



## Le conoscenze geologiche 10 anni dopo

Venerdì 27 maggio 2022

Bologna | viale della Fiera, 8

Terza Torre | Sala 20 maggio 2012

## Sisma 2012: le conoscenze geologiche prima e dopo

Luca Martelli

Regione Emilia-Romagna

Settore Difesa del Territorio

Area Geologia, Suoli e Sismica

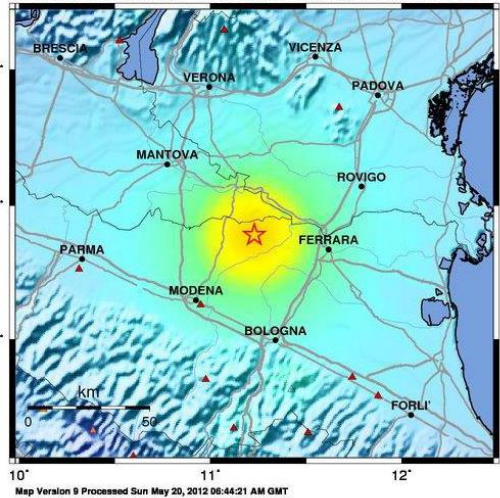
# Sommario

1. Le scosse principali
2. Sismotettonica
3. Effetti locali
4. Microzonazione sismica
5. Cartografia geologica

# Le scosse principali

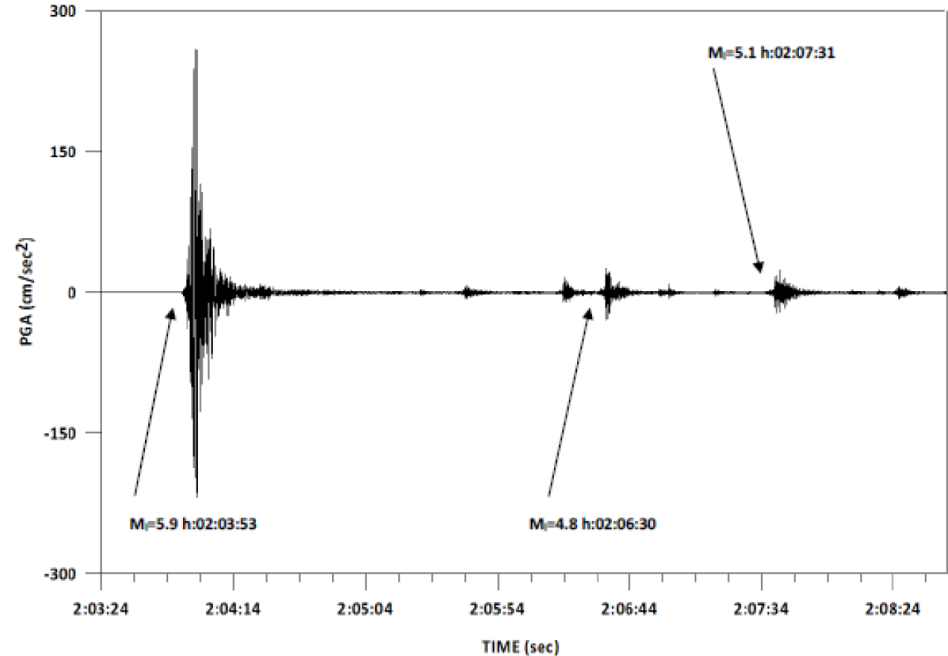
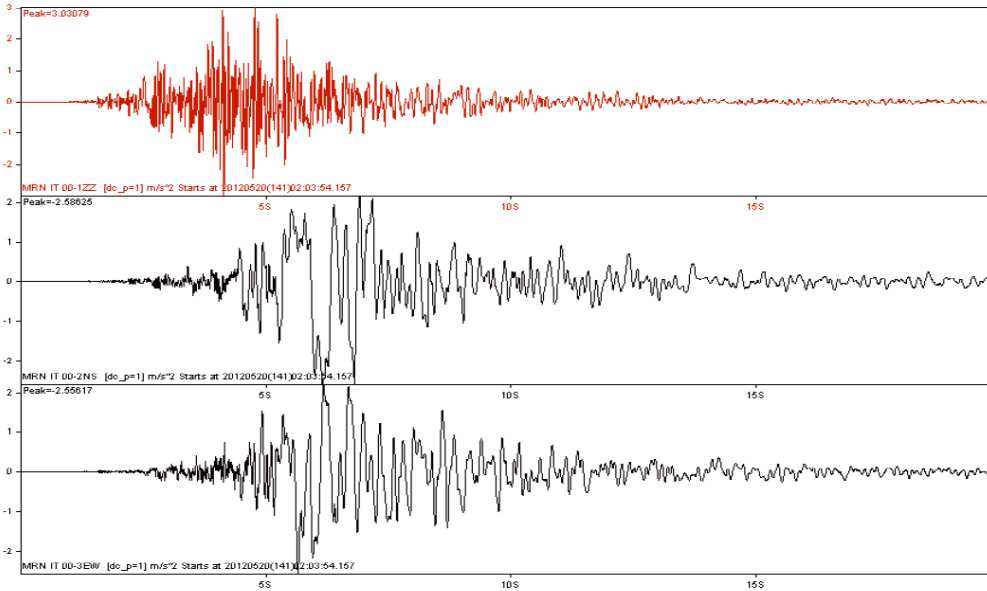
## 20 maggio 2012; $M_W=6.09$ , $M_L=5.9$

INGV ShakeMap : Pianura\_padana\_emiliana  
MAY 20 2012 02:03:53 AM GMT M 5.9 N44.89 E11.23 Depth: 6.3km ID:8222913230



| PERCEIVED SHAKING      | Not felt | Weak   | Light | Moderata   | Strong | Very strong | Severe     | Violent | Extreme    |
|------------------------|----------|--------|-------|------------|--------|-------------|------------|---------|------------|
| POTENTIAL DAMAGE       | none     | none   | none  | Very light | Light  | Moderate    | Mod./Heavy | Heavy   | Very Heavy |
| PEAK ACC.(%)           | <0.1     | 0.5    | 2.4   | 6.7        | 19     | 24          | 44         | 83      | >156       |
| PEAK VEL.(cm/s)        | <0.07    | 0.4    | 1.9   | 5.8        | 17     | 22          | 43         | 83      | >160       |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I        | II-III | IV    | V          | VI     | VII         | VIII       | IX      | X          |

Scale based upon Wald, et al., 1999



sintesi MCS

## 29 maggio 2012; $M_W=5.9$ , $M_L=5.8$

INGV ShakeMap : Pianura\_padana\_emiliana  
MAY 29 2012 07:00:03 AM GMT M 5.8 N44.85 E11.09 Depth: 10.2km ID:7223045800

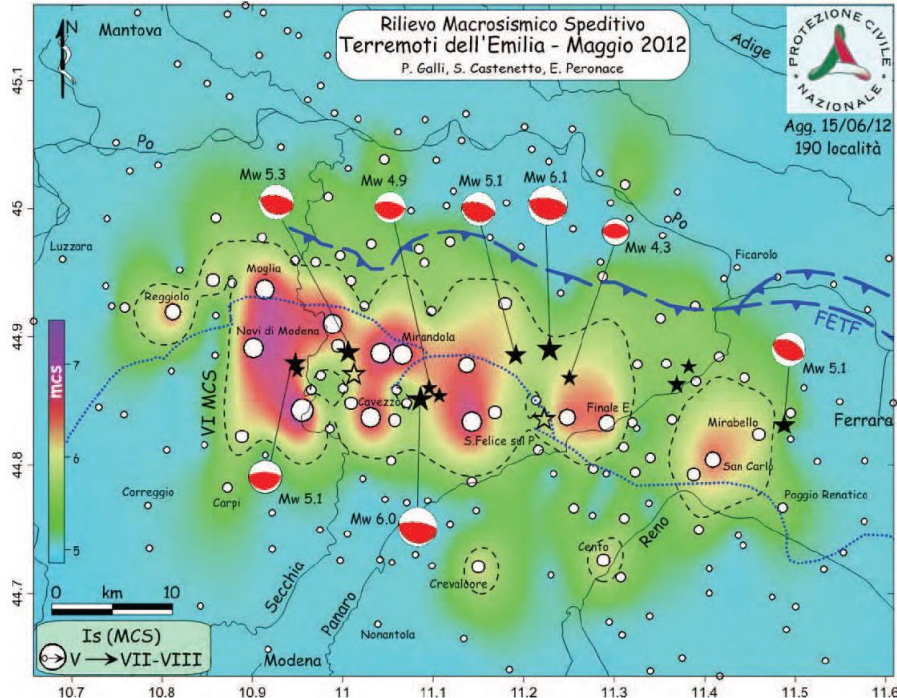
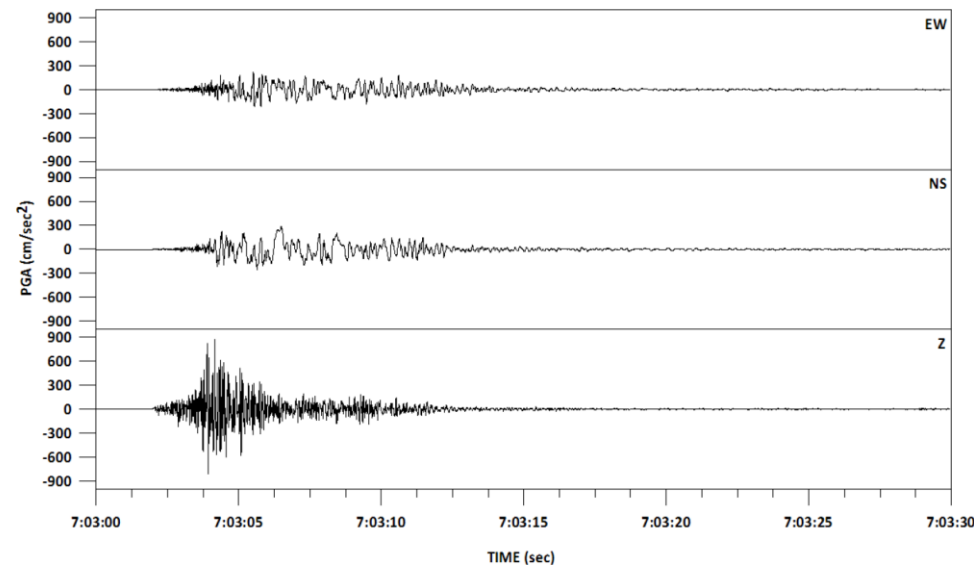
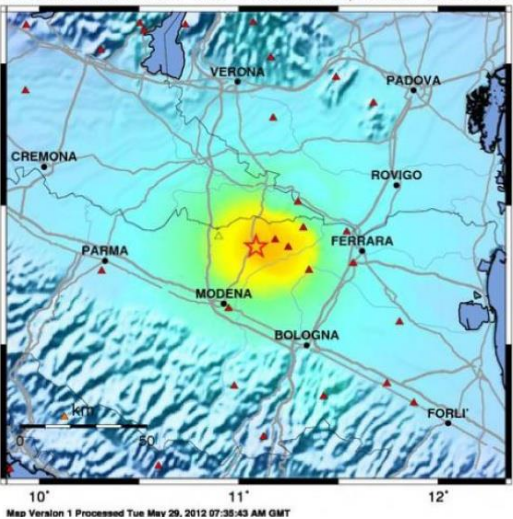


Figure 3: The recording at Mirandola-MRN station (E, N, Z channels) triggered by the 29 May 2012 07:03:00 (UTC time) event.

# Carta Sismotettonica RER 2004

profondità  $4 < M_L < 5$

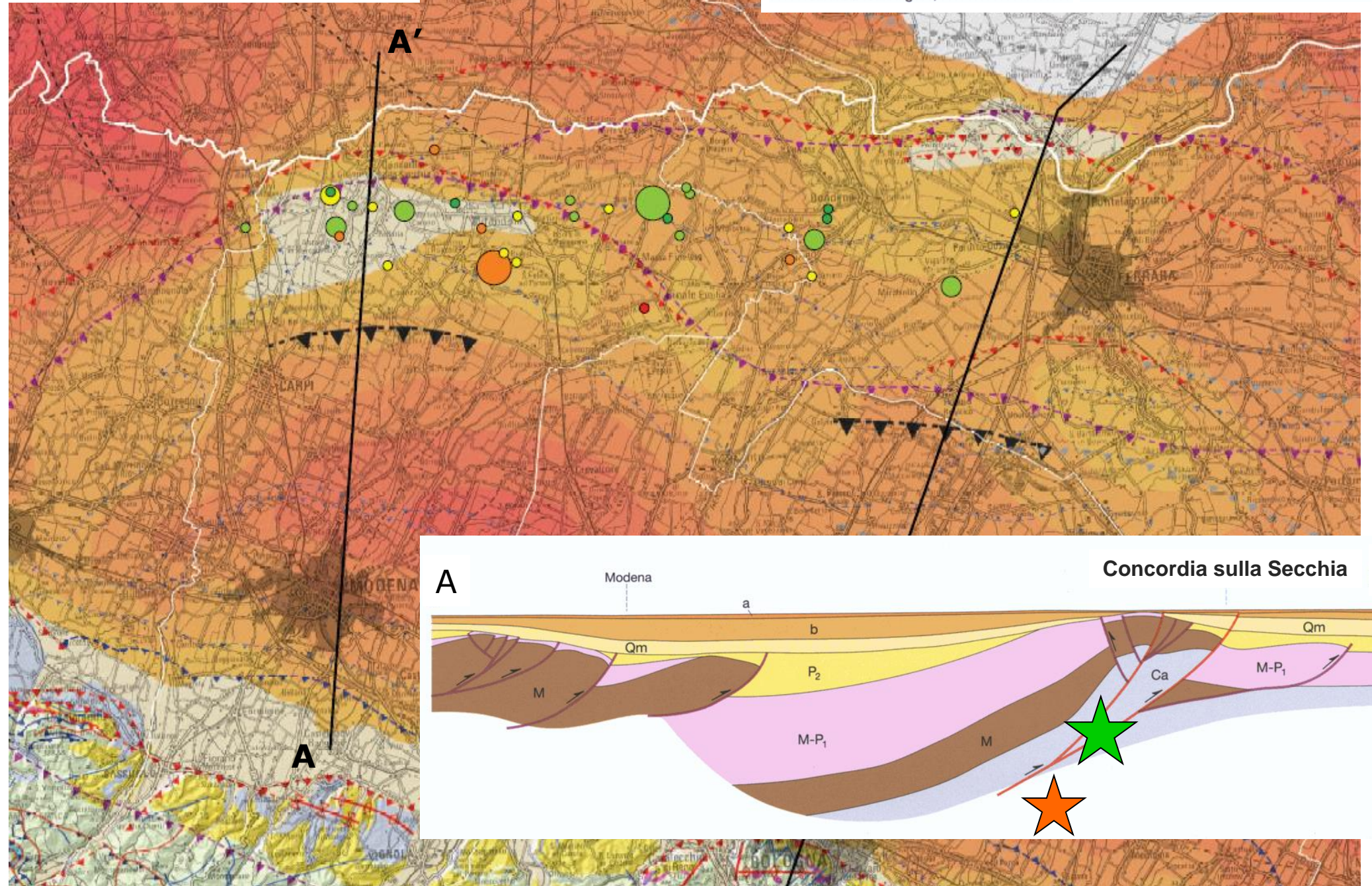
- 1.200000 - 4.000000
- 4.000001 - 7.000000
- 7.000001 - 10.000000
- 10.000001 - 15.000000
- 15.000001 - 25.600000

profondità  $5 \leq M_L < 5.5$

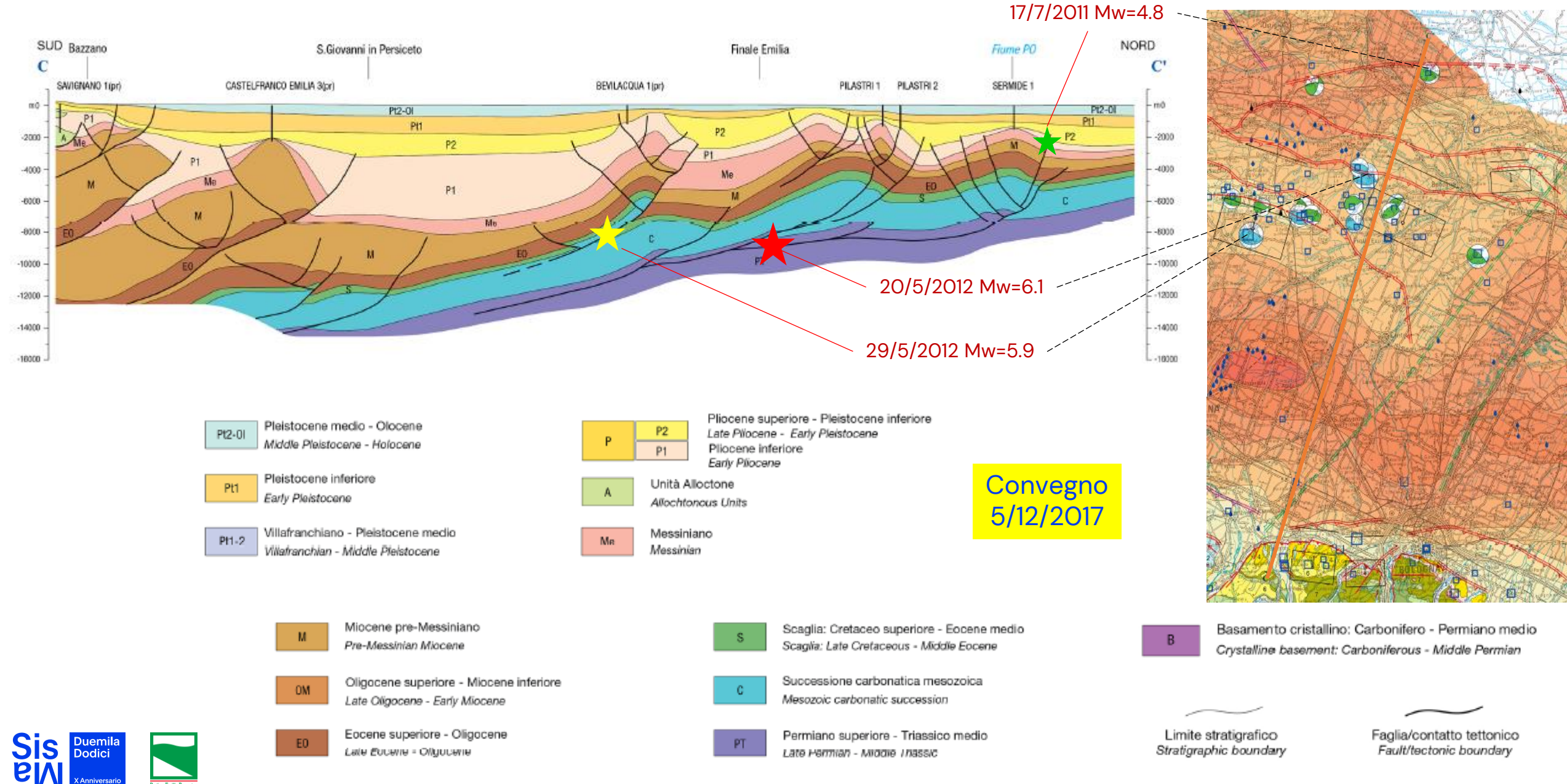
- 1.200000 - 4.000000
- 4.000001 - 7.000000
- 7.000001 - 10.000000
- 10.000001 - 15.000000
- 15.000001 - 25.600000

profondità  $M_L \geq 5.5$

- 1.200000 - 4.000000
- 4.000001 - 7.000000
- 7.000001 - 10.000000
- 10.000001 - 15.000000
- 15.000001 - 25.600000



# Carta Sismotettonica RER 2017



# Faglie attive (<450.000 anni)

## Carta Sismotettonica RER 2004

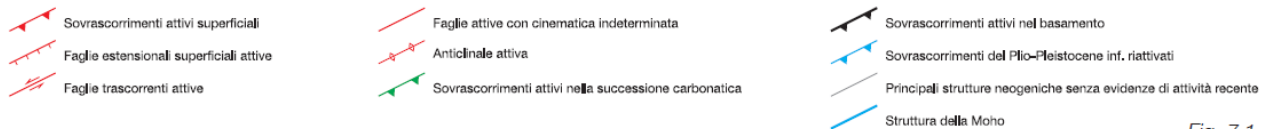
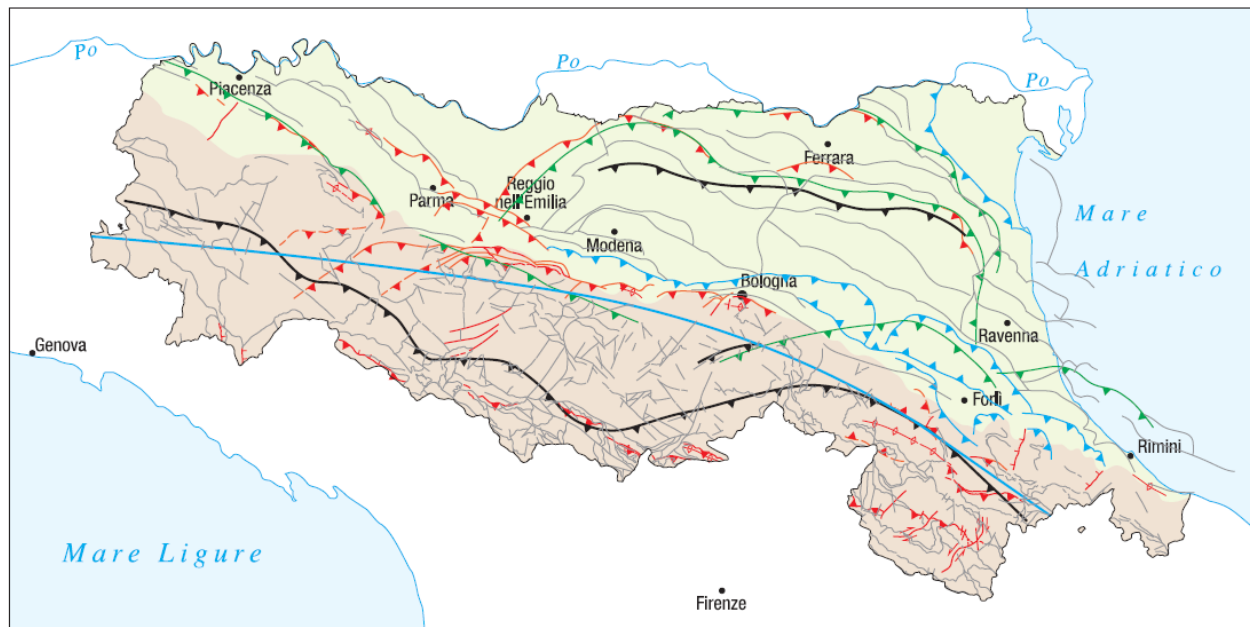


Fig. 7.1

## Carta Sismotettonica RER 2017

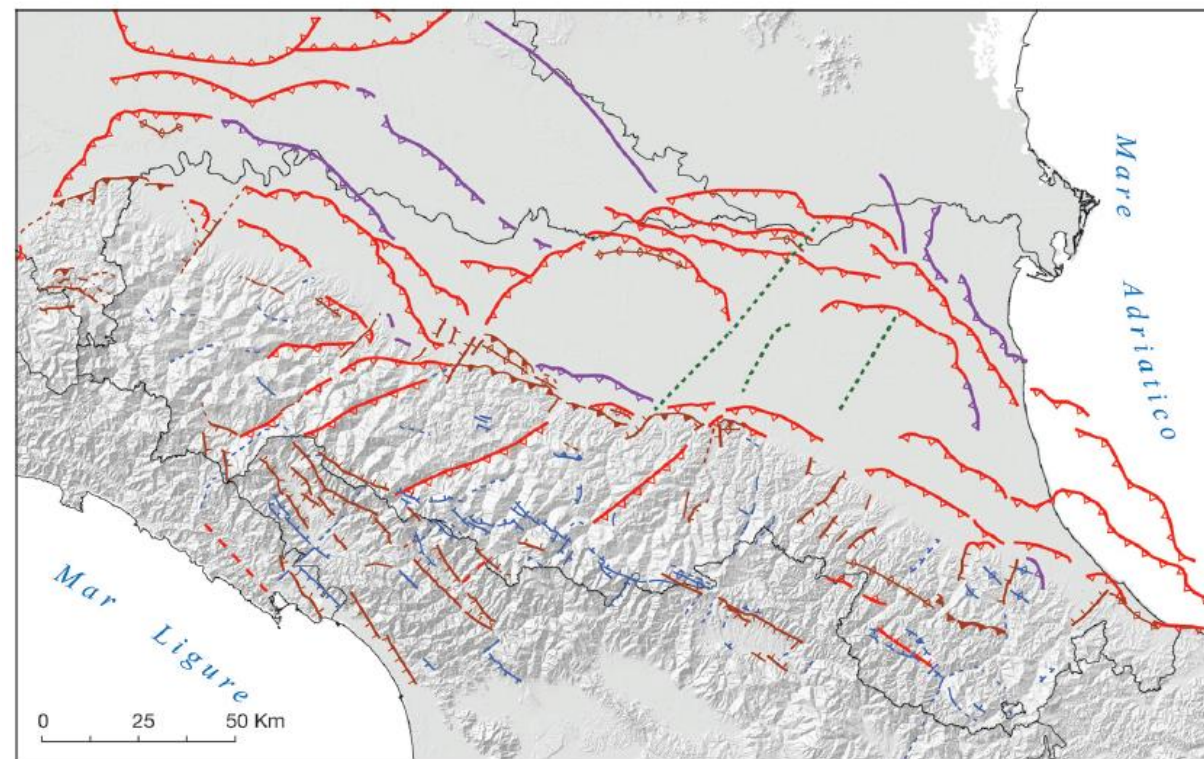
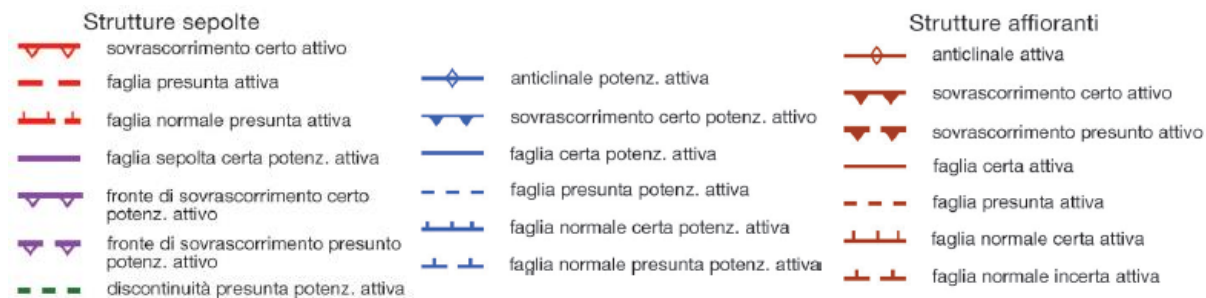
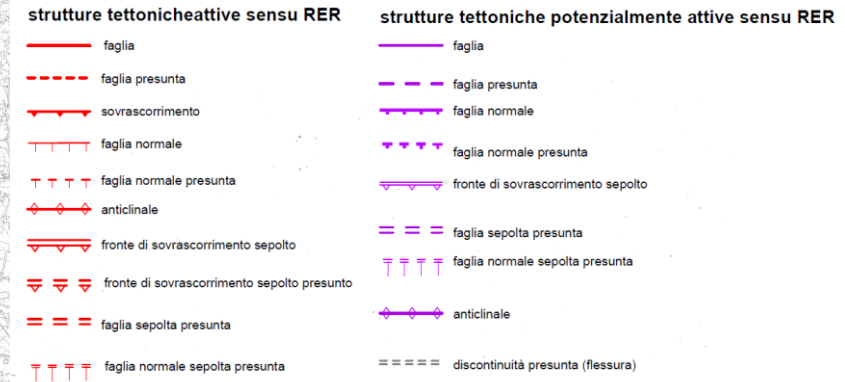


Figura 5.1: mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute.

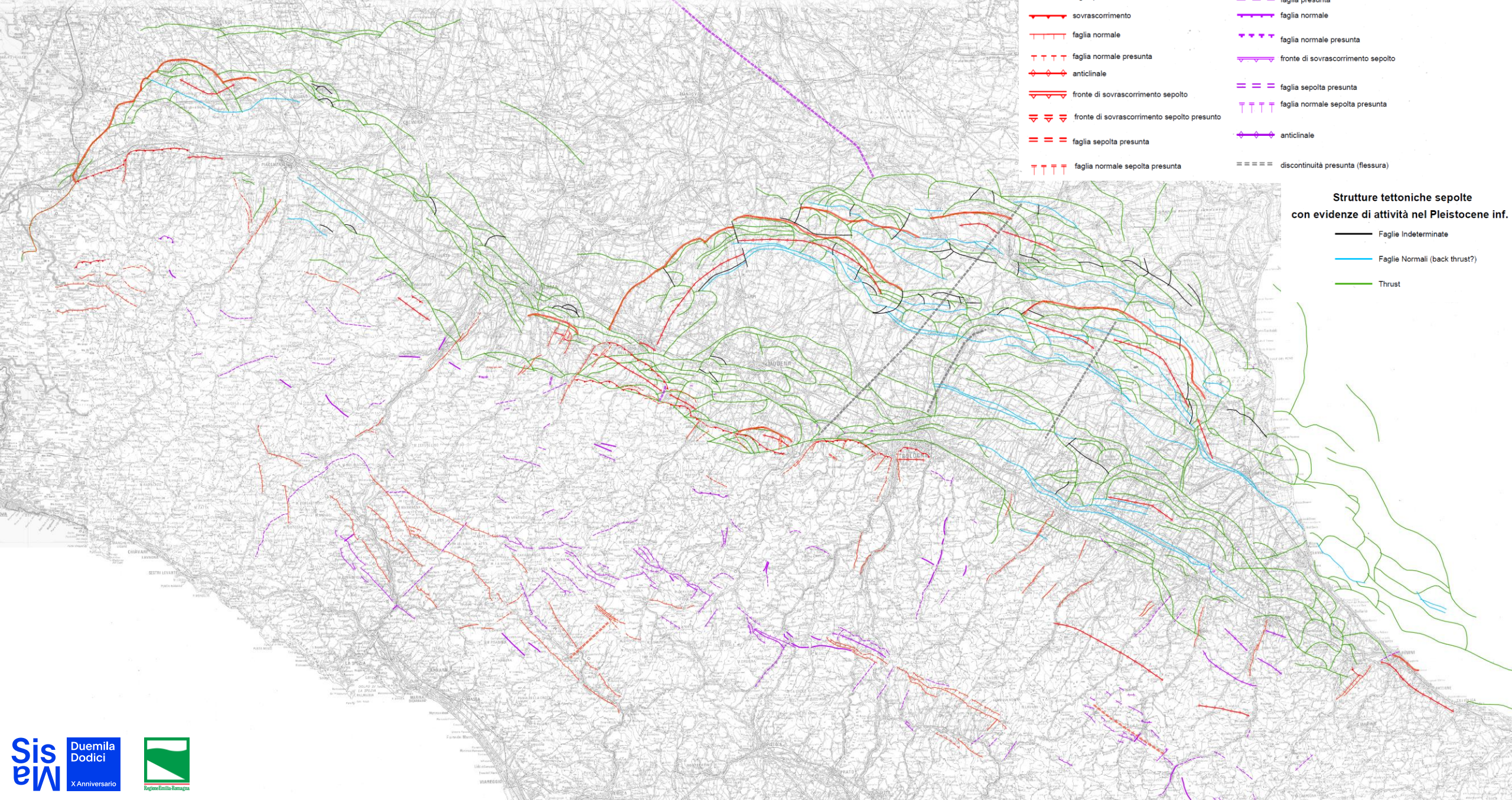
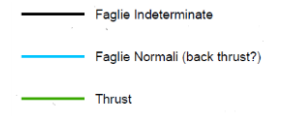


# Faglie attive

# aggiornamento ITHACA (vers. 20/8/2019)



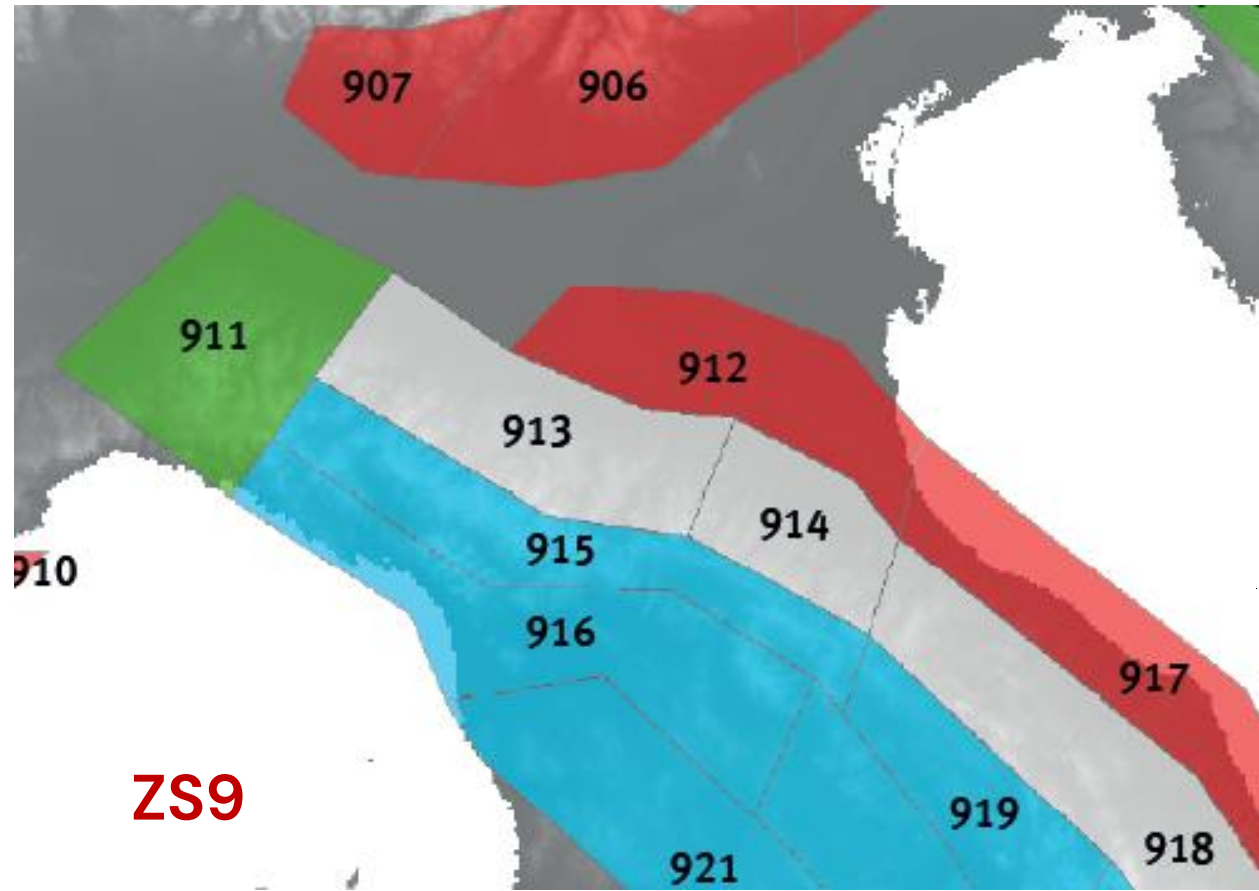
## Strutture tettoniche sepolte con evidenze di attività nel Pleistocene inf.



# Zone sismogeniche

Meletti & Valensise, 2004

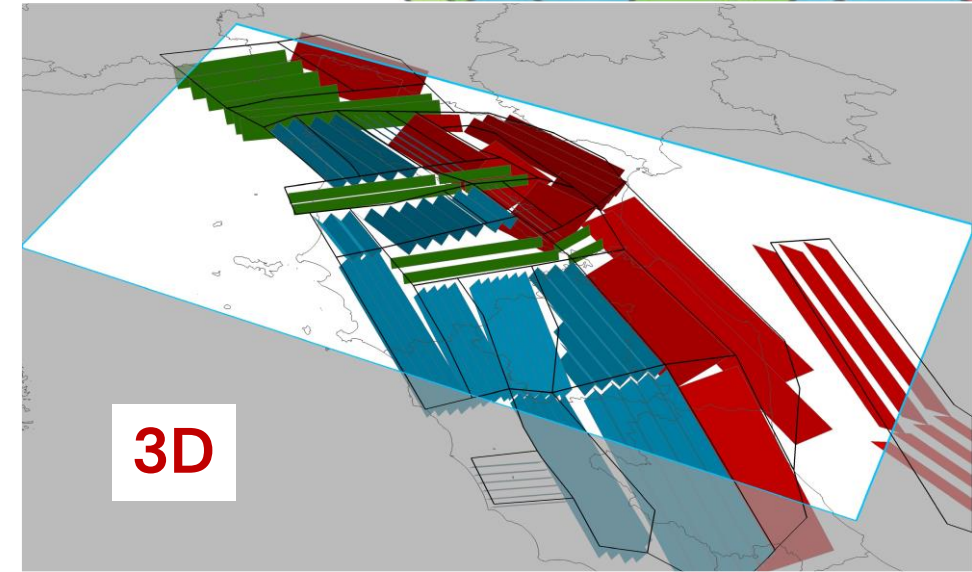
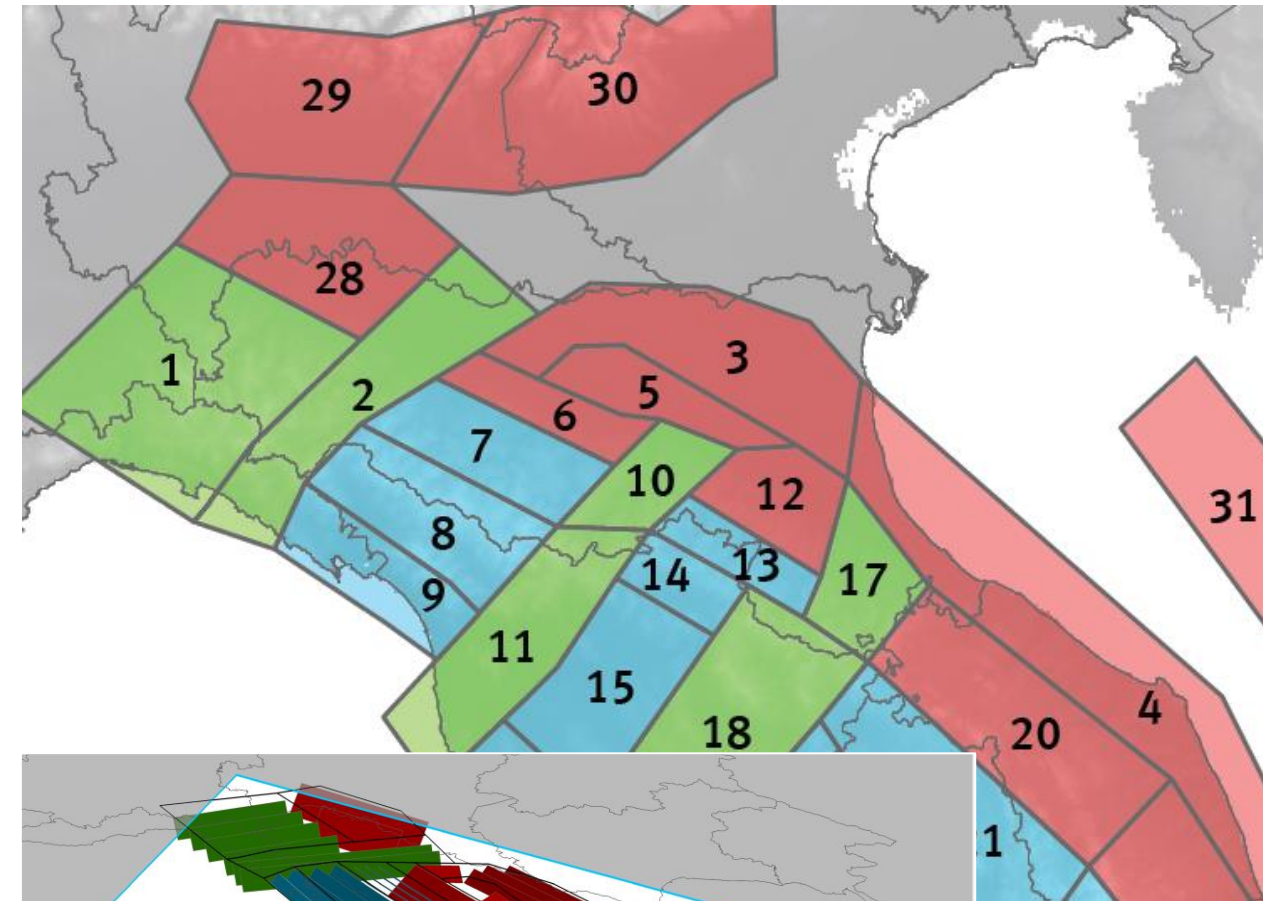
proposta RER-OGS-UniFI DST-CNR igg, 2017



ZS9

Meccanismo di  
fagliazione prevalente

- Indeterminato
- F. normale
- F. trascorrente
- F. inversa



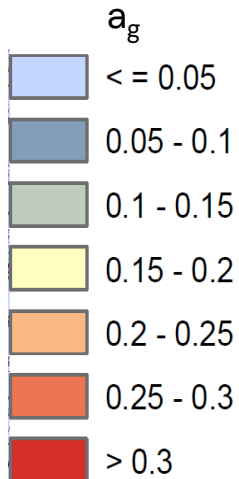
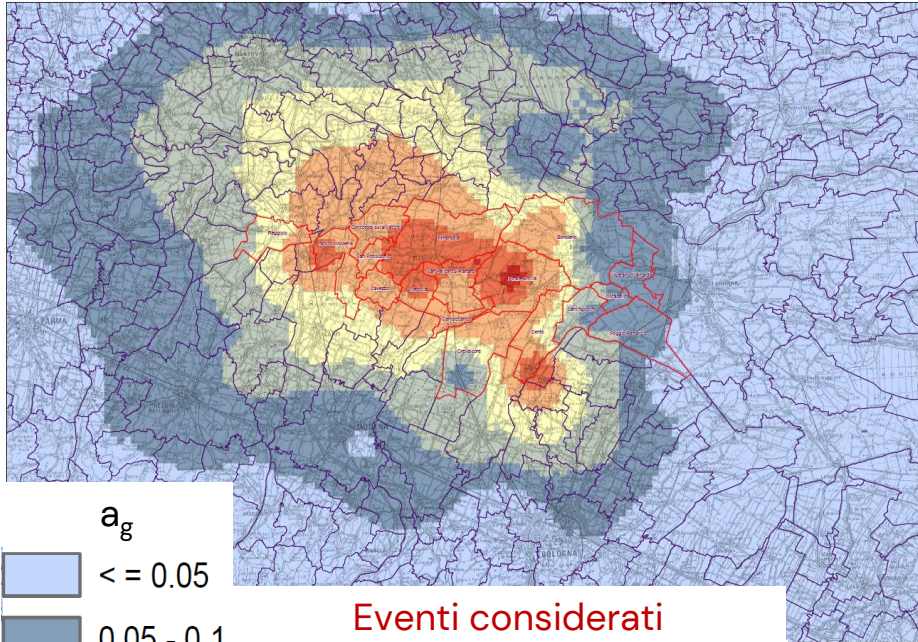
3D

Convegno  
5/12/2017



# Effetti locali (osservati)

Max PGA osservate (componenti orizzontali)



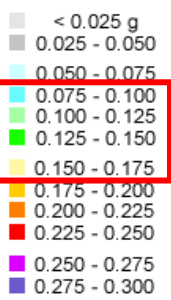
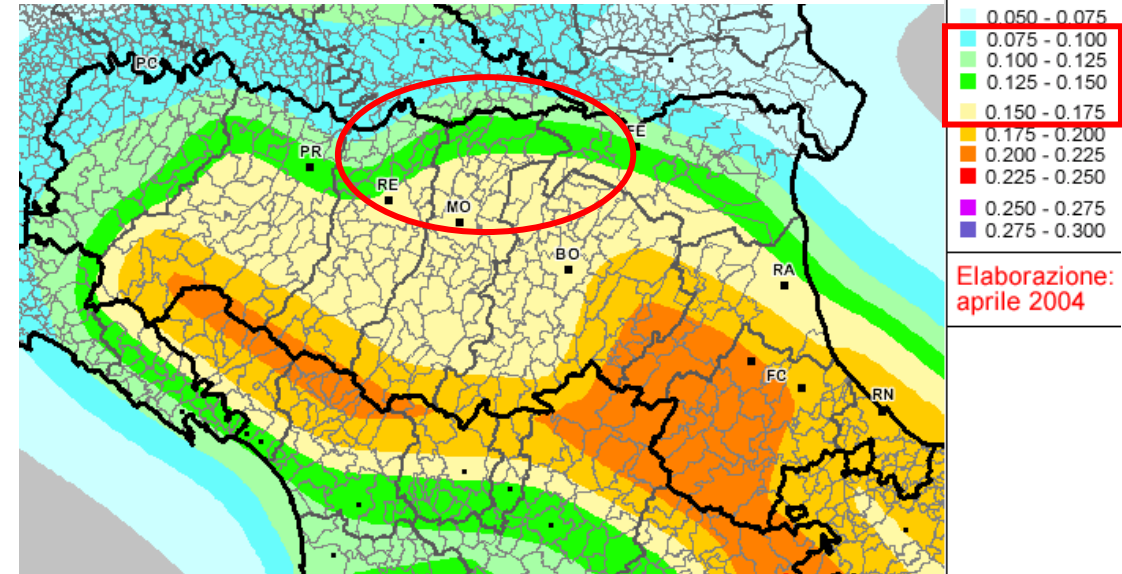
## Eventi considerati

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| 20/05/2012 02:03:52 | $M_L=5.9$ |
| 20/05/2012 02:07:31 | $M_L=5.1$ |
| 20/05/2012 13:18:02 | $M_L=5.1$ |
| 29/05/2012 07:00:03 | $M_L=5.8$ |
| 29/05/2012 10:55:57 | $M_L=5.3$ |
| 29/05/2012 11:00:25 | $M_L=5.2$ |
| 03/06/2012 19:20:43 | $M_L=5.1$ |

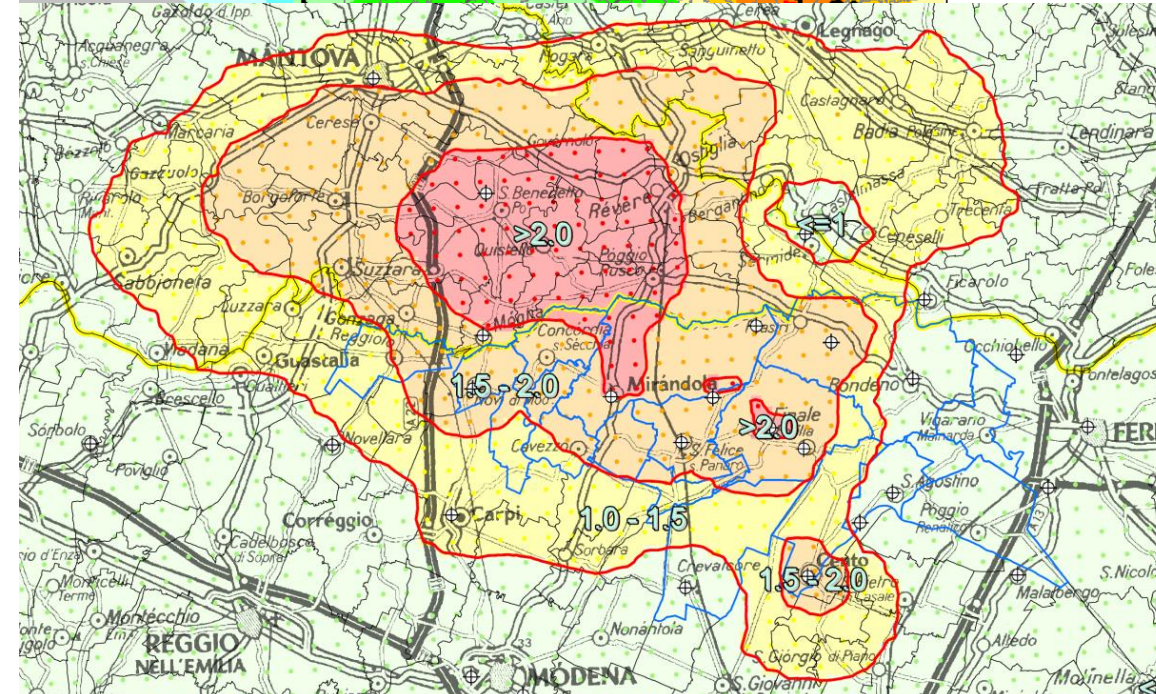
## Massime amplificazioni osservate

$F_{PGA} \geq 2$  per  $T_R=475$  anni  
 ( $F_{PGA} \geq 1,5$  per  $T_R=950$  anni)

pericolosità sismica di base ( $T_R=475$  anni),  
 da INGV MPS04 (OPCM 3519/2006)



Elaborazione:  
 aprile 2004



$F_{PGA}$  da dati terremoto =  $PGA_{SITO}/PGA_0$

( $T_R=475$  anni)

# Effetti locali (conoscenze pregresse)

## Analisi della pericolosità sismica locale per il PTCP Modena (2006)

Amplificazione +  
potenziale  
liquefazione

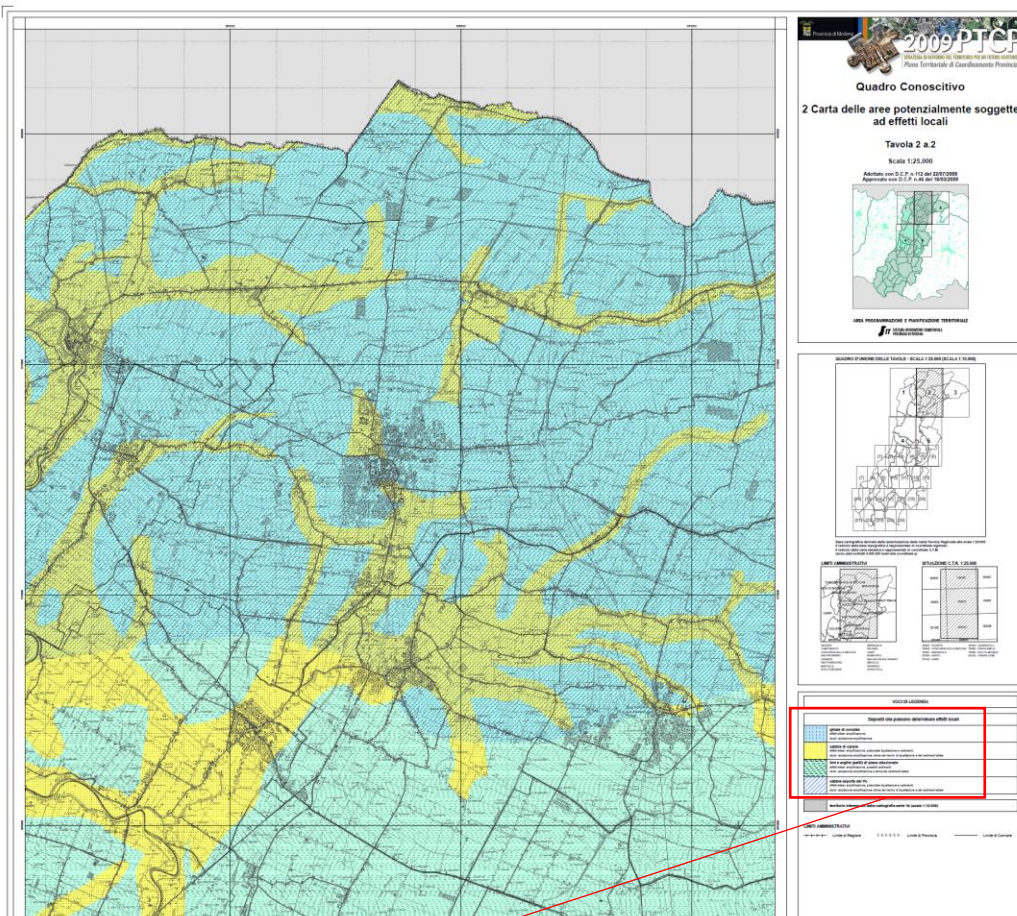
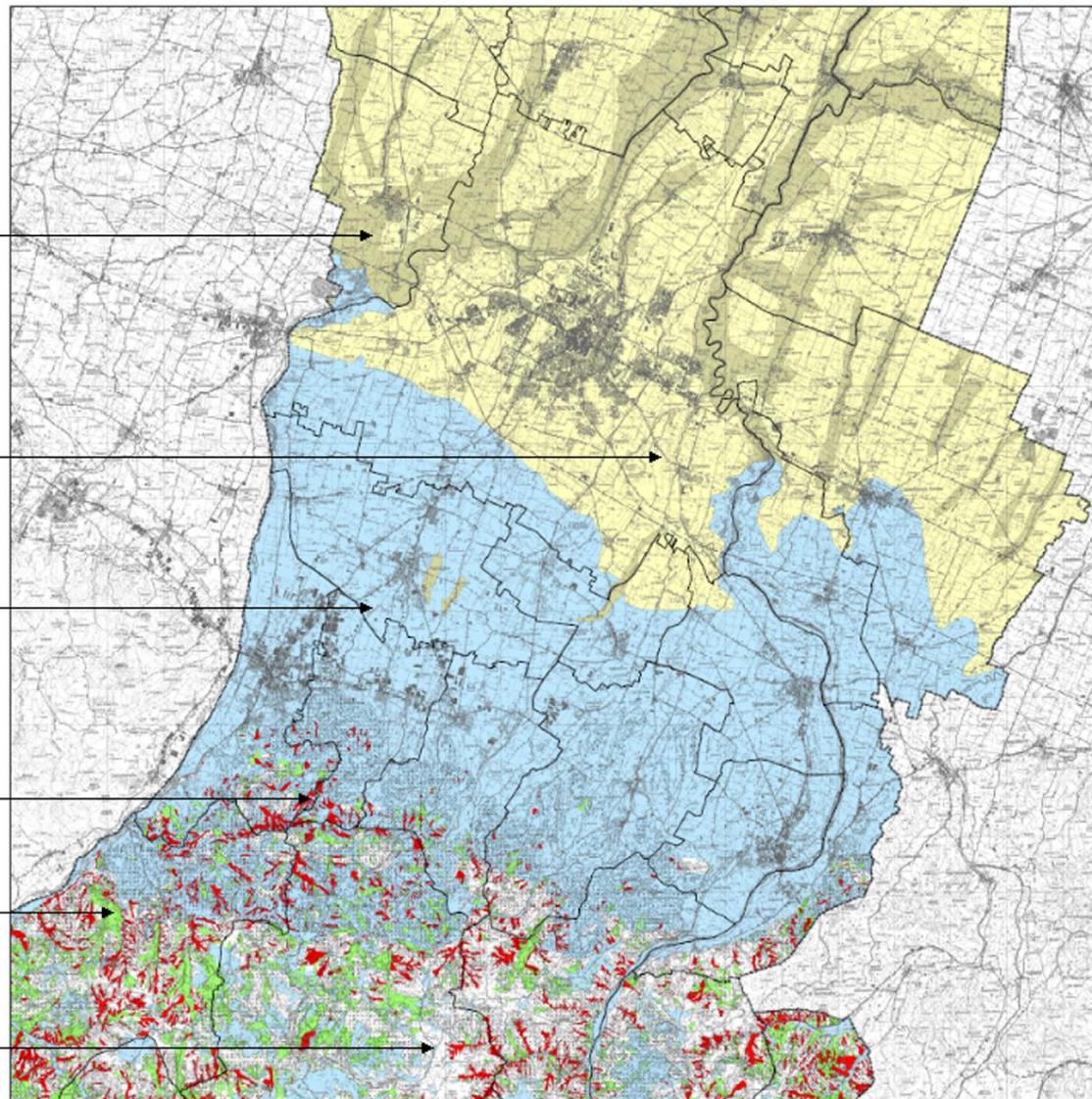
Amplificazione +  
potenziali  
cedimenti

Amplificazione

Frana +  
amplificazione

Amplificazione +  
potenziale  
instabilità

No effetti locali



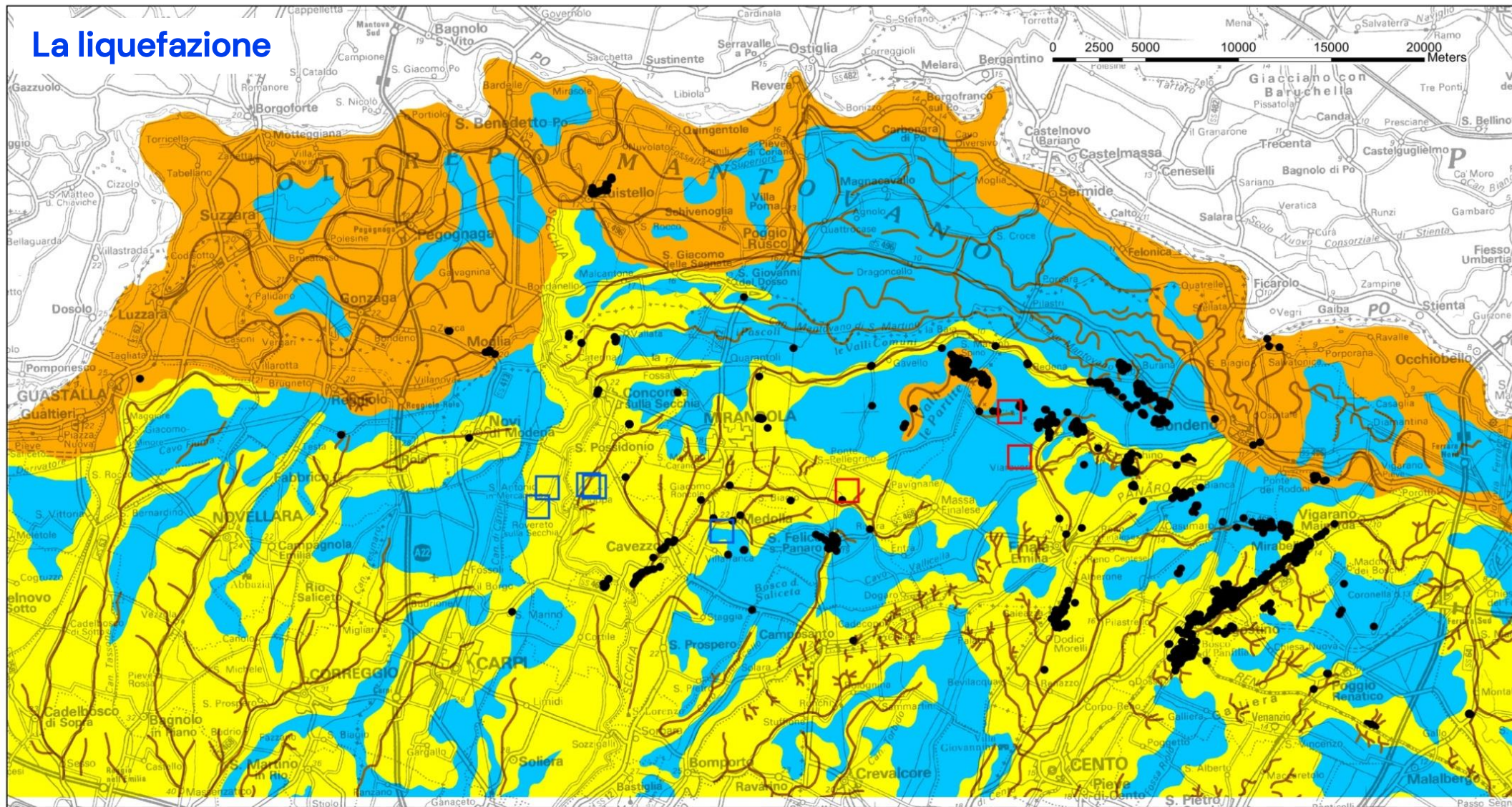
### Depositi che possono determinare effetti locali

|  |   |
|--|---|
|  | <b>ghiaie di conoide</b><br>effetti attesi: amplificazione;<br>studi: valutazione amplificazione  |
|  | <b>sabbie di canale</b><br>effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti;<br>studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi      |
|  | <b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b><br>effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti;<br>studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi                       |
|  | <b>sabbie sepolte del Po</b><br>effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti;<br>studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi |

# Effetti locali (osservati)

□ terremoti M $\geq$ 5  
del 20/5/2012

□ terremoti M $\geq$ 5  
del 29/5/2012



*fenomeni osservati soprattutto in corrispondenza di paleocanali «appenninici»*

■ prevalenti argille e limi

■ prevalenti sabbie del Po

■ prevalenti sabbie e limi dei fiumi appenninici

● sito con effetti di liquefazione

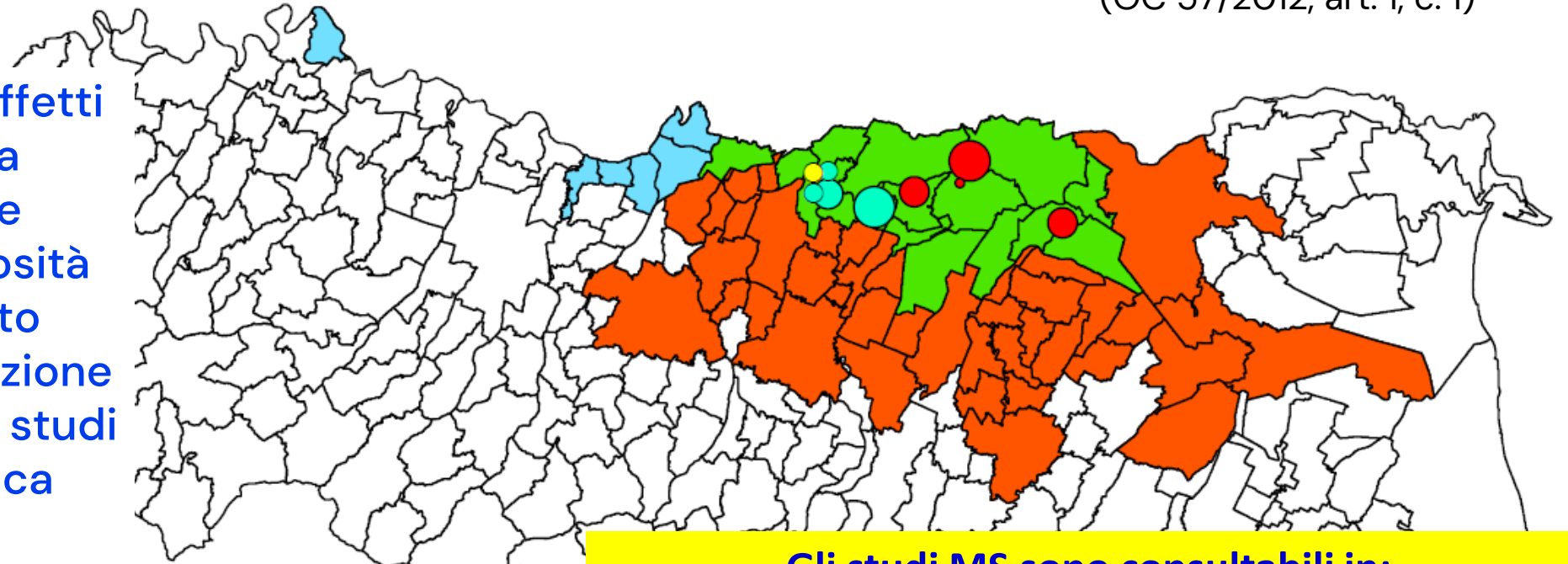
— paleocanali

# Microzonazione sismica

Comuni interessati dagli eventi sismici maggio-giugno 2012  
(OC 57/2012, art. 1, c. 1)

Vista la rilevanza degli effetti locali, per assicurare una ricostruzione adeguata e coerente con la pericolosità sismica locale, fu stabilito che i piani della ricostruzione fossero basati anche su studi di microzonazione sismica

ordinanze n.70/2012 e n.84/2013  
del Commissario delegato –  
Presidente RER: risorse e criteri  
per la MS dei Comuni  $I_{MCS} \geq VI$   
risorse stanziare: € 500.000  
(€ 380.000 + € 120.000)



**Gli studi MS sono consultabili in:**  
<https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>

Eventi sismici  $M > 4,5$   
dimensione simbolo proporzionale a  $M$

● 20/5/2012  $M_w \max = 6,09$

● 29/5/2012  $M_w \max = 5,89$

● 3/6/2012  $M_w = 4,9$

■ Comuni  $I_{MCS} \geq VI$ ; studi finanziati con OC 70/2012, poi perfezionati con risorse OC 84/2013 e art. 11 L 77/2009

■ Comuni  $I_{MCS} < VI$ ; studi finanziati con art. 11 L 77/2009

■ Comuni  $a_g < 0,125g$ ; studi finanziati con OC 84/2013

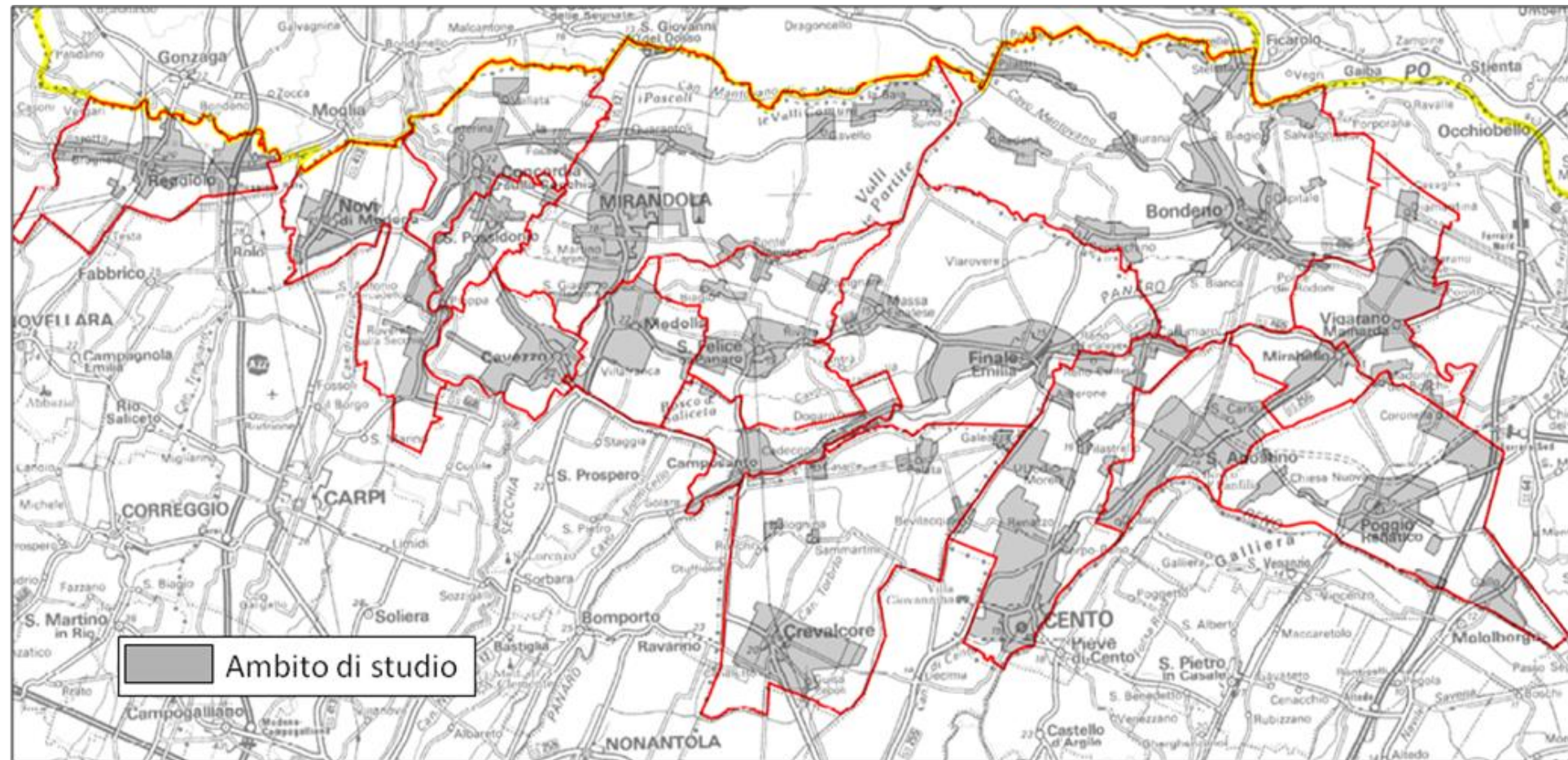
# Microzonazione sismica

Finalità: considerati i tempi e le risorse disponibili, fu deciso di quantificare l'amplificazione e l'indice di liquefazione nei centri abitati, nelle aree d'interesse per la ricostruzione e in quelle di espansione

Autori:  
**gruppo interdisciplinare e interistituzionale** costituito da RER (Servizio geologico, sismico e dei suoli e Servizio Pianificazione Urbanistica), geologi liberi professionisti, OGS Trieste, PoliMI-DICeA, UniFE-DIC, UniFI-DICeA

Sondaggi: SOGEO;  
CPTU-SCPTU: ISMGEO;  
prove lab.: ISMGEO.

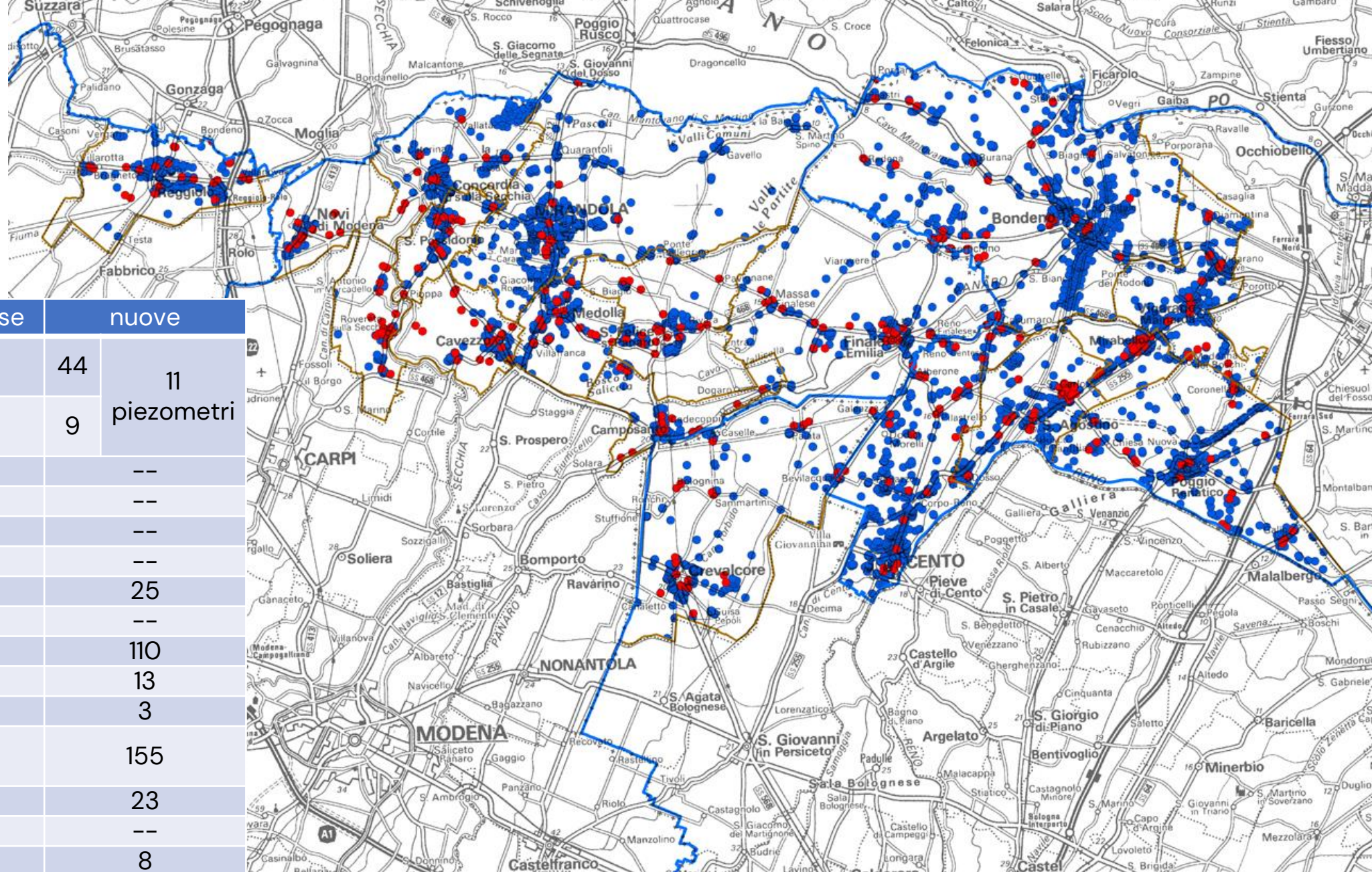
Altre collaborazioni:  
DPC-URSV, UniSI-DSFTA,  
INGV, CNR (imaa, igag, iamc),  
AGI-ReLUIS



Riferimenti:  
indirizzi RER D.A.L. n. 112/2007, ICMS 2008 DPC-Conferenza Regioni e PA

# MS ord. 70/2012 nuove indagini

## Mappa delle indagini



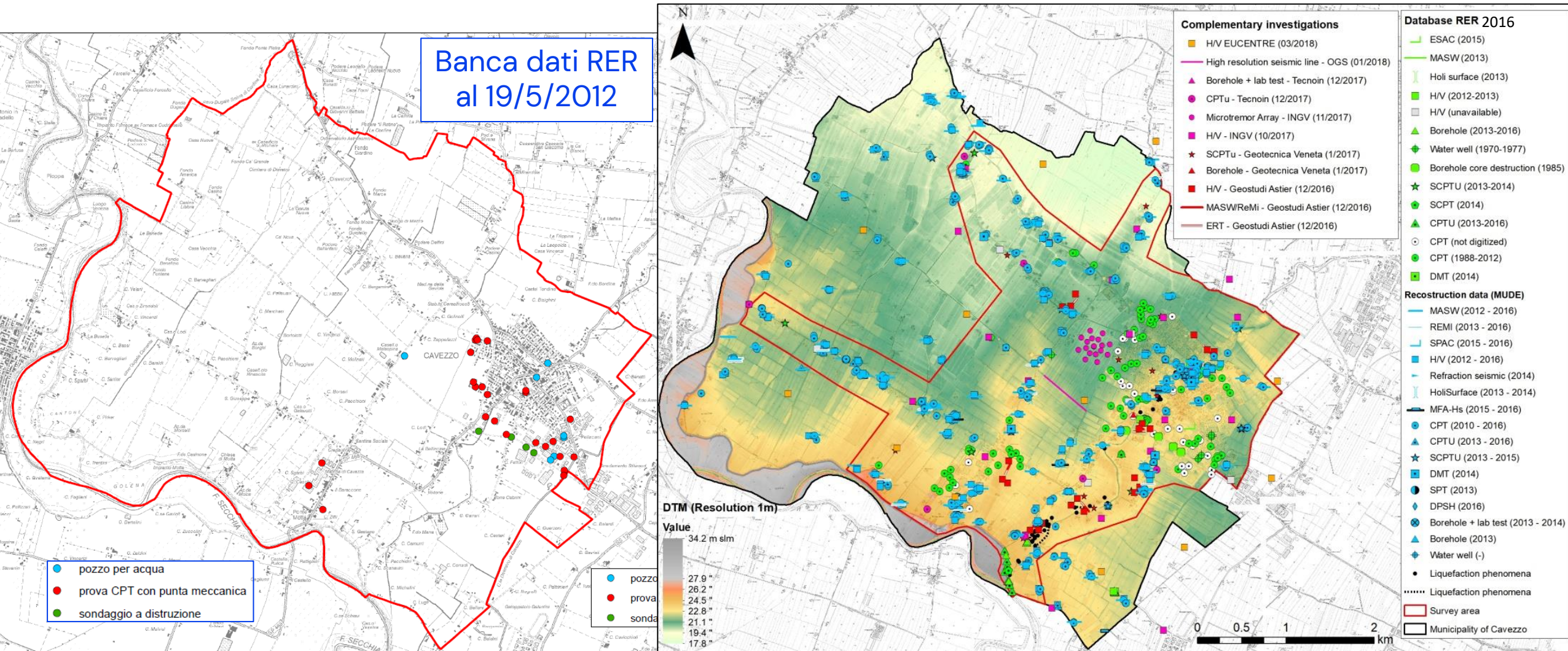
| Prove utilizzate        | pregresse | nuove |                  |
|-------------------------|-----------|-------|------------------|
| carotaggi continui      | 260       | 44    | 11<br>piezometri |
| sondaggi a distruzione  | --        | 9     |                  |
| pozzi per acqua         | 537       | --    | --               |
| DP                      | 14        | --    | --               |
| CPTm                    | 2506      | --    | --               |
| CPTe                    | 17        | --    | --               |
| CPTu                    | 171       | --    | 25               |
| SCPT                    | 9         | --    | --               |
| SCPTu                   | 9         | --    | 110              |
| DH                      | 2         | --    | 13               |
| CH                      | --        | --    | 3                |
| HVSR a stazione singola | 104       | --    | 155              |
| array ESAC              | --        | --    | 23               |
| MASW                    | 10        | --    | --               |
| SDMT                    | --        | --    | 8                |

● prove pre-terremoto

● prove post-terremoto

# MS art. 11 nuove indagini

## Banca dati MS 2018



# MS art. 11 nuove indagini

| Tipo di prova                                   | Dati ricost. MUDE | RER Database 2016 | Campagna indagine LIQUEFACT 2016 - 2017 | Campagna Indagine LIQUEFACT 2017 – 2018 | Campagna indagine Comune Cavezzo 2017 – 2018 | Campagna indagine EUCENTRE 2018 | Tot       |
|---|-------------------|-------------------|---|---|--|---------------------------------|-----------|
| <b>Prove penetrometriche</b>                    |                   |                   |   |   |  |                                 |           |
| CPT   | 286               | 121 (89)          | -                                       | -                                       | -  | -                               | 407 (375) |
| CPTu  | 22                | 18 (15)           | -                                       | -                                       | 7  | -                               | 47 (44)   |
| SCPT  | -                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 1         |
| SCPTu   | 7                 | 6                 | 10                                      | -                                       | 1  | -                               | 24        |
| SPT   | 4                 | 10                | 11                                      | -                                       | -  | -                               | 25        |
| Prova dilatometrica (DMT)                       | 4                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 5         |
| Prove dinamiche DPSH                            | 1                 | -                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 1         |
| <b>Informazioni sulla stratigrafia</b>          |                   |                   |   |   |  |                                 |           |
| Sondaggi a carotaggio continuo                  | 1                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 2         |
| Sondaggi + prove di laboratorio                 | 2                 | 1                 | 2                                       | -                                       | 1  | -                               | 6         |
| Sondaggi + prove di laboratorio + SPT           | 2                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 3         |
| Sondaggi + SPT                                  | 2                 | 2                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 4         |
| Pozzi per acqua/trincee                         | 1                 | 8                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 9         |
| Sondaggio a distruzione di nucleo               | -                 | 3                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 3         |
| <b>Indagini geofisiche</b>                      |                   |                   |   |   |  |                                 |           |
| H/V (Nakamura)                                  | 147               | 14 (6)            | 21                                      | 25                                      | -  | 12                              | 219 (211) |
| Array ESAC                                      | -                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 1         |
| MASW  | 135               | 2                 | 7                                       | -                                       | -  | -                               | 144       |
| HoliSurface                                     | 10                | 2                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 12        |
| SPAC  | 4                 | -                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 4         |
| Sismica a rifrazione                            | 2                 | -                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 2         |
| ReMi  | 14                | -                 | 7                                       | -                                       | -  | -                               | 21        |
| MFA-Hs  | 4                 | -                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 4         |
| ERT   | -                 | -                 | 7                                       | -                                       | -  | -                               | 7         |
| Array microtremore                              | -                 | -                 | -                                       | 2                                       | -  | -                               | 2         |
| Linea sismica a riflessione ad alta risoluzione | -                 | -                 | -                                       | 1                                       | -  | -                               | 1         |
| <b>Prove di laboratorio</b>                     |                   |                   |   |   |  |                                 |           |
| Analisi granulometrica                          | 3                 | 7                 | 17                                      | -                                       | 14   | -                               | 41        |
| Limiti Atterberg                                | -                 | 4                 | 7                                       | -                                       | 9  | -                               | 20        |
| Prove di taglio diretto                         | 1                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 2         |
| Prova triassiale                                | -                 | 1                 | -                                       | -                                       | -  | -                               | 1         |
| Colonna risonante                               | -                 | -                 | -                                       | -                                       | 5  | -                               | 5         |
| Taglio semplice ciclico                         | -                 | -                 | -                                       | -                                       | 3  | -                               | 3         |
| Prova edometrica                                | -                 | -                 | -                                       | -                                       | 1  | -                               | 1         |

Dettaglio banca dati MS Cavezzo 2018



# Microzonazione sismica

Regione Emilia-Romagna

Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile  
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti



Provincia di Ferrara



Comune di Sant'Agostino

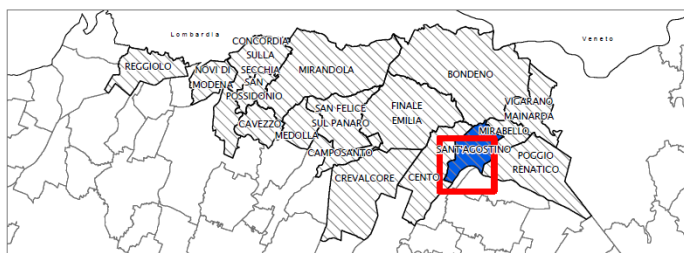
Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione  
n. 70 del 13 novembre 2012

## MICROZONAZIONE SISMICA Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione

scala 1 : 10000

Versione 1.1 - 02/03/2015

Comune di SANT AGOSTINO (FE)(1° di 2)



A1

Zona suscettibile di amplificazione.

FAPGA = 1.5

FH 0.1 - 0.5s = 1.8

FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

LQ1

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ2

FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

MS per la ricostruzione post sisma (v. 1.0: 2013; v. 1.1: aggiornamento 2015, con UniFE)

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m

1.2



Rischio di liquefazione basso ( $0.0 < IL < 2.0$ )

2.8



Rischio di liquefazione moderato ( $2.0 \leq IL < 5.0$ )

5.4



Rischio di liquefazione elevato ( $5.0 \leq IL < 15.0$ )

stima IL 15-20 m

1.5



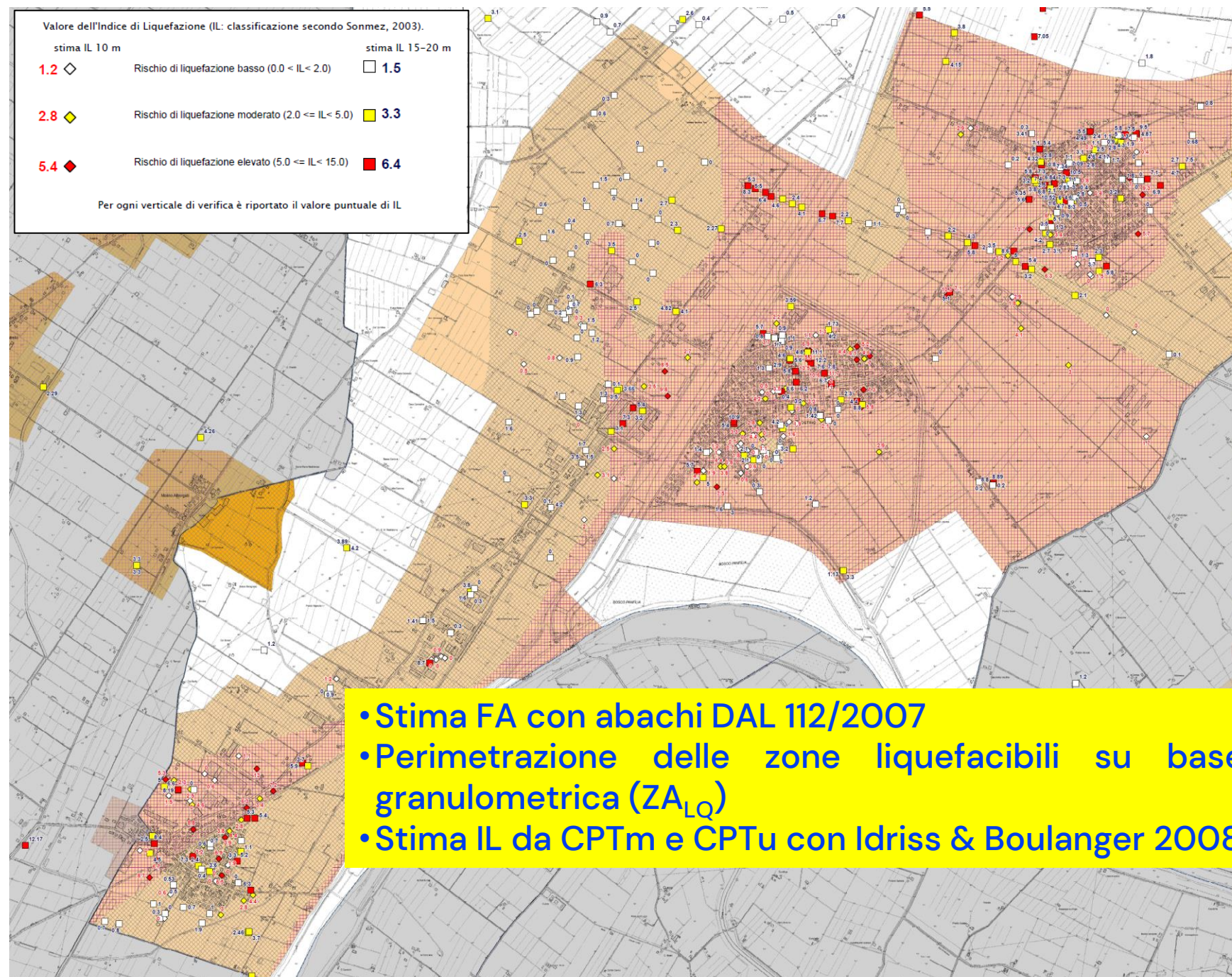
3.3



6.4



Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL



- Stima FA con abachi DAL 112/2007
- Perimetrazione delle zone liquefacibili su base granulometrica ( $ZA_{LO}$ )
- Stima IL da CPTm e CPTu con Idriss & Boulanger 2008

# Microzonazione sismica

MS adeguata agli indirizzi RER DGR 630/2019 e standard MS DPC v.4.1

PROTEZIONE CIVILE  
Pubblica del Servizio Nazionale  
Pubblica della Protezione Civile

REGIONE EMILIA-ROGNNA

COMPETENZA DELLE REGIONI  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

## MICROZONAZIONE SISMICA

### Carta di microzonazione sismica Livello 3

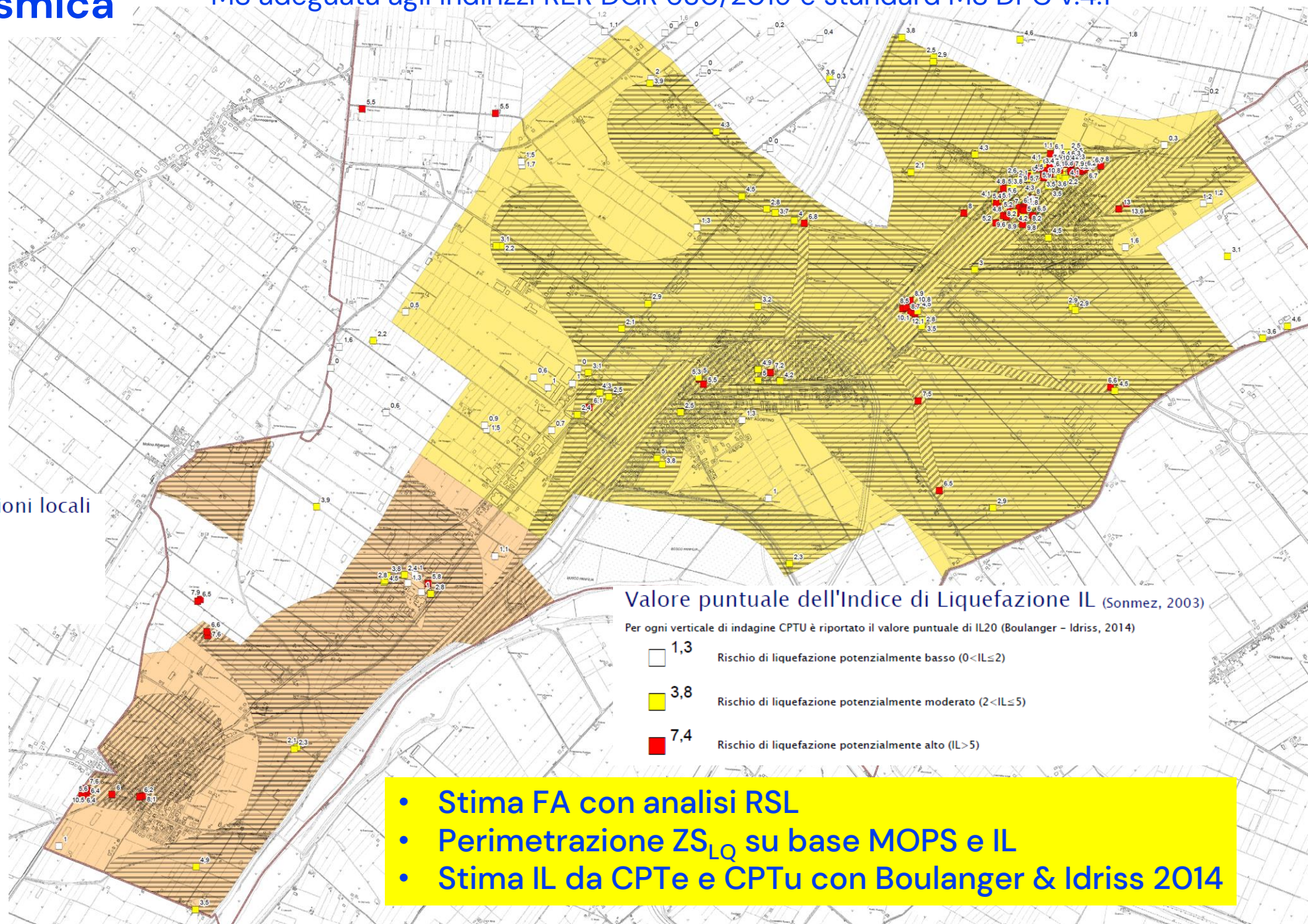
scala 1 : 10.000

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Sant'Agostino



Tavola 6 - Fa<sub>PCA</sub>

| Regione        | Soggetto realizzatore | Data       |
|----------------|-----------------------|------------|
| Emilia-Romagna | Geotema S.r.l.        | 02/05/2019 |



## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- FAPGA = 1,3 - 1,4
- FAPGA = 1,5 - 1,6

## Zone suscettibili di instabilità

- ZS<sub>LQ</sub> Zone di suscettibilità per le liquefazioni 2 < IL ≤ 5
- ZS<sub>LQ</sub> Zone di suscettibilità per le liquefazioni 5 < IL ≤ 15
- ZS<sub>LQ</sub> Zone di suscettibilità per le liquefazioni 2 < IL ≤ 5
- ZS<sub>LQ</sub> Zone di suscettibilità per le liquefazioni 5 < IL ≤ 15

## Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

Per ogni verticale di indagine CPTU è riportato il valore puntuale di IL<sub>20</sub> (Boulanger - Idriss, 2014)

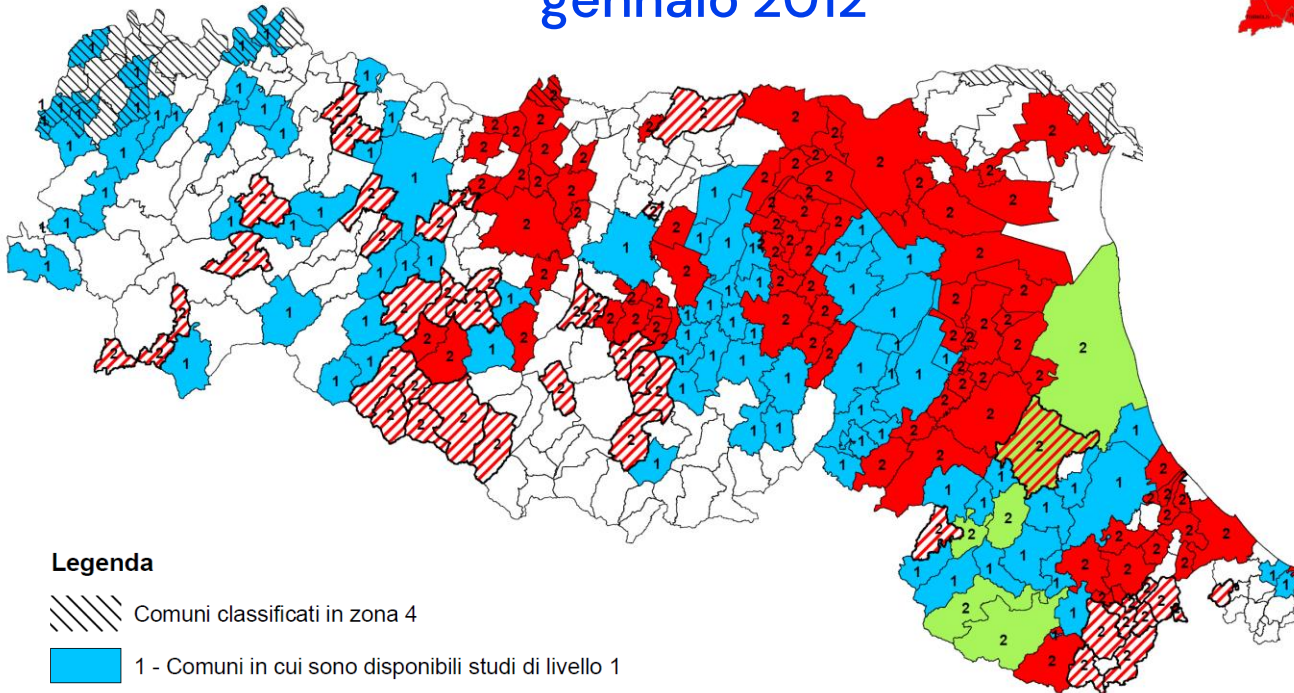
- 1,3 Rischio di liquefazione potenzialmente basso (0 < IL ≤ 2)
- 3,8 Rischio di liquefazione potenzialmente moderato (2 < IL ≤ 5)
- 7,4 Rischio di liquefazione potenzialmente alto (IL > 5)

- Stima FA con analisi RSL
- Perimetrazione ZS<sub>LQ</sub> su base MOPS e IL
- Stima IL da CPTe e CPTu con Boulanger & Idriss 2014






# Microzonazione sismica

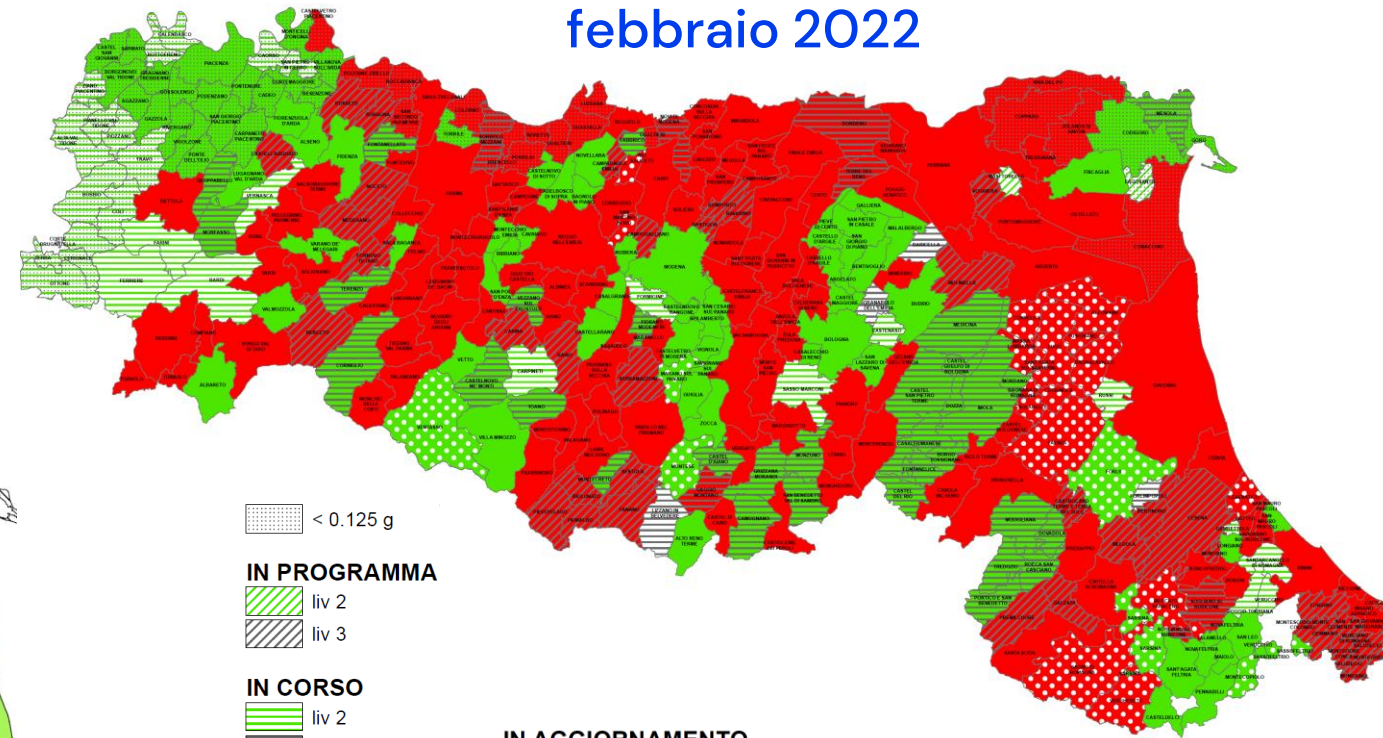
febbraio 2022


gennaio 2012



## Legenda

-  Comuni classificati in zona 4
-  1 - Comuni in cui sono disponibili studi di livello 1
-  2 - Comuni in cui sono disponibili studi di livello 2
-  2 - Comuni in cui sono disponibili analisi di livello 2 per alcune aree
-  2 - Comuni destinatari dei contributi OPCM 3907/2010 per studi di livello 2



 < 0.125 g

## IN PROGRAMMA

 liv 2

 liv 3

## IN CORSO

 liv 2

 liv 3

## IN AGGIORNAMENTO

 liv 2

 liv 3

## VALIDATA/CONSEGATA

 liv 2

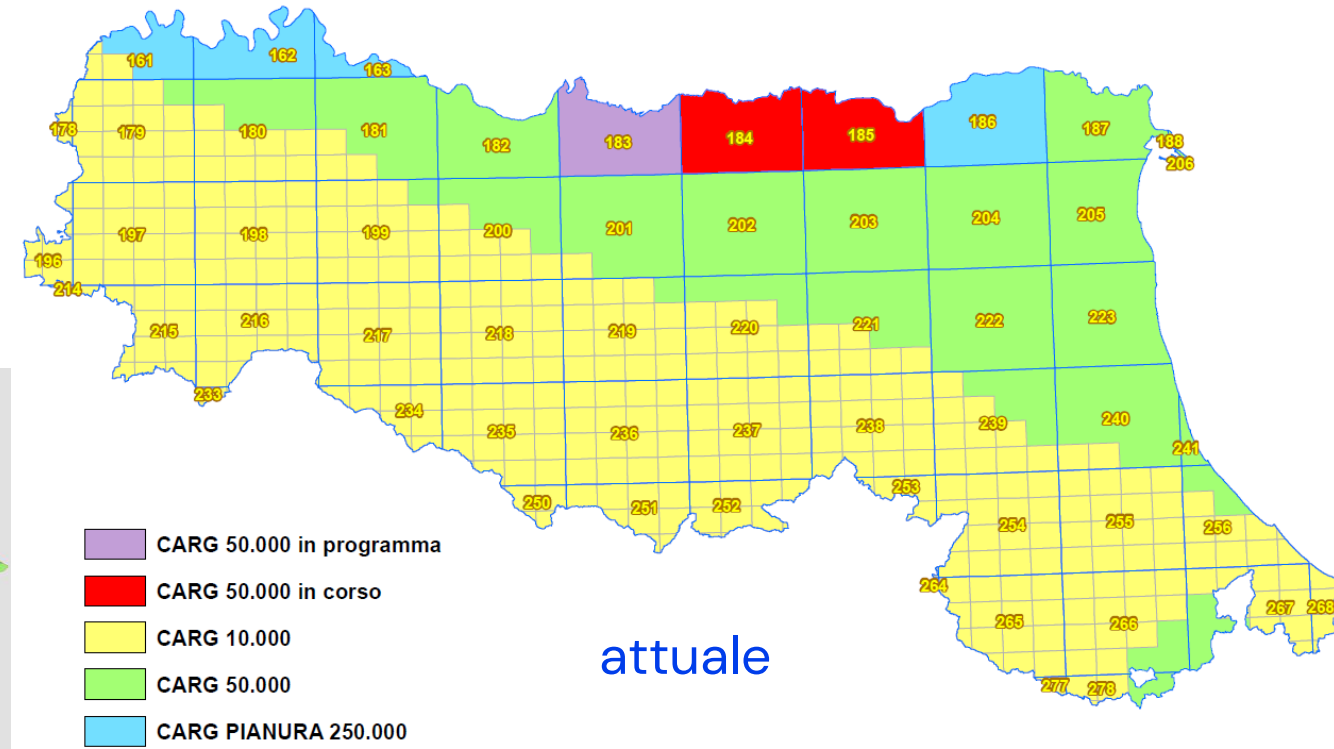
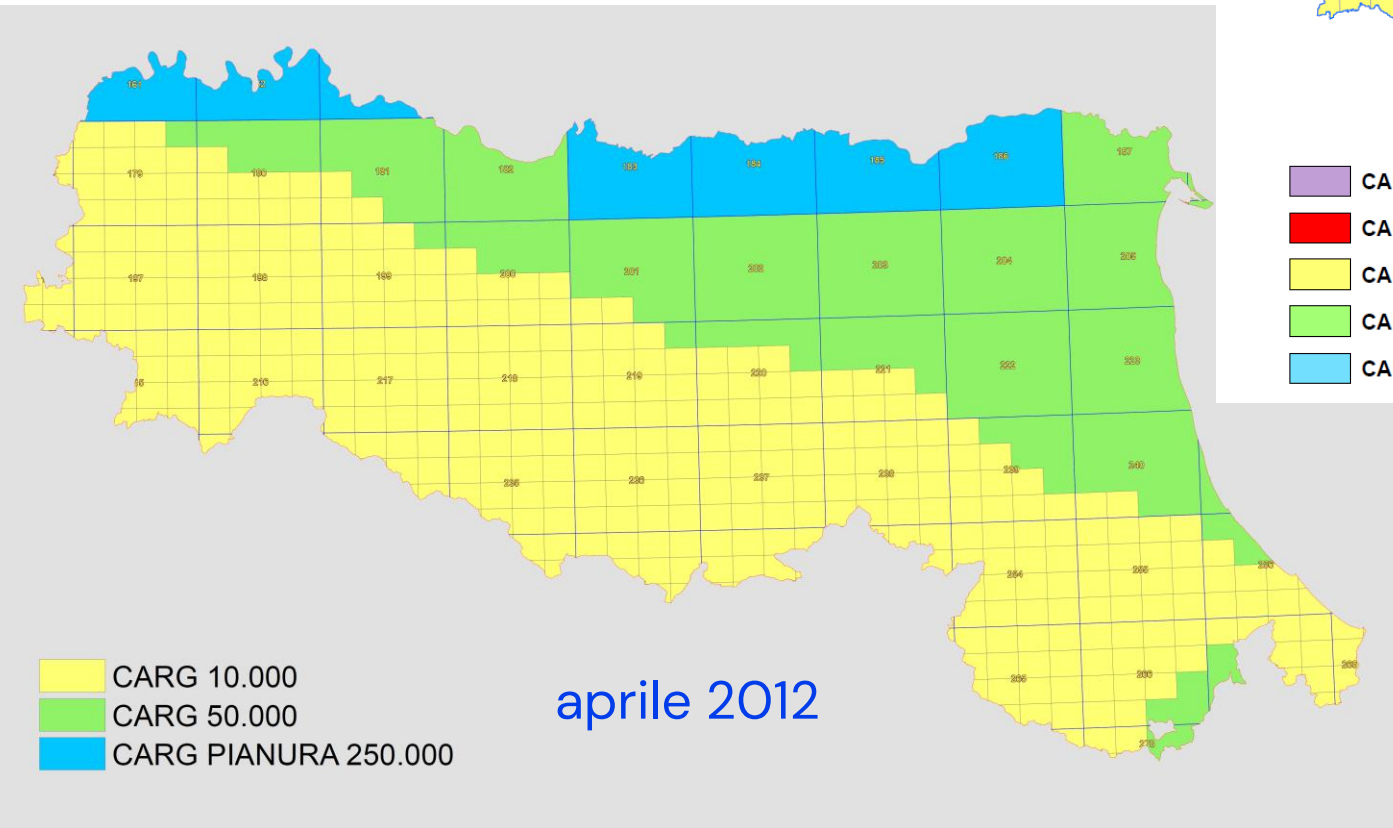
 liv 3

Tutti i Comuni del "cratere" hanno già studi di MS e analisi della condizione limite di emergenza (CLE); alcuni li stanno aggiornando.

A scala regionale: 298 Comuni su 330 (90,3%) hanno studi MS; i restanti 32 (9,7%) li stanno realizzando/completando.

# Cartografia geologica

## Nuovi fogli CARG





**Grazie per l'attenzione**

*[luca.martelli@regione.emilia-romagna.it](mailto:luca.martelli@regione.emilia-romagna.it)*

**Le conoscenze geologiche  
10 anni dopo**

Venerdì 27 maggio 2022

Bologna | viale della Fiera, 8

Terza Torre | Sala 20 maggio 2012