



# Lo studio di microzonazione sismica del Comune di Parma I e II livello di approfondimento

Roberto Francese<sup>1,2</sup>,

1. Università di Parma, Dipartimento SCVSA

2. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste

- Motivazioni dello studio;
- La zonazione sismica, principi e finalità;
- Pericolosità sismica di base e specifica;
- La normativa;
- Generalizzazione del dato geologico e geomorfologico;
- La rete di misura, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati;
- Risultati;
- Ripercussioni sulle scelte pianificatorie e di progettazione;
- Conclusioni.

In Italia gli studi MS sono stati avviati in modo organico dopo il catastrofico (per l'epoca nel quale si è verificato) terremoto dell'Aquila del 2009 (piano nazionale per la prevenzione del rischio sismico – L. 77/2009).

Il recente sisma che ha colpito l'Emilia Romagna nel 2012 ha poi messo in evidenza come anche in aree considerate a sismicità da medio-bassa a bassa possano verificarsi ingenti danni ai fabbricati ed alle infrastrutture ed anche significative perdite di vite umane.

Questo avviene tipicamente quando le condizioni geologiche locali comportano delle sostanziali modifiche del moto sismico del suolo condizionandone l'effetto sugli edifici.

## MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Motivazioni dello studio



## MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

## Terremoto dell'Emilia-Romagna 2012 - Condizioni geologiche locali ?

# Motivazioni dello studio



Deficit costruttivo ?  
Condizioni locali ?

Fonte: <http://www.meteoweb.eu> - Vigili del Fuoco

## Terremoto dell'Emilia-Romagna 2012

### MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

Esistono nel territorio comunale delle condizioni geologiche tali da poter modificare l'azione sismica risultando in un ipotetico aumento del danno su fabbricati, infrastrutture e persone ?

Lo studio di MS cerca di rispondere a questo quesito operando su un doppio binario di approccio prettamente pianificatorio (al I e II livello) e di quantificazione degli effetti (al III livello).

## MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

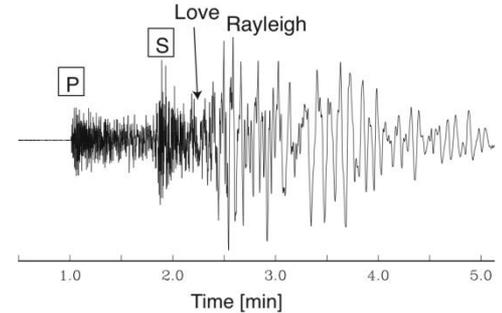
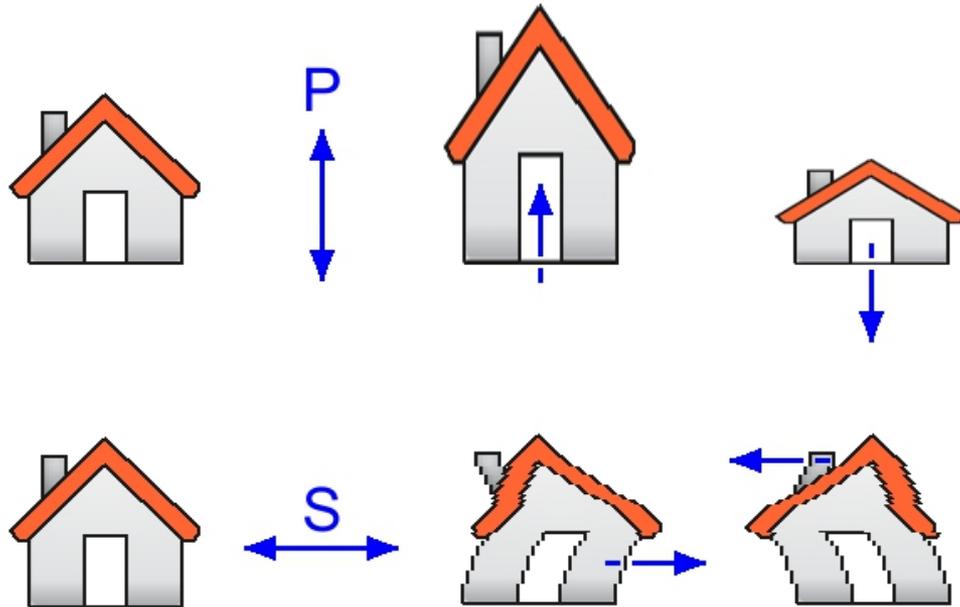
RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?



Lo scuotimento del suolo durante un sisma avviene secondo due modalità principali che sono note come compressionali-P e trasversali-S.

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

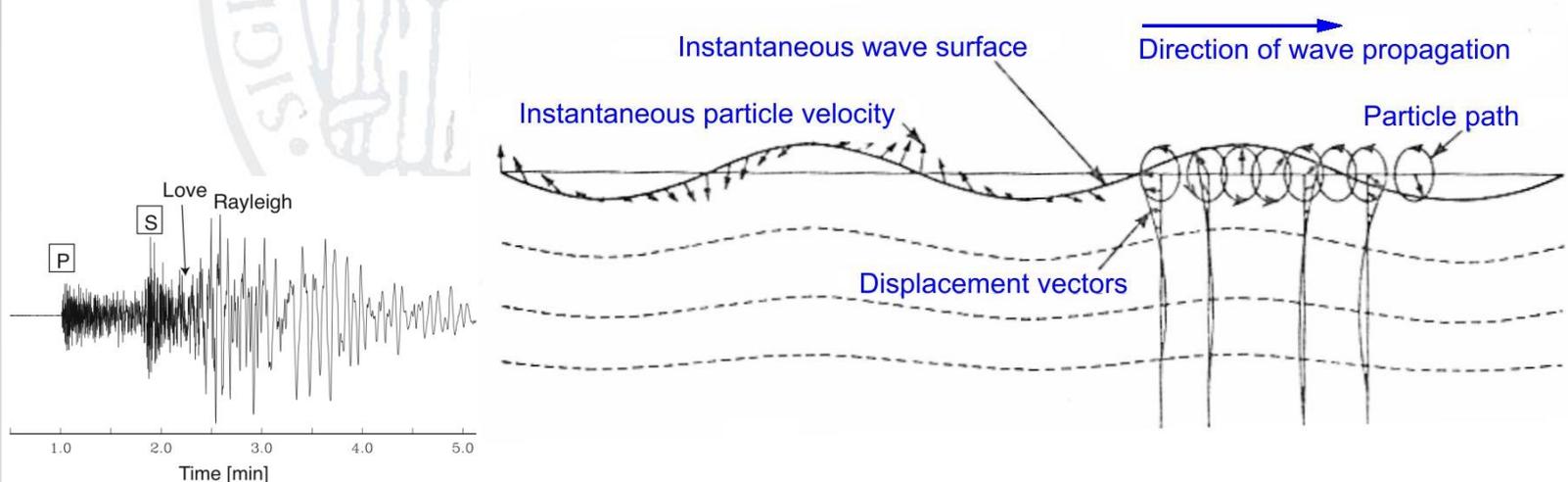
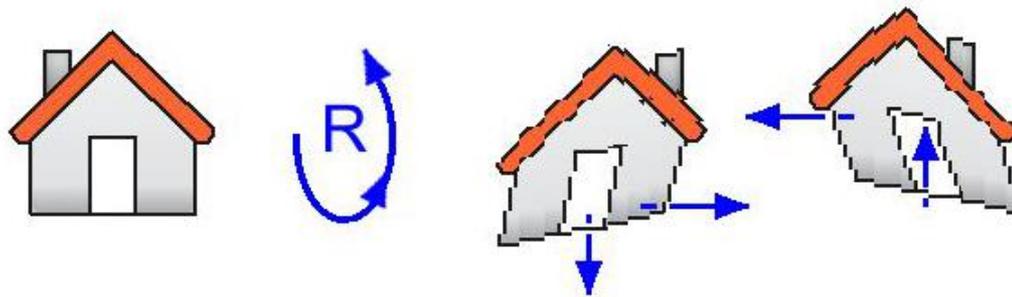
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

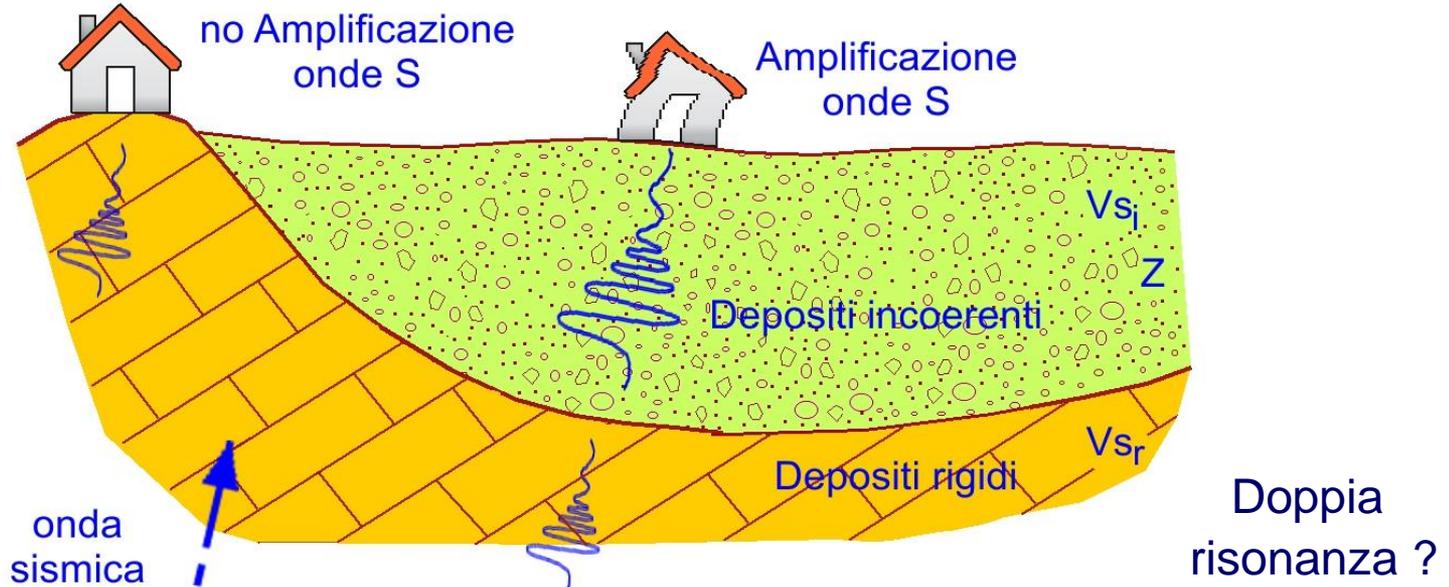
CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?

A queste onde (P ed S) dette "body waves" si aggiungono poi le onde superficiali, note come **onda di Rayleigh** e onda di Love.



# Che cos'è la zonazione sismica ?



Uno degli scenari di maggiore penalizzazione è quindi quello in cui può verificarsi un fenomeno di amplificazione delle onde trasversali.

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ GEOLOGICHE

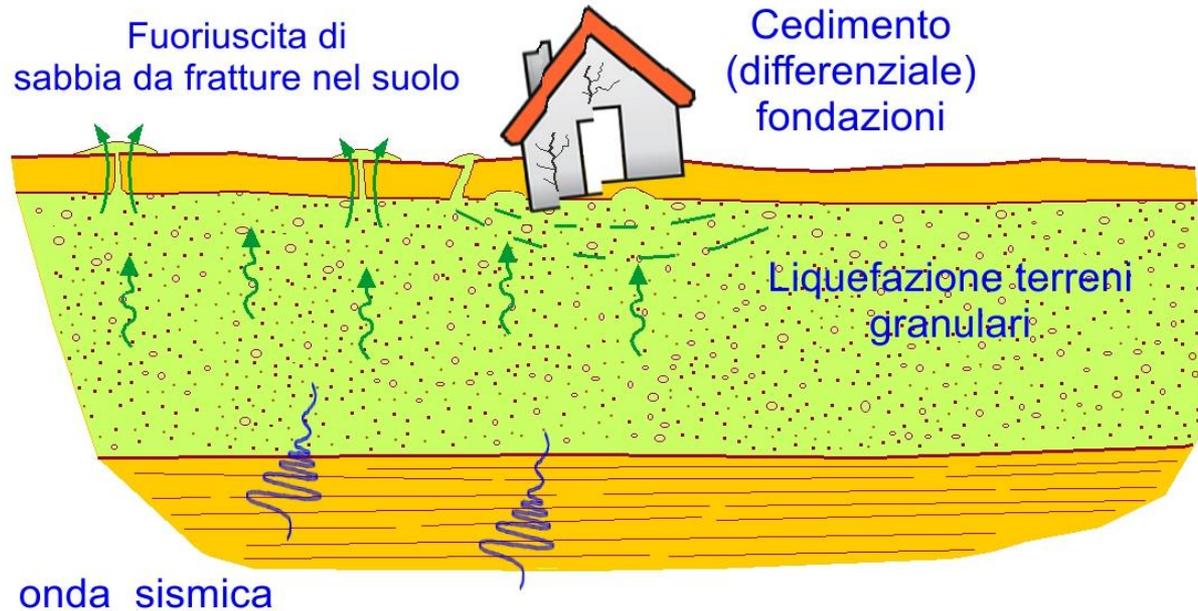
RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?



Un secondo scenario di penalizzazione, per il quale nella bassa pianura vi sono particolari condizioni predisponenti, è il fenomeno di liquefazione dei depositi sabbiosi durante lo scuotimento sismico.

MOTIVAZIONI

**LA ZONAZIONE SISMICA**

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?



Fonte: <http://www.meteoweb.it> - Vigili del Fuoco

MOTIVAZIONI

**LA ZONAZIONE  
SISMICA**

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?



Fonte: <http://www.3bmeteo.com>



Fonte: <http://www.improntalaquila.org>

MOTIVAZIONI

**LA ZONAZIONE  
SISMICA**

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

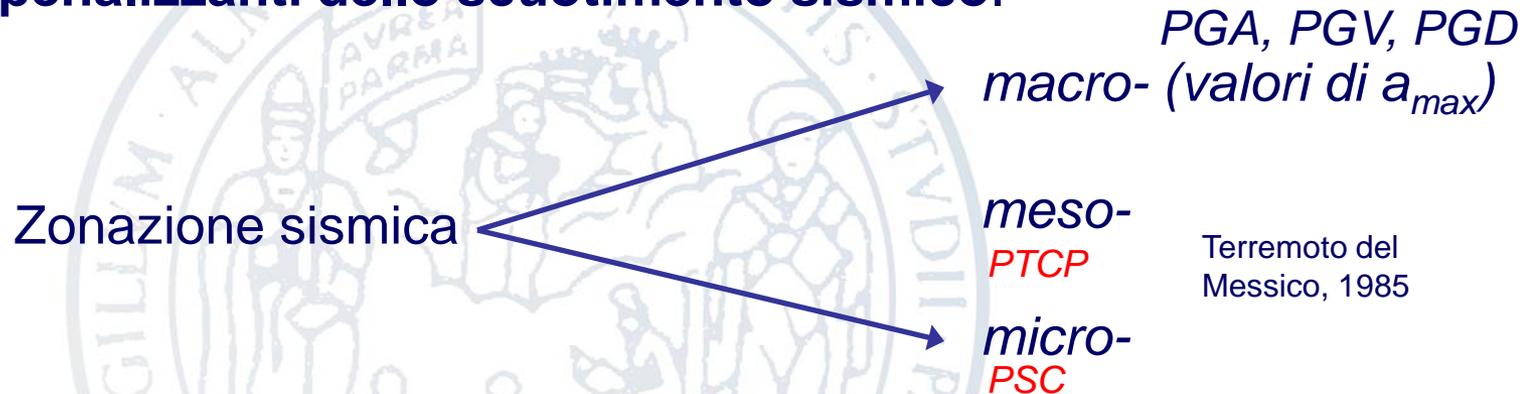
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Che cos'è la zonazione sismica ?

La **zonazione sismica** ha come obiettivo l'individuazione di quelle condizioni (locali) che risultano in **fattori penalizzanti dello scuotimento sismico**.



In Italia la pericolosità locale, seppur nota da tempo negli ambienti scientifici ed anche in quelli istituzionali, ha cominciato ad essere considerata solo recentemente e gli indirizzi e criteri per la microzonazione sono stati pubblicati nel 2008 (ICMS 2008 – DPCV).

Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, 2008

MOTIVAZIONI

**LA ZONAZIONE SISMICA**

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

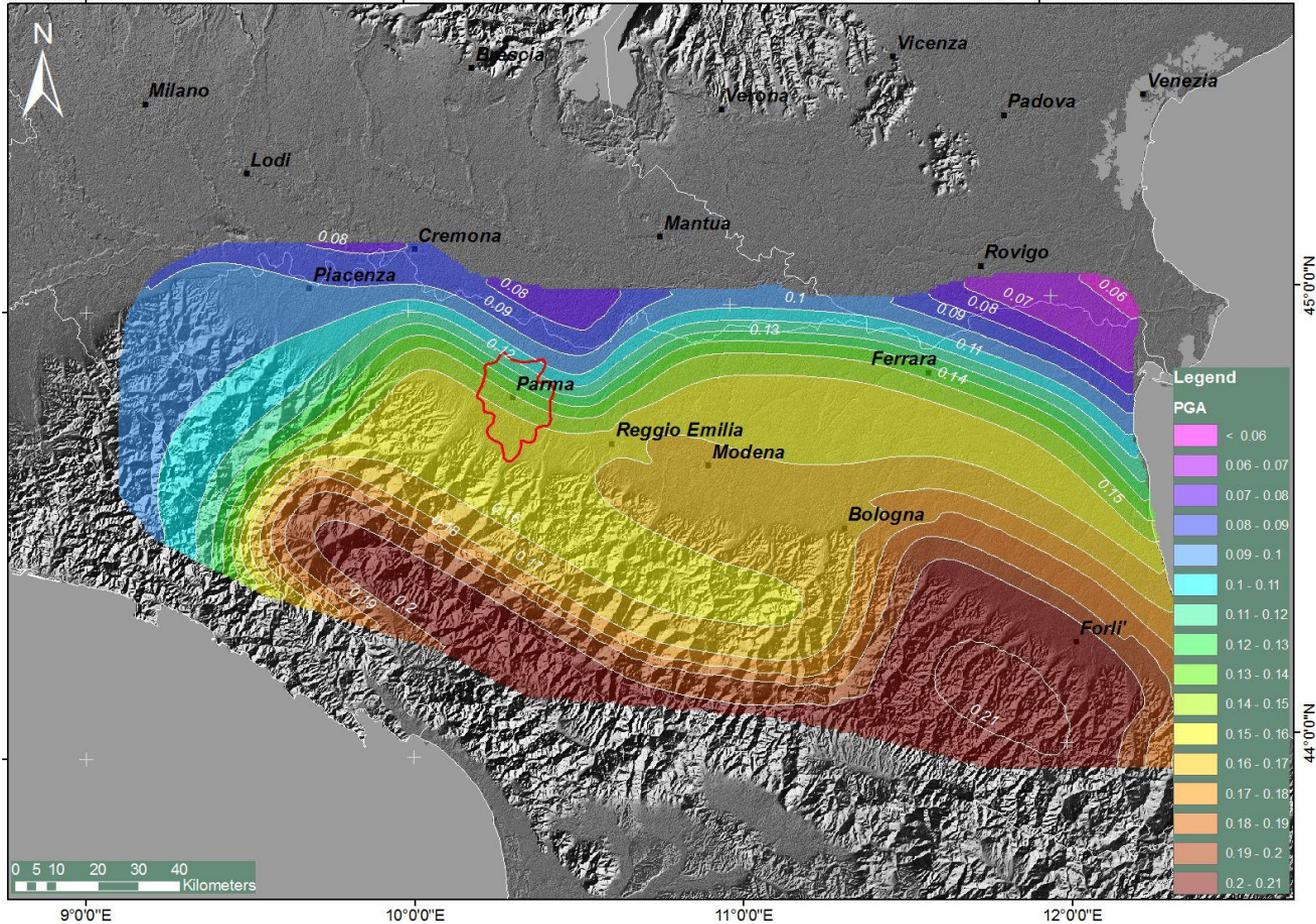
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica (di base)

Mappa di PGA ( $m^2/s$ ) per una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ( $T=475$  anni) riferita a suoli di tipo A.



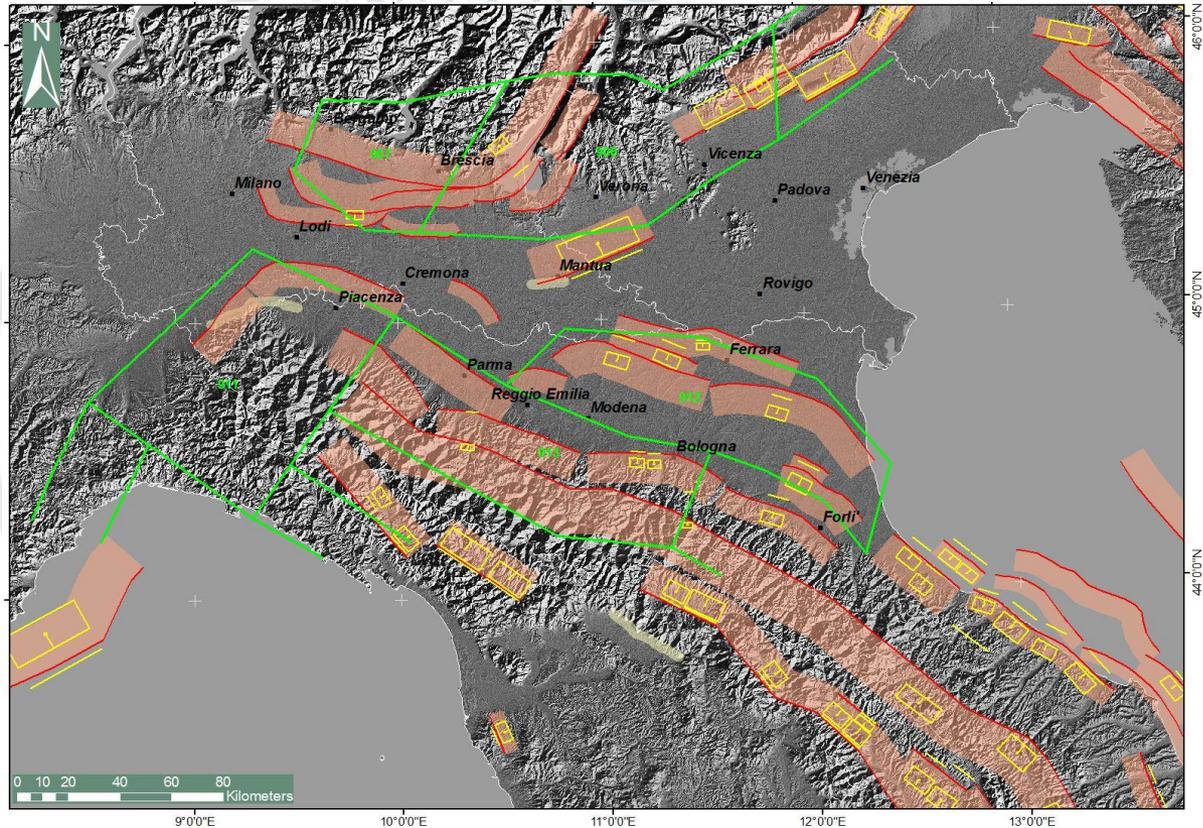
Il valore della PGA nel territorio del comune dell'Aquila ha valori dell'ordine di  $0.25 - 0.27 m^2/s$ .

Recepimento della pericolosità sismica di base.

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'**
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica (di base)

Quali le strutture tettoniche che determinano la pericolosità sismica di base ?

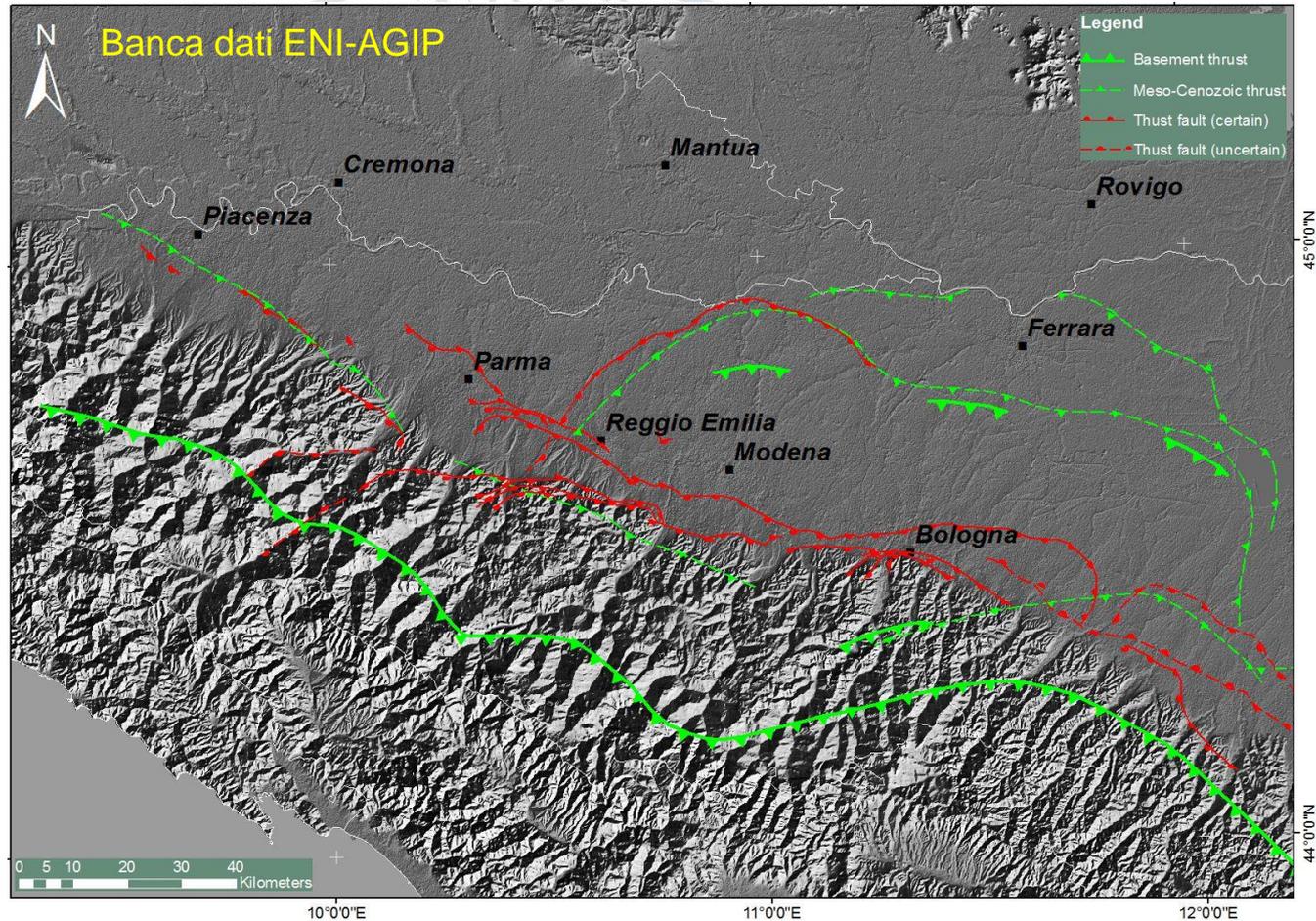


Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), in colore verde e principali sorgenti sismogenetiche tratte dal database DISS 3.2.0.

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'**
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica (di base)

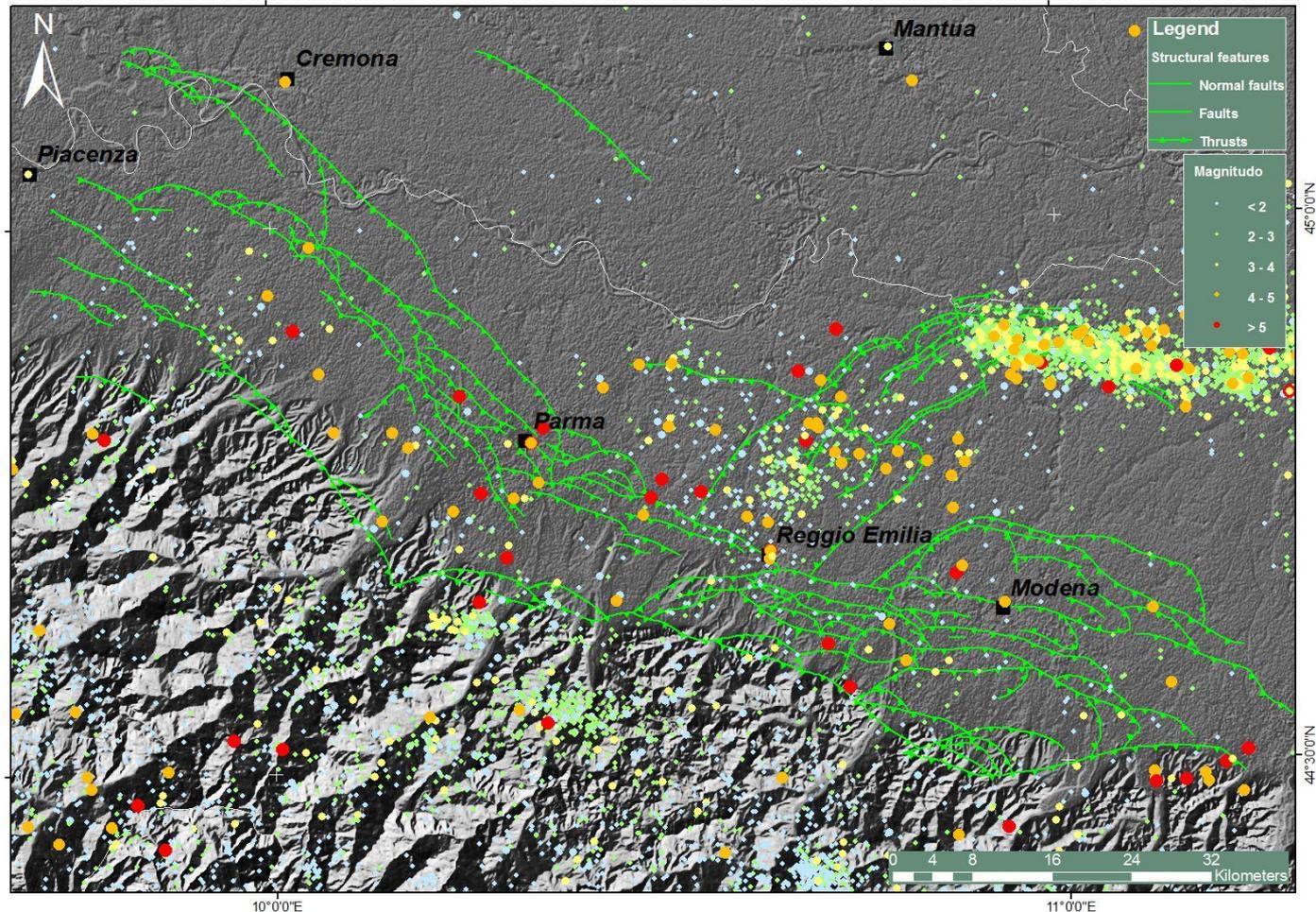
Quale il livello di confidenza nella caratterizzazione di queste strutture tettoniche ?



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'**
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica (di base)

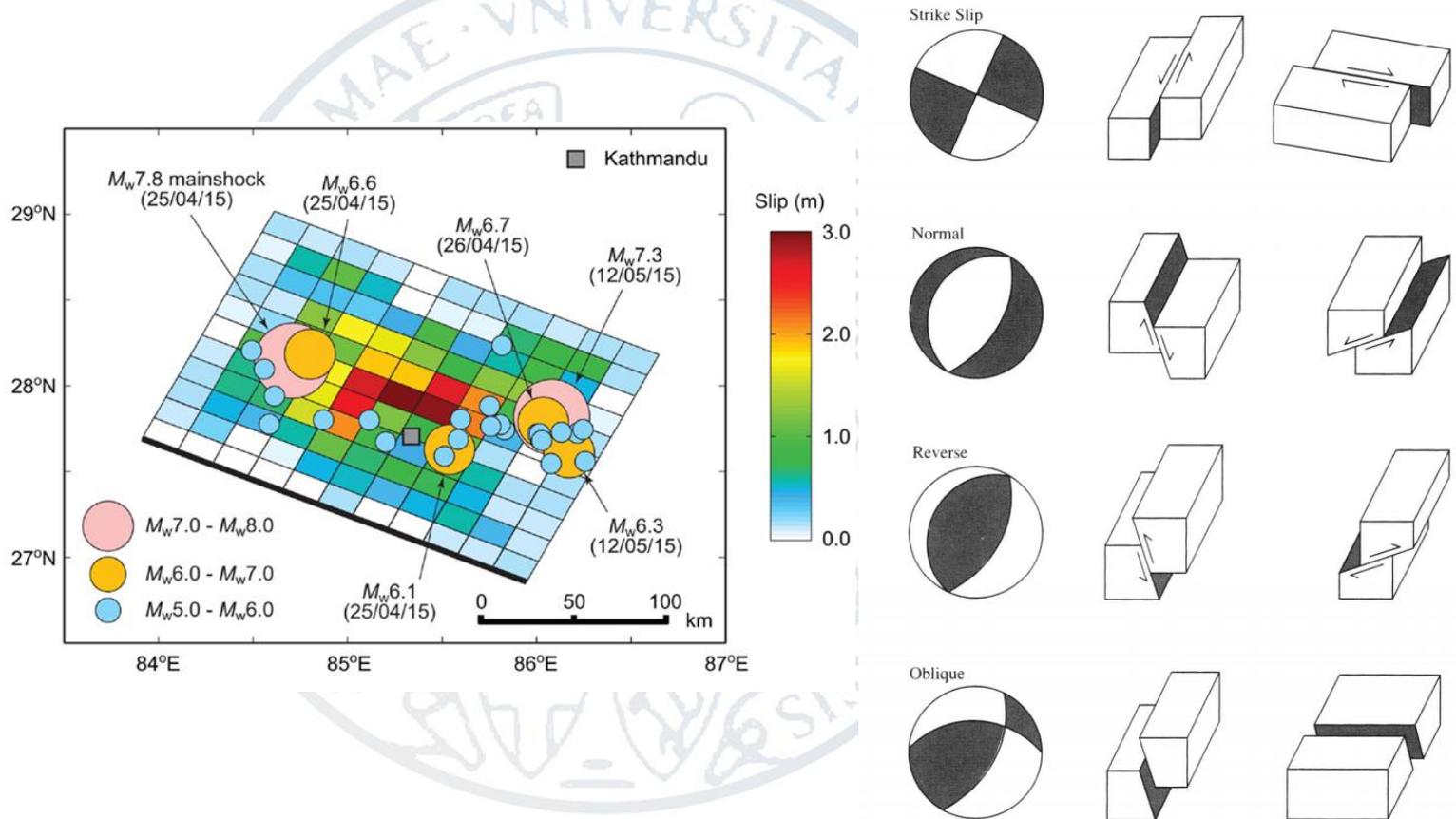
Da dove deriva questo livello di confidenza ?



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'**
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica (di base)

La tipologia del movimento sismico viene definita attraverso i parametri focali (da osservazioni su stazioni multiple):



MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

**PERICOLOSITA'**

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

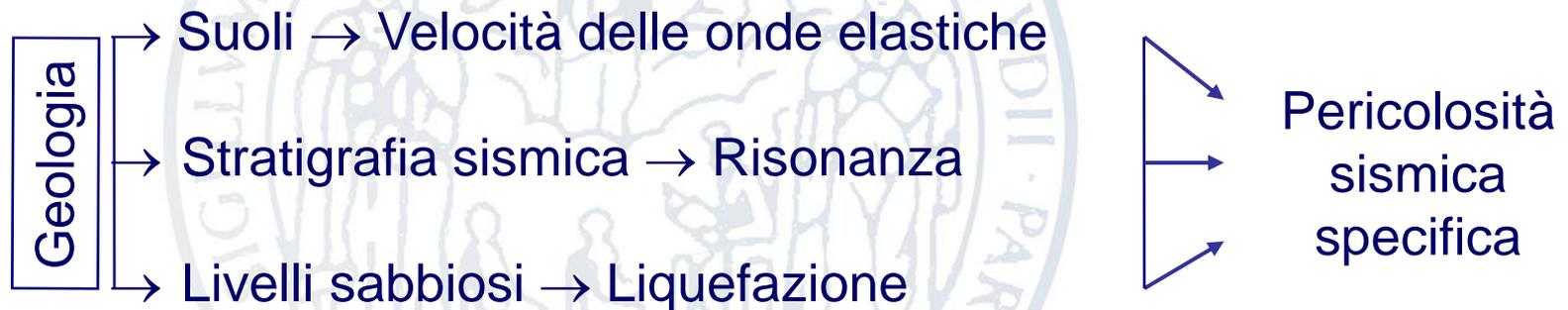
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# La pericolosità sismica specifica

La pericolosità specifica (locale) in aree di pianura dipende essenzialmente dalla natura dei suoli, dalla possibile presenza di fenomeni di risonanza e dalla potenziale liquefazione dei depositi sabbiosi



- Amplificazione topografica
- Frane sismoindotte
- Rottura del suolo per fagliazione

**Il fattore di controllo è quindi la geologia locale**

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

**PERICOLOSITA'**

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/microzonazione-sismica>  
<http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/microzonazione.wp>

O.C.D.P.C. n. 171/2014  
d.A.L. 112/2007  
d.G.R. 1227/2015  
d.G.R. 2193/2015



ICMS, 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Gruppo di lavoro MS. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome.  
[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137)



Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano

## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

### Cos'è la Condizione Limite per l'Emergenza

obiettivo

Avere un quadro generale del funzionamento dell'insediamento urbano per la gestione dell'emergenza sismica, anche in relazione al contesto territoriale

cosa

Strutture finalizzate alla gestione dell'emergenza:  
✓ Edifici strategici  
✓ Aree di emergenza  
✓ Infrastrutture di accessibilità/connesione  
+  
✓ Individuazione aggregati interferenti



Gli studi di MS prevedono diverse fasi di realizzazione e diversi **livelli di approfondimento**



## PRIMO LIVELLO

- Individuazione delle aree suscettibili di effetti locali su cui effettuare le successive indagini
- Definizione del tipo di effetti attesi
- Descrizione delle caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo

**MOPS**

## SECONDO LIVELLO

- Conferma delle condizioni di pericolosità individuate nel 1° livello
- Suddivisione del territorio in base all'amplificazione attesa (zone suscettibili di amplificazioni locali)
- Definizione delle aree individuate nel 1° livello in cui sono necessari approfondimenti di 3° livello (zone potenzialmente instabili)

**FA**

## TERZO LIVELLO

- Conferma delle condizioni di pericolosità individuate nel 1° e 2° livello
- Valutazione approfondita della risposta sismica locale e quantificazione degli indici di rischio in zone soggette a instabilità di vario tipo: liquefazione, instabilità di versante, faglie attive e capaci, sovrapposizione di instabilità

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

Lo studio di MS si svolge in un perimetro normativo molto rigido nel quale sono definiti nei dettagli gli standard degli elaborati da produrre:

La sintesi del **I livello** e' la **Carta delle MOPS** (Microzone omogenee in prospettiva sismica);

La sintesi del **II livello** e' la **Carta di MS** redatta rispetto a diversi fattori di Amplificazione:

FA ed FV (ICMS, 2008);  
PGA,  $SI_1$ ,  $SI_2$  ed  $SI_3$  (DGR )

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

Fattore di amplificazione  
FA

Tipo di terreno  
Sabbia

$a_g$  (g)  
0.06g

H	$V_{SH}$ (m/s)					
	150	200	250	300	350	
5	2.32	1.90	1.58	1.45	1.35	
10	1.92	2.13	2.00	1.77	1.57	
15	1.24	1.72	1.87	1.83	1.70	
20	1.17	1.32	1.58	1.68	1.65	
25	1.13	1.23	1.27	1.46	1.53	
30	1.06	1.20	1.23	1.23	1.37	
35	0.93	1.16	1.21	1.22	1.20	
40	0.87	1.13	1.19	1.21	1.19	
50	0.79	0.96	1.15	1.17	1.17	
60	-	0.94	1.05	1.13	1.14	
70	-	0.85	0.97	1.07	1.11	
80	-	0.80	0.95	1.00	1.06	
90	-	-	0.89	1.00	1.01	
100	-	-	0.87	0.95	1.01	

$$FA = \frac{\frac{1}{T a_o} \int_{0.5 T a_o}^{1.5 T a_o} S A_o(T) dT}{\frac{1}{T a_i} \int_{0.5 T a_i}^{1.5 T a_i} S A_i(T) dT};$$

Risposta in accelerazione (basso periodo)

Fattore di amplificazione  
FV

Tipo di terreno  
Sabbia

$a_g$  (g)  
0.06g

H	$V_{SH}$ (m/s)					
	150	200	250	300	350	
5	1.72	1.19	1.12	1.09	1.03	
10	2.87	2.29	1.64	1.33	1.21	
15	2.55	2.63	2.29	1.84	1.50	
20	2.31	2.43	2.38	2.15	1.81	
25	2.22	2.24	2.28	2.15	1.96	
30	2.13	2.04	2.12	2.09	1.94	
35	2.10	2.01	1.96	1.95	1.91	
40	2.10	1.98	1.82	1.86	1.82	
50	2.17	1.92	1.82	1.66	1.65	
60	-	1.98	1.74	1.66	1.52	
70	-	1.97	1.74	1.56	1.50	
80	-	1.87	1.81	1.59	1.47	
90	-	-	1.78	1.62	1.46	
100	-	-	1.71	1.65	1.46	

$$FV = \frac{\frac{1}{0.4 T v_o} \int_{0.8 T v_o}^{1.2 T v_o} S V_o(T) dT}{\frac{1}{T v_i} \int_{0.8 T v_i}^{1.2 T v_i} S V_i(T) dT};$$

Risposta in pseudo-velocita' (periodo proprio)

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

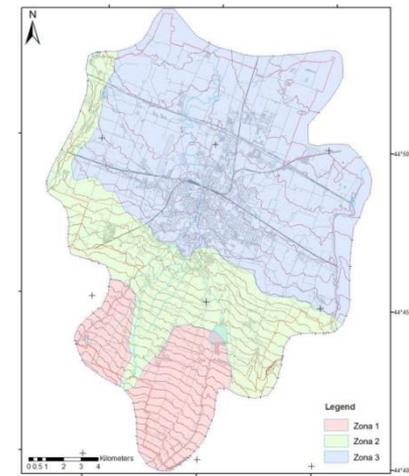
CONCLUSIONI

PGA		VSh	150	160	170	180	190	200	250	260	270	280	290	300	350	400	450	500	600	700
Z(m)	5	2.3	2.28	2.26	2.24	2.22	2.1	1.8	1.74	1.68	1.62	1.56	1.5							
Z(m)	10	2.3	2.28	2.26	2.24	2.22	2.2	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8							
Z(m)	15	2.1	2.08	2.06	2.04	2.02	2.1	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8							
Z(m)	20	2.1	2.08	2.06	2.04	2.02	2.1	2.0					1.9							
Z(m)	25	2.0	1.98	1.96	1.94	1.92	2.0	2.0					1.9							
Z(m)	30	1.9					1.9	1.9					1.9							
Z(m)	35																			
Z(m)	40																			
Z(m)	45																			
Z(m)	50																			

SI1		2Hz		10Hz					0.1					VSh	150	160	170	180	190	200	250	260	270	280	290	300	350	400	450	500	600	700			
Z(m)	5	2.2							1.9	1.7	1.68	1.66	1.64	1.62	1.6																				
Z(m)	10	2.6							2.4	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8																				
Z(m)	15	2.6	2.58	2.56	2.54	2.52			2.5	2.2	2.14	2.08	2.02	1.96	1.9																				
Z(m)	20	2.5							2.5	2.3				2.0																					
Z(m)	25	2.3							2.3	2.2				2.1																					
Z(m)	30	2.1							2.1	2.1				2.0																					
Z(m)	35																																		
Z(m)	40																																		
Z(m)	45																																		
Z(m)	50																																		

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV dt;$$

Intensità spettrale di Housner (1953) espressa in pseudo-velocità per un fattore di smorzamento ( $\xi$ ) pari al 5%.



PGA –  $FA_{PGA} \approx S_s$  (rif. NTC 2008- 2018);

- Intensità spettrale SI1  $0,1s < T_0 < 0,5s$  –  $FA_{SI1}$ ;
- Intensità spettrale SI2  $0,5s < T_0 < 1,0s$  –  $FA_{SI2}$ ;
- Intensità spettrale SI3  $0,5s < T_0 < 1,5s$  –  $FA_{SI3}$ ;

MOTIVAZIONI

 LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

 GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

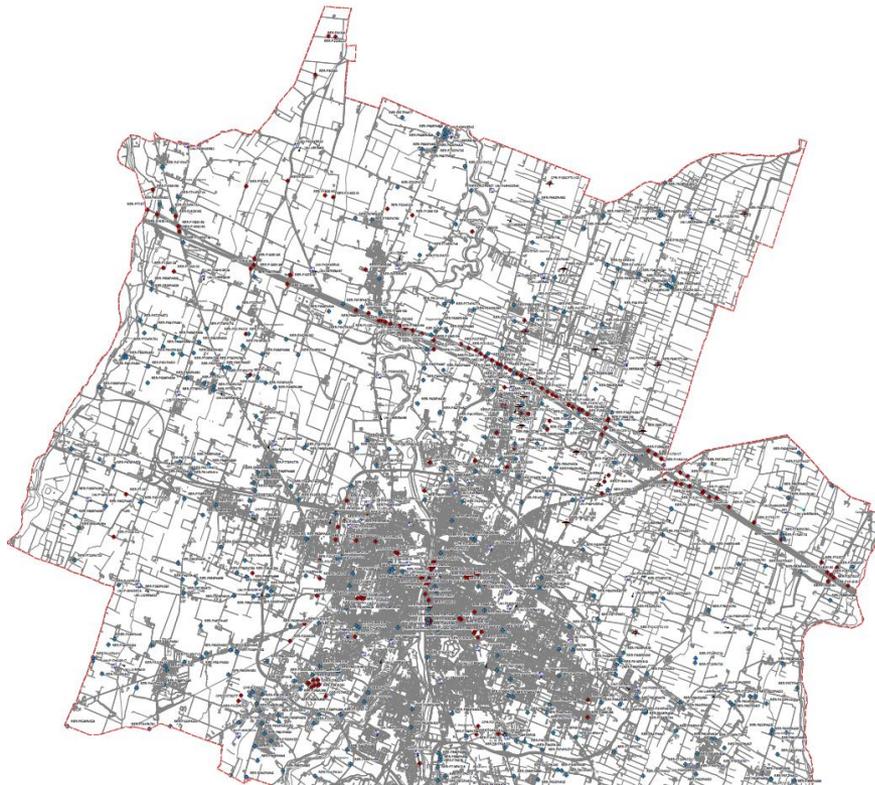
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Normativa nazionale - Elaborati richiesti

## PRIMO LIVELLO

### Carta delle indagini



### Legenda

— Confine comunale

#### Indagini presistenti

▼ CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica

▼<sup>U</sup> CPTU - Prova penetrometrica statica con piezocono

◻ PA - Pozzo per acqua

◻ S - Sondaggio a carotaggio continuo

#### Indagini realizzate ex-novo

◻ HVSR - Stazione microtremore a stazione singola

◻<sup>RM</sup> REMI - Prova REfractionMicrotremors

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

### NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

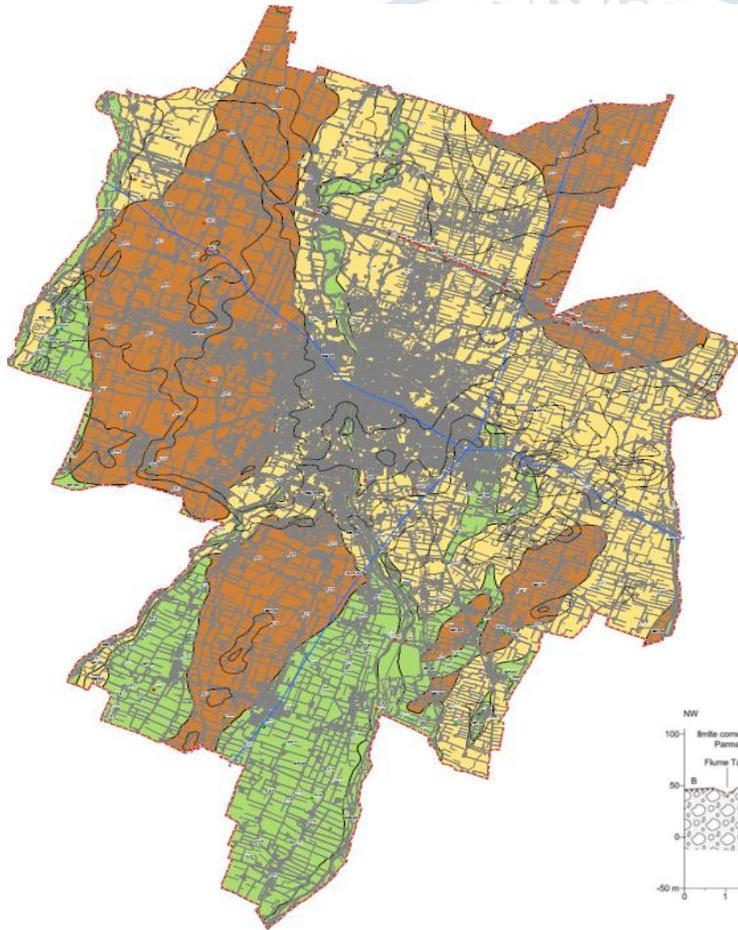
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Normativa nazionale - Elaborati richiesti

## PRIMO LIVELLO

### Carta geologico-tecnica



### Legenda

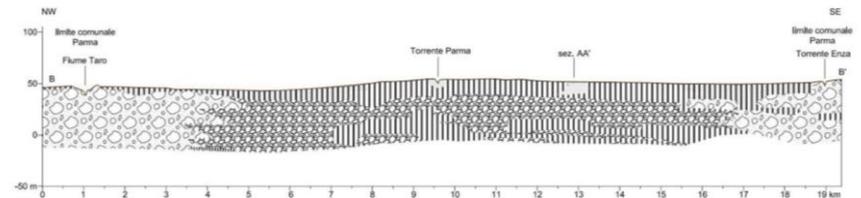
Confine comunale

### Terreni di copertura

- GW pd - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
- GP pd - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie
- SP pd - Sabbie pulite con granulometria poco assortita
- SM pd - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
- MH pd - Limi inorganici, sabbie fini
- CL pd - Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre

### Elementi geologici e idrogeologici

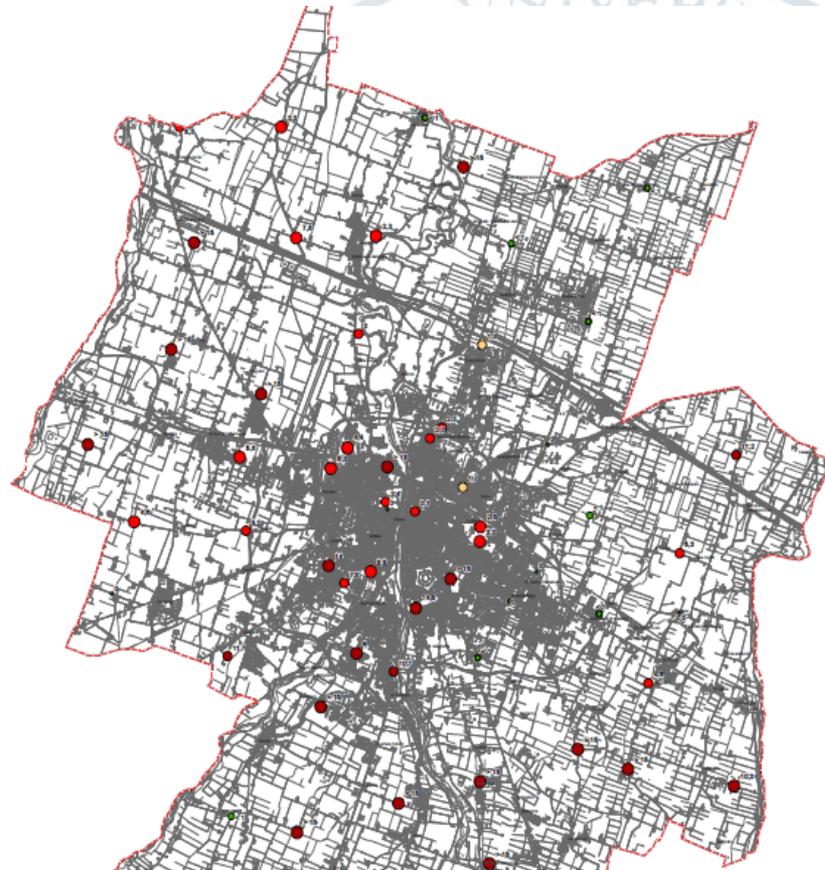
- Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
- Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
- Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie
- Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo
- 10 Isobata del tetto delle ghiaie (m)



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA**
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

## PRIMO LIVELLO

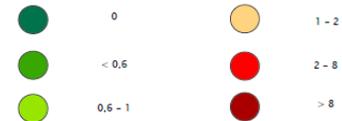
### Carta delle frequenze naturali dei terreni



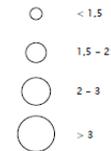
#### Legenda

Confine comunale

Frequenza fondamentale di risonanza  $f_0$  (Hz)



Valori di amplificazione H/V



MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

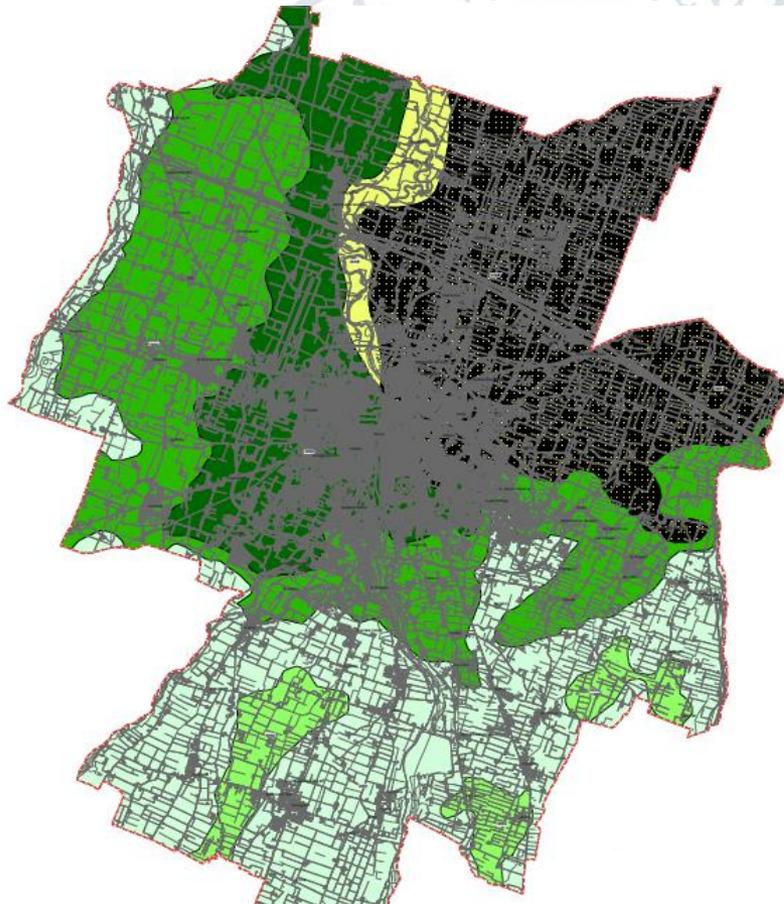
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

## PRIMO LIVELLO

### Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)



#### Legenda

Confine comunale

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture polistessurali di spessore variabile da 0 a 3 metri
- 2002 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con copertura coesiva limo-argillosa di spessore variabile da 3 a 10 metri
- 2003 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture polistessurali di spessore variabile da 3 a 10 metri
- 2004 - Terreni prevalentemente coesivi con strati granulari fini di spessore complessivo variabile da 10 a 20 metri su livelli ghiaiosi profondi
- 2005 - Terreni coesivo-granulari limo-sabbiosi di spessore inferiore a 5 metri su livelli prevalentemente coesivi di spessore variabile da 10 a 20 metri a loro volta su livelli ghiaiosi profondi

#### Zone di attenzione per le instabilità

- 2006 -  $ZA_{L1}$  - Zone di Attenzione per Liquefazione. Terreni coesivi argillosi di spessore massimo di 5 metri su terreni prevalentemente coesivi con lenti sabbiose significative entro i primi 15-20 metri su livelli ghiaiosi profondi
- 2007 -  $ZA_{L2}$  - Zone di Attenzione per Liquefazione. Terreni prevalentemente coesivi con lenti sabbiose significative entro i primi 15 a 20 metri su livelli ghiaiosi profondi

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

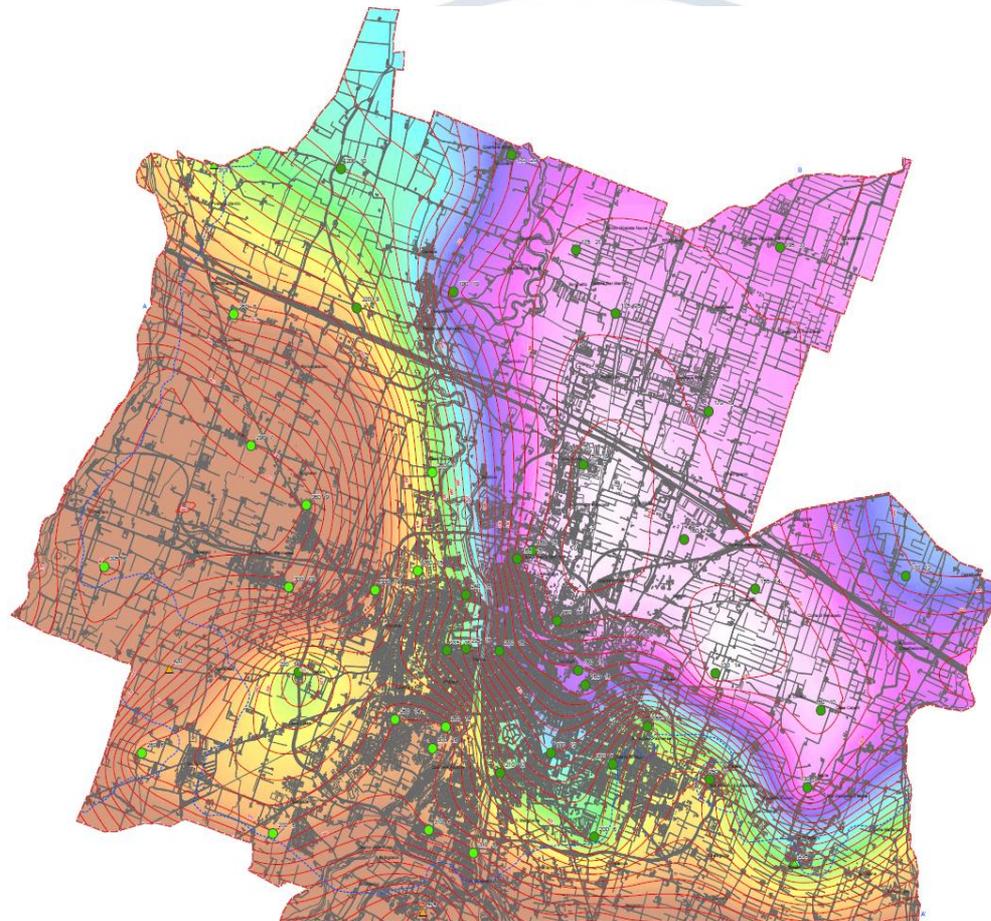
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

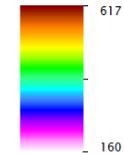
CONCLUSIONI

# Normativa nazionale - Elaborati richiesti

## SECONDO LIVELLO Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )



Valori di velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )



MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

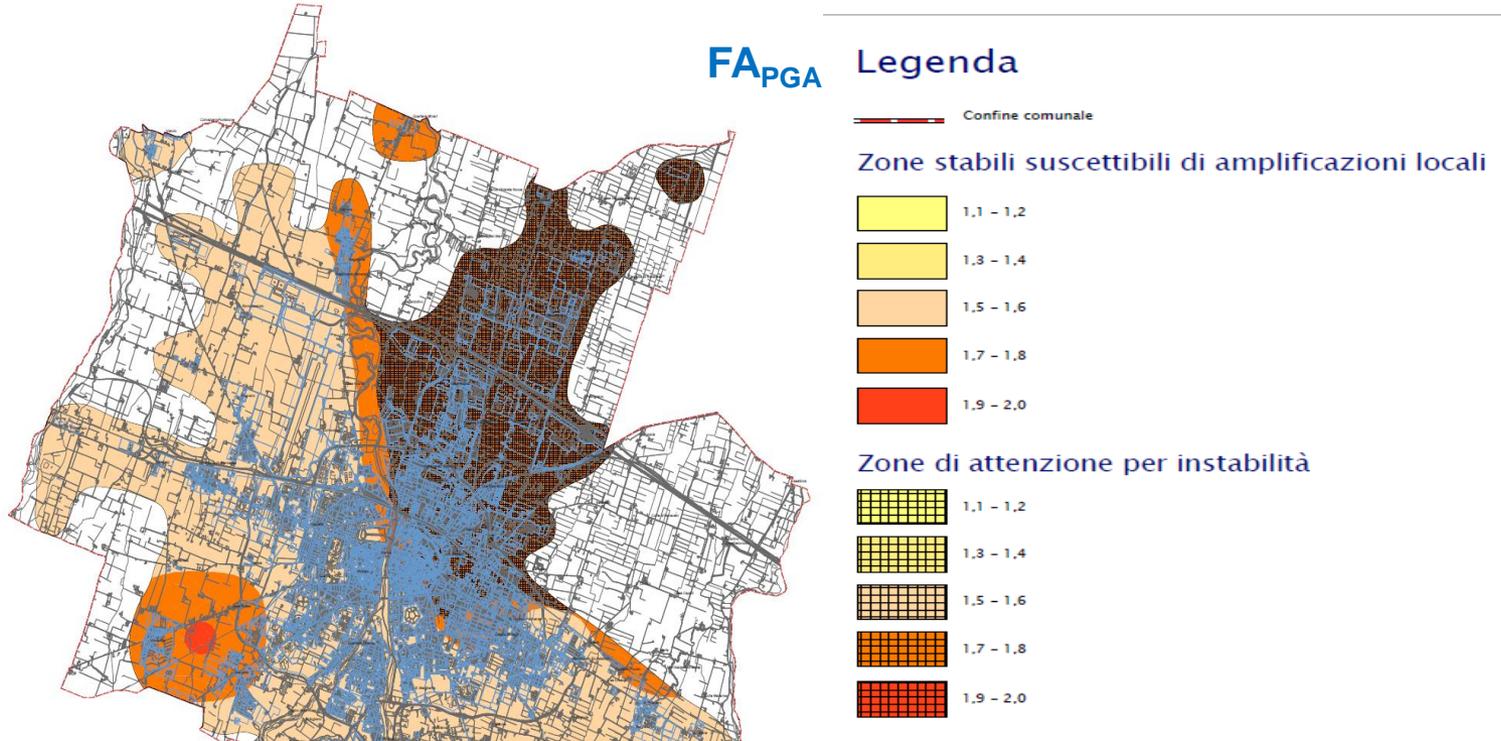
SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

## SECONDO LIVELLO

### Carte dei fattori di amplificazione delle aree



$$FA_{PGA} \sim S_s \text{ (NTC 2008)}$$

I fattori di amplificazione FA sono definite anche per range di periodi  $T$  delle strutture  $0.1 \text{ s} < T < 1.5 \text{ s}$

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

**NORMATIVA**

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

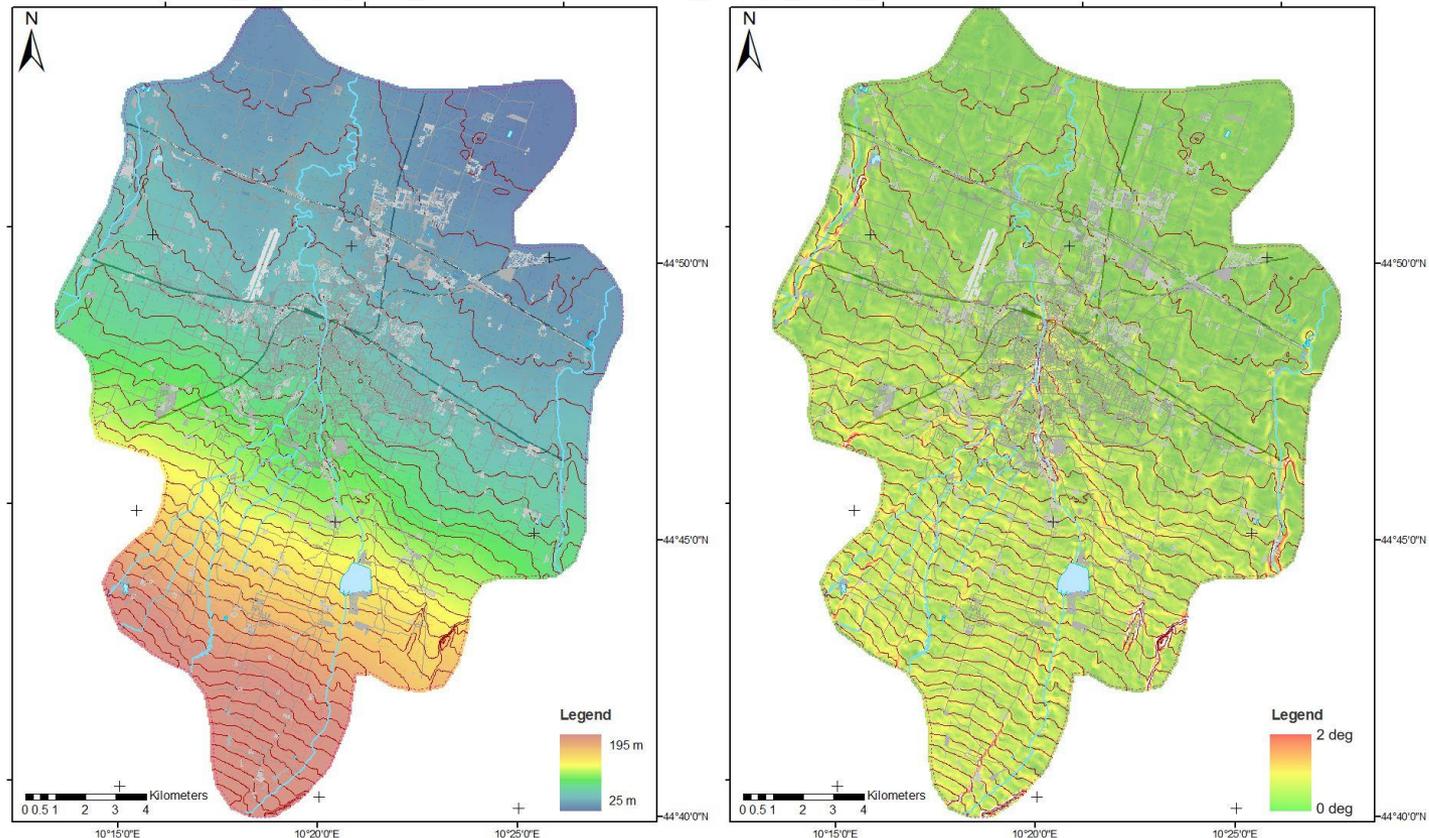
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Inquadramento geologico-geomorfologico

Il quadro geologico semplificato è stato impiegato per programmare in modo mirato la campagna di misure ottimizzando la rete di acquisizione.

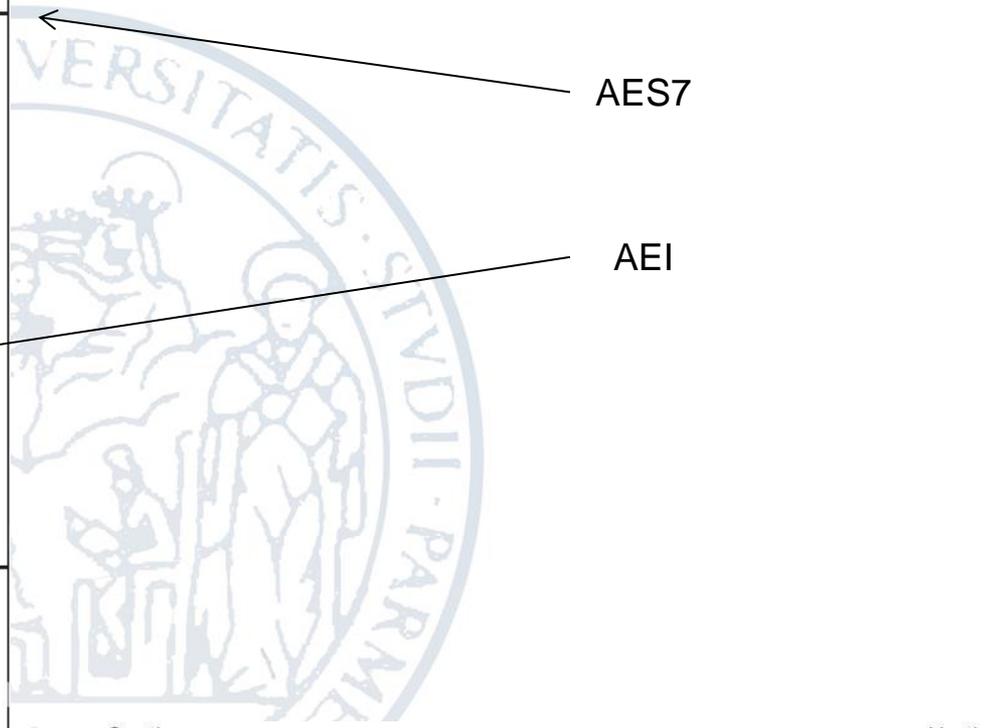
Morfologia:



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

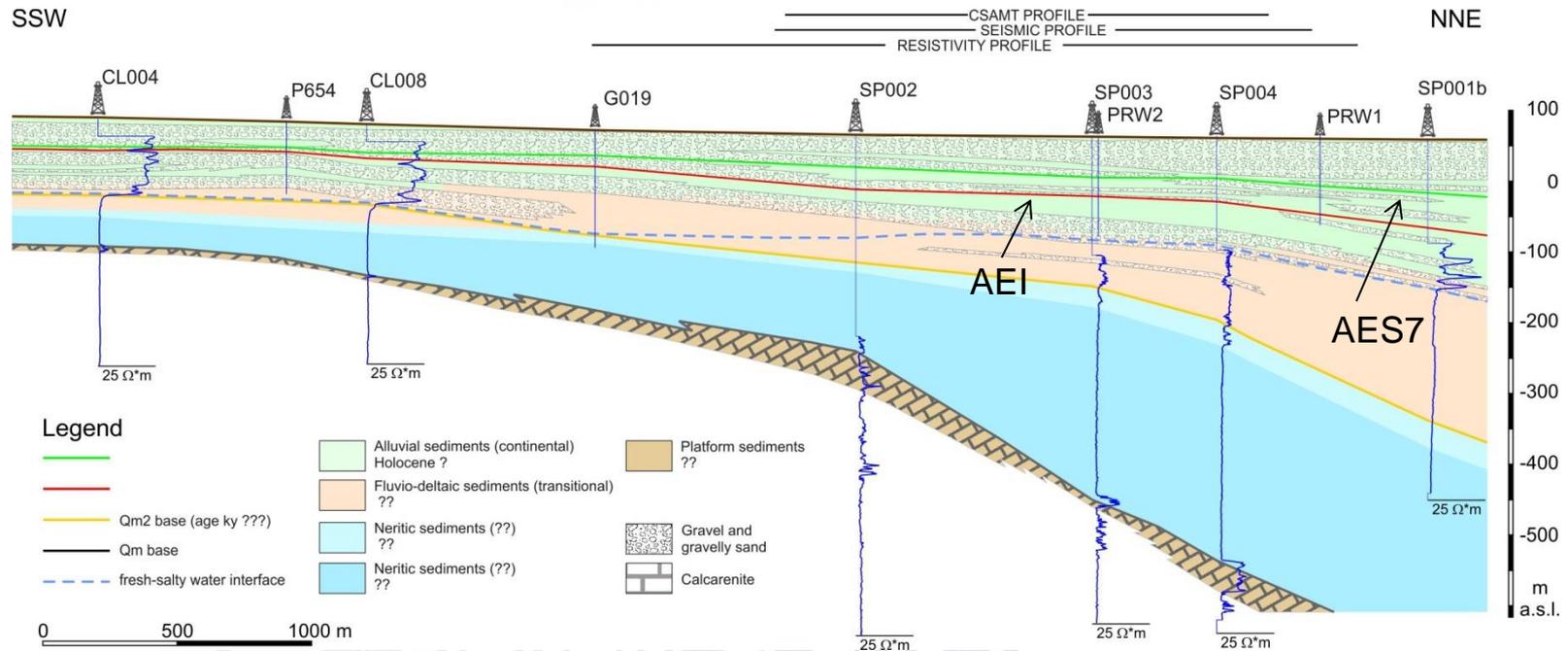
# Inquadramento geologico-geomorfologico

RER & ENI-AGIP (1998) mod.		TIPO	ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	Qc	-0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
SIN TETTONICO				AES8
POST TETTONICO				AES7
SIN TETTONICO				AES6
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	Qc	-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
SIN TETTONICO				
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO	Qm	-1.0	PLEISTOCENE INFERIORE
SIN TETTONICO				
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO	Qm	-0.80	PLEISTOCENE INFERIORE
SIN TETTONICO				
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO	Qm	-0.94	PLEISTOCENE INFERIORE
SIN TETTONICO				
POST TETTONICO	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO	Qm	-1.72	PLEISTOCENE SUPERIORE
SIN TETTONICO				



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Inquadramento geologico-geomorfologico

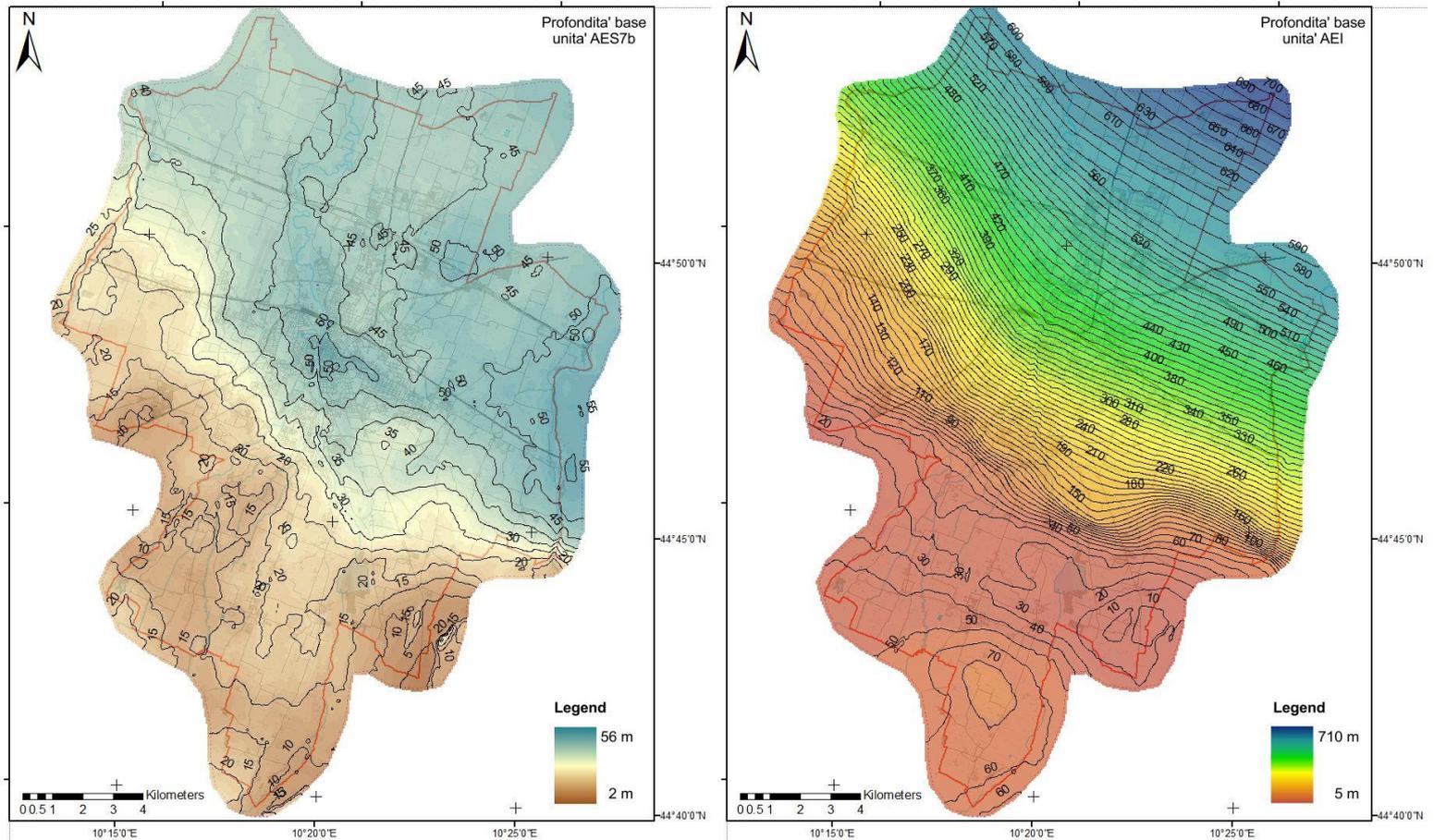


Modello geologico (superfici chiave)

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Inquadramento geologico-geomorfologico

Il problema della definizione di un bedrock sismico ( $V_i/800$  m/s oppure  $V_1/V_2$  ?).



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Inquadramento geologico-geomorfologico

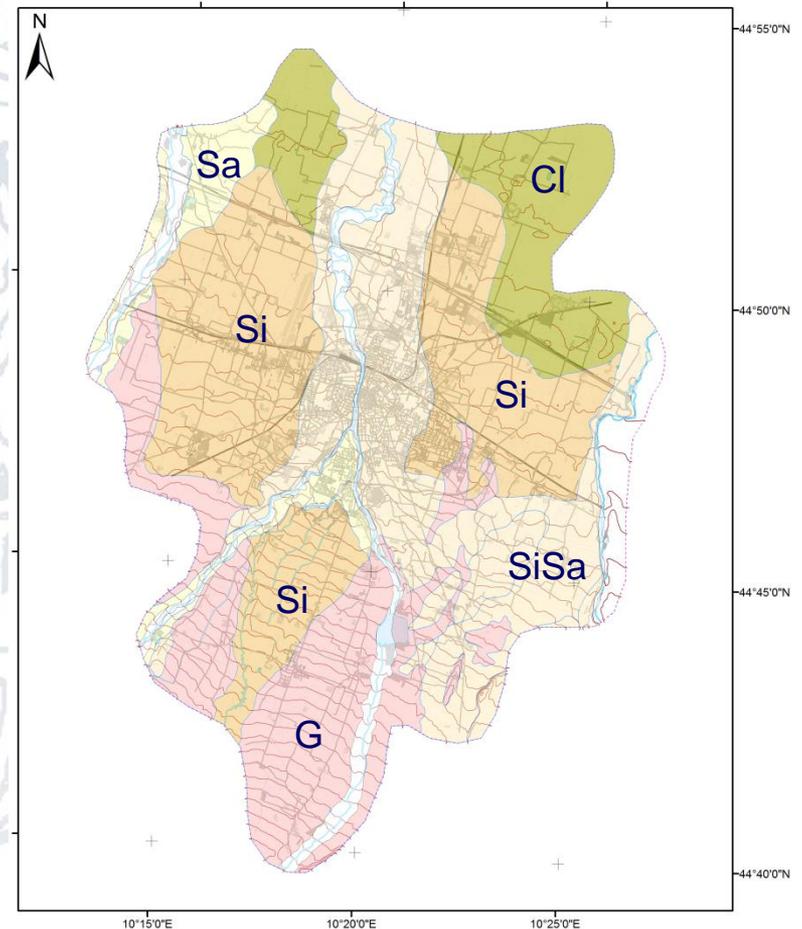
E' stato possibile verificare con un processo di feed-back la congruenza del dato geofisico con l'assetto geologico-geomorfologico del territorio comunale.

Geologia:  
Mappa dei depositi affioranti

La terza dimensione ?

Analisi dati da:  
db comunale;  
db provinciale;  
db regionale (+ CARG);  
perforazioni AGIP;  
geofisica profonda AGIP.

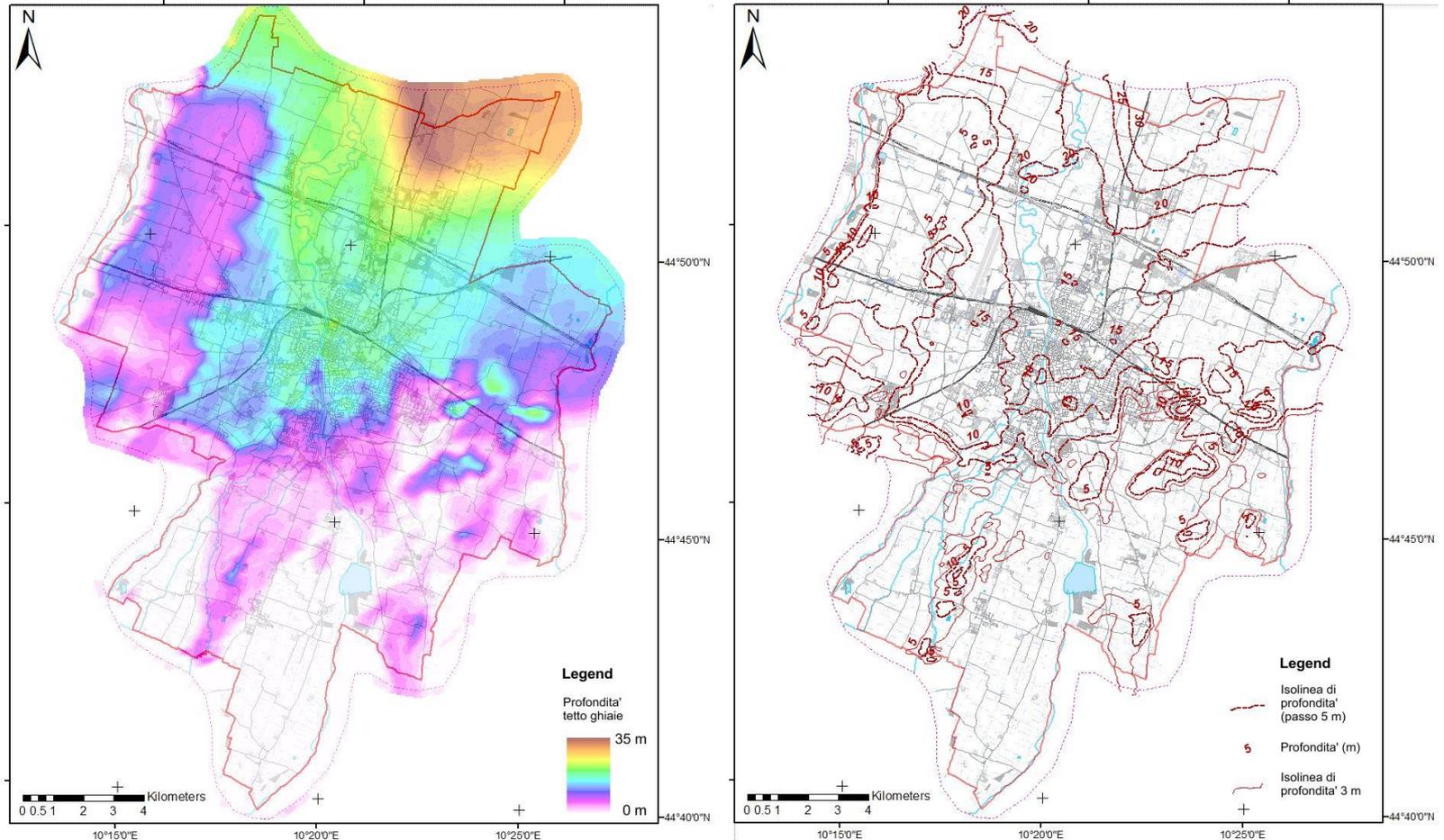
2000 prove disponibili:  
S, CPT, Pozzi per acqua, etc



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

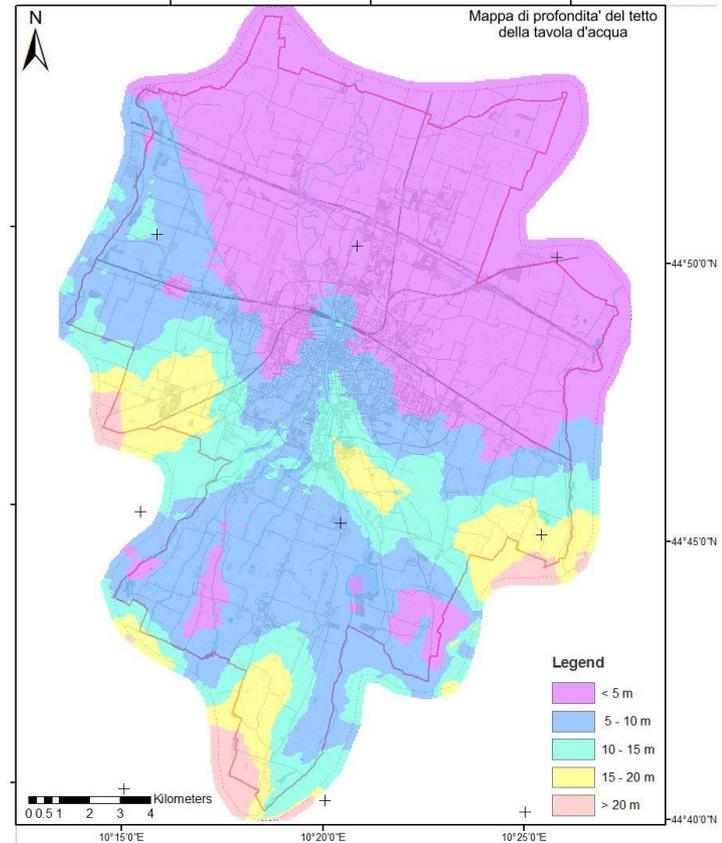
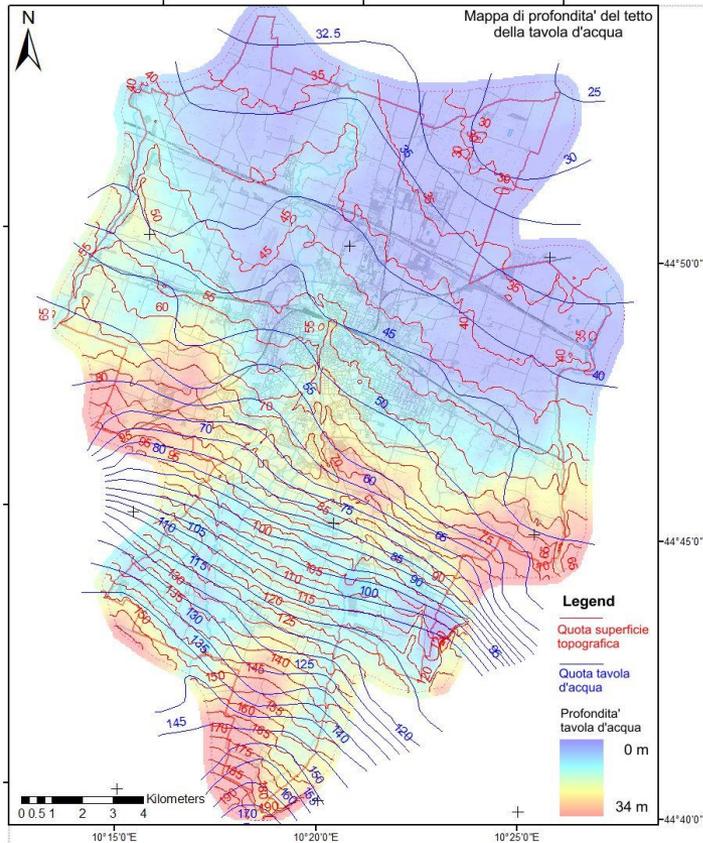
# Inquadramento geologico-geomorfologico

## Mappa del tetto delle ghiaie (diacrone).



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE**
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Inquadramento geologico-geomorfologico



La definizione delle aree con presenza di sabbie potenzialmente liquefacibili (in relazione alla soggiacenza della falda) ha permesso di ottenere uno dei livelli informativi costituenti lo studio.

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

**GENERALITÀ  
GEOLOGICHE**

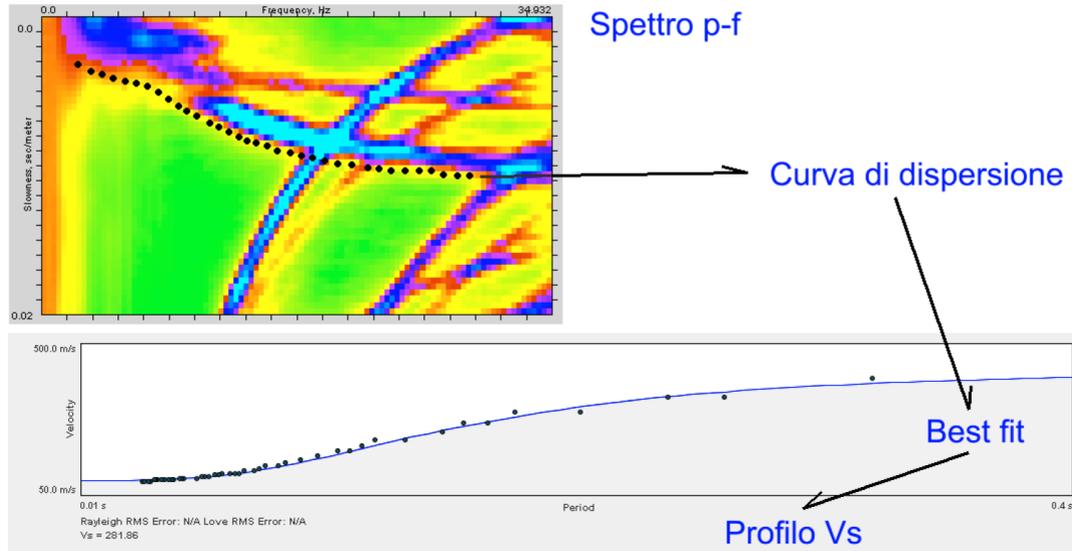
RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# La rete di misura (i metodi)



Spettri di dispersione  
Onde di Rayleigh

ReMi / MASW / Sasw

$$K = \frac{V_R}{V_S} = \frac{0.87 + 1.12\sigma}{1 + \sigma};$$

Viktorov (1967)

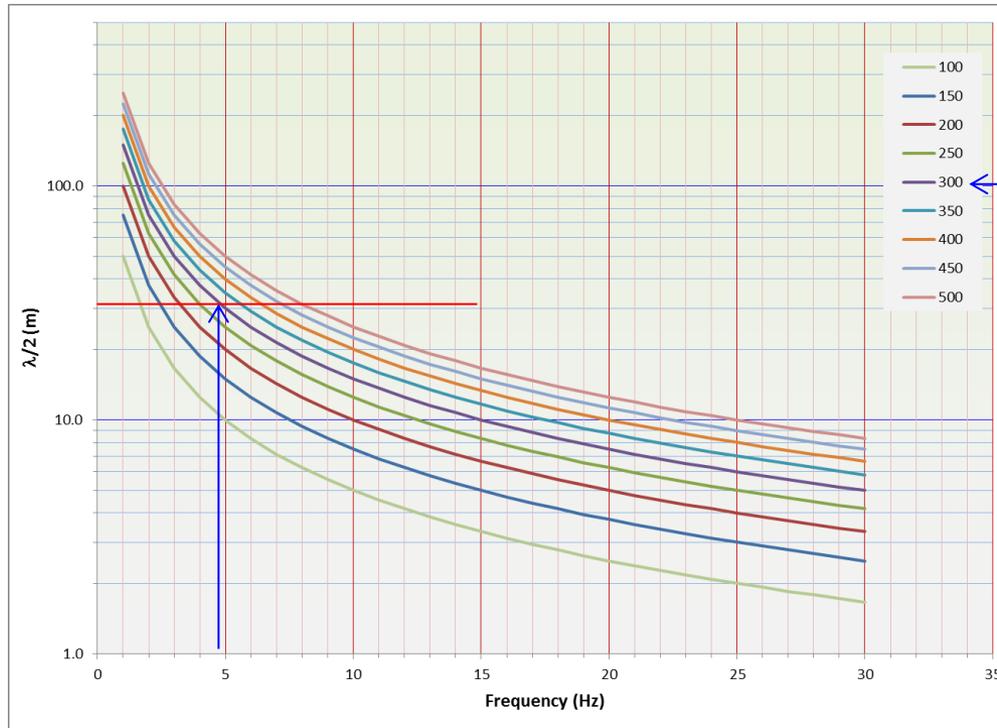
*Stokoe, 1994; Park et al., 1999; Louie, 2001*

In generale limitata profondita' di investigazione ... Tra tutti i metodi meglio Remi modificato o combinazione ReMi – MASW ...

... non facile arrivare a 30 m ...

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA**
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La rete di misura (i metodi)



VR media  
300 m/s

Profondita' di penetrazione delle onde di Rayleigh con l'approssimazione  $\lambda/2$

Stokoe et al., 1994

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

**RETE DI MISURA**

SINTESI DEI DATI

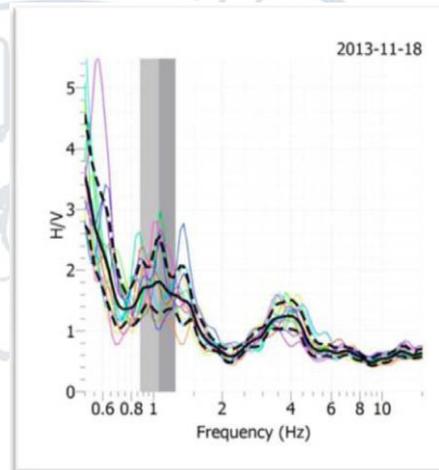
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

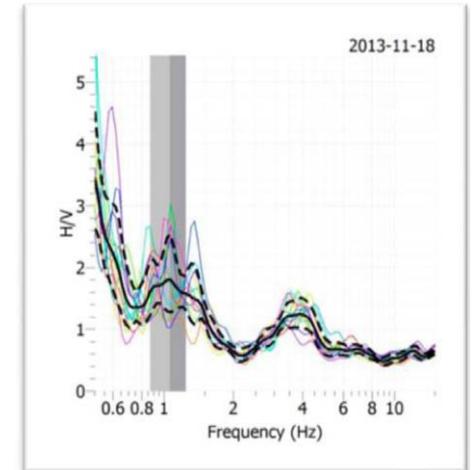
# La rete di misura (i metodi)

## Metodo HVSR (frequenza di sito)

Misura del periodo di **risonanza** con due diversi sensori



Nanometrics  
0.05 Hz



Lennartz  
1.00 Hz

*Nogoshi and Igarashi, 1971*  
*Nakamura, 1989*

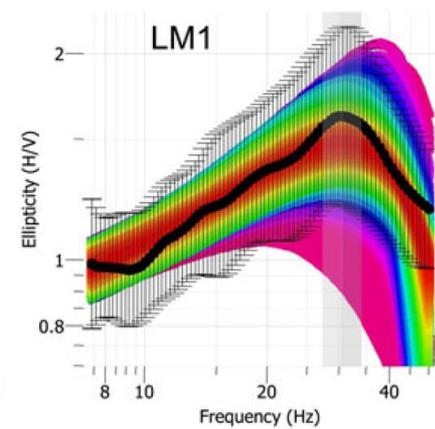
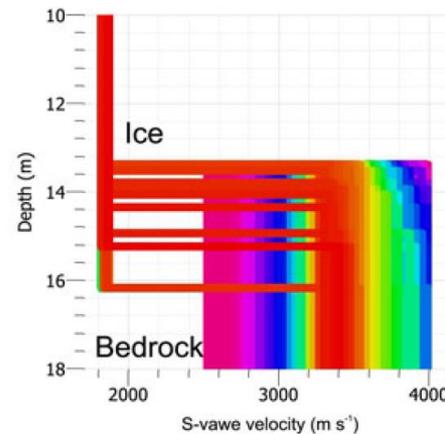
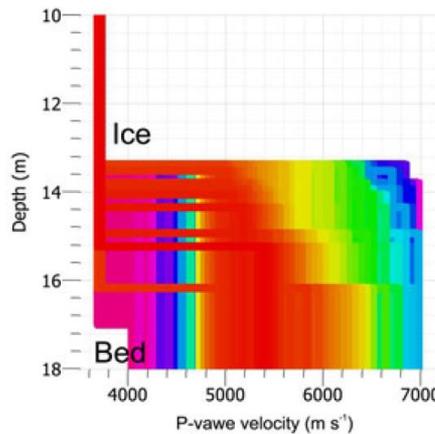
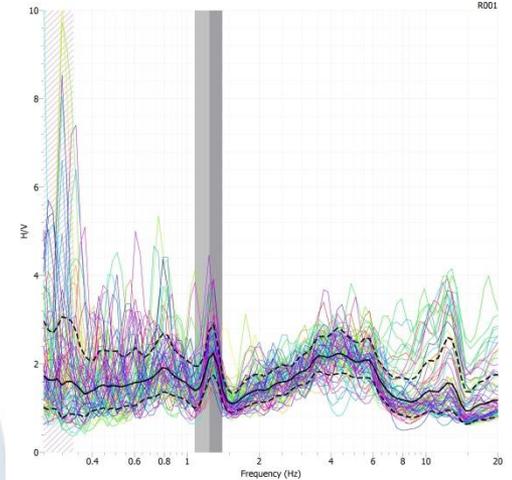
Contribuisce al raffinamento del modello

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA**
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La rete di misura (i metodi)

Metodo HVSR (inversione della curva di ellitticità)

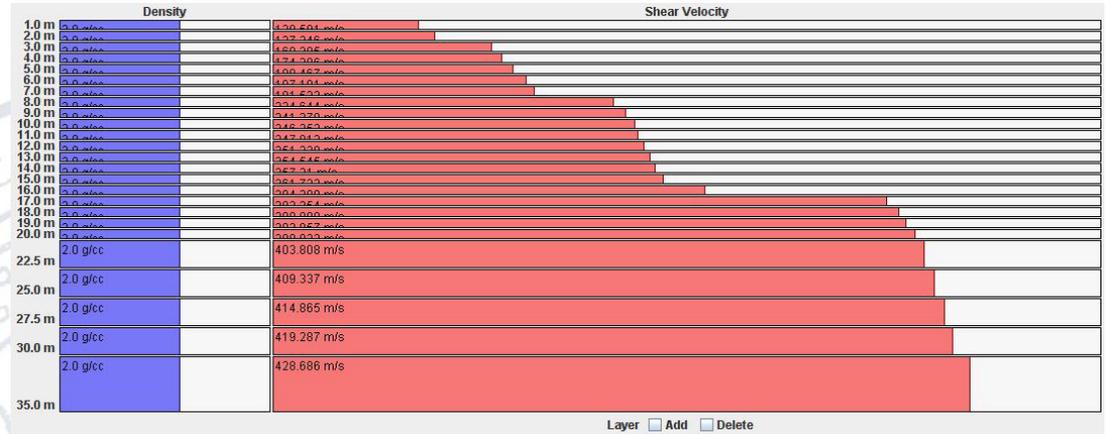
Stazionarietà del segnale alle basse frequenze ?  
Tomografi vs Sismometri (fn)



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA**
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

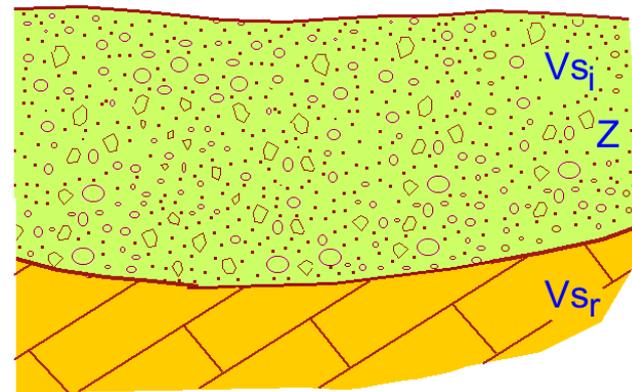
# La rete di misura (le informazioni di sintesi)

Metodo ReMi



Stratigrafia di  $V_s$  e/o  $V_s$  media su un intervallo

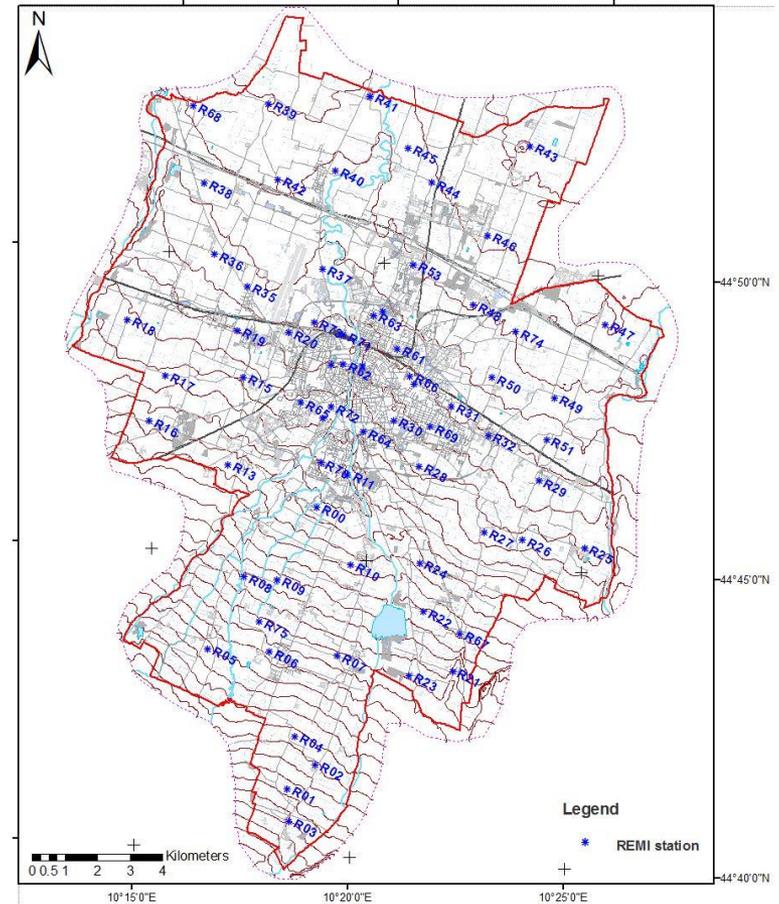
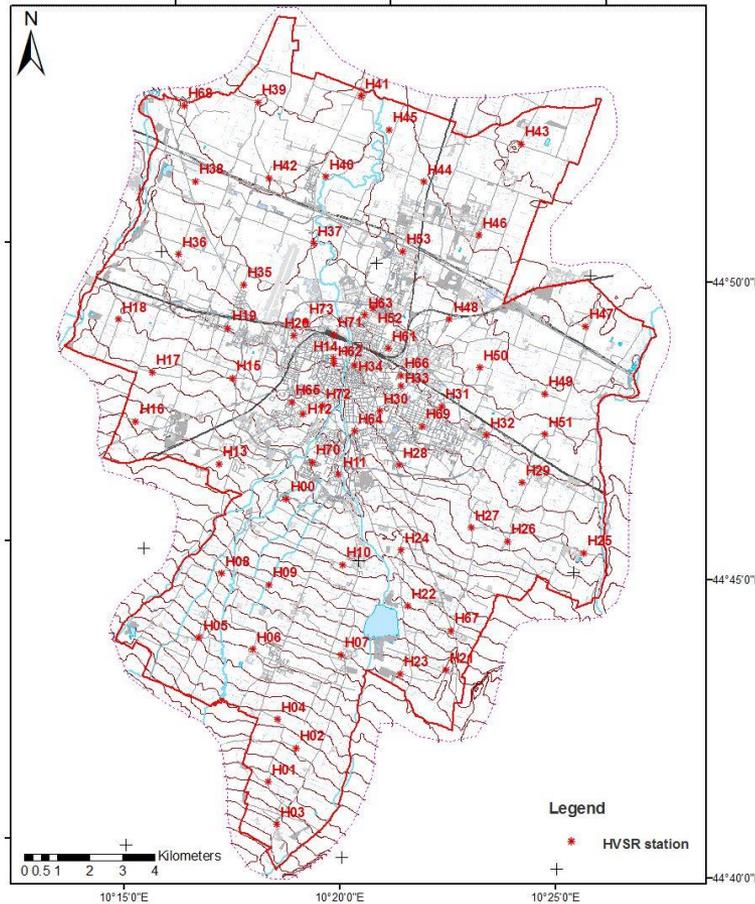
Metodo Nakamura (HVSR)



Rapporto  $V_{si}/V_{sr}$  e  $Z$

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA**
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# La rete di misura (i siti)



Sono state acquisite un totale di 69 stazioni di misura della  $V_S$  e 67 stazioni di misura dei Microtremori - HVSR

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA**
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

Lo studio di MS si svolge in un perimetro normativomolto rigido nel quale sono definiti nei dettagli gli standard degli elaborati da produrre:

La sintesi del I livello e' la Carta delle MOPS;

La sintesi del II livello e' la Carta di MS con i diversi FA (PGA, SI<sub>f</sub>).

Operando in questa modalita' rimane poco spazio per una vera e propria analisi dei dati disponibili e di quelli di nuova acquisizione.

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

**SINTESI DEI DATI**

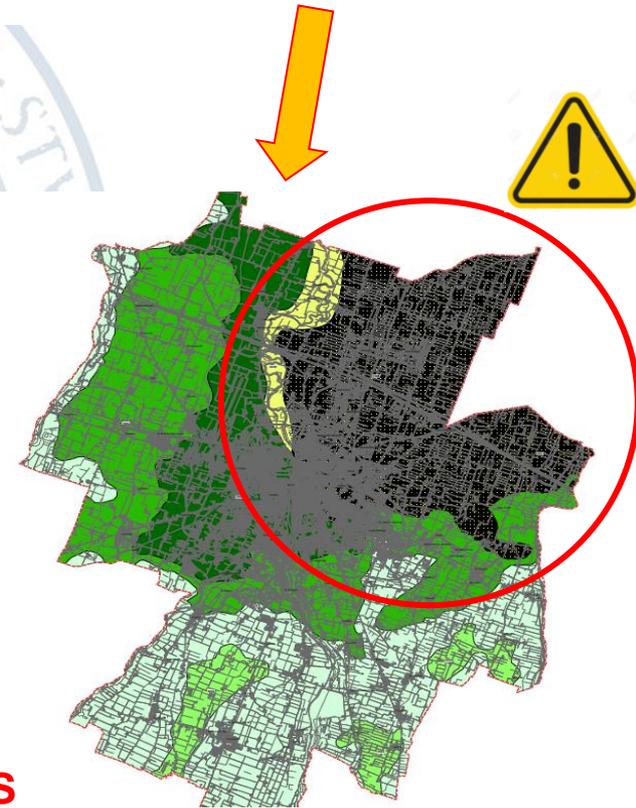
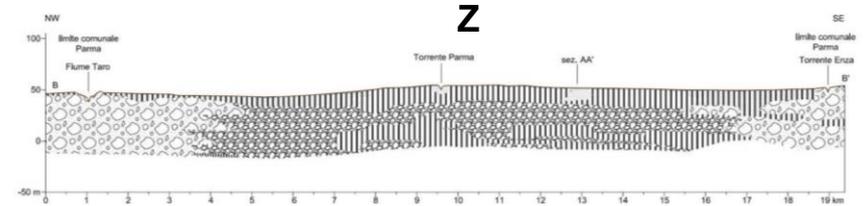
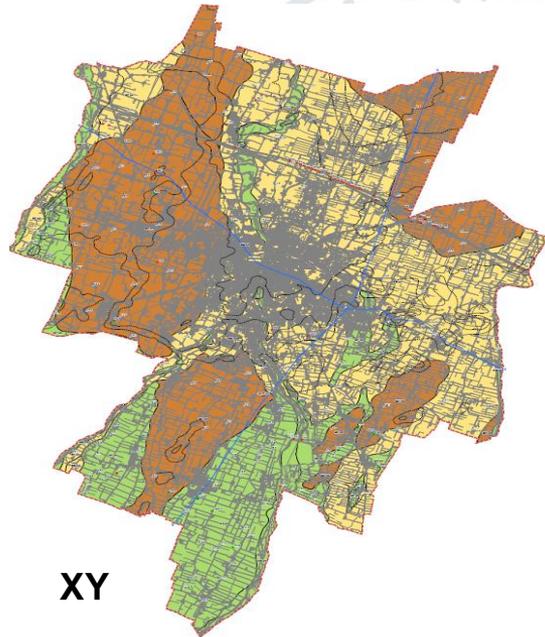
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Risultati (I livello)

## PRIMO LIVELLO

### Carta geologico-tecnica

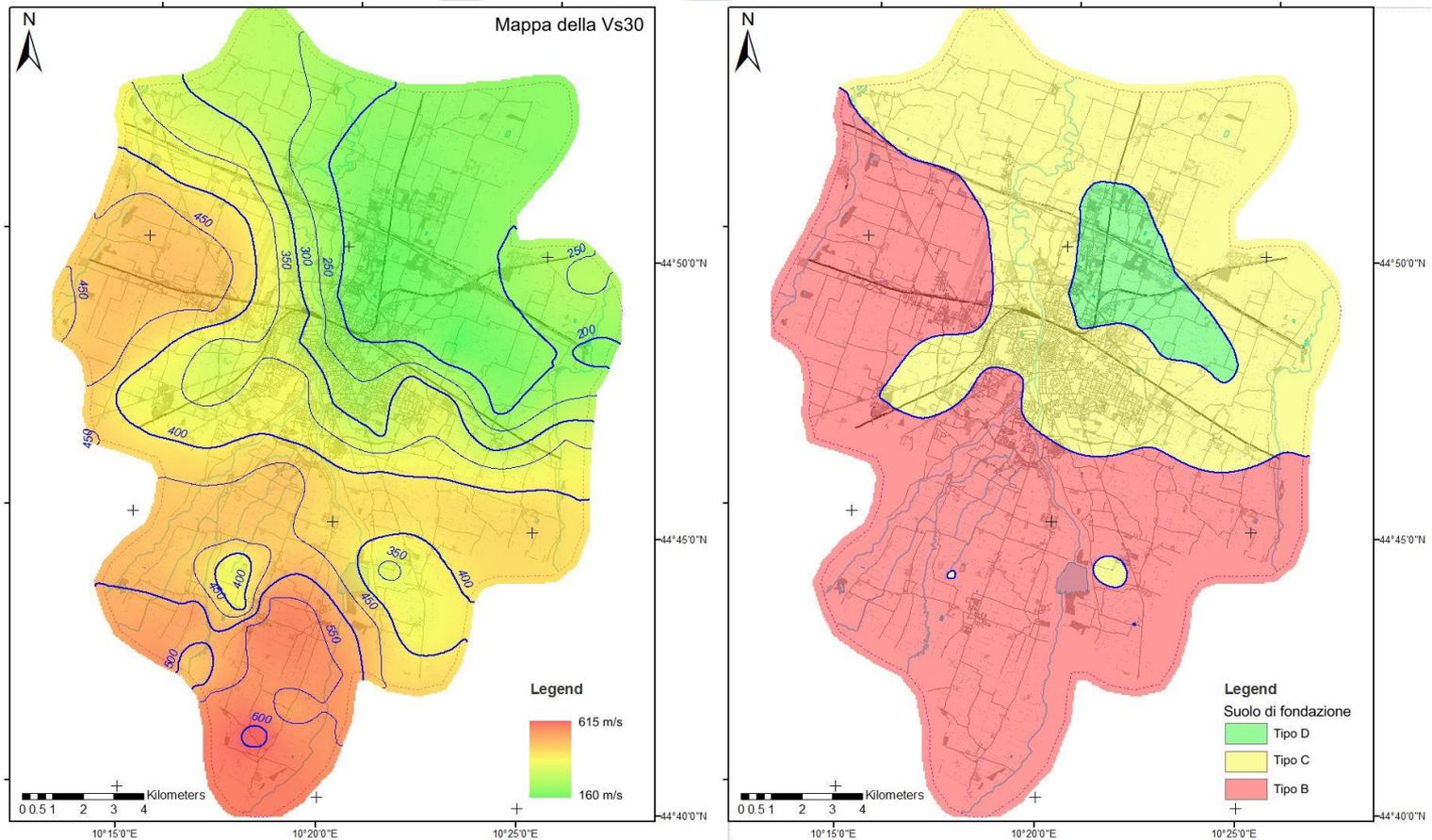


Zona di attenzione per instabilità da approfondire con il 3° livello (potenziale liquefazione)

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (Mappatura della Vs)

## Mappa della Vs30 (dato quantitativo e parametro oggettivo)

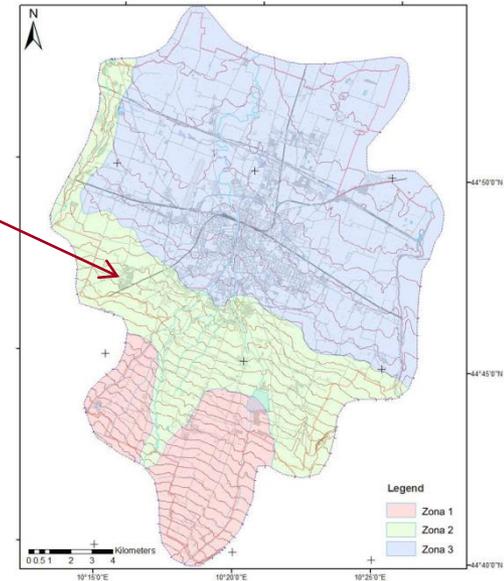


- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (II livello)

Scelta dei FA sulla base di:  
Tipozona, Zbedrock, V<sub>sh</sub>

Esempio: Zona 2 (Margine Appenninico)



		PGA																		
		VSh	150	160	170	180	190	200	250	260	270	280	290	300	350	400	450	500	600	700
Z(m)	5	2.3	2.28	2.26	2.24	2.22	2.1	1.8	1.74	1.68	1.62	1.56	1.5							
Z(m)	10	2.3	2.28	2.26	2.24	2.22	2.2	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8							
Z(m)	15	2.1	2.08	2.06	2.04	2.02	2.1	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8							
Z(m)	20	2.1	2.08	2.06	2.04	2.02	2.1	2.0					1.9							
Z(m)	25	2.0	1.98	1.96	1.94	1.92	2.0	2.0					1.9							
Z(m)	30	1.9					1.9	1.9					1.9							
Z(m)	35																			
Z(m)	40																			
Z(m)	45																			
Z(m)	50																			

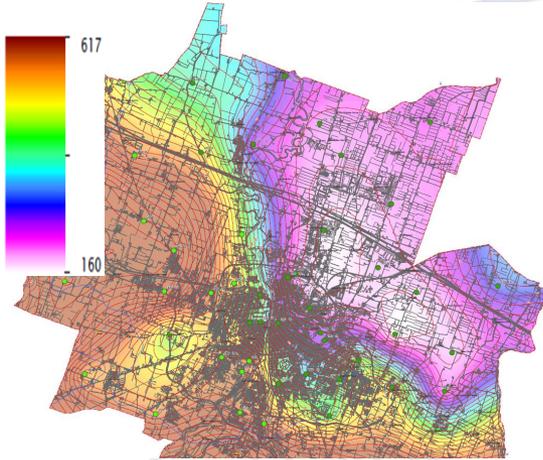
		S11	2Hz					10Hz		0.1										
		VSh	150	160	170	180	190	200	250	260	270	280	290	300	350	400	450	500	600	700
Z(m)	5	2.2					1.9	1.7	1.68	1.66	1.64	1.62	1.6							
Z(m)	10	2.6					2.4	2.0	1.96	1.92	1.88	1.84	1.8							
Z(m)	15	2.6	2.58	2.56	2.54	2.52	2.5	2.2	2.14	2.08	2.02	1.96	1.9							
Z(m)	20	2.5					2.5	2.3					2.0							
Z(m)	25	2.3					2.3	2.2					2.1							
Z(m)	30	2.1					2.1	2.1					2.0							
Z(m)	35																			
Z(m)	40																			
Z(m)	45																			
Z(m)	50																			

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

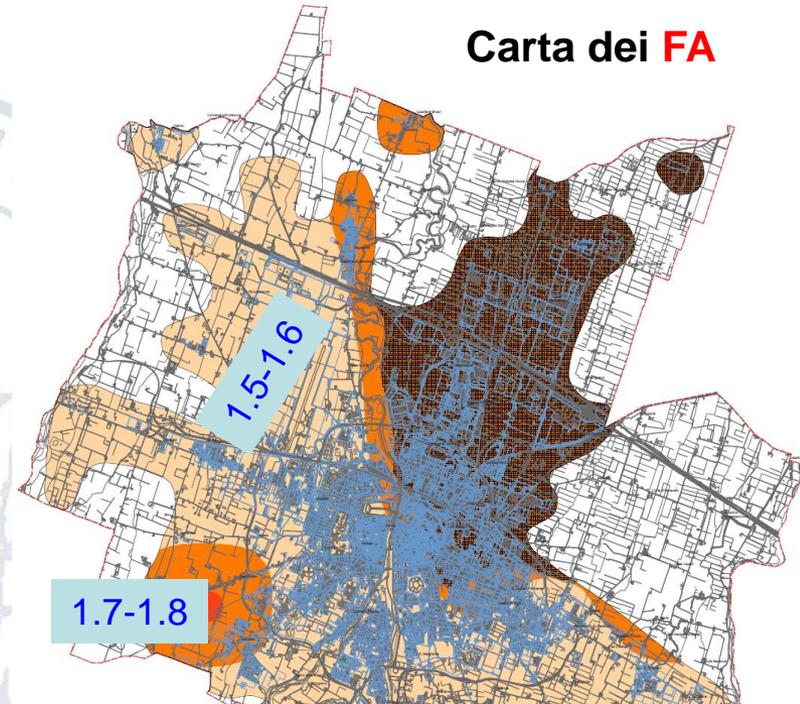
# Risultati (II livello)

## SECONDO LIVELLO

Carta delle  $V_s$  (al bedrock ?)



Carta dei **FA**



Carta delle frequenze  
(prevista ... declinata ?)

Carta della  $Z$  al bedrock ?

$$FA_{PGA} \sim S_s \text{ (NTC 2008)}$$

I fattori di amplificazione FA sono definiti anche per un intervallo di periodi  $T$  delle strutture  $0.1 \text{ s} < T < 1.5 \text{ s}$

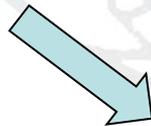
- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (II livello)

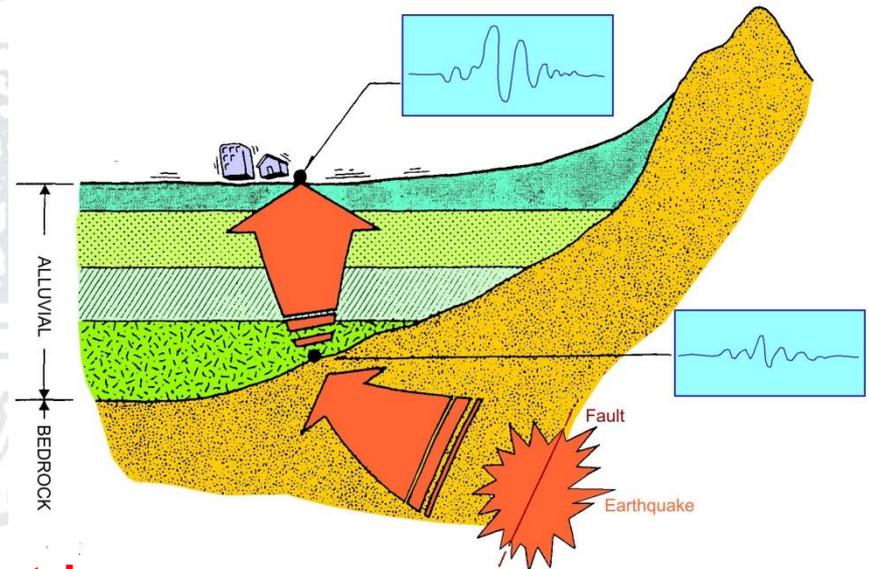
Z al bedrock e  $V_s$  al bedrock sono quindi i due parametri cruciali che devono essere misurati, descritti e rappresentati al meglio al fine di "incasellare" i valori numerici dei FA ed effettuare un'analisi semiquantitativa.

Il principale problema in pianura e' la definizione di bedrock sismico inteso come superficie in corrispondenza della quale vi e' un forte contrasto di impedenza (definita con  $V \cdot \rho$ ).

**Modello geologico concettuale**



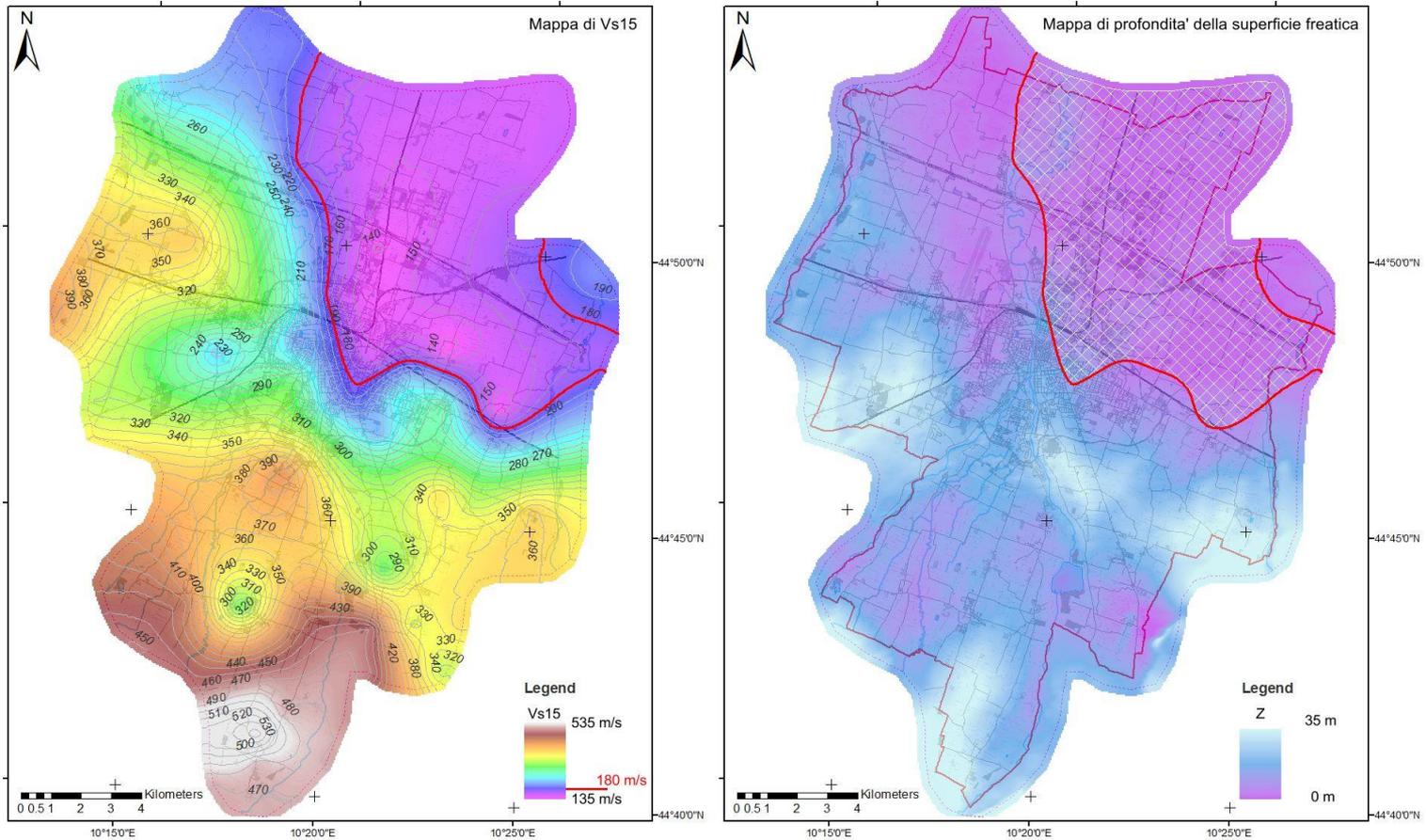
**Modello geologico parametrico**



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (Stima della liquefacibilita' dei suoli)

Mappa della Vs15 (dato quantitativo) e liquefacibilita' potenziale (semiquantitativa)



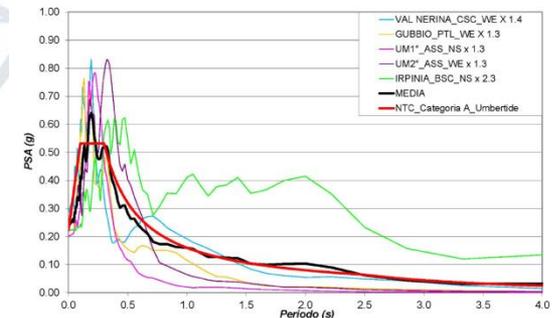
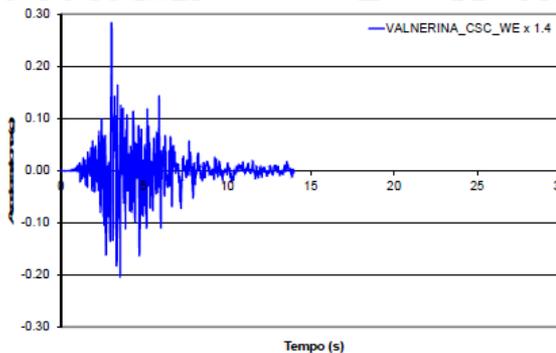
- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (analisi di RSL) – ulteriori approfondimenti

Il passo successivo, ma non era questo l'obiettivo dello studio, e' quello di stimare quantitativamente la Risposta Sismica Locale (RSL).

Come si procede:

1. costruzione **modello elastico-acustico** del sottosuolo  $\rightarrow$  H, VP, VS,  $\rho$ ;
2. Scelta dell'input sismico tra quelli disponibili su suoli di categoria A (<http://www.eucentre.it/seismhome.html>);



3. Eventuale normalizzazione e media;

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

**SINTESI DEI DATI**

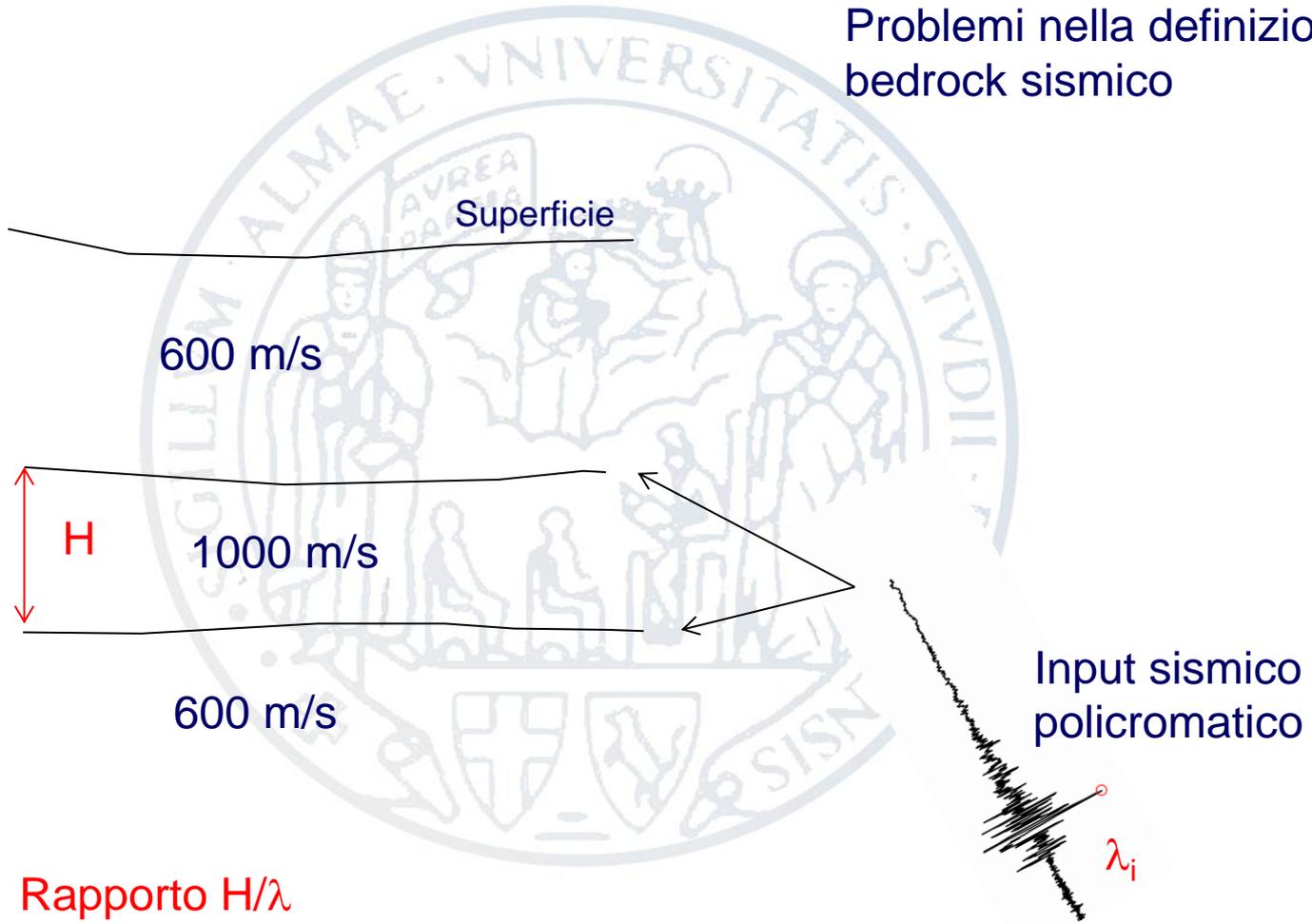
IMPLICAZIONI

CONCLUSIONI

# Risultati (analisi di RSL) – ulteriori approfondimenti

modello elastico-acustico

Problemi nella definizione del bedrock sismico



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (analisi di RSL) – ulteriori approfondimenti

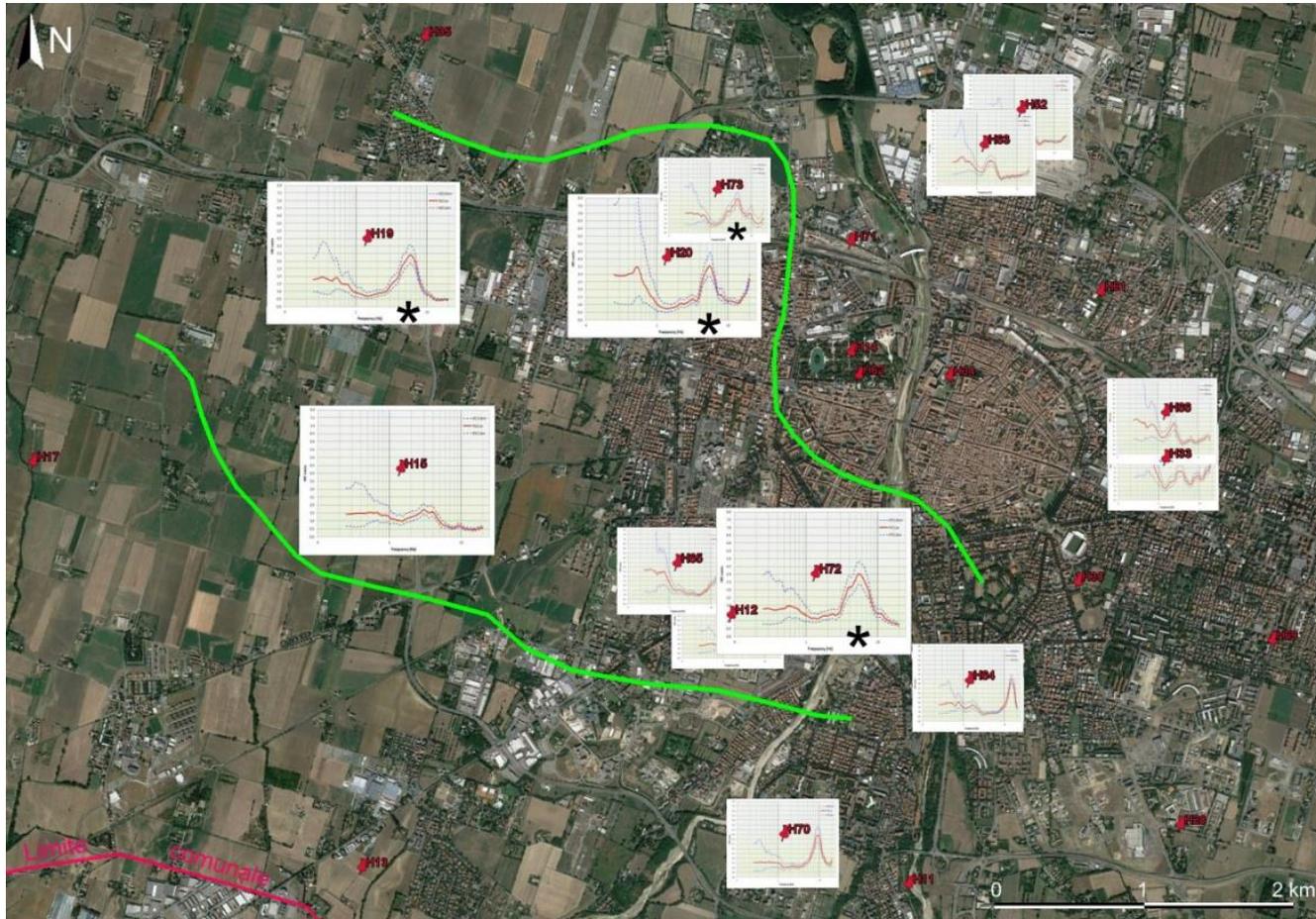
4. Simulazione della propagazione dell'input (con vari codici di calcolo) e valutazione delle eventuali amplificazioni (spesso lo spettro di normativa non e' sufficientemente cautelativo).

Geometria	Codice di calcolo (riferimento)	Tipo di analisi		Ambiente operativo
1-D	SHAKE (Schnabel et al., 1972) SHAKE91 (Idriss & Sun, 1992)	LE	TT	DOS
	PROSHAKE (EduPro Civil System, 1999) SHAKE2000 (www.shake2000.com) EERA (Bardet et al., 2000)* STRATA (Kottke & Rathje, 2008)*			Windows
	NERA (Bardet & Tobita, 2001)* DEEPSOIL (Hashash e Park, 2001)	NL	TE	DOS
	DESRA_2 (Lee & Finn, 1978) DESRAMOD (Vucetic, 1986) D-MOD_2 (Matasovic, 1995) SUMDES (Li et al., 1992)			Windows
	CYBERQUAKE (www.brgm.fr)			Windows
2-D / 3-D	QUAD4 (Idriss et al., 1973) QUAD4M (Hudson et al., 1994) FLUSH (Lysmer et al., 1975)	LE	TT	DOS
	QUAKE/W vers. 5.0 (GeoSlope, 2002)			Windows
	DYNAFLOW (Prevost, 2002) GEFDYN (Aubry e Modaressi, 1996) TARA-3 (Finn et al., 1986)	NL	TE	DOS
	FLAC 5.0 (Itasca, 2005) PLAXIS 8.0 (www.plaxis.nl)			Windows
TT = Tensioni Totali; TE = Tensioni Efficaci; LE = Lineare Equivalente; NL = Non Lineare *gratuito				

Si tratta di un ottimo esercizio che purtroppo e' molto spesso e' poco o per nulla descrittivo della realta' fisico-geologica per la scarsa disponibilita' di dati affidabili (vedi punto 1).

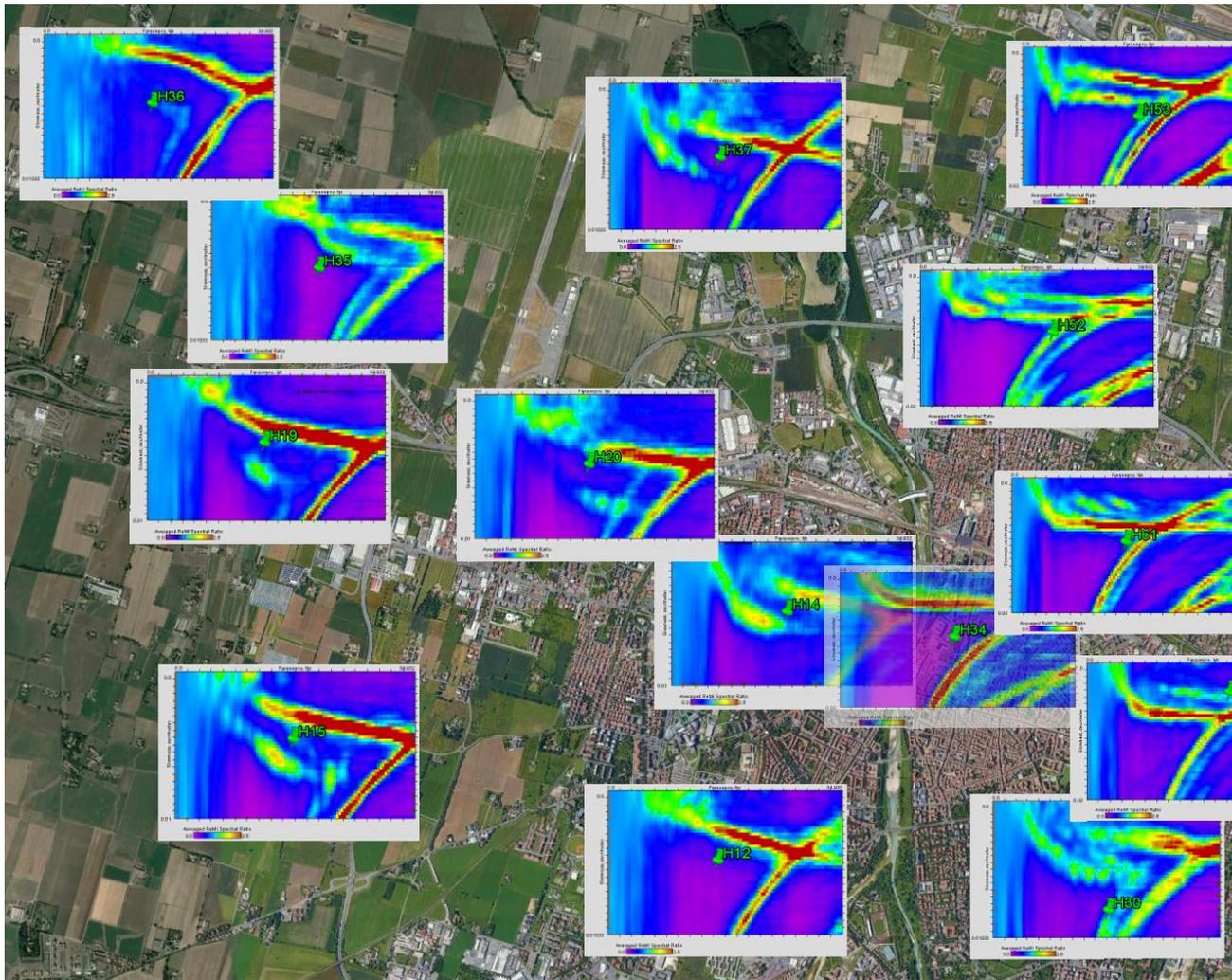
MOTIVAZIONI  
LA ZONAZIONE SISMICA  
PERICOLOSITA'  
NORMATIVA  
GENERALITÀ GEOLOGICHE  
RETE DI MISURA  
**SINTESI DEI DATI**  
IMPLICAZIONI  
CONCLUSIONI

# Risultati (zone anomale)



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

# Risultati (zone anomale)



- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI**
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

## Esempio di disposizioni contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione di un Piano Strutturale Comunale:

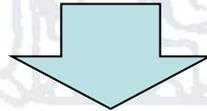
MS

....

Le porzioni di territorio in cui sono **possibili fenomeni instabilità** sono soggette ad **approfondimenti di terzo livello** per la stima degli indici di pericolosità e/o fattori di sicurezza e dei cedimenti e spostamenti attesi. In tali aree, preventivamente ad ogni trasformazione urbanistico - edilizia da realizzarsi negli ambiti urbani consolidati, insediamenti di nuova previsione e nel territorio rurale, **deve essere effettuata l'analisi di suscettività alla instabilità individuata e** per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione **non è ammesso l'approccio semplificato** previsto dalle vigenti norme tecniche per le costruzioni e dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e spostamenti.

...

In relazione al periodo fondamentale di vibrazione delle strutture, al fine di evitare il **fenomeno della doppia risonanza** e contenere gli effetti del sisma, gli strumenti attuativi e/o titoli abilitativi diretti, devono garantire che gli interventi edilizi realizzino la minore interferenza tra periodo di vibrazione del terreno e periodo di vibrazione delle strutture.



*es: progettare la struttura in modo che il suo periodo principale  $T_1$  sia significativamente differente dal periodo del terreno*

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

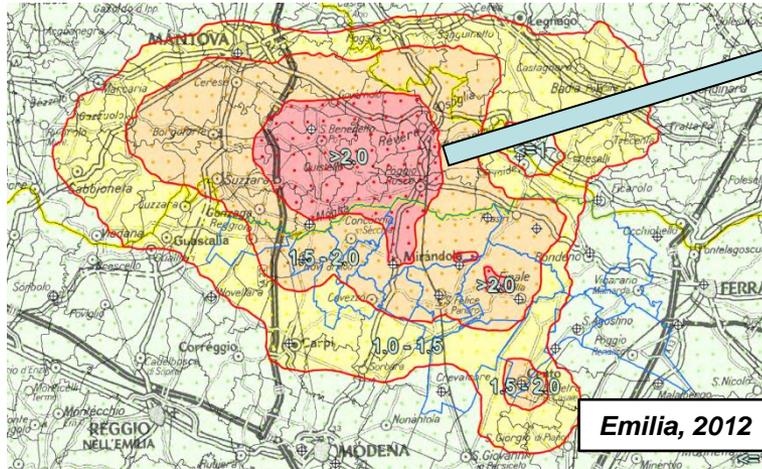
SINTESI DEI DATI

**IMPLICAZIONI**

CONCLUSIONI

# Ripercussioni sulla progettazione

## Importanza dei fattori di amplificazione

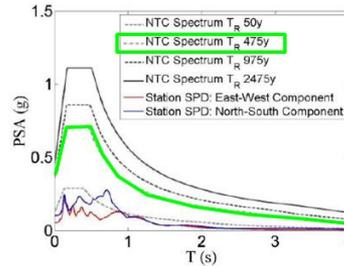
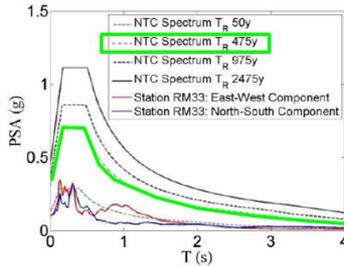
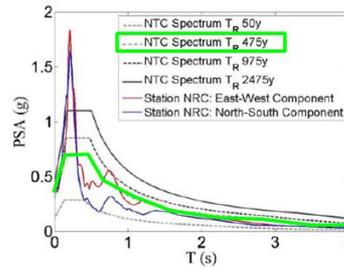
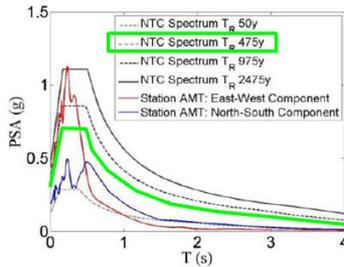


$S_s > 2$

$S_s$  da NTC 2008 (metodo semplificato),  
cat. sottosuolo D:  $S_{s,max} = 1.8$

Tabella 3.2.V - Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$



Il metodo semplificato previsto dalle NTC2008 potrebbe sottostimare l'effetto dell'amplificazione locale

Centro Italia, 2016

Cosa fare...

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI**
- CONCLUSIONI

# Ripercussioni sulla progettazione

## Importanza dei fattori di amplificazione

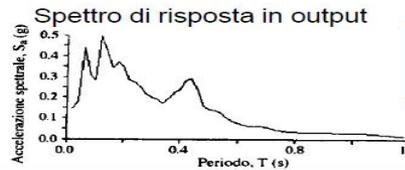
Migliore valutazione degli effetti dell'amplificazione locale tramite  
**ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE:**

Dati di input

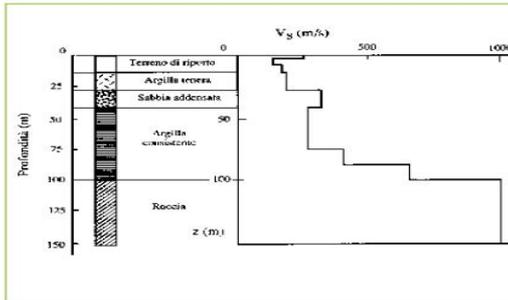
- Prove in situ;
- Modello geofisico/geotecnico del sito;
- Accelerogrammi spettro-compatibili (cat. A);

Dati di output

- Accelerogramma di superficie e conseguente spettro di risposta



Procedura numerica per il calcolo dello spettro di risposta elastico



La procedura numerica simula la stratigrafia mediante opportuni equivalenti meccanici

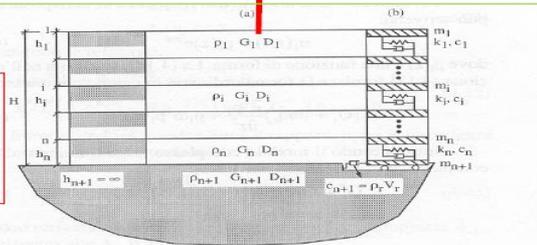
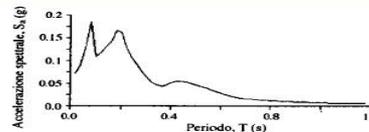
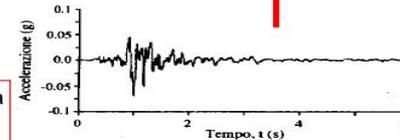


Fig. 4.6. Sottosuolo stratificato discretizzato in strati continui (a) e masse concentrate (b).



Spettro di risposta in input

Procedura numerica per il calcolo dello spettro di risposta elastico



Moto di input

- MOTIVAZIONI
- LA ZONAZIONE SISMICA
- PERICOLOSITA'
- NORMATIVA
- GENERALITÀ GEOLOGICHE
- RETE DI MISURA
- SINTESI DEI DATI
- IMPLICAZIONI
- CONCLUSIONI

- Lo studio di microzonazione sismica ha consentito di **completare la banca dati comunale** con le caratteristiche sismiche dei diversi corpi deposizionali completando il quadro conoscitivo;
- Le mappe tematiche costituiscono una **nuova banca dati** di immediata applicazione nel campo ingeneristico e in quello delle attività di protezione civile;
- Lo studio rappresenta un **documento di indirizzo** a supporto dei futuri approfondimenti (RSL) che saranno condotti alla scala di singoli progetti o di aree specifiche;

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

**CONCLUSIONI**

- Eventuali attività future saranno concentrate su due temi: l'approfondimento dello studio al III livello ed il raffittimento delle misure per ottenere informazioni via via più affidabili sulle caratteristiche sismiche del suolo e del sottosuolo.

MOTIVAZIONI

LA ZONAZIONE  
SISMICA

PERICOLOSITA'

NORMATIVA

GENERALITÀ  
GEOLOGICHE

RETE DI MISURA

SINTESI DEI DATI

IMPLICAZIONI

**CONCLUSIONI**

Buona giornata !



Roberto Francese  
roberto.francese@unipr.it  
rfrancese@inogs.it

