

RISPOSTA SISMICA LOCALE

Floriana Pergalani

**Politecnico di Milano
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale**

14 febbraio 2019



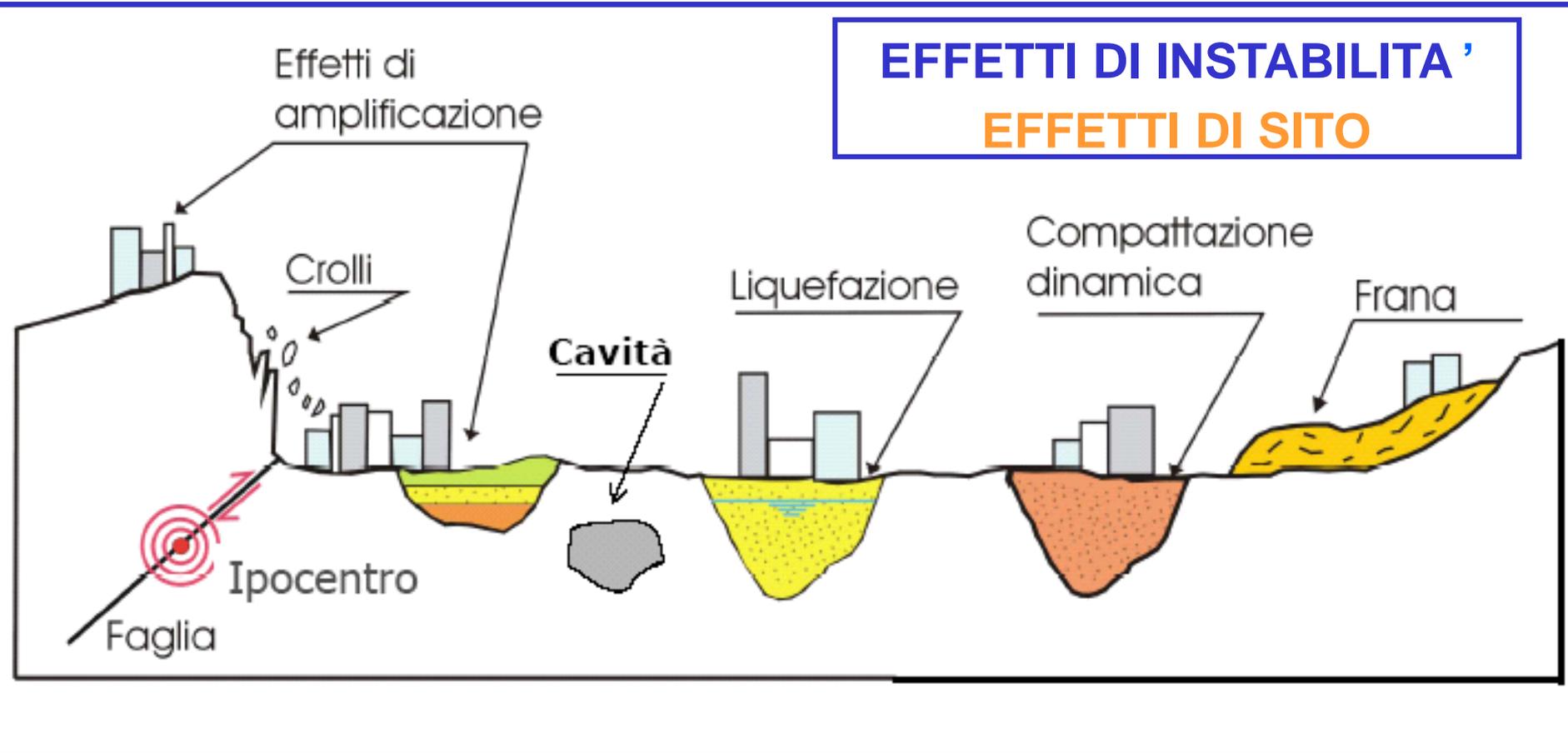
Effetti locali

- **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 locali

Tramite osservazione degli effetti prodotti da passati terremoti



Effetti locali

OSSERVAZIONI SULLE FRANE INDOTTE DA SISMA

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



Effetti locali

Movimenti franosi



Kobe, Giappone, 1995



Terremoto di Loma Prieta, USA, 1989



Effetti locali



Effetti locali

Osservazioni sulle rotture di faglia in superficie



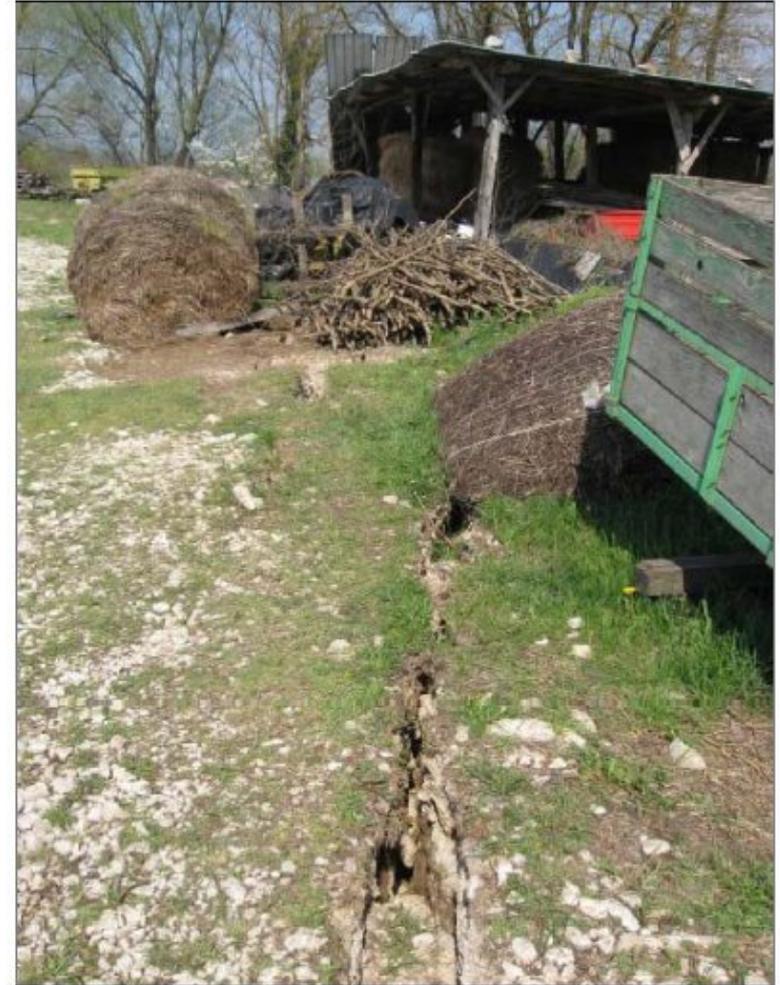
Effetti locali

Osservazioni sugli scorrimenti di faglia

Scorrimento della faglia anatolica,
Kokaeli, 1999



Effetti locali



Terremoto dell'Aquila, 2009

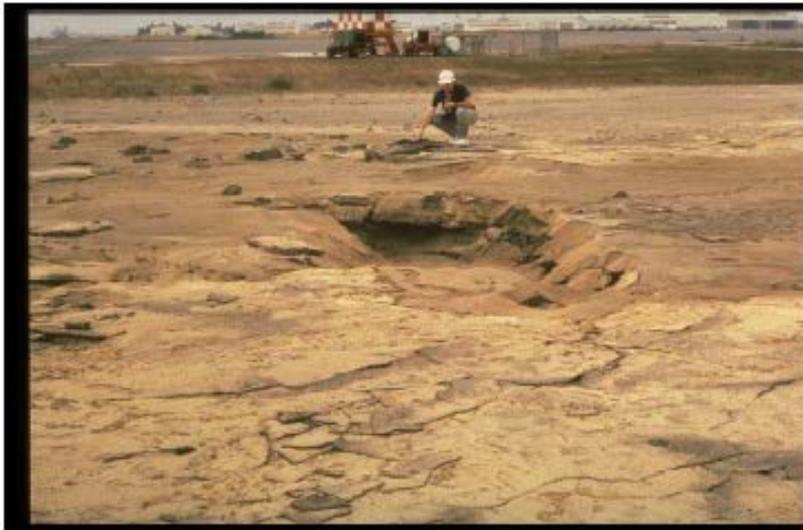
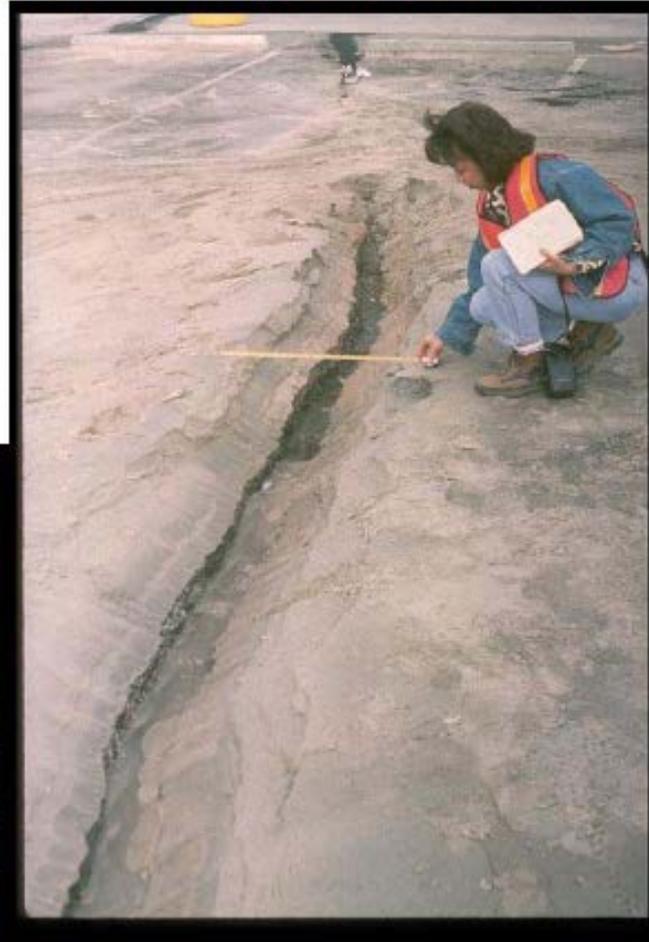


Effetti locali



Effetti locali

Osservazioni sui fenomeni di liquefazione



Effetti locali



Effetti locali

FENOMENI DI LIQUEFAZIONE



Loma Prieta, USA 1989



Effetti locali



Effetti locali

Osservazioni sugli effetti amplificativi



Effetti locali

<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



Effetti locali

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



Effetti locali

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)**



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

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



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

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 $< 15^\circ$)

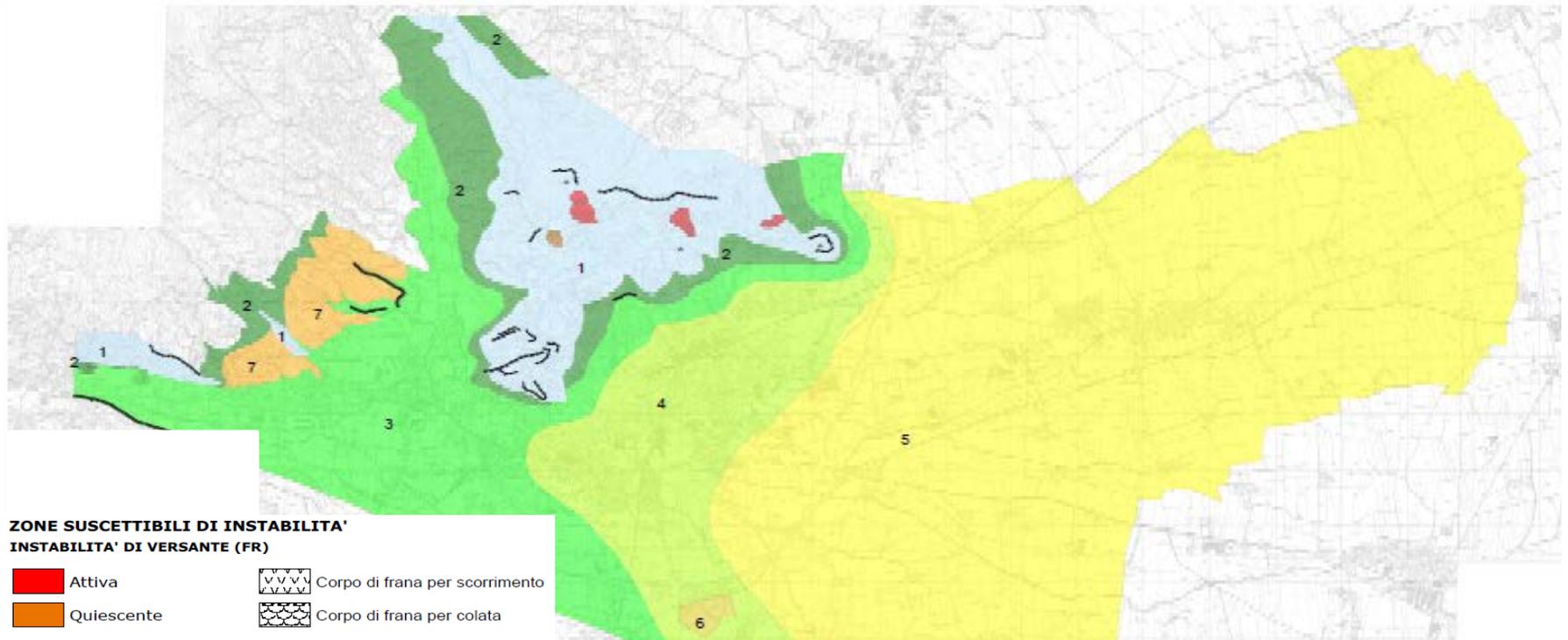
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- 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)

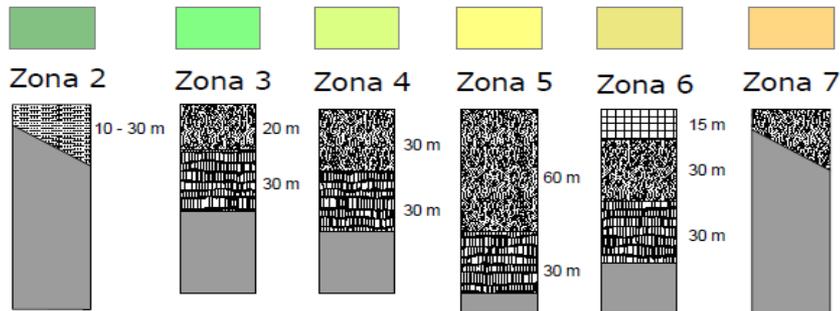


Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica



ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA' INSTABILITA' DI VERSANTE (FR)

- Attiva
- Quiescente
-  Corpo di frana per scorrimento
-  Corpo di frana per colata



-  Ghiaie e sabbie localmente addensate
-  Limi e sabbie sciolte localmente coesive
-  Substrato lapideo alterato
-  Riperto antropico
-  $V_s > 800$ m/s



Approcci semiquantitativo e quantitativo

Due categorie:

– **Amplificazioni**

– **Instabilità**



Approccio semiquantitativo

Attraverso l'uso di specifiche tabelle e/o classificazioni si ricava il valore di un determinato parametro scelto come indicatore dell'amplificazione.

Alcuni esempi:

“Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards”, redatto nel 1993 dal Comitato TC4 (Technical Committee n° 4 for Earthquake Geotechnical Engineering) della ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering)

“Guidelines for seismic microzonation studies”, redatto nel 1995 dal Scientific and Technical Committee della AFPS (Association Francaise du Genie Parasismique - French Association for Earthquake Engineering) nell'ambito della “Delegation of Major Risks of the French Ministry of the Environment – Direction for Prevention, Pollution and Risks”

NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450) - Part 1: Provisions (Cap. 3) - 2003

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings 1998-2003

Norme Tecniche per le costruzioni – DM 14/1/2008

Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2008

Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12 - ALLEGATO 5 DGR VIII/7374 (28-05-2008)

Abachi Regionali per gli studi di Livello 2 di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545 del 26 novembre 2010



Norme Tecniche per le Costruzioni

A19.a - VALUTAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO			Ss
○ A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	$V_{s30} > 800$ m/s	1.0
○ B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$360 < V_{s30} \leq 800$ m/s	1.0-1.2
○ C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} \leq 360$ m/s	1.0-1.5
○ D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s30} \leq 180$ m/s	0.9-1.8
○ E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)	$180 < V_{s30} \leq 360$ m/s $V_{s30} \leq 180$ m/s	1.0-1.6
○ S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$ m/s	Specifiche analisi
○ S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	-	Specifiche analisi



Norme Tecniche per le Costruzioni

A19.b - VALUTAZIONE DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA		Inclinazione media (i)	S _T
<input type="radio"/> T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	$i \leq 15^\circ$	1,0
<input type="radio"/> T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	$i > 15^\circ$	1,2
<input type="radio"/> T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	$15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
<input type="radio"/> T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	$i > 30^\circ$	1,4



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

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, 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), scala 1:5.000-1:10.000
- 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)

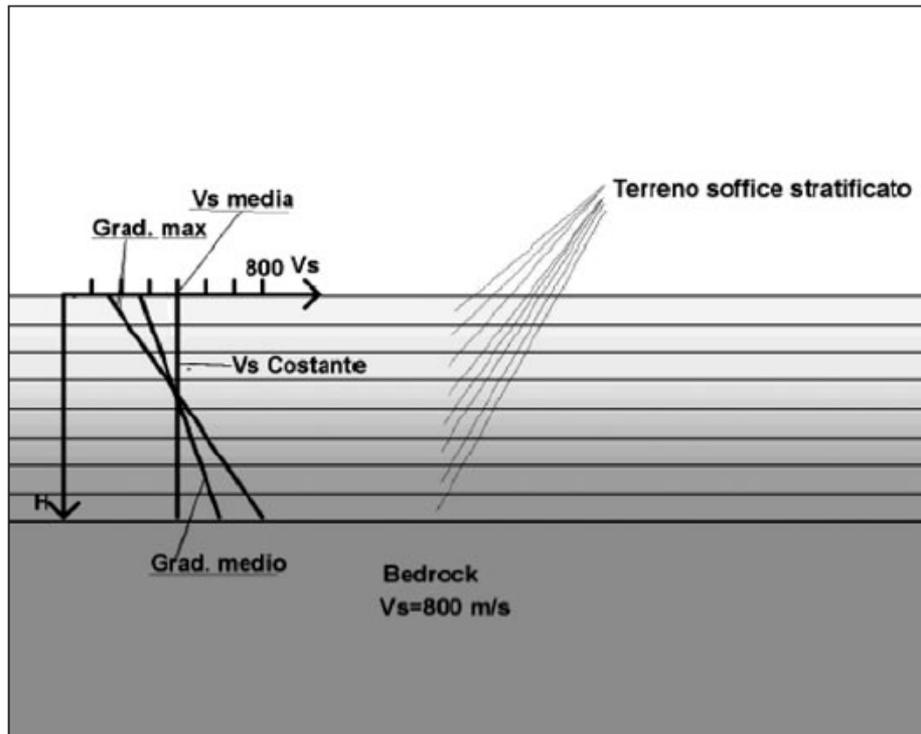
Zone di deformazione permanente, caratterizzate da parametri quantitativi (spostamenti e aree accumulo per frana, calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione)



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

Livello 2

Modello di sottosuolo di terreni omogenei a strati orizzontali, piani e paralleli, di estensione infinita, considerando 3 diversi gradienti di Vs con la profondità, su un bedrock sismico ($V_s=800$ m/s)



$$FA = \frac{1}{T_{ao}} \int_{0.5T_{ao}}^{1.5T_{ao}} SA_o(T) dT \bigg/ \frac{1}{T_{ai}} \int_{0.5T_{ai}}^{1.5T_{ai}} SA_i(T) dT$$

$$FV = \frac{1}{0.4T_{vo}} \int_{0.8T_{vo}}^{1.2T_{vo}} SV_o(T) dT \bigg/ \frac{1}{T_{vi}} \int_{0.8T_{vi}}^{1.2T_{vi}} SV_i(T) dT$$



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

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

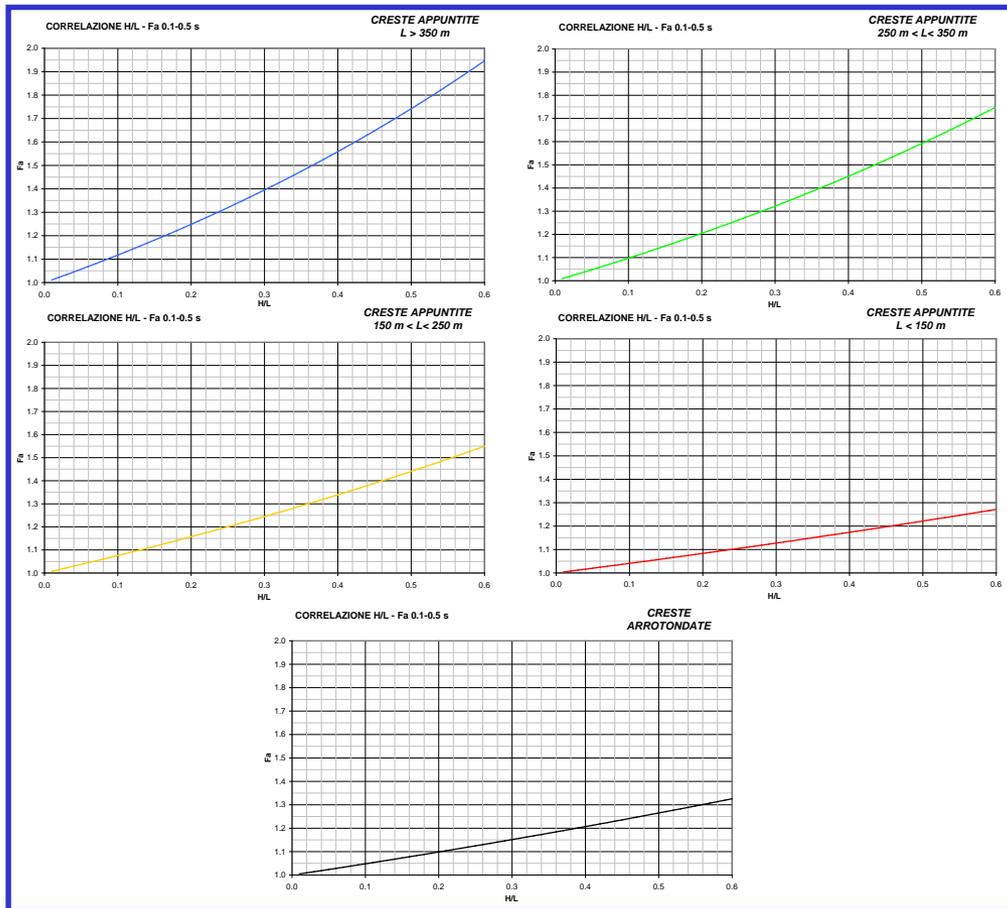
Fattore di amplificazione <i>FA</i>	Tipo di terreno Argilla										
	a_g (g) 0.06g										
<i>H</i>	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia										
	V_{as} (m/s)										
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
5	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.08	1.04	1.02	1.00	
10	2.69	2.41	2.05	1.73	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 Fa	Area di influenza
10 m ≤ H ≤ 20 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.1	A _i = H
20 m < H ≤ 40 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.2	A _i = 3/4 H
H > 40 m	10° ≤ α ≤ 20°	1.1	A _i = 2/3 H
	20° < α ≤ 40°	1.2	
	40° < α ≤ 60°	1.3	
	60° < α ≤ 70°	1.2	
	α > 70°	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:

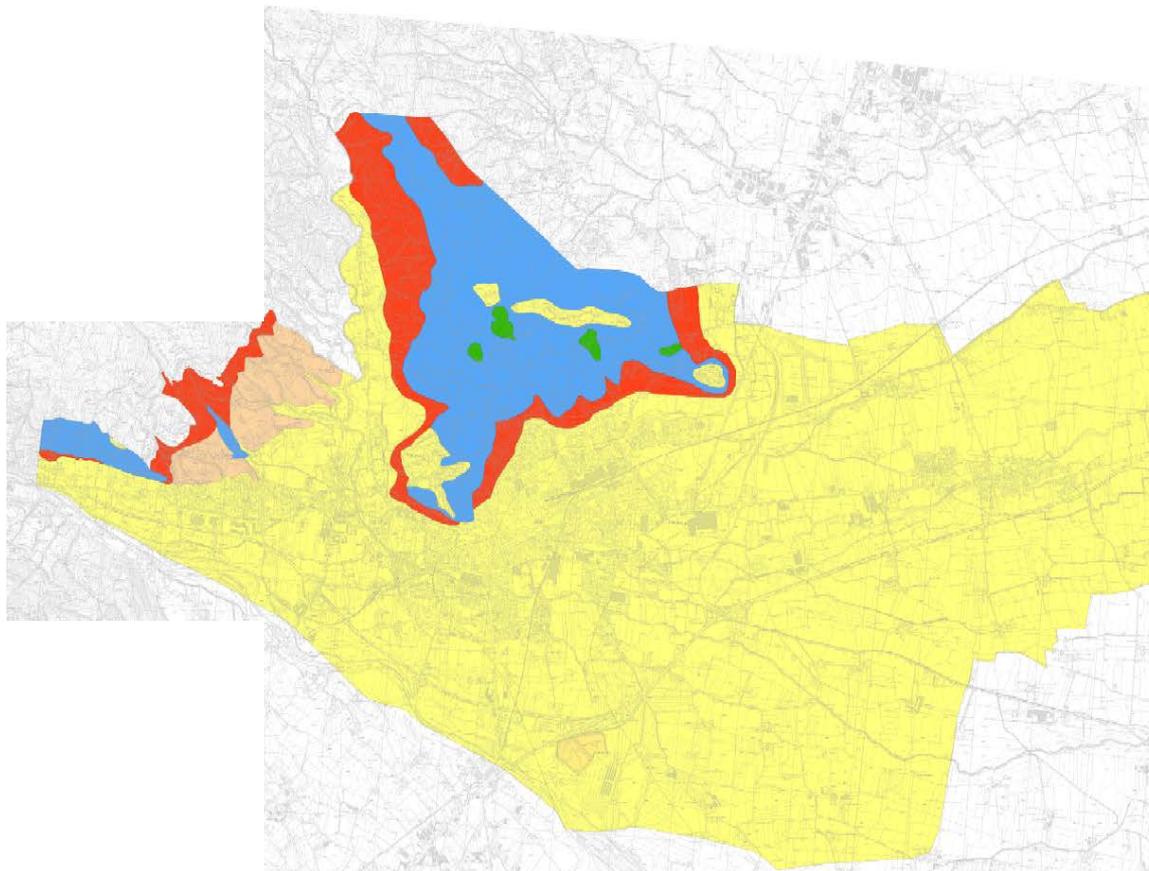
- forme sepolte (amplificazioni 2D)
- inversioni di velocità (rigido su soffice)
- forte contrasto di impedenza

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 (D) con la deformazione, per ciascun litotipo
- profili di V_s
- 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 $FH > SH$



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica



Legenda

Zone stabili

Zone stabili ($F_a = 1.0$)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (F_a)

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 (F_t)

1.1 - 1.2

Zone suscettibili di instabilità

Instabilità di versante

Liquefazioni

Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci

Cedimenti differenziali

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità

0 100 200 400 Metri



Approccio quantitativo

Due metodologie:

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



Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica

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, 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



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



Analisi numerica

Dati e strumenti necessari:

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



Analisi numerica

MOTO SISMICO DI RIFERIMENTO

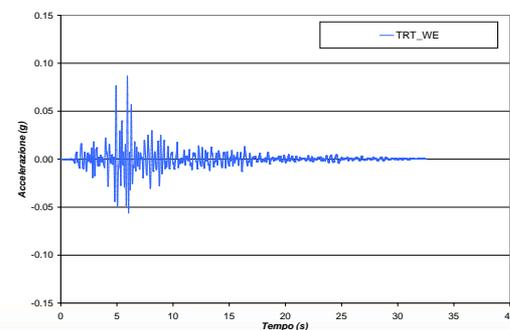
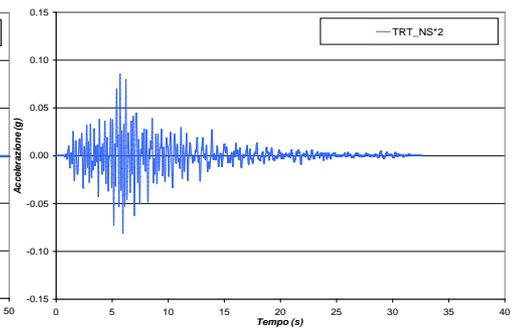
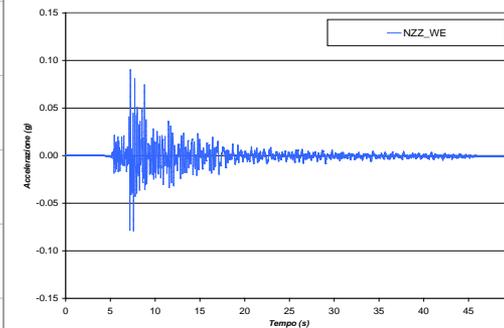
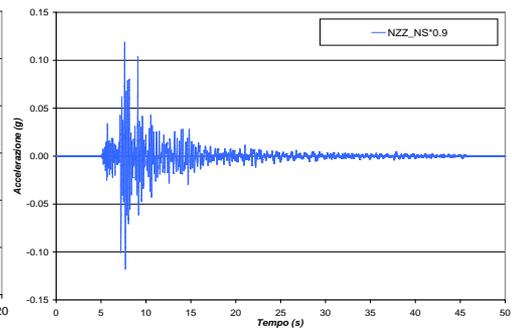
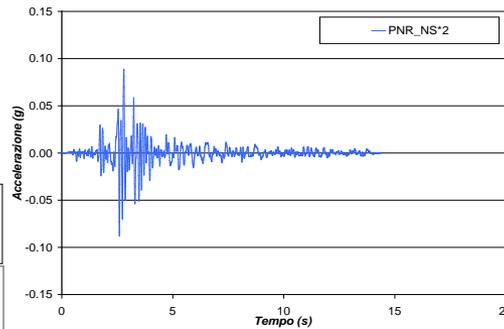
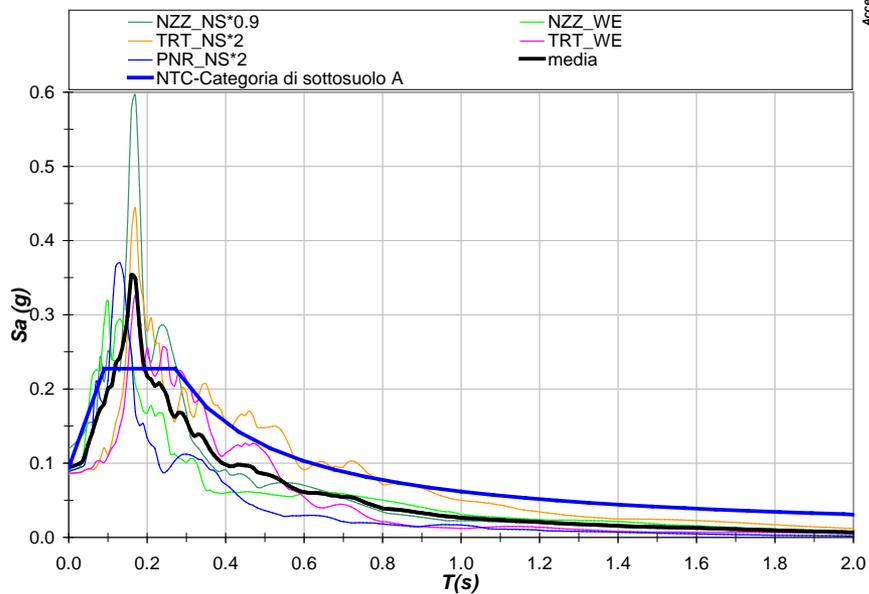
- 5 registrazioni (ITACA, 2006);
- Caratteristiche sismogenetiche della sorgente;
- Coppia magnitudo-distanza dalla sorgente (da dati di disaggregazione prodotti dal Gruppo di Lavoro, 2004);
- Massima accelerazione orizzontale attesa (Gruppo di Lavoro, 2004);
- Registrazioni effettuate su bedrock sismico (sottosuolo di categoria A, NTC).

Le registrazioni scelte possono essere oggetto di scalatura, per ottenere un valore medio del picco di accelerazione scalato più vicino possibile al valore di a_{\max} atteso conformemente a quanto previsto dalle NTC.



Analisi numerica

MOTO SISMICO DI RIFERIMENTO



Analisi numerica

CARATTERIZZAZIONE DELLE SITUAZIONI

- **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)**



Analisi numerica

MODELLAZIONE

- Scelta dei programmi di calcolo (monodimensionali, bidimensionali, ecc.)
- Scelta dei parametri che definiscono l'amplificazione (P_{ga} , accelerogrammi, spettri di risposta, ecc.)



Analisi numerica

PROGRAMMI DI CALCOLO MONODIMENSIONALI

Shake: modello a strati continui paralleli
 dominio frequenze
 lineare equivalente
 sforzi totali

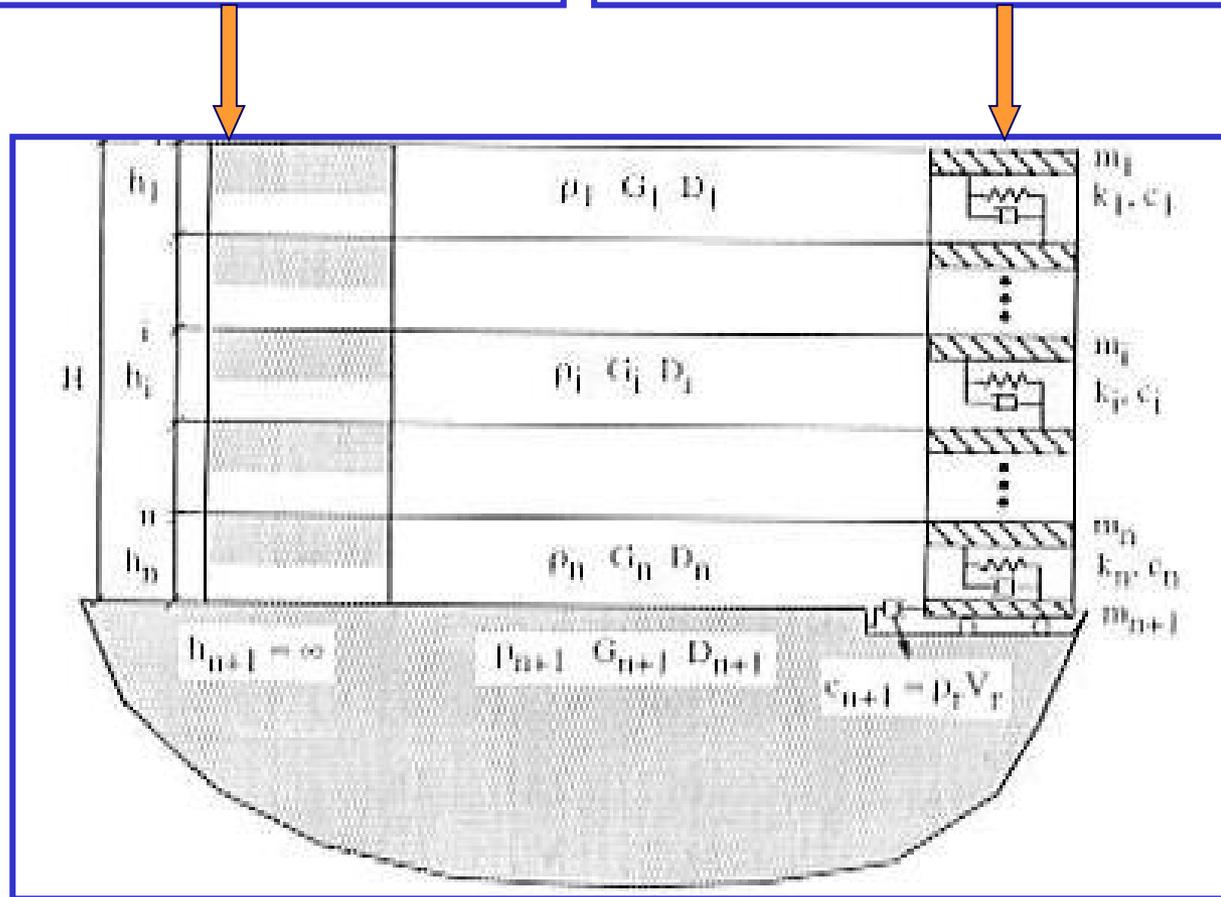
Desra - Onda: modello a masse concentrate
 non lineare
 sforzi efficaci



Analisi numerica

Modello a strati continui

Modello a masse concentrate



Analisi numerica

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



Analisi numerica

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

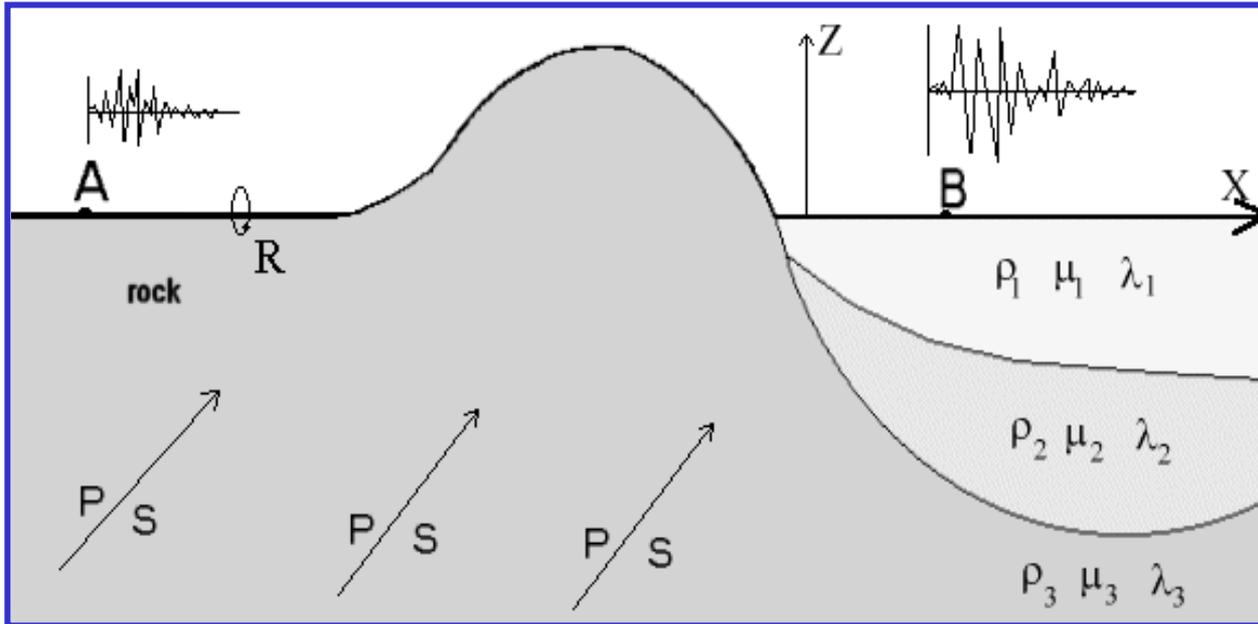
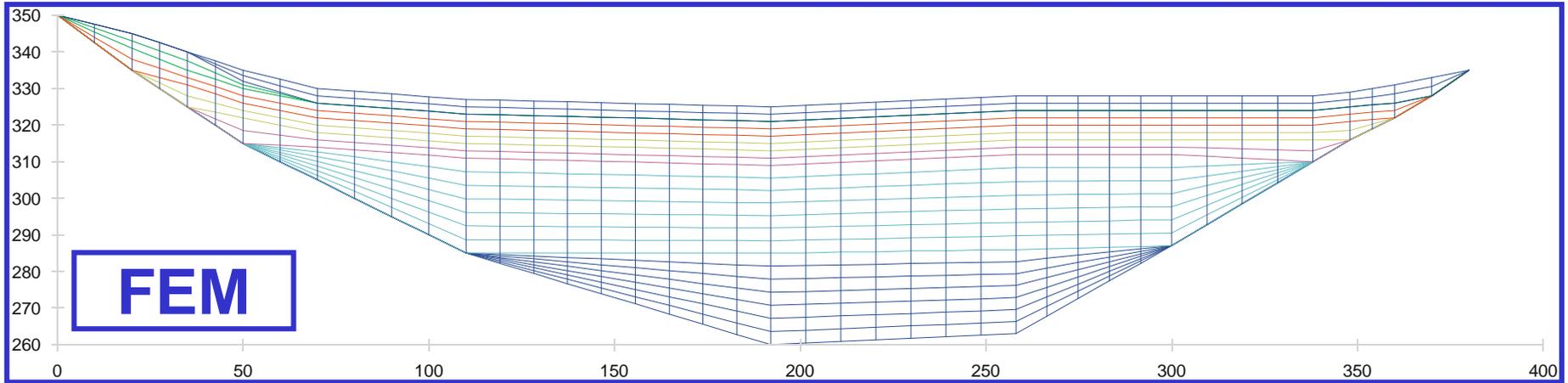
possibili versioni 3D

Ahnse:

metodo ibrido SM-FEM



Analisi numerica



BEM



Analisi numerica

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



Analisi numerica

RISULTATI

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

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

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



Approccio quantitativo

Due metodologie:

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



Approccio quantitativo

- **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)**



Approccio quantitativo

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**



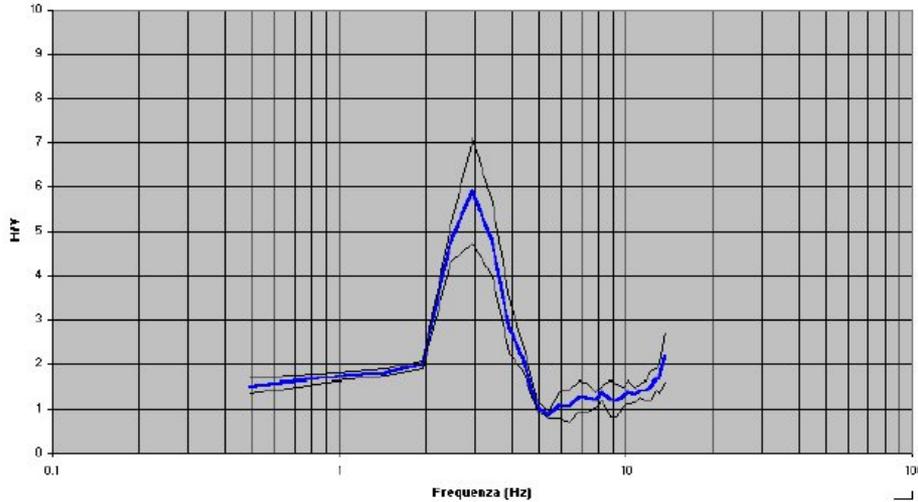
Approccio quantitativo

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

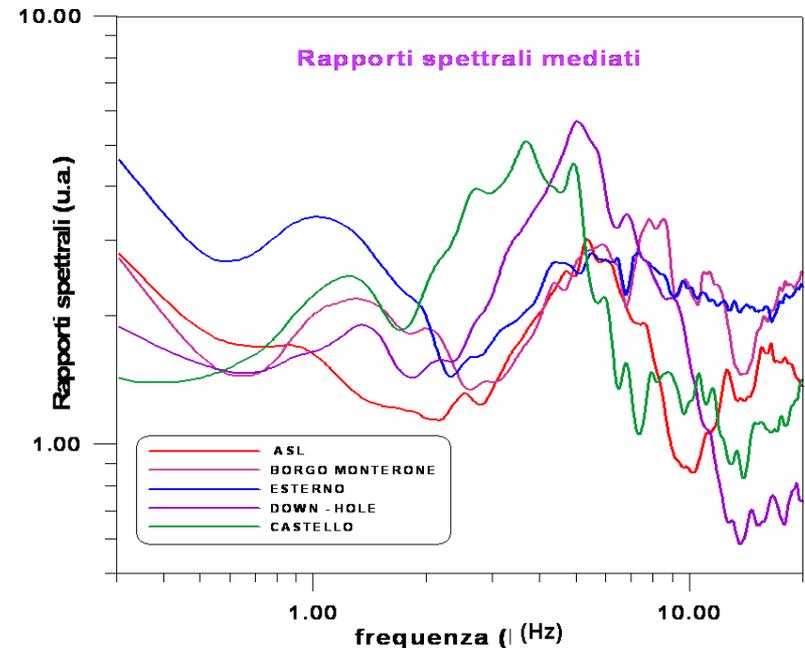


Approccio quantitativo



HVSR
Funzione ricevitore

HHSR
Funzione di
trasferimento



Approccio quantitativo

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)



MS3 - RSL

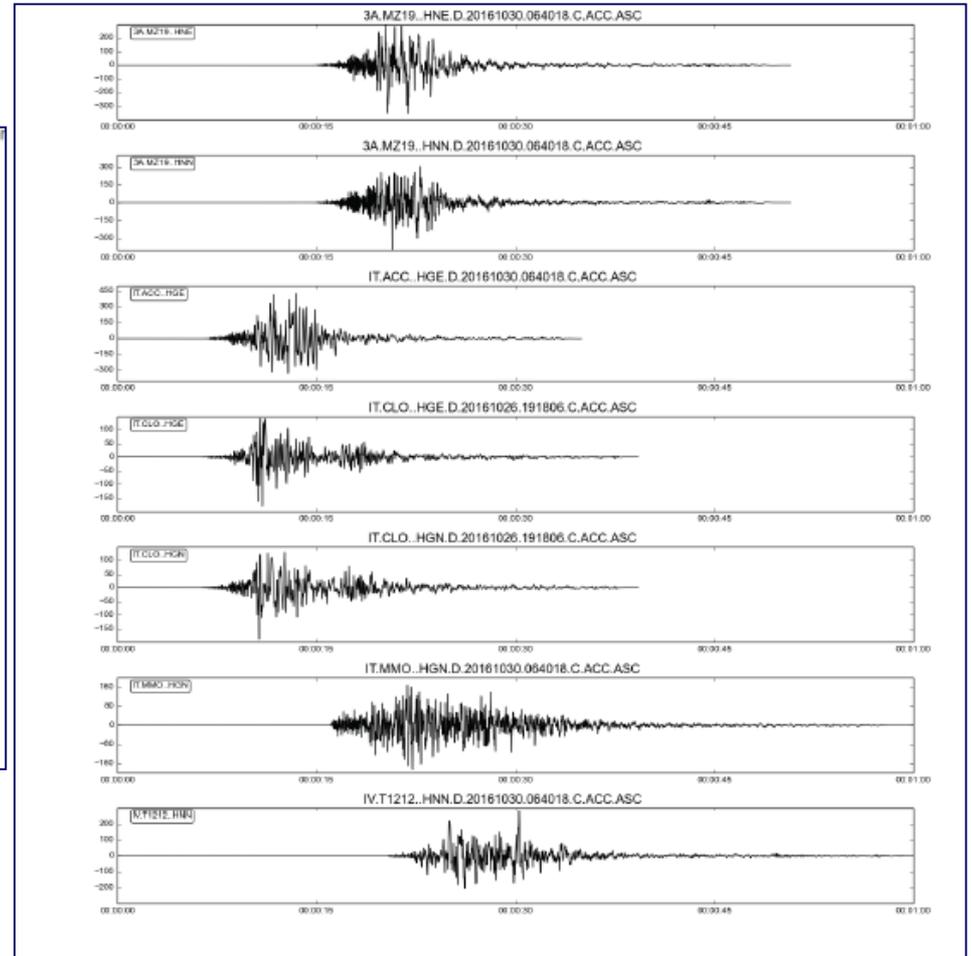
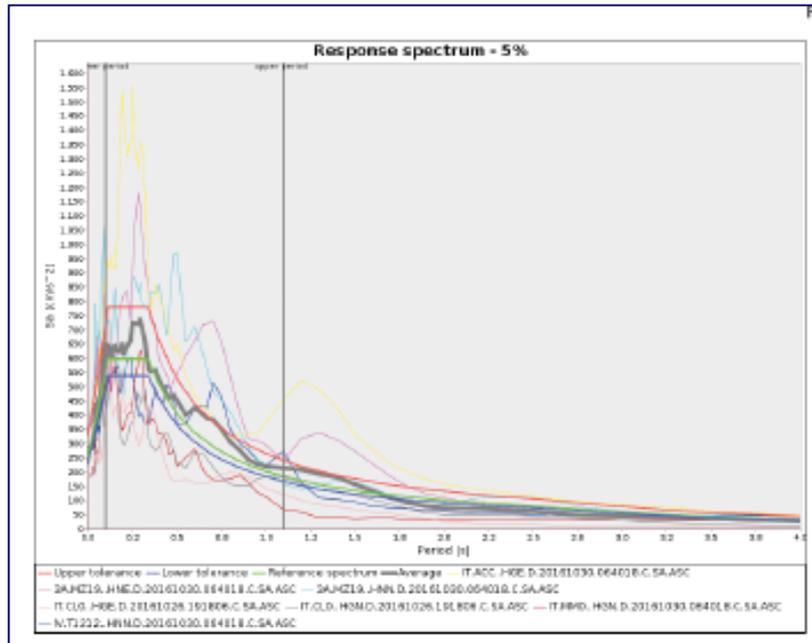
Lo scopo del lavoro è l'illustrazione delle procedure finalizzate alla predisposizione di mappe di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) (ICMS, 2008).

Il percorso metodologico ha previsto diversi passi che possono essere così riassunti:

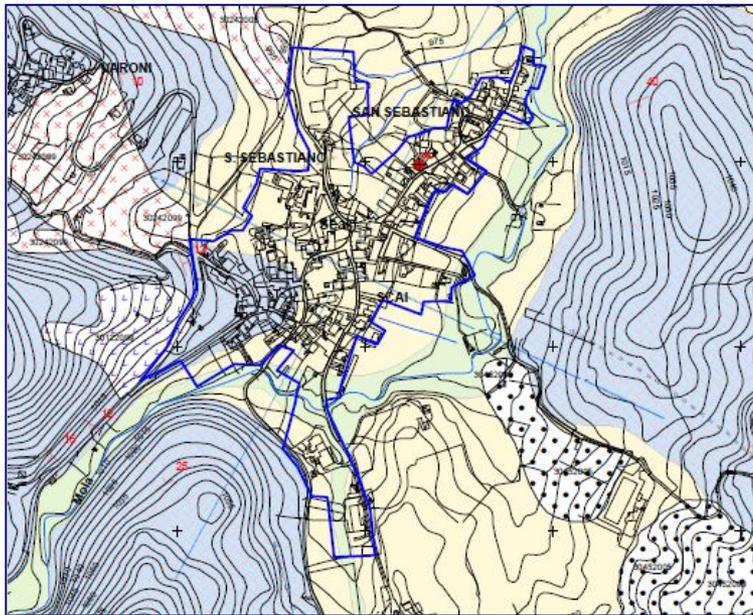
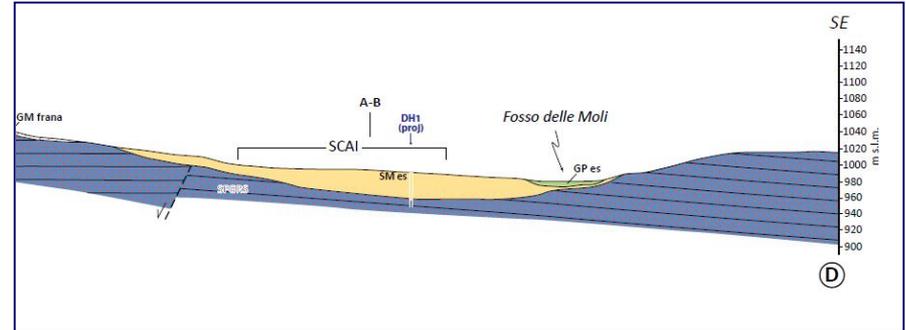
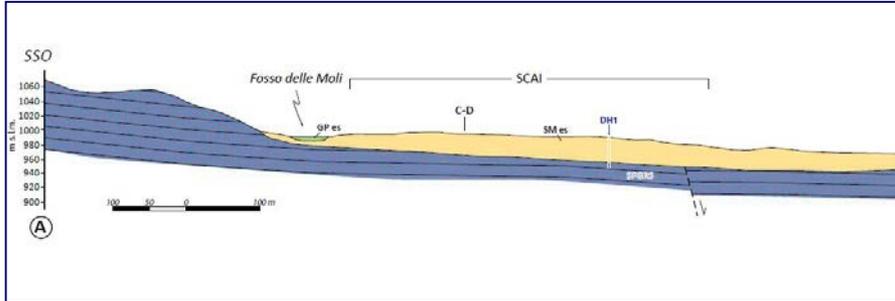
- individuazione degli input sismici;
- campagna di rilievi geologici e geomorfologici;
- campagna di misure geofisiche sia attive sia passive;
- campagna di indagini geotecniche in situ e di laboratorio;
- costruzione dei modelli geologici, geofisici e geotecnici e delle sezioni rappresentative;
- modellazione numerica 1D e 2D in corrispondenza delle sezioni rappresentative
- costruzione delle mappe di MS3.



MS3 - RSL



MS3 - RSL



LEGENDA
Terreni di copertura

RI	TERRENI CONTENENTI RESTI DI ATTIVITA' ANTROPICA Descrizione litologica: depositi limoso-sabbiosi contenenti clasti più o meno grossolani la cui litologia è in funzione del substrato. Formazione litostratigrafica: deposito colluviale/ekuvale. Ambiente di deposizione: facies continentale, versante. Età: Olocene-Attuale.
MH	SABIE LIMOSE, MISCELA DI SABBIA E LIMO Descrizione litologica: depositi torrentizi e/o colluviali sabbiosi e siltosi con sparsi ciottoli arenacei che costituiscono accumuli lungo la fascia pedemontana. Formazione litostratigrafica: deposito di ghiaie. Ambiente di deposizione: facies continentale, fascia pedemontana. Età: Olocene-Attuale.
SM fd	GHIAIE PULITE CON GRANULOMETRIA POCO ASSORTITA, MISCELA DI GHIAIA E SABBIA Descrizione litologica: ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, sabbie con presenza di blocchi anche di dimensioni metriche. Questi depositi si distribuiscono sui fondovalle, in aree di esondazione e in terrazi fluviali sospesi a pochi metri sugli alvei attuali. Formazione litostratigrafica: deposito alluvionale torrazato e di piano esondabile. Ambiente di deposizione: facies continentale, alveo fluviale. Età: Olocene-Attuale.
GP es	GHIAIE LIMOSE, MISCELA DI GHIAIA, SABBIA E LIMO Descrizione litologica: depositi siltici costituiti da ciottoli di dimensioni massime di 10 centimetri e ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa (sf). Depositi detritico-colluviali costituiti da ammassi caotici di ciottoli grossolani eterometrici e talora blocchi di diametro fino a 1 m, generamente arenacei, in matrice sabbiosa-limosa talora prevalentemente. Individuano aree di accumulo generalmente in prossimità delle sponde degli alvei e fasce isolate all'interno dei depositi di ghiaie (cd). Formazione litostratigrafica: deposito alluvionale torrazato (sf), deposito di versante (cd). Ambiente di deposizione: facies continentale, torrazo fluviale (sf), versante (cd). Età: Pleistocene Superiore-Attuale.
GM tf/cd	SABIE LIMOSE, MISCELA DI SABBIA E LIMO Descrizione litologica: sabbie giallastre e ad alteranze di ghiaie grossolane e fini. Formazione litostratigrafica: Unità di Amatrice-Sommati, facies sabbiosa. Ambiente di deposizione: facies continentale, fluviale (es) e conoide alluvionale (ca). Età: Pleistocene Medio-Inferiore.
SM es/ca	GHIAIE PULITE CON GRANULOMETRIA POCO ASSORTITA, MISCELA DI GHIAIA E SABBIA Descrizione litologica: depositi fluviali e di conoide alluvionale costituiti da ghiaie e sabbie da grosse a medie, a luoghi presenza di blocchi. La componente ghiaiosa è poligenica (con dominante componente fischiodi), scarsamente cementata, talora stratificata, clasto-sostituita, con scarsa matrice sabbiosa, con clasti eterometrici e subarrotolati. A Retrosi, i depositi si mostrano talora ben stratificati e mediamente cementati, in matrice sabbiosa. Formazione litostratigrafica: Unità di Amatrice-Sommati, facies ghiaiosa; Unità di Retrosi. Ambiente di deposizione: facies continentale, fluviale (es) e conoide alluvionale (ca). Età: Pleistocene Medio-Inferiore.
GP es/ca	SABIE LIMOSE, MISCELA DI SABBIA E LIMO Descrizione litologica: sabbie giallastre e ad alteranze di ghiaie grossolane e fini. Formazione litostratigrafica: Unità di Amatrice-Sommati, facies sabbiosa. Ambiente di deposizione: facies continentale, fluviale (es) e conoide alluvionale (ca). Età: Pleistocene Medio-Inferiore.

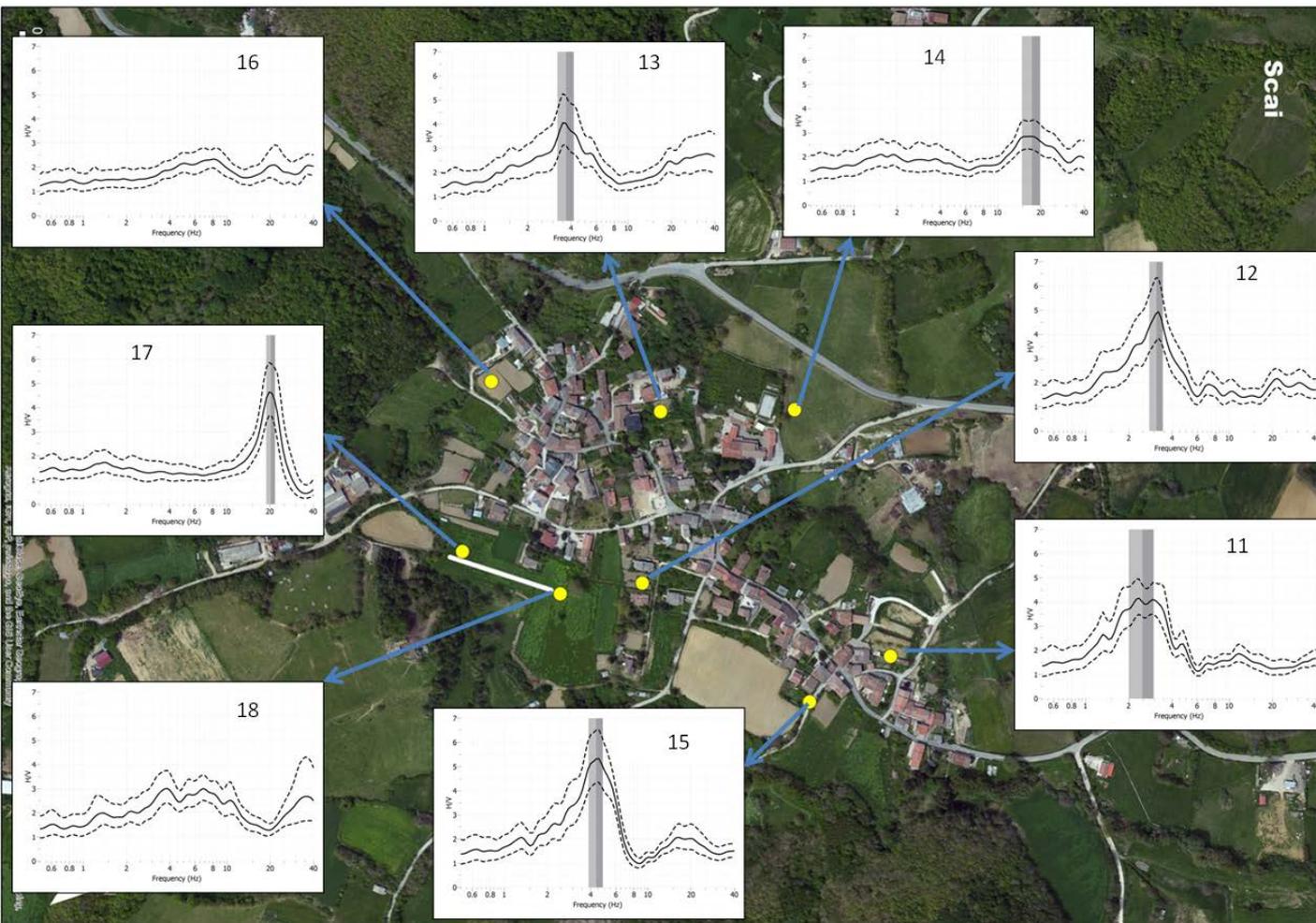
Substrato geologico

SFALS	ALTERANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO Descrizione litologica: livelli pelitici e pelitico-arenacei in strati da decimetri a metri, intercalati da livelli decimetrici arenaceo-pelitici. La litofacies presenta una colorazione variabile dal marrone chiaro al brunoastro, con stratificazione piano-parallela ben sviluppata e presenza di impronte da corrente fluviale quali groove cast e flute cast. Formazione litostratigrafica: Formazione della Lago, litofacies pelitico-arenacea. Ambiente di deposizione: facies marina, sedimenti sin-orogeo (Flysch). Età: Messiniano Inferiore.
SFGRS	GRANULARE CEMENTATO, STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO Descrizione litologica: strati e bancate arenacee intercalate da livelli pelitico-arenacei di spessore variabile da qualche decimetro a qualche metro (in prossimità dell'altipiano di Amatrice). Le bancate si mostrano mal stratificate e presentano impronte da corrente fluviale quali groove cast e flute cast. Formazione litostratigrafica: Formazione della Lago, litofacies arenaceo-pelitica. Ambiente di deposizione: facies marina, sedimenti sin-orogeo (Flysch). Età: Messiniano Inferiore.
SFAL	ALTERANZA DI LITOTIPI, FRATTURATO/ALTERATO Descrizione litologica: successione di calcari marnosi e marni calcaree emipelagiche di colore variabile da grigio-azzurro a marrone, organizzata in strati di spessore da decimetrico a metrico. Intercalazioni di strati e bancate di calcareniti. Presenza di pieghe intra formazionali (slumpings). Formazione litostratigrafica: Marna con Corroja, Marna ad Orfagna. Ambiente di deposizione: facies marina profonda (Marna ad Orfagna) e di scarpata (Marna con Corroja). Età: Langhiano-Tortoniano.
SFLPS	LAPIDEO STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO Descrizione litologica: successione di calcari marnosi bianchi e rossi di spessore variabile da pochi cm a qualche decina di cm. Presenza di livelli marnosi e/o argillosi rossi e verdastri. Presenza di selce bianca, grigia e rossa organizzata in noduli, liste o livelli di pochi cm di spessore. Questa litologia si presenta generalmente molto fraturata. Formazione litostratigrafica: Scaglia bianca e rossa. Ambiente di deposizione: facies marina profonda. Età: Eocene Medio - Cretaceo Superiore.
LPS	LAPIDEO STRATIFICATO Descrizione litologica: sequenza di calcari micritici di colore bianco e bianco avorio, compatti, a pasta finissima. Si presenta ben stratificato in strati di spessore di 20-30 cm. Verso Falto, lo spessore passa a calcari di colore sfumato al verde, con maggiore componente marnosa. Sono presenti noduli o latti di selce grigio-nera e rossa, con spessori di alcuni centimetri. Scarso fraturazione. Formazione litostratigrafica: Marnica.



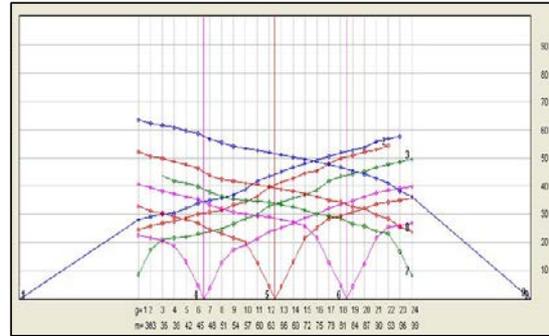
MS3 - RSL

n. 8 indagini HVSR, utilizzando sismometri a 3 componenti Trillium Compact della Nanometrics (20 s)

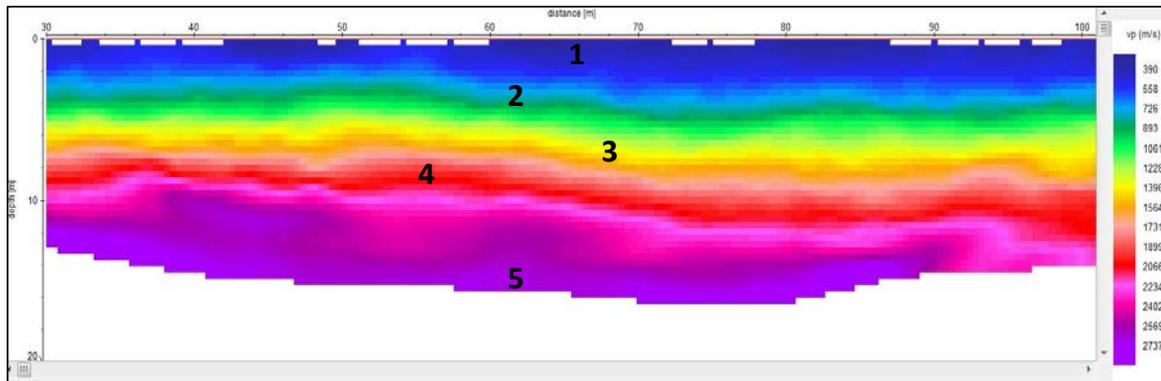


MS3 - RSL

n. 1 indagini di sismica a rifrazione in onde P, utilizzando 24 geofoni verticali, risonanza 4.5Hz



SW



NE

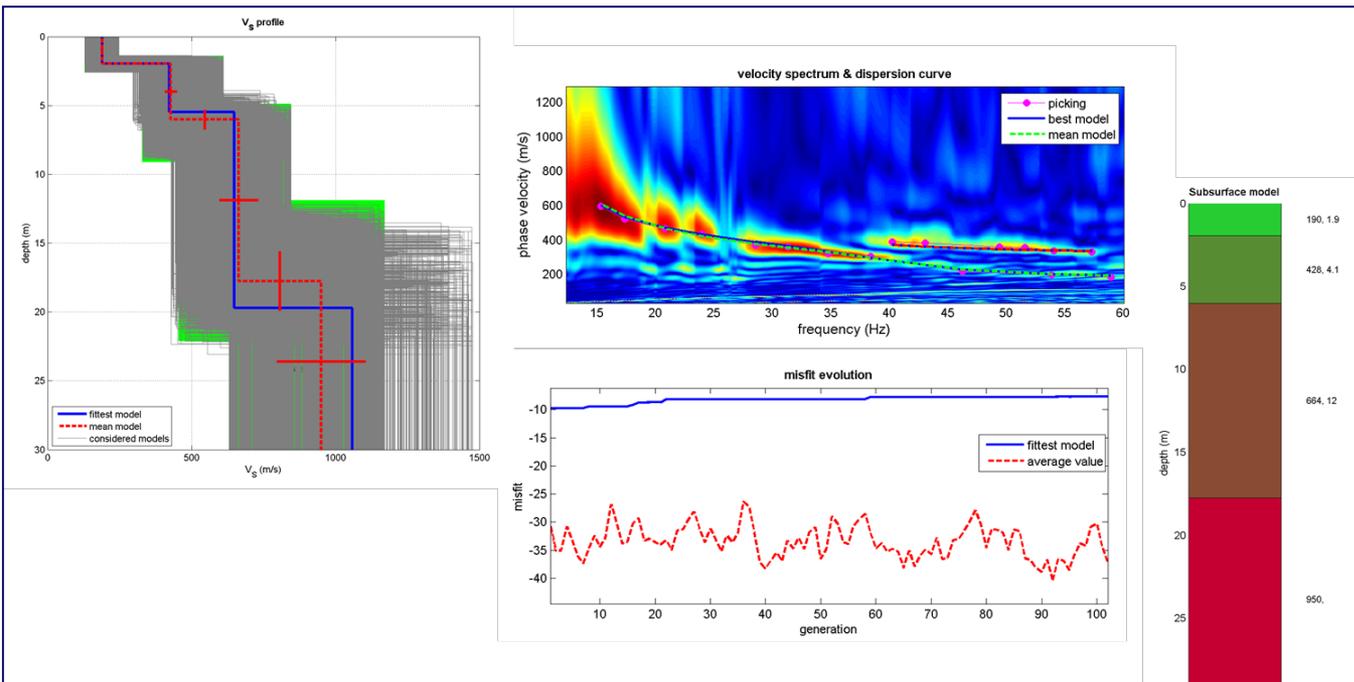


Unità	Profondità (m)	Spessore (m)	V_p (m/s)
1	2 - 3	2 - 3	300-500
2	5 - 7	3 - 4	700-1000
3	9 - 12	4 - 5	1200-1600
4	15 - 18	6 - 7	1600-2200
5	> 18	-	2200-2700



MS3 - RSL

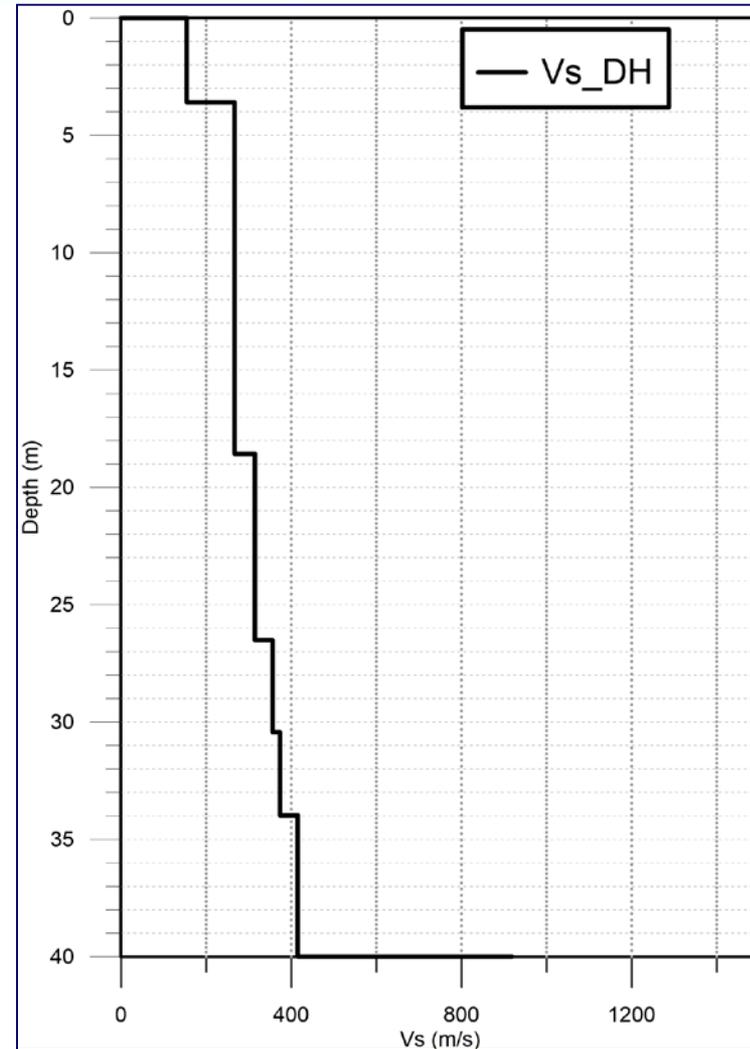
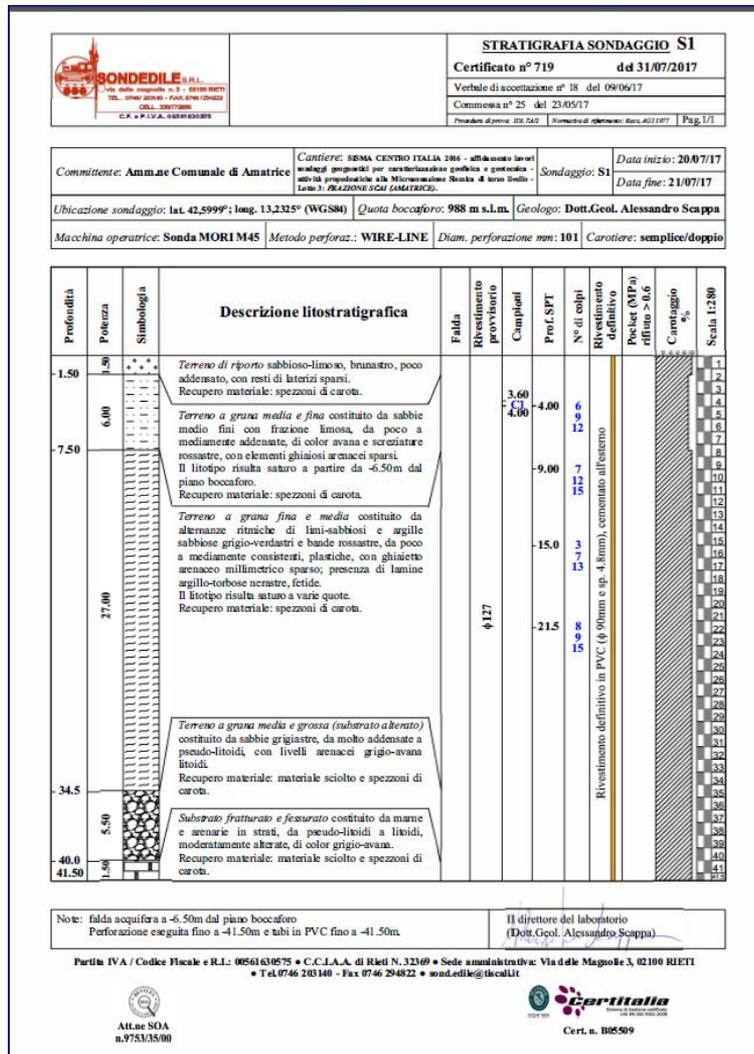
n. 1 indagini MASW, utilizzando 24 geofoni verticali, risonanza 4.5Hz



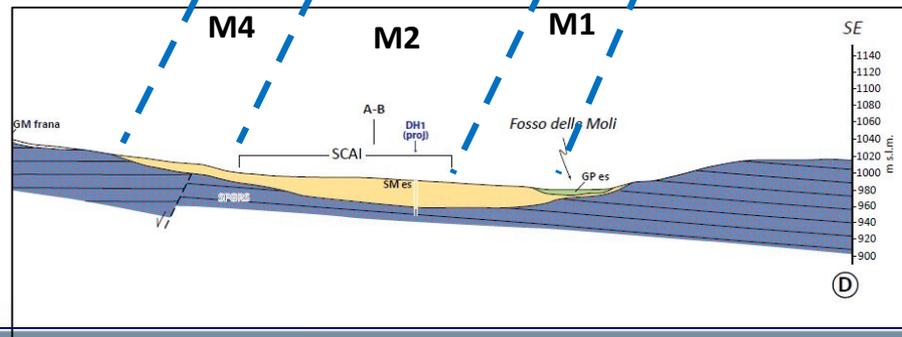
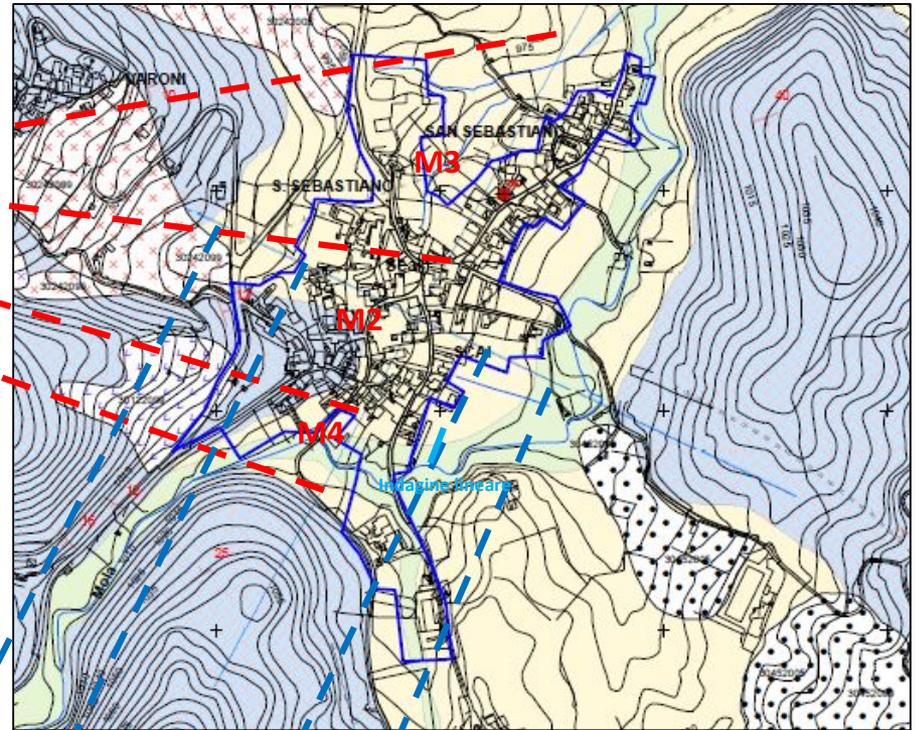
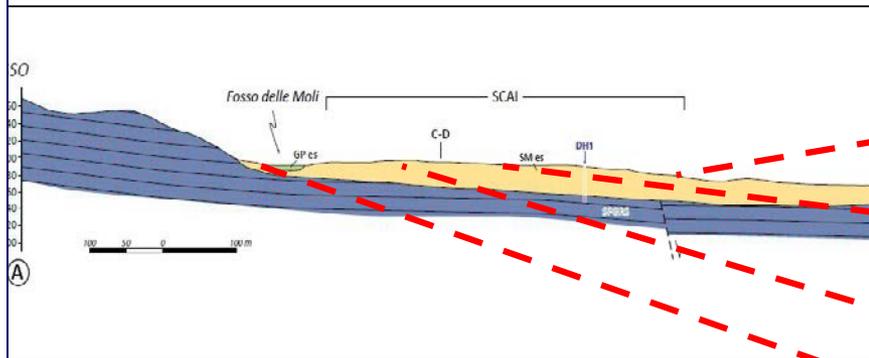
Sismo-strato	Unità geofisica	Unità geologica	Spessore (m)	V _s (m/s)
1	U1a	UASs_1	1.9	190
2	U4a	LAGp_1	4.1	428
3-4	U4b	LAGp_2	12.0	664
5	U5a	LAGa_1	-	950



MS3 - RSL



MS3 - RSL



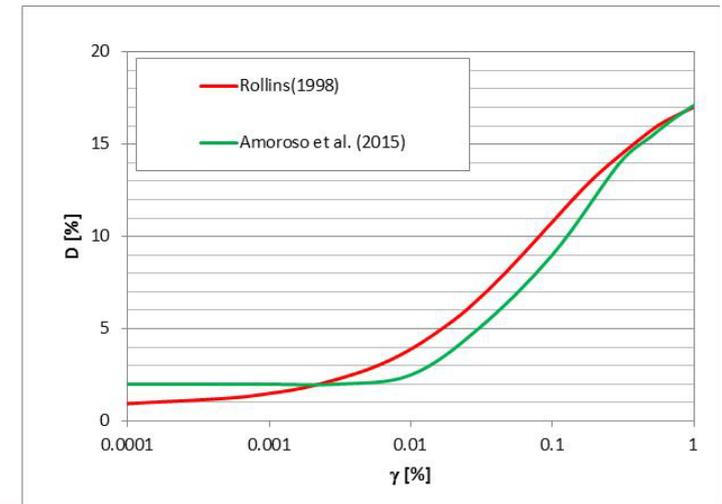
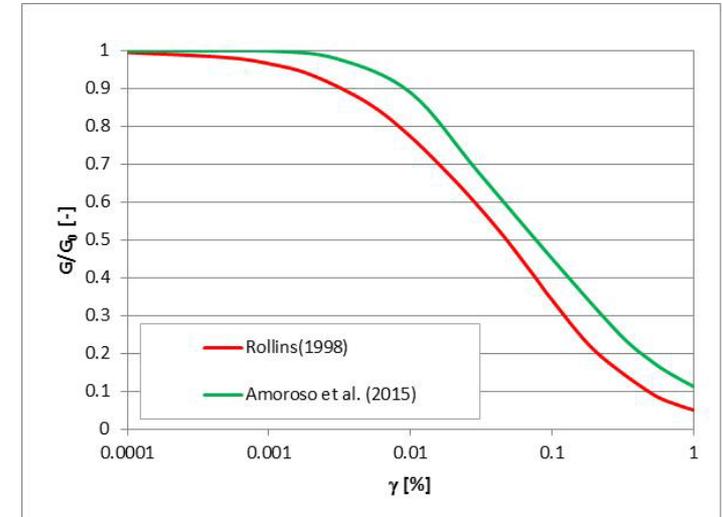
MS3 - RSL

M1				
UNITA'	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U1a	1.9	190	17	Media fuso Rollins et al. (1998)
U4a	4.1	428	19	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V ₅₃₀	597			

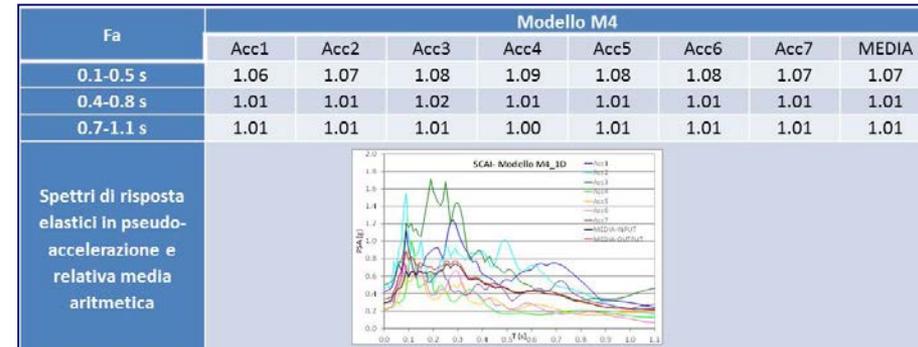
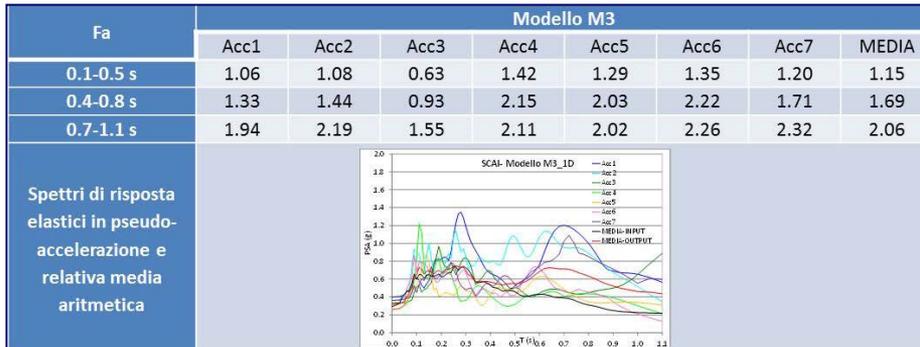
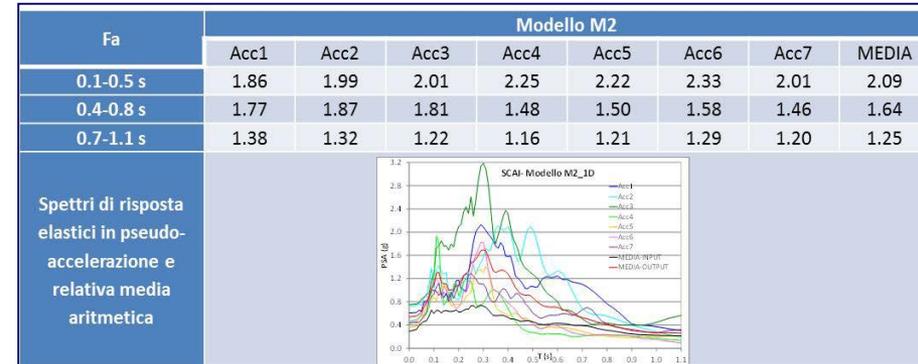
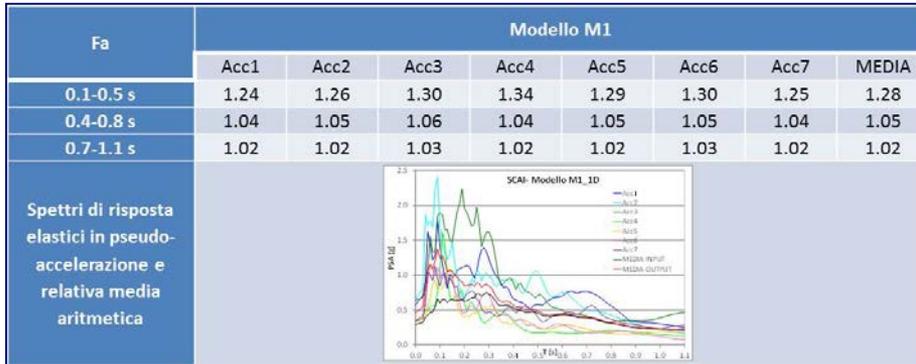
M2				
UNITA'	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U1a	4.0	200	17	Media fuso Rollins et al. (1998)
U1b	12.0	320	18	Media fuso Rollins et al. (1998)
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V ₅₃₀	386			

M3				
UNITA'	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U1a	4.0	200	17	Media fuso Rollins et al. (1998)
U1b	34.0	320	18	Media fuso Rollins et al. (1998)
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V ₅₃₀	296			

M4				
UNITA'	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V ₅₃₀	810			



MS3 - RSL



MS3 - RSL

FRAZIONE: SCAI

