

I 3 LIVELLI DI MICROZONAZIONE SISMICA: METODOLOGIA e RISULTATI

Floriana Pergalani

Politecnico di Milano

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

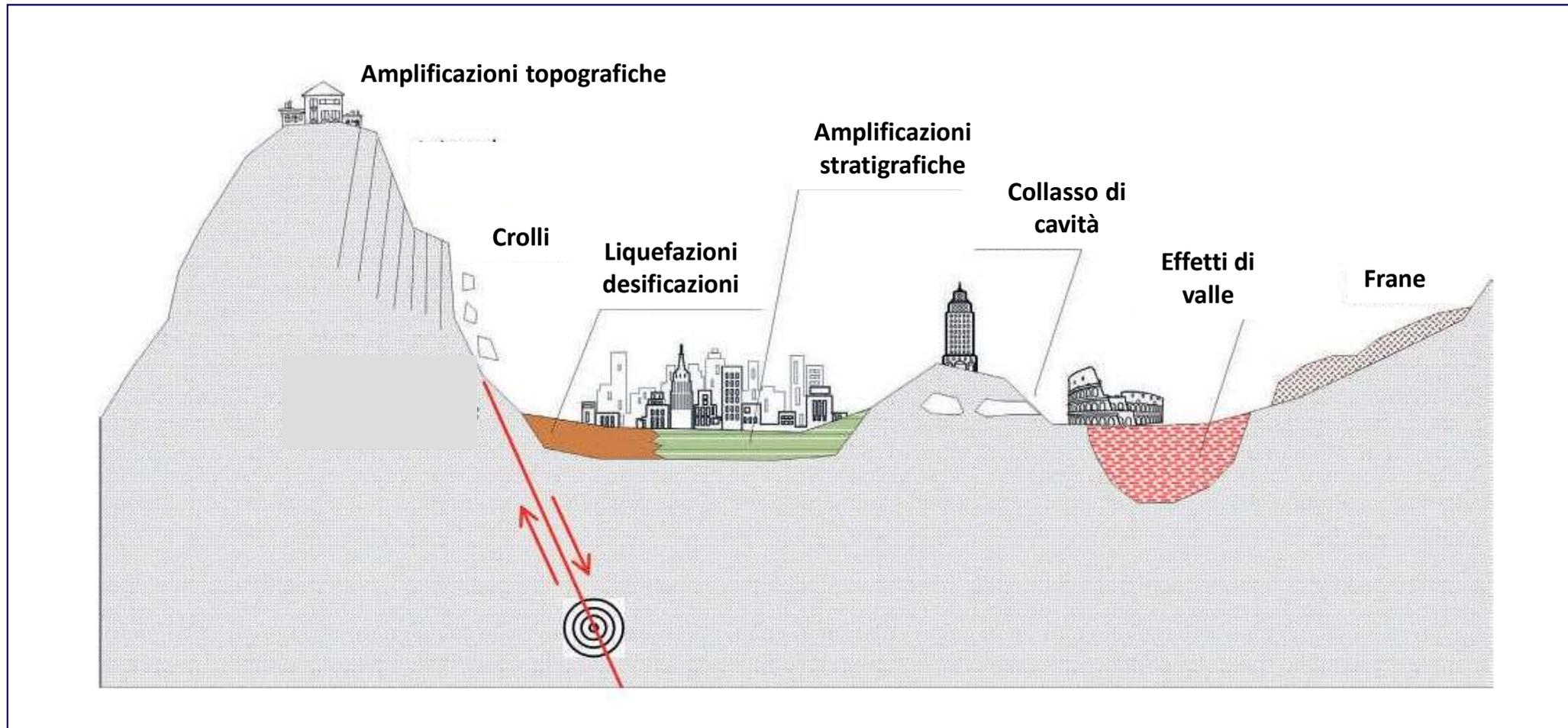


Giornata di studio

**Pericolosità di base, microzonazione sismica e risposta sismica locale
Università di Brescia – 14 settembre 2022**



ASPETTI DI BASE



ASPETTI DI BASE

Effetti di sito o di amplificazione sismica

- Litologiche
- Morfologiche

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

Effetti di instabilità

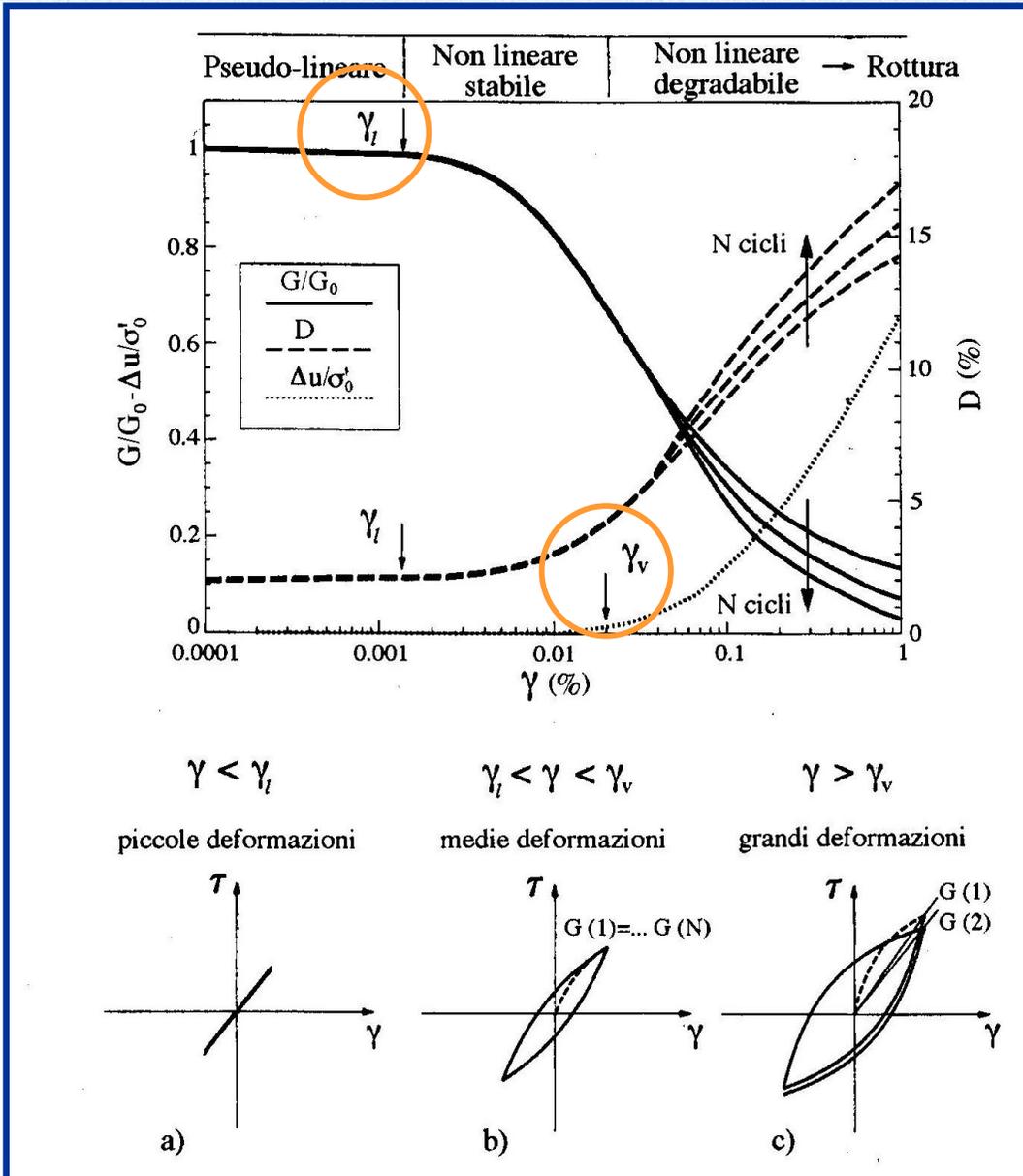
- Movimenti franosi
- Cedimenti, densificazioni, liquefazioni

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



ASPETTI DI BASE



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 elasto-plastico con incrudimento (accoppiamento deformazioni distorsionali e volumetriche)

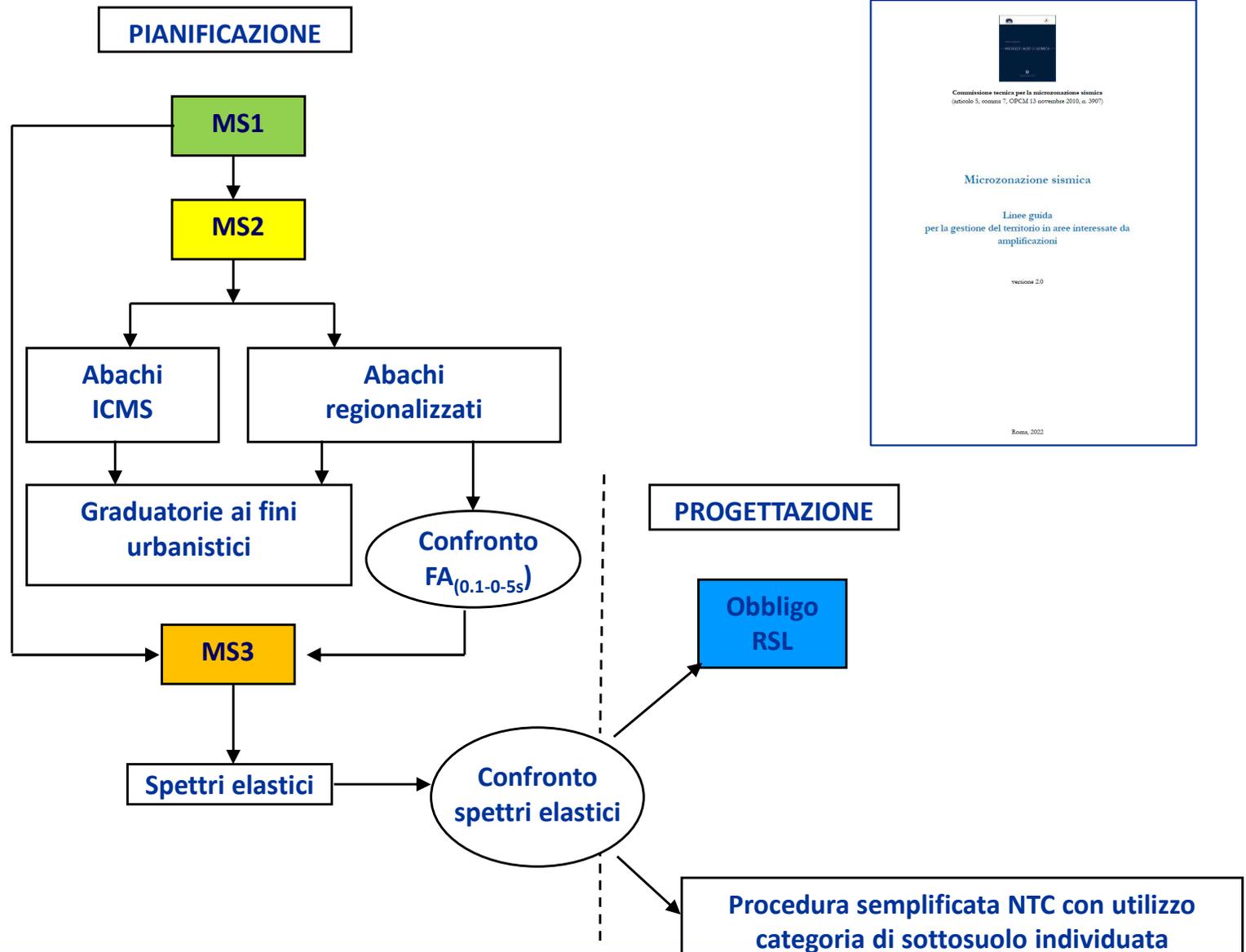


**In funzione della scala di lavoro e dei risultati
che si intende ottenere:**

- **Approccio qualitativo – Livello 1 (MS1)**
- **Approccio semiquantitativo – Livello 2 (MS2)**
- **Approccio quantitativo – Livello 3 (MS3)**



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

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**



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

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)



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

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 Microzonazione Sismica MS2 a scala 1:5.000-1:10.000
- relazione illustrativa



Livello 2

Carta di Microzonazione Sismica (MS), 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 instabilità, caratterizzate da parametri quantitativi (spostamenti e aree accumulo per frana, calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione)



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

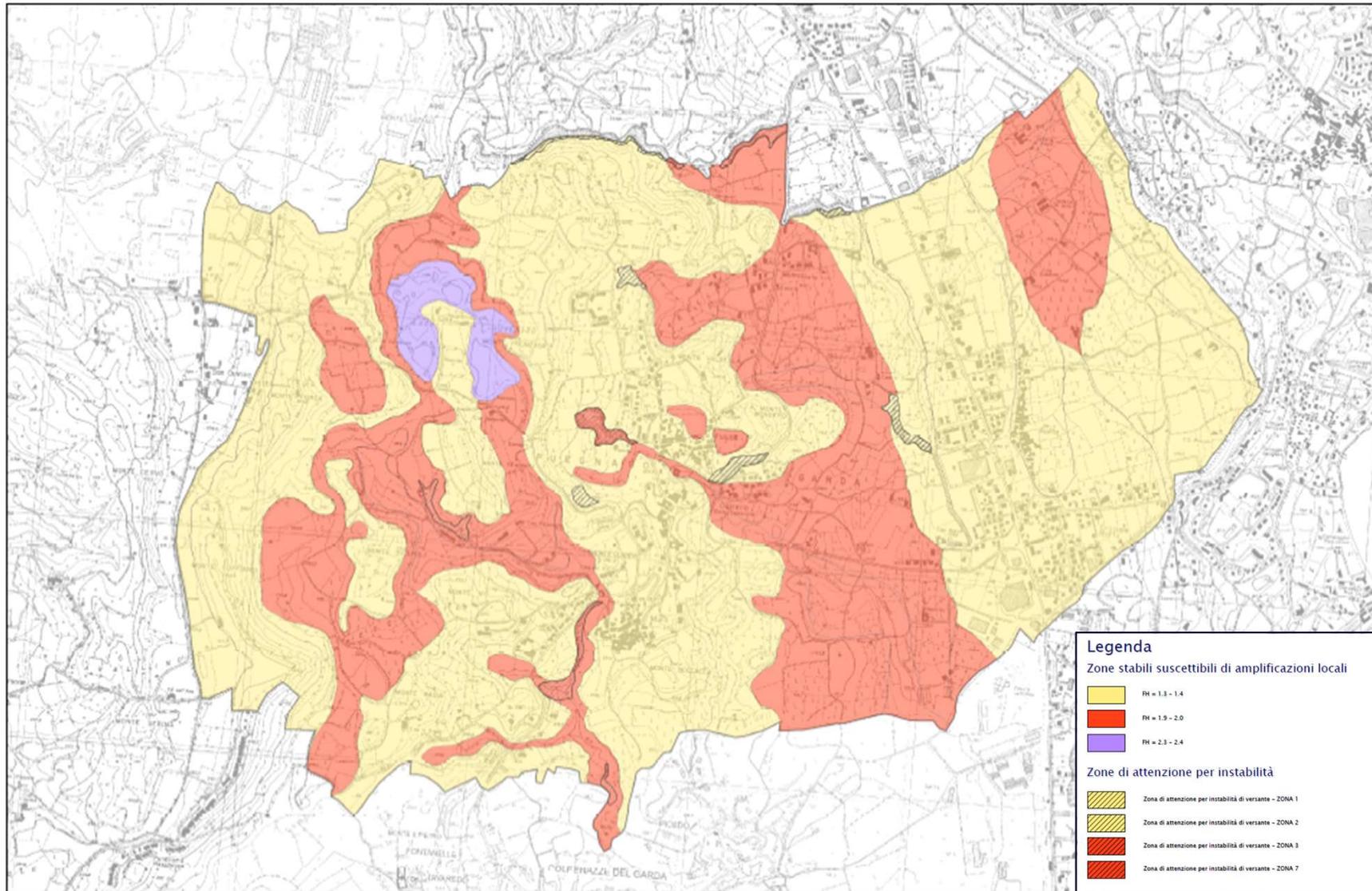
Estratto da Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – versione 4.2 dicembre 2020

Parametro	Descrizione
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS (2008)
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS (2008)
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS (2008)
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FH0515	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.5 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s.
FA0408	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s.
FA0711	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s.

Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0). ¹³	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). ¹⁴	
	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 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5



ESEMPIO MS2



ABACHI REGIONALIZZATI

Gli abachi regionalizzati prevedono la contestualizzazione a situazioni tipiche dell'ambito regionale considerato ovvero:

- input sismici legati alla pericolosità sismica di base regionale
- modelli litologici
- curve di decadimento del modulo di taglio (G) e di incremento del rapporto di smorzamento smorzamento (D) con la deformazione, per ciascun modello litologico
- parametri geotecnici principali e andamenti del valore di V_s con la profondità

I risultati forniti dagli abachi regionalizzati sono attualmente:

- valori del Fattore di amplificazione F_a 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, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

L'applicazione degli abachi di livello 2 non è possibile nel caso di presenza di:

- forme sepolte (amplificazioni 2D)
- forte contrasto di impedenza sismica
- inversioni di velocità (rigido su soffice)
- aree soggette ad instabilità

Il riferimento di base è rappresentato dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS - GdL, 2008), le successive integrazioni agli ICMS del 2011 (Colombi et al., 2011) e dai Protocolli messi a punto dal Centro per la Microzonazione Sismica e dal Dipartimento di Protezione Civile (2017-2020).

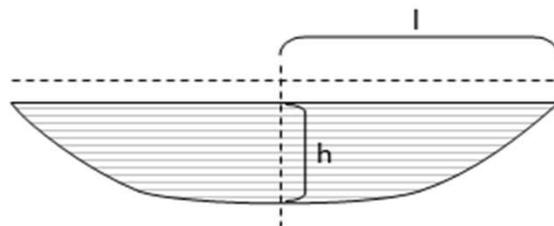


GEOMETRIE SEPOLTE - 1

- **morfologia superficiale, unità litotecniche e tetto del substrato sismico sub-orizzontali.** La presenza di bacini sepolti dà origine a specifiche fenomenologie che possono essere modellate solo facendo ricorso a modelli 2D, per tenere in considerazione, in particolare, la presenza di fenomeni di risonanza complessiva del bacino sepolto. L'eventuale occorrenza di questo fenomeno può essere diagnosticata utilizzando due diversi criteri.

Il primo criterio, esclusivamente morfologico, utilizza il calcolo del rapporto tra la profondità della valle (massimo spessore del deposito) h , e la sua semi-ampiezza l , distinguendo:

- valli superficiali ($h/l \leq 0.25$): la risposta sismica a centro valle non è influenzata dal rapporto di forma ($1D \approx 2D$) e quindi è lecito utilizzare gli abachi;
- valli profonde ($h/l > 0.25$): la risposta sismica a centro valle è influenzata dal rapporto di forma, in quanto la risposta bidimensionale è maggiore di quella valutata su profili 1D ($2D > 1D$); di conseguenza non possono essere utilizzati gli abachi.



Esempio: valle superficiale $h/l \leq 0.25$



Esempio: valle profonda $h/l > 0.25$



GEOMETRIE SEPOLTE - 2

Il secondo criterio, non solo geometrico, prevede che gli abachi di livello 2 possano essere utilizzati solo se è verificata la seguente condizione:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65 / \sqrt{C_v - 1}$$

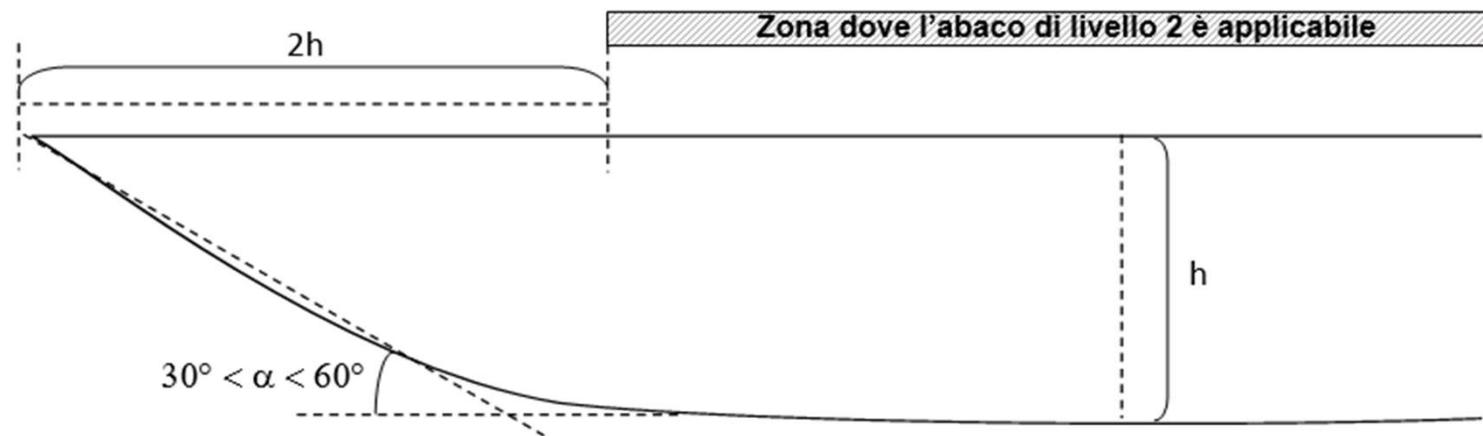
dove C_v è il rapporto tra la velocità delle onde trasversali (V_s) nel substrato sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle.

Entrambi i criteri devono essere applicati e non sarà possibile utilizzare gli abachi quando almeno uno dei due criteri non è rispettato.



GEOMETRIE SEPOLTE - 3

- **sufficiente distanza dalla chiusura laterale nelle valli superficiali.** In prossimità della chiusura laterale di una valle superficiale possono essere presenti effetti di geometria sepolta funzione dell'inclinazione e del contrasto d'impedenza dell'interfaccia copertura/substrato e del valore medio di V_s della copertura; in linea generale è possibile quantificare l'area di influenza dei suddetti fenomeni considerando una distanza in superficie dalla chiusura pari a due volte la profondità h della valle, nel caso in cui l'interfaccia copertura/substrato abbia inclinazioni medie α comprese tra 30° e 60° .



In barrato è evidenziata l'area ove è possibile, in via semplificata, utilizzare gli abachi di livello 2 predisposti nel presente studio per la valutazione del valore di F_a nell'ambito di una valle superficiale.



CONTRASTI DI IMPEDENZA SISMICA

- assenza di marcati contrasti di impedenza sismica ($i = \frac{\rho_b \cdot V_b}{\rho \cdot V}$ dove ρ è la densità e V la velocità delle onde S del sismo-strato, V_b e ρ_b si riferiscono alla densità e velocità delle onde S del “substrato di base”). Nel caso di presenza di marcati contrasti di impedenza sismica (>3 tra i singoli sismo-strati e >4 tra il “substrato di base” e la media della copertura) si possono generare amplificazioni significative con aumenti del livello di scuotimento e del livello di deformazione dei materiali in corrispondenza dell'interfaccia. Quindi, in presenza di marcati contrasti di impedenza sismica, risulta necessaria la modellazione della risposta sismica locale e non possono essere utilizzati gli abachi di livello 2.



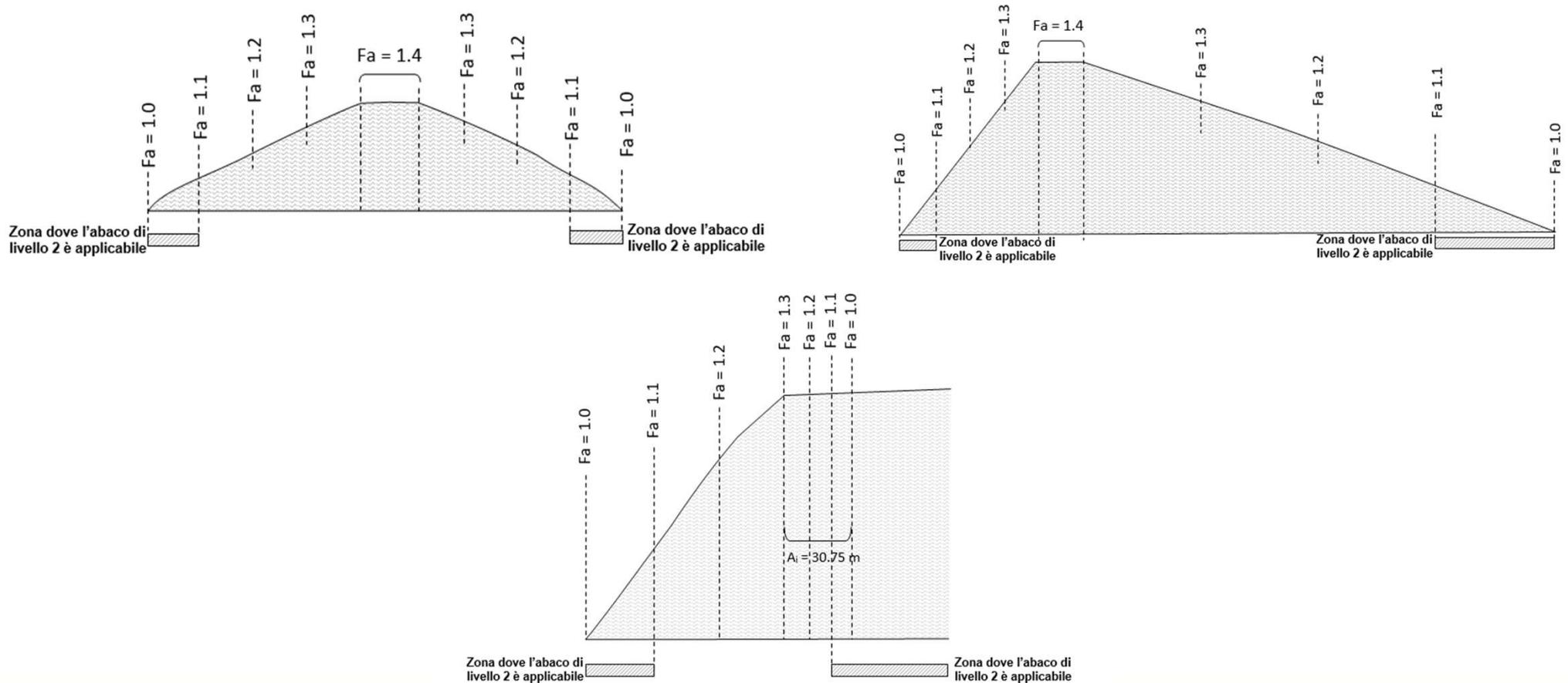
INVERSIONI DI VELOCITA'

- **assenza di inversioni significative dei valori di V_s (terreni rigidi su terreni soffici).**
L'inversione di velocità è significativa quando un terreno rigido sovrasta un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $V_{s_{rig}}/V_{s_{sof}} > 2$, con la V_s dello strato più rigido maggiore o uguale a 500 m/s. L'uso degli abachi è consentito se l'inversione è dovuta ad uno strato più rigido di spessore minore di $V_s/60$, dove la V_s è la velocità media di tutta la copertura al di sopra del substrato sismico.



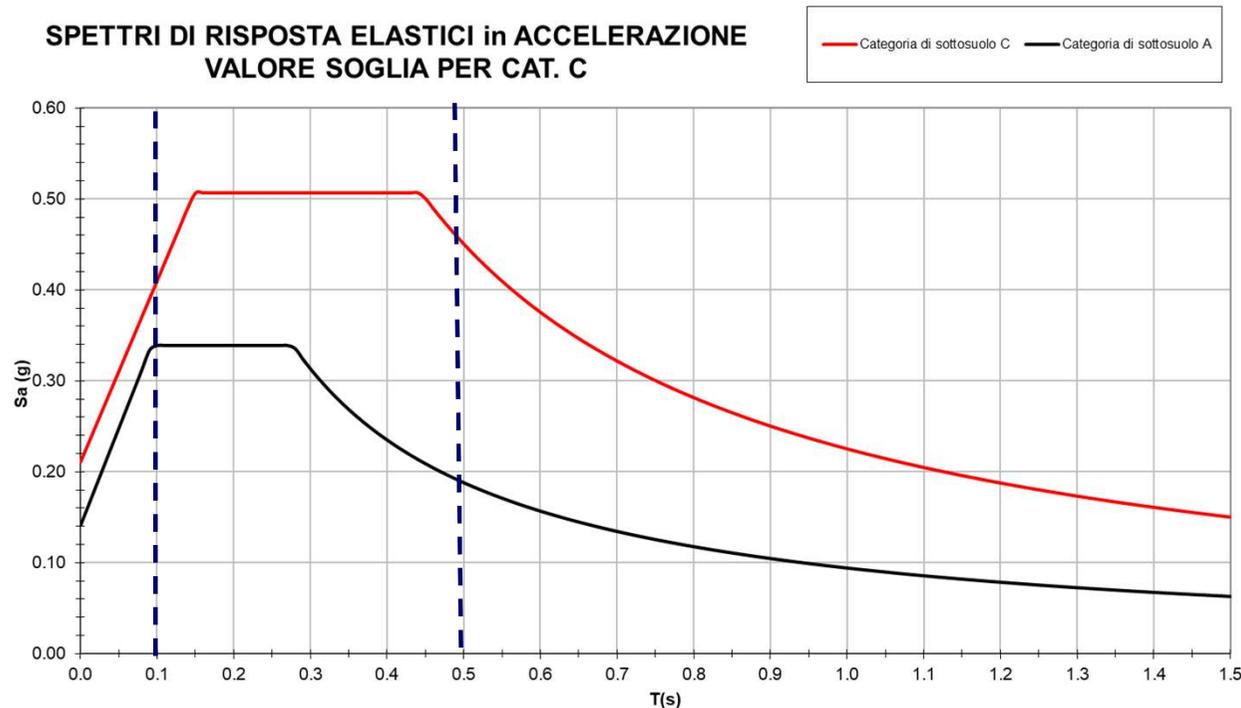
IRREGOLARITA' MORFOLOGICHE NON SU SUBSTRATO RIGIDO

Nel caso di contemporanea presenza di irregolarità morfologiche, caratterizzate da altezze superiori a 30 m ed inclinazioni maggiori di 10-15°, e litologie suscettibili di amplificazioni sismiche l'uso degli abachi è consentito esclusivamente nelle aree ove i fenomeni di amplificazione topografica sono trascurabili:



SOGLIE COMUNALI S_a

Si definisce soglia S_a il valore calcolato sugli spettri di risposta elastici in accelerazione presenti nella normativa come rapporto tra gli integrali di output (categoria di sottosuolo B-C-D-E) e di input (categoria di sottosuolo A) nell'intervallo compreso tra 0.1-0.5s, 0.4-0.8s e tra 0.7-1.1s.



$$S_{a_{0.1-0.5}} = S_{A_{0.1-0.5_Cat.C}} / S_{A_{0.1-0.5_Cat.A}}$$



USO DEGLI ABACHI

Pianificazione:

Graduatorie di pericolosità:

- diversi livelli dei fenomeni di amplificazioni attese

Individuazione aree che necessitano MS3:

- inapplicabilità degli abachi
- valori di soglia comunali S_a inferiori agli F_a calcolati da abachi
- prescrizioni



PROCEDURA ICMS, 2008 - 2022

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 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 Microzonazione Sismica MS3 a scala 1:5.000-1:10.000
- relazione illustrativa



Livello 3

Zone di deformazione permanente

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

Zone stabili



Due metodologie:

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



Dati e strumenti necessari:

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



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 e/o accelerazione, 5% di smorzamento, per diversi intervalli di periodo (es: 0.1-0.5s)

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



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)**



ANALISI SPERIMENTALE

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**



ANALISI SPERIMENTALE

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**



NUMERICO-SPERIMENTALE

- **Coerenza tra i due approcci**
- **Differenze:**
 - **Approccio numerico: tempi e costi elevati per la ricostruzione del modello; non è tridimensionale; trascura l'effetto delle onde superficiali con relativa sottostima degli alti periodi; velocità nella modellazione e analisi del comportamento non lineare**
 - **Approccio sperimentale: tempi e costi di acquisizione elevati (1 mese – 2 anni); difficoltà nella scelta del sito di riferimento e necessità di analisi geotecniche integrative; valutazione di norma solo del comportamento in campo elastico; tridimensionalità**
- **Integrazione dei due metodi**



ESEMPIO MS3

MICROZONAZIONE MS3 SCAI - AMATRICE



Massimo Compagnoni
Floriana Pergalani
Stefano Munda



Politecnico di Milano
DICA



POLITECNICO MILANO 1863

ESEMPIO MS3

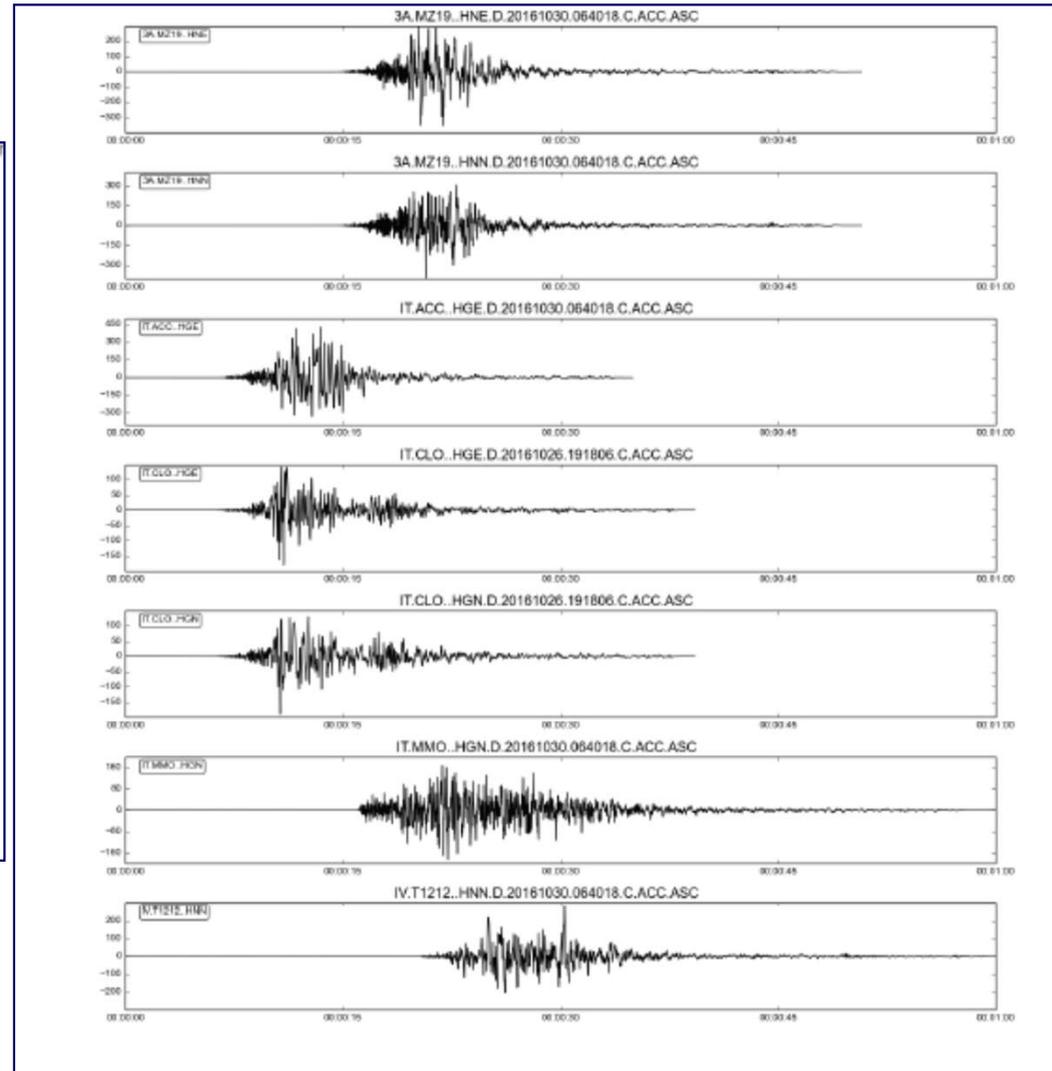
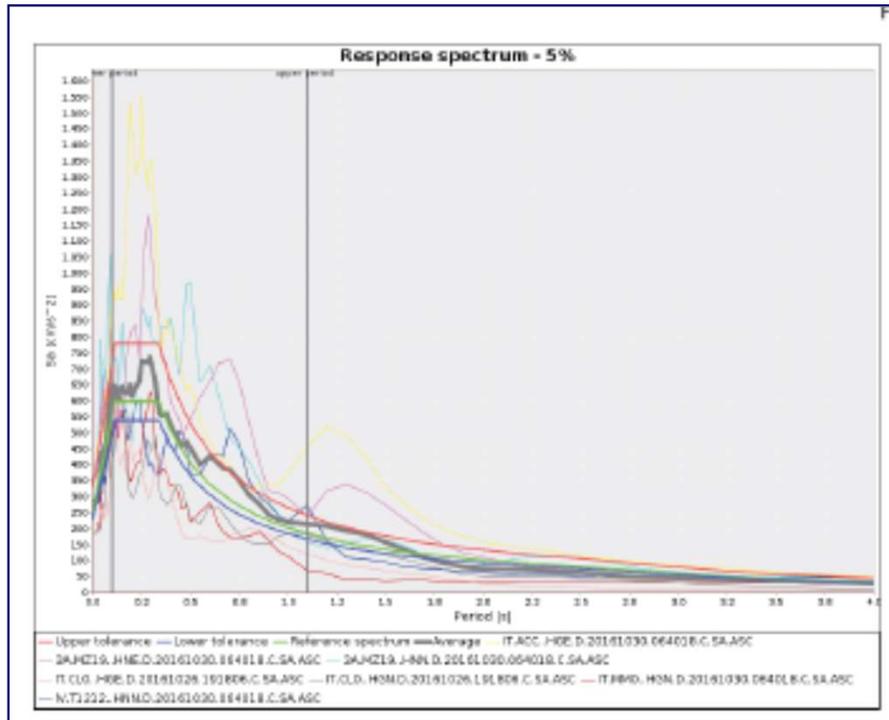
Lo scopo del lavoro è l'illustrazione delle procedure finalizzate alla predisposizione di mappe di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) (ICMS, 2008).

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

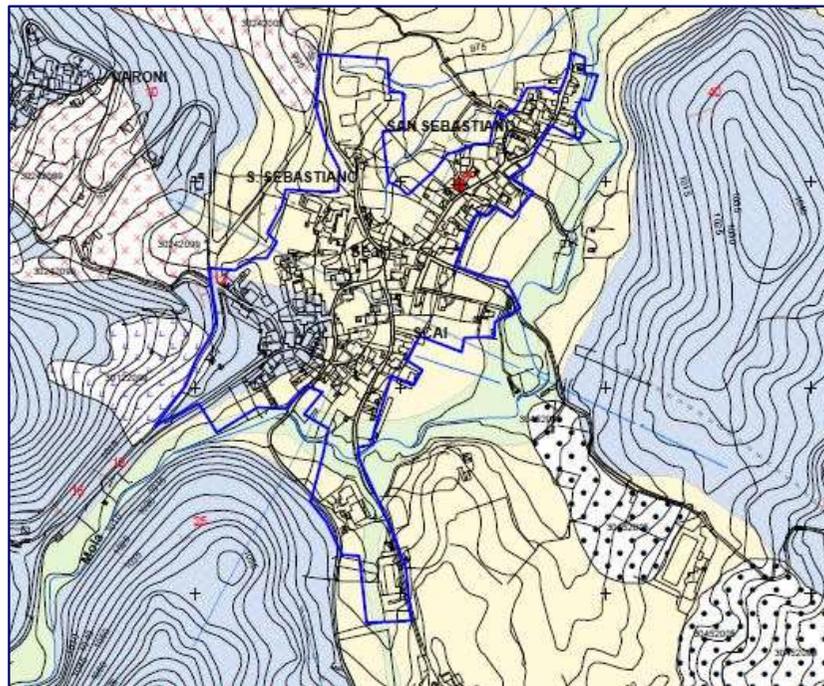
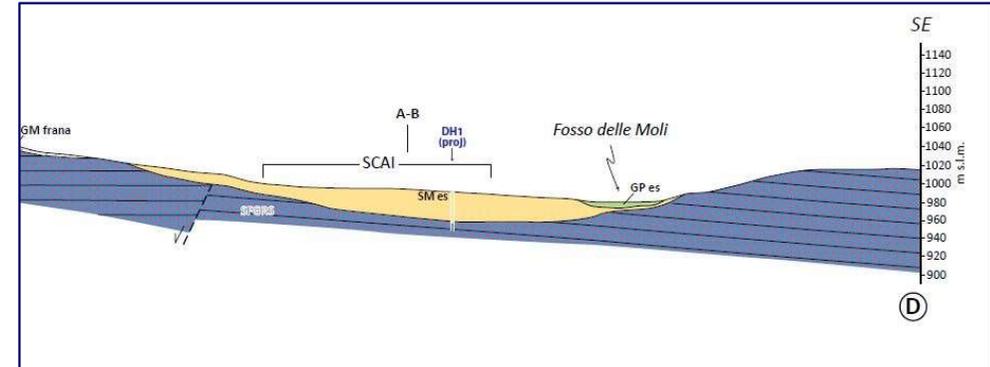
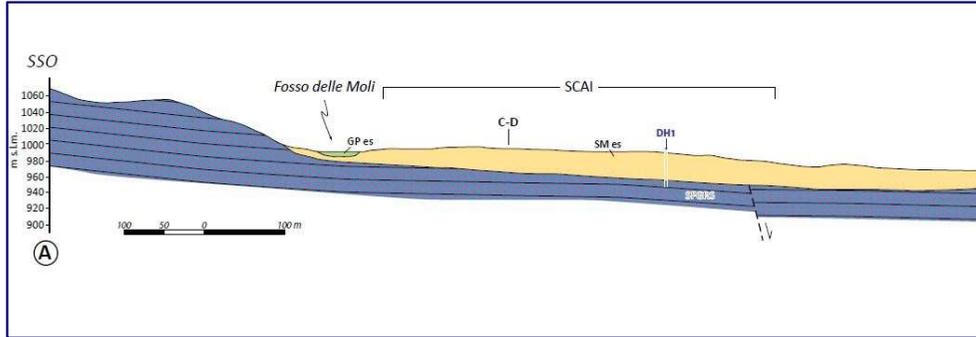
- individuazione degli input sismici;
- campagna di rilievi geologici e geomorfologici;
- campagna di misure geofisiche sia attive sia passive;
- campagna di indagini geotecniche in situ e di laboratorio;
- costruzione dei modelli geologici, geofisici e geotecnici e delle sezioni rappresentative;
- modellazione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



MS3 – INPUT SISMICO



MS3 – SEZIONI GEOLOGICHE



LEGENDA

Terreni di copertura

RI TERRENI CONTENENTI RESTI DI ATTIVITA' ANTROPICA
Descrizione litologica: pezzane sciolte, eterometriche e di natura eterogenea.

MH LIMI INORGANICI, LIMI SABBIOSI, SABBIE FINI
Descrizione litologica: depositi limoso-sabbiosi contenenti clasti più o meno grossolani la cui litologia è in funzione del substrato.
Formazione litostratigrafica: deposito colluviale/ekuviale.
Ambiente di deposizione: facies continentale, versante.
Età: Olocene-Attuale.

SM fd SABBIE LIMOSE, MISCELA DI SABBIA E LIMO
Descrizione litologica: depositi torrenziali e/o colluviali sabbiosi e siltosi con sparsi ciottoli arenacei che costituiscono accumuli lungo la fascia pedemontana.
Formazione litostratigrafica: deposito di glaciai.
Ambiente di deposizione: facies continentale, fascia pedemontana.
Età: Olocene-Attuale.

GP es 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 su fondovalle, in aree di inondazione o in terrazzi fluviali sospesi a pochi metri dagli alvei attuali.
Formazione litostratigrafica: deposito alluvionale recente e di piana esondabile.
Ambiente di deposizione: facies continentale, alveo fluviale.
Età: Olocene-Attuale.

GM tf/cd GHIAIE LIMOSE, MISCELA DI GHIAIA, SABBIA E LIMO
Descrizione litologica: depositi sciolti costituiti da ciottoli di diametri massimi di 10 centimetri e ghiaie in matrice sabbiosa e sabbie limose (tf).
 Depositi detritico-colluviali costituiti da ammassi caotici di clasti grossolani eterometrici e talora blocchi di diametro fino a 1 m, generalmente arenacei, in matrice sabbiosa-limosa talora prevalente. Individuano aree di accumulo generalmente in prossimità delle sponde degli alvei e fasce isolate all'interno del deposito di glaciai (cd).
Formazione litostratigrafica: deposito alluvionale terrazzato (tf), deposito di versante (cd).
Ambiente di deposizione: facies continentale, terrazzo fluviale (tf), versante (cd).
Età: Pleistocene Superiore-Attuale.

SM es/ca SABBIE LIMOSE, MISCELA DI SABBIA E LIMO
Descrizione litologica: sabbie giallastre e ad alternanze di ghiaie grossolane e fini.
Formazione litostratigrafica: Unità di Amatrice-Sommat, facies sabbiosa.
Ambiente di deposizione: facies continentale, fluviale (es) e conoidi alluvionali (ca).
Età: Pleistocene Medio-Inferiore.

GP es/ca GHIAIE PULITE CON GRANULOMETRIA POCO ASSORTITA, MISCELA DI GHIAIA E SABBIA
Descrizione litologica: depositi fluviali e di conoidi alluvionali costituiti da ghiaie e sabbie da grosse a medie, a luoghi presenza di blocchi. La componente ghiaiosa è poligenica (con dominante componente flyschoid), scarsamente cementata, talora stratificata, clasto-sottile, con scarsa matrice sabbiosa, con clasti eterometrici e subrotondi. A Retrosi, i depositi si mostrano talora ben stratificati e mediamente cementati, in matrice sabbiosa.
Formazione litostratigrafica: Unità di Amatrice-Sommat, facies ghiaiosa; Unità di Retrosi.
Ambiente di deposizione: facies continentale, fluviale (es) e conoidi alluvionali (ca).
Età: Pleistocene Medio-Inferiore.

Substrato geologico

SFALS ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO
Descrizione litologica: livelli pellico e pellico-arenacei in strati da decimetri a metrici, intercalati da livelli decimetrici arenaceo-pellici. La litologia presenta una colorazione variabile dal marrone chiaro al bruno-rosso, con stratificazioni piano-parallele ben sviluppate e presenza di impronte da corrente fluviale quali groove cast o flute cast.
Formazione litostratigrafica: Formazione della Laga, litofacies pellico-arenacea.
Ambiente di deposizione: facies marina, sedimentario sin-orogenco (flysch).
Età: Messiniano Inferiore.

SFGRS GRANULARE CEMENTATO, STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO
Descrizione litologica: strati e bancate arenacee intervallate da livelli pellico-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 Laga, litofacies arenaceo-pellica.
Ambiente di deposizione: facies marina, sedimentario sin-orogenco (flysch).
Età: Messiniano Inferiore.

SFAL ALTERNANZA DI LITOTIPI, FRATTURATO/ALTERATO
Descrizione litologica: successione di calcari marmosi e marme calcareo emipleghi che 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-formativa (slumpings).
Formazione litostratigrafica: Marme con Cerrognia, Marme ad Orbulina.
Ambiente di deposizione: facies marina profonda (Marme ad Orbulina) e di scarpata (Marme con Cerrognia).
Età: Langhiano-Tortoniano.

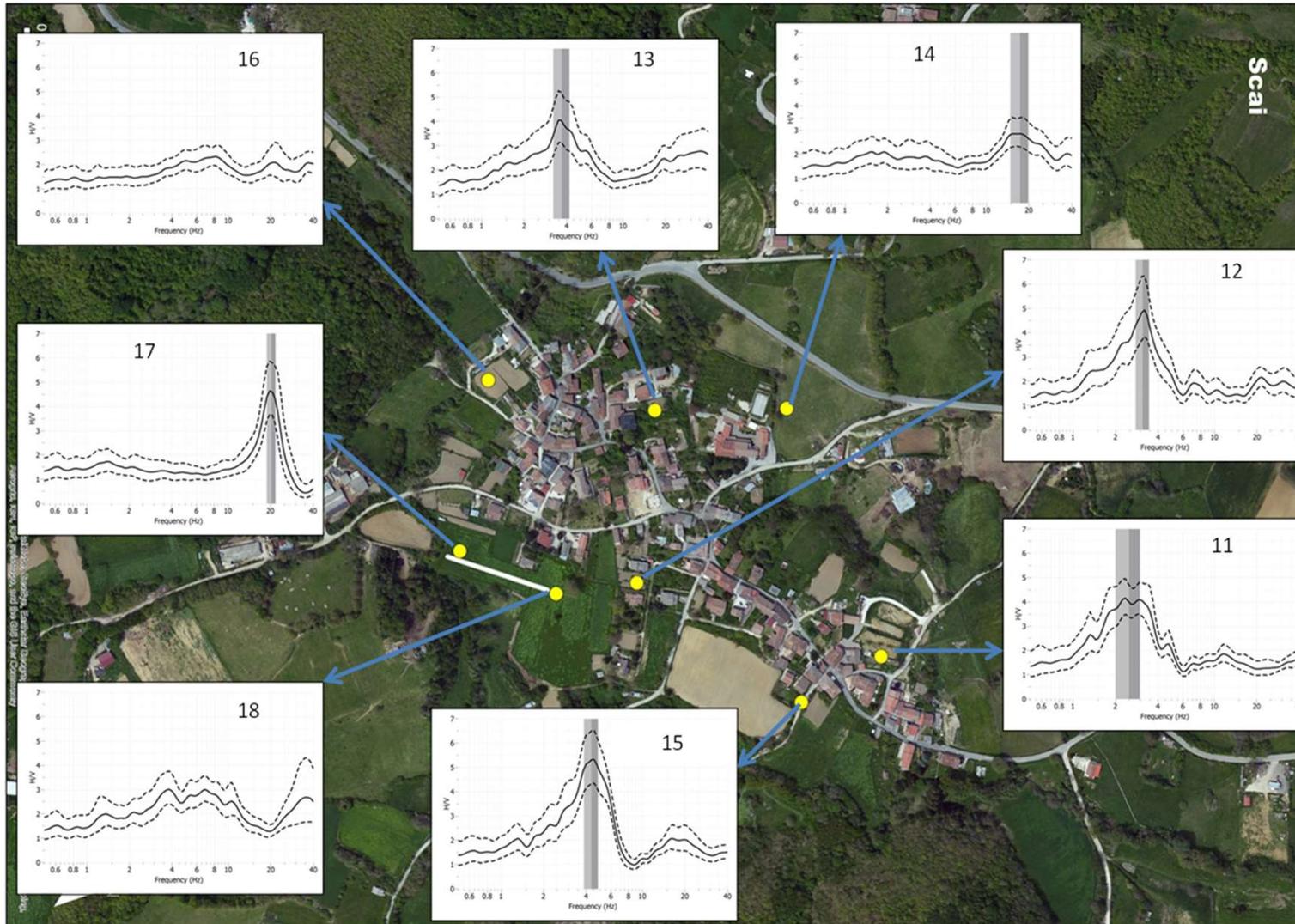
SFLPS LAPIDEO STRATIFICATO, FRATTURATO/ALTERATO
Descrizione litologica: successione di calcari marmosi bianchi e rossi di spessore variabile da pochi cm a qualche decina di cm. Presenza di livelli marmosi e/o argillosi rossi e verdastri. Presenza di selce bianca, grigia e rossa organizzata in noduli, liste o livelli di pochi cm di spessore. Questa litologia si presenta generalmente medio fratturata.
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 l'alto, la sequenza passa a calcari di colore sfumato al verde, con maggiore componente marmosa. Sono presenti noduli a lenti di selce grigio-nera e rossa, con spessori di alcuni centimetri. Scarsa fratturazione.
Formazione litostratigrafica: Marilica.



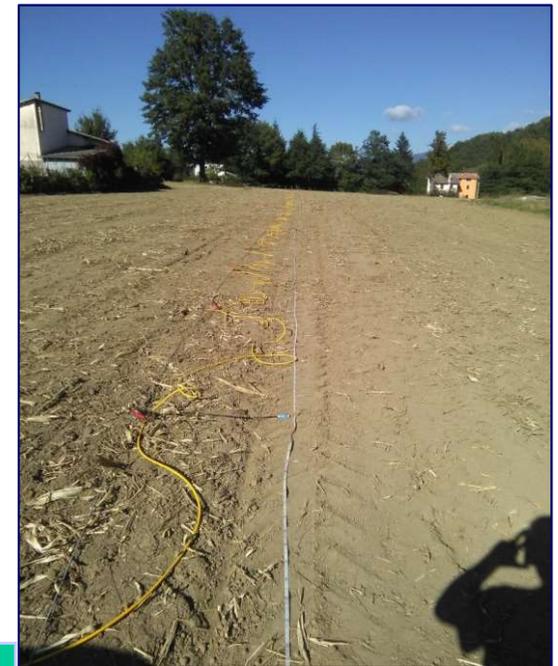
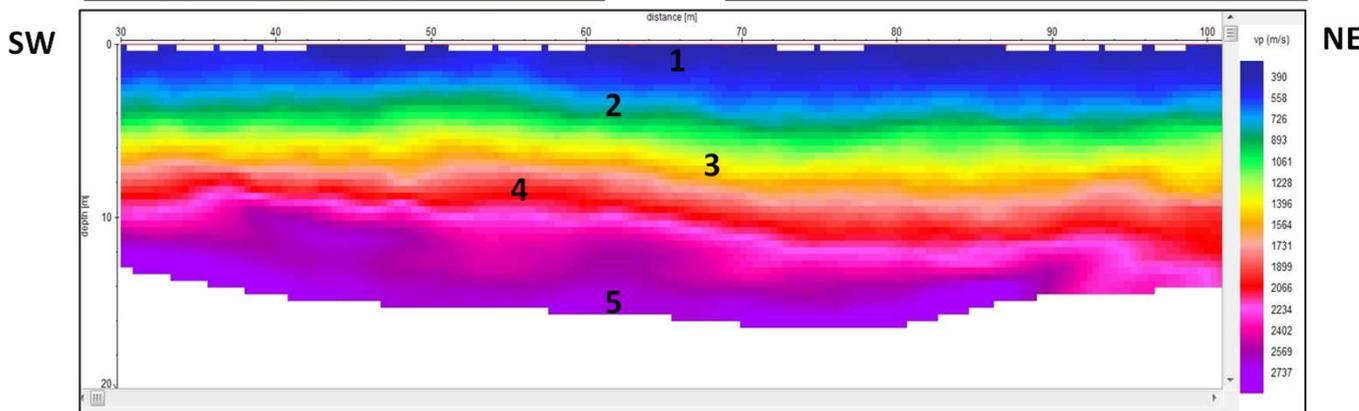
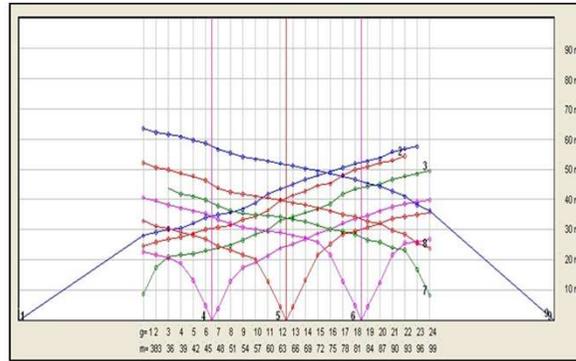
MS3 – INDAGINI PASSIVE

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



MS3 – INDAGINI ATTIVE

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

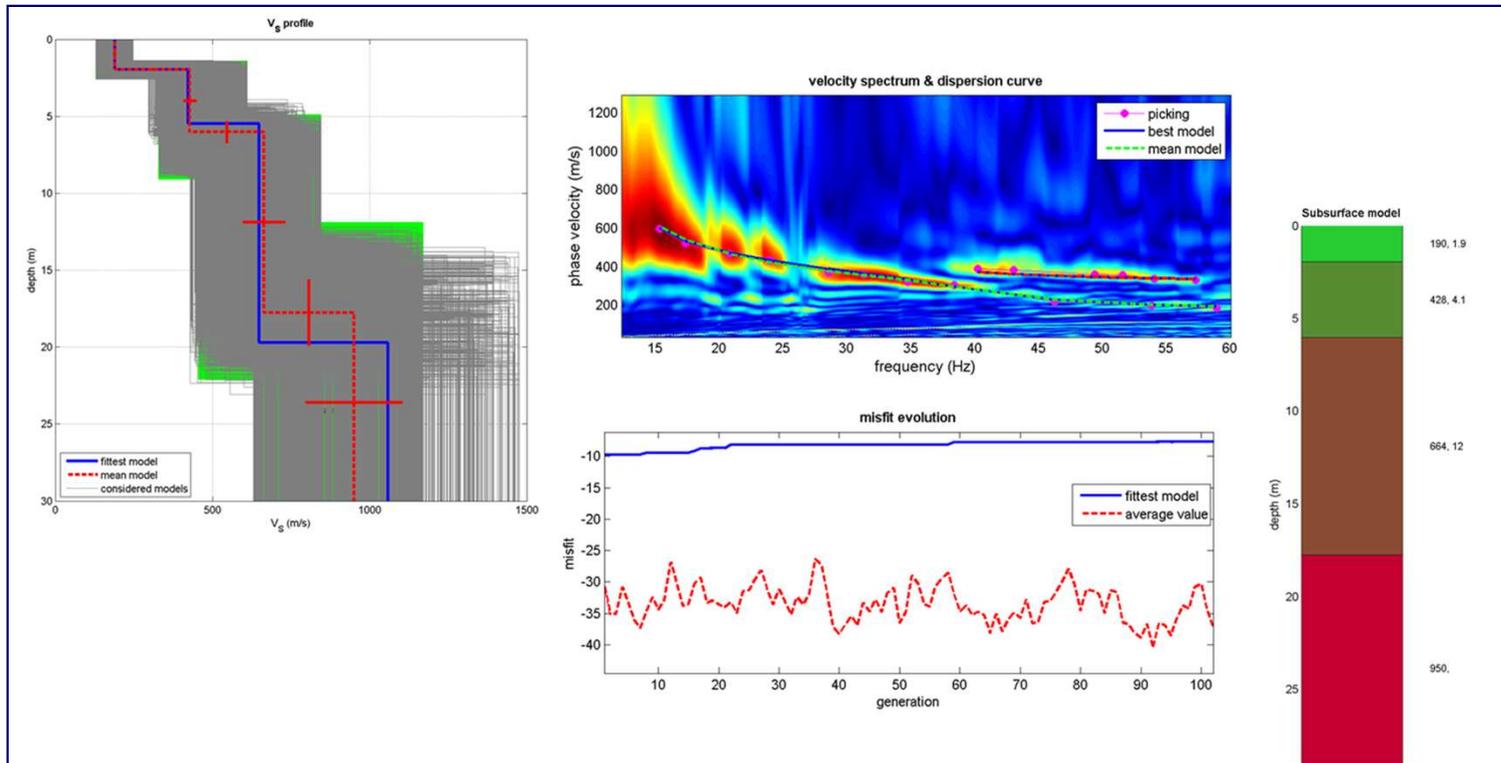


Unità	Profondità (m)	Spessore (m)	V_p (m/s)
1	2 - 3	2 - 3	300-500
2	5 - 7	3 - 4	700-1000
3	9 - 12	4 - 5	1200-1600
4	15 - 18	6 - 7	1600-2200
5	> 18	-	2200-2700



MS3 – INDAGINI ATTIVE

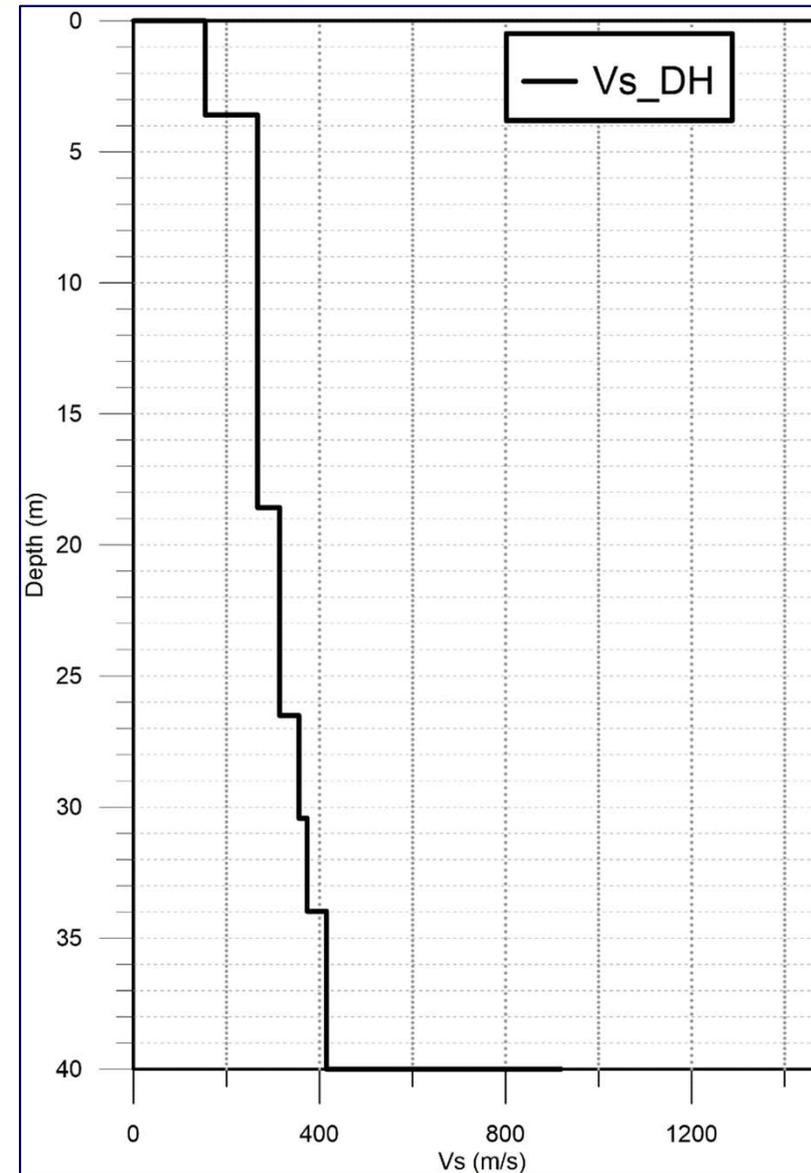
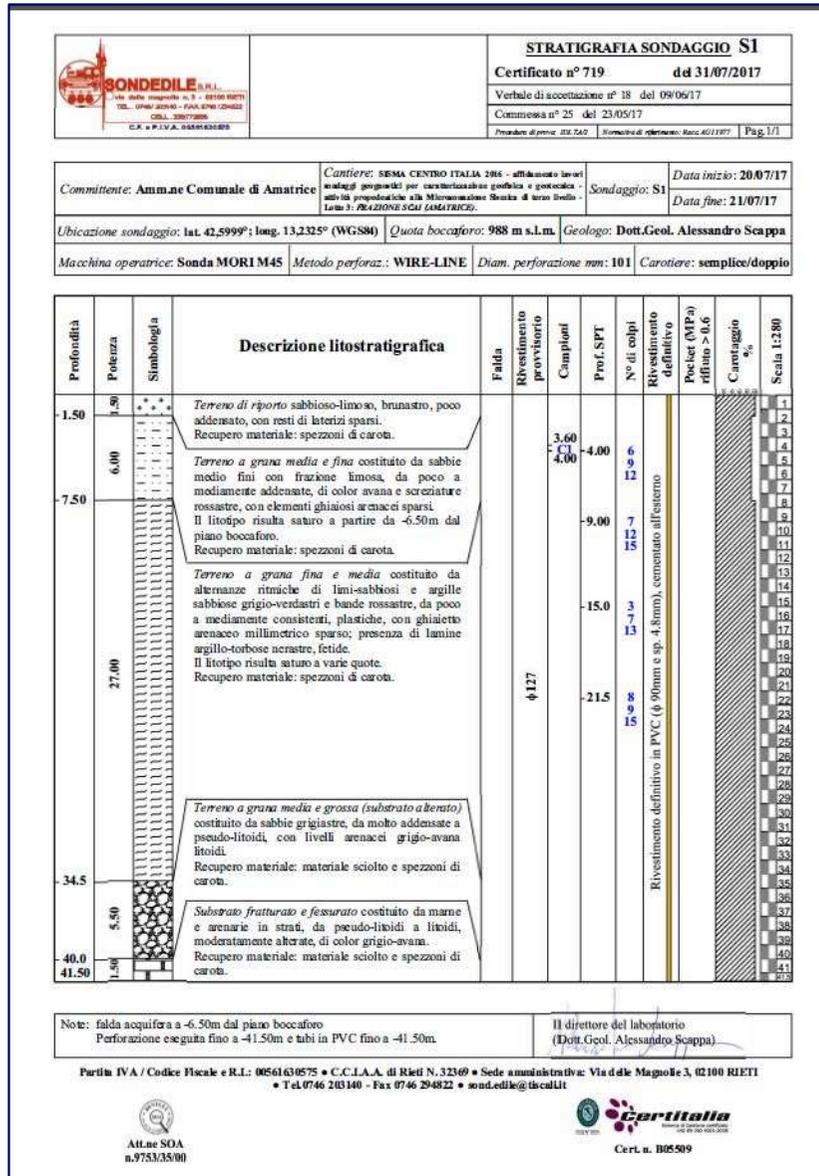
n. 1 indagini MASW, utilizzando 24 geofoni verticali, risonanza 4.5Hz



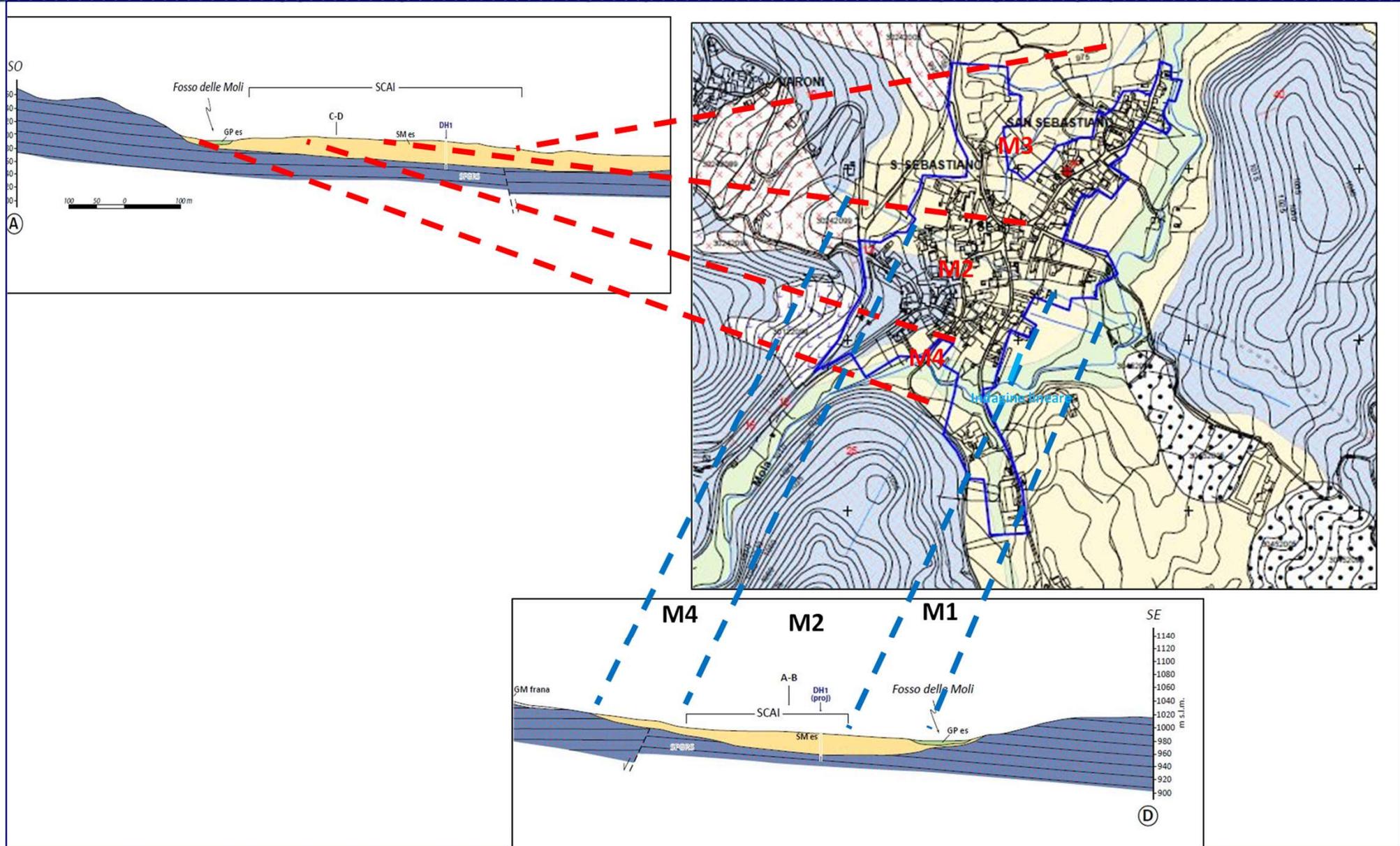
Sismo-strato	Unità geofisica	Unità geologica	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	U1a	UASs_1	1.9	190
2	U4a	LAGp_1	4.1	428
3-4	U4b	LAGp_2	12.0	664
5	U5a	LAGa_1	-	950



MS3 – INDAGINI ATTIVE



MS3 - MODELLI



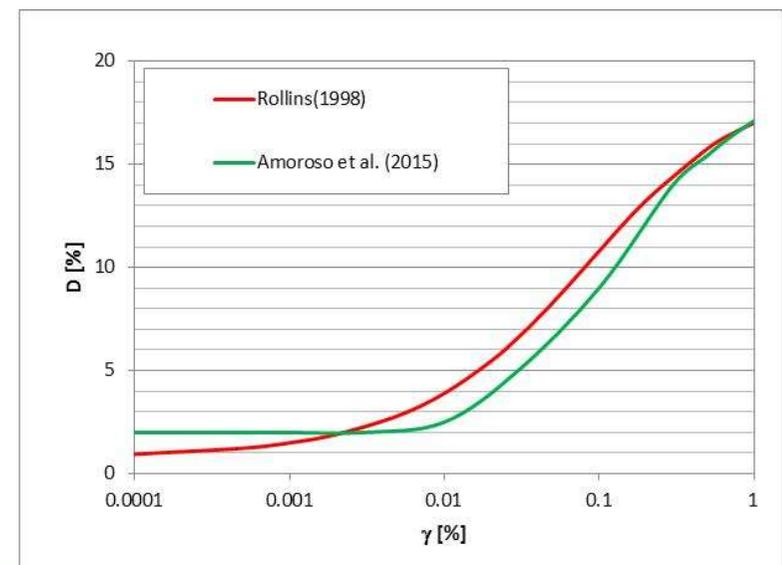
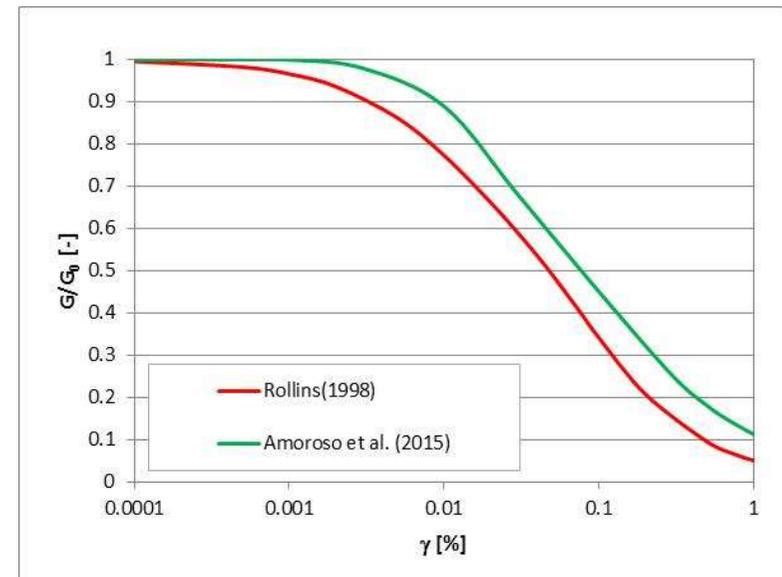
MS3 - MODELLI

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 _{S30}	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 _{S30}	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 _{S30}	296			

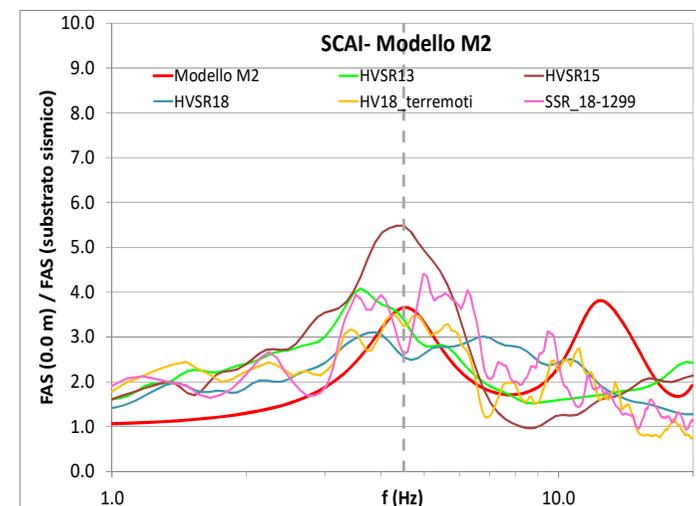
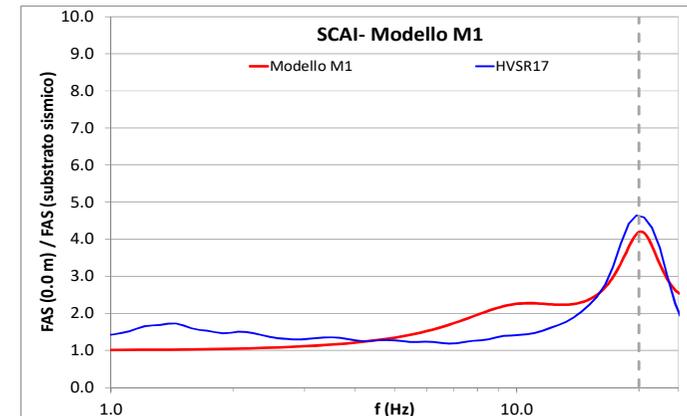
M4				
UNITA'	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V _{S30}	810			



MS3 - VALIDAZIONI

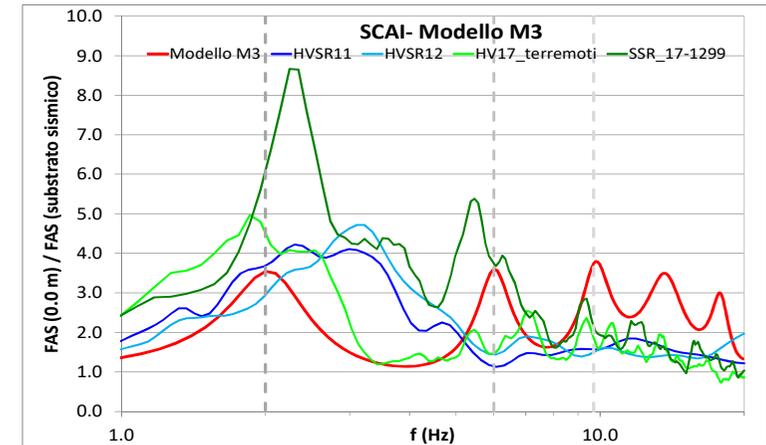
UNITA'	M1			
	S (m)	V_s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U1a	1.9	190	17	Media fuso Rollins et al. (1998)
U4a	4.1	428	19	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V_{s30}	597			

UNITA'	M2			
	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_{s30}	386			

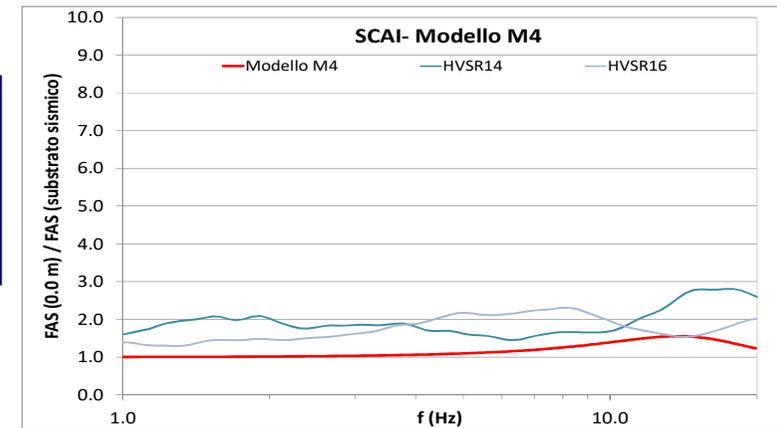


MS3 - VALIDAZIONI

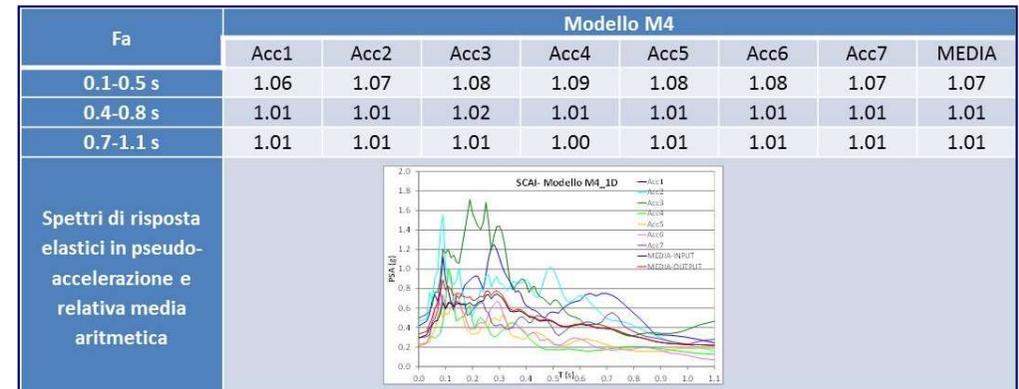
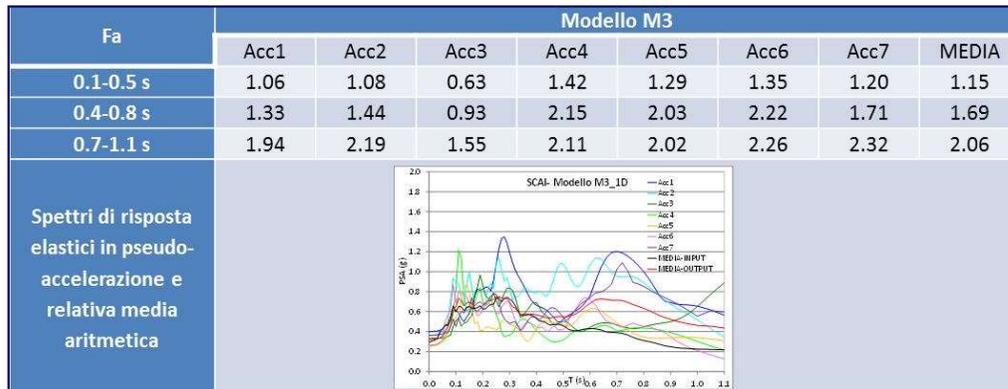
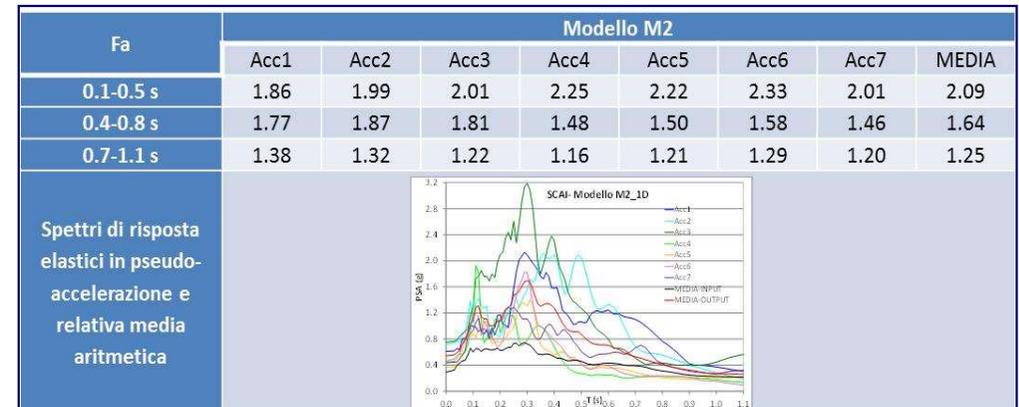
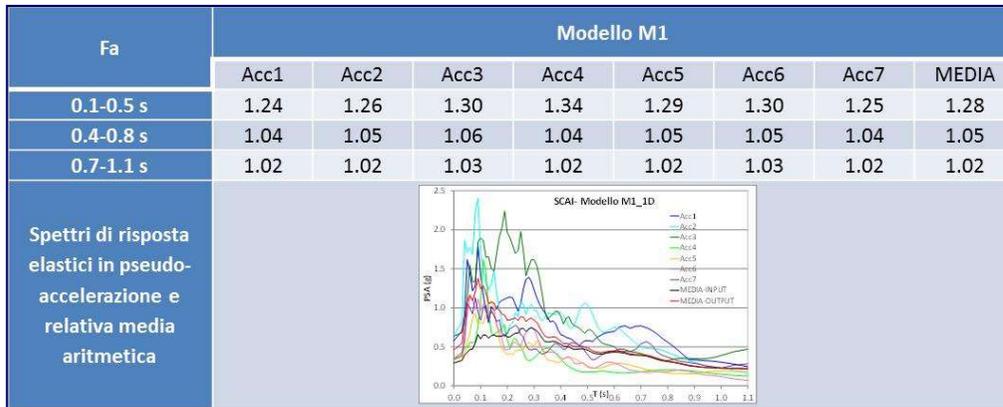
UNITA'	M3			
	S (m)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	Curve G/G0 e D/D0
U1a	4.0	200	17	Media fuso Rollins et al. (1998)
U1b	34.0	320	18	Media fuso Rollins et al. (1998)
U4b	12.0	664	20	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)
U5a	-	950	22	-
V _{S30}	296			



UNITA'	M4			
	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 _{S30}	810			

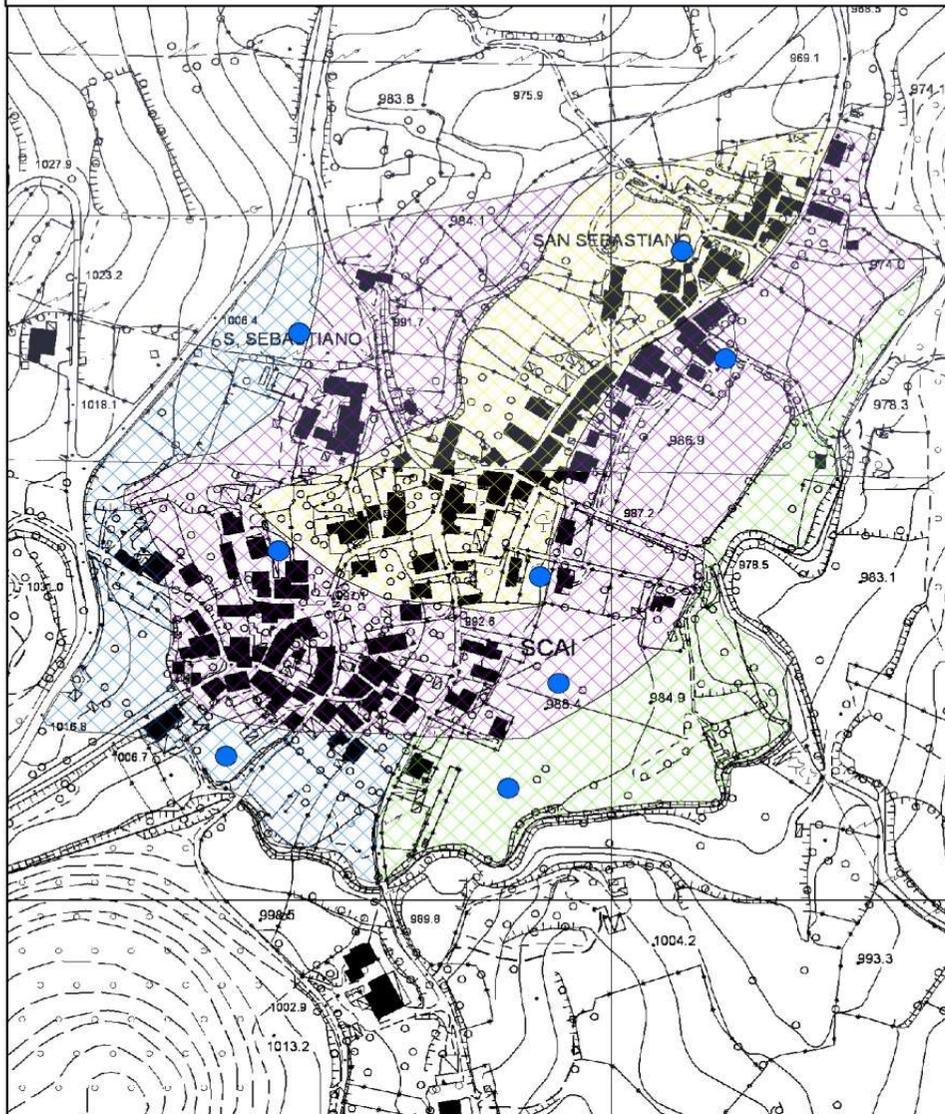


MS3 - RISULTATI



MS3 - CARTOGRAFIA

FRAZIONE: SCAI



Legenda

M1

- $Fa_{0.1-0.5} = 1.3$
- $Fa_{0.4-0.8} = 1.1$
- $Fa_{0.7-1.1} = 1.0$

M2

- $Fa_{0.1-0.5} = 2.1$
- $Fa_{0.4-0.8} = 1.6$
- $Fa_{0.7-1.1} = 1.3$

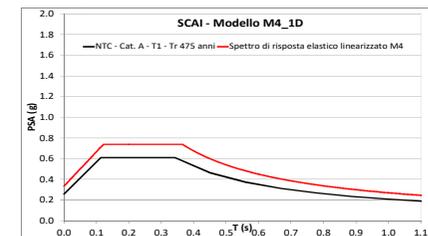
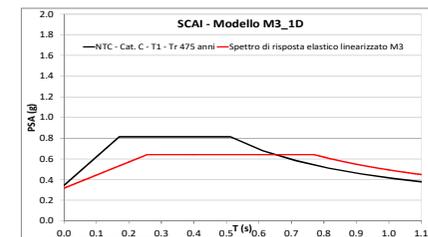
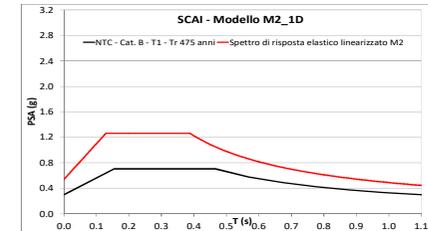
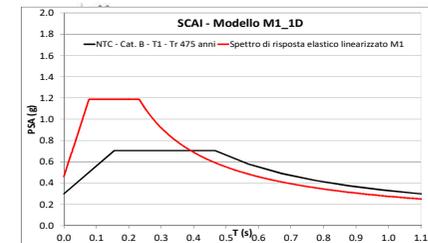
M3

- $Fa_{0.1-0.5} = 1.2$
- $Fa_{0.4-0.8} = 1.7$
- $Fa_{0.7-1.1} = 2.1$

M4

- $Fa_{0.1-0.5} = 1.1$
- $Fa_{0.4-0.8} = 1.0$
- $Fa_{0.7-1.1} = 1.0$

● Punto di modellazione numerica



USO DEI RISULTATI IN FASE PIANIFICATORIA E PROGETTUALE

Pianificatoria:

Uso delle mappe di Fa per orientare le destinazioni di uso

Progettuale:

Confronto tra lo spettro MS3 regolarizzato e NTC nell'area del manufatto, nei periodi di interesse del manufatto.

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

- lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
- l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni è verificata, è possibile utilizzare l'approccio semplificato NTC.

In alternativa il progettista, utilizzando i risultati della MS3, dovrà procedere a definire gli approfondimenti geologici, geofisici e geotecnici necessari e dovrà valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato della normativa e, nel caso, giustificarne l'adozione.

In caso contrario, il progettista dovrà necessariamente procedere con un'analisi di RSL monodimensionale (1D) o bidimensionale (2D), in base alle caratteristiche del sito.

Infine, gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3 regolarizzati possono essere usati nella progettazione qualora vengano ritenuti più affidabili di quelli risultanti dall'analisi di RSL condotti con metodi standard (1D) e in ogni caso più conservativi di quelli dell'approccio semplificato.

