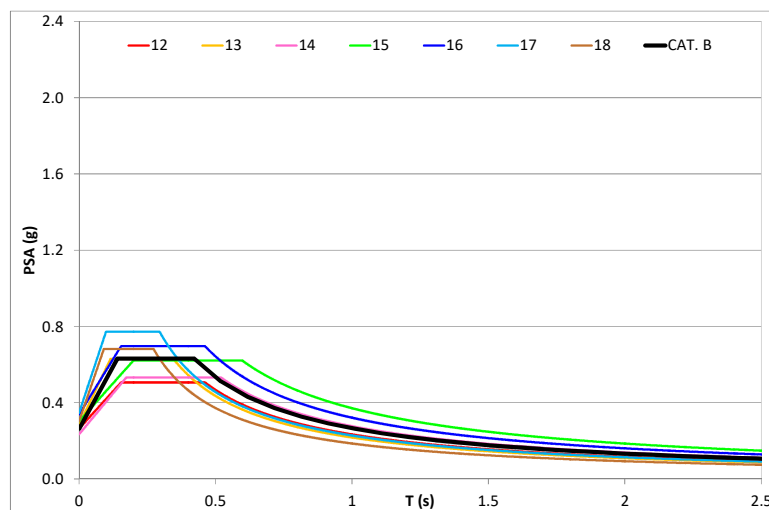
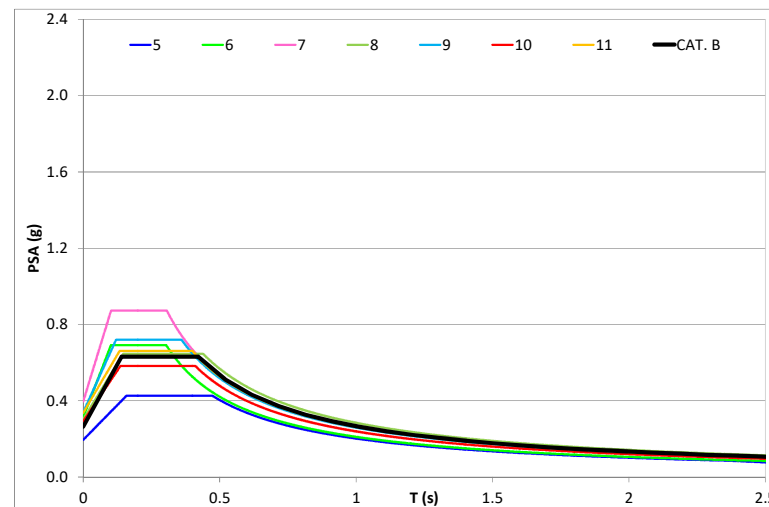
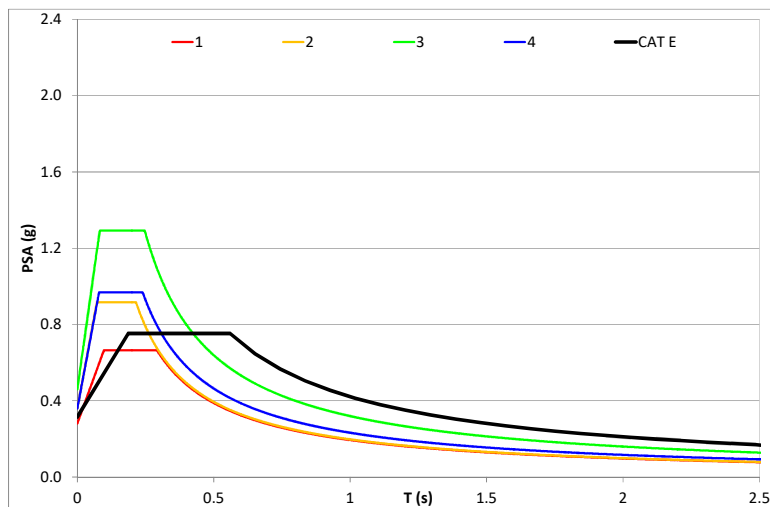
# Applicazione - Umbertide



SEZ. 3



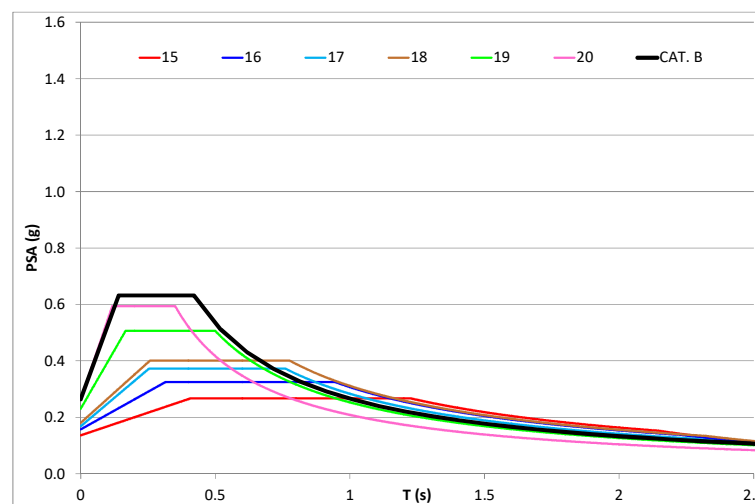
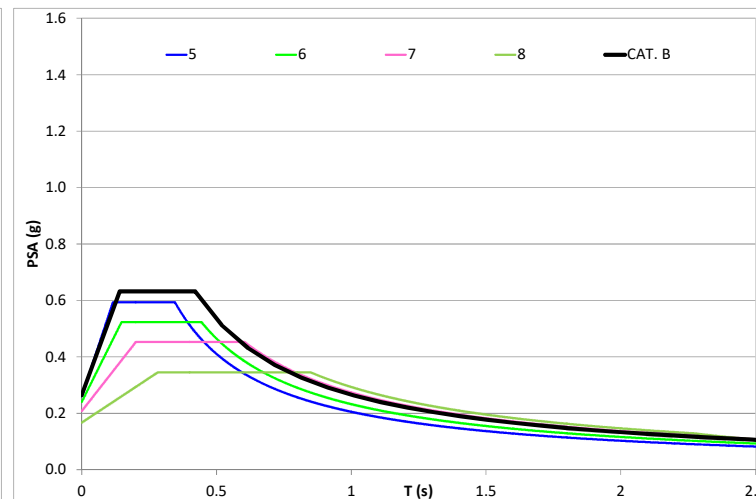
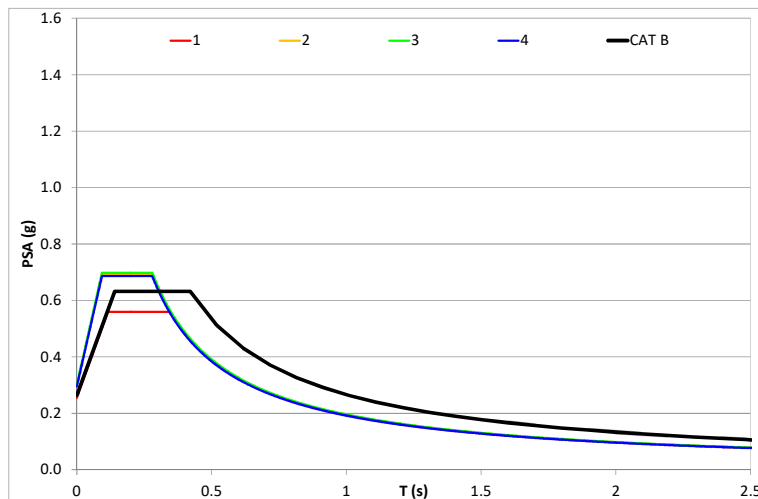
# Applicazione - Umbertide



SEZ. 4



# Applicazione - Umbertide



SEZ. 5





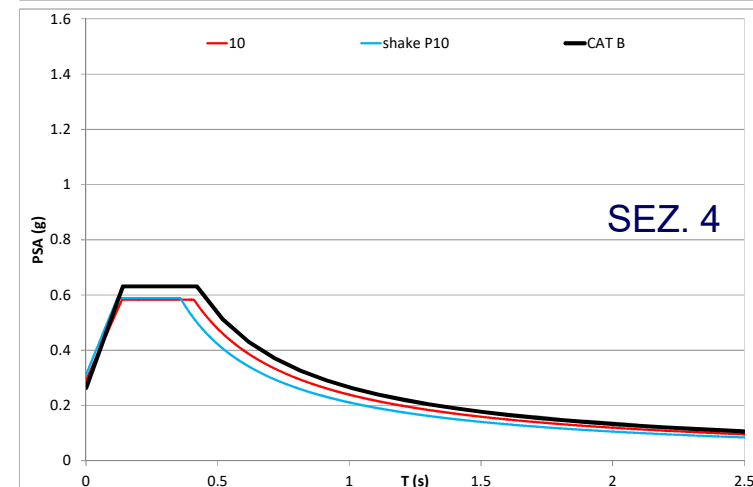
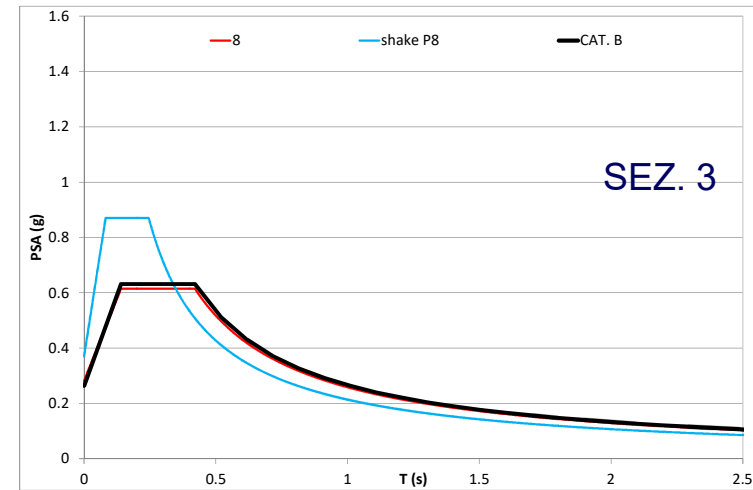
# Applicazione - Umbertide

## 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.



# Applicazione - Umbertide

## 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

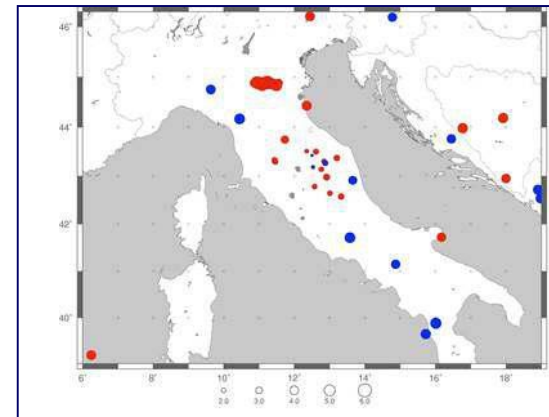
Registrazioni marzo 2012-febbraio 2013

### METODOLOGIA:

Calcolo rapporti spettrali

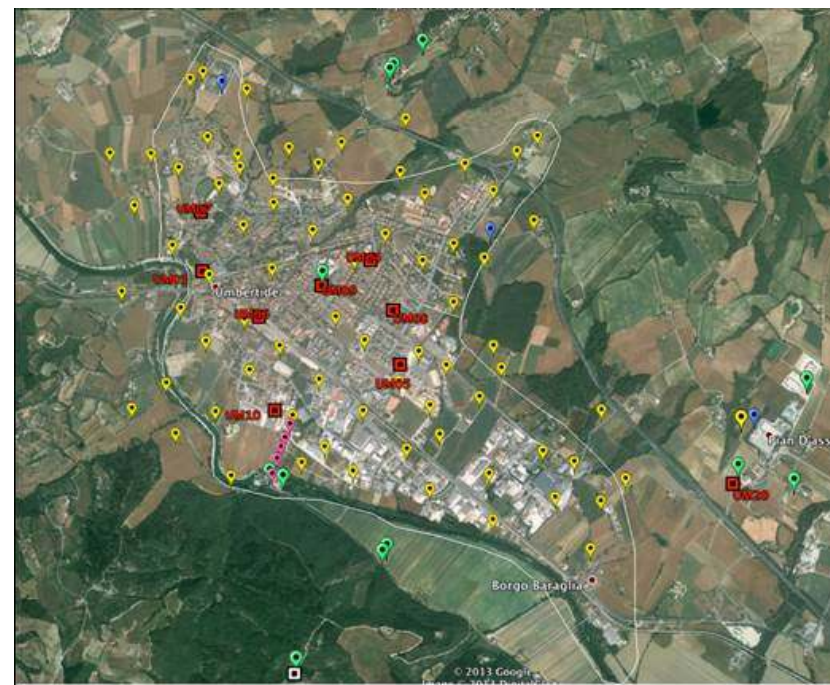
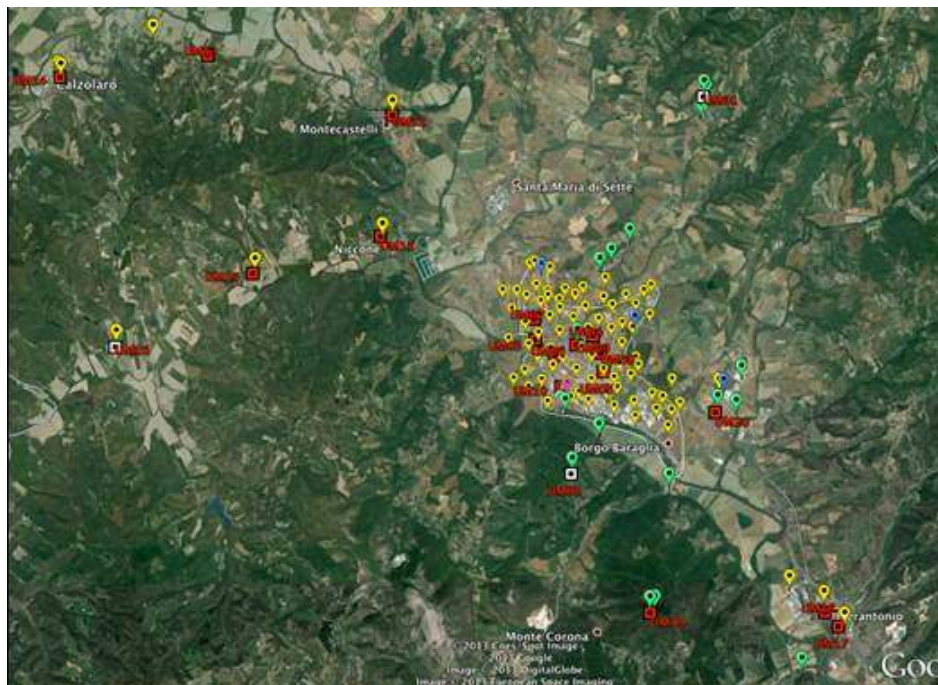
Funzione di amplificazione

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



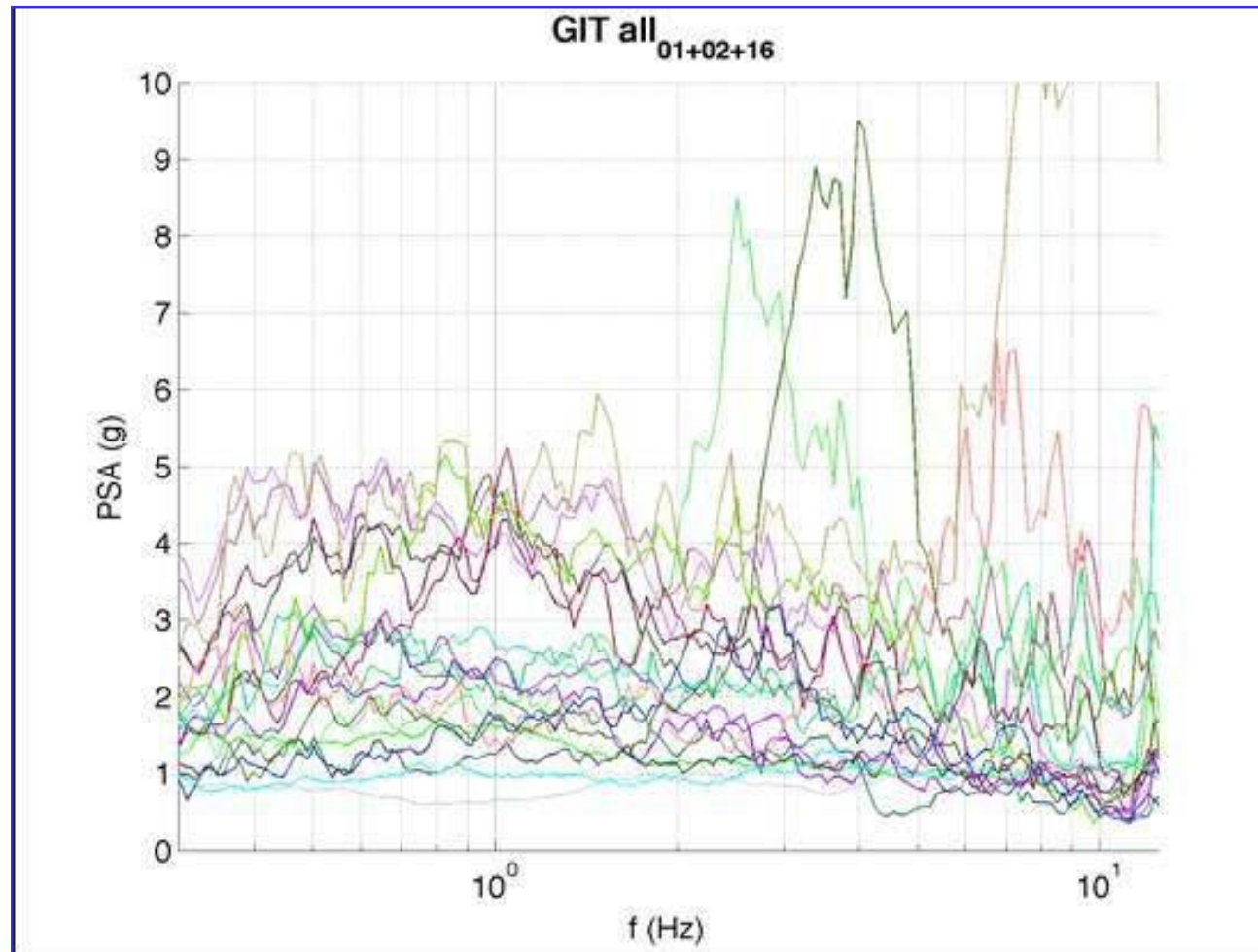
# Applicazione - Umbertide

## UBICAZIONE SITI REGISTRAZIONI



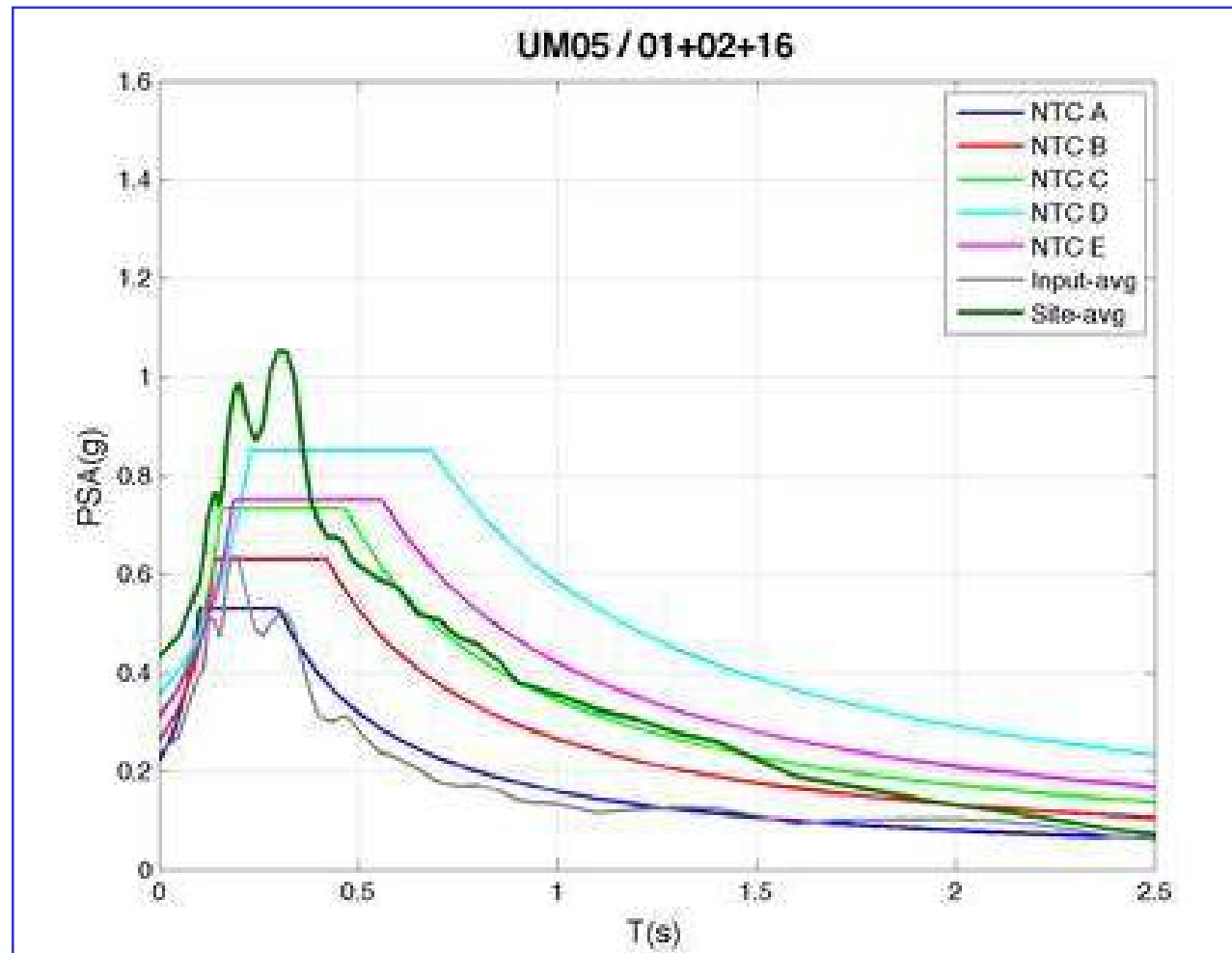
# Applicazione - Umbertide

## RAPPORTI SPETTRALI



# Applicazione - Umbertide

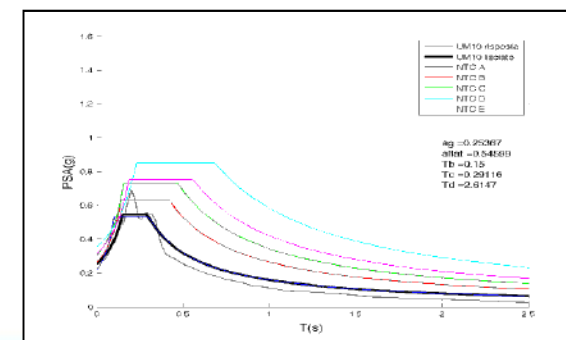
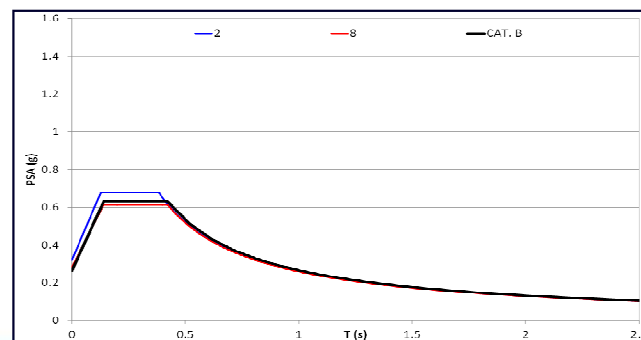
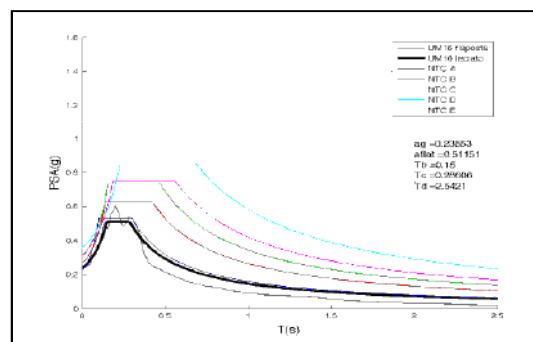
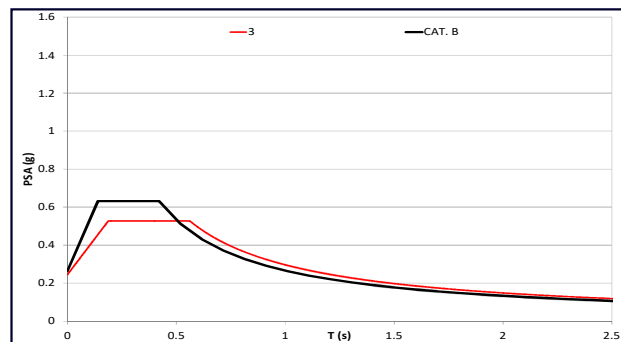
## RISULTATI



# Applicazione - Umbertide

## 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 Fa sia in termini di spettri di risposta (sezione 1, sezione 3)



## UTILIZZO DEI RISULTATI

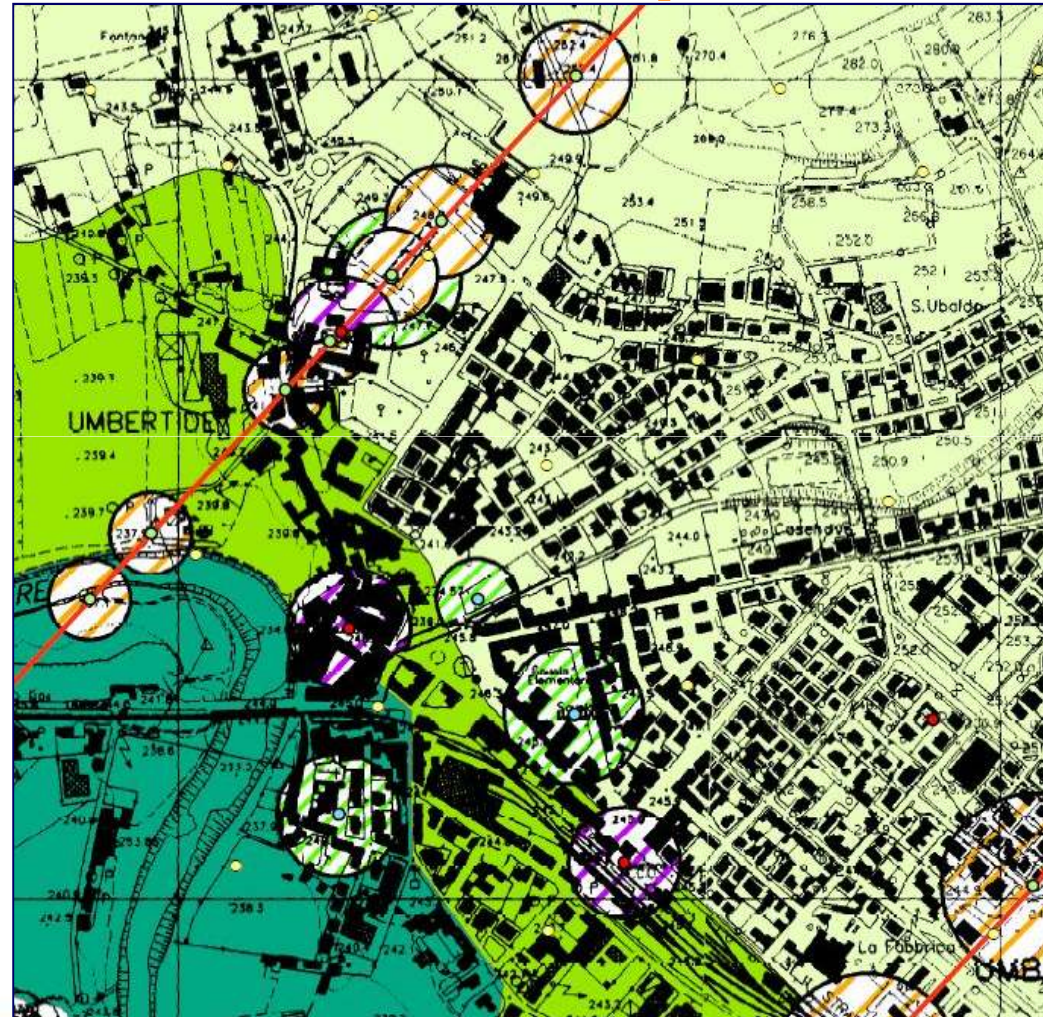
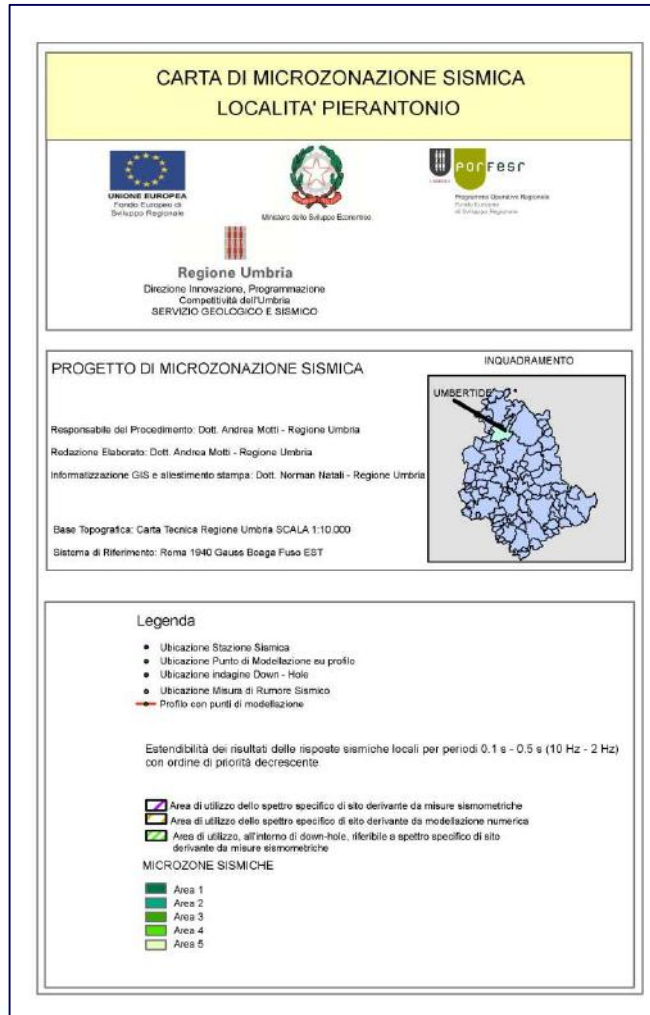
Considerando la robustezza dei risultati ottenuti si prevede:

- 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



# Applicazione - Umbertide

## UTILIZZO DEI RISULTATI: esempio carta





# Procedura

