



Università degli studi dell'Insubria  
Dipartimento di Scienza ed Alta Tecnologia

# Tettonica quaternaria e rischio da fagliazione superficiale nell'Avanfossa Padana

Alessandro Maria Michetti



7 Maggio 2014 – Sala Consiliare di Ingegneria, Brescia

# Tettonica quaternaria e rischio da fagliazione superficiale nell'Avanfossa Padana

Licia Ripamonti, Marzio Roncoroni, Franz  
Livio, Livio Bonadeo, Fabio Brunamonte,  
Francesca Ferrario, Valerio Comerci, Luca  
Guerrieri, Pio Di Manna, Eutizio Vittori, Anna  
Maria Blumetti, Leonello Serva



**ISPRA**

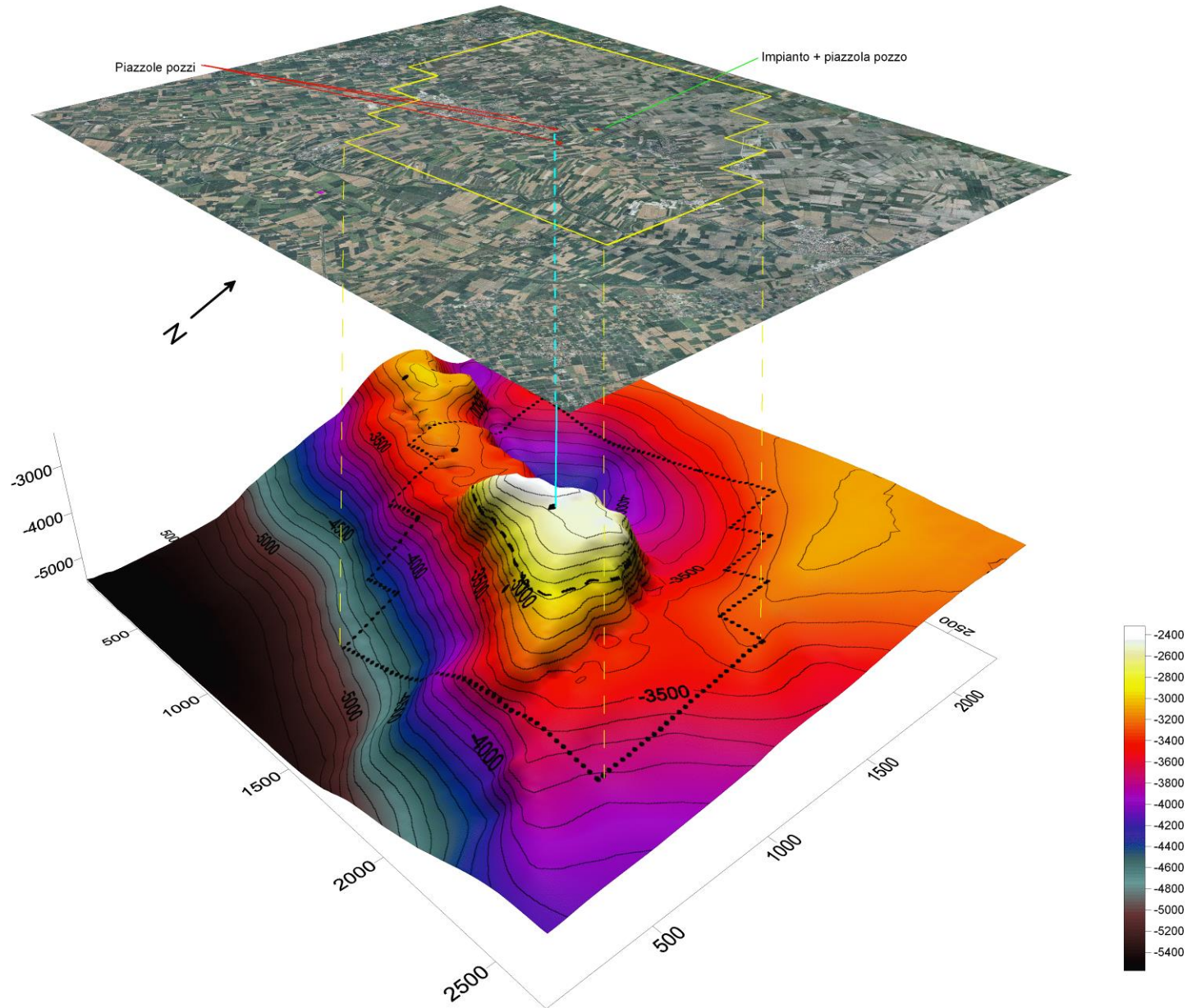
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



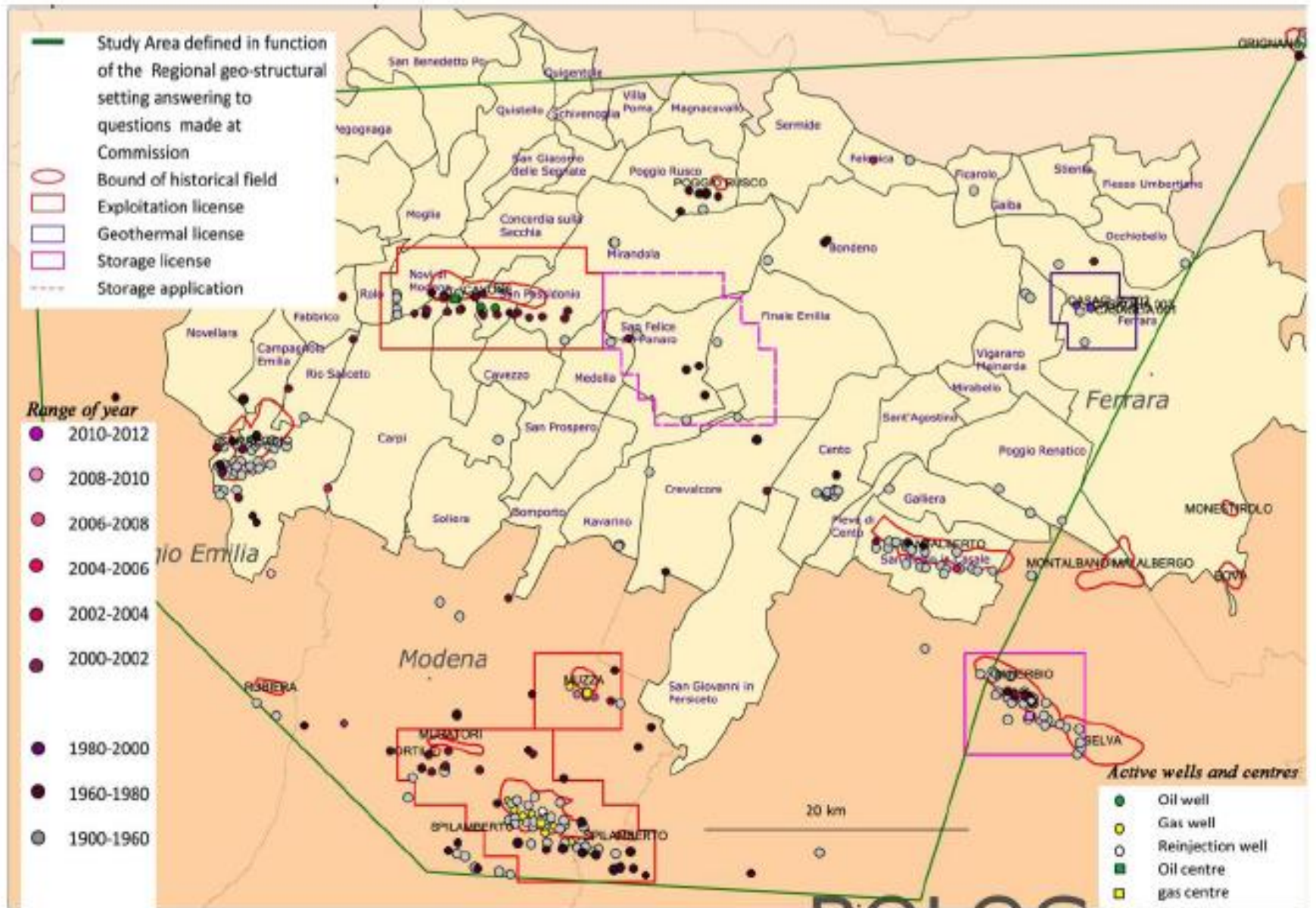
7 Maggio 2014 – Sala Consiliare di Ingegneria, Brescia

- Tutto nasce da Rivara.....
- ICHESE e le dimensioni del problema terremoto in Pianura Padana
- Deficit di sicurezza sismica
- e rischio di fagliazione e liquefazione
- Carta delle faglie capaci e caratterizzazione del potenziale di fagliazione superficiale
- E' possibile trovare soluzioni ingegneristiche per mitigare la pericolosità sismica

# Rivara, vista tridimensionale del serbatoio profondo



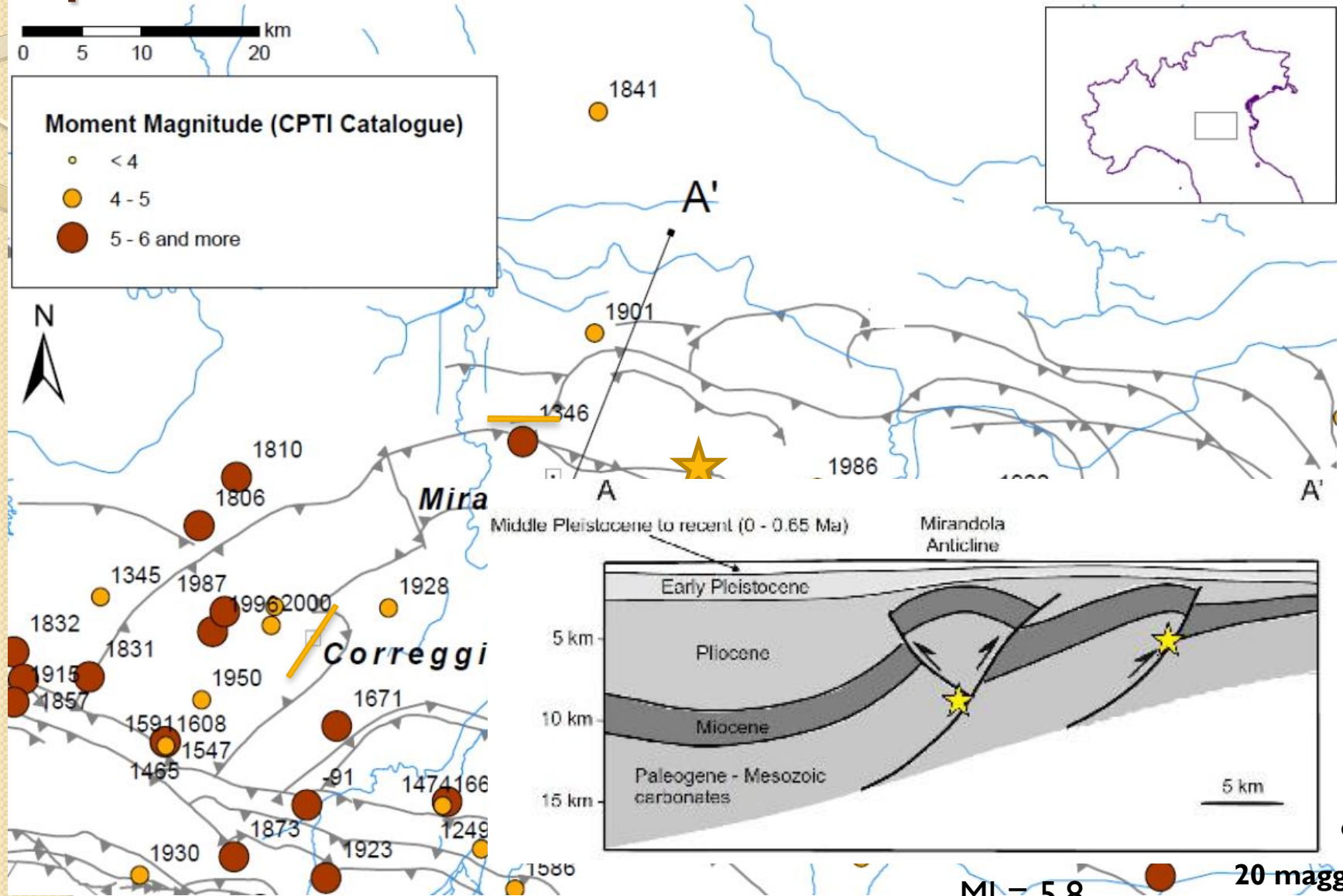




Map and Data elaboration made by Cartography Office (DIV.I) of Directorate General for Mineral and Energy Resources (DGRME-MISE) for ICHESE Commission (Roma, 2013)

Figure IV.1 Study area and historical wells.

# Sequenza sismica 2012



MI = 5.8

20 maggio

29 maggio



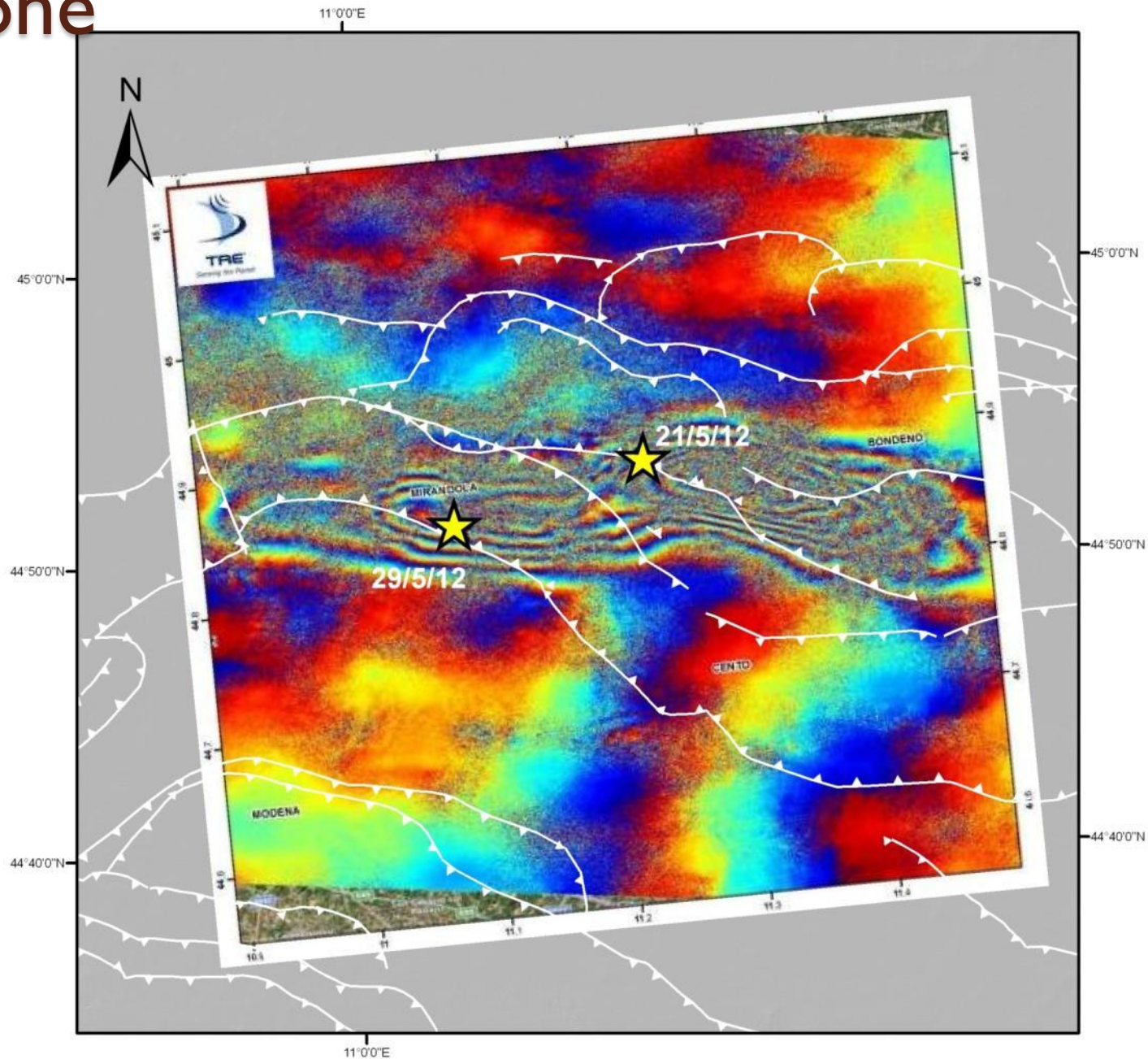
# Deformazione del terreno (DInSAR)

Deformazione superficiale indotta dal movimento di faglie sepolte-cieche

Blande anticlinali

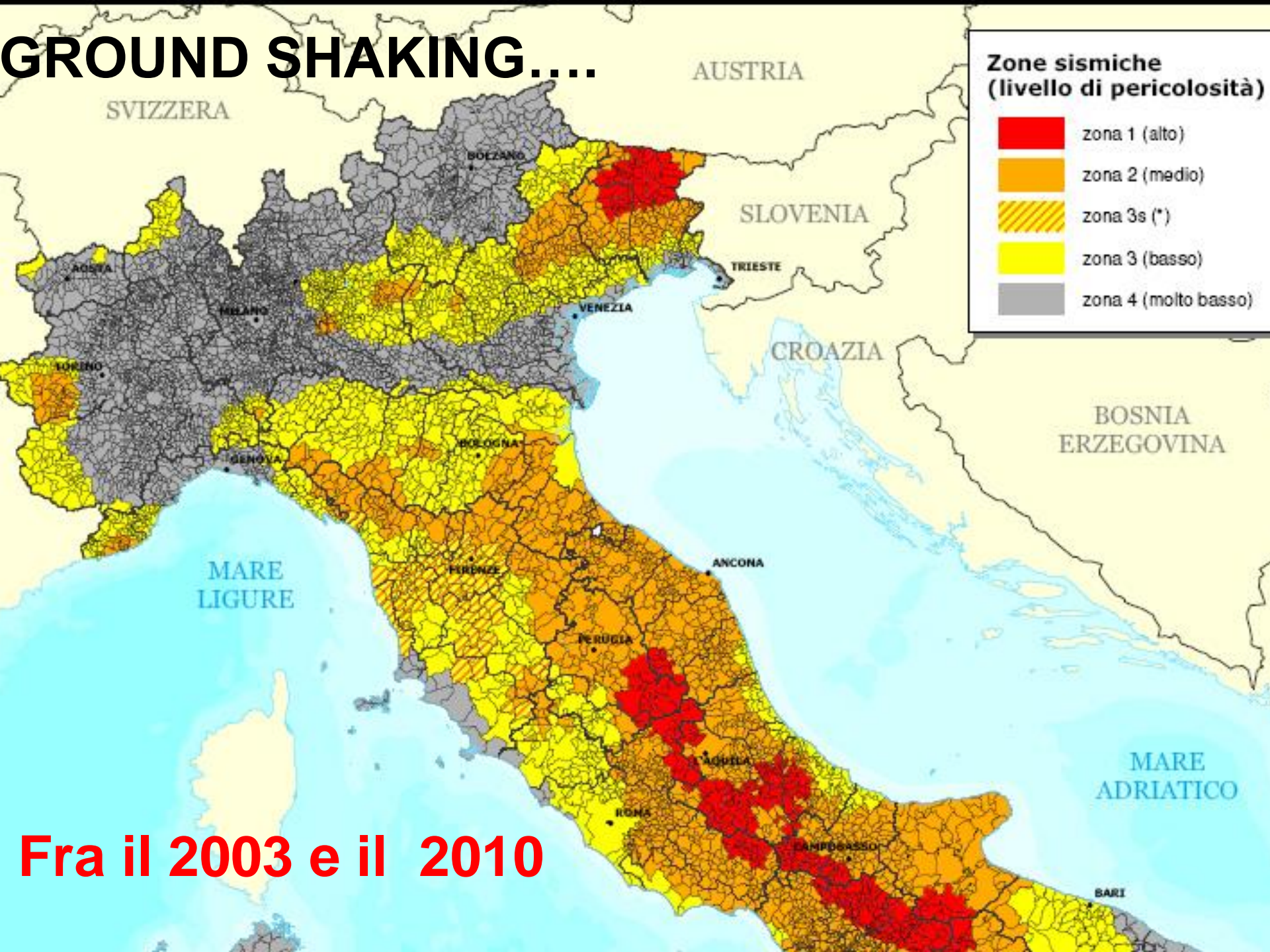
Sollevamento massimo ca. 10 cm.  
(gradiente medio 10-4)  
→ 100 m

Due strutture adiacenti ed in parziale sovrapposizione  
(Struttura di Ferrara e struttura di Mirandola)





# GROUND SHAKING....



**Fra il 2003 e il 2010**

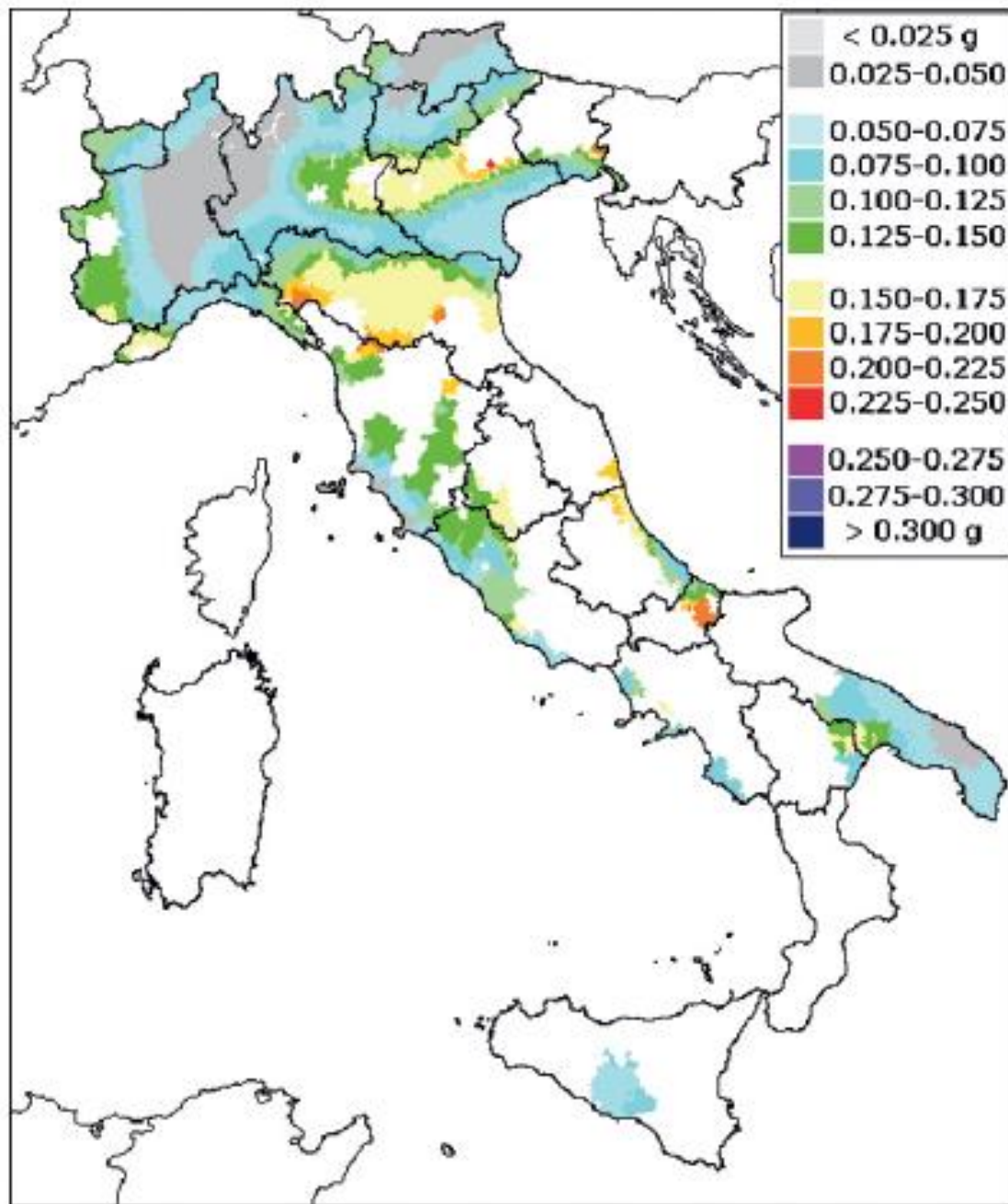


**Prima del 2003**

Classificazione 1984



Figura 7  
Mappa del deficit di  
sicurezza sismica, espressa  
in termini di valori della  
accelerazione di progetto  
secondo i quali avrebbero  
dovuto essere costruiti gli  
edifici, nei comuni  
classificati come sismici per  
la prima volta nel 2003 ai  
sensi della OPCM  
3274/2003.







**Paganica, 6 Aprile 2009**

**....GROUND RUPTURE....**













**...NEI MINUTI SUCCESSIVI AL TERREMOTO**













**Monte Netto, 18 dic 2007**





**Trans Alaska Pipeline  
engineered for the Denali  
Fault crossing; just after  
the Nov. 3, 2002, Mw 7.2 eq.**







M 7.9 Denali fault, Alaska, earthquake of November 3, 2002. Milepost 215.5 on the Richardson Highway. The direction of view is approximately from north to south. The fault trace is running almost NW-SE direction. The horizontal offset is approximately 2-2.5m. Photo courtesy: Akihiko Ito



M 7.9 Denali fault, Alaska, earthquake of November 3, 2002.  
Milepost 215.5 on the Richardson Highway  
(<http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2002/uslbbbl/photos/pr071102/rhnpipeline2.jpg>)



Table 2  
Comparison of Denali Fault Parameters

| Denali Fault Parameters                    | Estimated   |             | Design   | 3 November 2002     |             |
|--|-------------|-------------|----------|---------------------|-------------|
| Earthquake magnitude                       | 8.0         |             | 8.0      | 7.9                 |             |
| Horizontal Acceleration at Pump Station 10 | Page (1972) | Bolt (1972) | 0.6 g    | 0.34 g              |             |
|  | 1.2 g       | 0.7 g       |          |                     |             |
| Horizontal Velocity at Pump Station 10     | 145 cm/s    | -           | 74 cm/s  | 114 cm/s            |             |
| Maximum right slip                         | 9.1 m       |             | 6.1 m    | Denali rupture      | At pipeline |
|  |             |             |          | 8.8 m               | 5.5 m       |
| Maximum vertical slip                      | 2.1 m       |             | 1.5 m    | Denali rupture      | At pipeline |
|  |             |             |          | 2.0 m               | 0.8 m       |
| Displacement zone width                    | 579.1 m     |             | 610 m    | Rupture within zone |             |
| Fault rupture width                        | 76.2 m      |             | Included | 200 m               |             |

Paleoseismology, ground rupture hazard, and ground shaking hazard  
(from Cluff, Slemmons et al., 2003)

**San Carlo, 20 Maggio 2012**



**... AND GROUND FAILURE**





Frazione San Carlo; fenomeno di sprofondamento associato a fratturazione e liquefazione delle sabbie



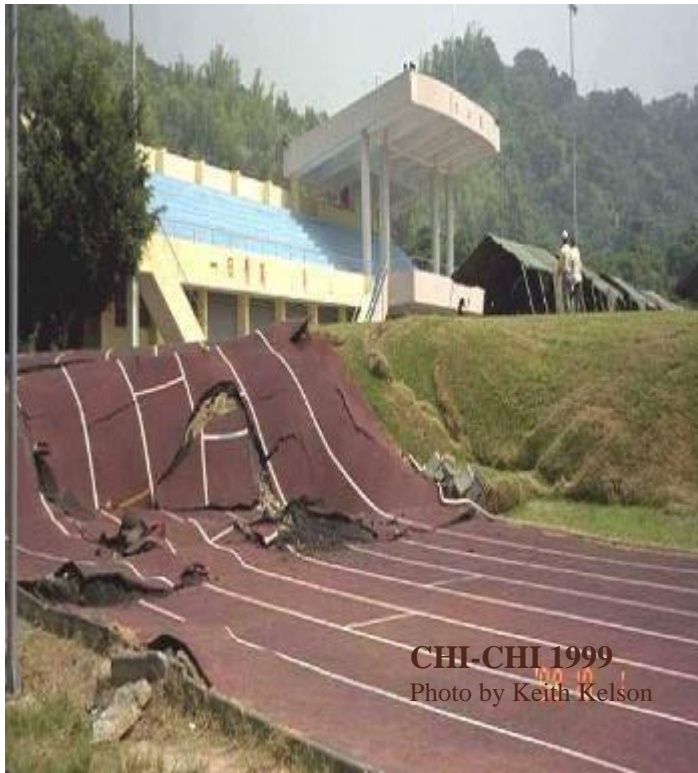
- La pericolosità sismica della Pianura Padana è ben descritta e documentata (... e sottostimata...)
- Ma abbiamo tutti gli strumenti e le tecnologie per valutare correttamente i valori di progetto per lo scuotimento (massimo terremoto), la dislocazione del terreno e gli effetti ambientali dei forti terremoti, e per trovare quindi soluzioni ingegneristiche adeguate
- Carta delle faglie capaci e caratterizzazione del potenziale di fagliazione superficiale



Per indicare solo le faglie attive che sono rilevanti dal punto di vista degli effetti che inducono in superficie, si utilizza il termine **FAGLIA CAPACE**, introdotto in origine nelle procedure per il *siting* degli impianti nucleari.

Si potrebbe obiettare che esistono **Faglie Cieche Attive** del rischio sismico. In realtà, tra tali faglie, quelle che generano gli effetti Faglie Capaci.

## Che cos'è una FAGLIA CAPACE?



### IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

## Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations

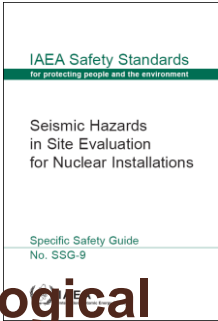
Specific Safety Guide

No. SSG-9



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency

## 8. POTENTIAL FOR FAULT DISPLACEMENT AT THE SITE



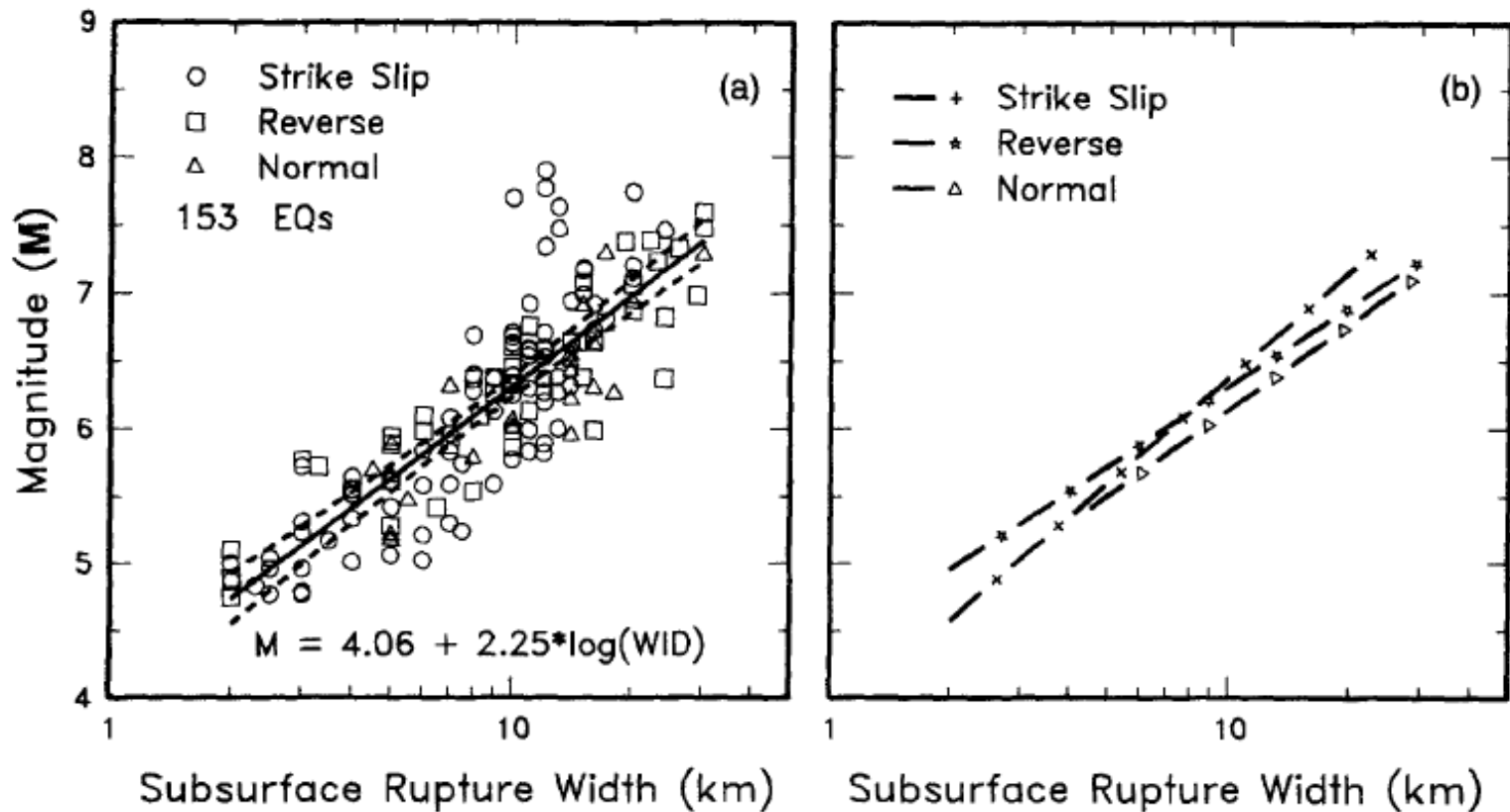
### CAPABLE FAULT

#### Definition

8.4. On the basis of geological, geophysical, geodetic or seismological data, a fault should be considered **capable** if the following conditions apply:

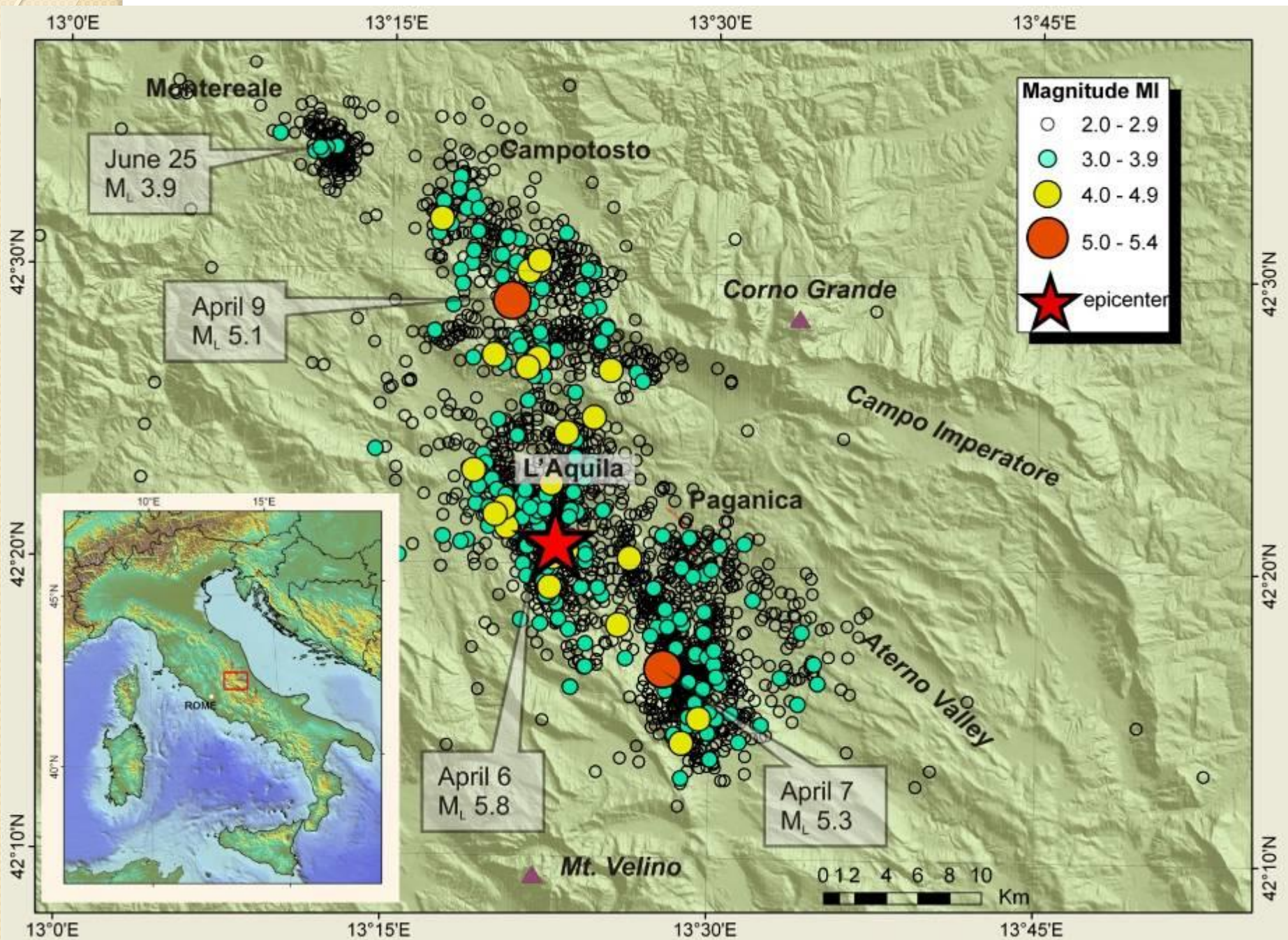
- (a) If it shows evidence of past movement or movements (such as significant **deformation and/or dislocations**) of a **recurring nature** within such a **period** that it is reasonable to conclude that **further movements at or near the surface may occur**. In highly active areas, where both earthquake data and geological data consistently reveal short earthquake **recurrence intervals**, periods of the order of **tens of thousands of years** (e.g. **Upper Pleistocene-Holocene**, i.e. the present) may be appropriate for the assessment of capable faults. In less active areas, it is likely that much longer periods (e.g. **Pliocene-Quaternary**, i.e. the present) are appropriate.



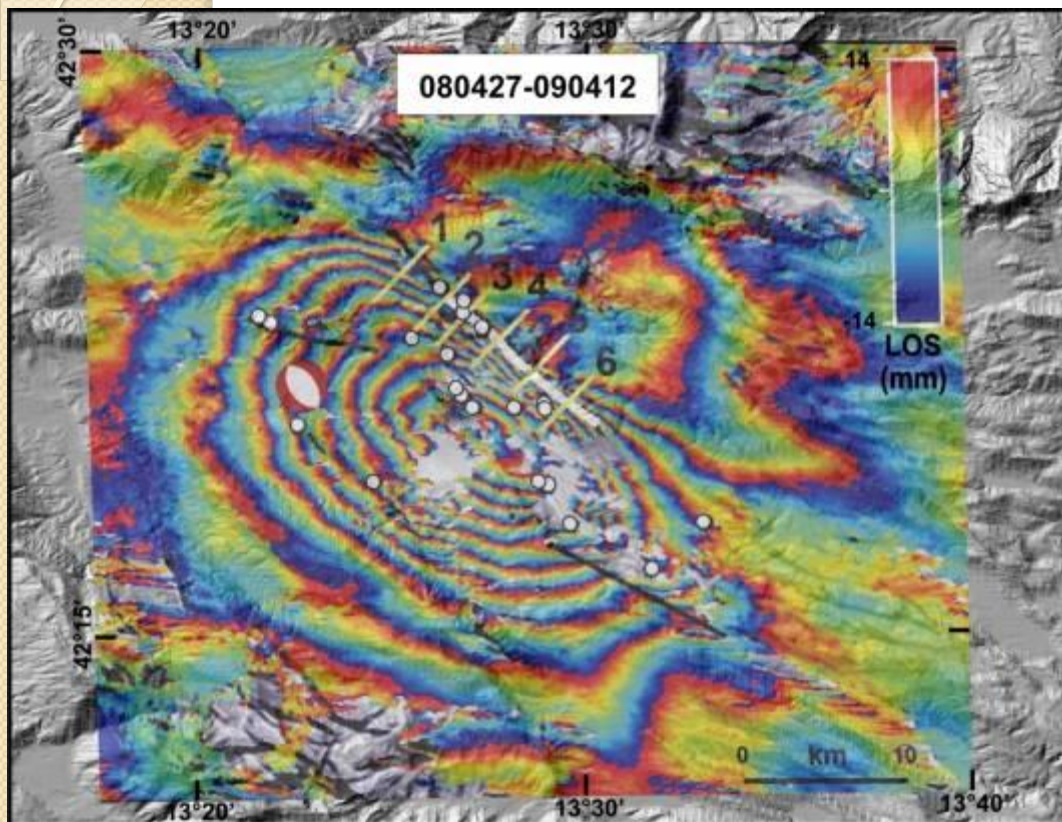


(b)  
has

(c) If the maximum potential **magnitude** associated with a seismogenic structure, as determined in Section 4, is sufficiently large and at such a **depth** that it is reasonable to conclude that, in the current tectonic setting of the plant, **movement at or near the surface** may occur.





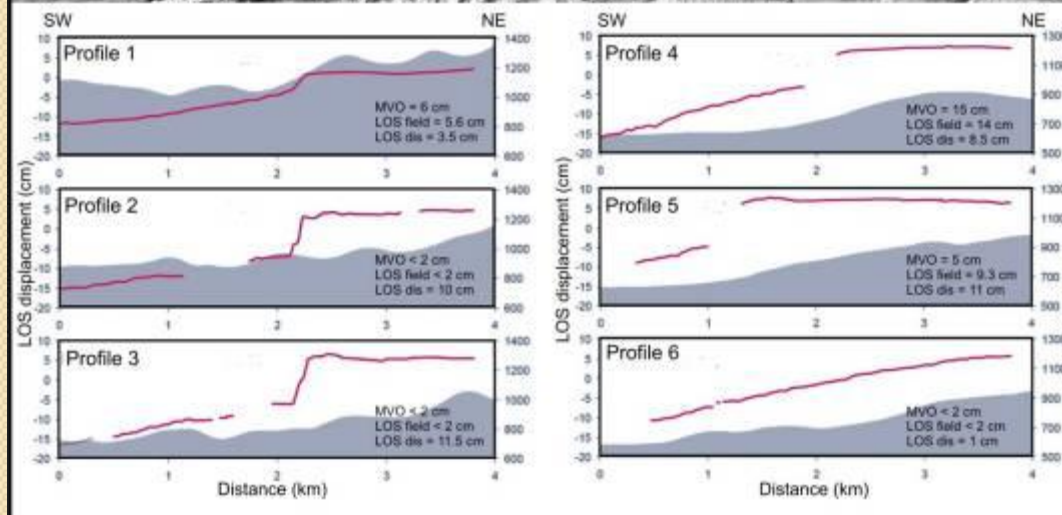


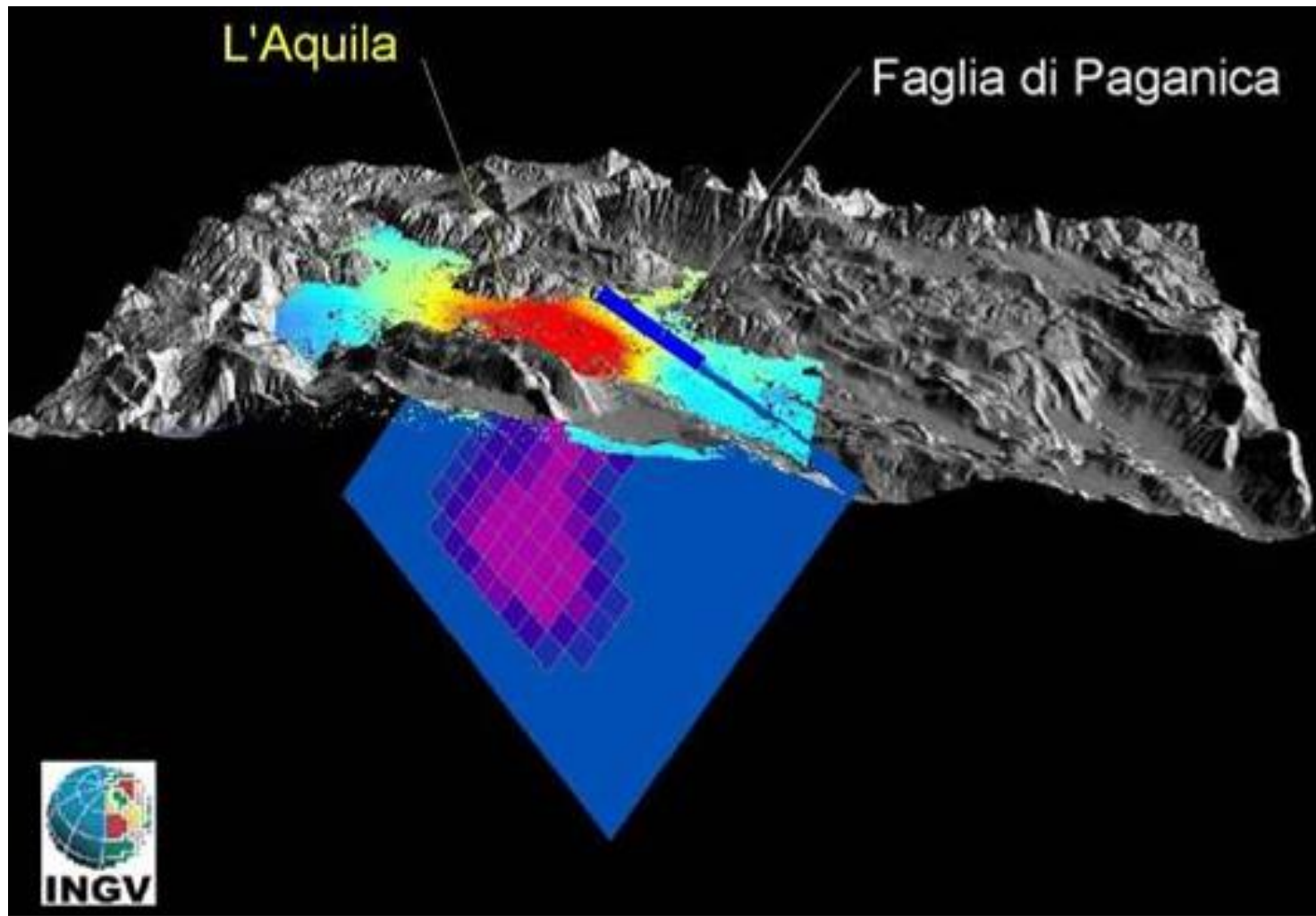
ASAR images from the European Space Agency (ESA) ENVISAT satellite

(C-band, 5.6 cm wavelength, 12 beam mode, mean incidence angles of 23°)

Each fringe cycle corresponds to 28mm of satellite to ground Line of Sight (LOS) movement

The oval-shaped subsidence southwest of the Paganica Fault reaching up to about 25 cm between the cities of L'Aquila and Fossa (center of fringes), and minor uplift of up to 5 cm northeast of the fault.

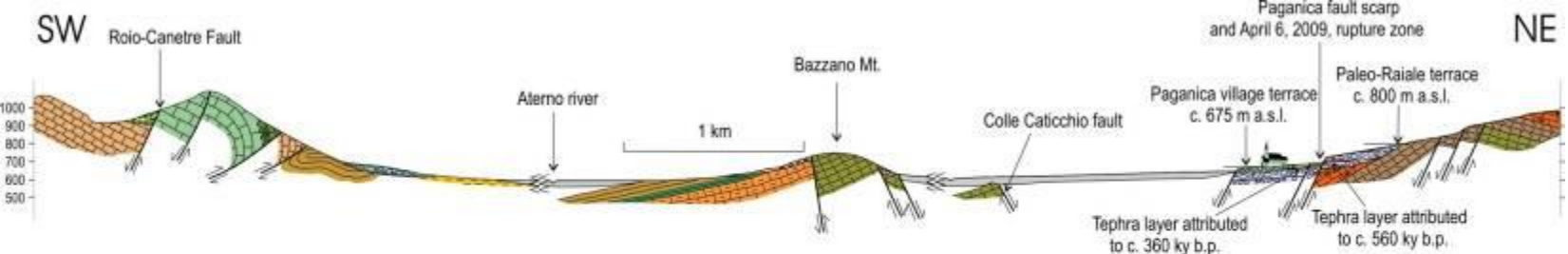
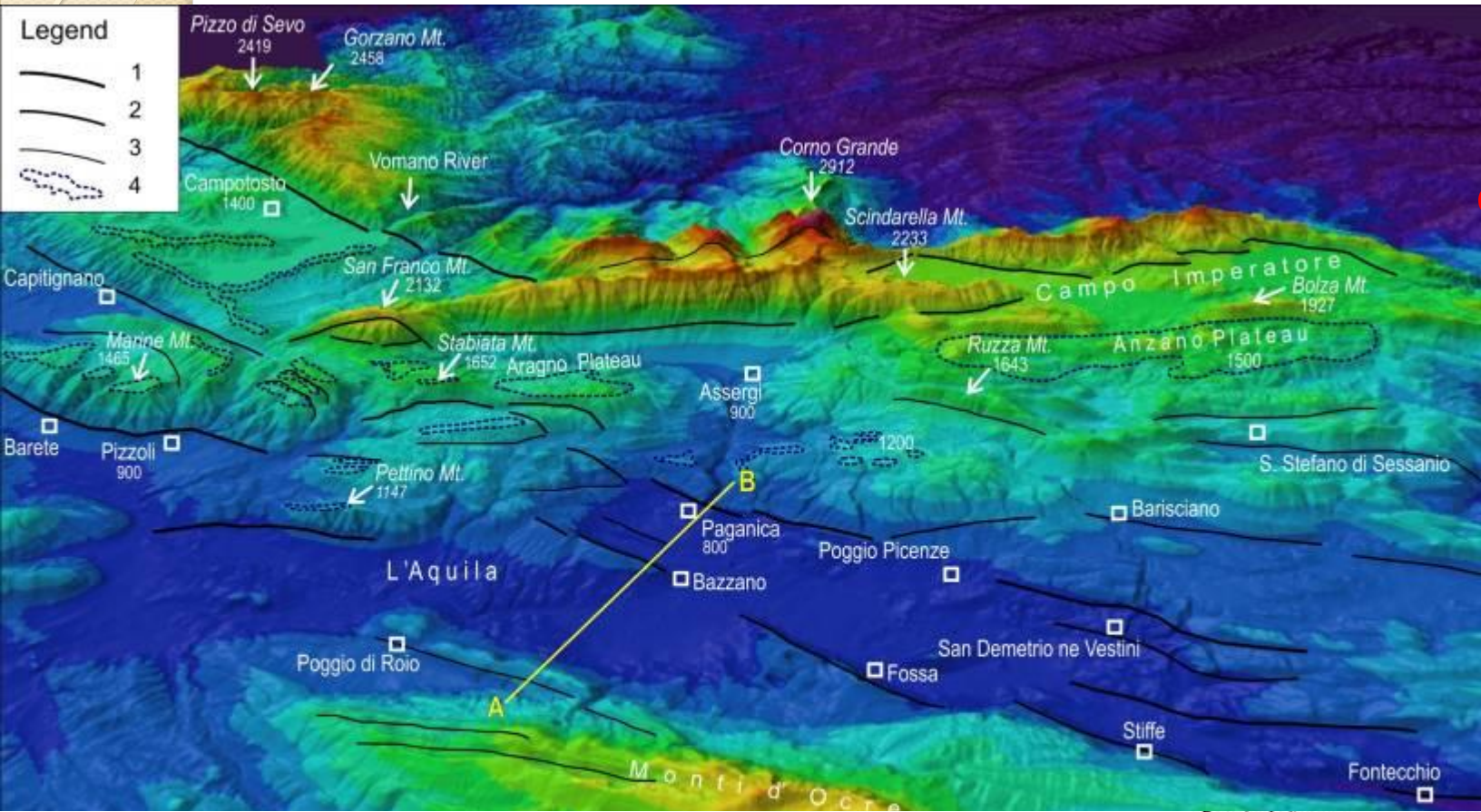




Fault plain solution by InSar data inversion (Salvi et al., 2009)



# Faglie Capaci da ITHACA



| Quaternary sequence  | Roio Meso-Cenozoic shelf edge sequence  | Bazzano Meso-Cenozoic slope sequence  | Paganica Meso-Cenozoic basin sequence   |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Alluvial deposits of the Aterno and river valleys Upper Pleistocene - Holocene</li> <li>Slope waste deposits Upper Pleistocene</li> <li>Alluvial deposits of the Paganica village terrace Upper Pleistocene - Holocene</li> <li>Alluvial deposits of the Paleo-Raiate river terrace Late Middle-Quaternary</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flysch deposits of the Lazio-Abruzzi domain, Lower Messinian p.p.</li> <li>Limestones Middle-upper Miocene</li> <li>Limestones with macroforaminifera Paleocene p.p. - Lower Miocene</li> <li>Limestones with Rudistae fragments Upper Cretaceous</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flysch deposits Lower Messinian p.p.</li> <li>Clays, "Argille ad orbulina" Fm. Tortonian-Lower Messinian p.p.</li> <li>Marly limestones Middle-upper Miocene</li> <li>Limestones, "Scaglia detritica" Fm. Upper Cretaceous-Eocene</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Limestones, "Bisciaro" Fm. Lower Cretaceous</li> <li>Marls and marly limestones, "Scaglia cinerea" Fm. Eocene - Miocene p.p.</li> <li>Limestones, "Scaglia detritica" Fm. Upper Cretaceous-Eocene</li> </ul> |





Fig. 6 - Terremoto del 1117, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS; d) Località con segnalazione di danni (da fonti narrative e documentarie coeve o posteriori autorevoli e da lapidi facenti riferimento diretto al terremoto); e) Località con ipotesi di danneggiamento (solo sulla base di informazioni archeologiche relative ad edifici romanici). Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

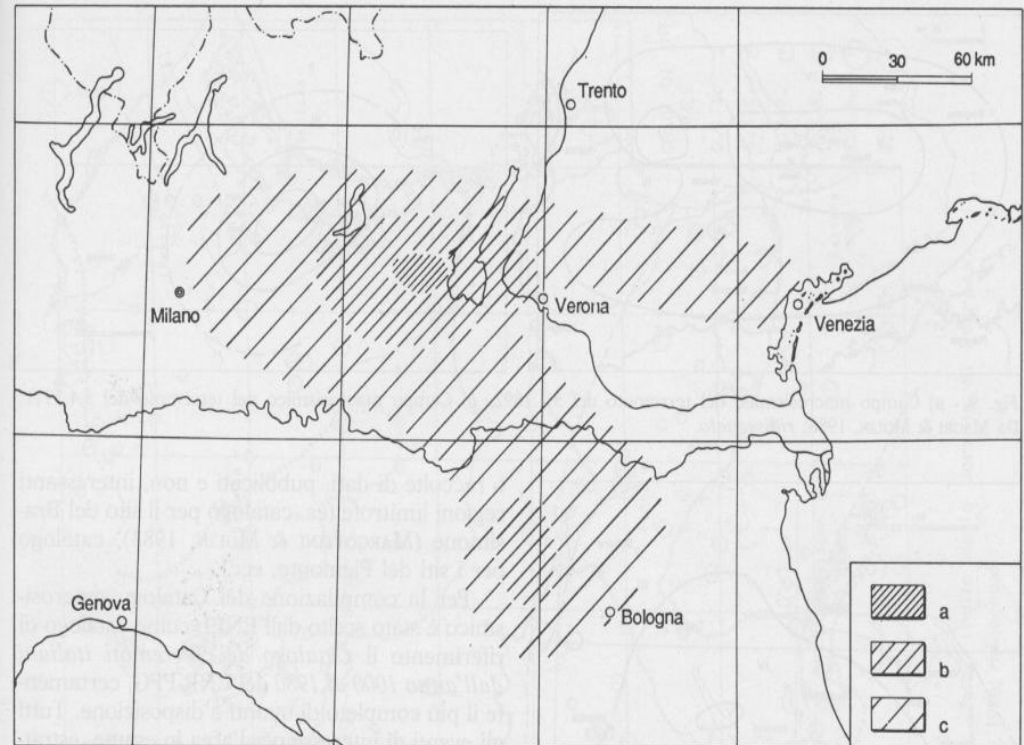


Fig. 7 - Terremoto del 1222, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX-X MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS. Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

**Magri and Molin, 1986, Iseoseismal maps of the Jan. 3, 1117 ( $I_0 = IX-X$  MCS) and the Dec. 25, 1222 ( $I_0 = IX-X$  MCS) earthquakes, the largest seismic events recorded in Northern Italy**



Sed et frater Andreas ultramarinus de civitate Achon ex Ordine fratrum Minorum, qui erat cum predicto domno et de familia sua et itineris socius, qui vidit et recordabatur, hoc idem dixit michi.

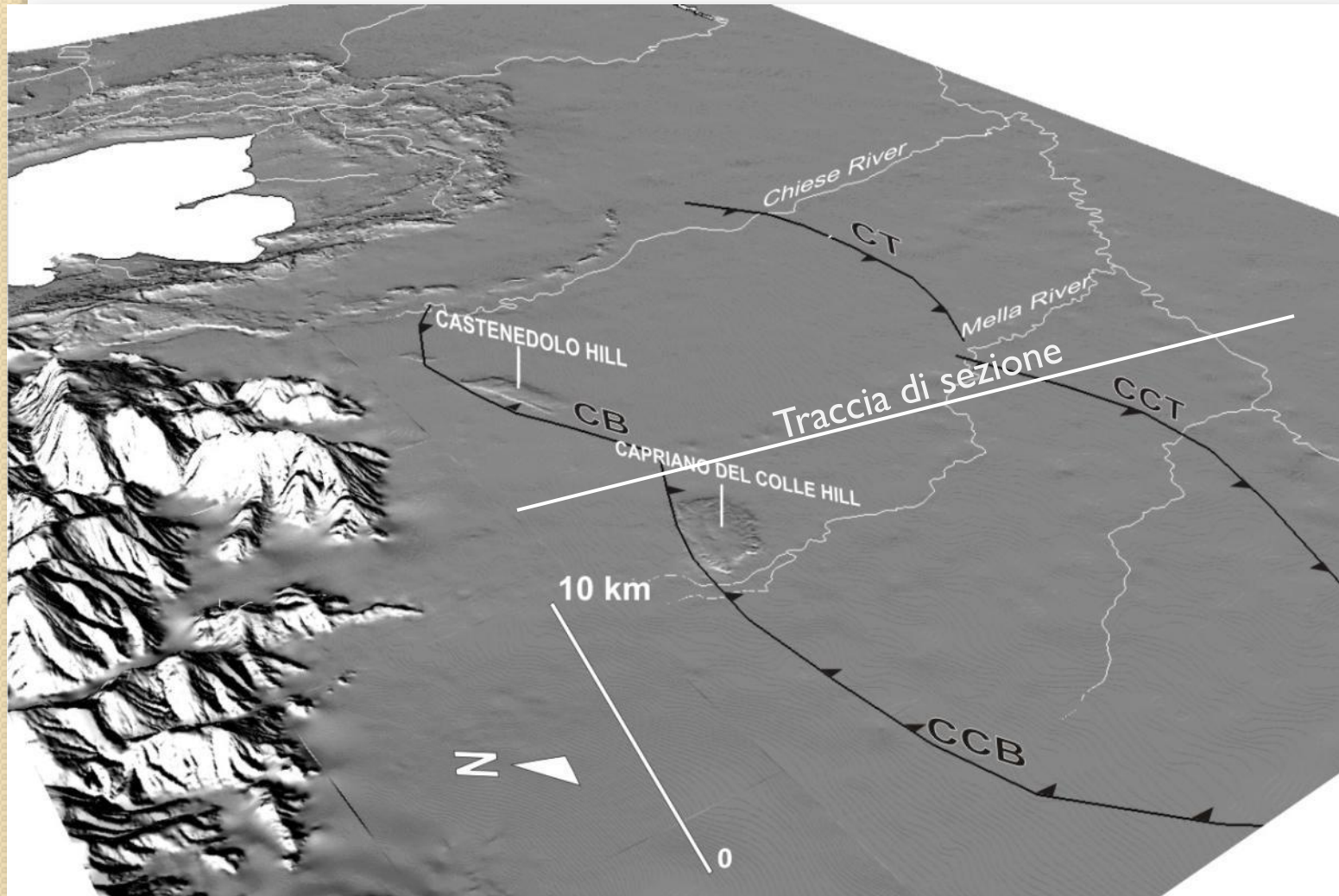
Anno Domini MCCXXII destructe fuerunt fovee civitatis Imole a Bononiensibus et Faventinis, et porte eiusdem civitatis portate fuerunt in civitatem Bononie. Et in eodem anno in Nativitate domini nostri Iesu Christi fuit maximus terremotus in civitate Regina, predicante domno Nicholao Regino episcopo in maiori Ecclesia sancte Marię. Et fuit iste terremotus per totam Lombardiam et Tusciam. Et appellatus fuit terremotus Brixie specialiter, quia plus vixit ibi, ita quod egressi Brixienſes de civitate morabantur extra in papilionibus, ne edificia caderent super eos. Et plures domus, turres et castra Brixienſium corruerunt ex illo terremotu. Et ita erant Brixienſes assuefacti ex illo terremotu, quod, quando cadebat pynaculum alicuius turris vel domus, aspiciebant et cum clamore ridebant. Unde quidam versibus ita dixit:

Mille ducentis atque viginti, Christe, duobus,  
 Postquam sumpsisti carnem, currentibus annis,  
 Talia fecisti miracula, rex benedictę:  
 Stella comis variis Augusti fine refulsit.  
 Septembris pluvia vites submersit et uvas  
 Destruxitque domos fluvii de more rapacis.  
 Lunaque passa fuit eclypsim mense Novembris.  
 Christi natalis media quasi luce diei  
 Terra dedit gemitus rugiens tremitque frequenter;  
 Tecta cadunt, urbes quassantur, templa ruerunt,  
 Exanimes dominos fecerunt menia multos.  
 Brixia precipue pressit ramosa colonas,  
 Flumina mutarunt cursum repetentia fontes.

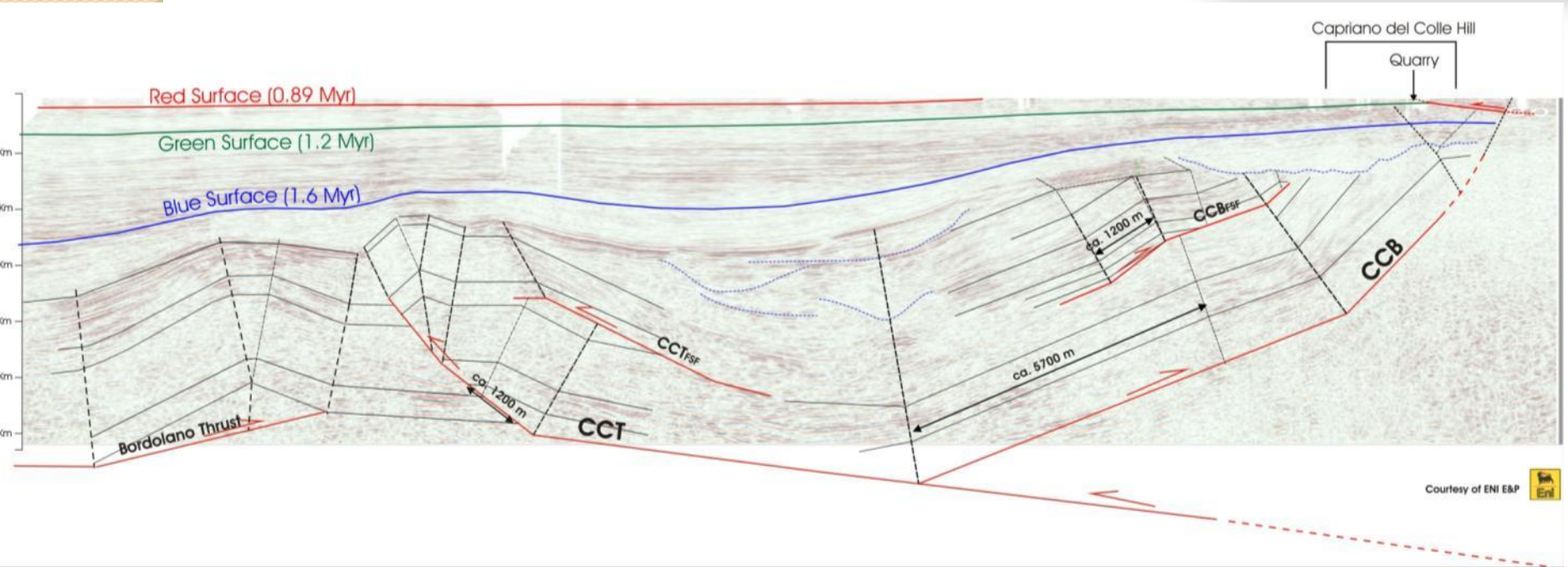
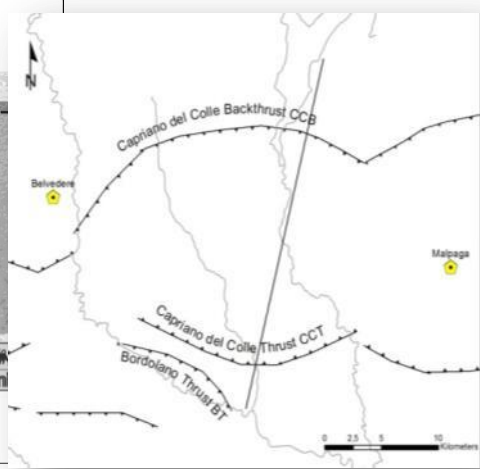
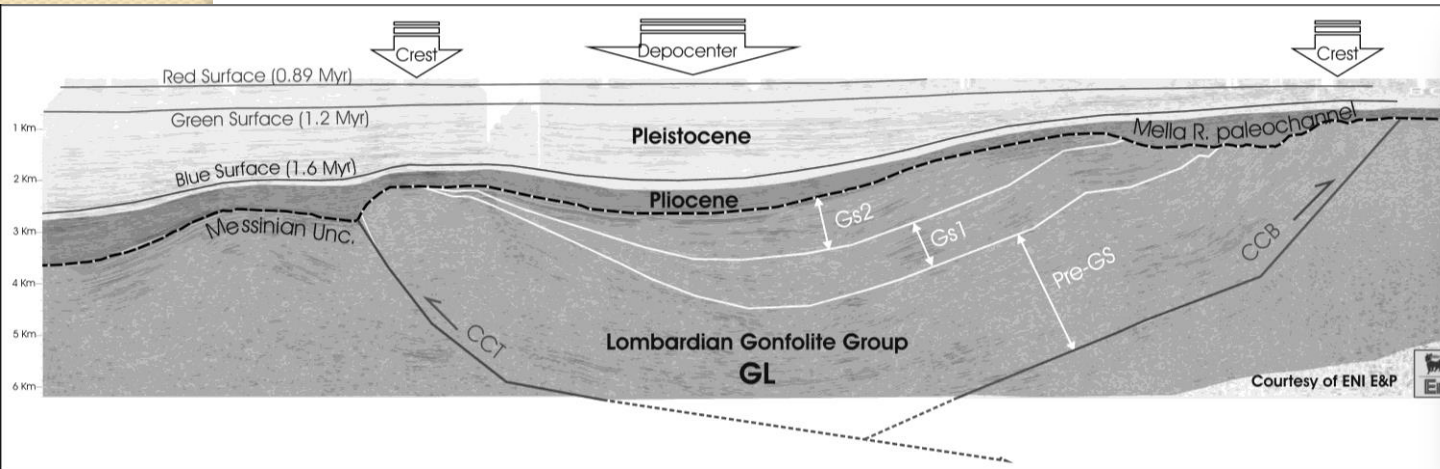
Solita erat mater mea michi referre, quod tempore istius magni terremotus iacebam in cunabulis, et ipsa accepit duas sorores meas, sub qualibet ascella unam — erant enim parvule —, et me in cuna dimisso cucurrit ad domum patris et

- Earthquake Environmental Effects, the lesson from Fra' Salimbene de Adam"

# Reference paleoearthquakes: Monte Netto, Brescia, epicentral area 1222 eq.







Fault propagation folds - constant thickness model (e.g., Suppe & Medwedeff, 1990)

Livio et al, 2009

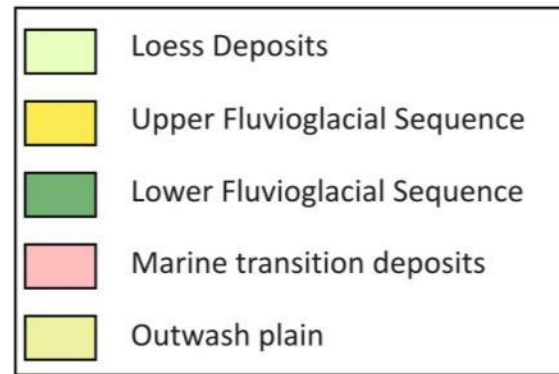
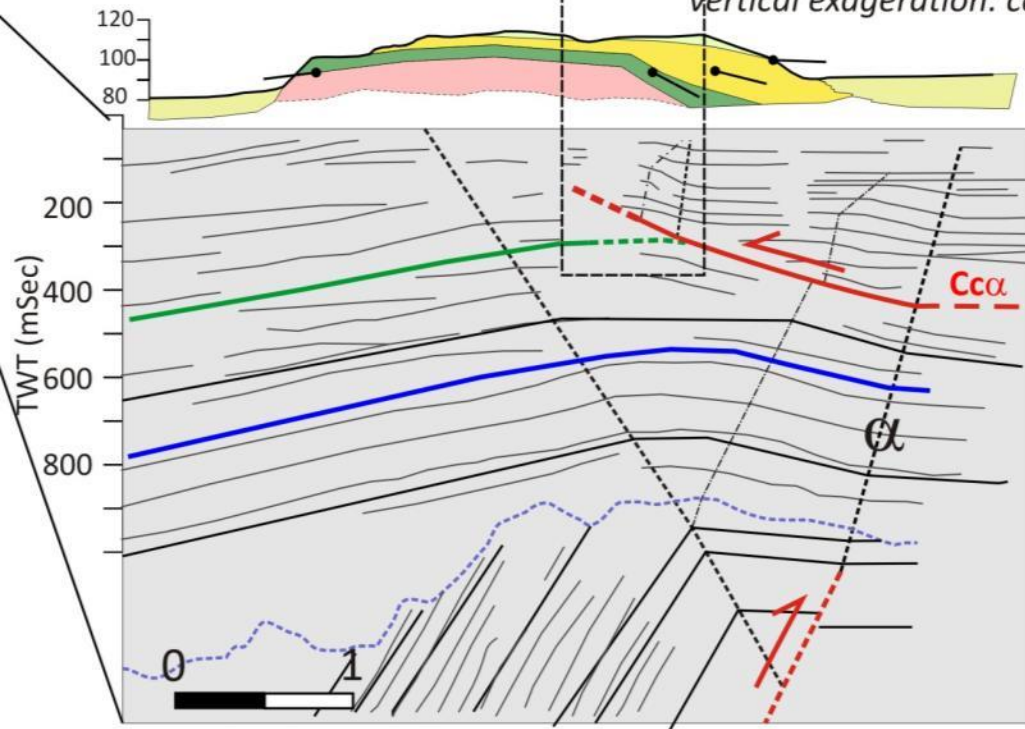
# Capriano del Colle Hill

**b**

Quarry

Fig. 9

Topography  
vertical exaggeration: ca 10x



Vertical Scale TWT  
vertical exaggeration ca.: 2x

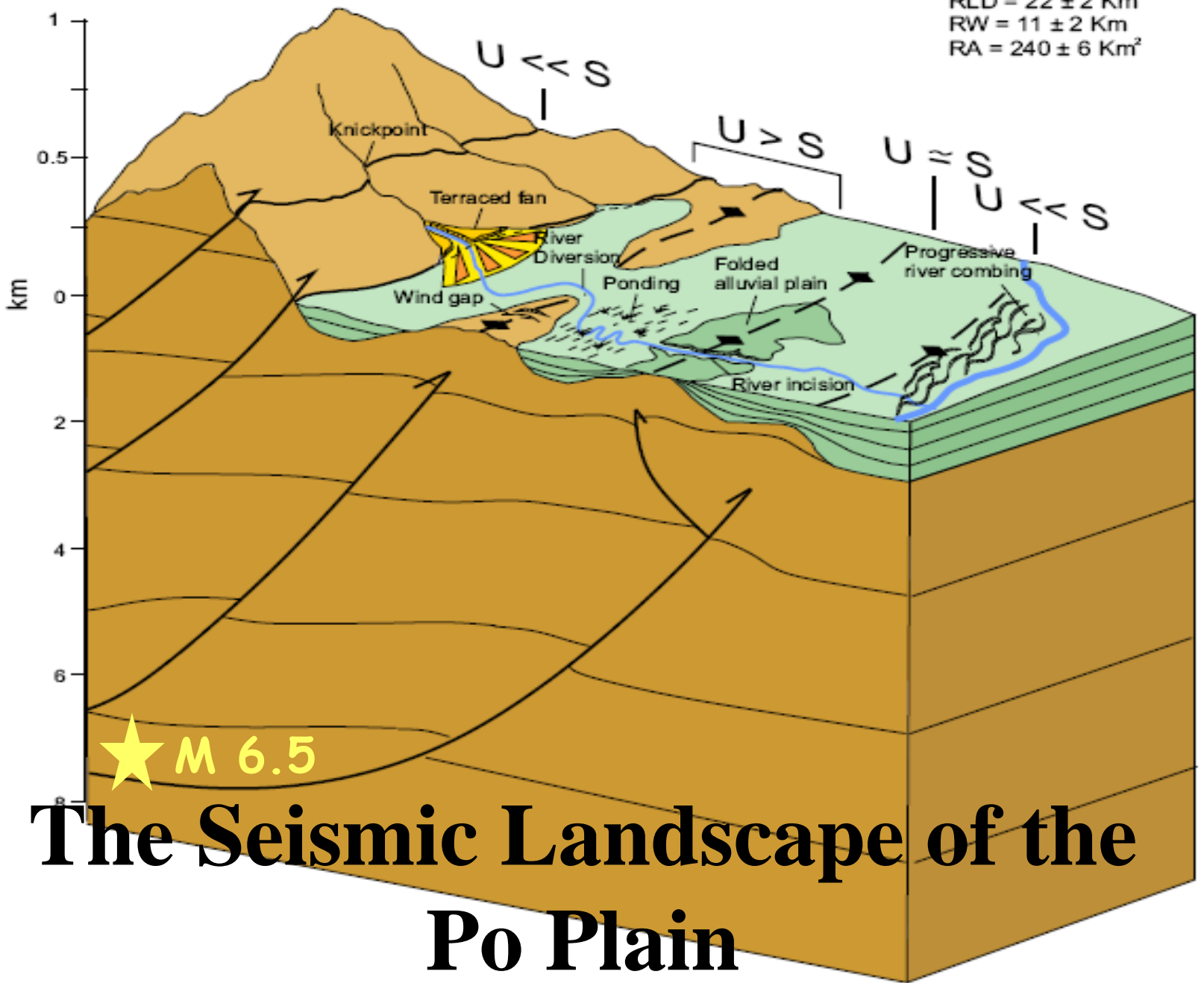
Livio et al, 2009,  
Tectonophysics



# Secondary and pa



M = 6.5  
RLD = 22 ± 2 Km  
RW = 11 ± 2 Km  
RA = 240 ± 6 Km<sup>2</sup>

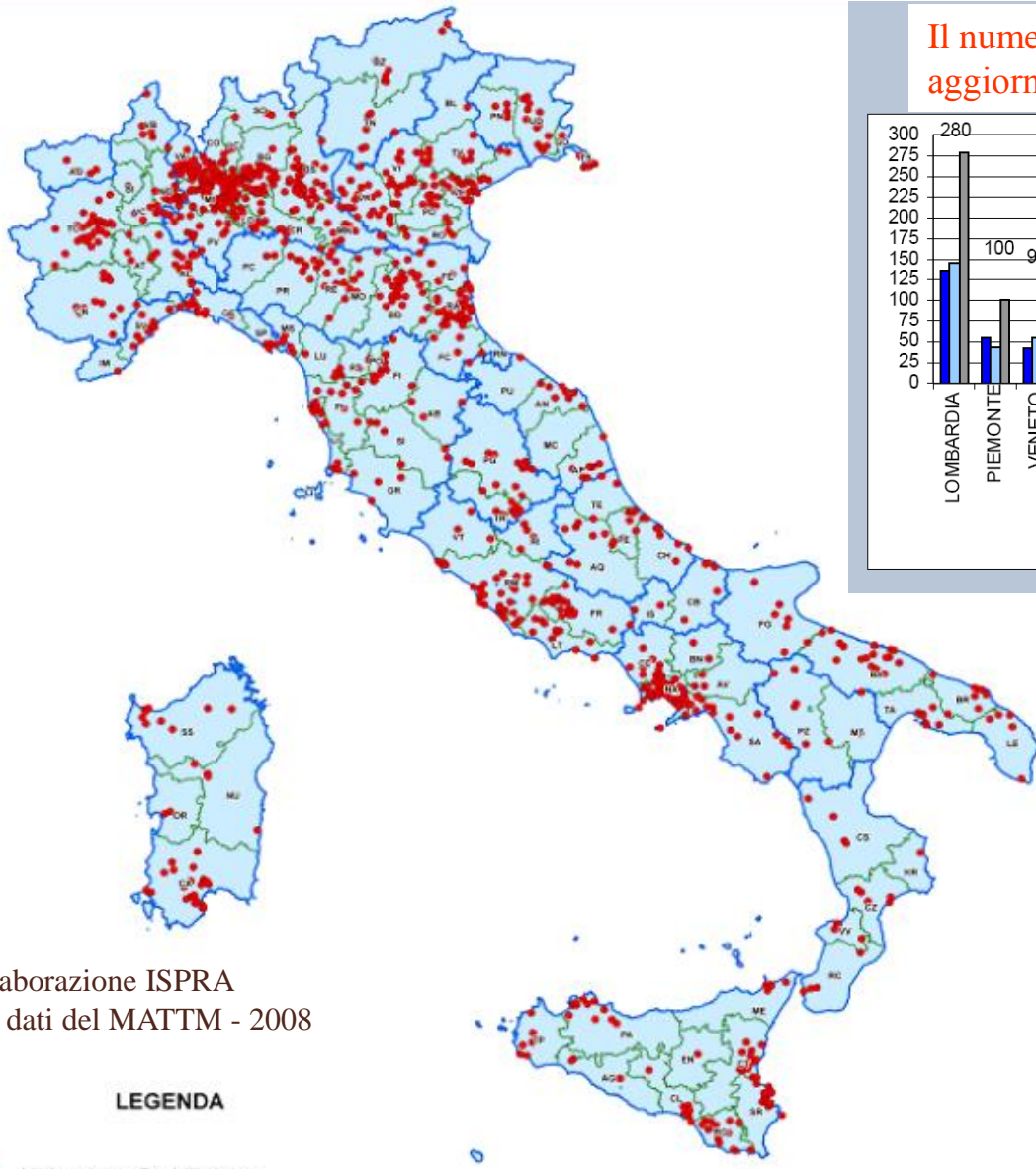
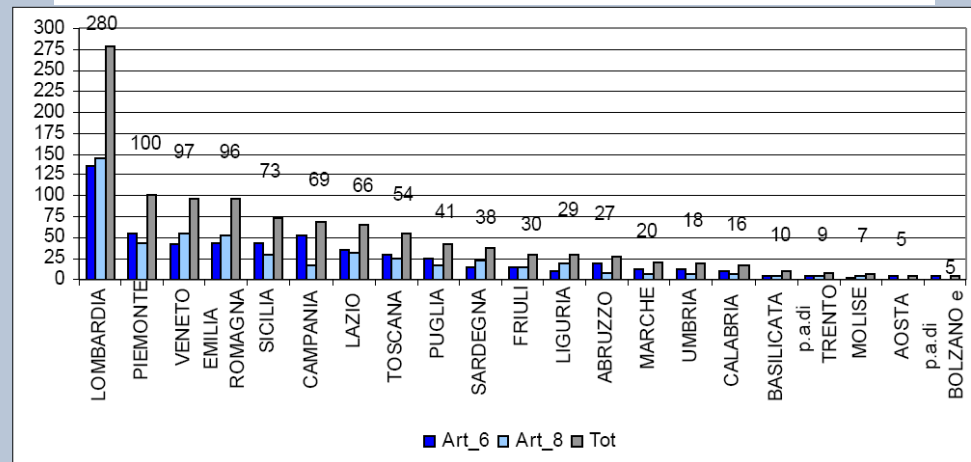


# The Seismic Landscape of the Po Plain





**Il numero totale di stabilimenti R.I.R in Pianura Padana, aggiornato all'anno 2009, supera le 500 unità su 1090**

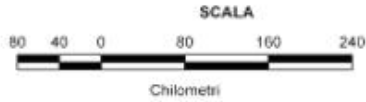


**Stabilimenti a Rischio di Incidente Rilevante (R.I.R) in Italia**

Elaborazione ISPRA su dati del MATTM - 2008

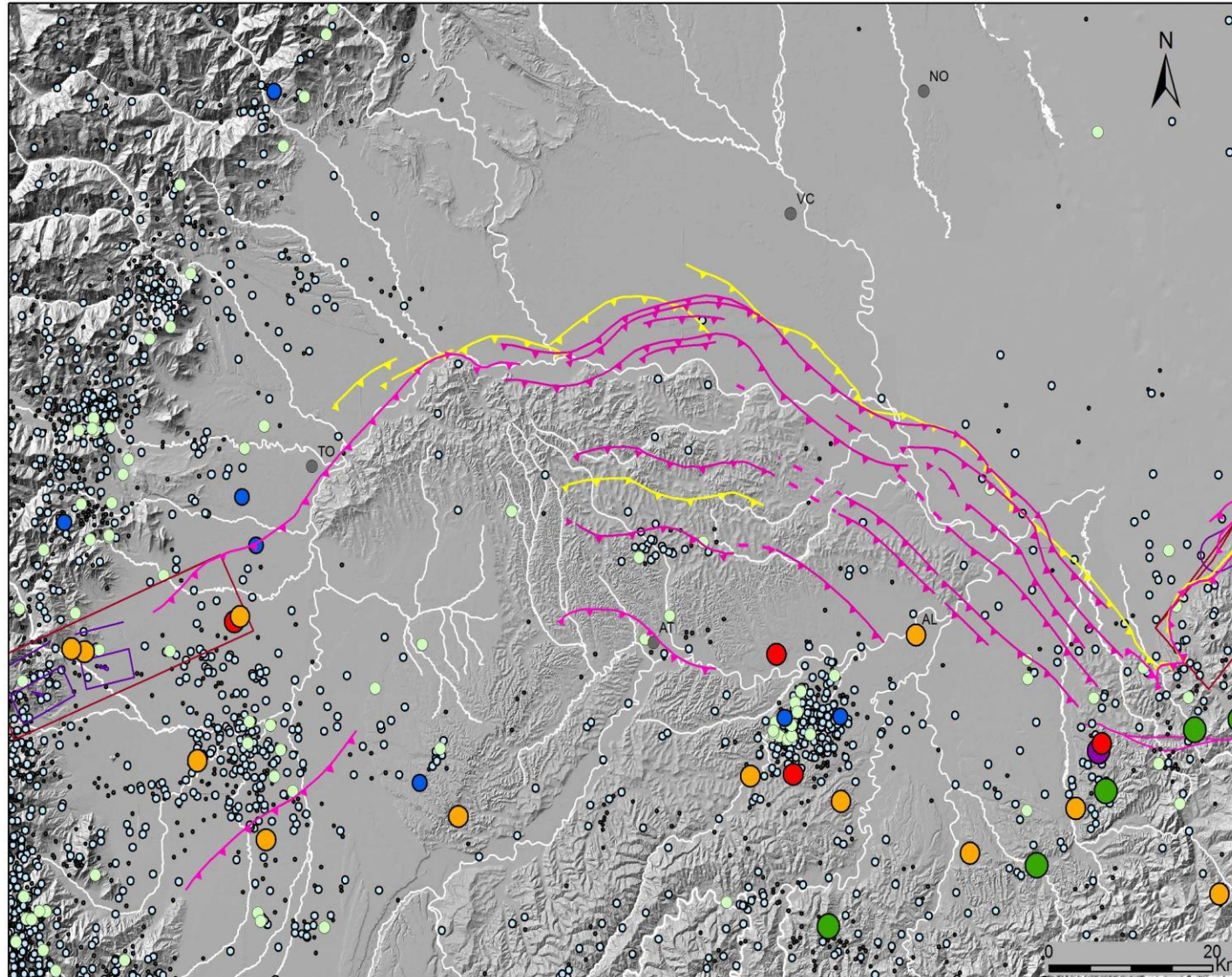
**LEGENDA**

- Ubicazione Stabilimento
- Limiti Amm. Regionali (ISTAT 2001)
- Limiti Amm. Provinciali (ISTAT 2001)





# AGGIORNAMENTO FAGLIE CAPACI MONFERRATO (Bonadeo, 2014)



Sismi storici - Catalogo CPTI

Catalogo CPTI

● 5 < Mw < 5.76

● 4 < Mw < 5

Catalogo CPTI

● 4 < Mw < 5

Sismi strumentali

Catalogo Arpa Piemonte

● Md = 5.1

● 4 < M < 5

● 3 < M < 4

● 2 < M < 3

● 0.5 < M < 2

FAGLIE POTENZIALMENTE CAPACI

— Struttura tettonica

— Struttura tettonica ipotizzata

— Faglie Capaci ITHACA

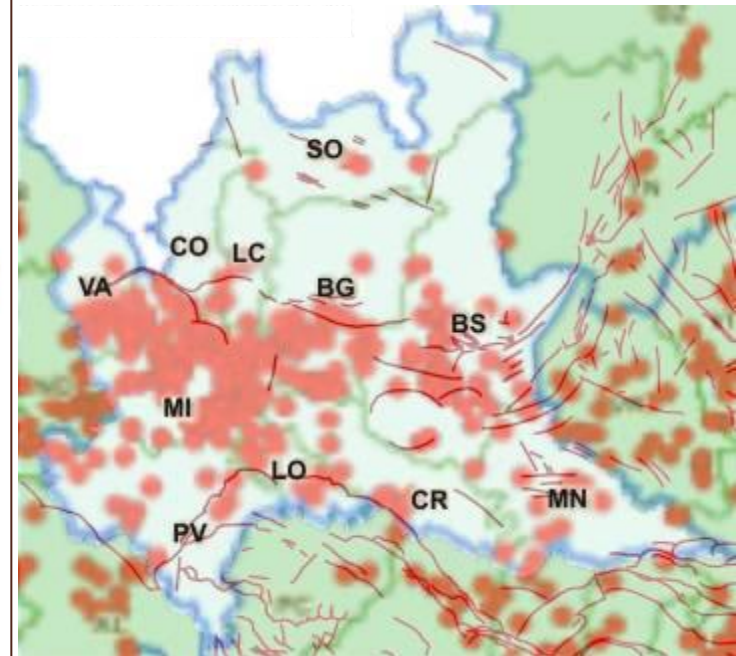
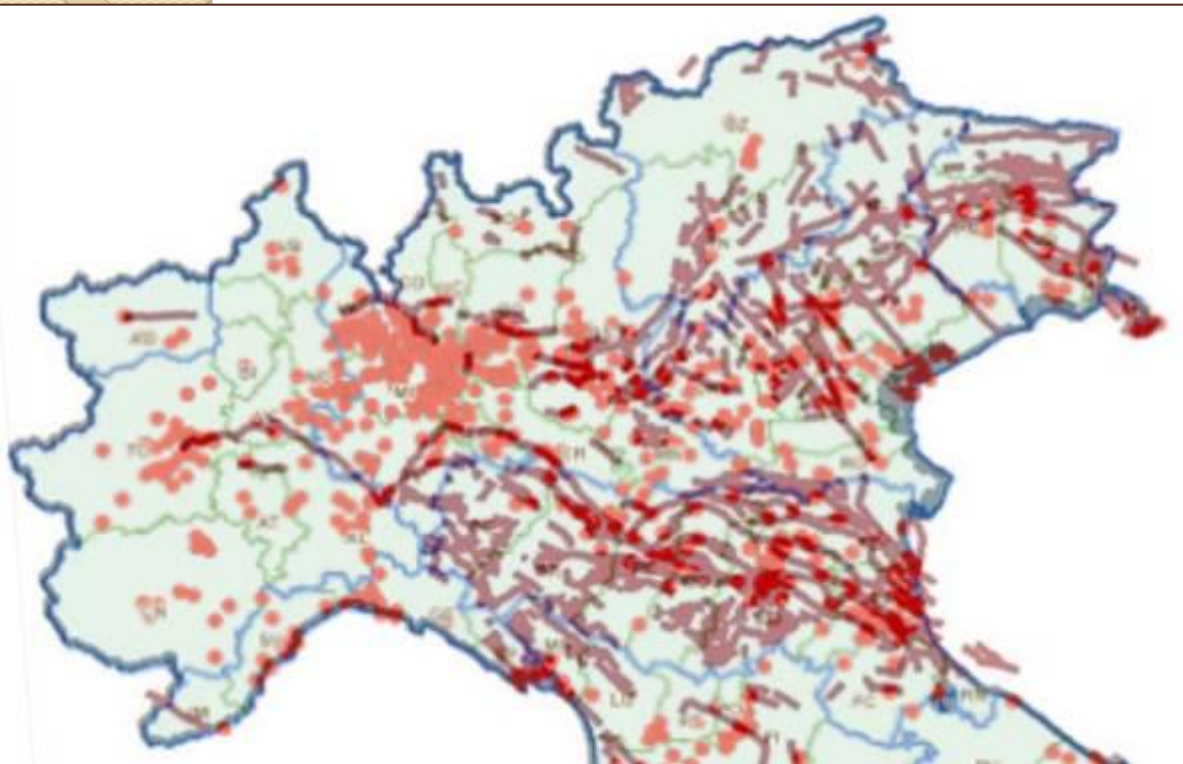
DISS 3.1

— Sorgenti individuali

— Sorgenti dibattute

— Sorgenti composite

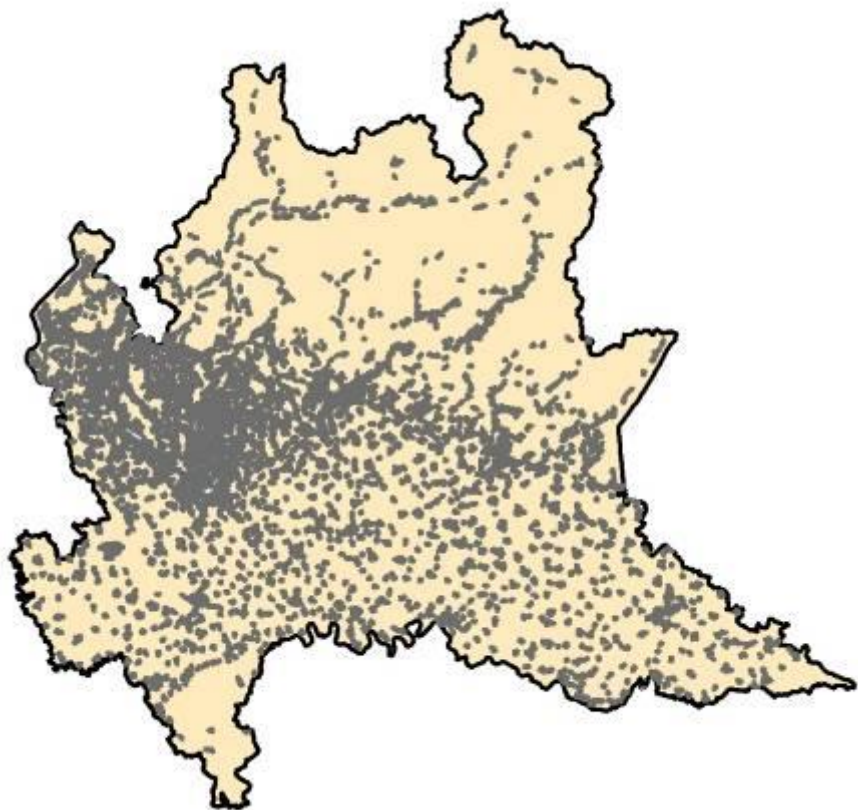
# Stabilimenti a Rischio di Incidente Rilevante e Faglie Capaci da ITHACA



**Lombardia**

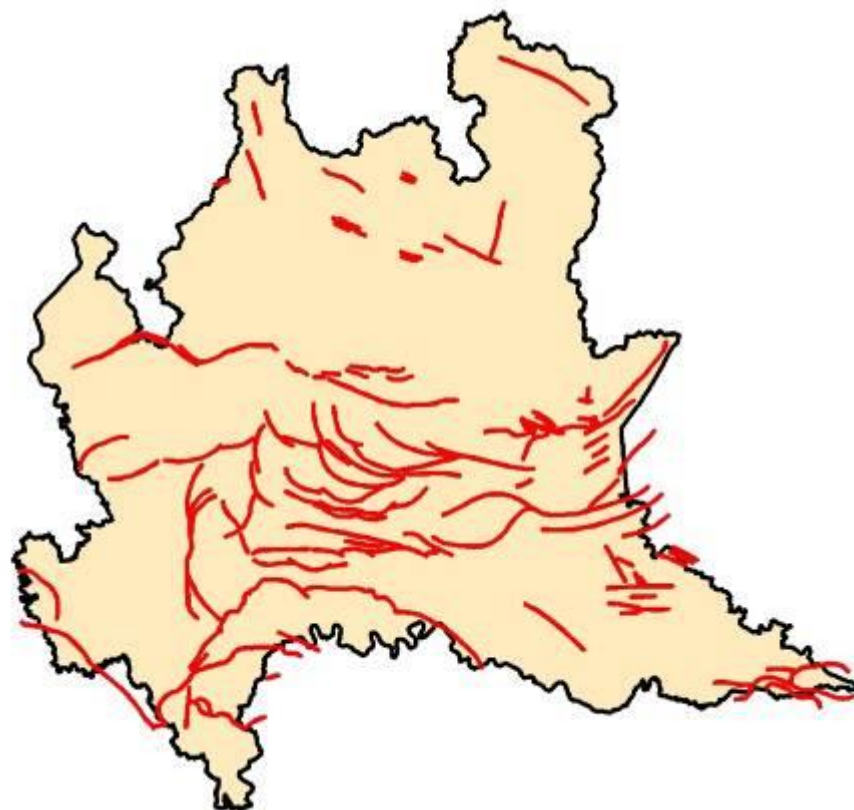


## CORINE LAND COVER 2006



Aree urbanizzate Lombardia

## ITHACA



Faglie Capaci Lombardia

# Normativa e Faglie Capaci

L'Eurocodice 8 nella parte 5 (fondazioni), al capitolo 4, per definite classi di edifici prevede che questi *“non siano costruiti nelle immediate vicinanze di faglie che siano state riconosciute sismicamente attive in documenti ufficiali delle autorità nazionali competenti”* (par. 4.1.2).

La legislazione italiana non prevede invece strumenti finalizzati a regolamentare la pianificazione territoriale in prossimità delle faglie capaci, ovvero a introdurre vincoli di edificabilità, contrariamente ad altri Paesi (California, Giappone) che impongono fasce di rispetto a seguito di studi di dettaglio.

Occorre tuttavia sottolineare che, a partire dal 2009, il problema della fagliazione superficiale è stato considerato negli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica pubblicati dal Dipartimento di Protezione Civile. In tale documento, che comunque fornisce solamente indirizzi non vincolanti da un punto di vista normativo, si raccomanda la necessità di effettuare studi di dettaglio di tipo sismotettonico e paleosismologico finalizzati a fornire una cartografia della zona di faglia alla scala 1:5.000.

Sono poi in corso studi e proposte, in cui è coinvolta la Protezione Civile, per definire delle zone di rispetto (analogamente alla Alquist-Priolo, 1972): a) in cui sarebbe necessario fare indagini dettagliate prima di poter costruire e b) dove la possibilità di costruire dovrebbe essere interdetta

**In prospettiva, si evidenzia la necessità di affrontare il problema della presenza delle faglie capaci da un punto di vista normativo e di introdurre vincoli che limitino l'urbanizzazione in corrispondenza di tali faglie.**



- **CONCLUSIONI**
- E' possibile trovare soluzioni ingegneristiche per mitigare la pericolosità sismica
- Questo è particolarmente vero in Pianura Padana, e in riferimento alla gestione degli idrocarburi



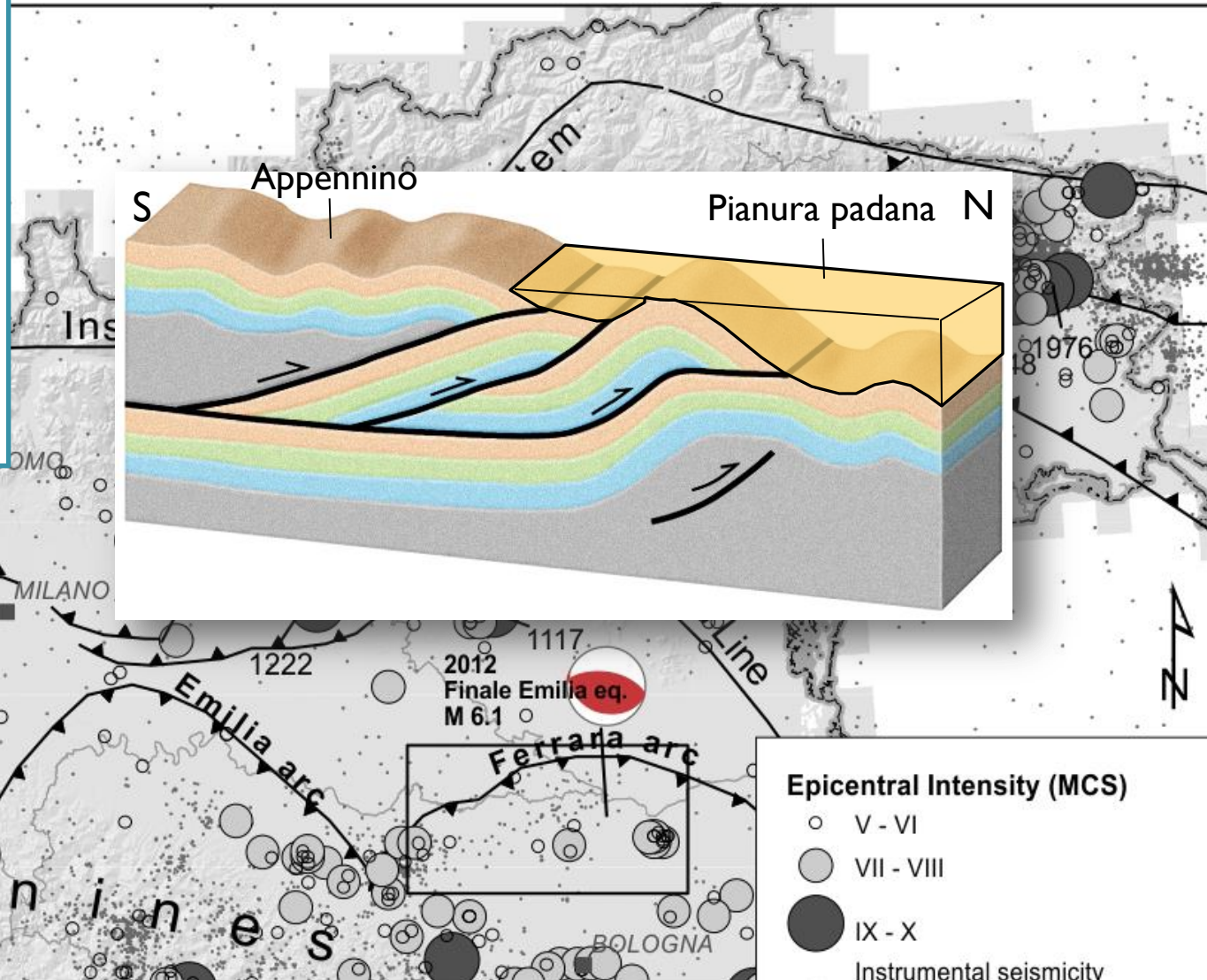
**GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!!**





# Inquadramento geologico – strutturale

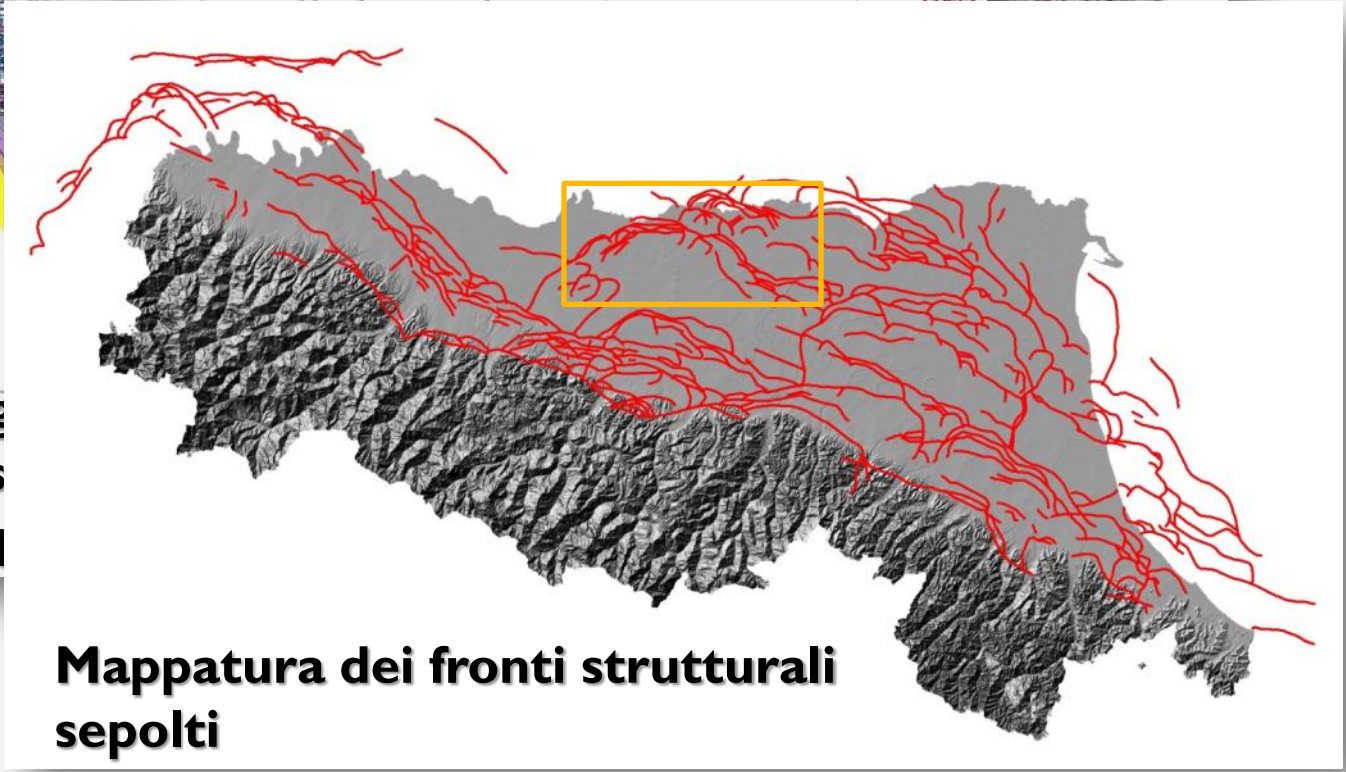
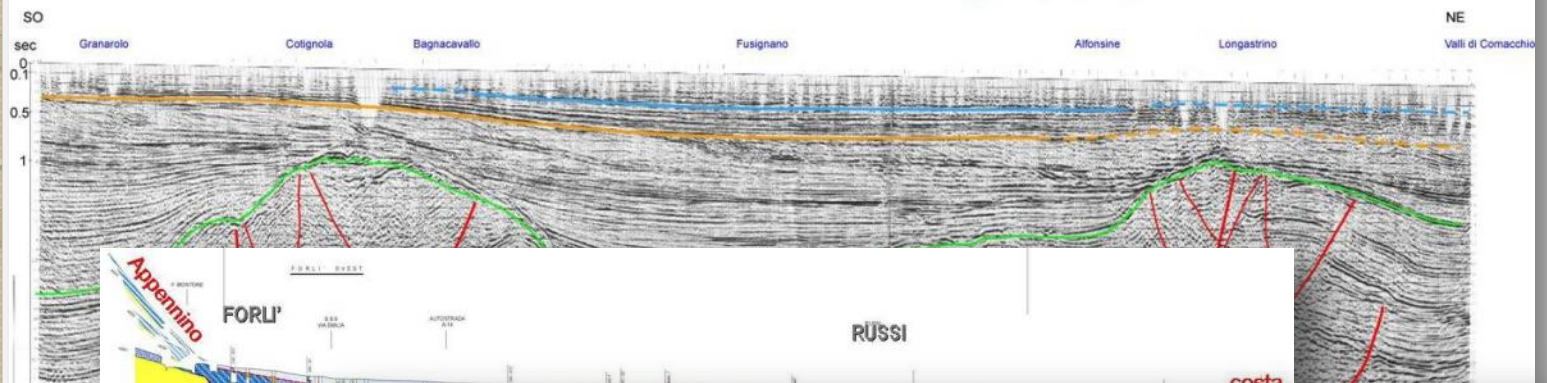
- Fronti strutturali sepolti (*blind thrust*) in contesto compressivo (*fold & thrust belt*)
- Archi appenninici
  - Struttura di Ferrara
  - Struttura di Mirandola





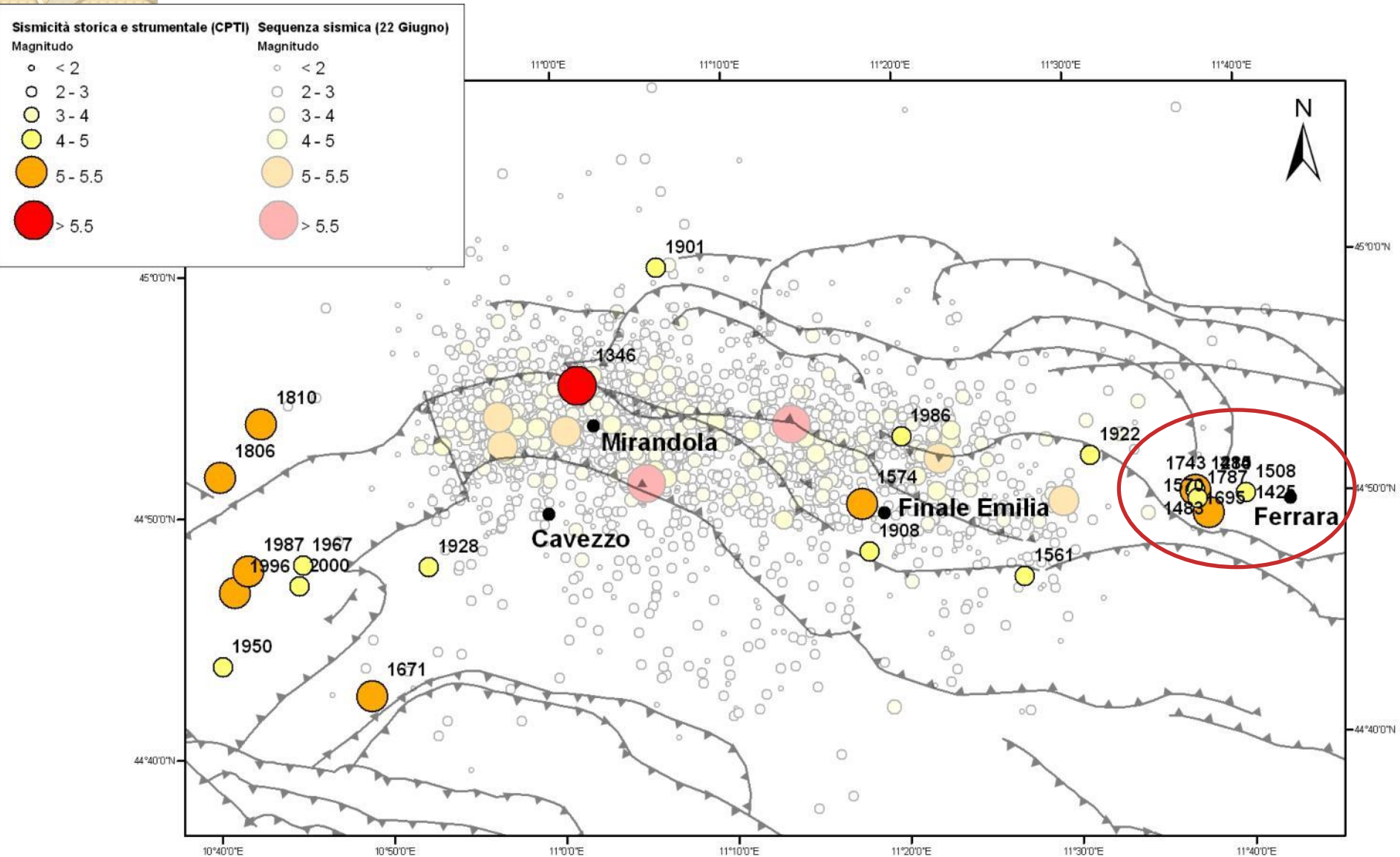
# Database utilizzato

- base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)
- base del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)
- superficie di onlap regionale
- principali faglie e sovrascorimenti



Stratigrafia e risonanza sismica a sviluppo

# Sismicità storica e strumentale





# Sismicità storica e strumentale

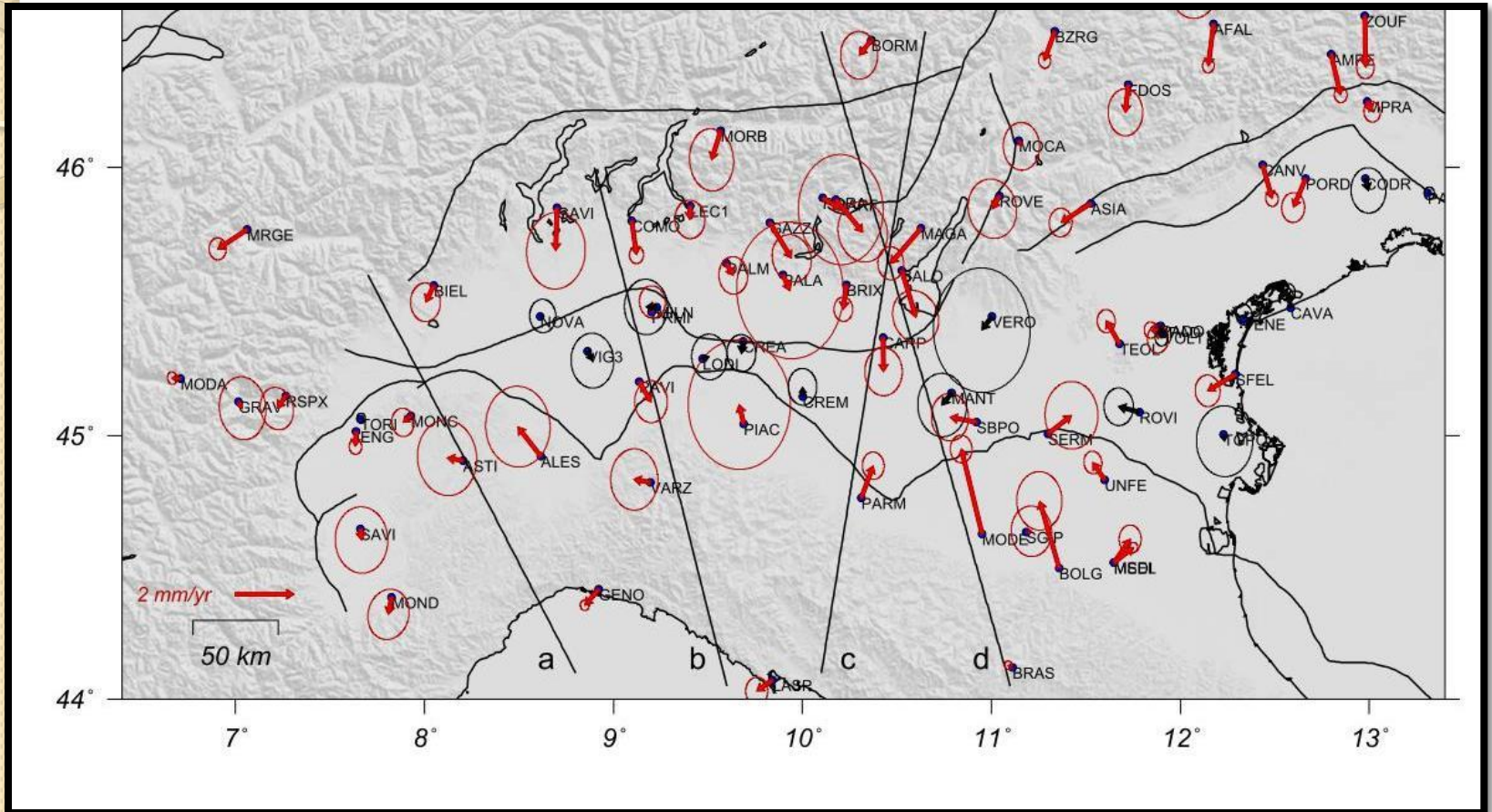
Fra il novembre 1570 e la fine del 1574 Ferrara si trovò nell'area epicentrale di una lunga e forte sequenza sismica (con oltre duemila scosse) concentrate soprattutto fra il 17 novembre 1570 e la fine del febbraio 1571.



L'immagine di H. J. Helden, Ferrara distrutta dal terremoto del 1570.

Nel 1571, dopo il terremoto, la popolazione si vide infatti costretta a cercare rifugio in ricoveri di fortuna, dove persone di ogni grado sociale si trovarono a coabitare fianco a fianco per mesi, in uno stato di promiscuità forzata che coinvolse persino i sovrani. Questa corte trasferita in tende di fortuna, e divenuta all'improvviso "cingana" (come si scrisse nelle corrispondenze diplomatiche), colpì profondamente l'immaginazione dei contemporanei

# Velocità orizzontali – GPS



Vettori delle velocità orizzontali (GPS) rispetto a settori indeformate della microplacca adriatica (stazioni di controllo NERE) (Michetti et al. 2012)



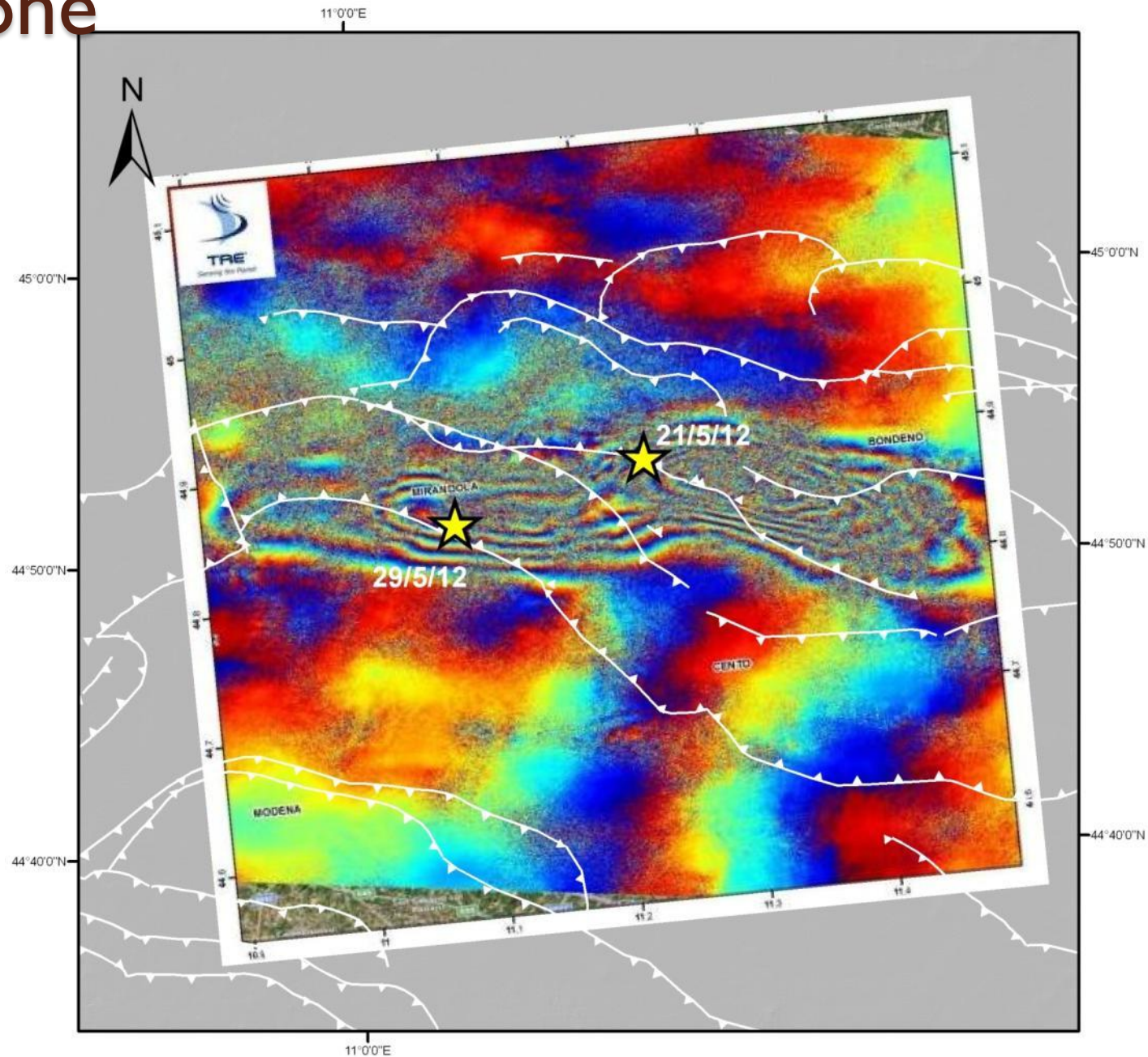
# Deformazione del terreno (DInSAR)

Deformazione superficiale indotta dal movimento di faglie sepolte-cieche

Blande anticlinali

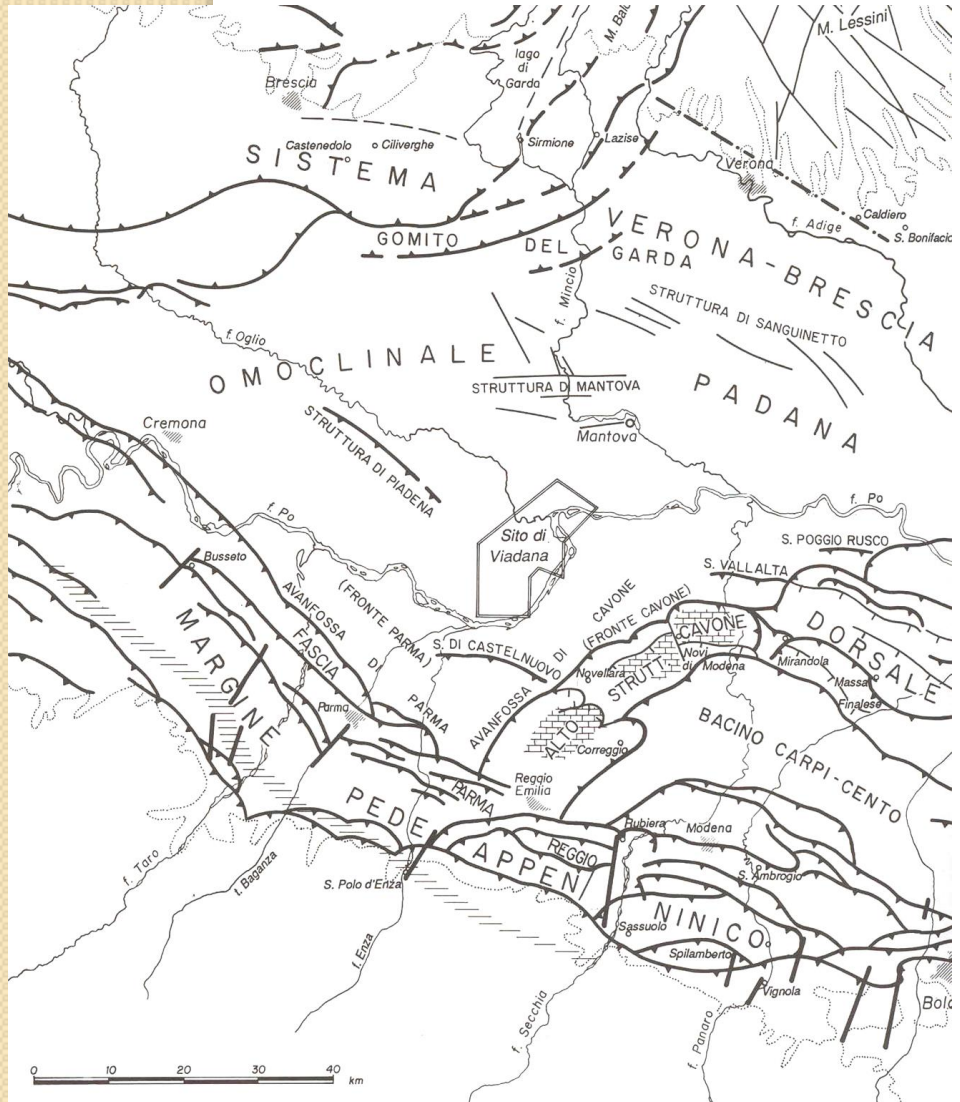
Sollevamento massimo ca. 10 cm.  
(gradiente medio 10-4)  
→ 100 m

Due strutture adiacenti ed in parziale sovrapposizione  
(Struttura di Ferrara e struttura di Mirandola)



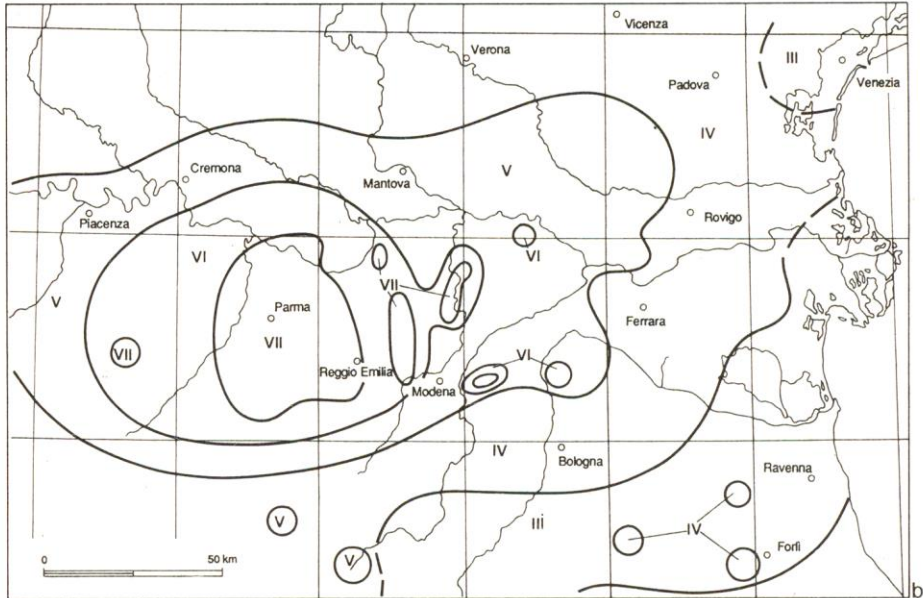
# 1980-1990: regional setting and first quantitative definition of the seismic landscape

## DESIGN EARTHQUAKE FOR THE VIADANA NPP SITE (MANTOVA, PO PLAIN): Macroseismic and Neotectonic approach



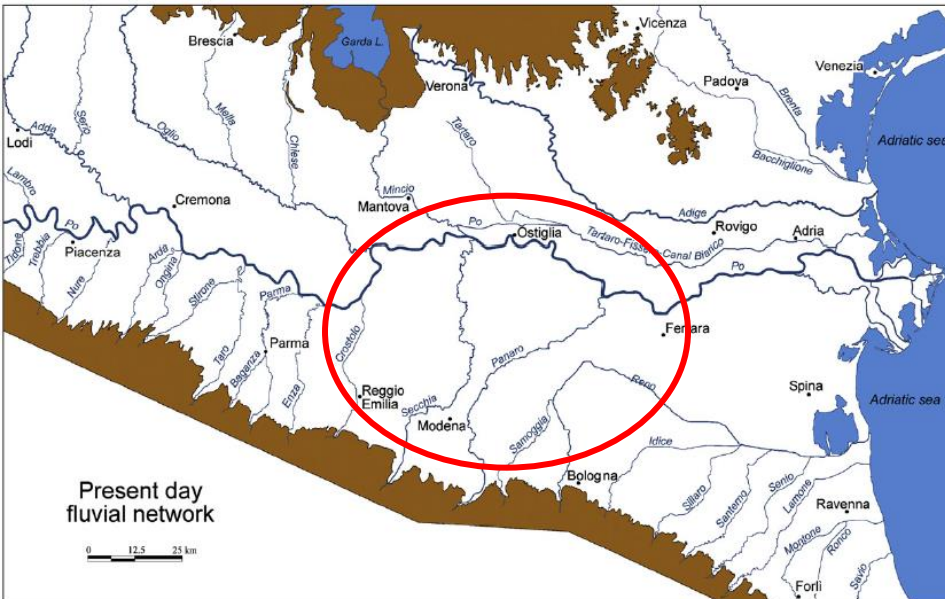
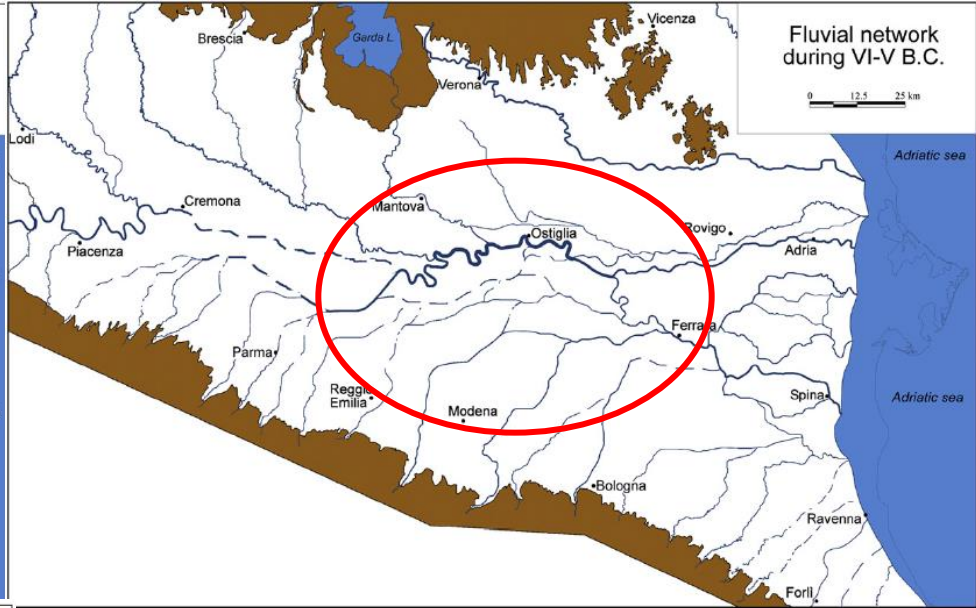
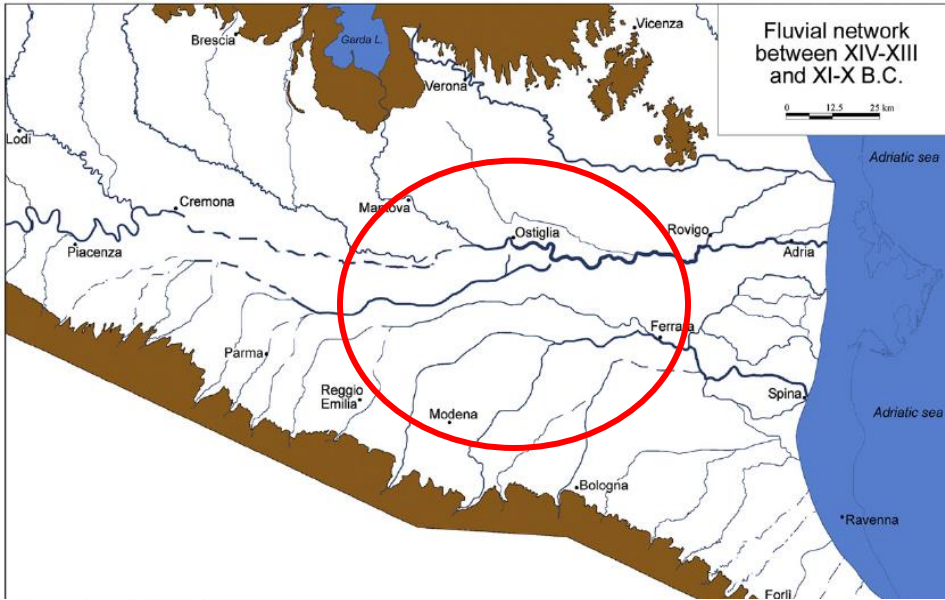
| Strutture sismogenetiche rilevanti                                     | CARATTERI SISMICI DELLE STRUTTURE                         |                             |   |  |  | CARATTERI SISMICI AL SITO          |                             |                                    |
|--|---|-----------------------------|---|--|--|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|  | Imax epic. storica (MCS)                                  | Imax epic. potenziale (MCS) | Campi macrosismici di riferimento (terremoti) | Profondità ipoc. max e più gravoso ril. energia (km) | Magnitudo potenziale (sec. Karnik) (*) | Imax storica (MCS)                 | Imax epic. potenziale (MCS) | Distanza min. Imax potenziale (km) |
| Margine pedealpino (o Sistema Verona-Brescia)                          | IX-X (1117)<br>IX-X (1222)                                | X                           | 1117<br>1222                                  | 10   | 6,8                                    | VII (1117)<br>VII (1222)           | VIII                        | 50                                 |
| Margine pedeappenninico (Fascia sismotettonica di Parma-Reggio Emilia) | VIII (1438)<br>VIII (1547)<br>VII-VIII (1832)             | IX                          | 1832<br>1971                                  | 10   | 6,3                                    | VII p.p. (1832)<br>VII p.p. (1971) | VIII                        | 30                                 |
| avantfossa e alto strutturale di Cavone                                | VII-VIII (1832)<br>VII (1806)<br>VII (1810)<br>VII (1928) | VIII                        | 1806  | 8 - 10   | 5,3                                    | VII p.p. (1806)<br>VII p.p. (1832) | VIII                        | 15                                 |
| Sito di Viadana terremoto near - field: M = 4.3                        |   |                             |   |  |  |                                    |                             |                                    |

\*  $M = 0,66 \log l_0 + 1,4 \log h - 1,25$



Serva, 1990

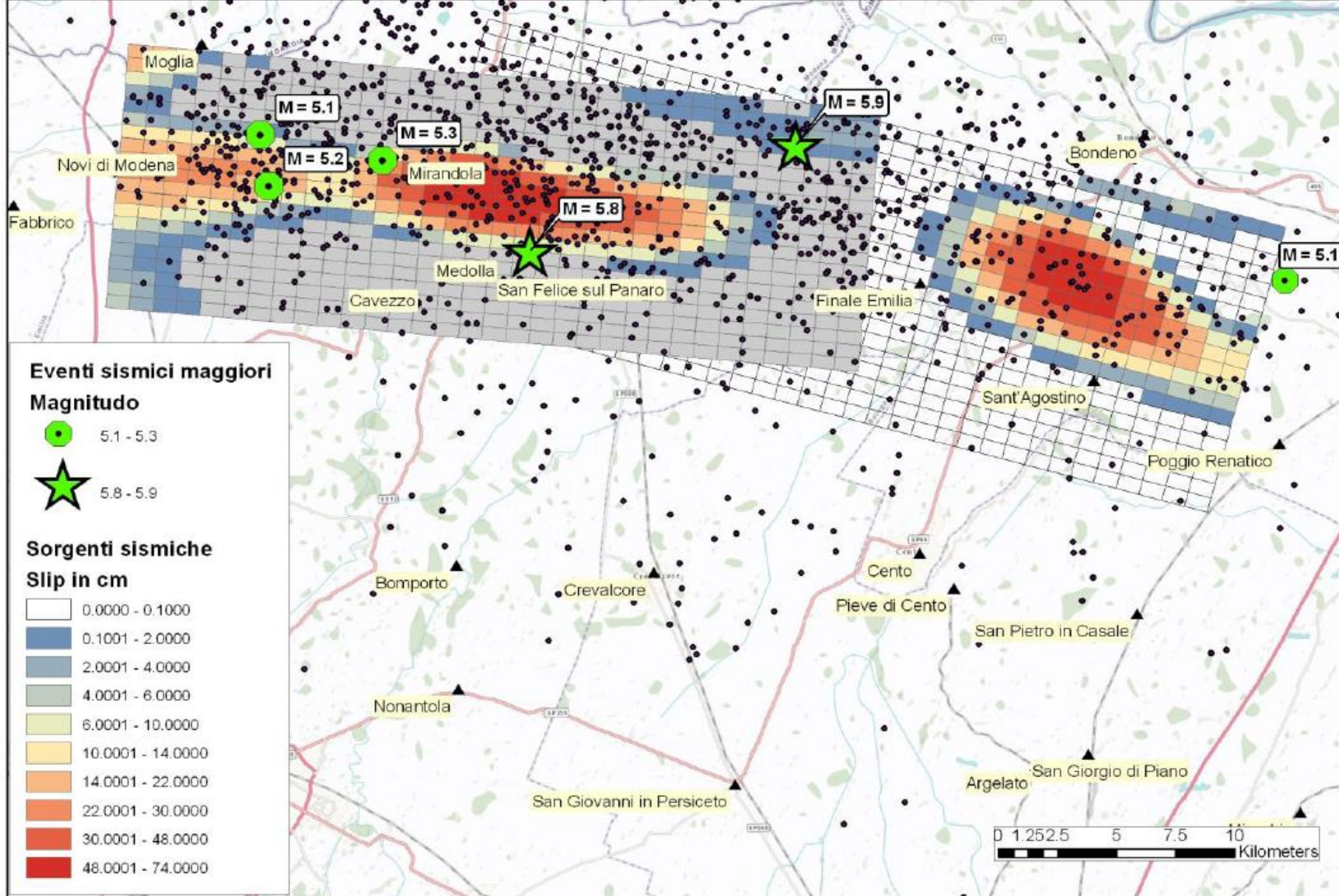




Lo studio dell'evoluzione paleoidrografica centropadana mostra uno **spostamento del Po verso Nord e deviazioni dei fiumi appenninici con tendenza a sfuggire la zona delle Pieghe Ferraresi**

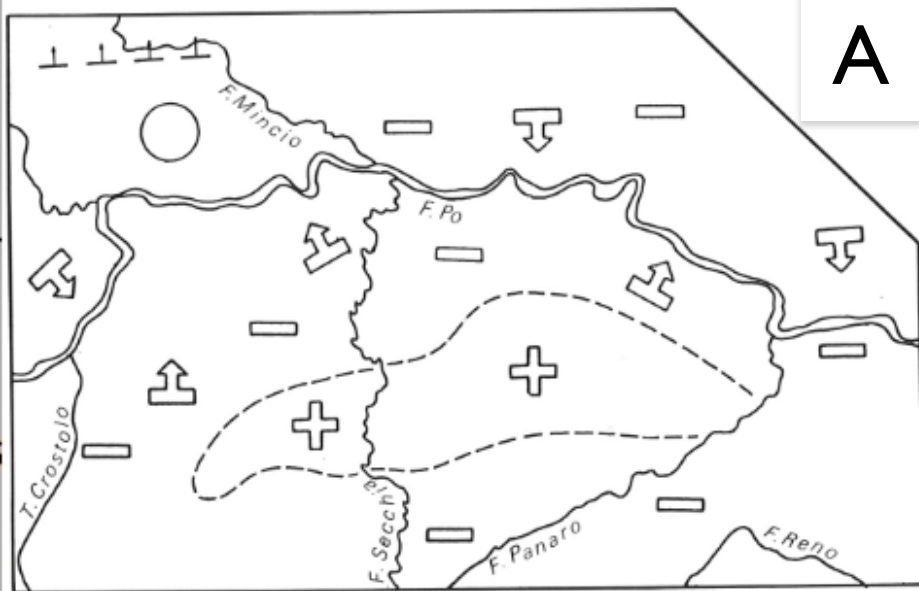
Figure da Ravazzi et al. 2013





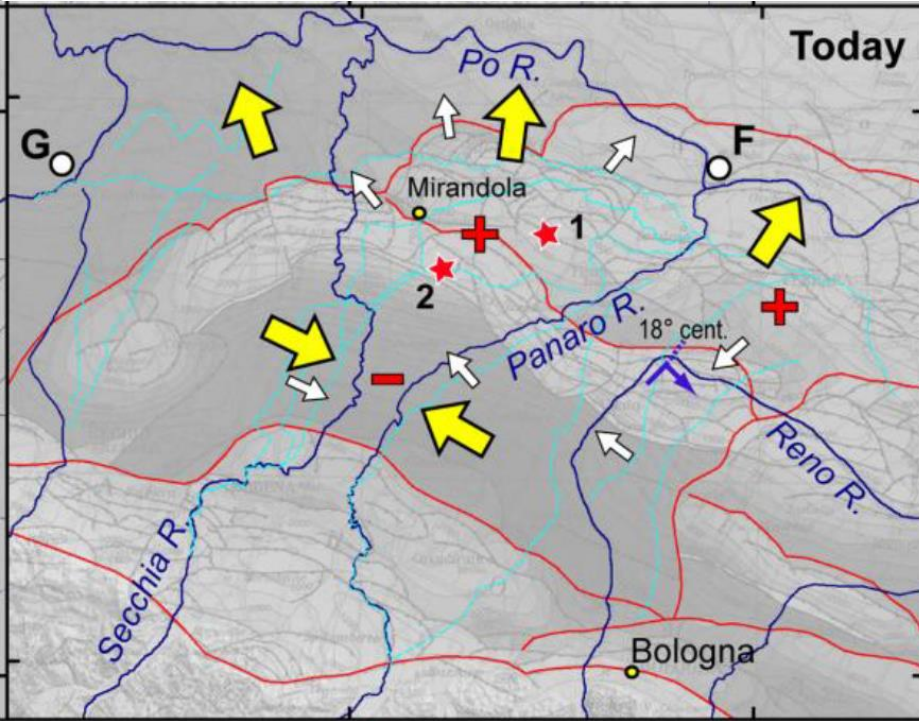
**Un effetto geologico rilevante** causato dai sismi piu' forti del 20 e 29 maggio è stato un **sollevamento di 10-15 cm nell'area epicentrale** (sovrastante alle culminazioni delle Pieghe Ferraresi) rilevata da satelliti radar cosmo Sky – Med





**A**

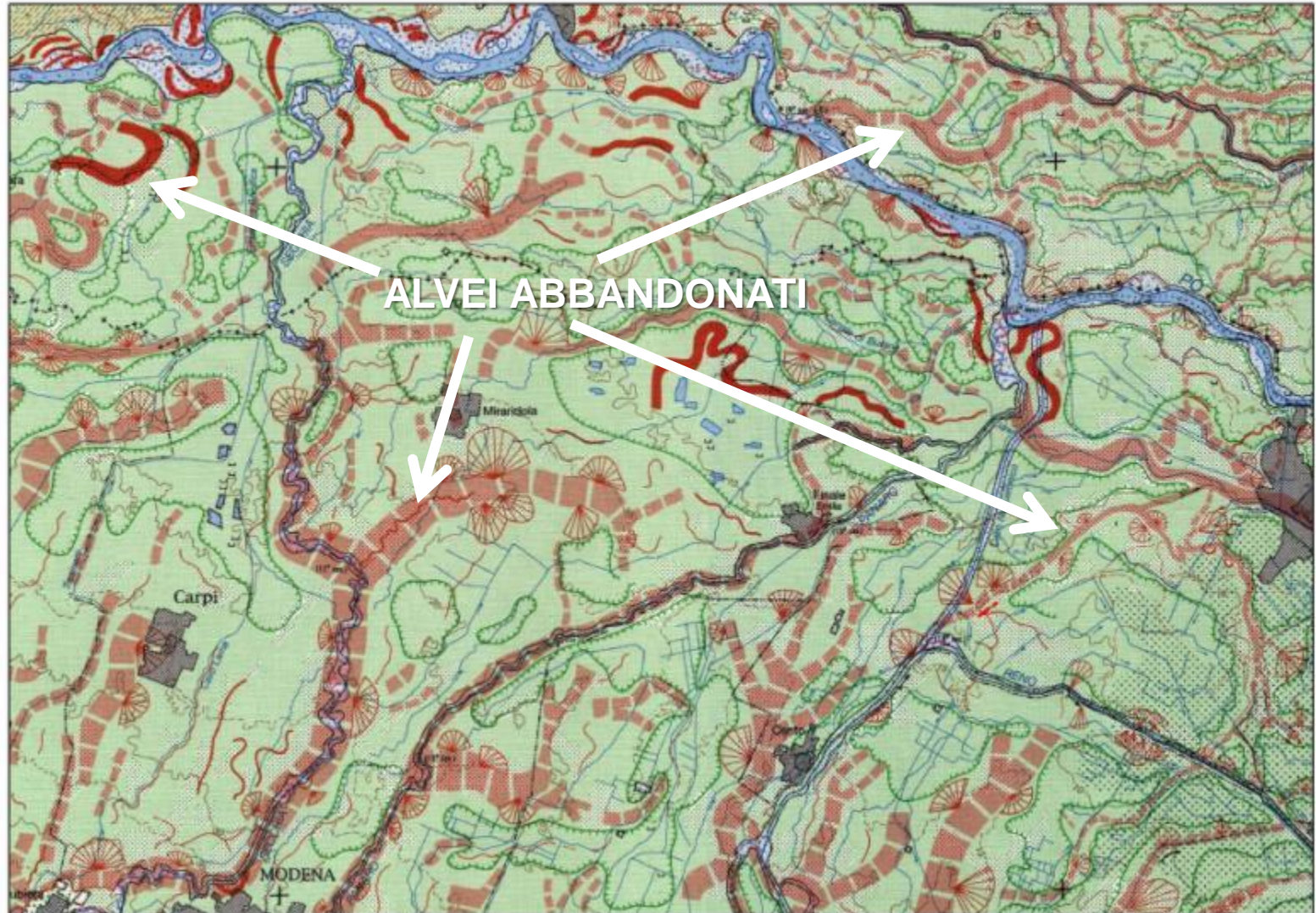
Con il sollevamento delle **Pieghe Ferraresi** e l'abbassamento delle aree contigue era stata spiegata la **migrazione verso Nord del F. Po** e le deviazioni dei fiumi appenninici (Figura A da Panizza & Castaldini 1987).



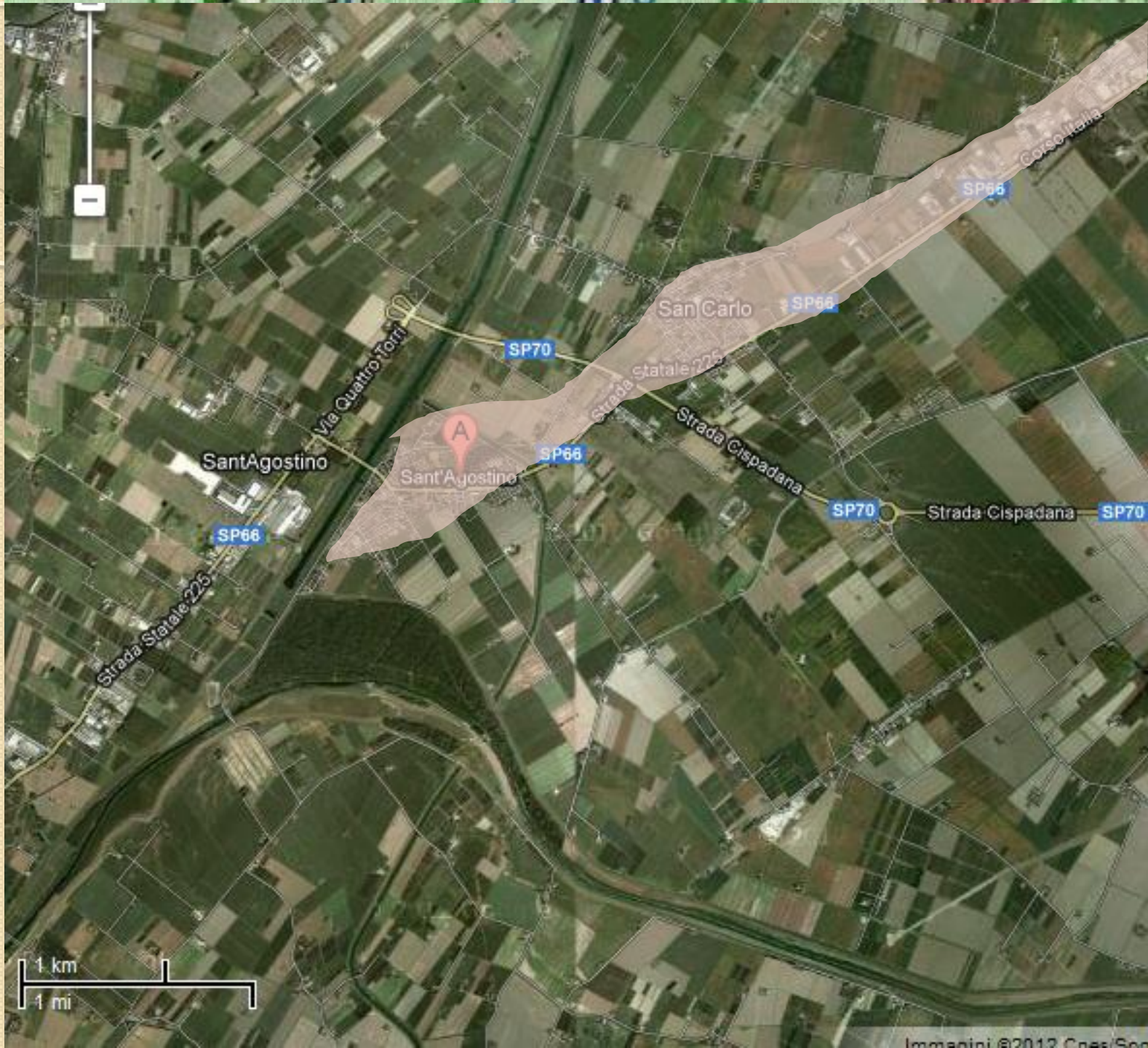
Il sollevamento di **10-15 cm** determinato dai sismi del **20 e 29 Maggio 2012** suggerisce che **simili sollevamenti cosismici del passato** potrebbero essere la causa di tali **variazioni idrografiche**.



# La geomorfologia: paleoalvei



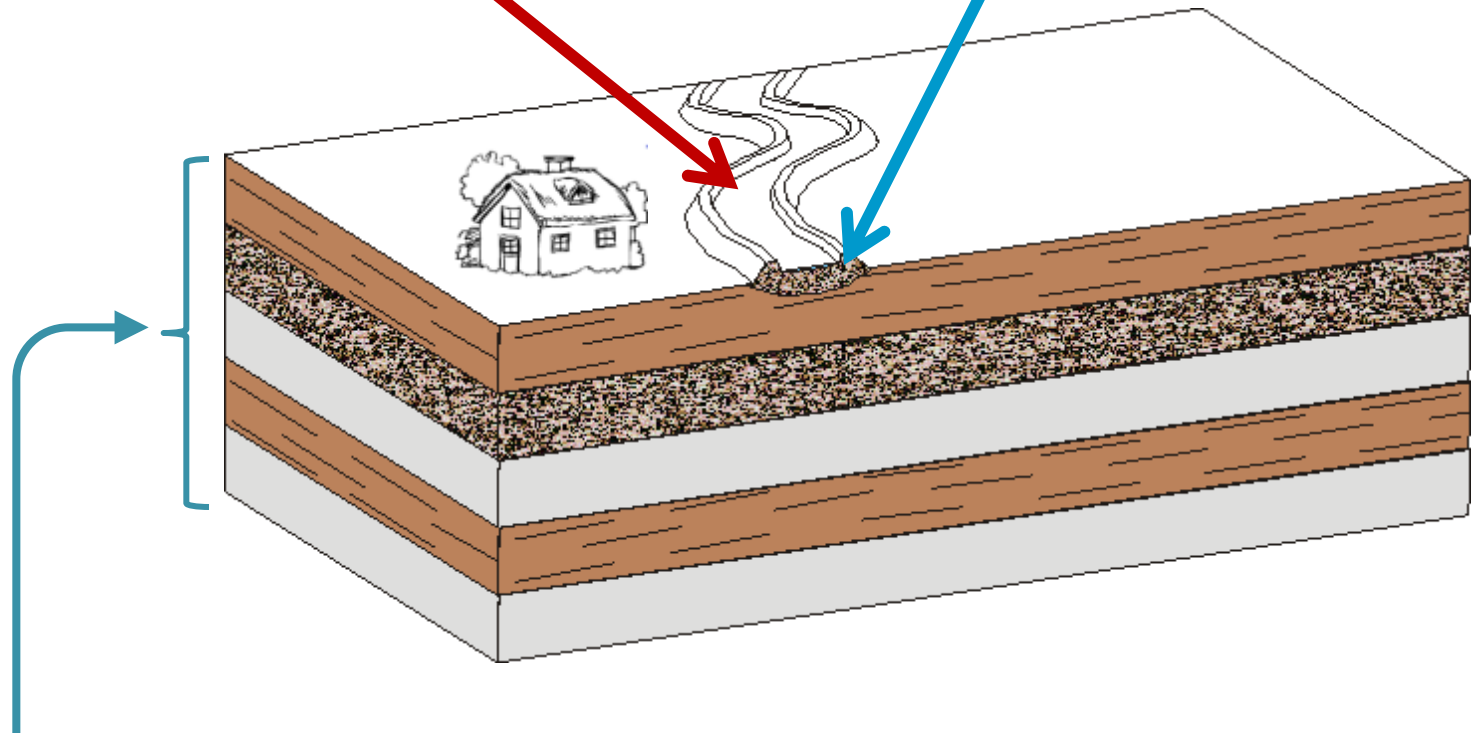




1 km  
1 mi

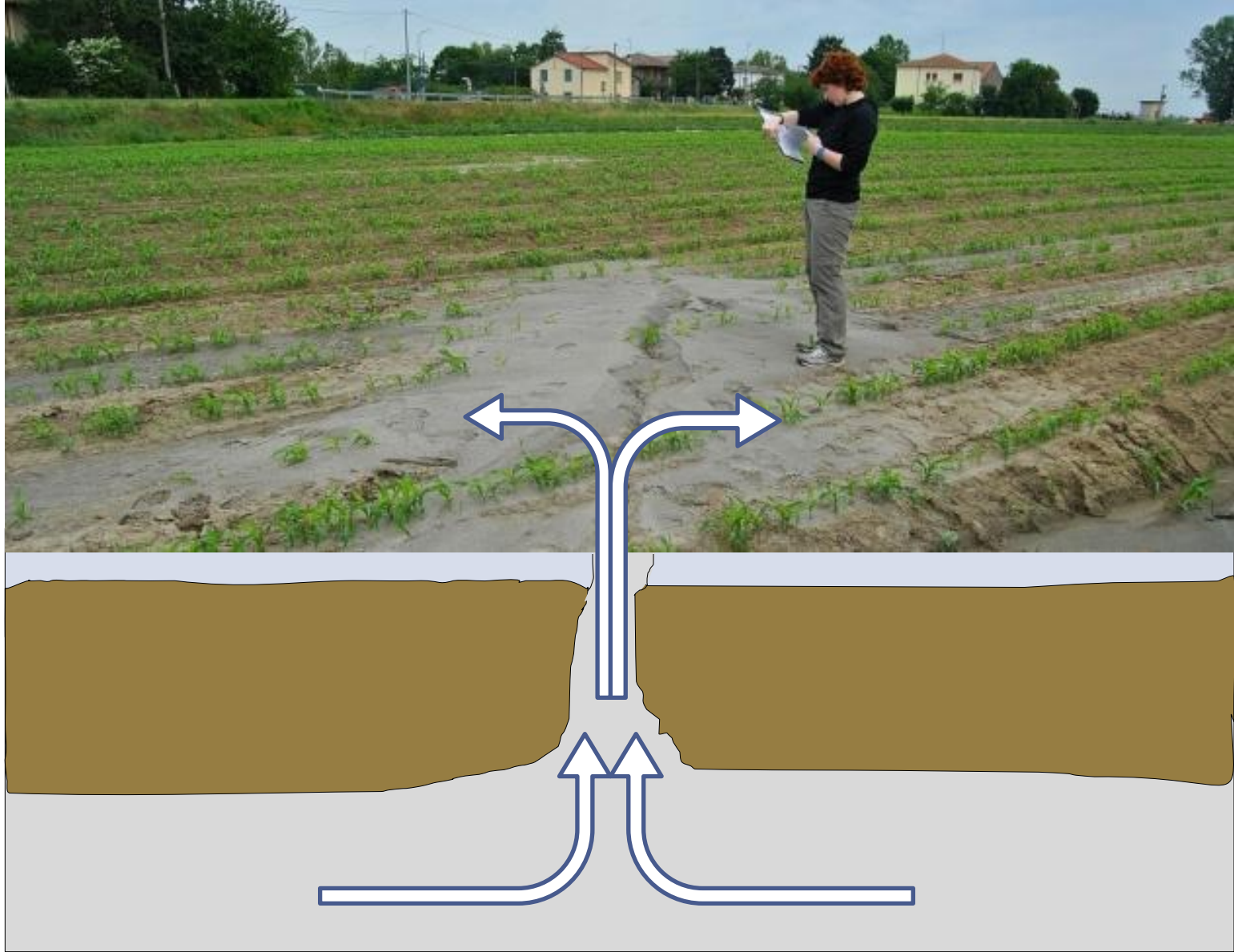
**ALVEO SOSPESO**

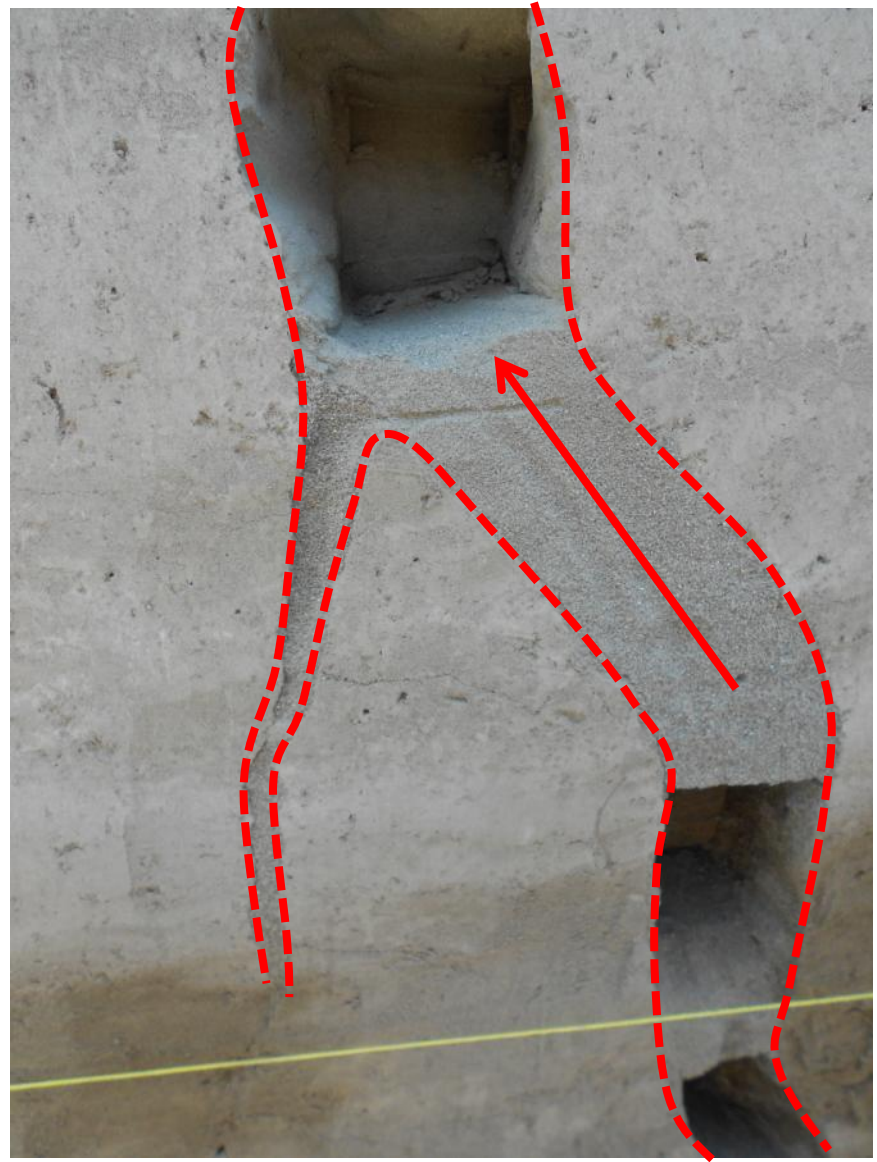
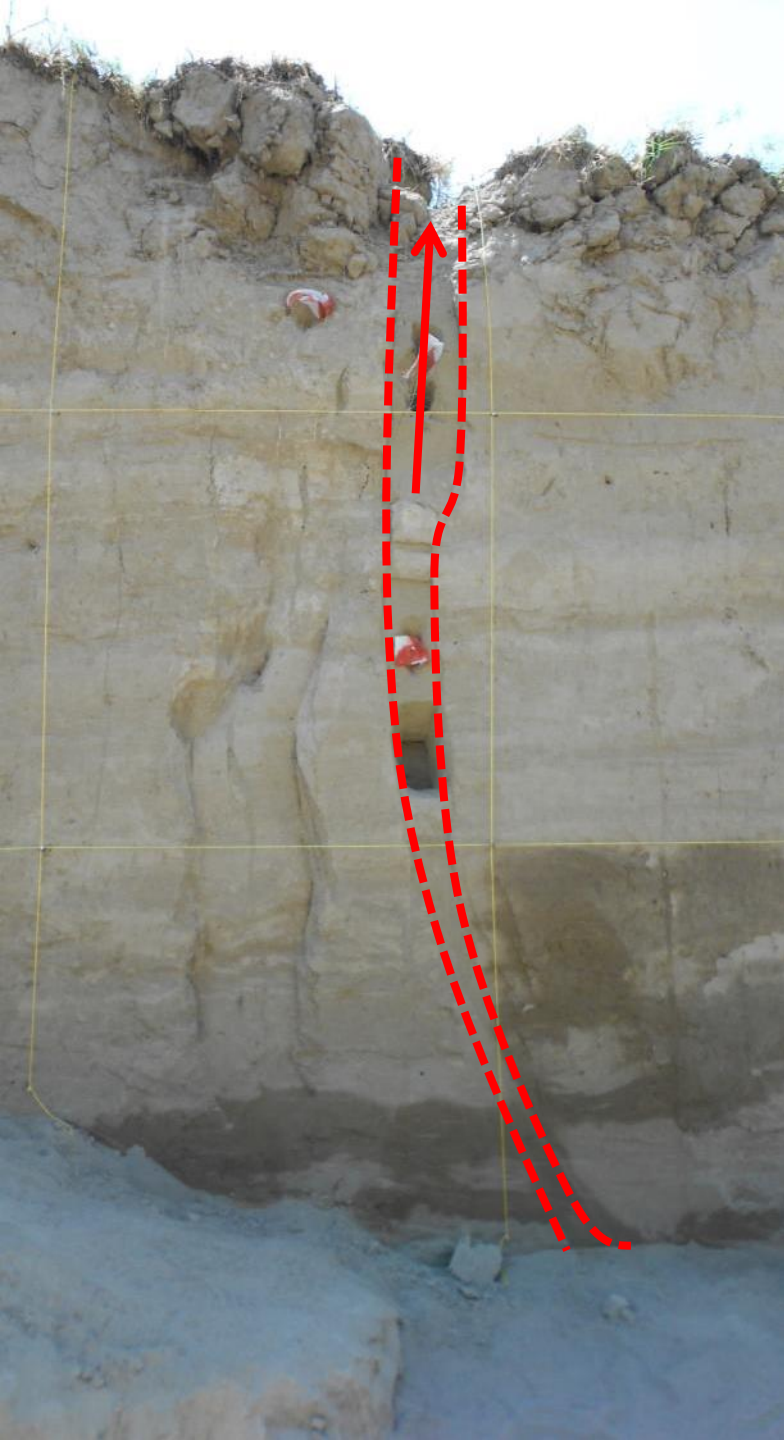
**SABBIE**



**SEQUENZA DI SABBIE,  
LIMI, ARGILLE**



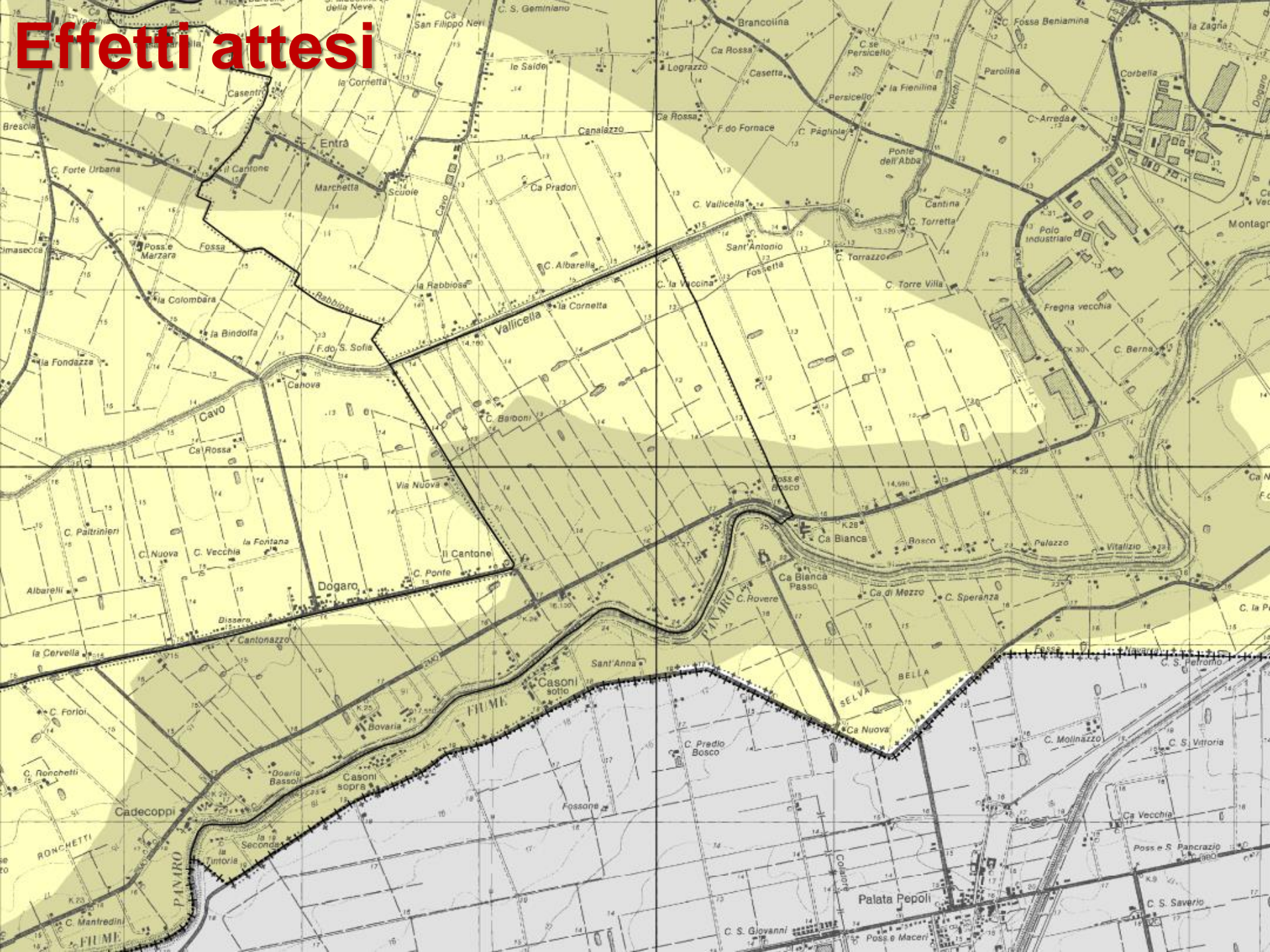




Trincea realizzata dal gruppo di lavoro del prof. Caputo

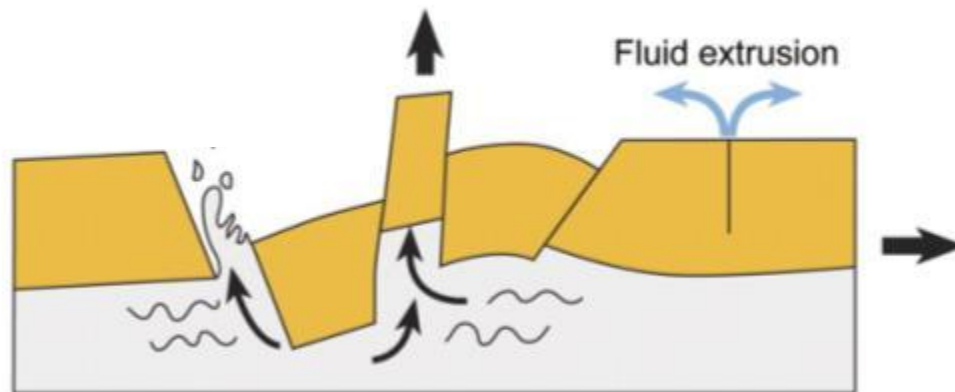
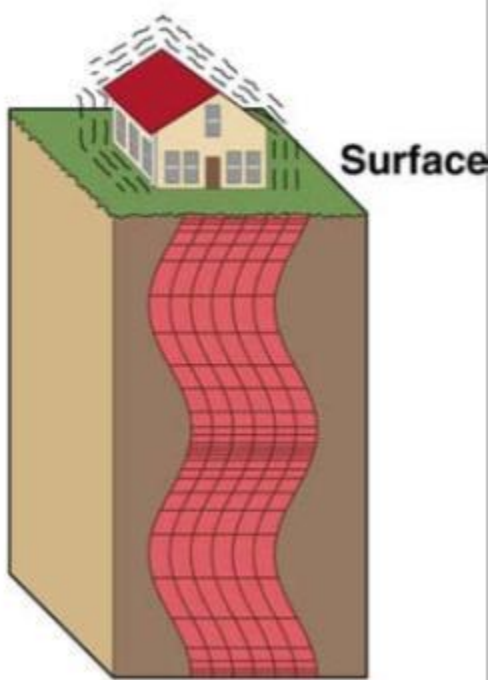


# Effetti attesi





Lateral spread















1 km  
1 mi



# L'AQUILA 2009



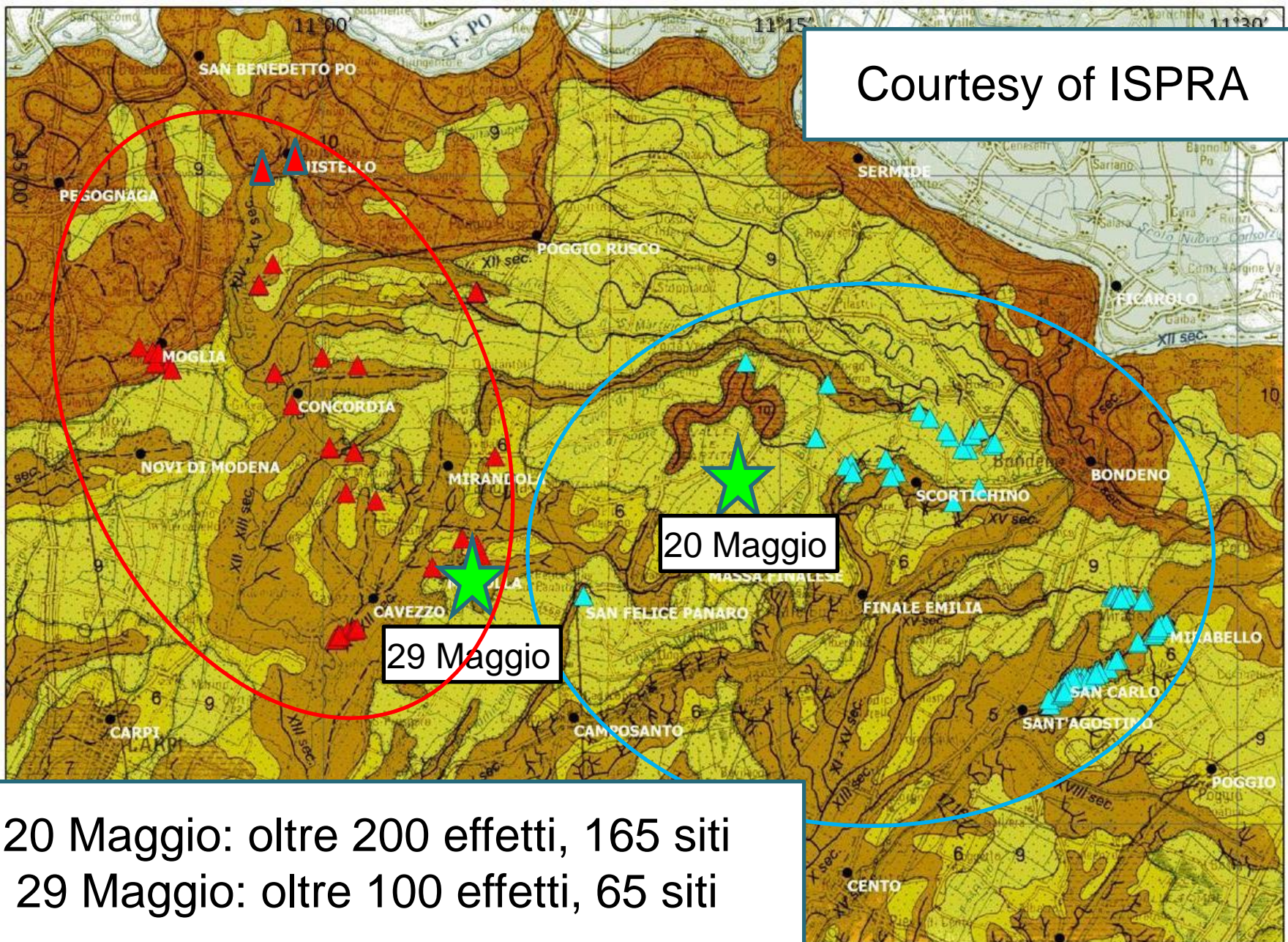


# SALO' 2004





Courtesy of ISPRA



20 Maggio: oltre 200 effetti, 165 siti  
29 Maggio: oltre 100 effetti, 65 siti

Carta geomorfologica con l'ubicazione degli effetti rilevati. Azzurro: evento del 20 maggio; rosso: evento del 29 maggio.





Area di S. Agostino e S. Carlo. Ubicazione degli effetti rilevati



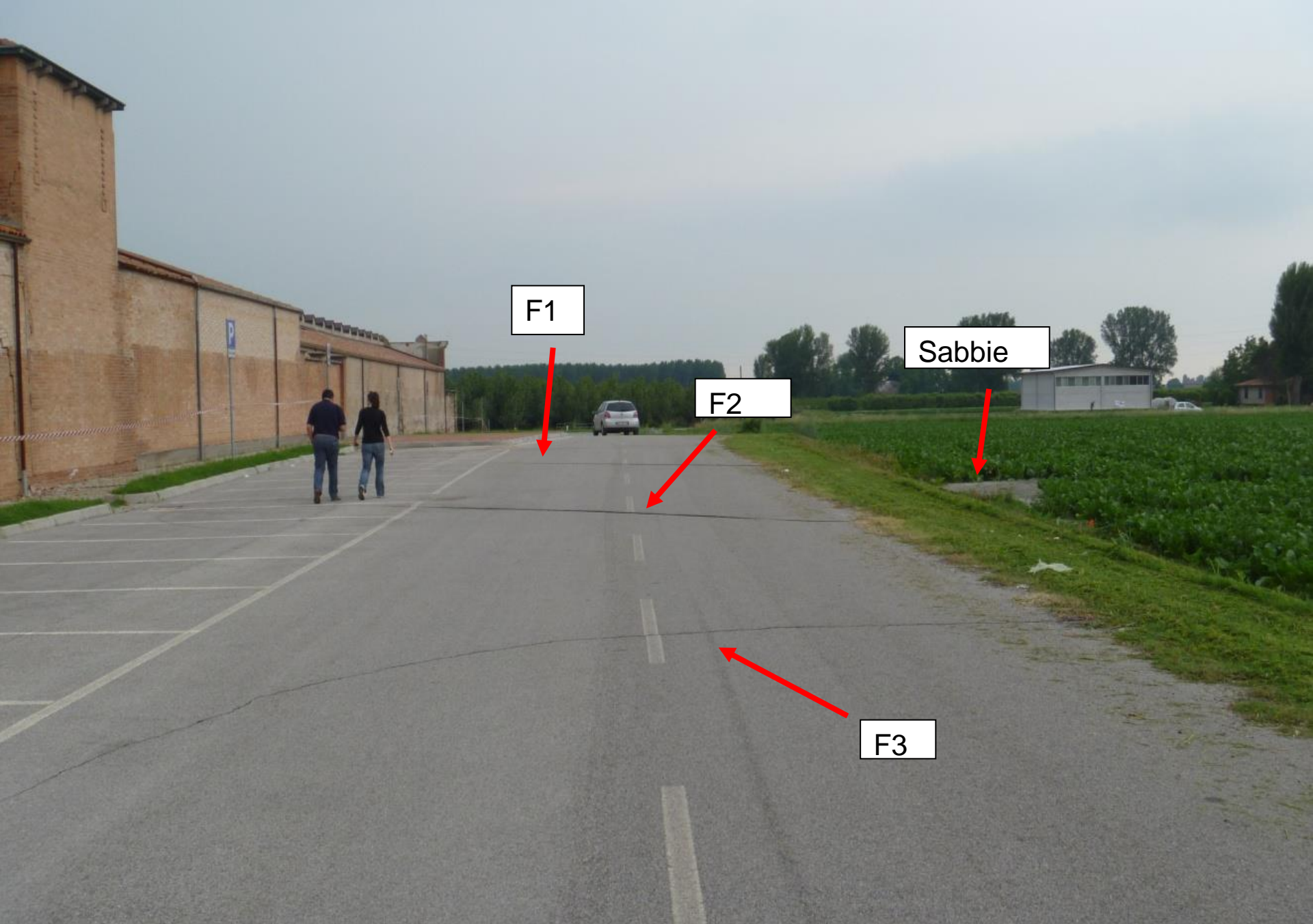


Cimitero di S. Agostino.  
Liquefazione



Cimitero di S. Agostino. Fratture  
nel muro perimetrale





F1



F2



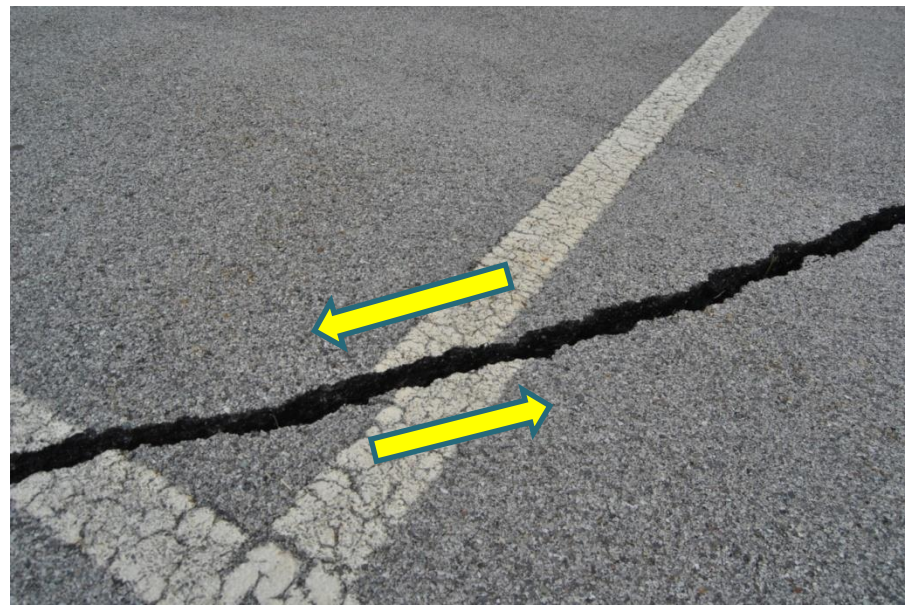
Sabbie



F3











Frazione San Carlo; fuoriuscita di  
acqua e sabbia dai pozzi





Sollevamento del  
fondo di un  
canale





S. Felice sul Panaro: liquefazioni  
nel campo sportivo; direzione N30°





Forna (Bondeno). Fratturazione del terreno associata a liquefazione.





Frattura tra S. Agostino e S. Carlo, direzione NE - SO









Frazione San Carlo; fenomeno di sprofondamento associato a fratturazione e liquefazione delle sabbie



# Gravi fenomeni di liquefazione e deformazione del terreno, assenza di fagliazione superficiale



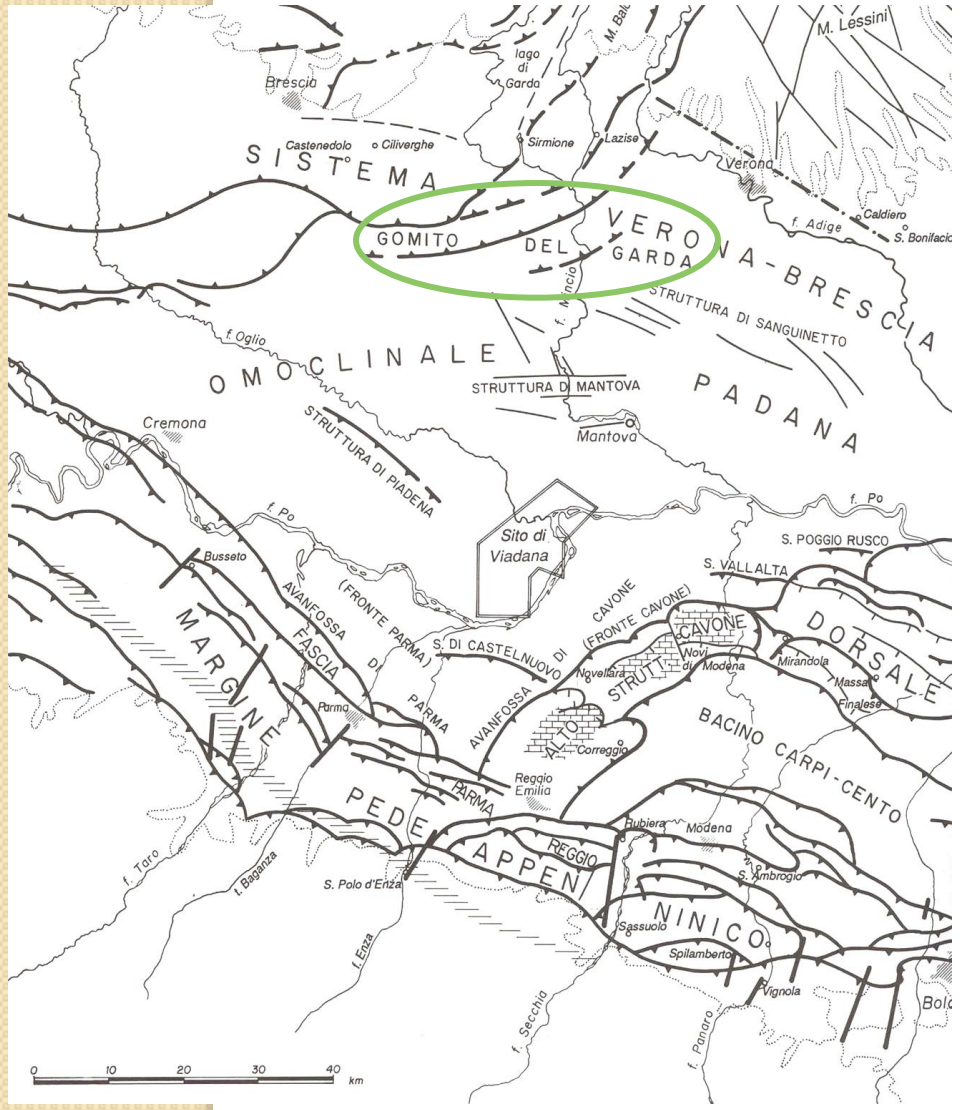
Frazione San Carlo  
fratturazione del terreno



- La sequenza sismica del 2012 ha raggiunto Mw mai registrate prima in epoca strumentale
- Questo evento non rappresenta il massimo terremoto credibile
- Lo abbiamo imparato sul 'Gomito del Garda'

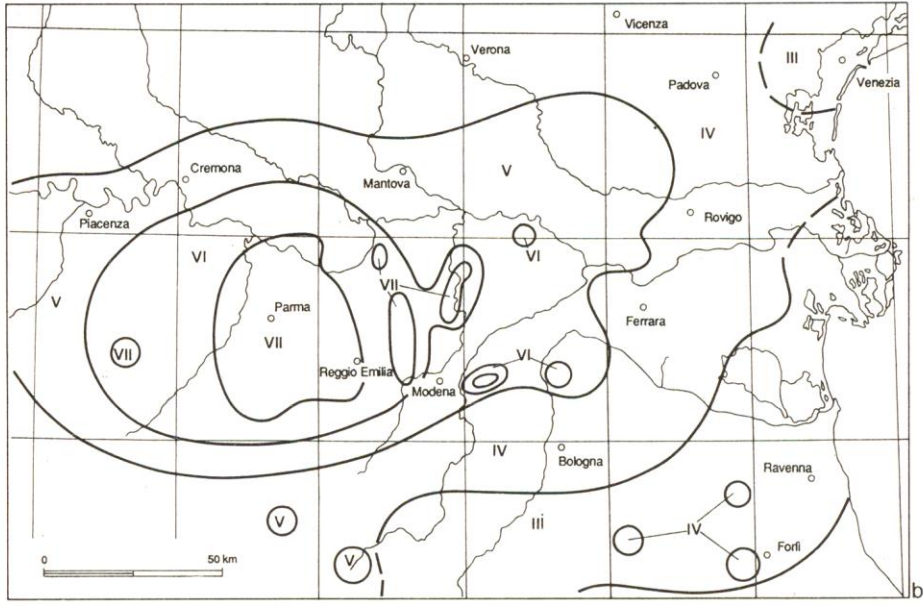
# 1980-1990: regional setting and first quantitative definition of the seismic landscape

## DESIGN EARTHQUAKE FOR THE VIADANA NPP SITE (MANTOVA, PO PLAIN): Macroseismic and Neotectonic approach



| Strutture sismogenetiche rilevanti                                     | CARATTERI SISMICI DELLE STRUTTURE                         |                             |   |  |  | CARATTERI SISMICI AL SITO          |                             |                                    |
|--|---|-----------------------------|---|--|--|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|  | Imax epic. storica (MCS)                                  | Imax epic. potenziale (MCS) | Campi macrosismici di riferimento (terremoti) | Profondità ipoc. max e più gravoso ril. energia (km) | Magnitudo potenziale (sec. Karnik) (*) | Imax storica (MCS)                 | Imax epic. potenziale (MCS) | Distanza min. Imax potenziale (km) |
| Margine pedealpino (o Sistema Verona-Brescia)                          | IX-X (1117)<br>IX-X (1222)                                | X                           | 1117<br>1222                                  | 10   | 6,8                                    | VII (1117)<br>VII (1222)           | VIII                        | 50                                 |
| Margine pedeappenninico (Fascia sismotettonica di Parma-Reggio Emilia) | VIII (1438)<br>VIII (1547)<br>VII-VIII (1832)             | IX                          | 1832<br>1971                                  | 15   | 6,3                                    | VII p.p. (1832)<br>VII p.p. (1971) | VIII                        | 30                                 |
| avantfossa e alto strutturale di Cavone                                | VII-VIII (1832)<br>VII (1806)<br>VII (1810)<br>VII (1928) | VIII                        | 1806  | 8 - 10   | 5,3                                    | VII p.p. (1806)<br>VII p.p. (1832) | VIII                        | 15                                 |
| Sito di Viadana  | terremoto near - field: M = 4.3                           |                             |   |  |  | VII                                | VII                         | 5                                  |

\*  $M = 0,66 \log l_0 + 1,4 \log h - 1,25$



Serva, 1990





Fig. 6 - Terremoto del 1117, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS; d) Località con segnalazione di danni (da fonti narrative e documentarie coeve o posteriori autorevoli e da lapidi facenti riferimento diretto al terremoto); e) Località con ipotesi di danneggiamento (solo sulla base di informazioni archeologiche relative ad edifici romani). Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

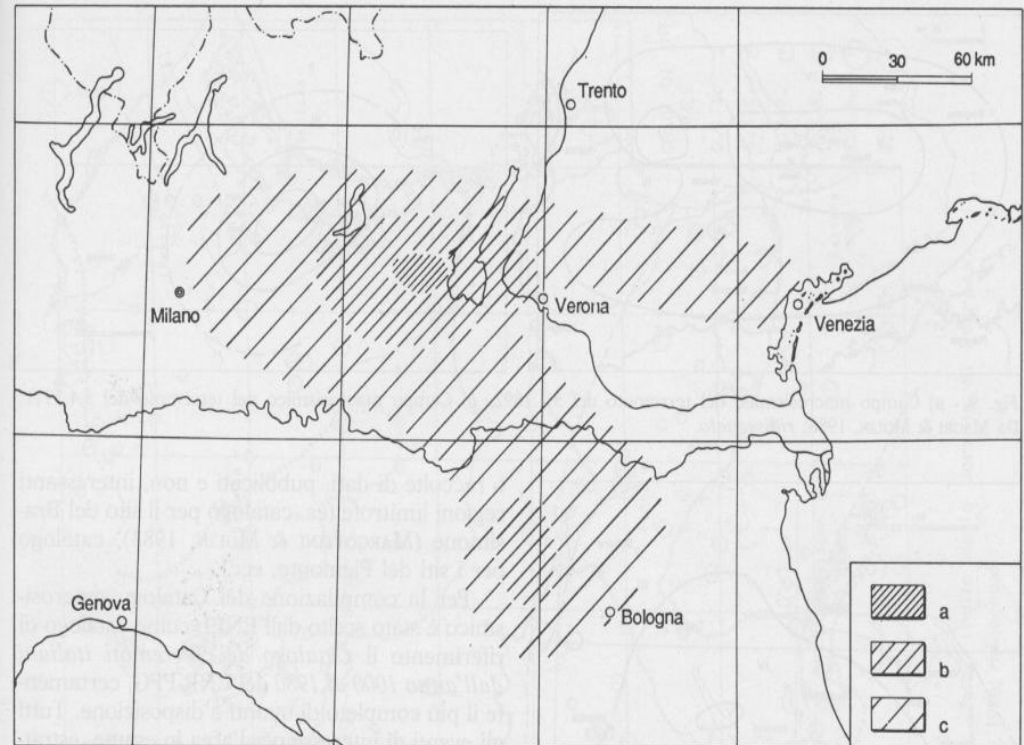


Fig. 7 - Terremoto del 1222, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX-X MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS. Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

**Magri and Molin, 1986, Iseismic maps of the Jan. 3, 1117 ( $I_0 = IX-X$  MCS) and the Dec. 25, 1222 ( $I_0 = IX-X$  MCS) earthquakes, the largest seismic events recorded in Northern Italy**

Sed et frater Andreas ultramarinus de civitate Achon ex Ordine fratrum Minorum, qui erat cum predicto domno et de familia sua et itineris socius, qui vidit et recordabatur, hoc idem dixit michi.

Anno Domini MCCXXII destructe fuerunt fovee civitatis Imole a Bononiensibus et Faventinis, et porte eiusdem civitatis portate fuerunt in civitatem Bononie. Et in eodem anno in Nativitate domini nostri Iesu Christi fuit maximus terremotus in civitate Regina, predicante domno Nicholao Regino episcopo in maiori Ecclesia sancte Marię. Et fuit iste terremotus per totam Lombardiam et Tusciam. Et appellatus fuit terremotus Brixie specialiter, quia plus vixit ibi, ita quod egressi Brixienſes de civitate morabantur extra in papilionibus, ne edificia caderent super eos. Et plures domus, turres et castra Brixienſium corruerunt ex illo terremotu. Et ita erant Brixienſes assuefacti ex illo terremotu, quod, quando cadebat pynaculum alicuius turris vel domus, aspiciebant et cum clamore ridebant. Unde quidam versibus ita dixit:

Mille ducentis atque viginti, Christe, duobus,  
 Postquam sumpsisti carnem, currentibus annis,  
 Talia fecisti miracula, rex benedictę:  
 Stella comis variis Augusti fine refulsit.  
 Septembris pluvia vites submersit et uvas  
 Destruxitque domos fluvii de more rapacis.  
 Lunaque passa fuit eclypsim mense Novembris.  
 Christi natalis media quasi luce diei  
 Terra dedit gemitus rugiens tremitque frequenter;  
 Tecta cadunt, urbes quassantur, templa ruerunt,  
 Exanimes dominos fecerunt menia multos.  
 Brixia precipue pressit ramosa colonas,  
 Flumina mutarunt cursum repetentia fontes.

Solita erat mater mea michi referre, quod tempore istius magni terremotus iacebam in cunabulis, et ipsa accepit duas sorores meas, sub qualibet ascella unam — erant enim parvule —, et me in cuna dimisso cucurrit ad domum patris et

- Earthquake Environmental Effects, the lesson from Fra' Salimbene de Adam"



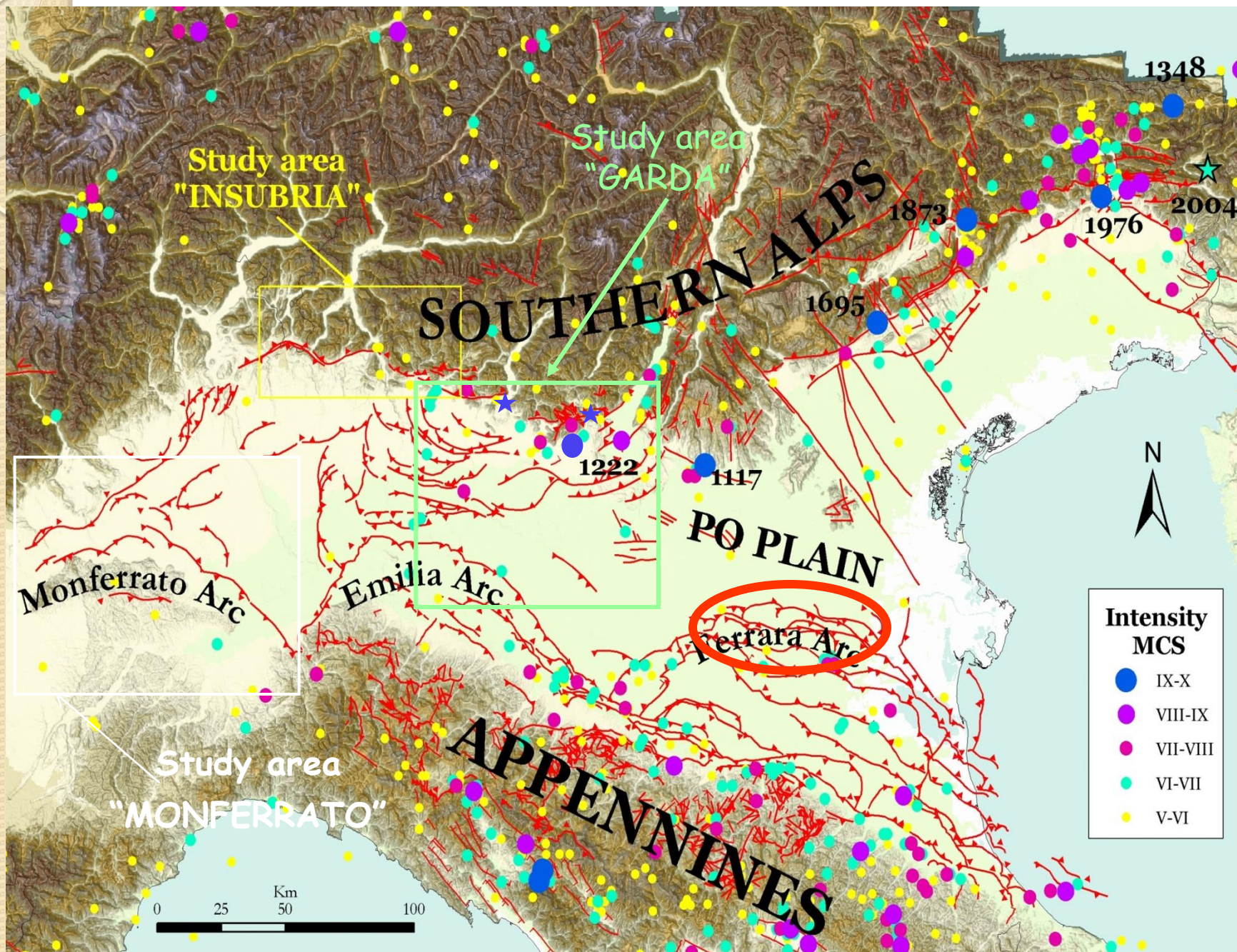
- Il resto della Pianura padana ha solo evidenze di ‘piccoli’ terremoti, tipo Salò 2004
- Due grandi terremoti medievali nel Gardesano: eventi *random* o terremoto caratteristico?
- Per definire la pericolosità, in assenza di dati strumentali e/o storici, si usano gli effetti ambientali (SCALA ESI)

# CHART OF THE INQUA ENVIRONMENTAL SEISMIC INTENSITY SCALE 2007 - ESI 07

| ESI-2007         |       | PRIMARY EFFECTS                                  |   | SECONDARY EFFECTS WITH GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL RECORD |                                   |  |   | OTHER SECONDARY EFFECTS WITH MINOR GEOLOGICAL RECORD |   | AFFECTED AREA AND TYPE OF RECORD |  |
|------------------|-------|--|---|---|-----------------------------------|--|---|--|---|----------------------------------|--|
|                  |       | SURFACE RUPTURES                                 | TECTONIC UPLIFT/SUBSID                  | GROUND CRACKS   | SLOPE MOVEMENTS                   | LIQUEFACTION PROCESSES   | ANOMALOUS WAVES AND TSUNAMIS                              | HYDROGEOLOGICAL ANOMALIES                            | TREE SHAKING  | Affected Area                    | Type of Record   |
| OBSERVED         | I-III | Offset   | Length                                  | Width   | Length                            | ENVIRONMENTAL EFFECTS ARE VERY RARE AND CANNOT BE USED AS DIAGNOSTIC |   |  |   |                                  |  |
|                  | IV    | ABSENT   |   | Rare and local  |                                   |  |   |  |   |                                  |  |
| DAMAGING         | V     | ABSENT   |   |   |                                   |  |   |  |   |                                  |  |
|                  | VI    | Rare and local                                   | Permanent ground dislocations (< 10 cm) | mm  |                                   | Only dewatered levels (seismites)                                    | cm  | Temporary level changes                              |   | Rare and local                   | Geological frequent and exceptionally geomorphological                         |
| DESTRUCTIVE      | VII   | cm   | hm                                      | cm  |                                   | 1 m  | dm  | Temp. turbidity changes                              |   | Local within epicentral zone     | Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological |
|                  | VIII  | dm   | km                                      | m   |                                   | 0.5 m  | dm  | Temp. F+Q changes                                    |   | 1 km <sup>2</sup>                |  |
| VERY DESTRUCTIVE | IX    | metric   |   | dm  |                                   | 1 m  | dm  | Temp. temperature changes                            |   | 10 km <sup>2</sup>               | Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological |
|                  | X     |  |   | m   |                                   | 0.5 m  | m   | Temp. spring drying                                  |   | 100 km <sup>2</sup>              |  |
| DEVASTATING      | XI    | 10-100 km  | < 10 m                                  | > m   |                                   | 1 m  | 3-5 m   | Permanent river changes                              |   | 1,000 km <sup>2</sup>            | Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological |
|                  | XII   | > 100 km   | > 10 m                                  | > 5 m   | Giant Landslides                  | > 5 m  | > 10 m  | Giant waves  |   | 5,000 km <sup>2</sup>            |  |
|                  |       | Dip and strike-slip offset of coseismic ruptures | Permanent ground dislocation            | Width and length of cracks and fractures in soils and rocks   | Bulk volume of mobilized material | Dimension of liquified levels and sand boils                         | Transitory sea-level changes, standing waves and Tsunamic | Base-level changes in springs, rivers, aquifers      | Tree branches and tree-trunk falling, rupture, etc... | 50,000 km <sup>2</sup>           |  |

**KEY REFERENCES:** Michetti, A.M., et al., 2007. Environmental Seismic Intensity scale - ESI 2007. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 74. Servizio Geologico d'Italia, APAT, Rome, Italy  
 Silva, P.G., et al., 2008. Catalogue of the geological and environmental effects of earthquakes in Spain in the ESI-2007 Macroseismic scale. Geotemas, 10, 1063 - 1066, SGE, Spain  
 Reicherter, K., Michetti, A.M., Silva, P.G., 2009. Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment. Geol. Soc. London, Spec. Pub., 316 1-10. London, U.K.

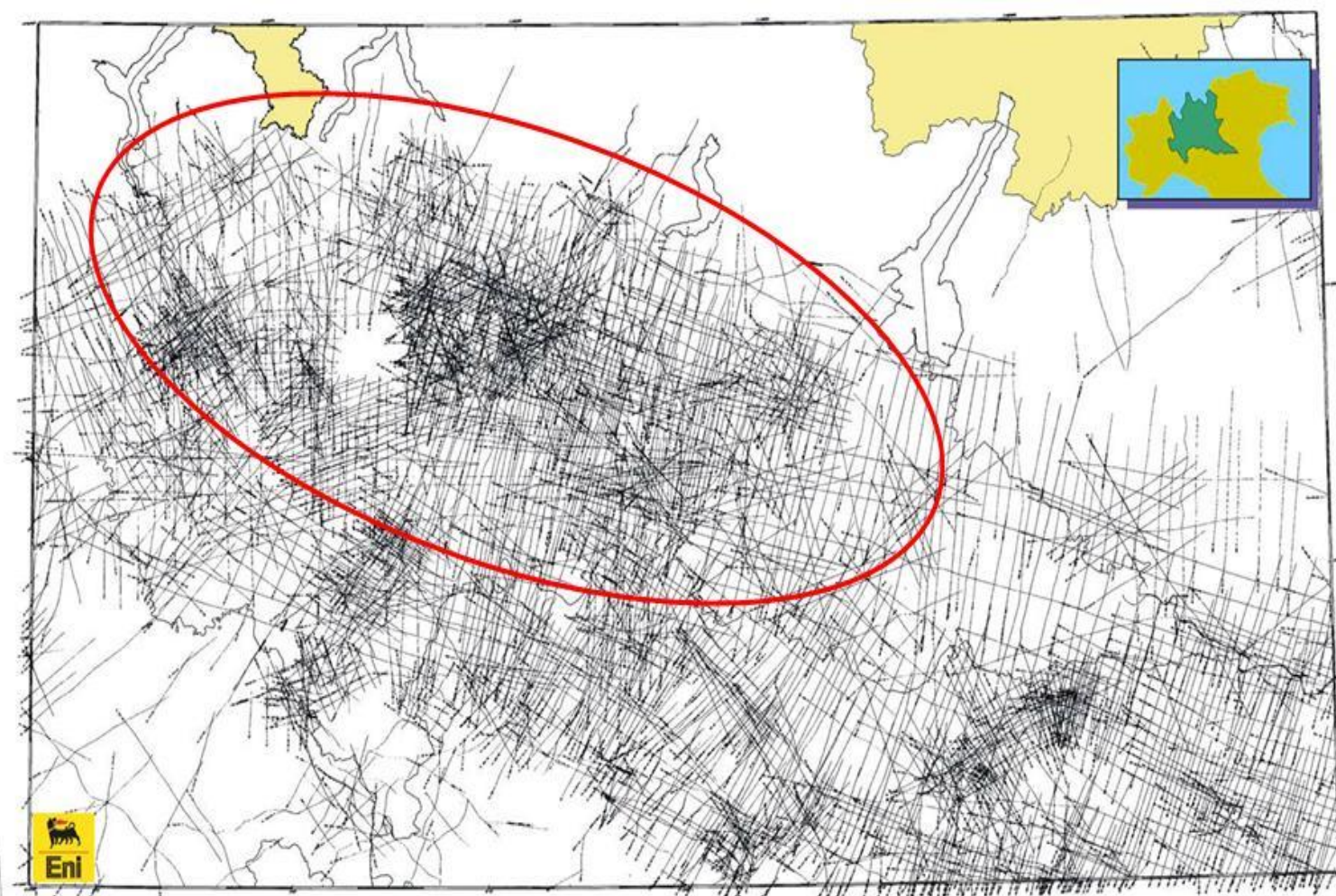




# Un ago nel pagliaio.....

- Dieci anni di rilievi sul terreno, trincee esplorative, reinterpretazione di migliaia di km di linee sismiche ENI E&P calibrate con decine di stratigrafie profonde, uno dei migliori cataloghi sismici del mondo, analisi archaeosismologiche e paleosismologiche





- **ENI E&P subsurface information (ca. 18000 Km of seismic reflection lines over an area of 7000 Km<sup>2</sup>, calibrated with hundreds of deep boreholes stratigraphic logs).**
- **New field mapping, geomorphic analysis in sample areas, and offshore investigations in Lake Garda.**



# Campagna PERLA-G\_2010

Studio morfobatimetrico dei fondali del Garda compresi tra  
P.ta S. Vigilio e Capo Sirmione

Crescenzo Violante

**Istituto per l'Ambiente Marino Costiero IAMC  
CNR Napoli - Italia**

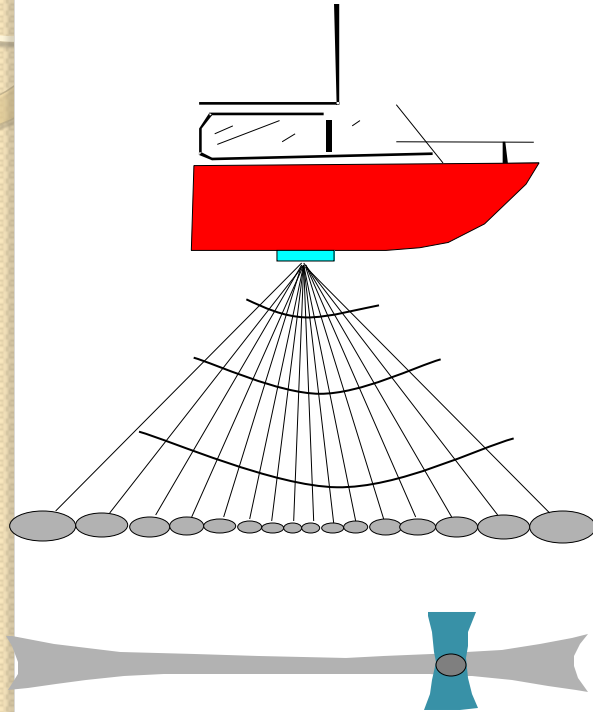




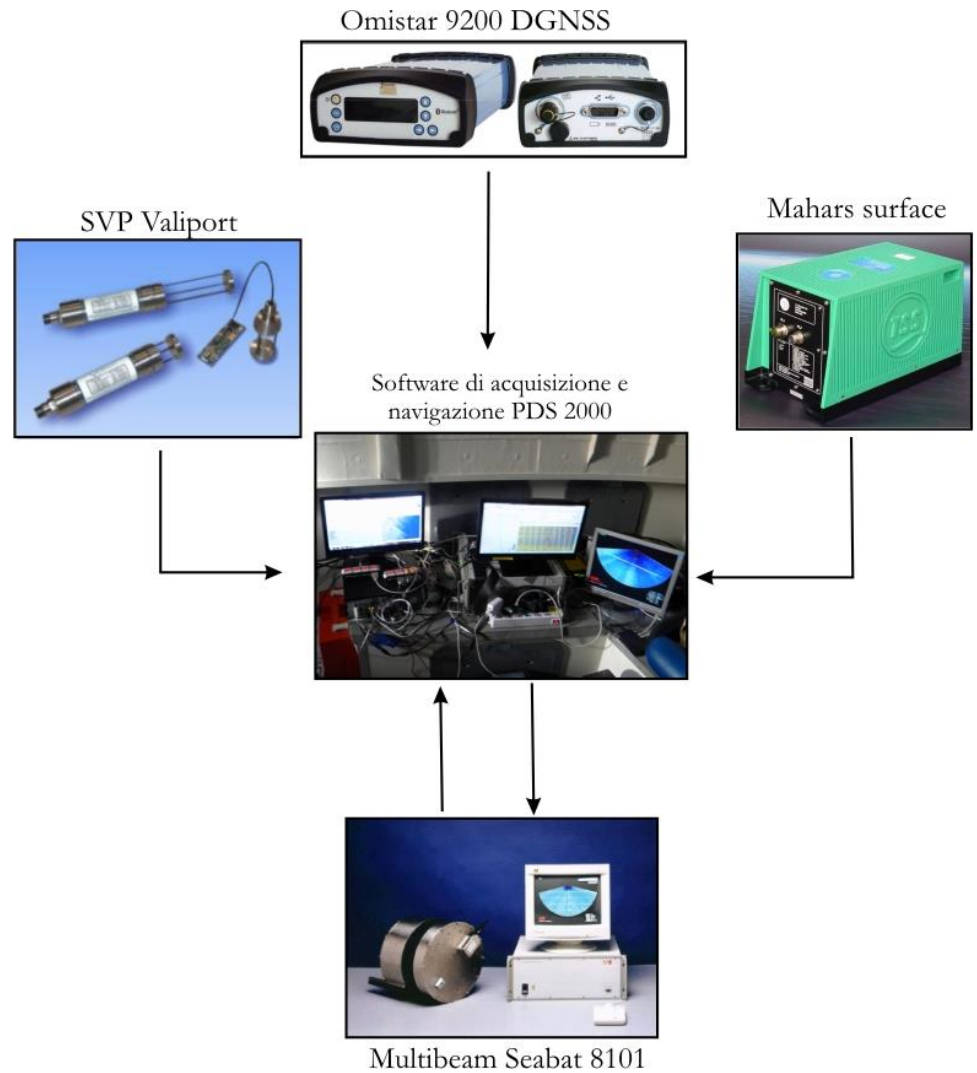
# *Obiettivi*

- Dati batimetrici ad elevata risoluzione
- Informazioni sull'attuale assetto geomorfologico del settore meridionale del lago
- Individuazione di strutture primarie legate a faglie capaci
- Individuazione di forme e depositi correlabili a eventi geologici

# Sistema multibeam

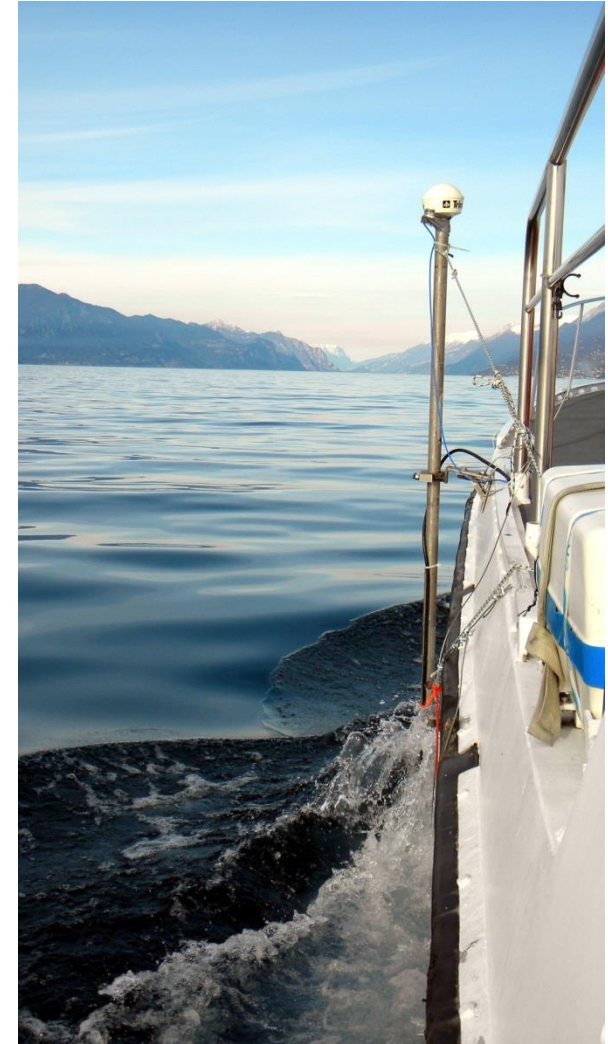


Fasci acustici direzionali trasmessi da un ecoscandaglio multifascio (multibeam)

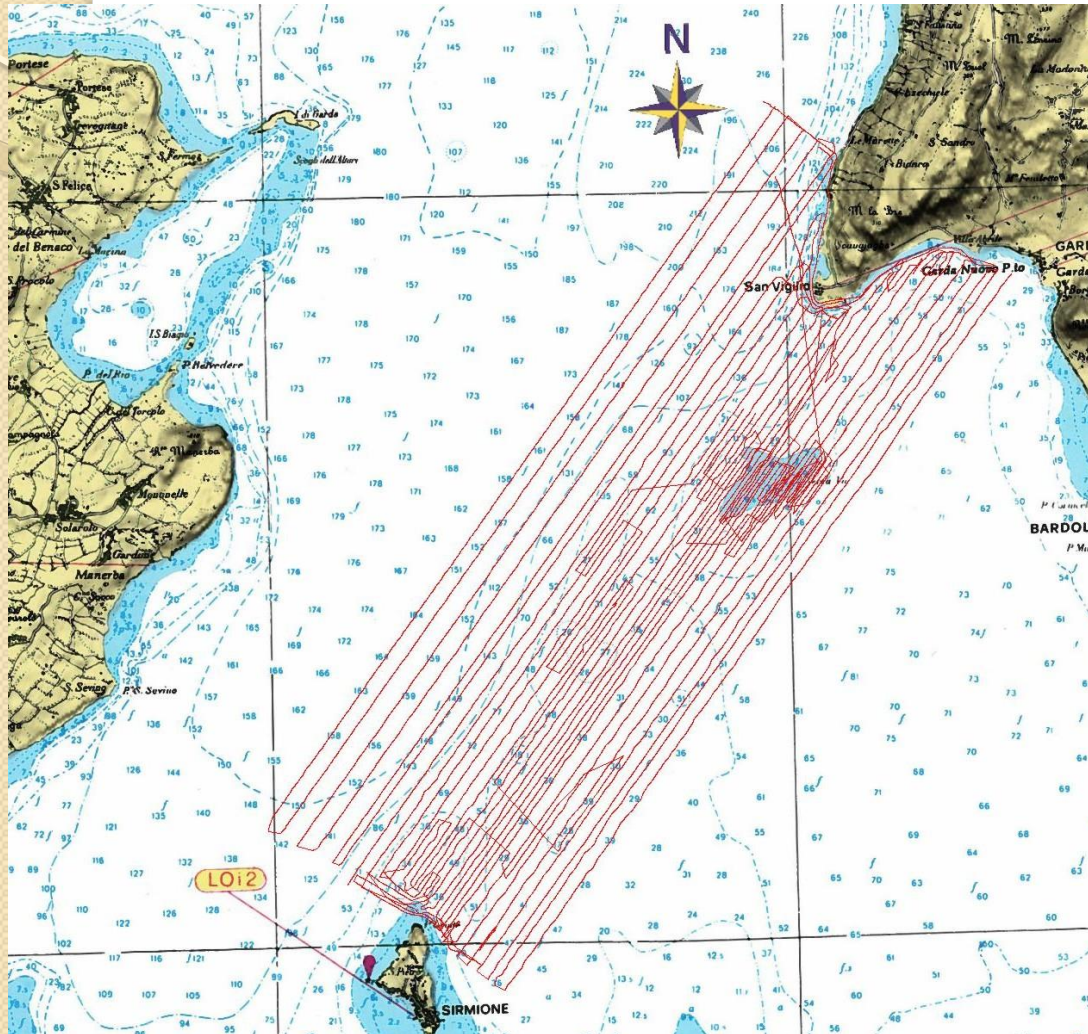




# Motovedetta CP 826 Guardia Costiera

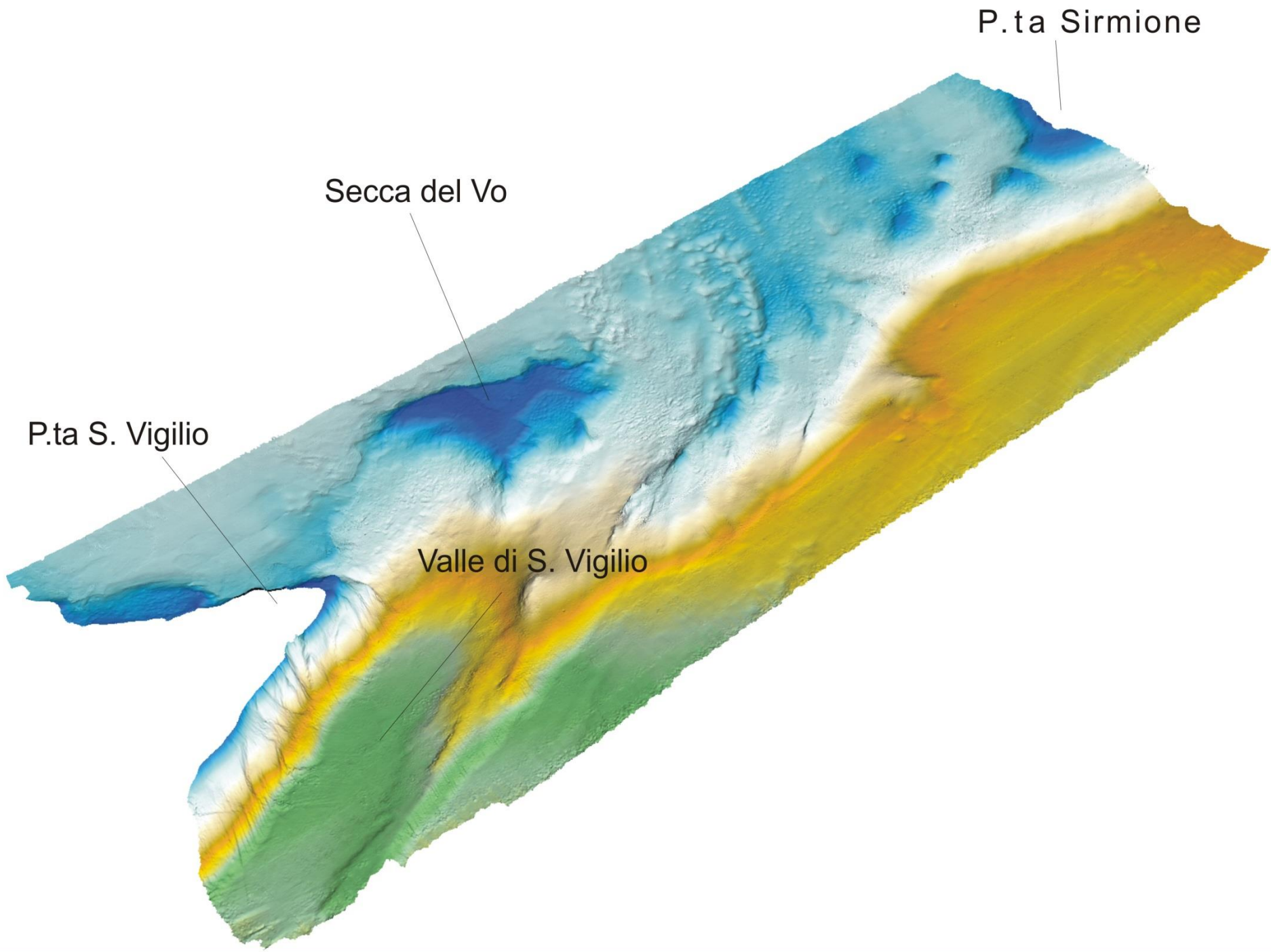


# Rotte di navigazione



- Distanza lineare: 186 miglia
- Velocità: 5 – 6.5 nodi
- Area coperta: 40 km<sup>2</sup>
- Profondità: 3.6 – 226 m





P.ta Sirmione

Secca del Vo

P.ta S. Vigilio

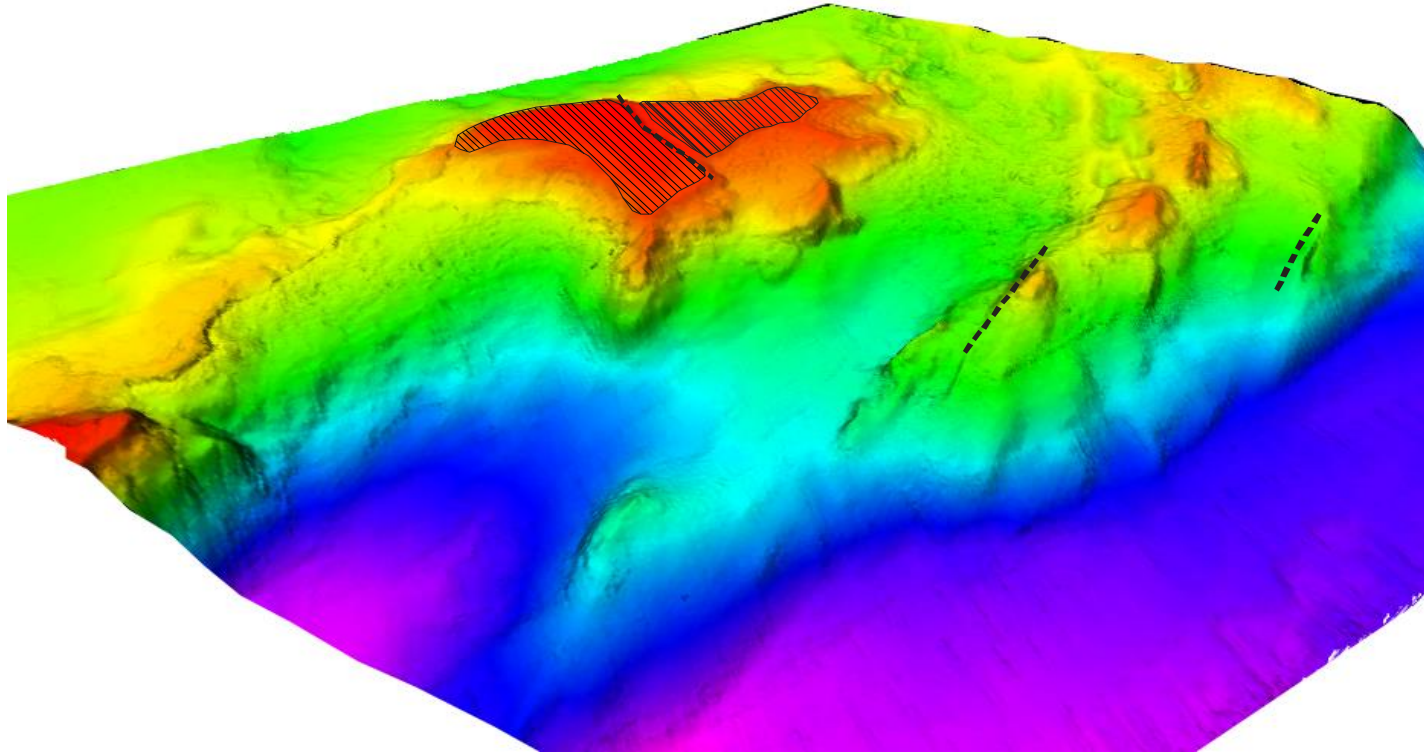
Valle di S. Vigilio

# *Risultati preliminari*

- Assetto geomorfologico attuale
- Presenza di campi di *pockmarks*: depressioni emisferiche probabilmente legate a fenomeni idrotermali
- Rotture di pendenza lineari che lasciano ipotizzare dislocazioni “recenti”
- Superfici di abrasione legate a stazionamenti del livello lago a quote inferiori

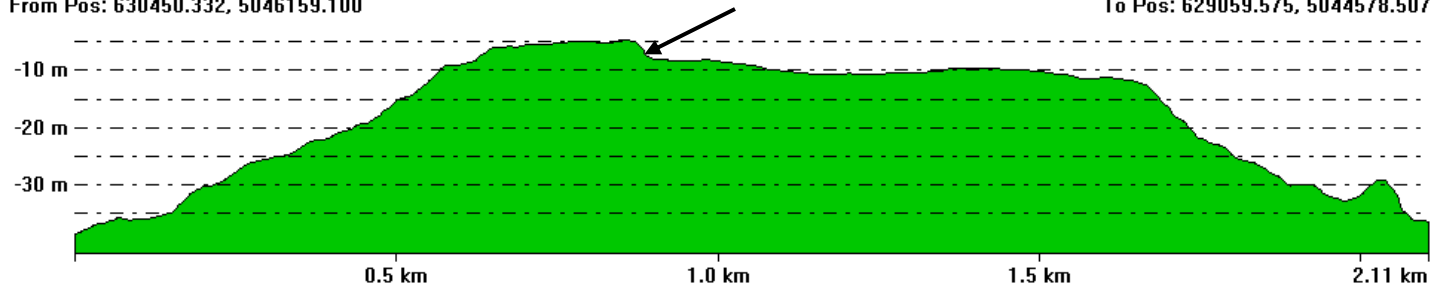


# Secca del Vo e dintorni

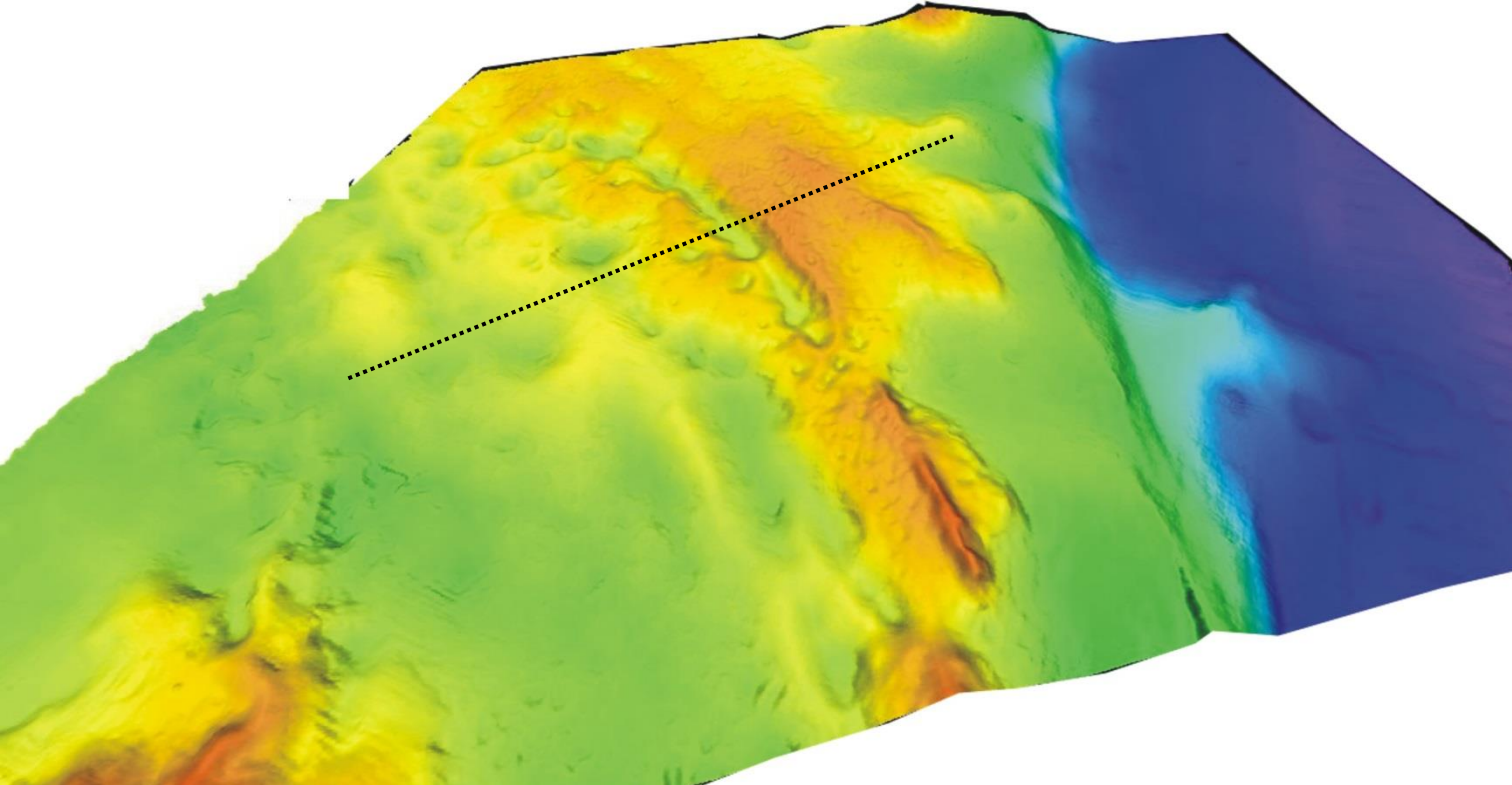


From Pos: 630450.332, 5046159.100

To Pos: 629059.575, 5044578.507

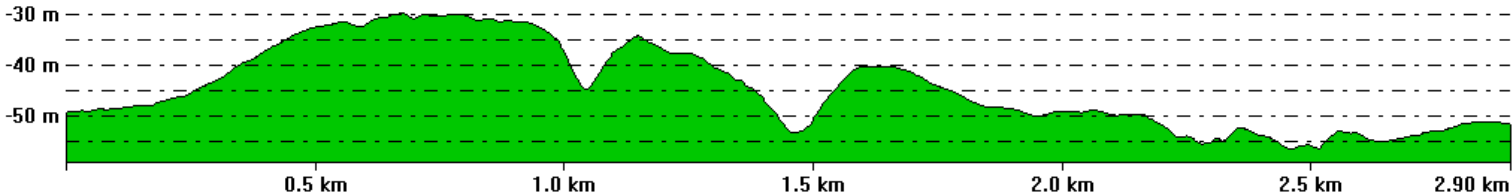


# Pockmarks



From Pos: 627163.276, 5042655.383

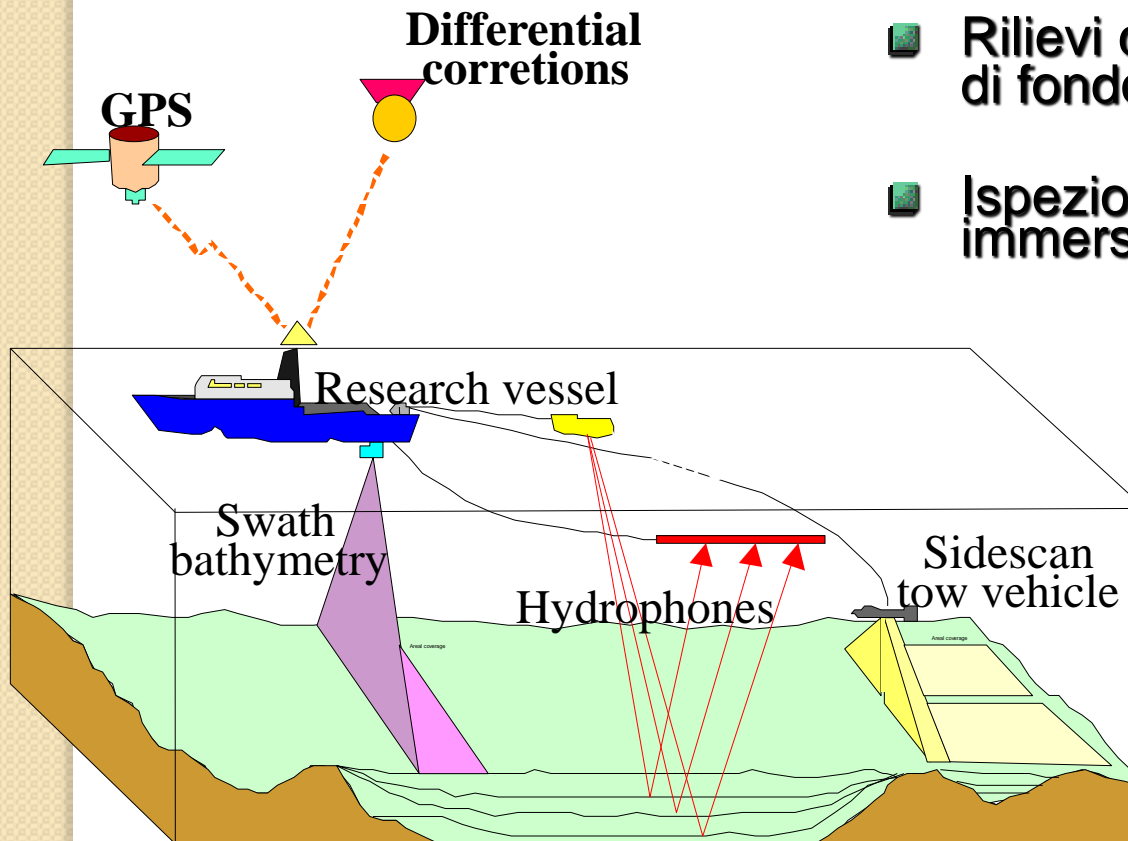
To Pos: 629606.386, 5044219.469



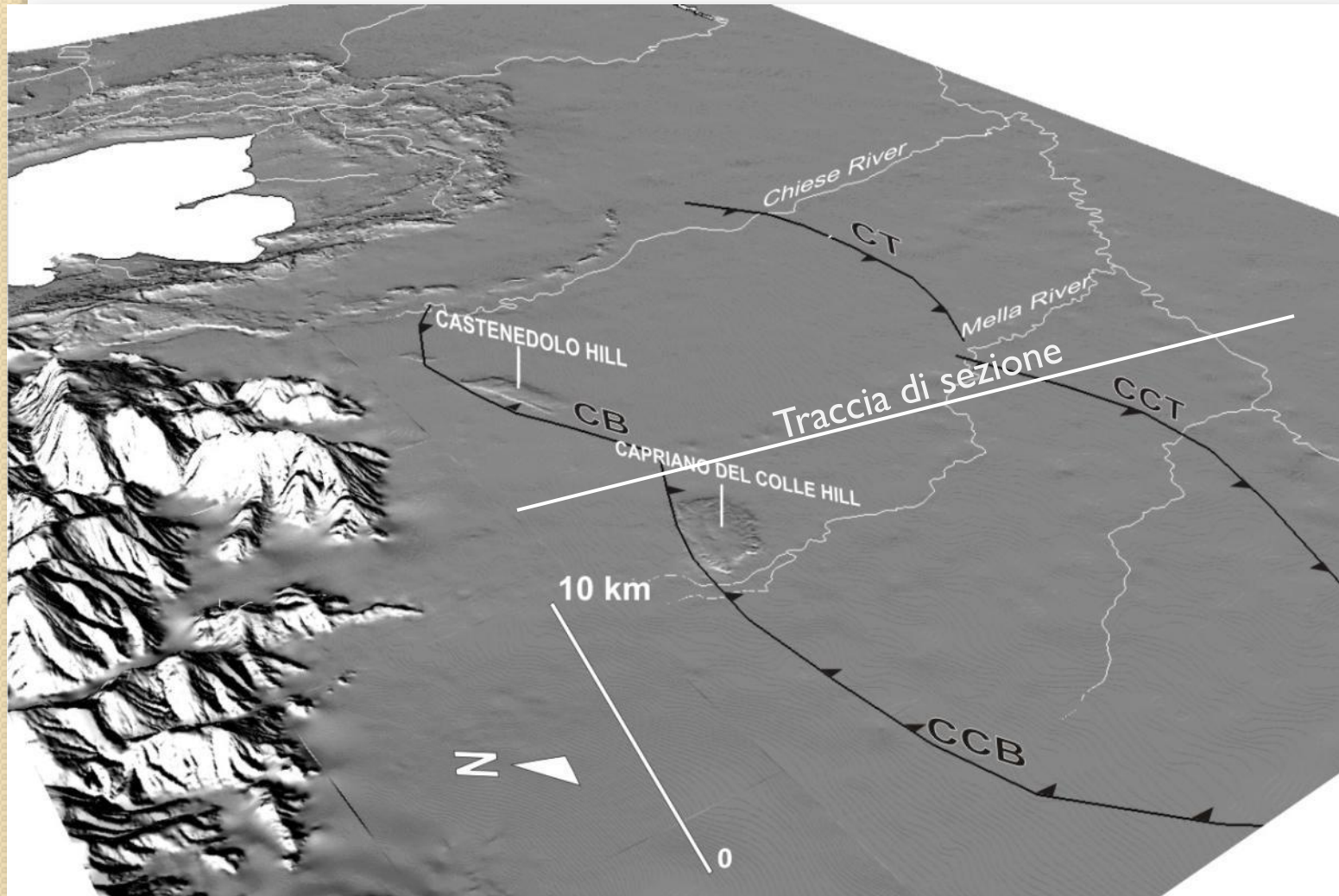


# Studio del fondo e del sottofondo

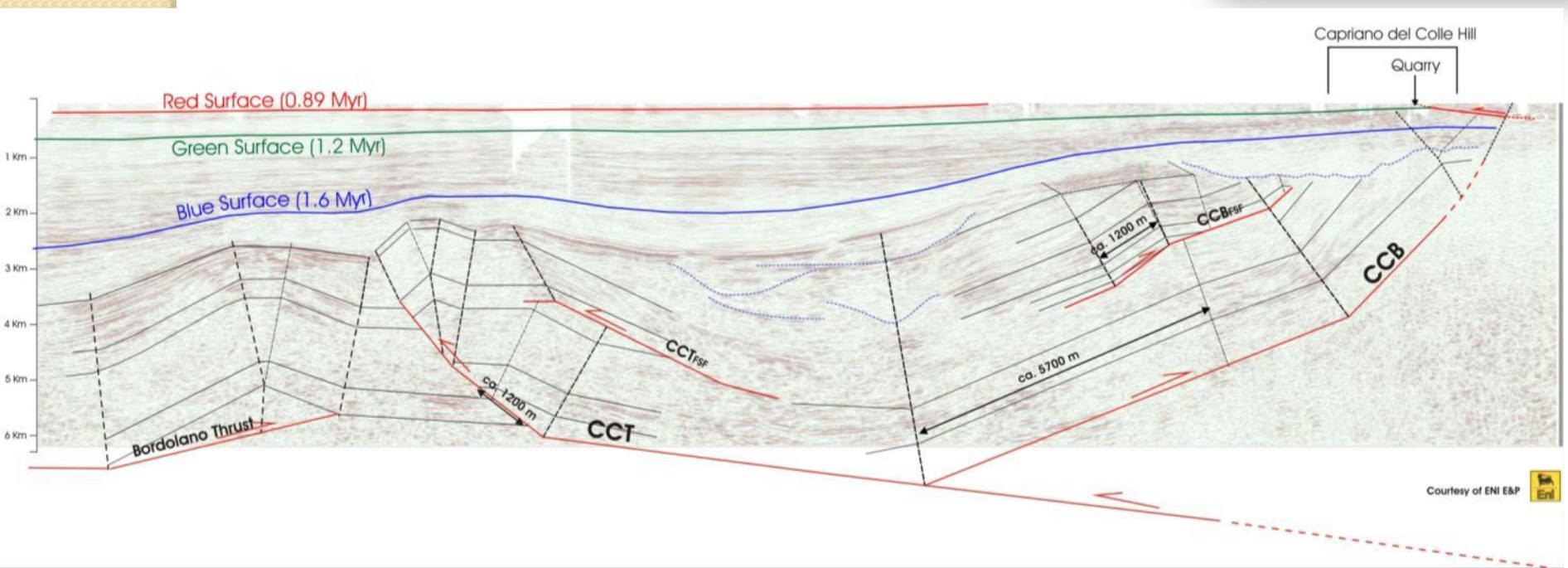
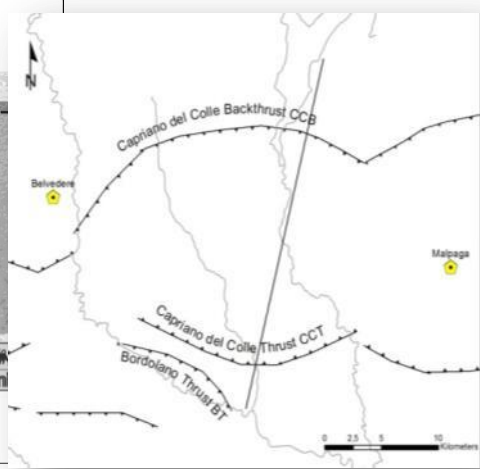
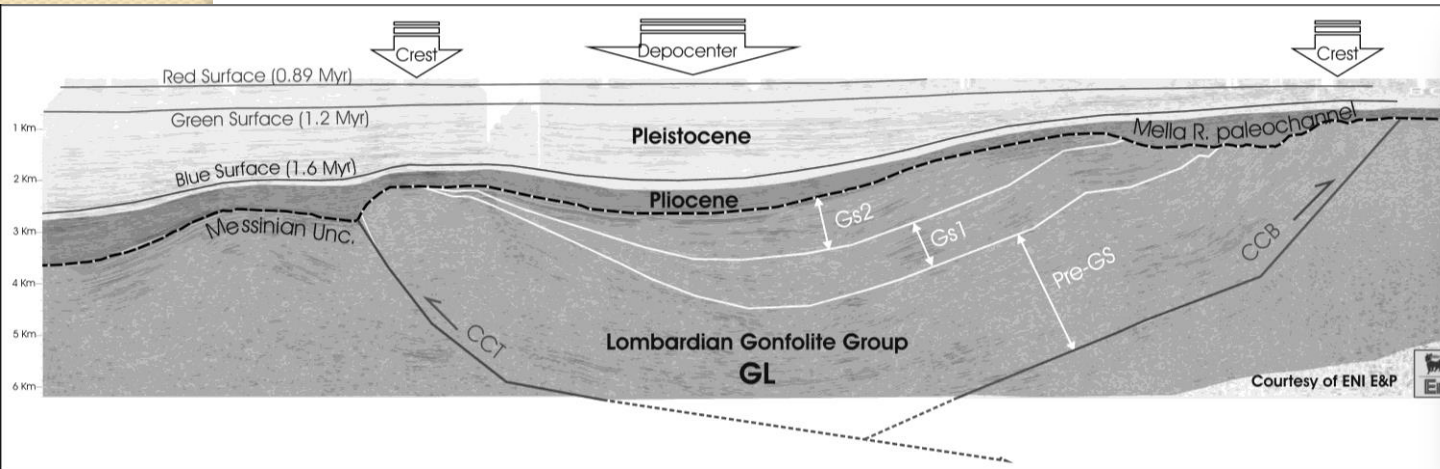
- Rilievi geofisici indiretti (rilievi acustici effettuati da bordo)
- Rilievi diretti (prelievo di campioni di fondo)
- Ispezioni visive (R.O.V. e immersioni subacquee)



# Reference paleoearthquakes: Monte Netto, Brescia, epicentral area 1222 eq.







Fault propagation folds - constant thickness model (e.g., Suppe & Medwedeff, 1990)

Livio et al, 2009

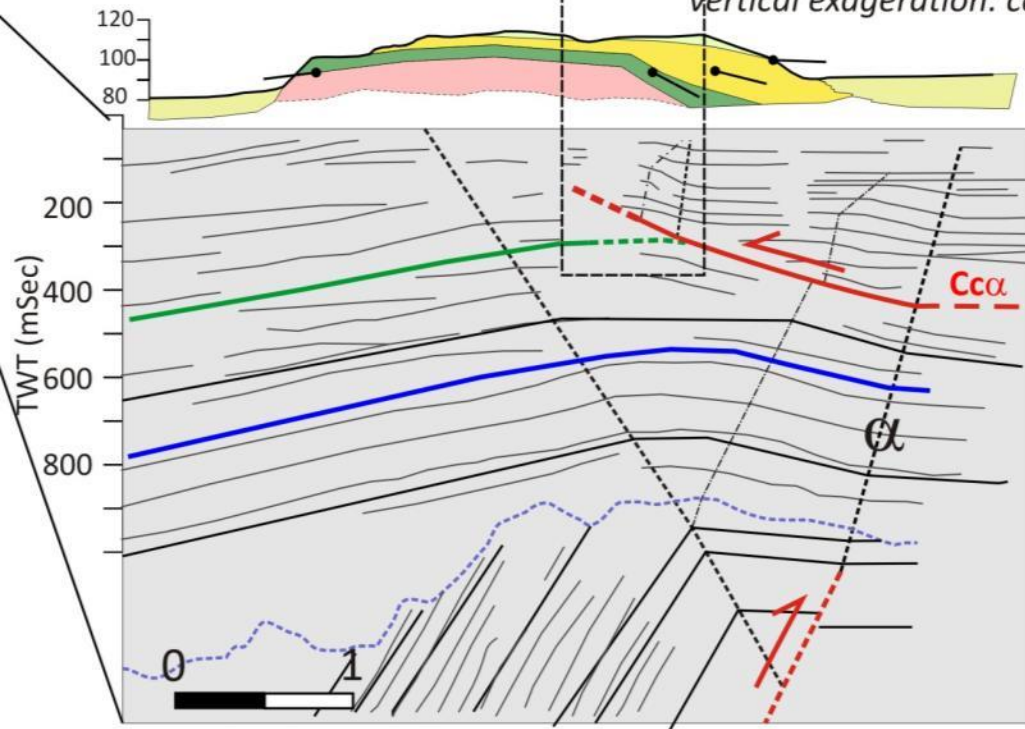
# Capriano del Colle Hill

**b**

Quarry

Fig. 9

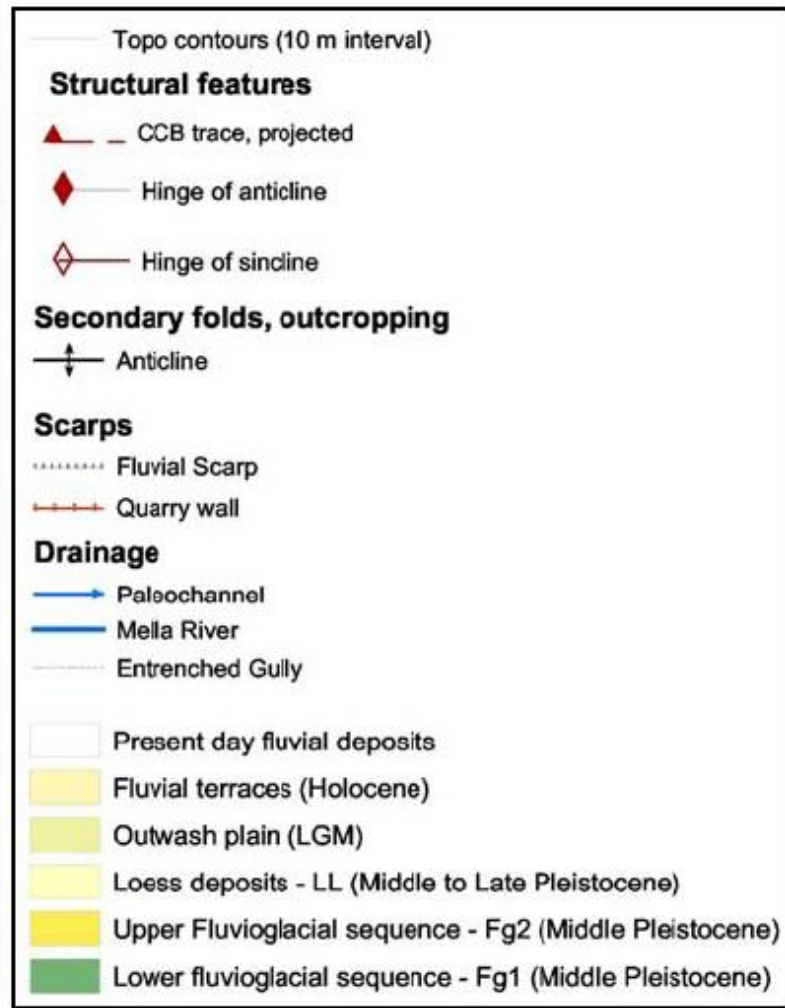
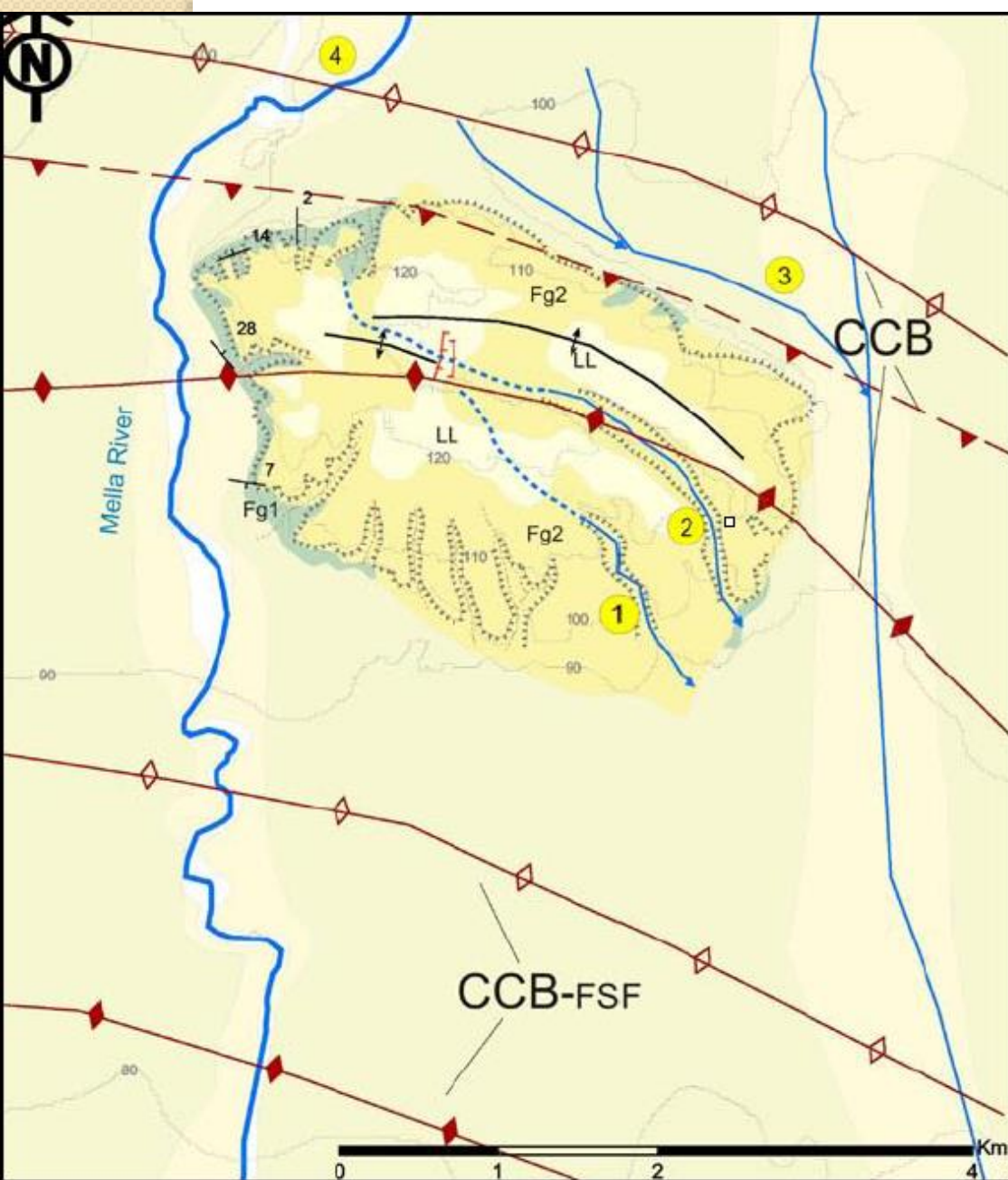
Topography  
vertical exaggeration: ca 10x



Vertical Scale TWT  
vertical exaggeration ca.: 2x

Livio et al, 2009,  
Tectonophysics









March 12, 2008



# Secondary and pa



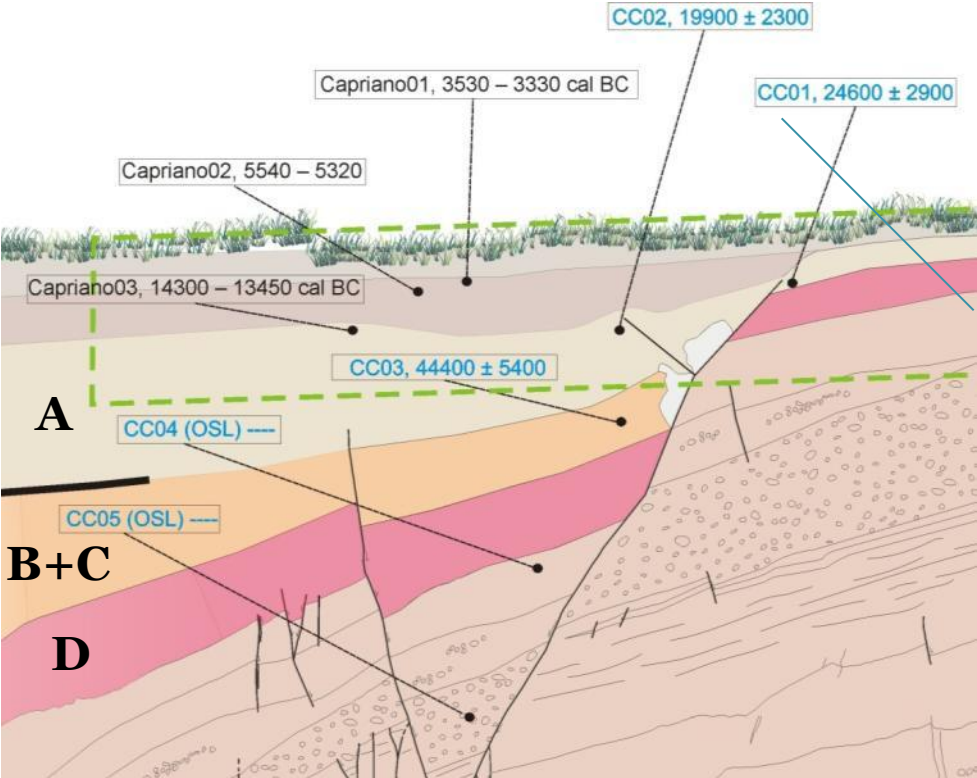


## Campionamento per datazioni OSL

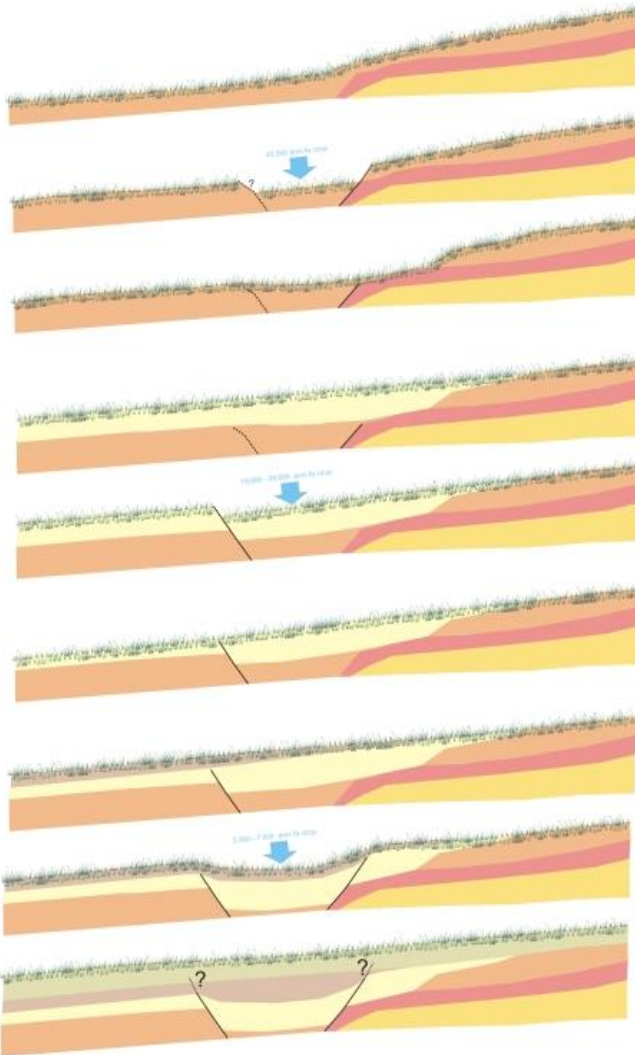
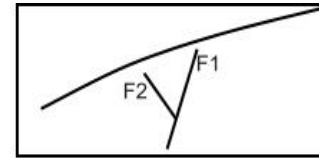




# Trenching and dating



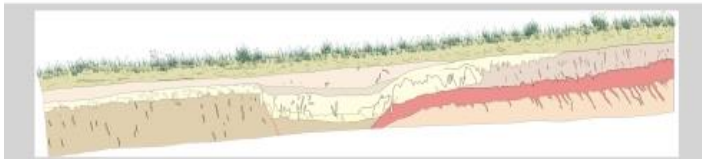
RIGETTI



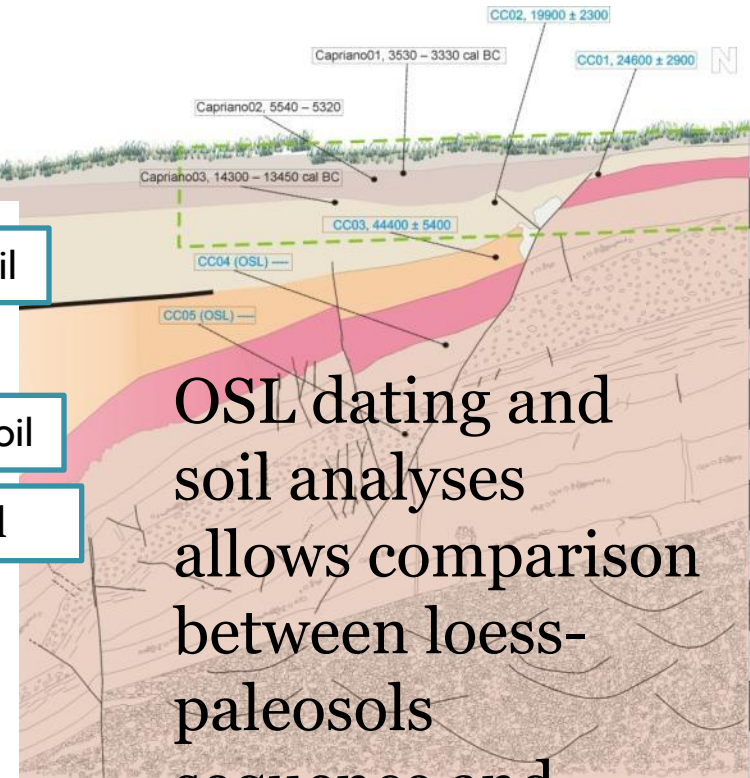
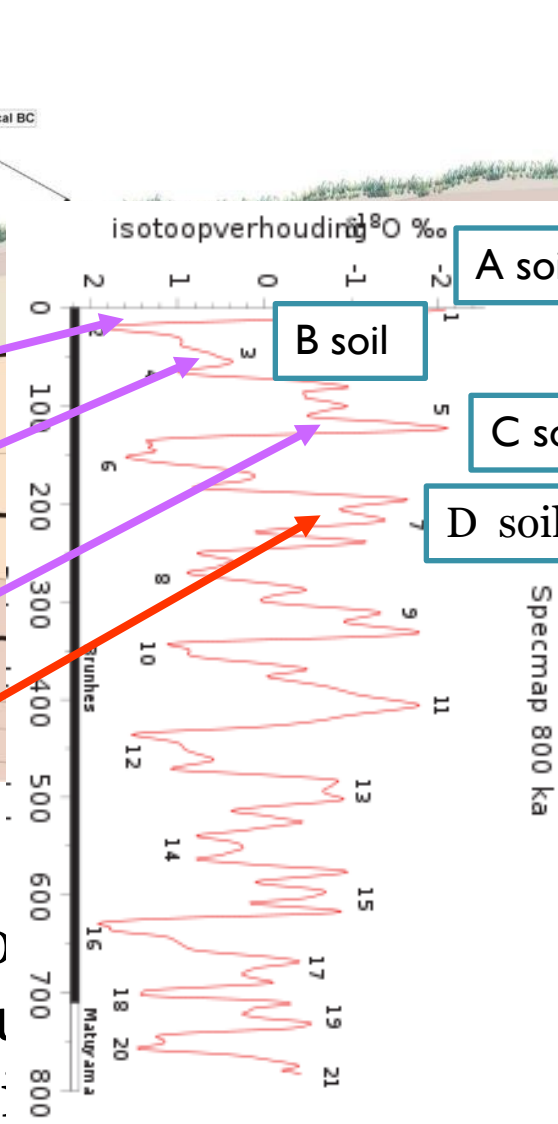
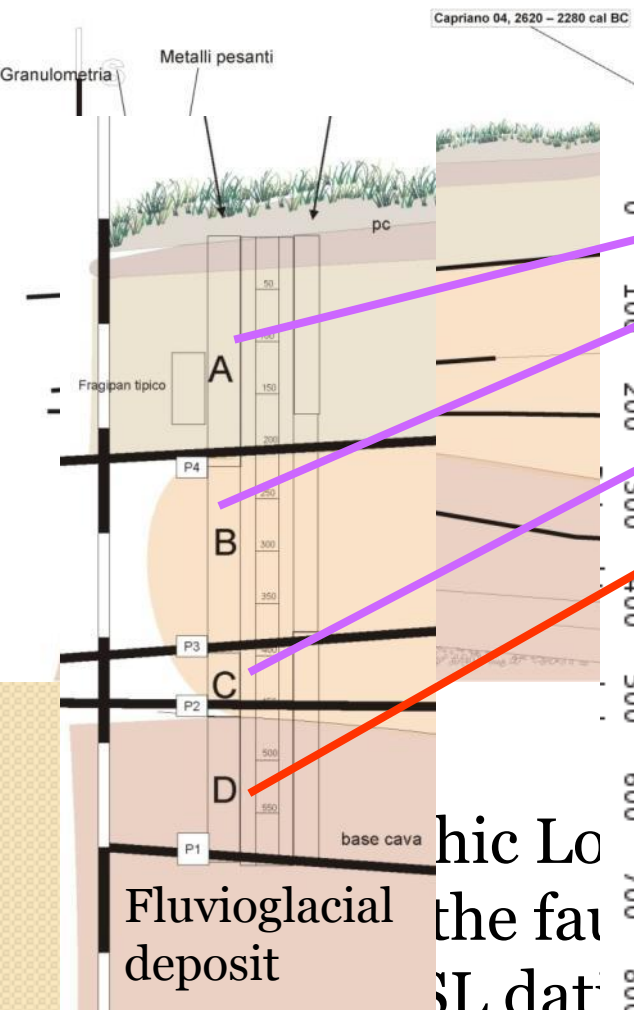
E1:  $F1 = 58$  cm,  $F2 = 0$  cm (probabilmente)

E2:  $F1 = 0$  cm,  $F2 = 21$  cm

E3:  $F1 = 60$  cm,  $F2 = 33$  cm  $\rightarrow$  27 cm tot.







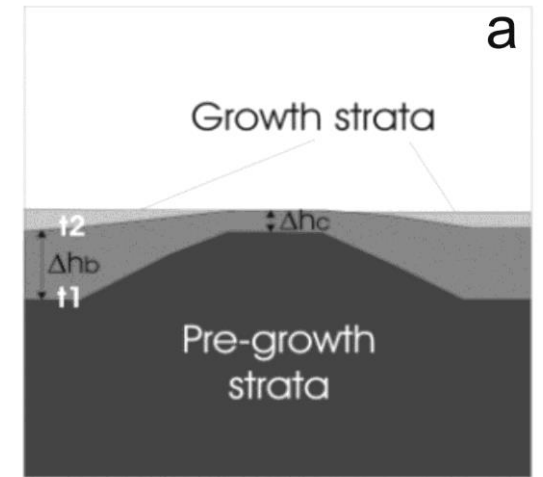
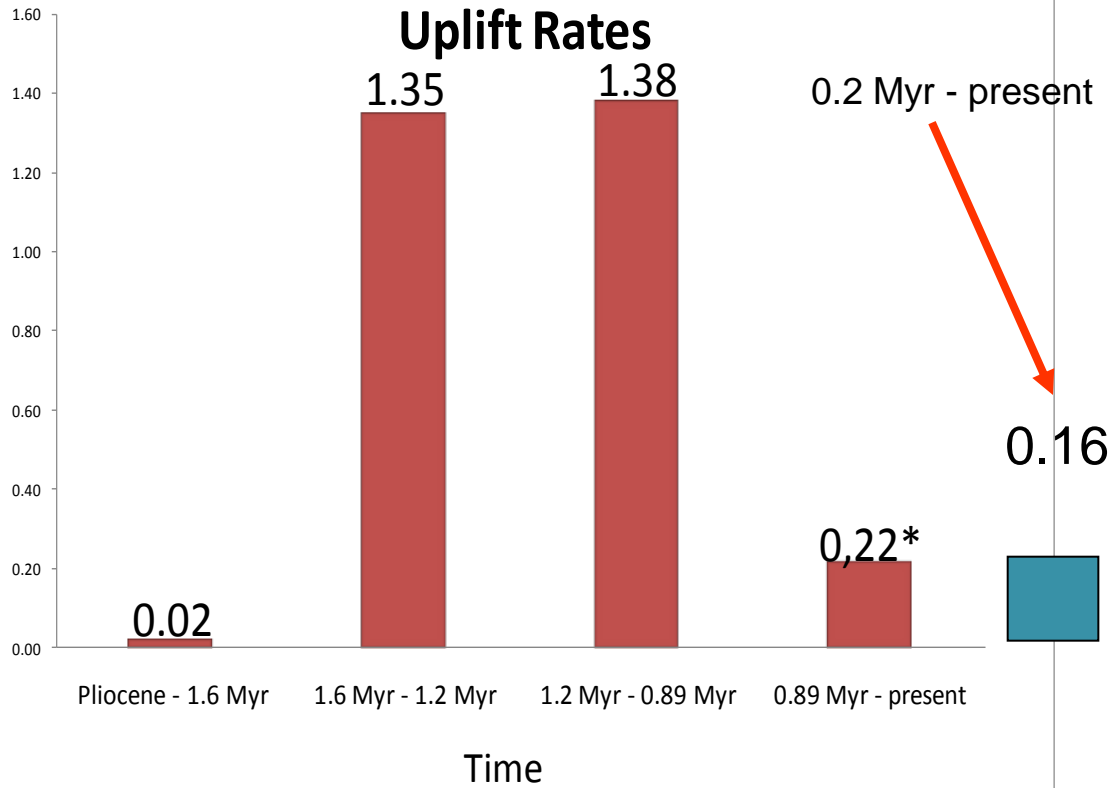
OSL dating and soil analyses allows comparison between loess-paleosols sequence and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  derived

at 1:20 scale (A to D Units):

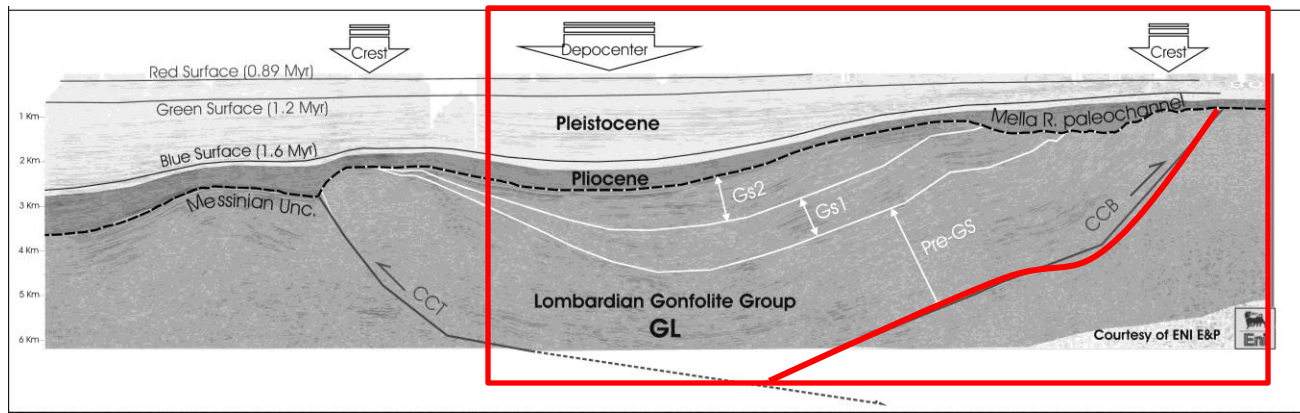
- n. 4 C14 AMS datings
- extensive pedostratigraphic analyses

# Capriano del Colle Backthrust (CCB)

## Uplift Rates

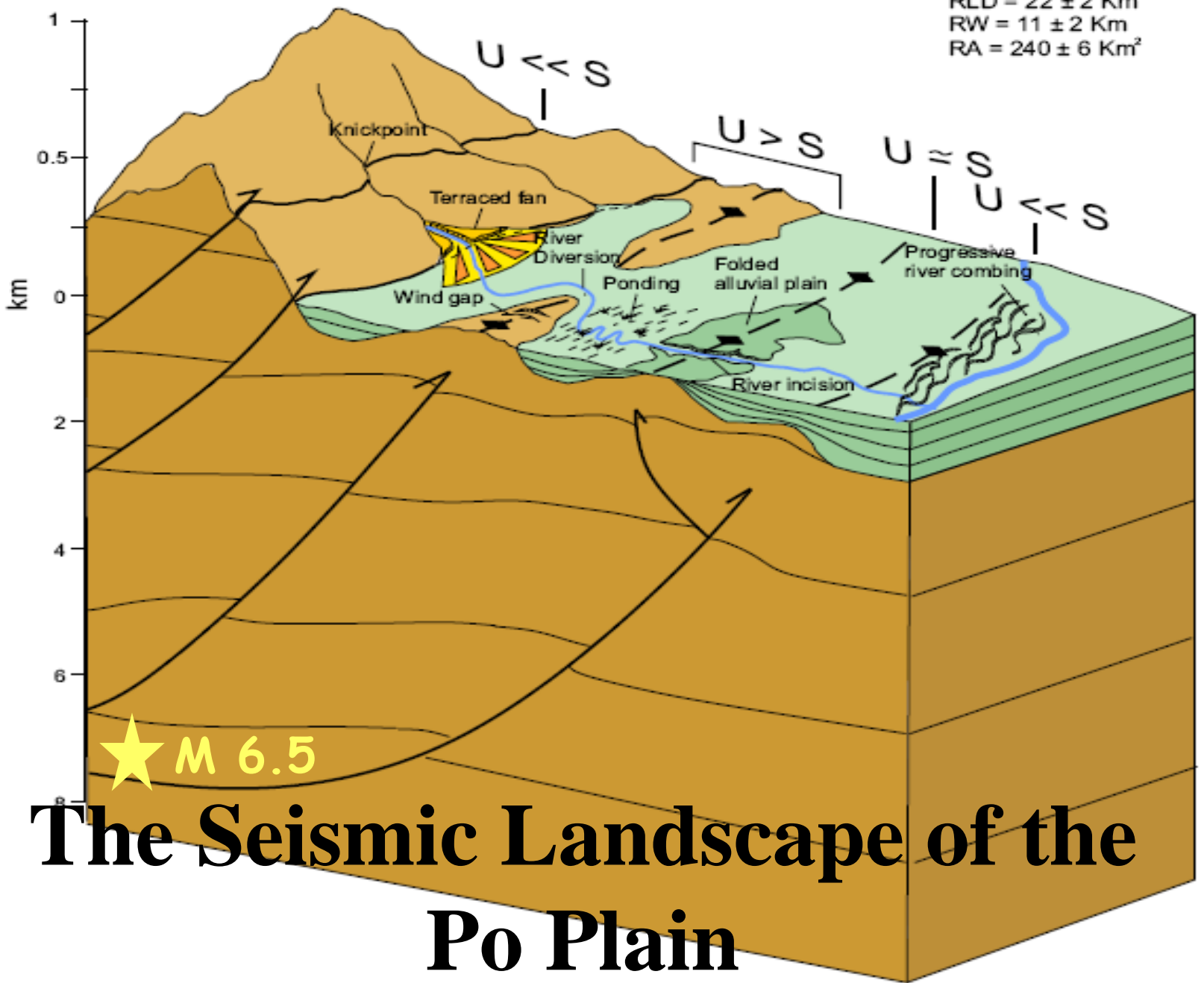


$$\text{Uplift Rate } (t_1-t_2) = (\Delta h_b - \Delta h_c)/(t_1-t_2)$$





M = 6.5  
RLD = 22 ± 2 Km  
RW = 11 ± 2 Km  
RA = 240 ± 6 Km<sup>2</sup>

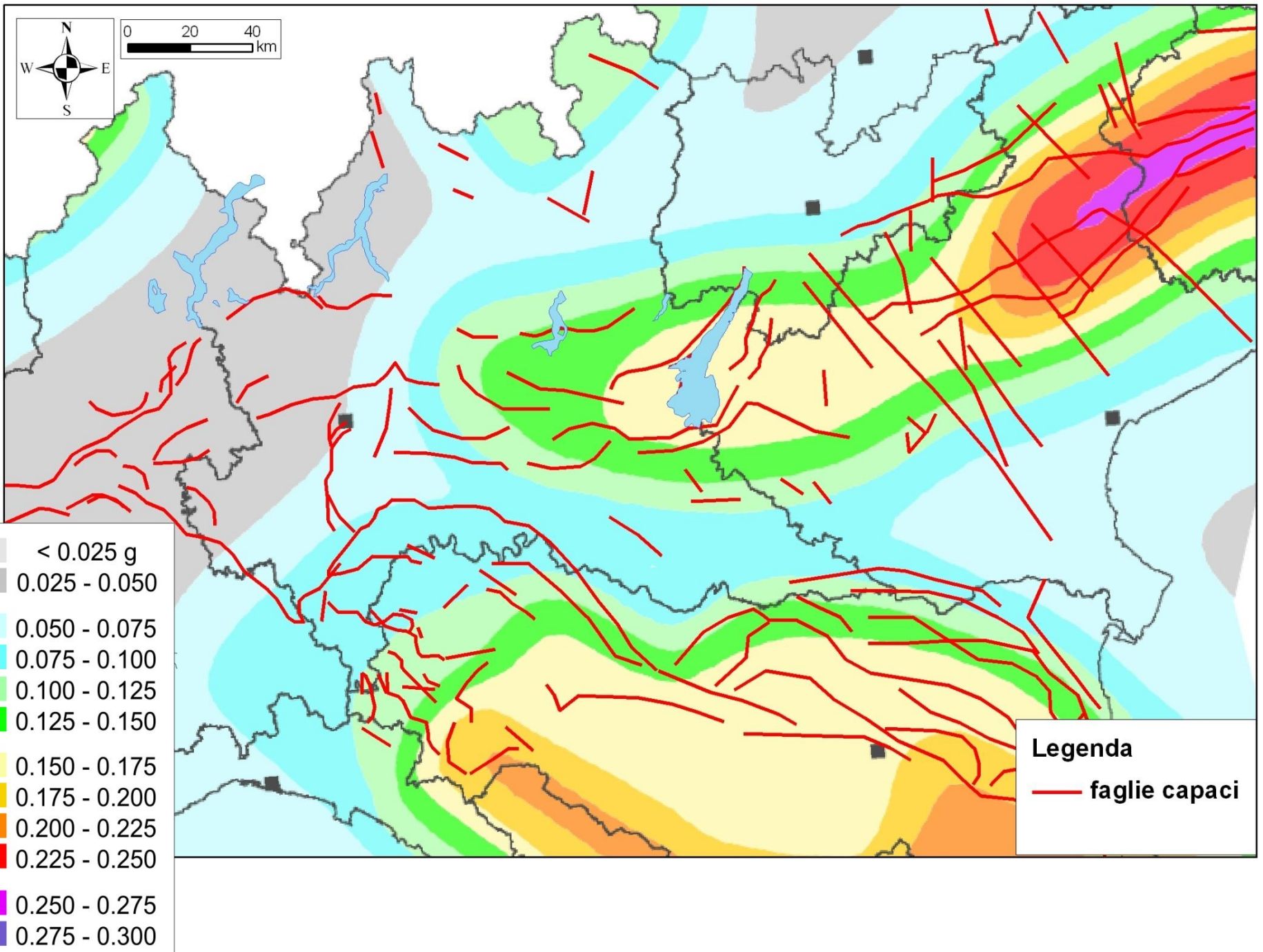


# The Seismic Landscape of the Po Plain

## **Quali sono gli indicatori che le stime di *hazard* sismico in Italia vadano (o meno) cambiate?**

- In Pianura Padana, gli archi appenninici e il Sudalpino includono strutture tettoniche compressive quaternarie che con i dati a disposizione non possiamo definire non-capaci
- Gli effetti ambientali osservati nella sequenza sismica del Maggio-Giugno 2012 pongono dei vincoli per caratterizzare la magnitudo del terremoto di riferimento per l'Avanfossa Padana







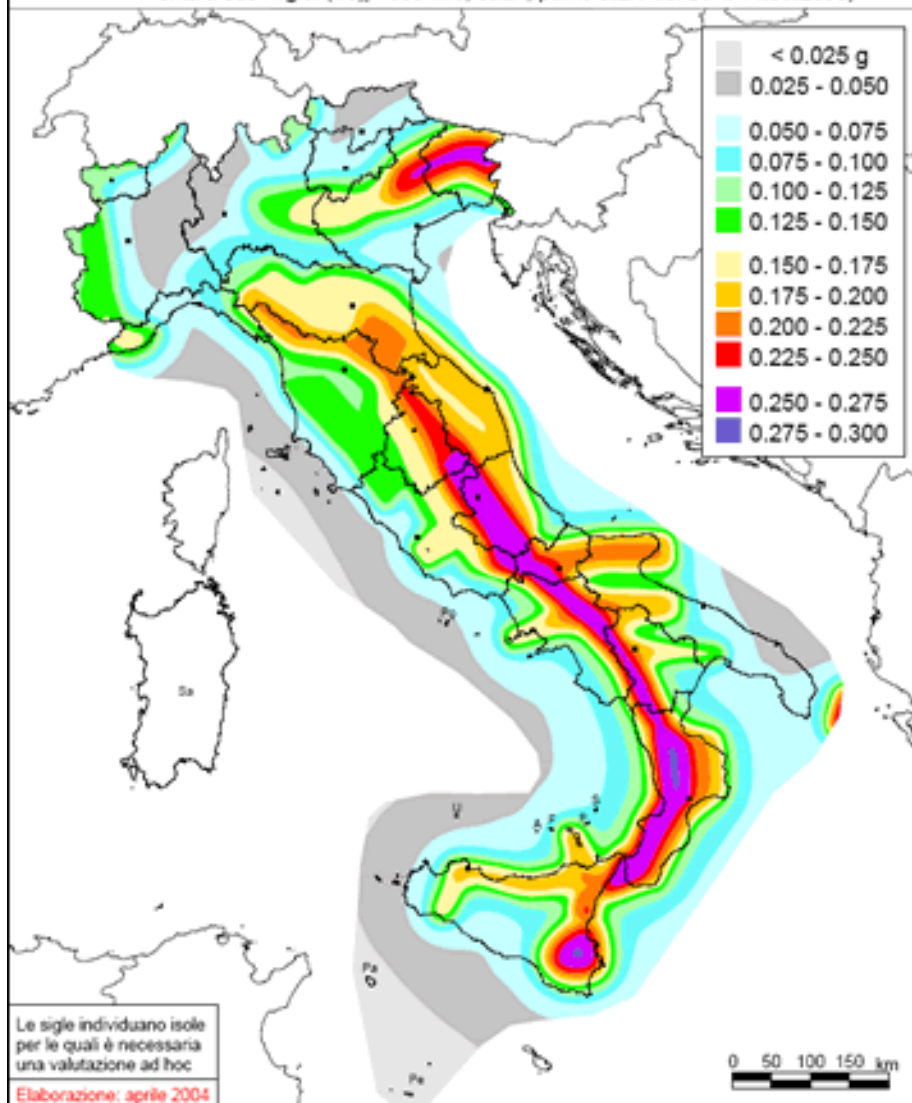
### Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

referita a suoli rigidi ( $V_{s,0} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)





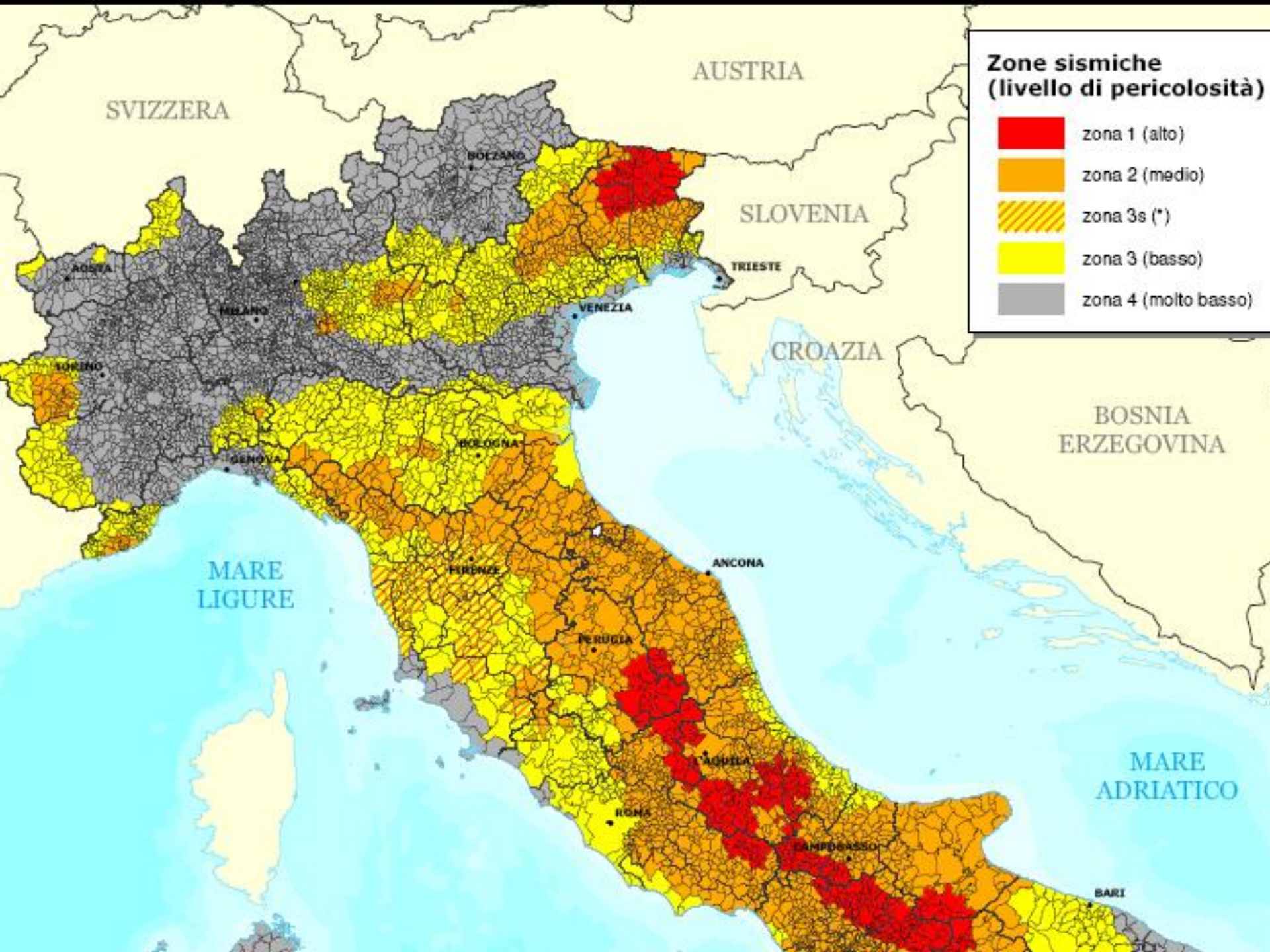
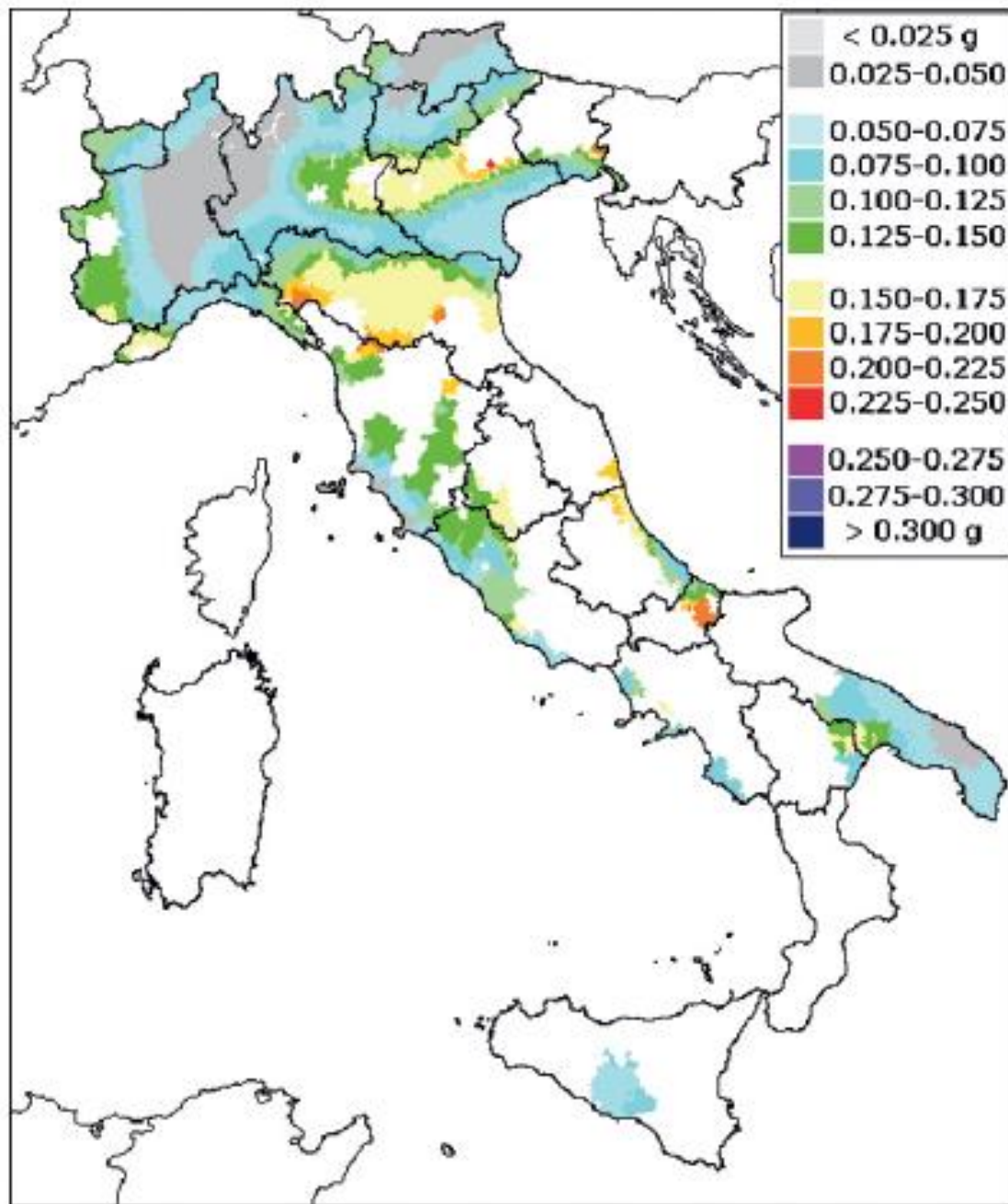






Figura 7  
Mappa del deficit di  
sicurezza sismica, espressa  
in termini di valori della  
accelerazione di progetto  
secondo i quali avrebbero  
dovuto essere costruiti gli  
edifici, nei comuni  
classificati come sismici per  
la prima volta nel 2003 ai  
sensi della OPCM  
3274/2003.



- Effetti sulle **opere antropiche**, fabbricati di civile abitazione, costruzioni storico-monumentali, capannoni industriali, strade e condutture



- Effetti sull'**ambiente**, quali sollevamenti e deformazioni del suolo, fenomeni di liquefazione, fessurazioni, rigonfiamenti del fondale e franamenti di sponda di canali





Leonello Serva

Parole e scelte che bisogna imparare

L'Astrolabio, 19 giugno 2012

“Per quanto razionale possa apparire, l’approccio sin qui delineato presenta un elemento di notevole criticità, riflesso del punto critico intrinseco al concetto di pericolosità sismica su cui l’approccio stesso si basa. Infatti, mentre la scienza può indicare con precisione accettabile il massimo dei terremoti che può generarsi in una determinata area o che può essere risentito in essa per effetto di quelli possibili in aree circostanti, le valutazioni di probabilità hanno un’affidabilità di gran lunga inferiore.”

# Why probabilistic SHA does not work?

- Uncomplete catalogue
- Clustering
- ANCIENT LANDS!
- Use seismic landscape for scenario earthquakes
- CULTURA DELLA PREVENZIONE SISMICA





---

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!!**