

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



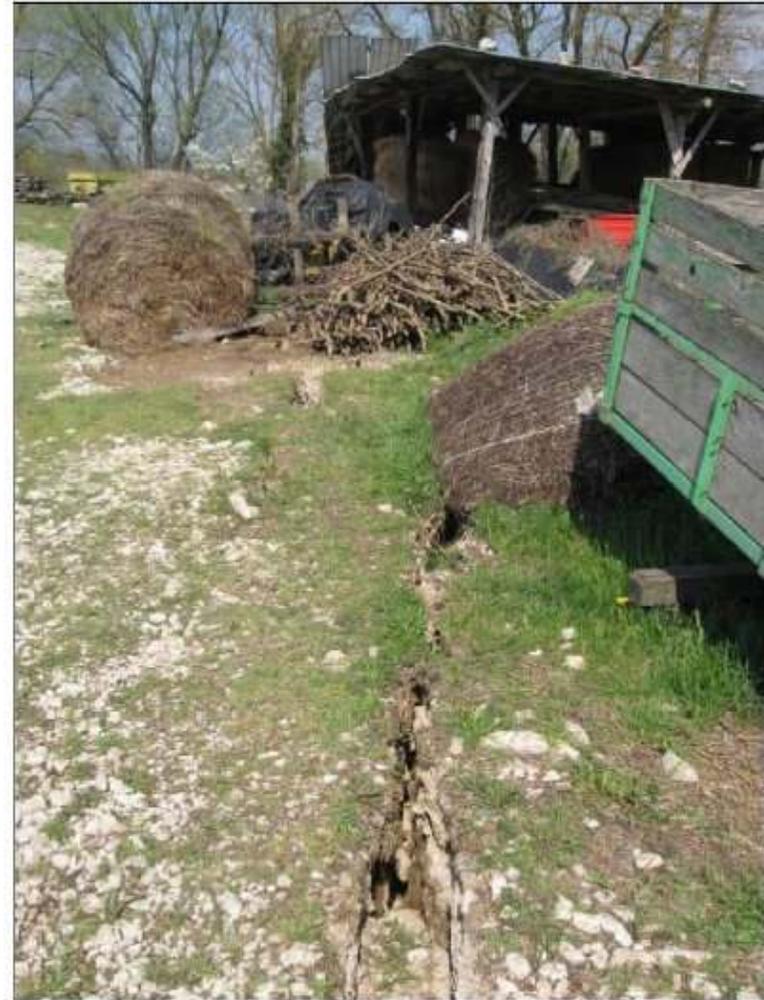
Microzonazione sismica

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



Loma Prieta, USA 1989



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

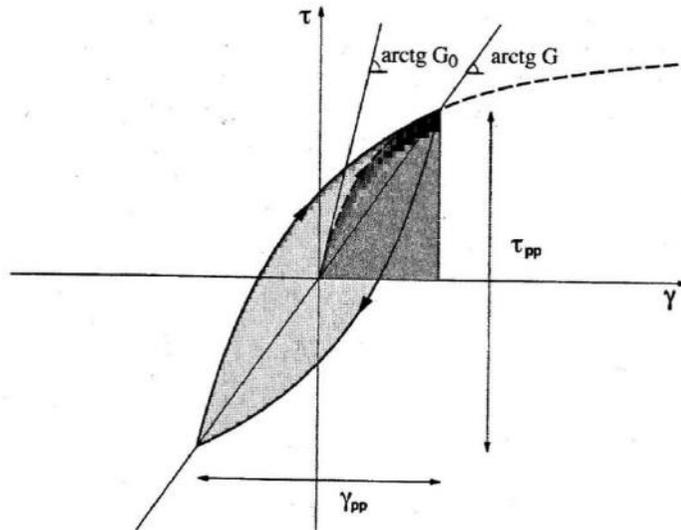
- Movimenti franosi
- Cedimenti, densificazioni, liquefazioni

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



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

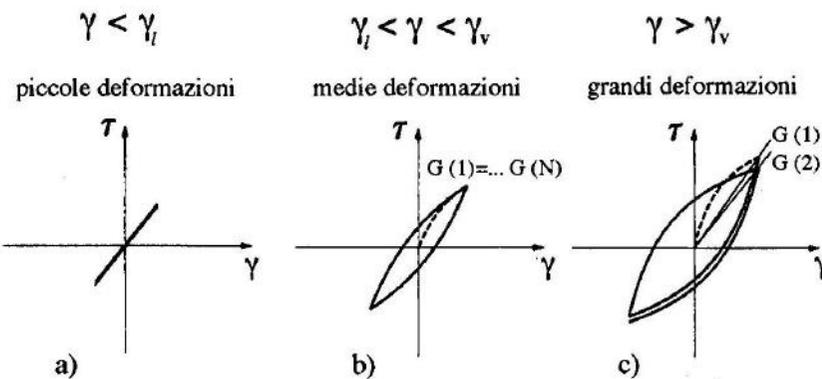
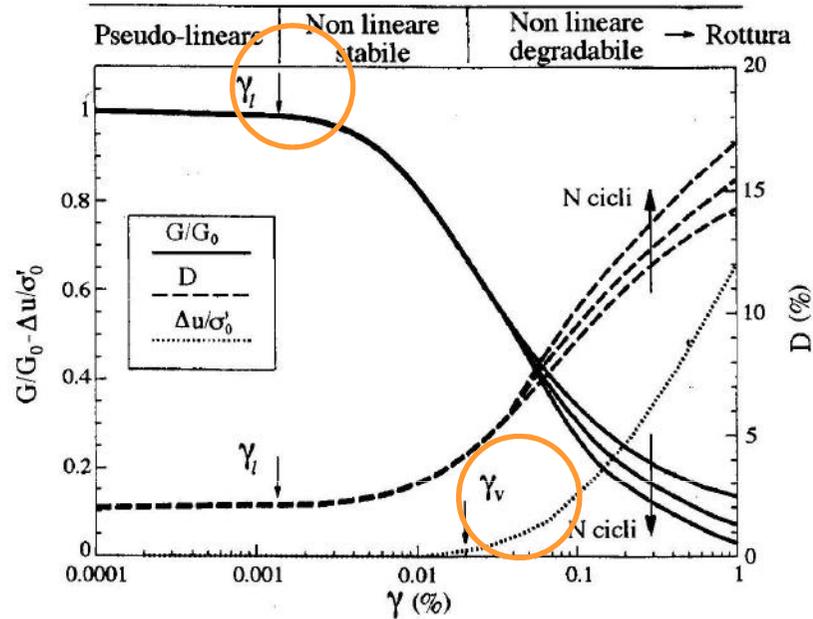
$W_D = \text{Area}$  = Energia dissipata nel ciclo
 $W_S = \text{Area}$  = Energia accumulata nel 1° carico

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 (τ/γ)
- D rapporto di smorzamento



Microzonazione sismica



Comportamento non lineare descritto dall'evoluzione dei parametri G e D al crescere di γ

γ_l = soglia elastica o di linearità
(0.0001 – 0.01 %)

γ_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 1:5.000-1:10.000
- 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 $< 15^\circ$)

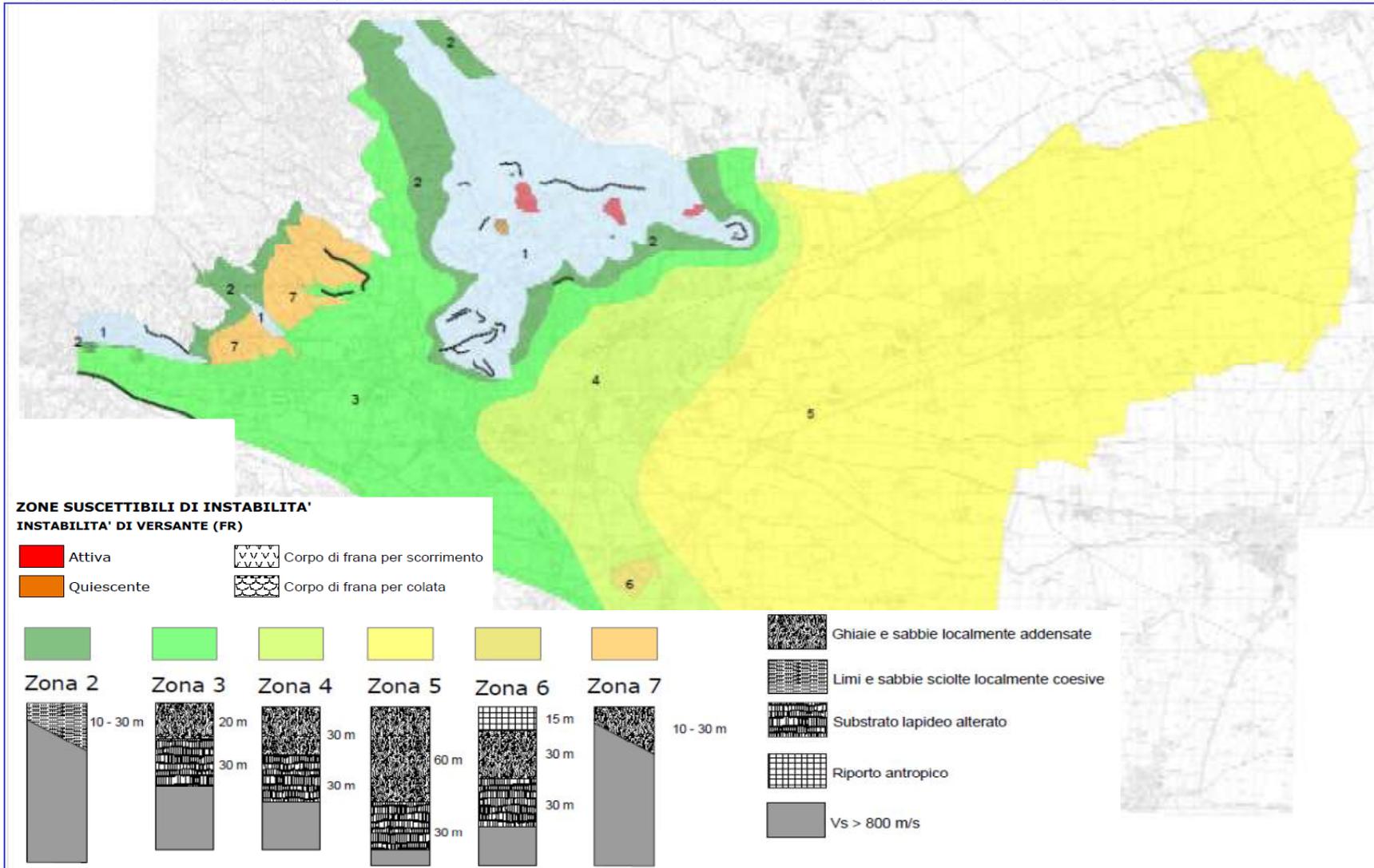
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- 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

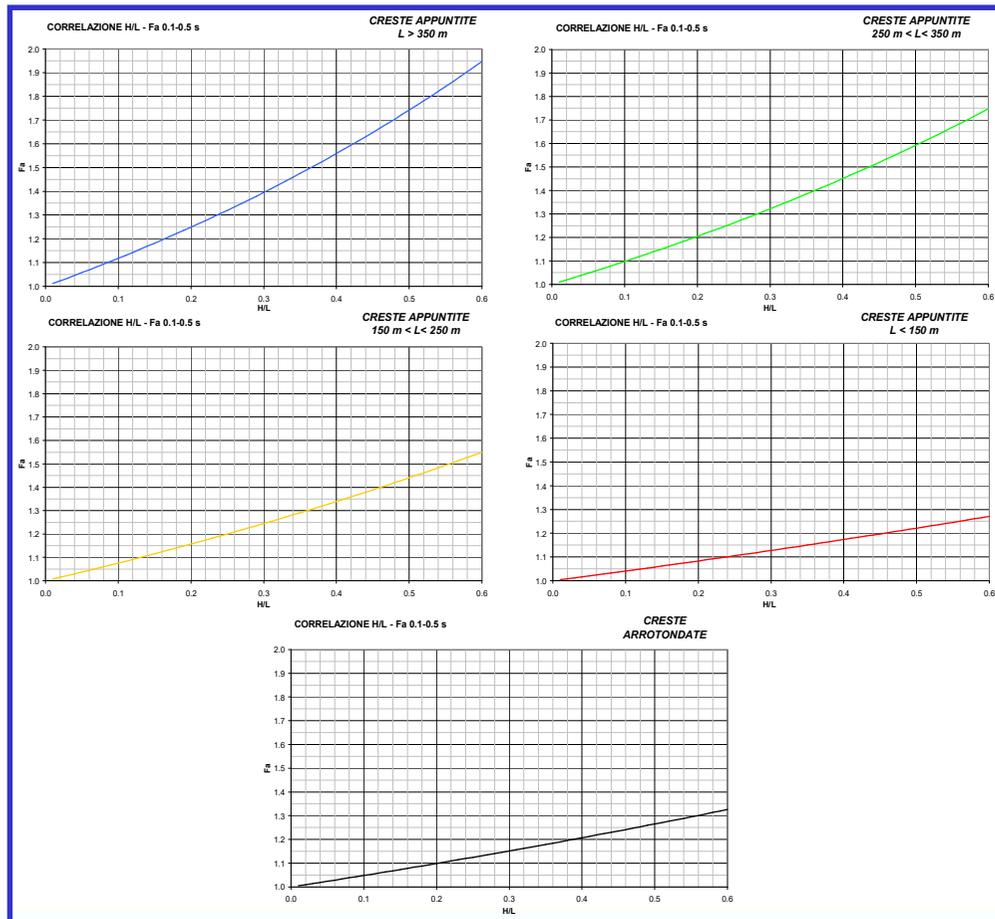
Fattore di amplificazione <i>FA</i>	Tipo di terreno Argilla											
	a_g (g) 0.06g											
<i>H</i>	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia											
	V_{eq} (m/s)											
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700		
5	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.08	1.04	1.02	1.00		
10	2.69	2.41	2.05	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)

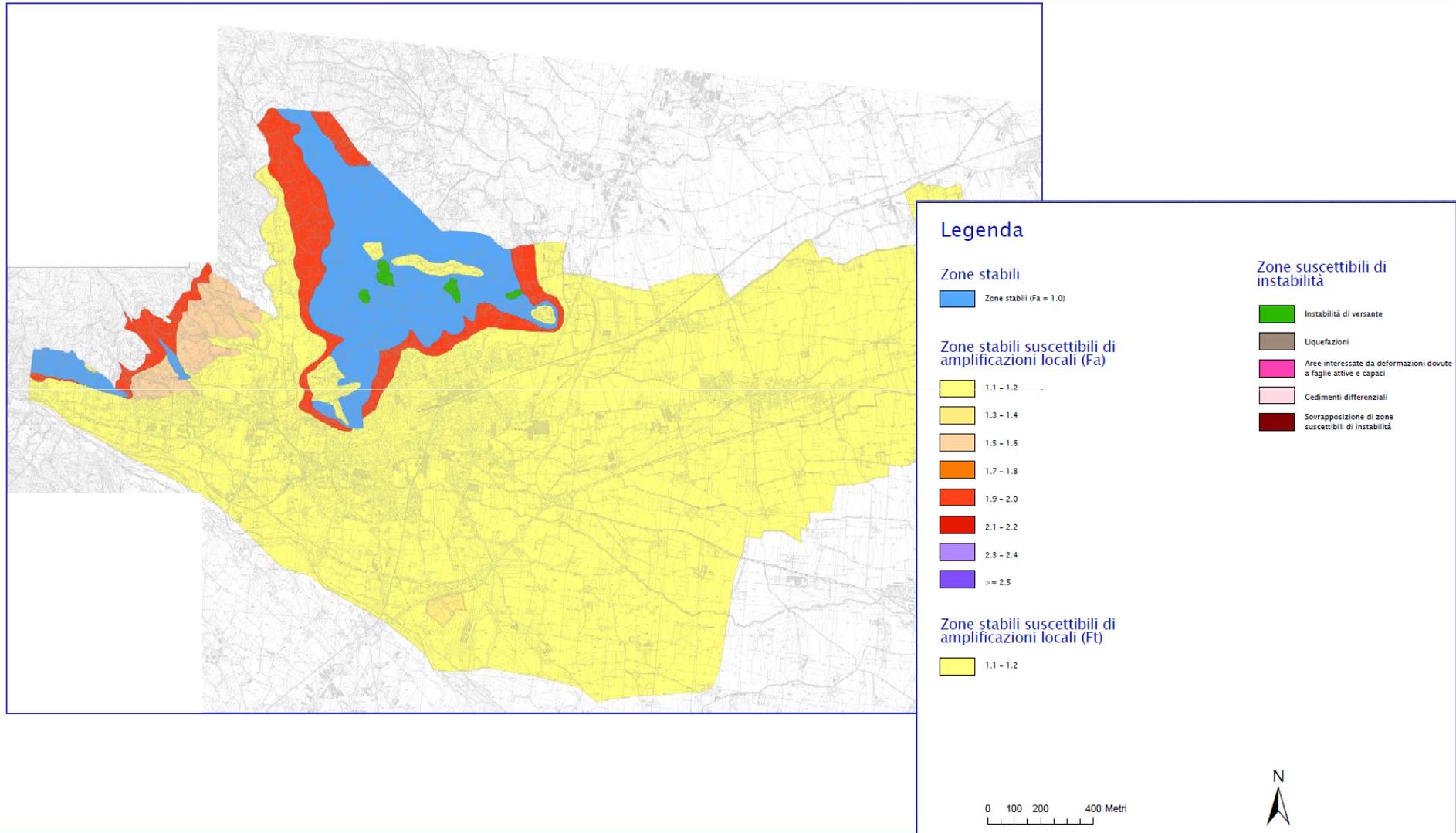
Parametri geometrici: altezza, larghezza, pendenza



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
- **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**



Caratterizzazione sito



- **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

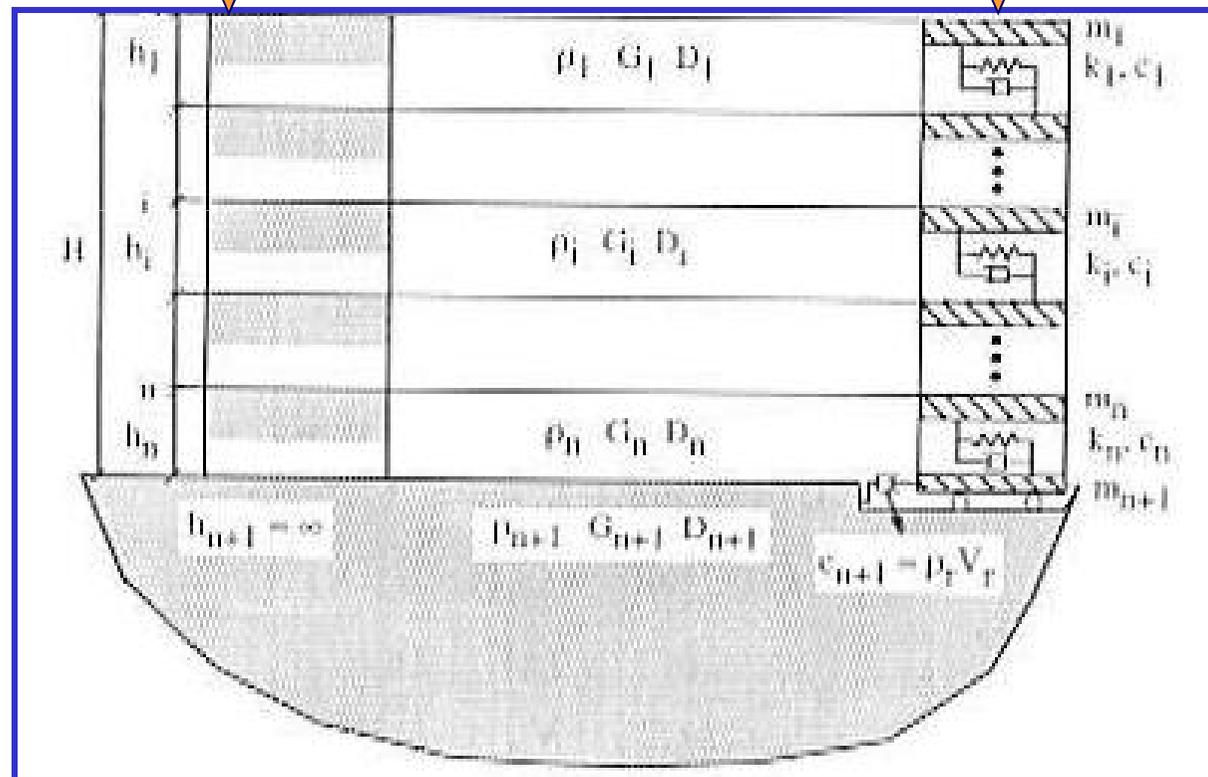
- Shake:** **modello a strati continui paralleli**
 dominio frequenze
 lineare equivalente
 sforzi totali
- Desra - Onda:** **modello a masse concentrate**
 non lineare
 sforzi efficaci



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

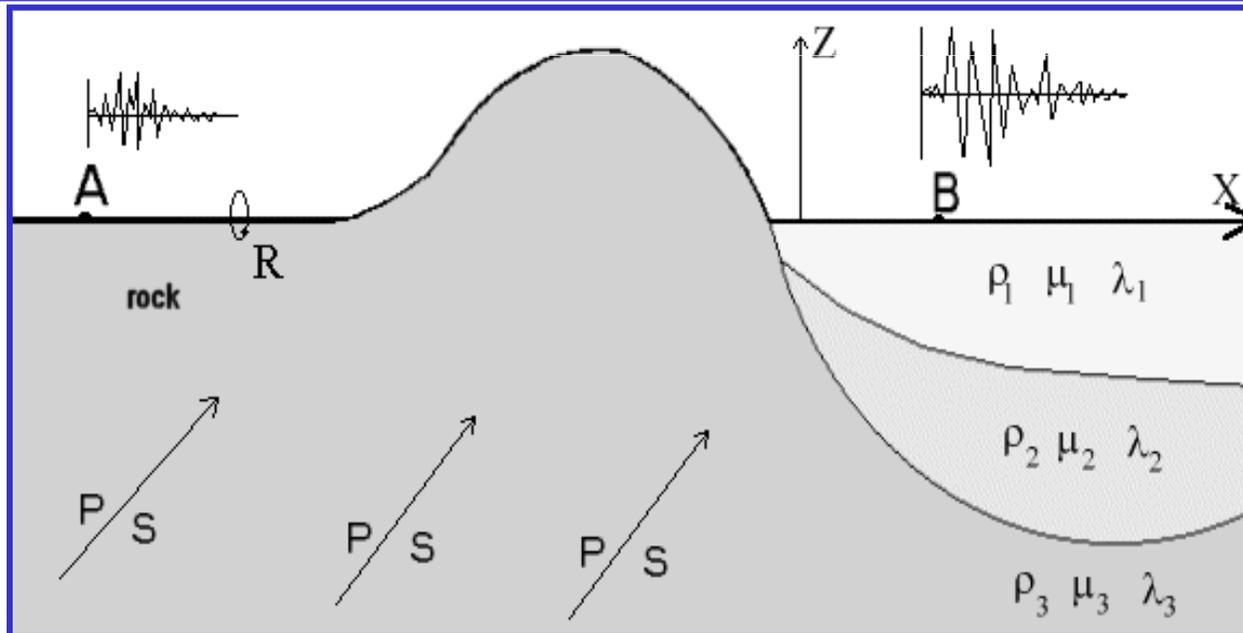
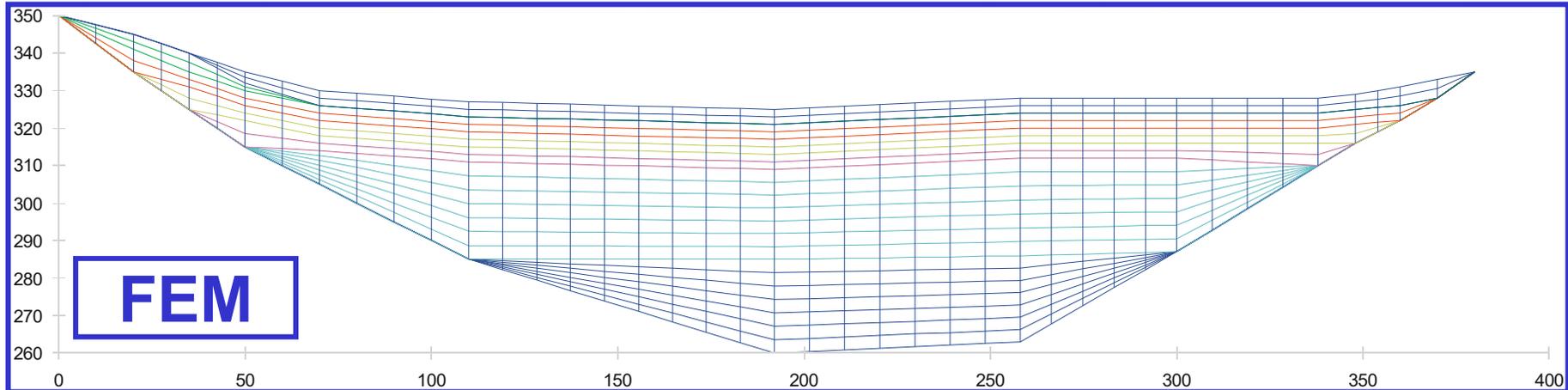


PROGRAMMI DI CALCOLO BIDIMENSIONALI

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



Codici di calcolo



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**

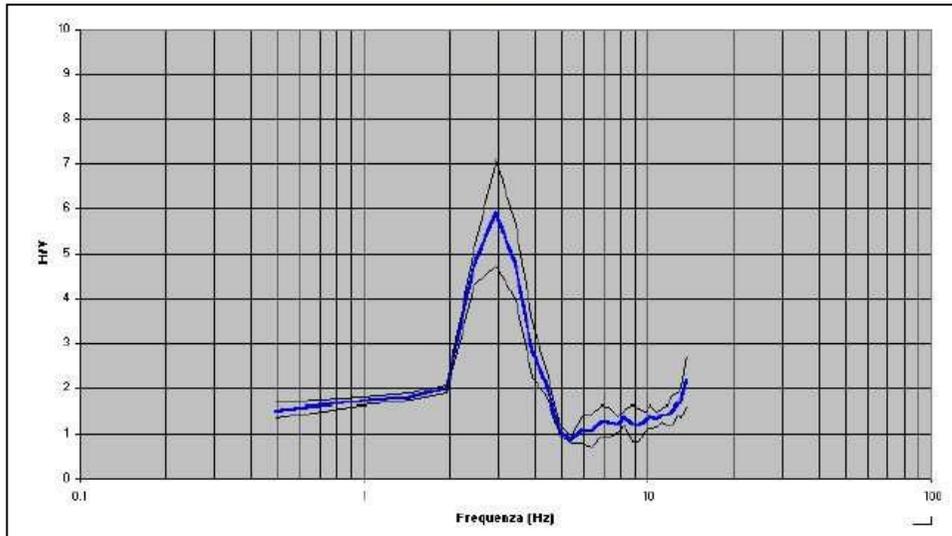


METODO DEI RAPPORTI SPETTRALI - HHSR

- 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

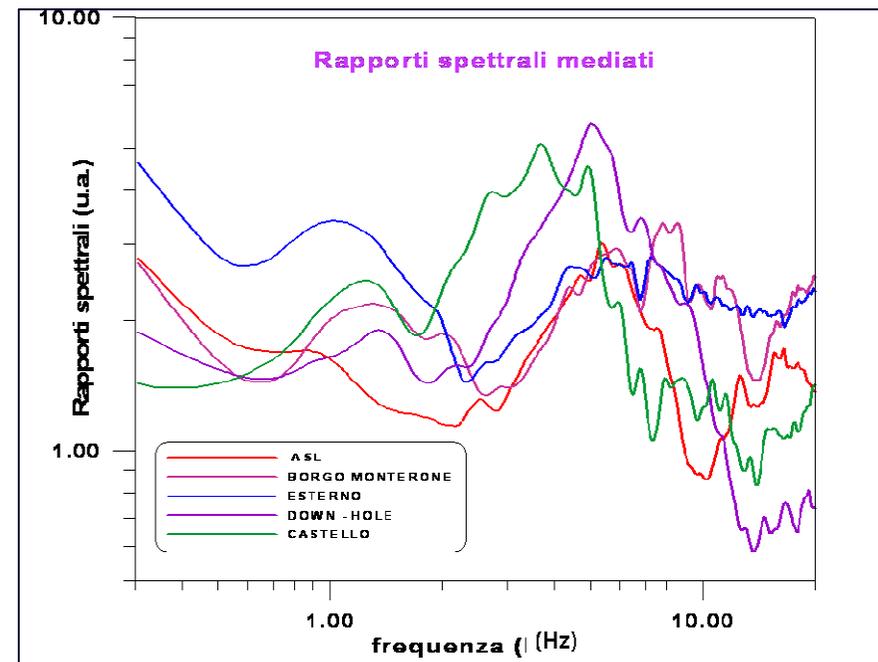


Analisi sperimentale



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)

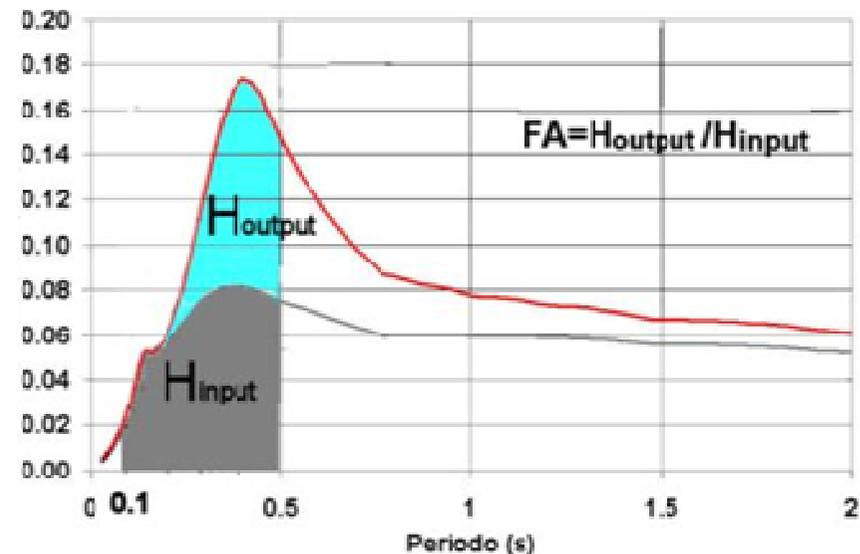


TIPI DI RISULTATO

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

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

$$F_a = SI_{out} / SI_{inp}$$



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

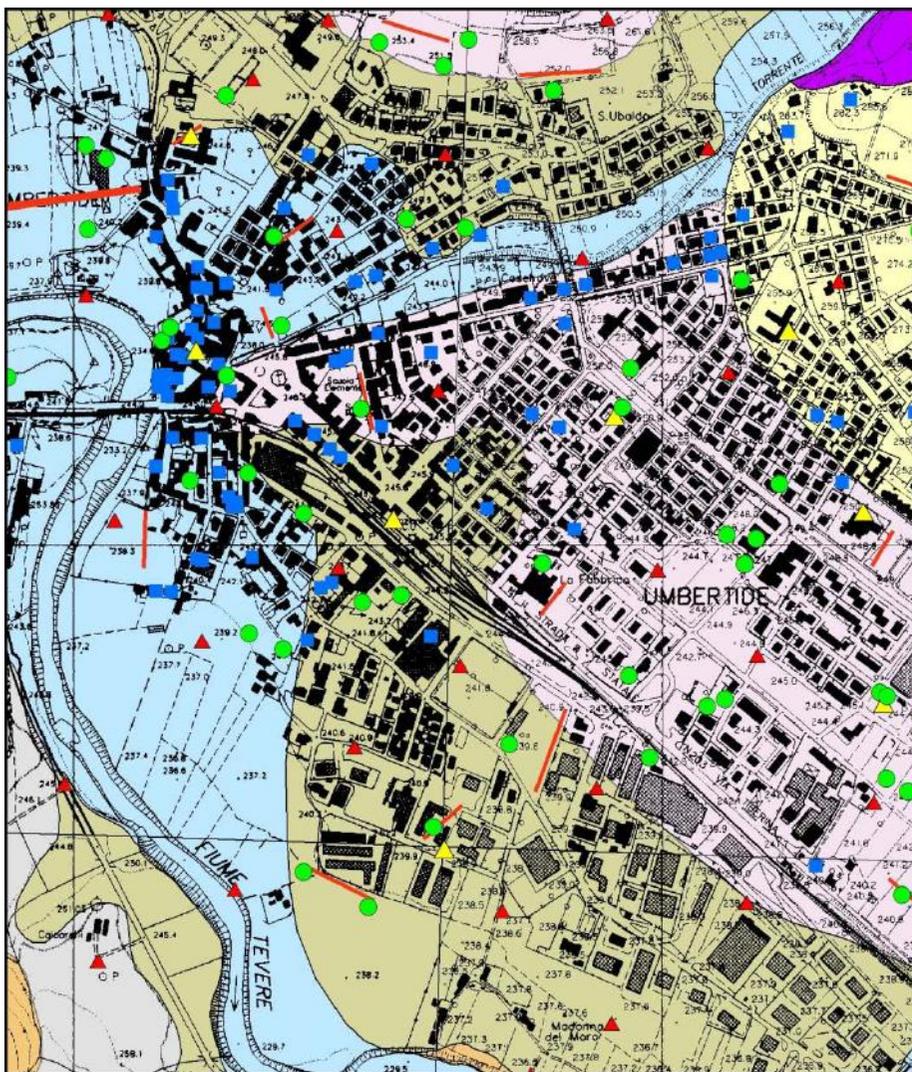
13 Down Hole

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



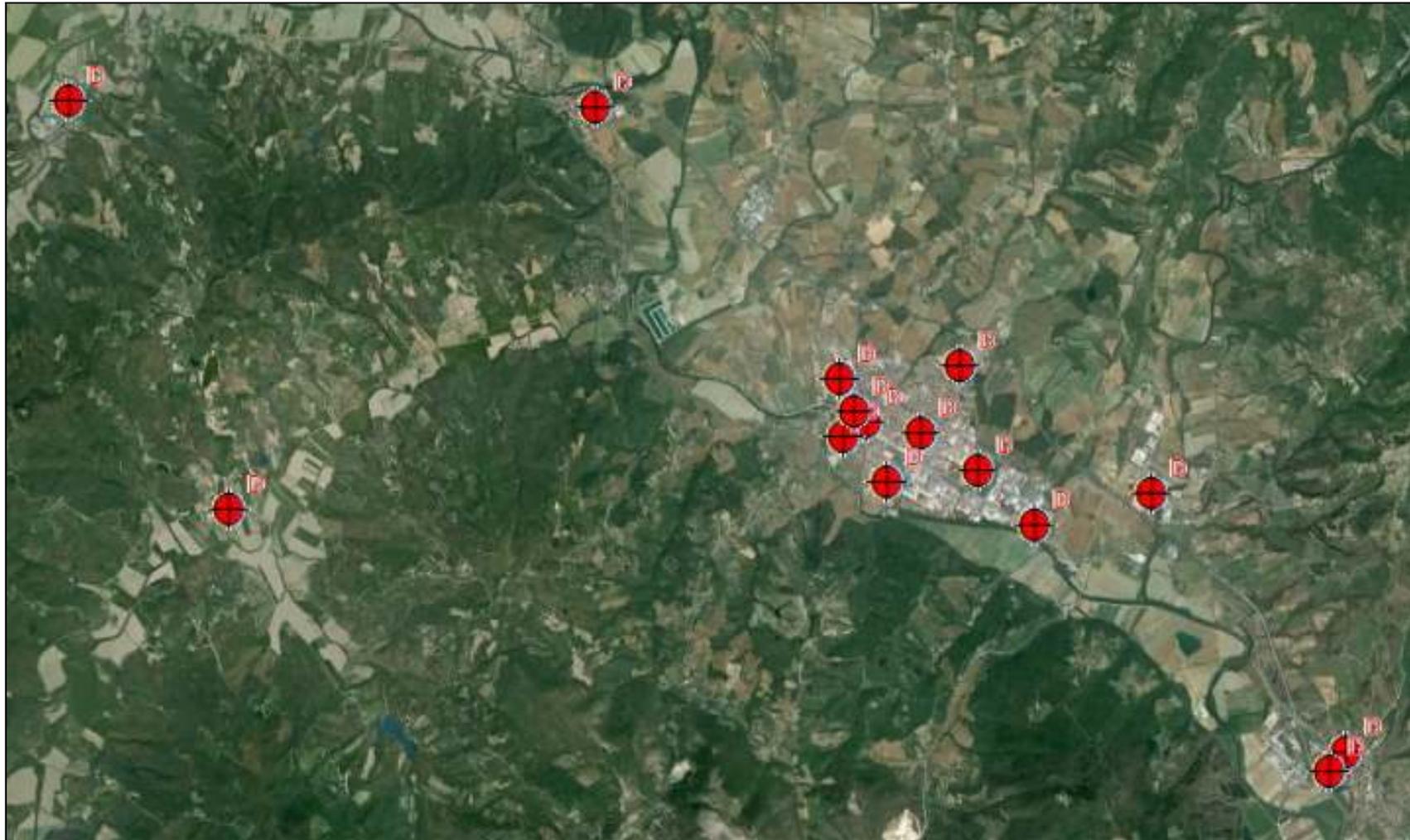
CARTA GEOLOGICA e INDAGINI ESISTENTI

Geologia	
Frane attive	Danneggiamento edifici dei terremoti del1984 e 1997
Depositi colluviali	Indagini geognostiche e geofisiche
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)	



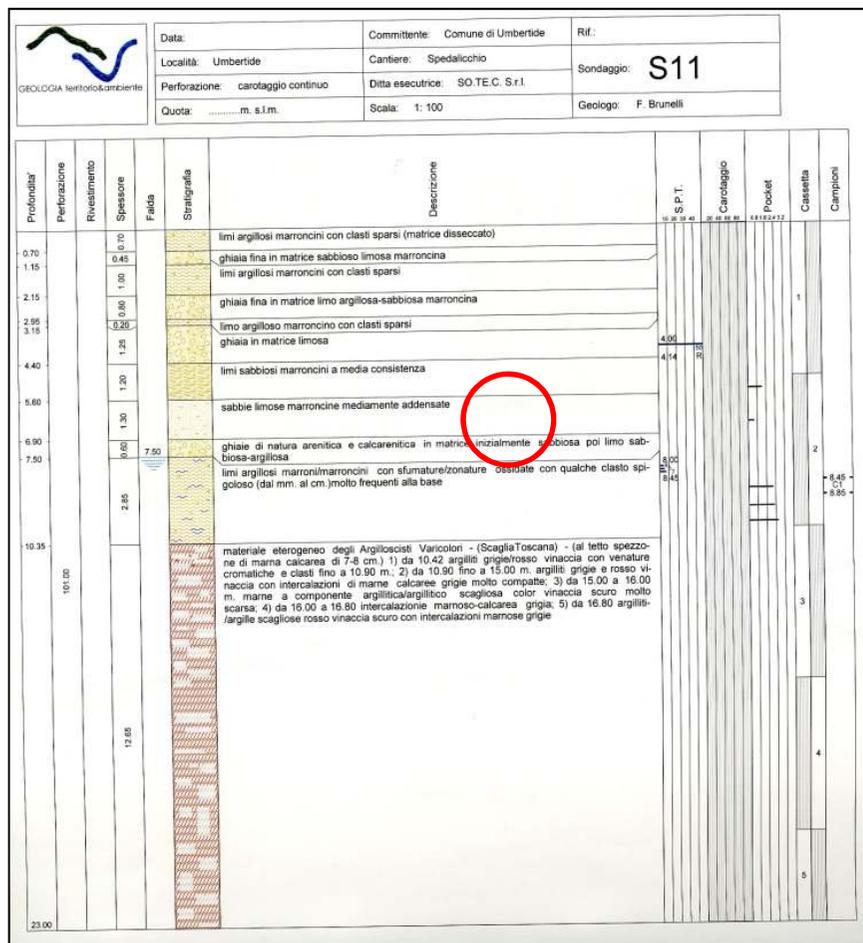
Applicazione - Umbertide

NUOVI SONDAGGI E RELATIVI DH

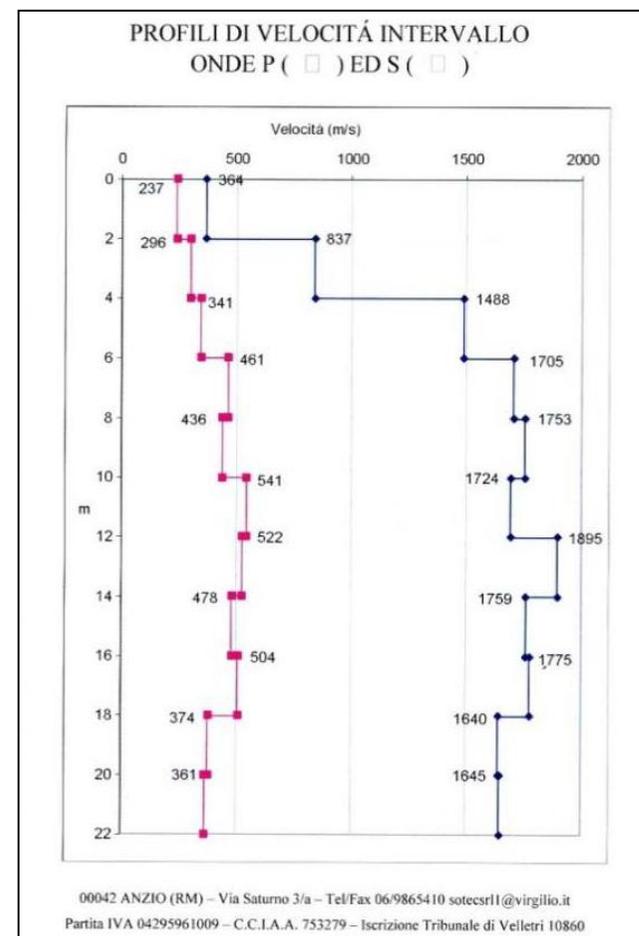


Applicazione - Umbertide

ESEMPIO NUOVE INDAGINI



SONDAGGIO

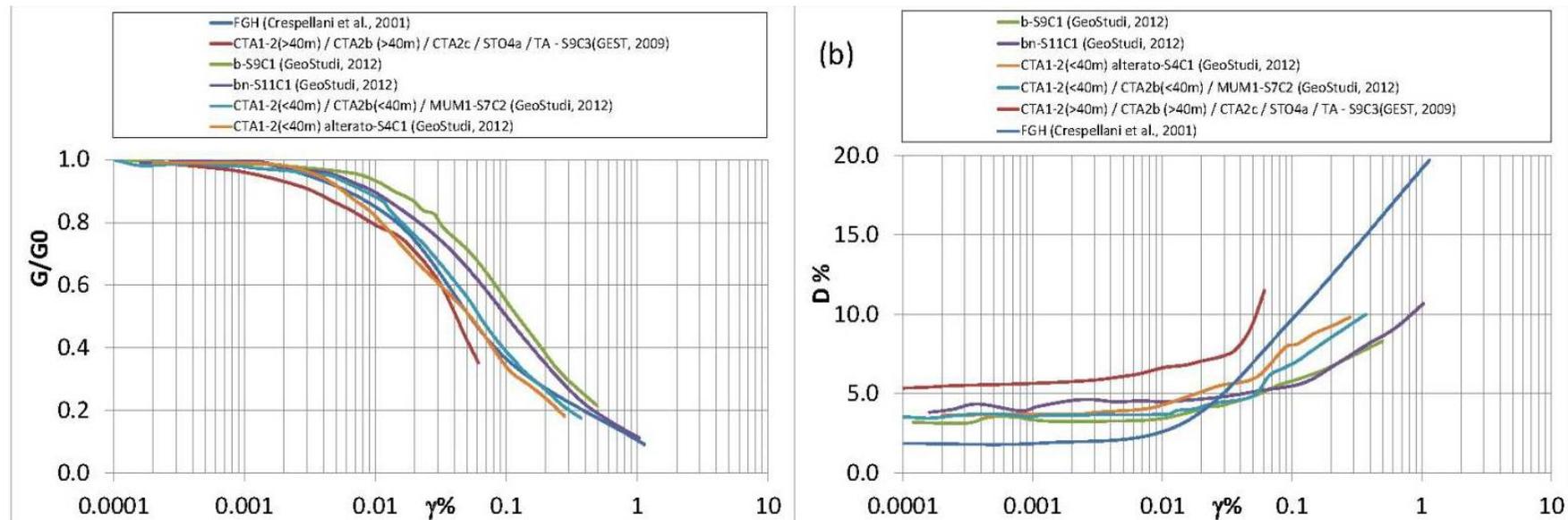


DH



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

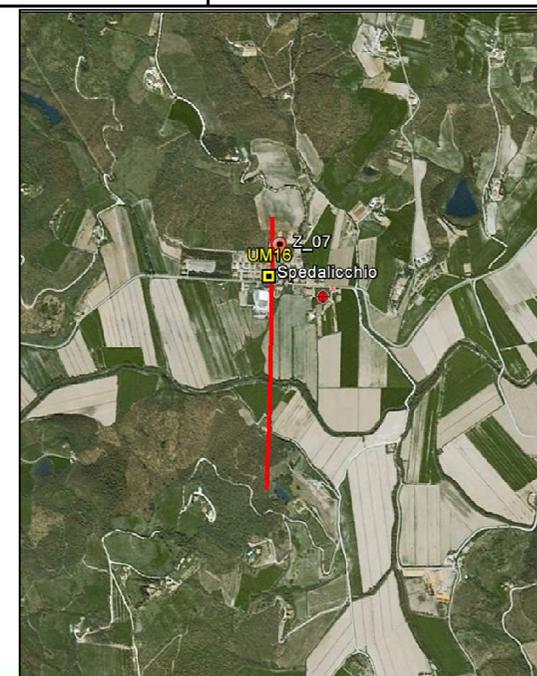
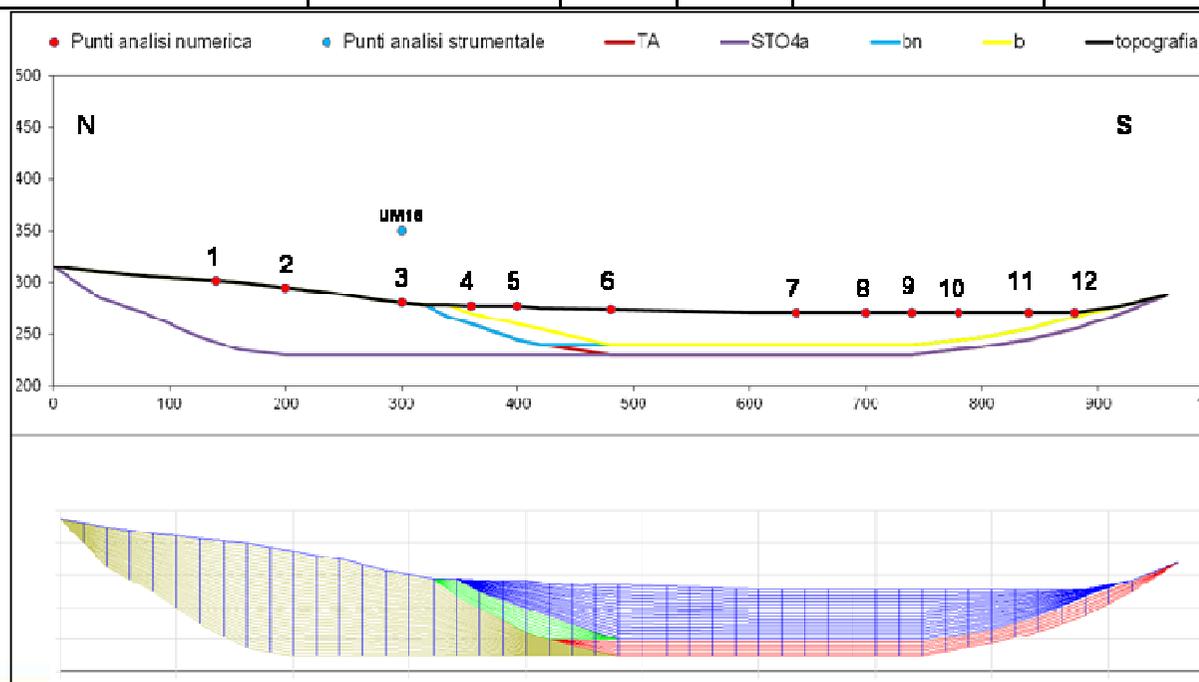
<i>Denominazione unità geologica</i>	<i>Denominazione unità geofisica</i>	<i>Sigla unità geofisica</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Vp (m/s)</i>	<i>γ (kN/mc)</i>
Alluvioni recenti	unità limosa alluvionale	b	300	1200	20.3
Alluvioni terrazzate	unità limo-ghiaiosa	bn	340	1450	19.9
Sintema Citerna Subsintema Molin 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

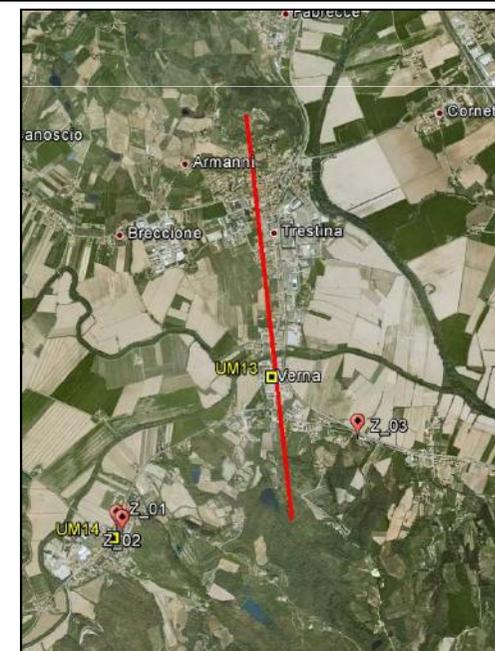
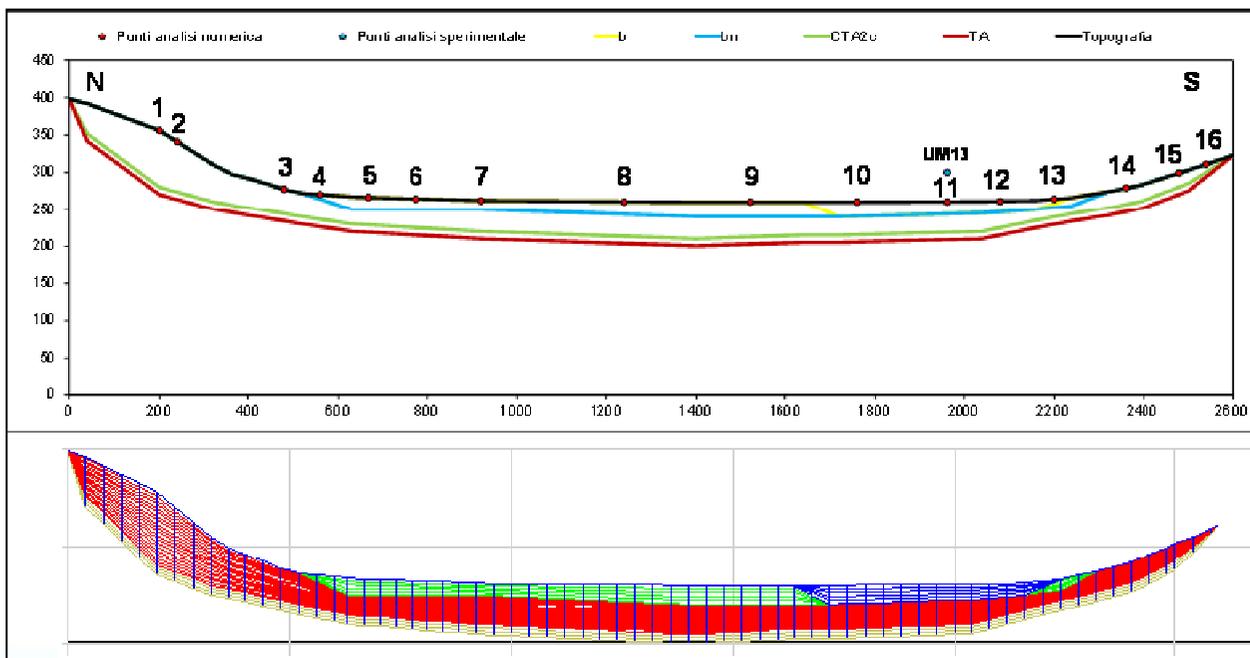
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1- GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
STO4a	20.9	460	1740	0.46	5.26	S9C3 – GEST,2009
TA	20.0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

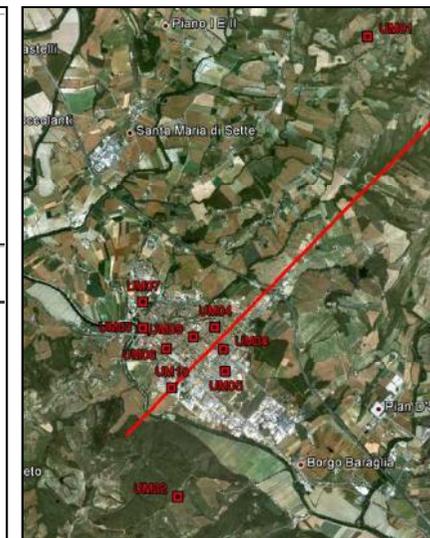
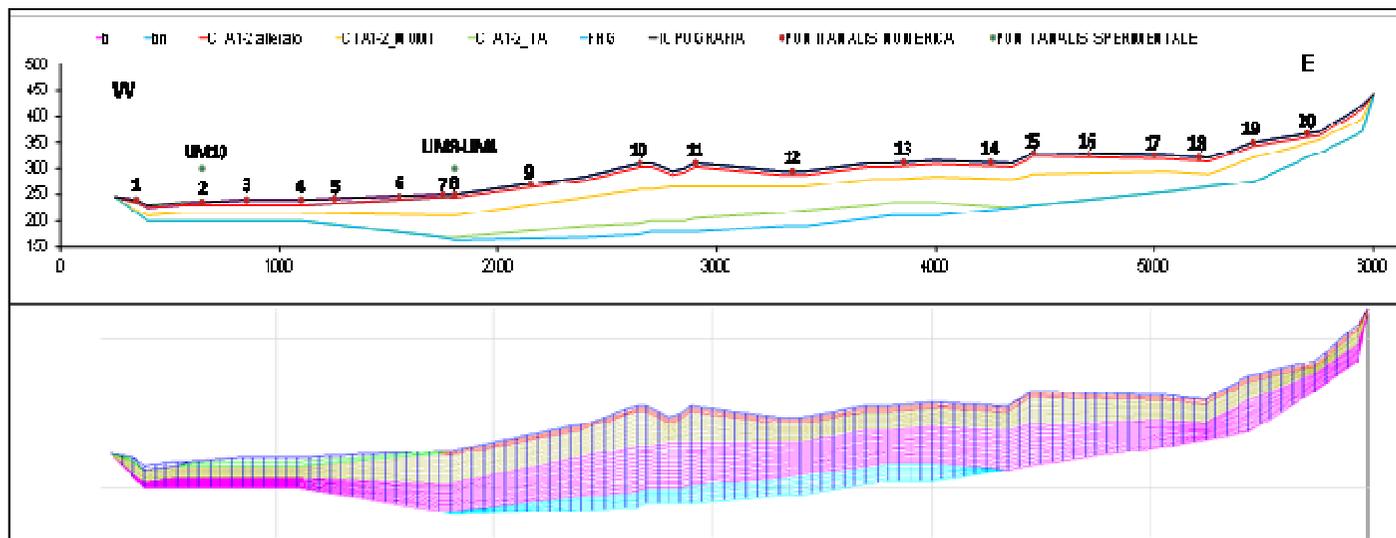
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1- GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA2c	19.9	460	1970	0.47	5.26	S9C3 – GEST,2009
TA	20.0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

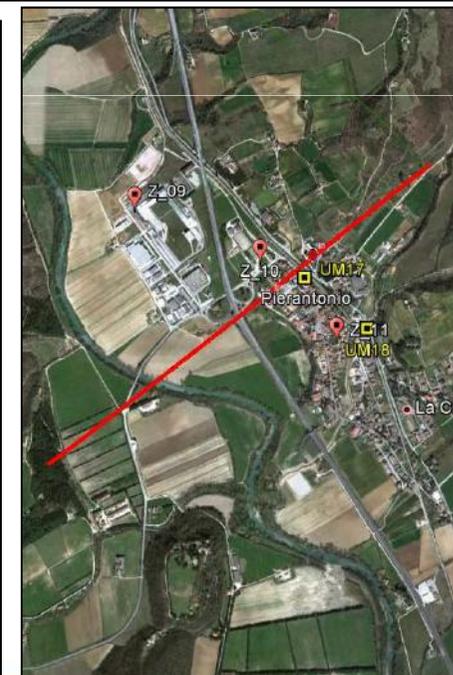
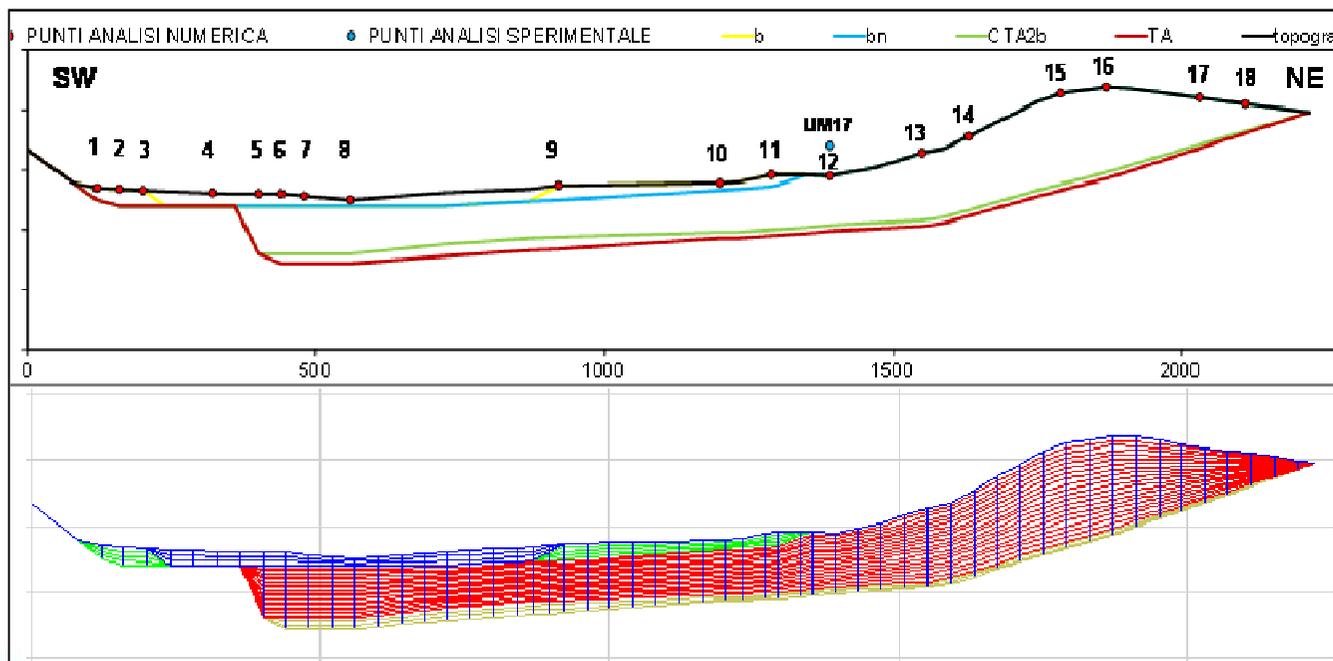
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1 – GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA1-2 (<40m) / MUM1	20.4	480	1850	0.46	3.54	S7C2 – 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

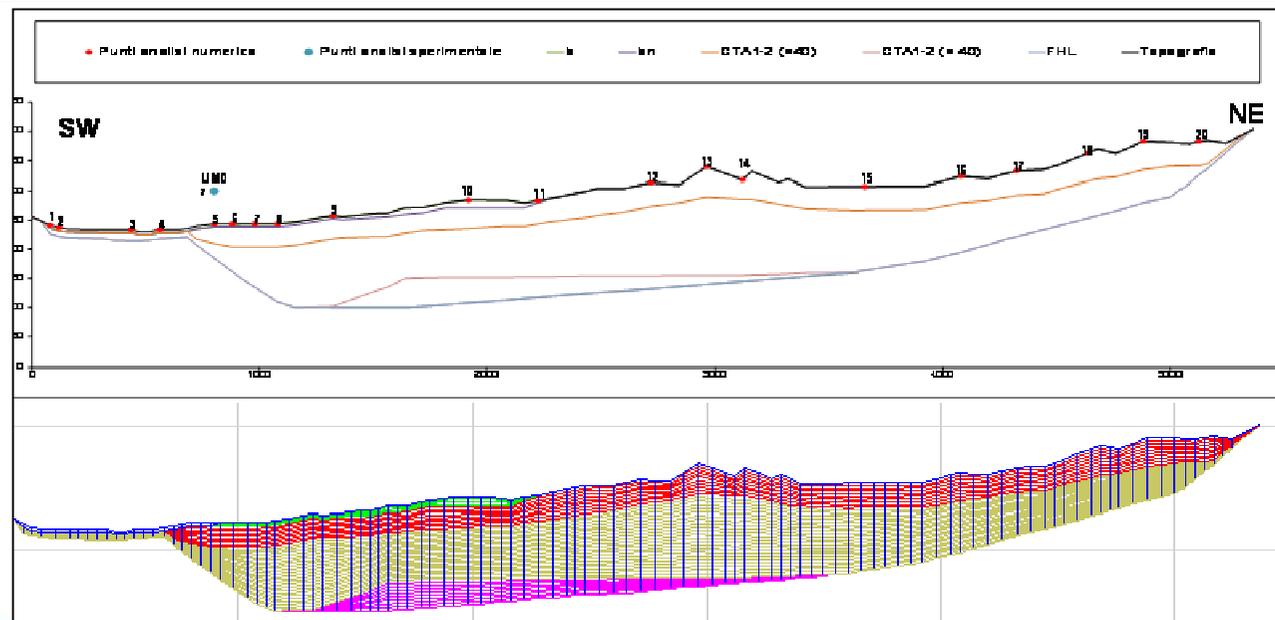
LITOTIPO	Peso di volume (kN/mc)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Rapporto smorzamento iniziale %	Campione di riferimento per curve di degrado
b	20.3	300	1200	0.47	3.19	S9C1 – GeoStudi, 2012
bn	19.9	340	1450	0.47	3.82	S11C1 – GeoStudi, 2012
CTA2b (<40m)	20.4	480	1850	0.46	3.54	S7C2 – GeoStudi, 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

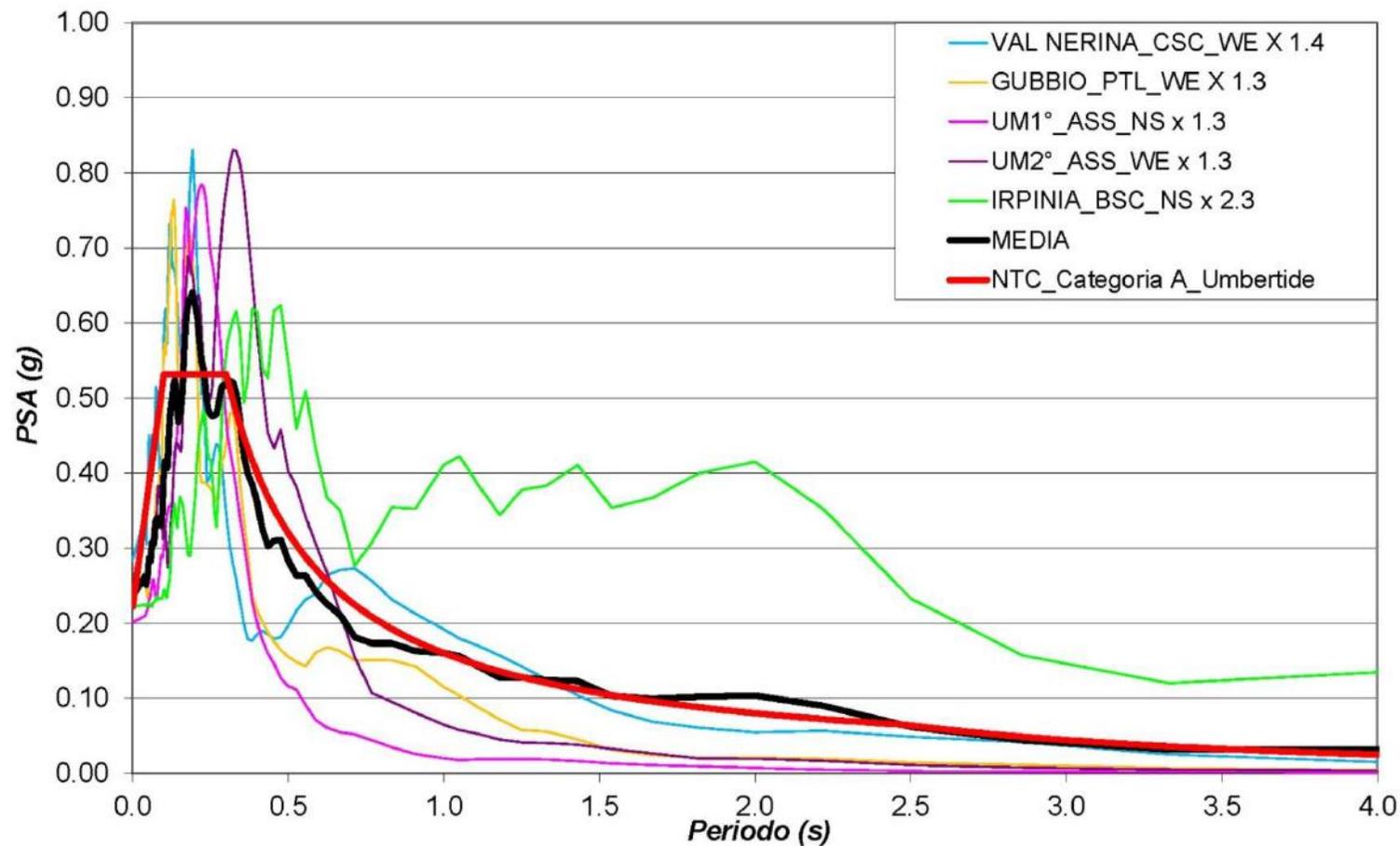
<i>Evento</i>	<i>Data</i>	<i>Ora</i>	<i>Lat (°)</i>	<i>Long (°)</i>	<i>Profondità (km)</i>	<i>M_W</i>	<i>M_L</i>	<i>Regime tettonico</i>
VAL NERINA	1979-09-19	21:35:37	42.800	13.040	6.0	5.8	5.5	Faglia normale
IRPINIA	1980-11-23	18:34:53	40.760	15.309	15.0	6.5	6.9	Faglia normale
GUBBIO	1984-04-29	05:03:00	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

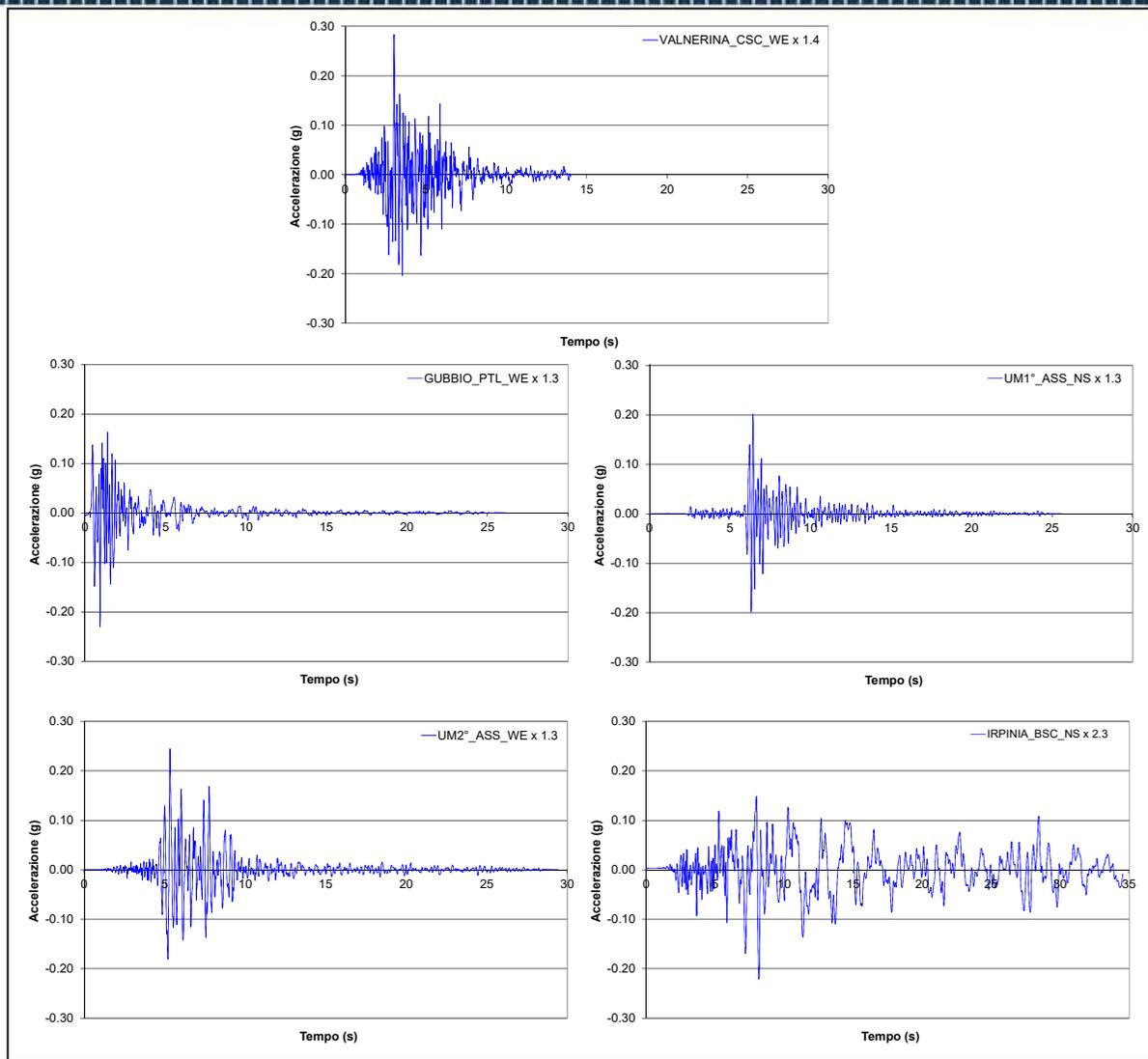


Applicazione - Umbertide

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

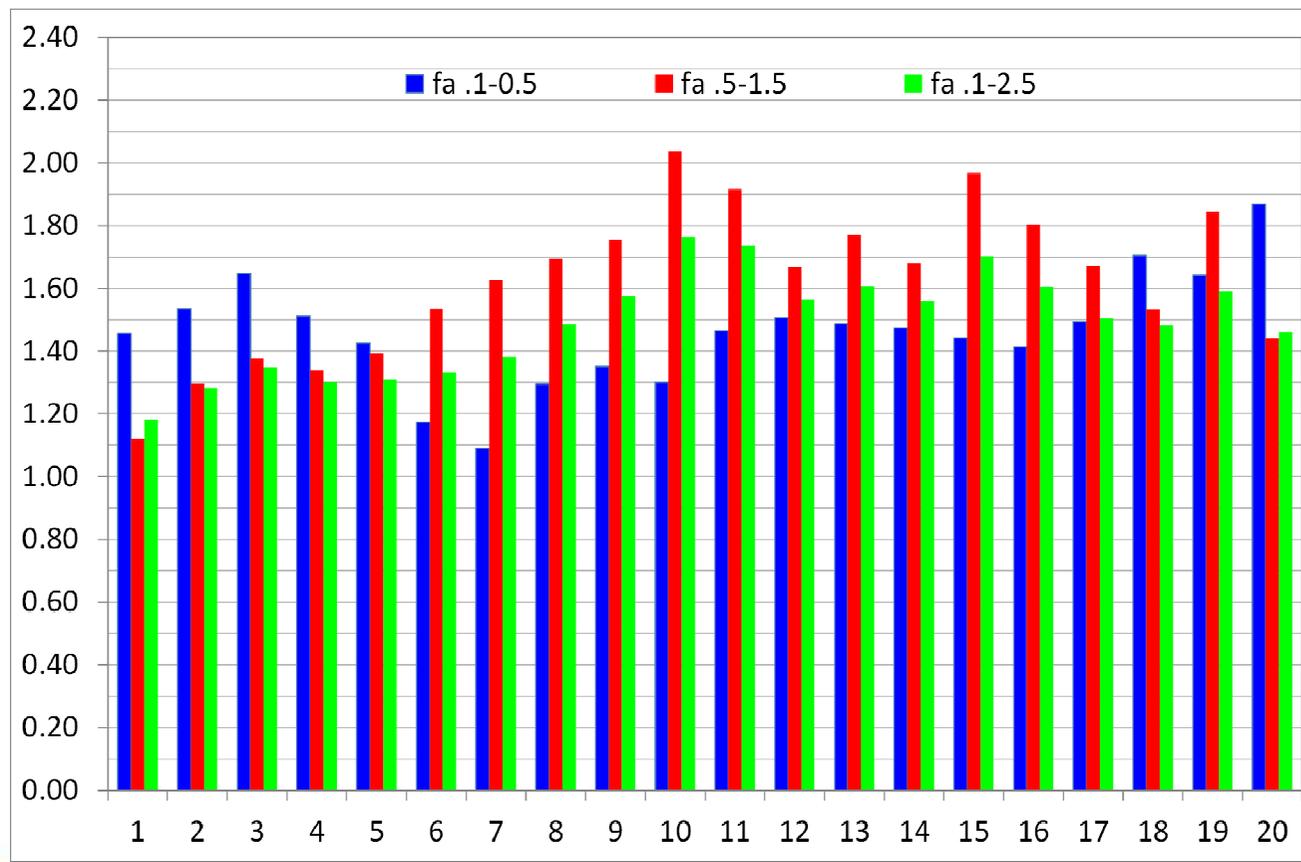


Applicazione - Umbertide

RISULTATI: Fattori di amplificazione

Esempio profilo n. 3

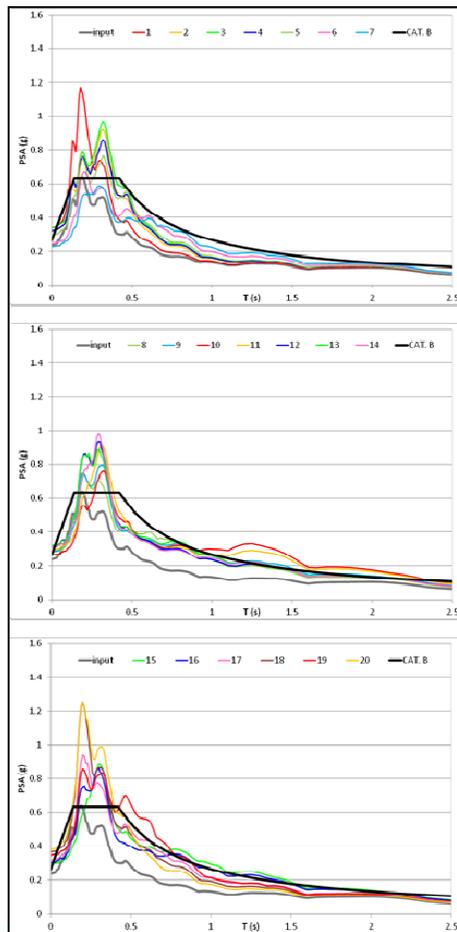
Punti	fa .1-2.5	fa .1-0.5	fa .5-1.5
1	1.18	1.46	1.12
2	1.28	1.54	1.30
3	1.35	1.65	1.38
4	1.30	1.51	1.34
5	1.31	1.43	1.39
6	1.33	1.17	1.53
7	1.38	1.09	1.63
8	1.48	1.30	1.69
9	1.58	1.35	1.76
10	1.76	1.30	2.04
11	1.74	1.46	1.92
12	1.56	1.51	1.67
13	1.61	1.49	1.77
14	1.56	1.47	1.68
15	1.70	1.44	1.97
16	1.60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



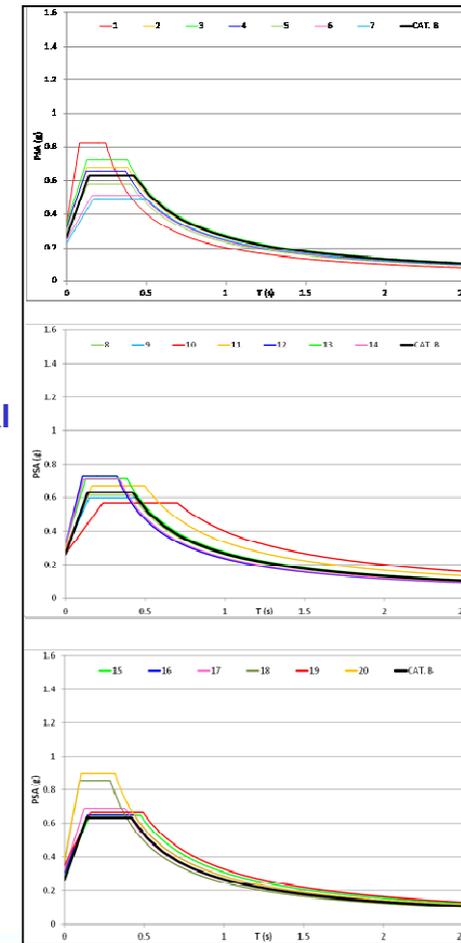
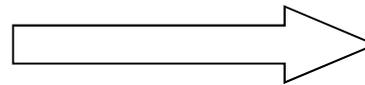
Applicazione - Umbertide

RISULTATI: Spettri di risposta elastici

Esempio profilo n. 3



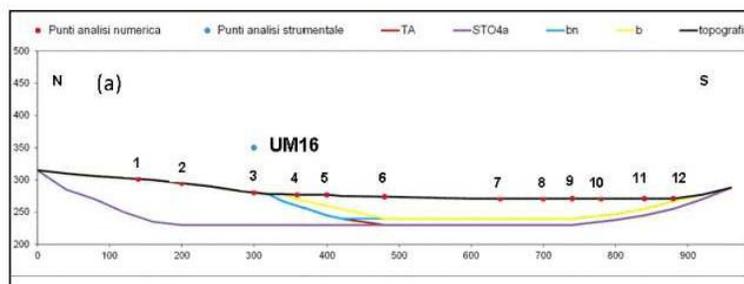
PROCEDURA DI
“ADATTAMENTO” DEGLI SPETTRI
PROPOSTA DAGLI ICMS (2008)



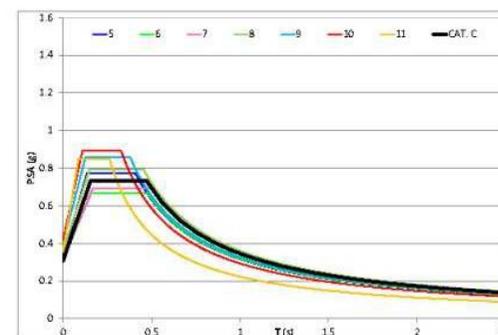
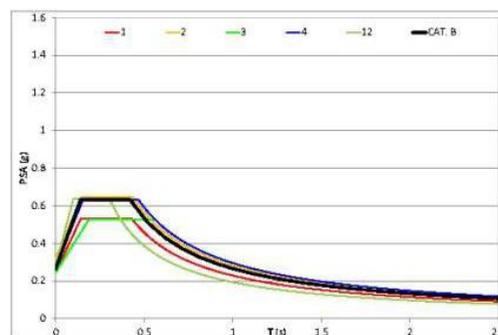
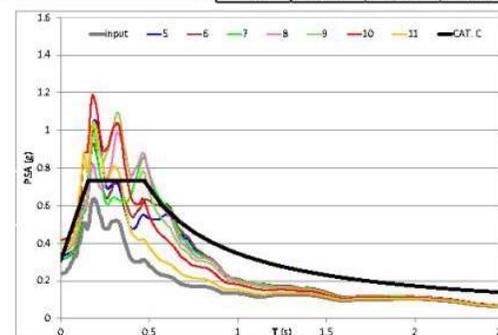
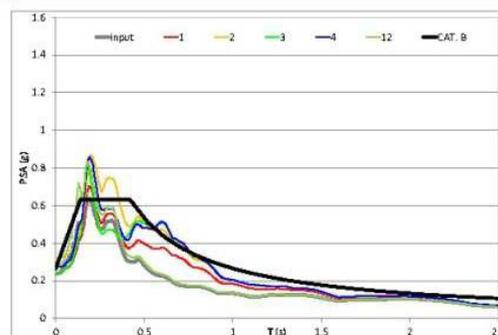
Applicazione - Umbertide

RISULTATI

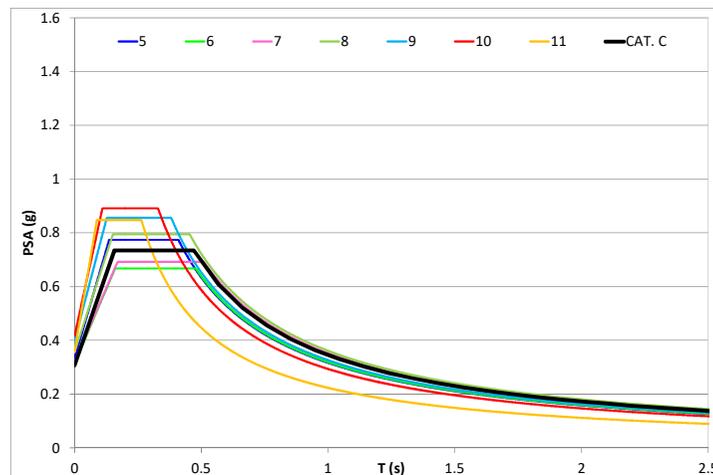
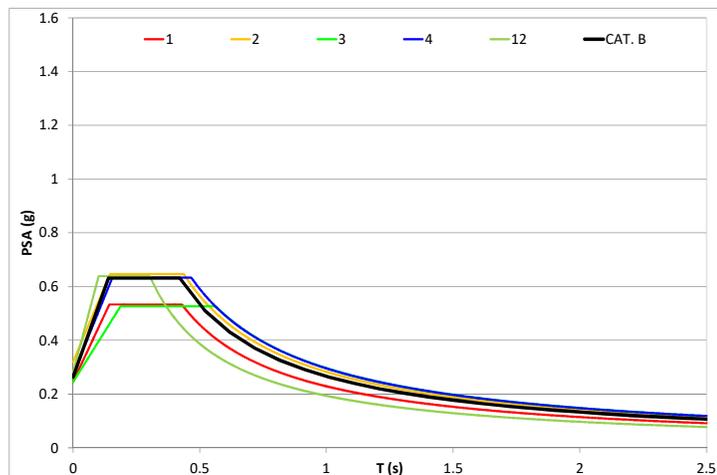
SEZ. 1



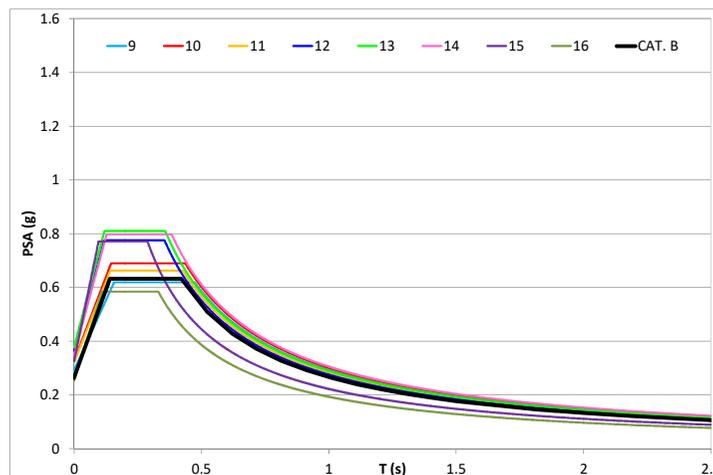
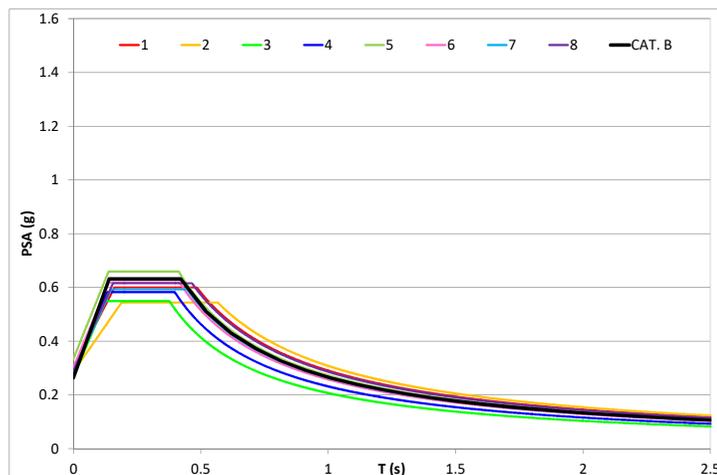
Punti	fa .1-0.5	fa .5-1.5	fa .1-2.5
1	1.14	1.43	1.27
2	1.47	1.68	1.48
3	1.19	1.67	1.38
4	1.31	1.68	1.42
5	1.54	1.79	1.55
6	1.56	1.89	1.59
7	1.69	1.85	1.58
8	1.89	1.82	1.62
9	1.96	1.73	1.60
10	1.92	1.56	1.52
11	1.53	1.22	1.25
12	1.17	1.04	1.06



Applicazione - Umbertide



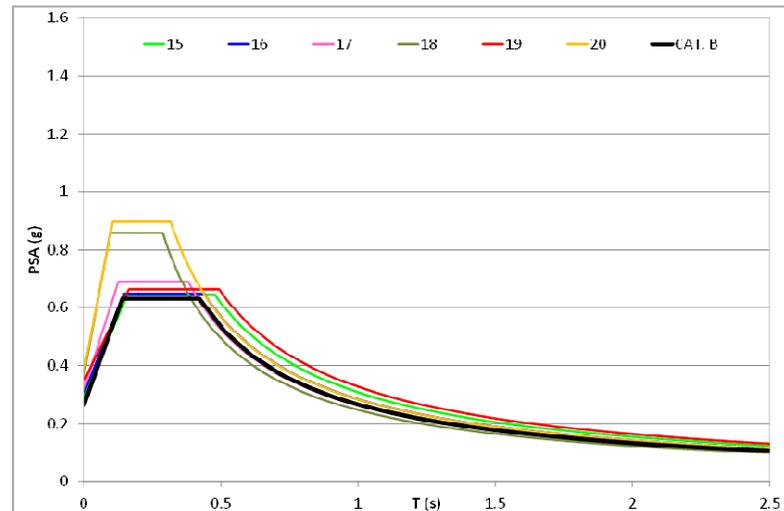
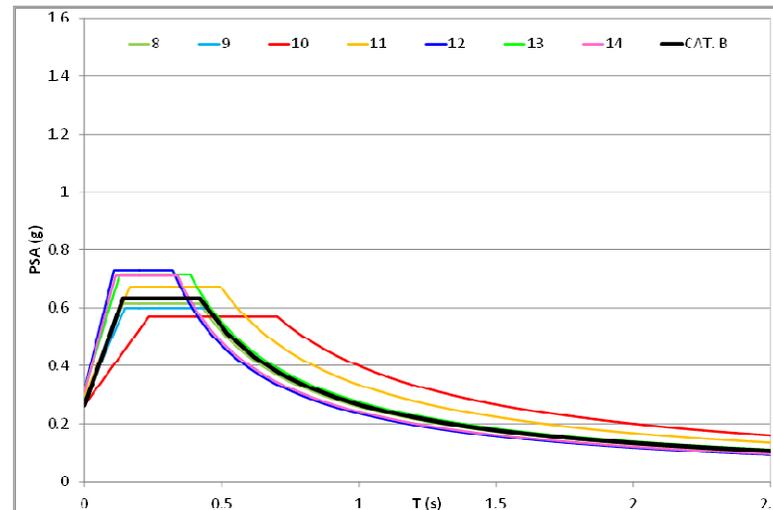
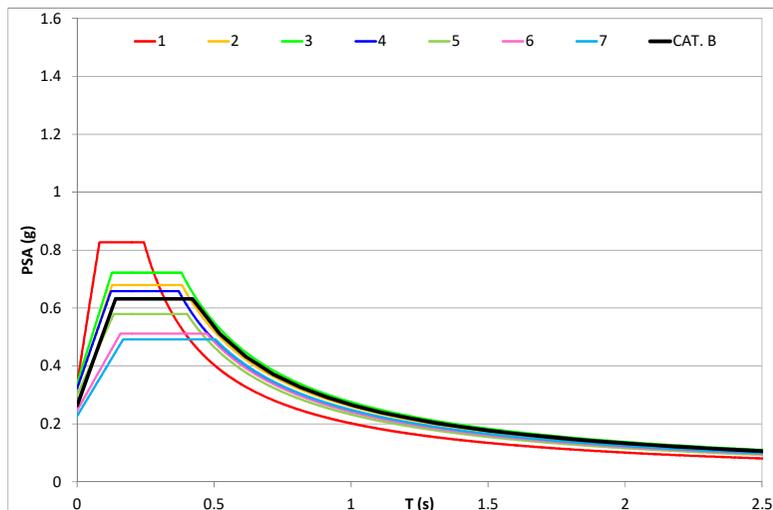
SEZ. 1



SEZ. 2



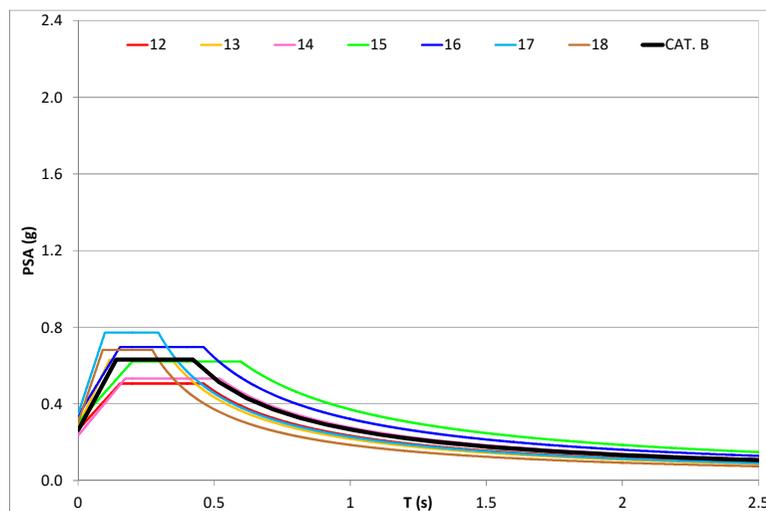
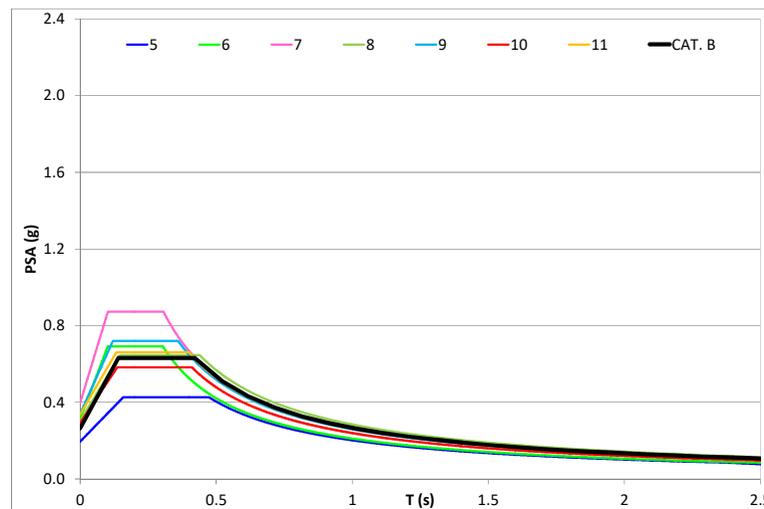
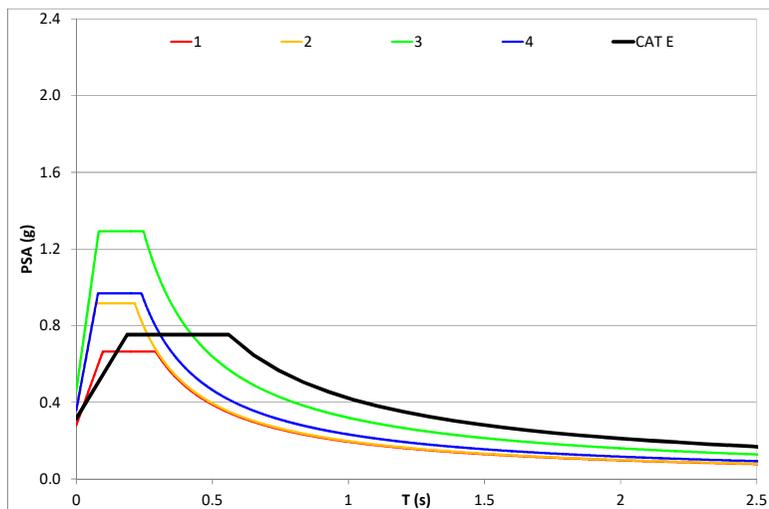
Applicazione - Umbertide



SEZ. 3



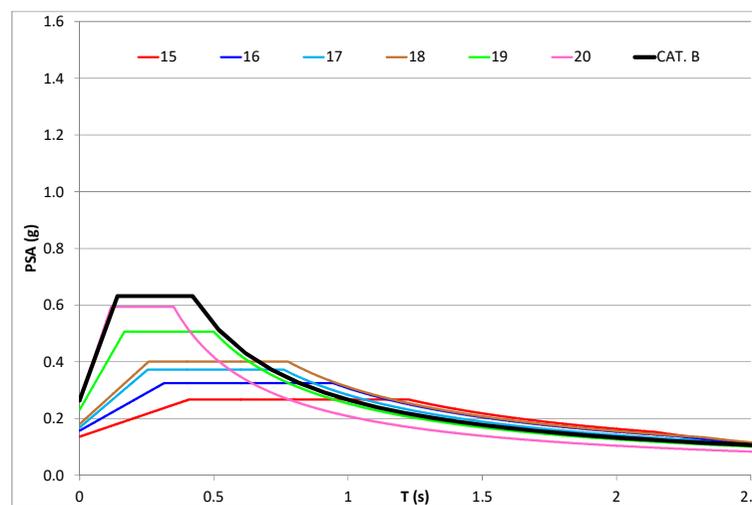
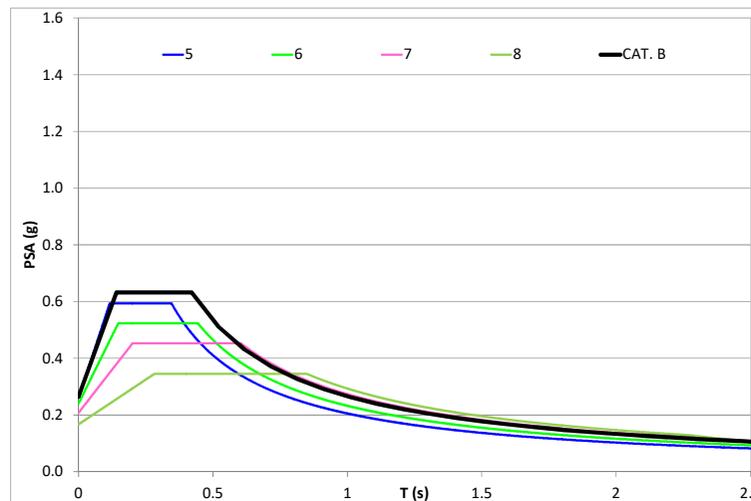
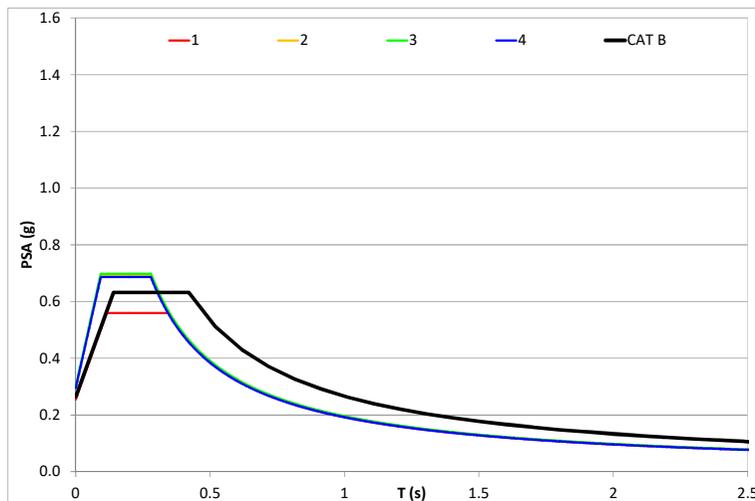
Applicazione - Umbertide



SEZ. 4



Applicazione - Umbertide



SEZ. 5



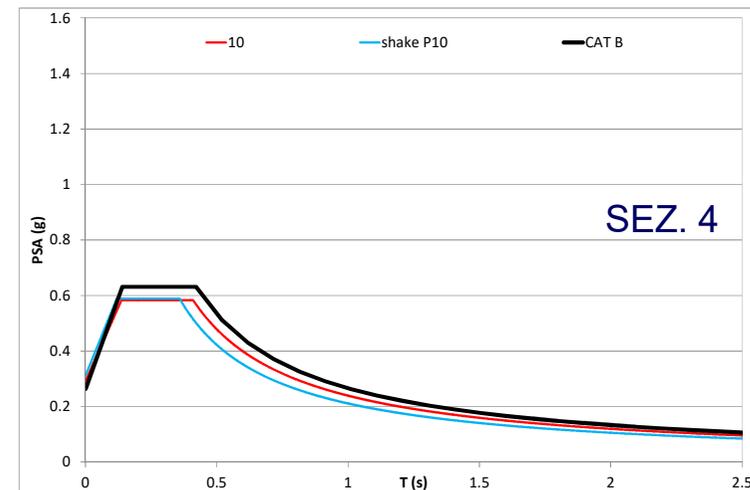
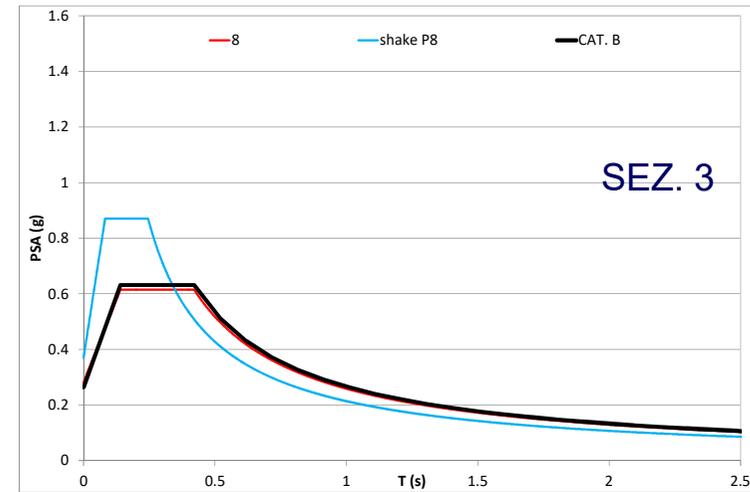
Applicazione - Umbertide

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

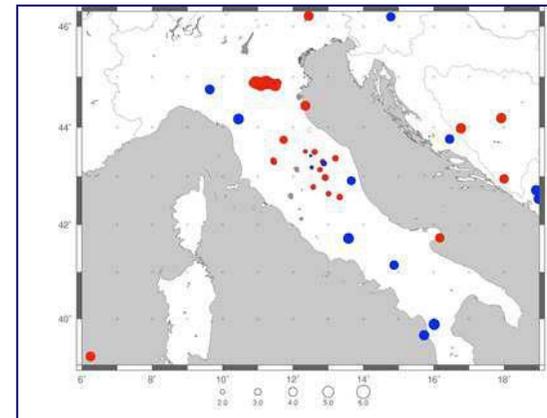
Registrazioni marzo 2012-febbraio 2013

METODOLOGIA:

Calcolo rapporti spettrali

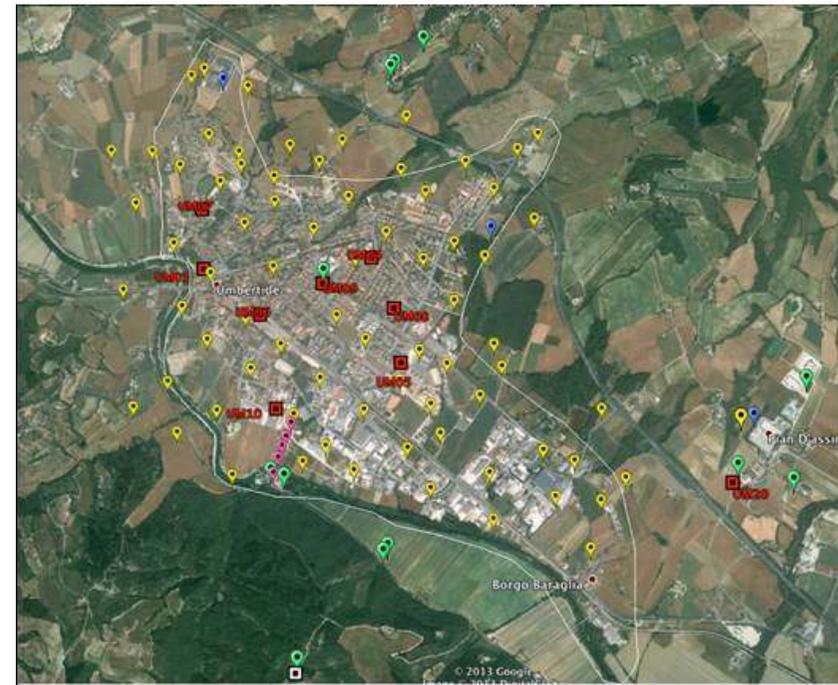
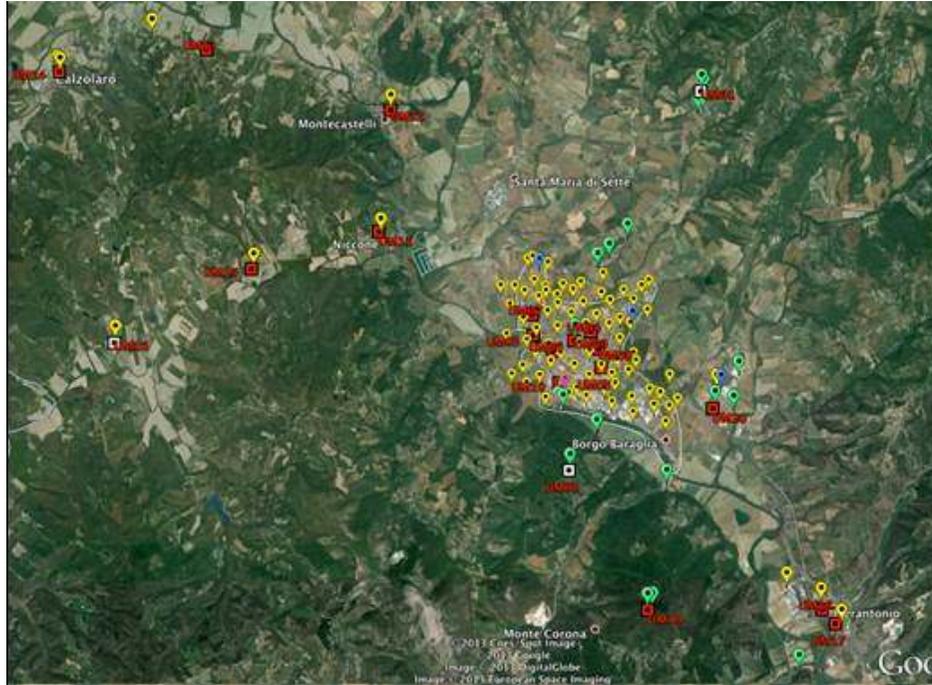
Funzione di amplificazione

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



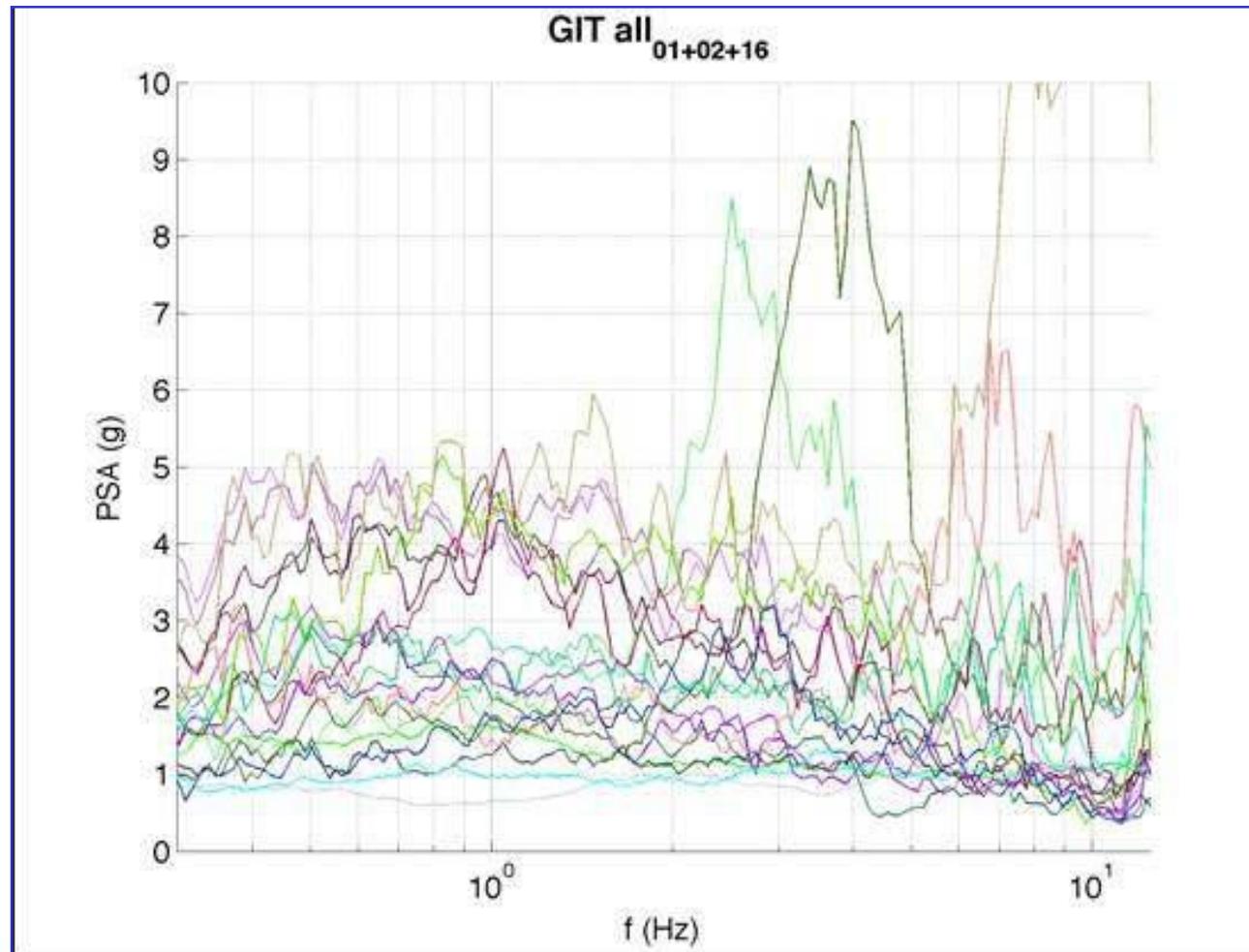
Applicazione - Umbertide

UBICAZIONE SITI REGISTRAZIONI



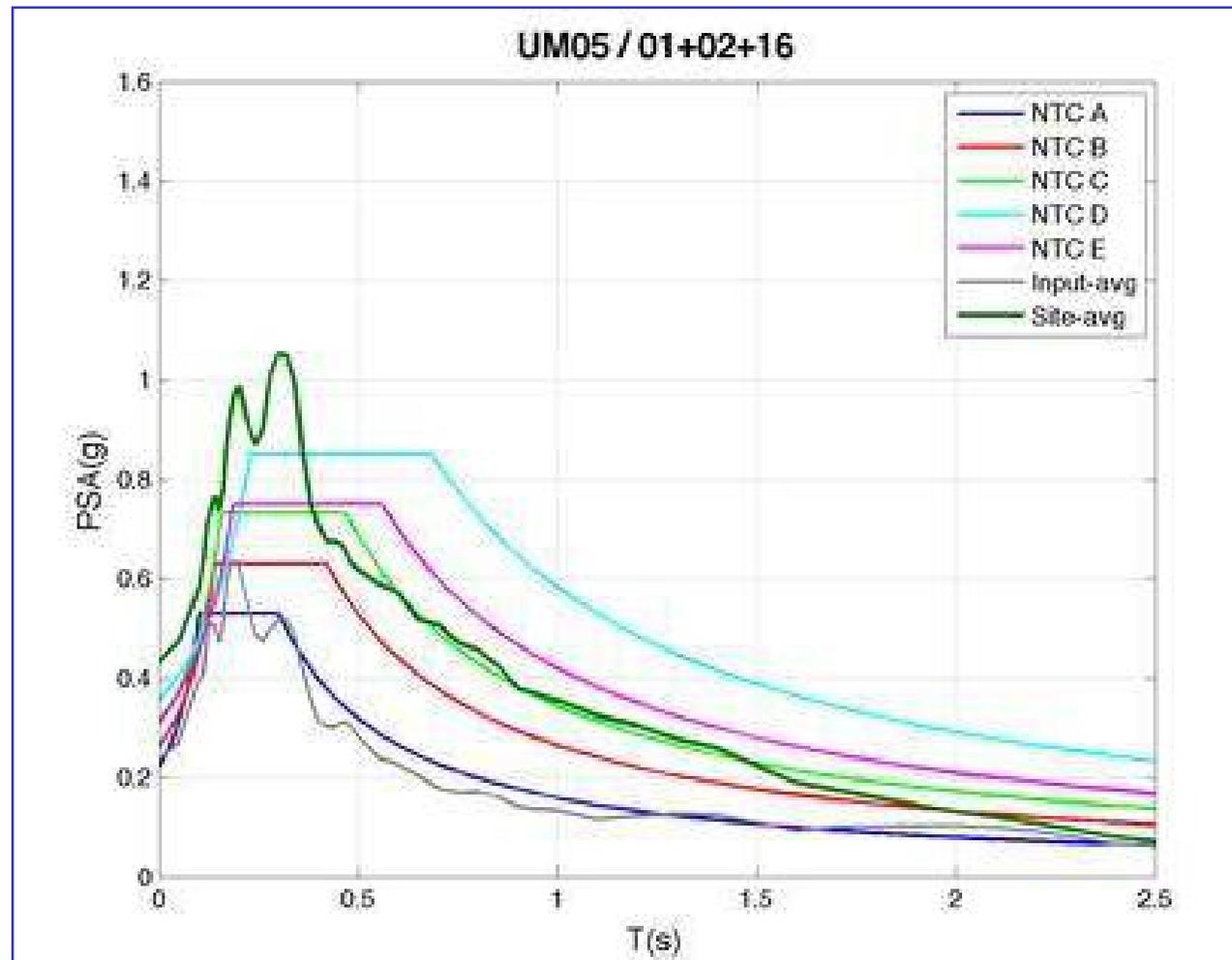
Applicazione - Umbertide

RAPPORTI SPETTRALI



Applicazione - Umbertide

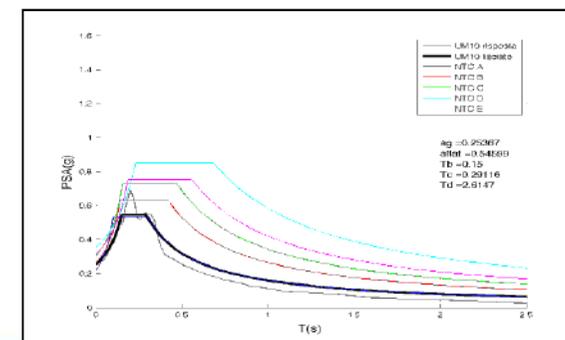
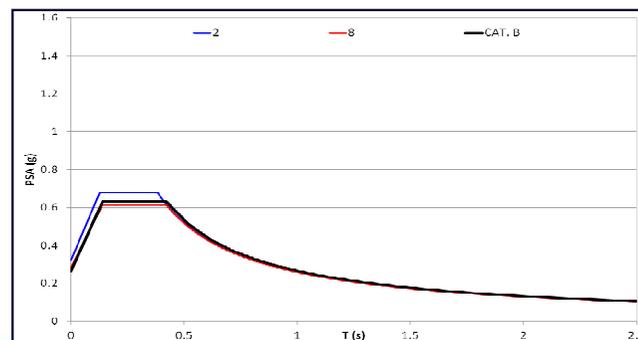
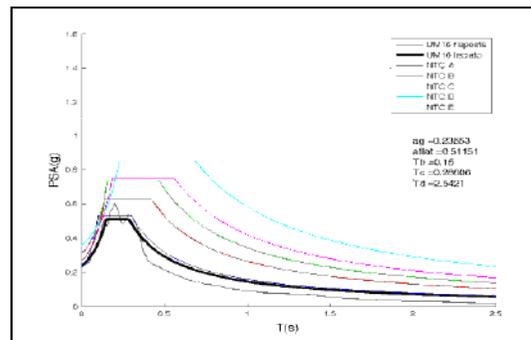
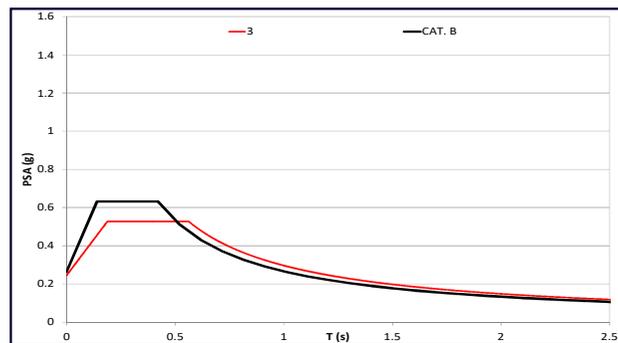
RISULTATI



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

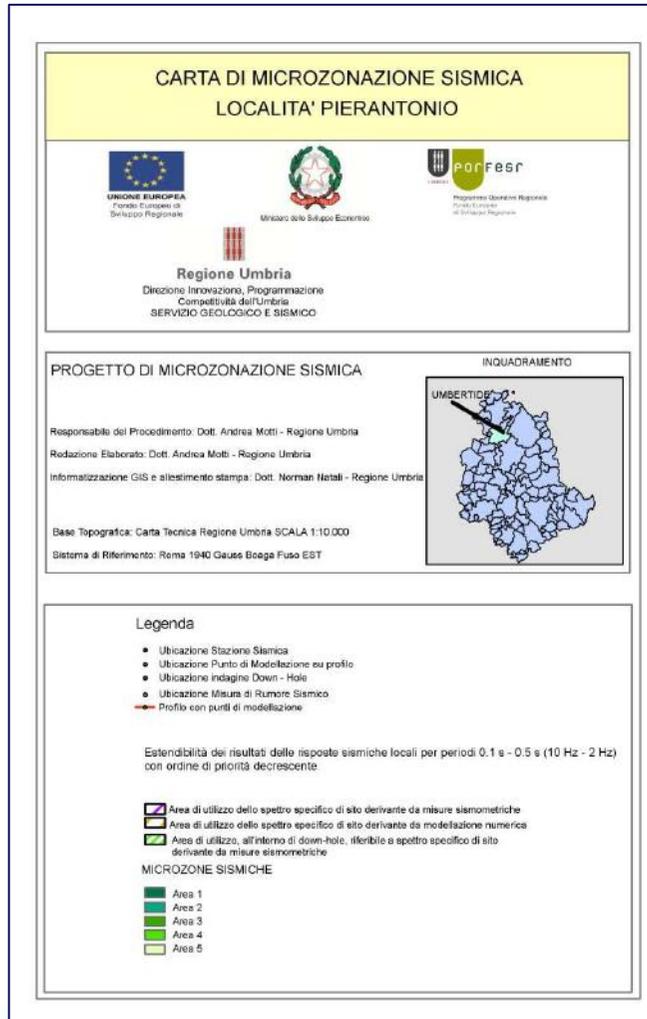
Considerando la robustezza dei risultati ottenuti si prevede:

- 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

