



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

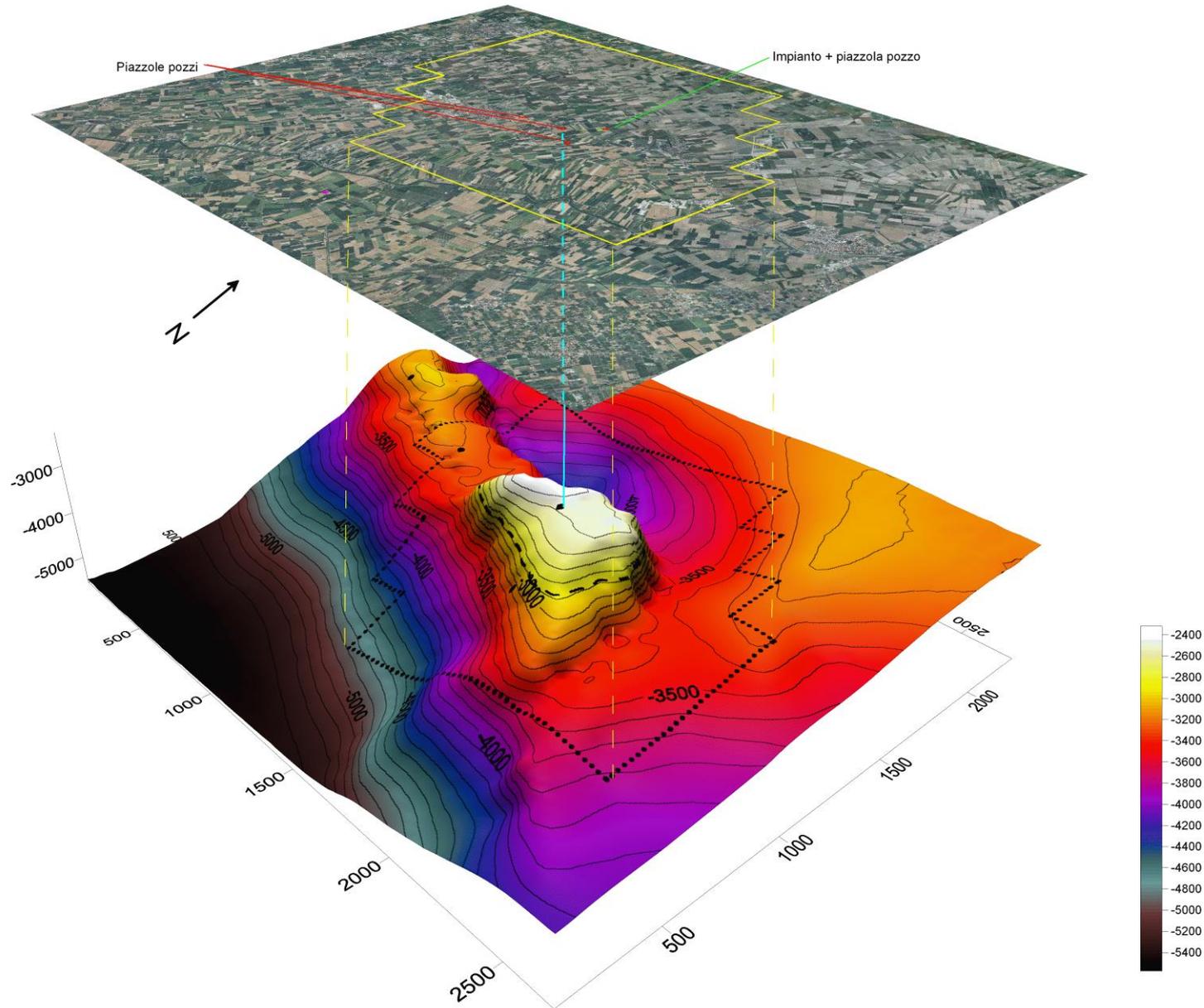
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

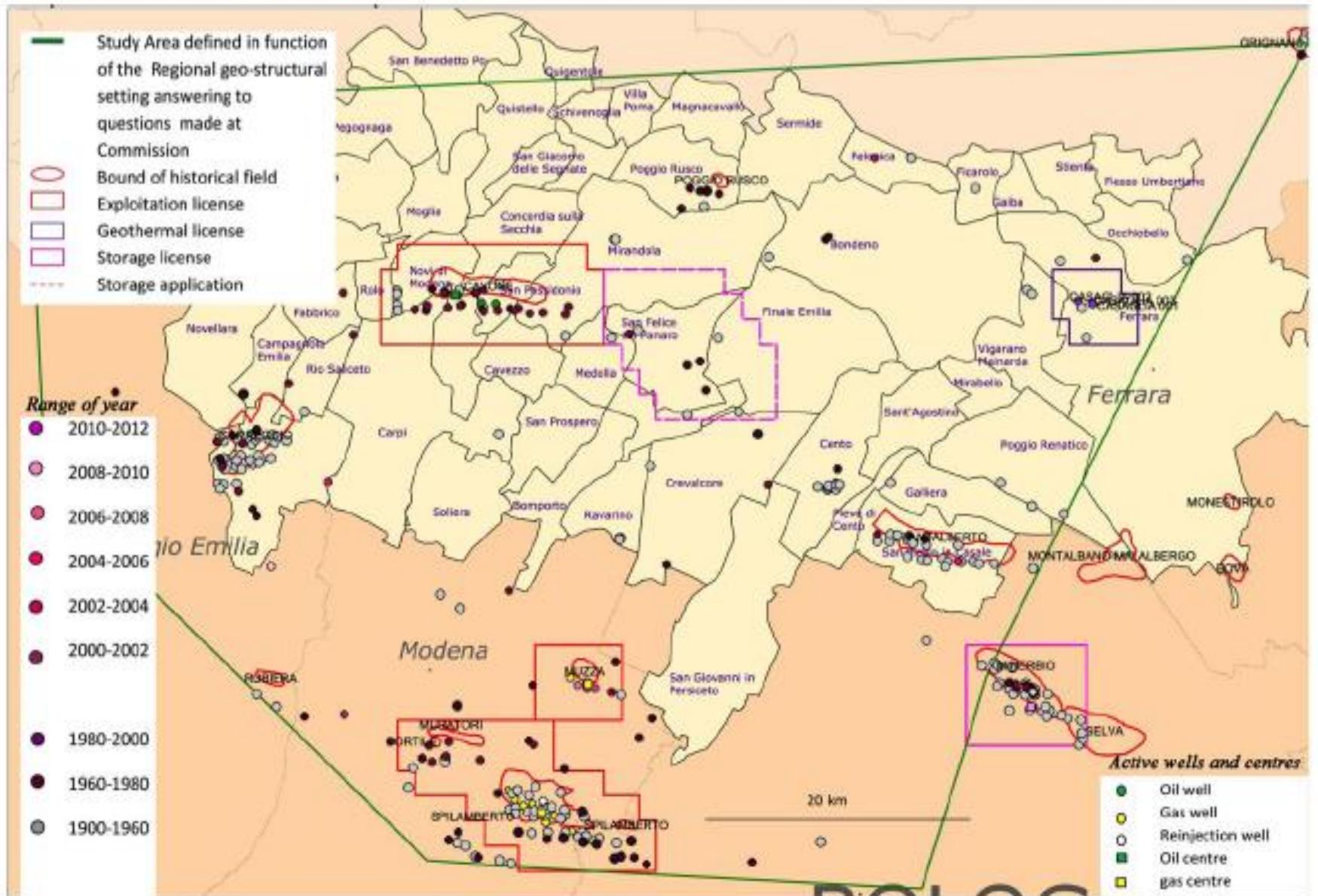


7 Maggio 2014 – Sala Consiliare di Ingegneria, Brescia

- 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

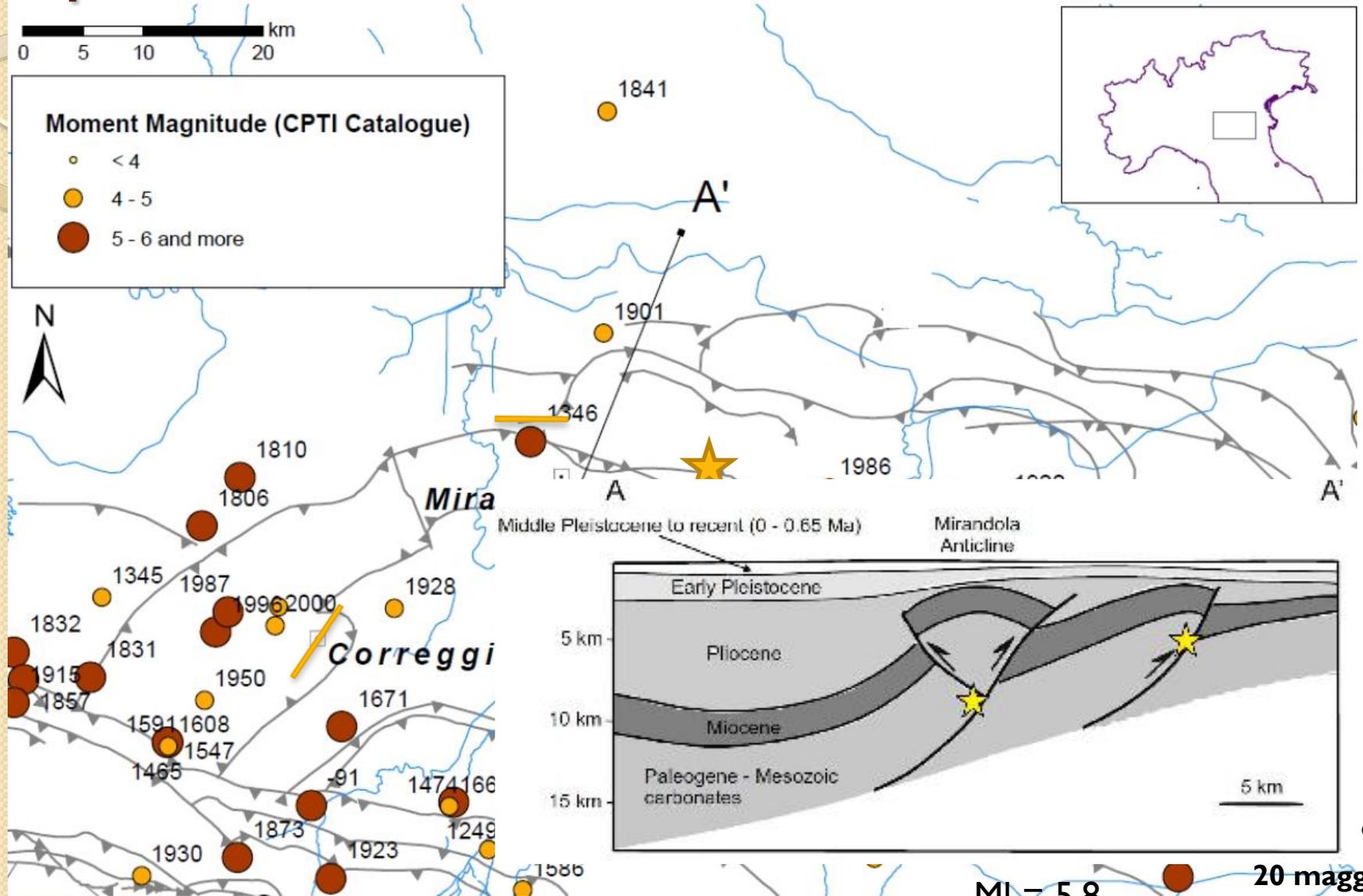




Map and Data elaboration made by Cartography Office (DIV.I) of Directorate General for Mineral and Energy Resources (DGRME-MISE) for ICHESE Commission (Roma, 2013)

Figure IV.1 Study area and historical wells.

Sequenza sismica 2012



MI = 5.8

20 maggio

29 maggio

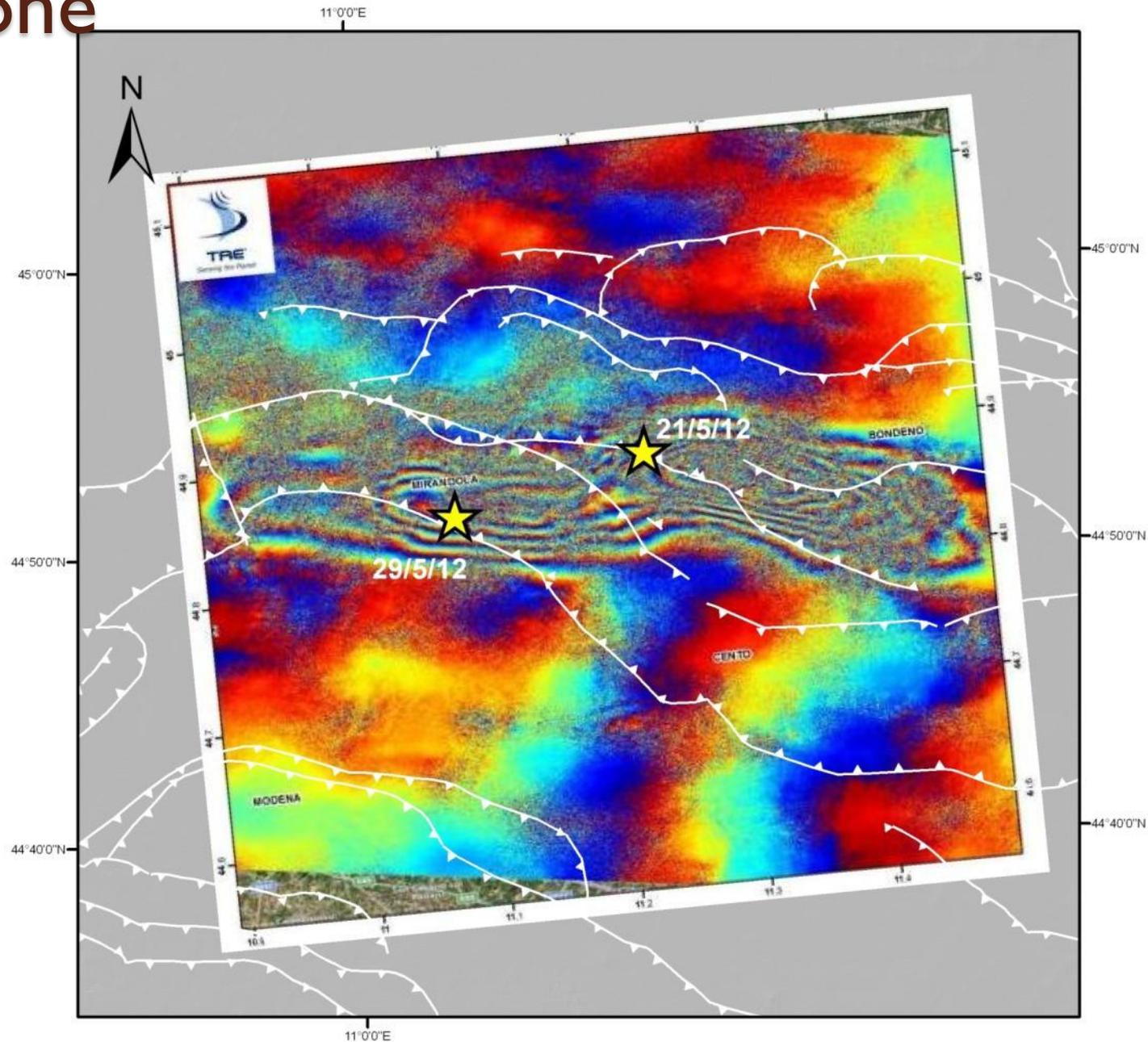
Deformazione del terreno (DInSAR)

Deformazione superficiale indotta dal movimento di faglie sepolte-cieche

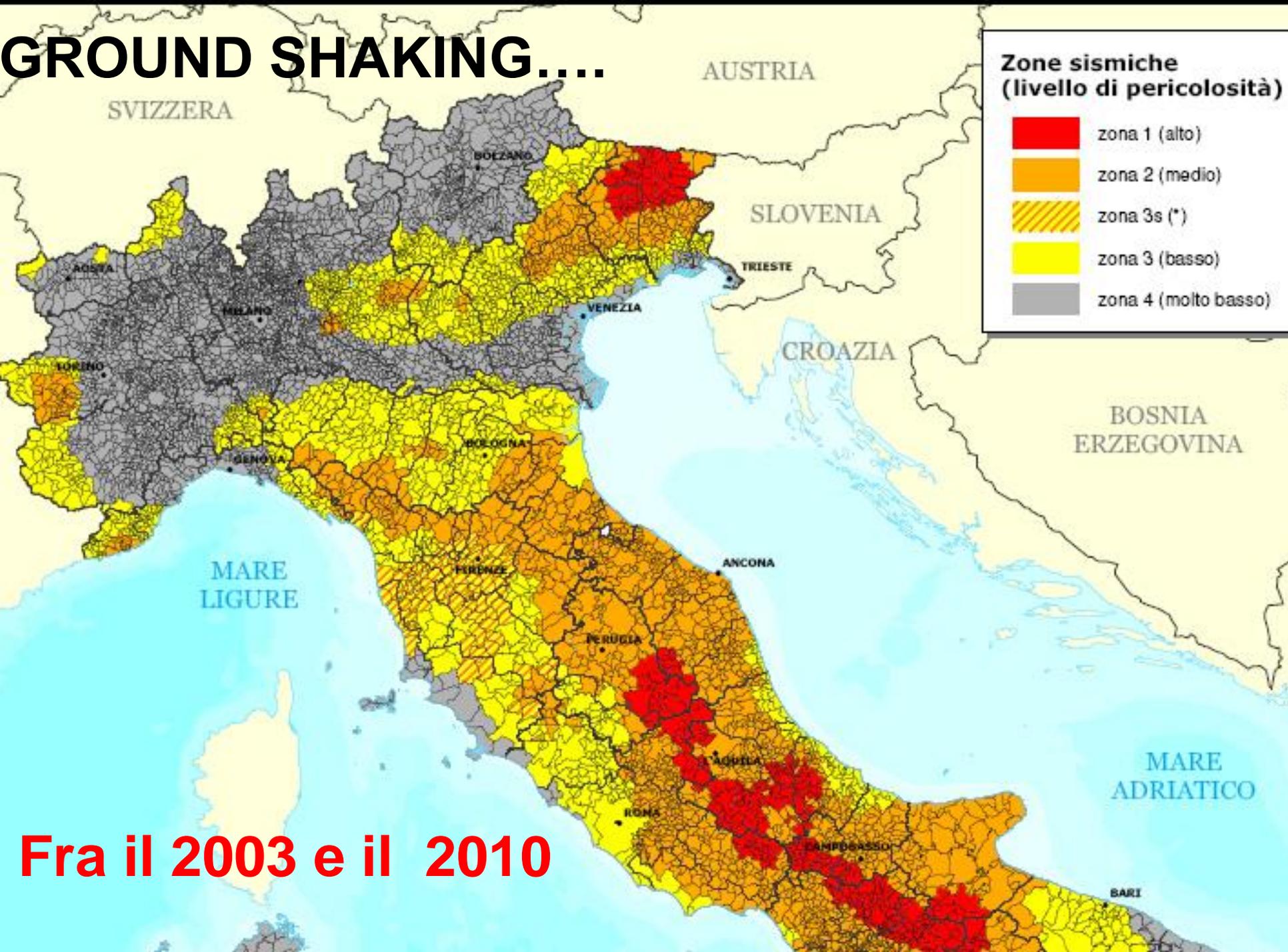
Bande anticlinali

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....



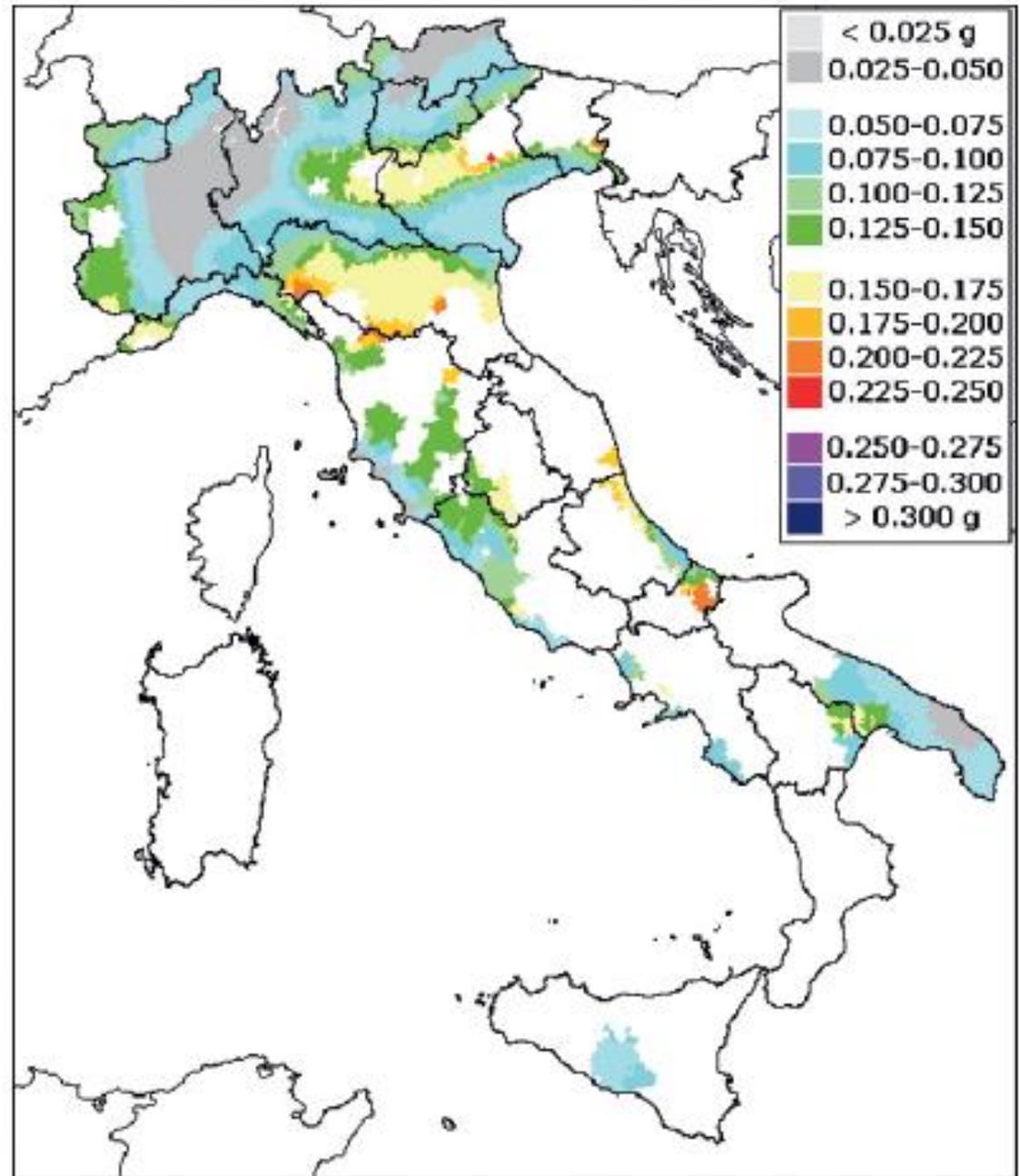
Fra il 2003 e il 2010



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



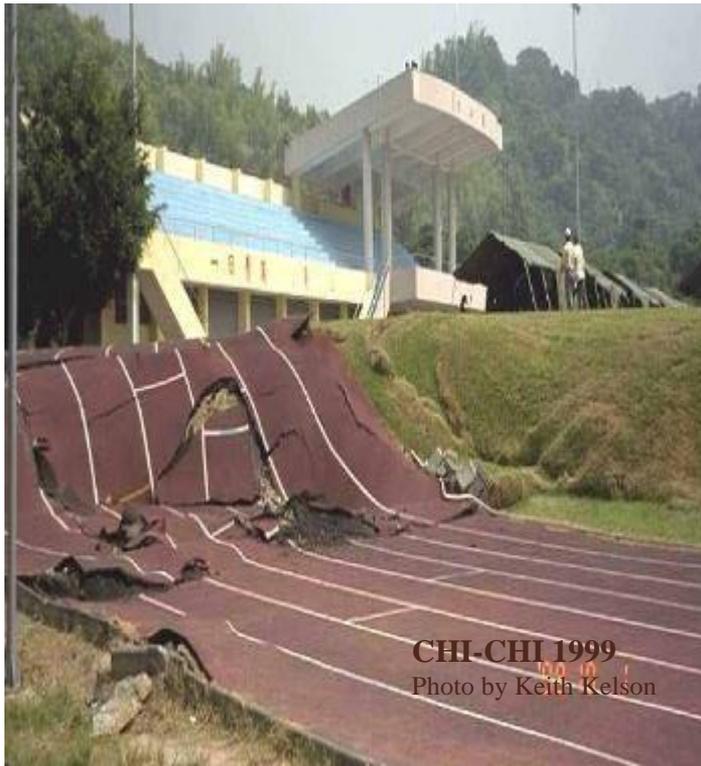
Frazione San Carlo; fenomeno di sprofondamento associato a fratturazione e liquefazione delle sabbie

- 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

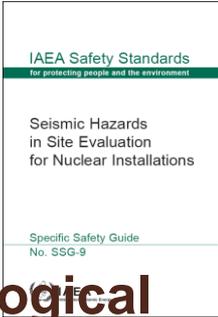
Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations

Specific Safety Guide
No. SSG-9



IAEA
International Atomic Energy Agency

8. POTENTIAL FOR FAULT DISPLACEMENT AT THE SITE

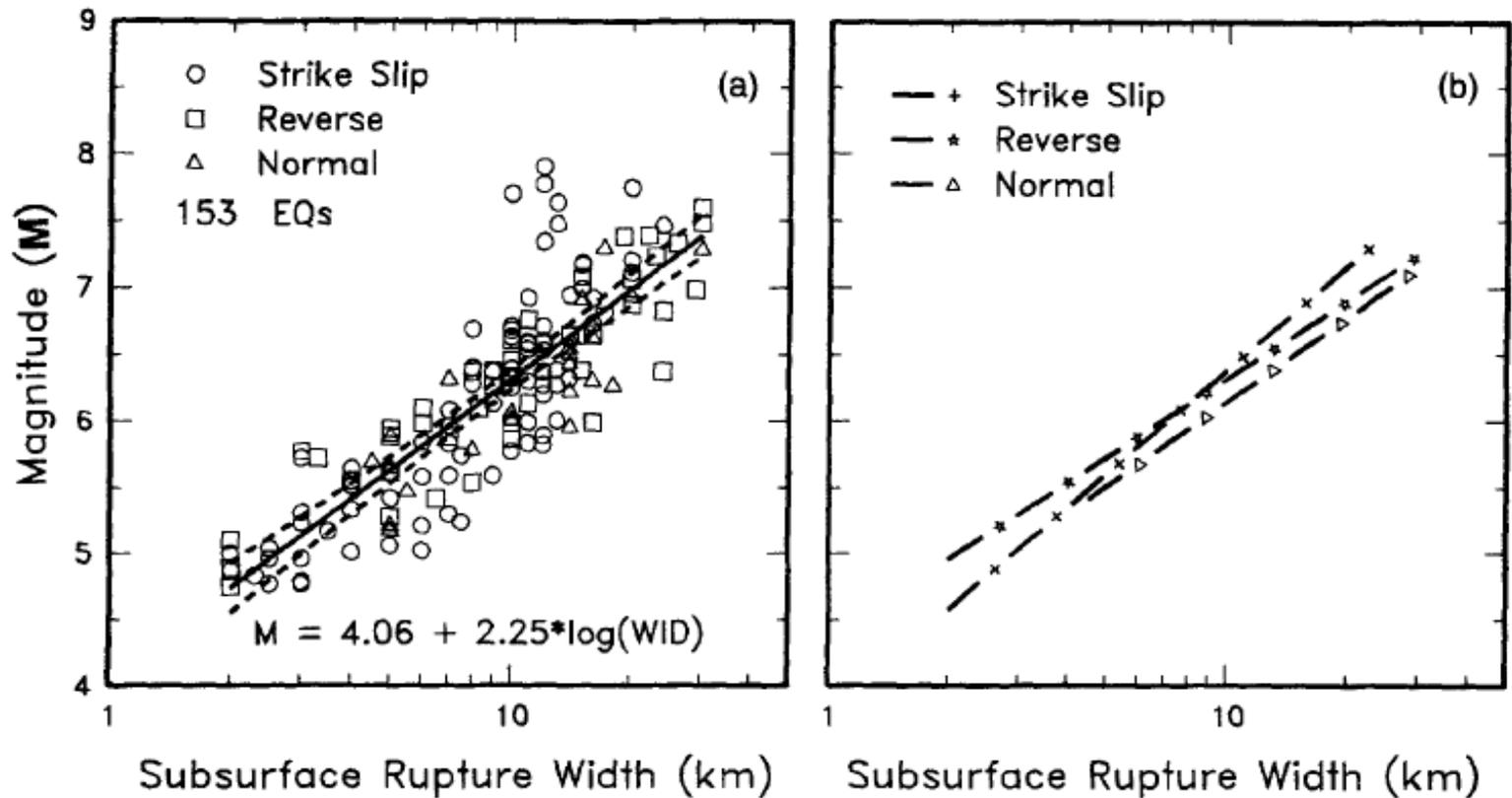


CAPABLE FAULT

Definition

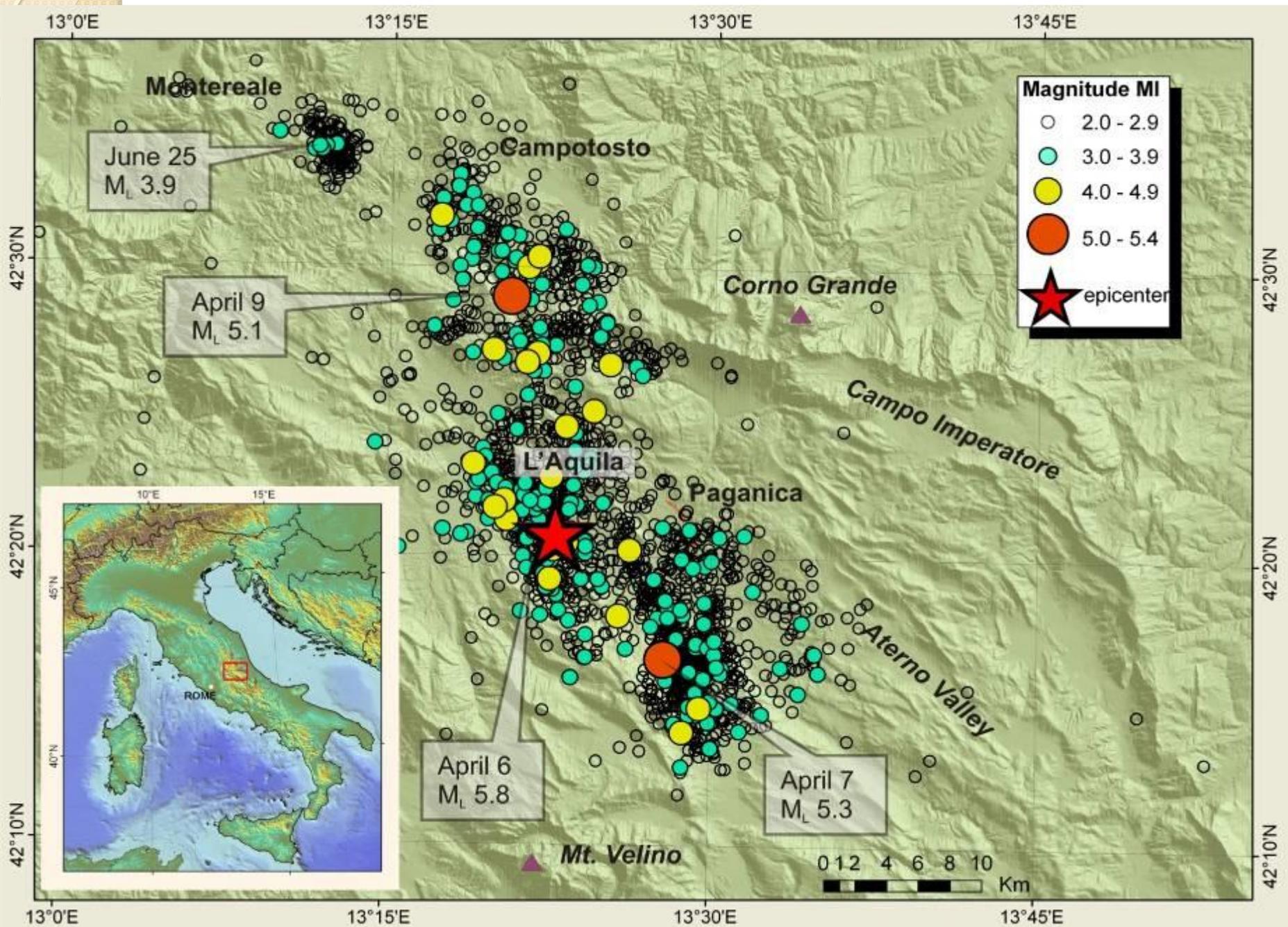
8.4. On the basis of geological, geophysical, geodetic or seismological data, a fault should be considered **capable** if the following conditions apply:

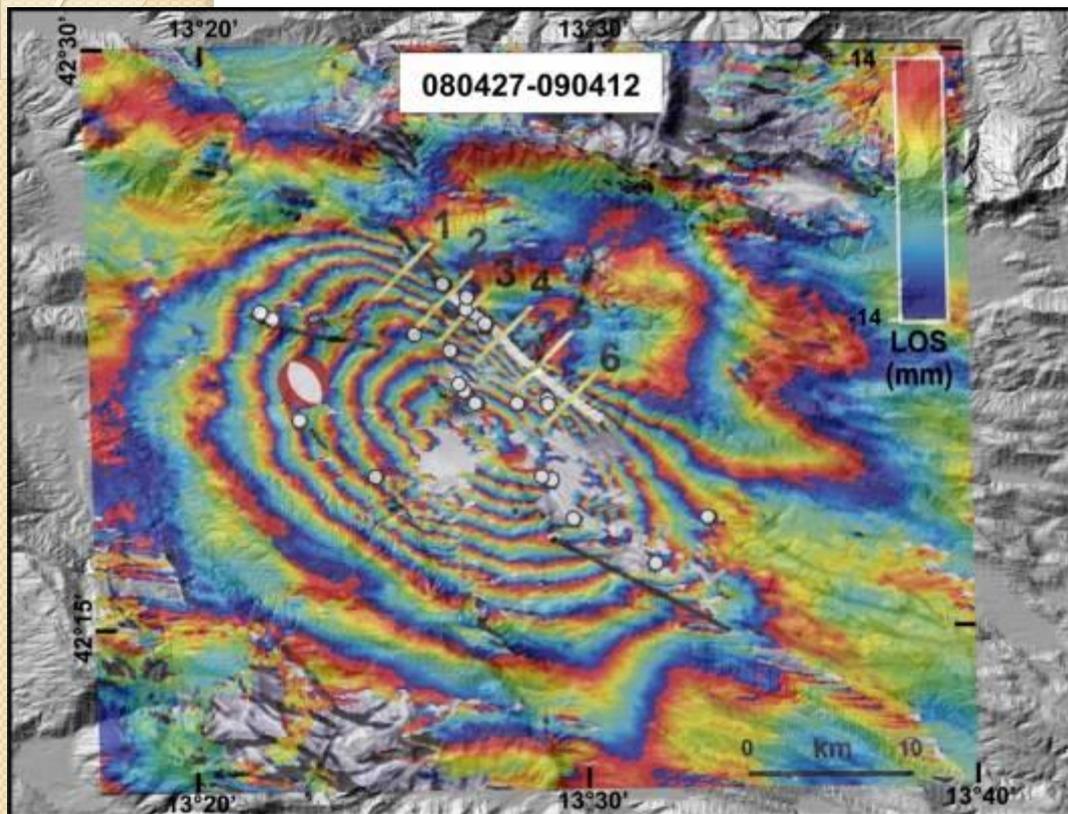
- (a) If it shows evidence of past movement or movements (such as significant **deformation and/or dislocations**) of a **recurring nature** within such a **period** that it is reasonable to conclude that **further movements at or near the surface may occur**. In highly active areas, where both earthquake 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.



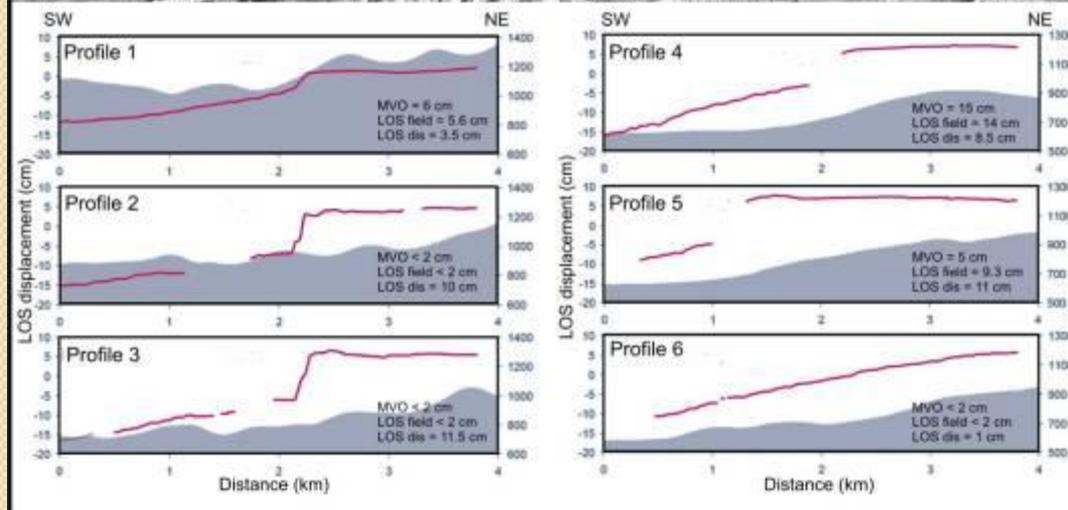


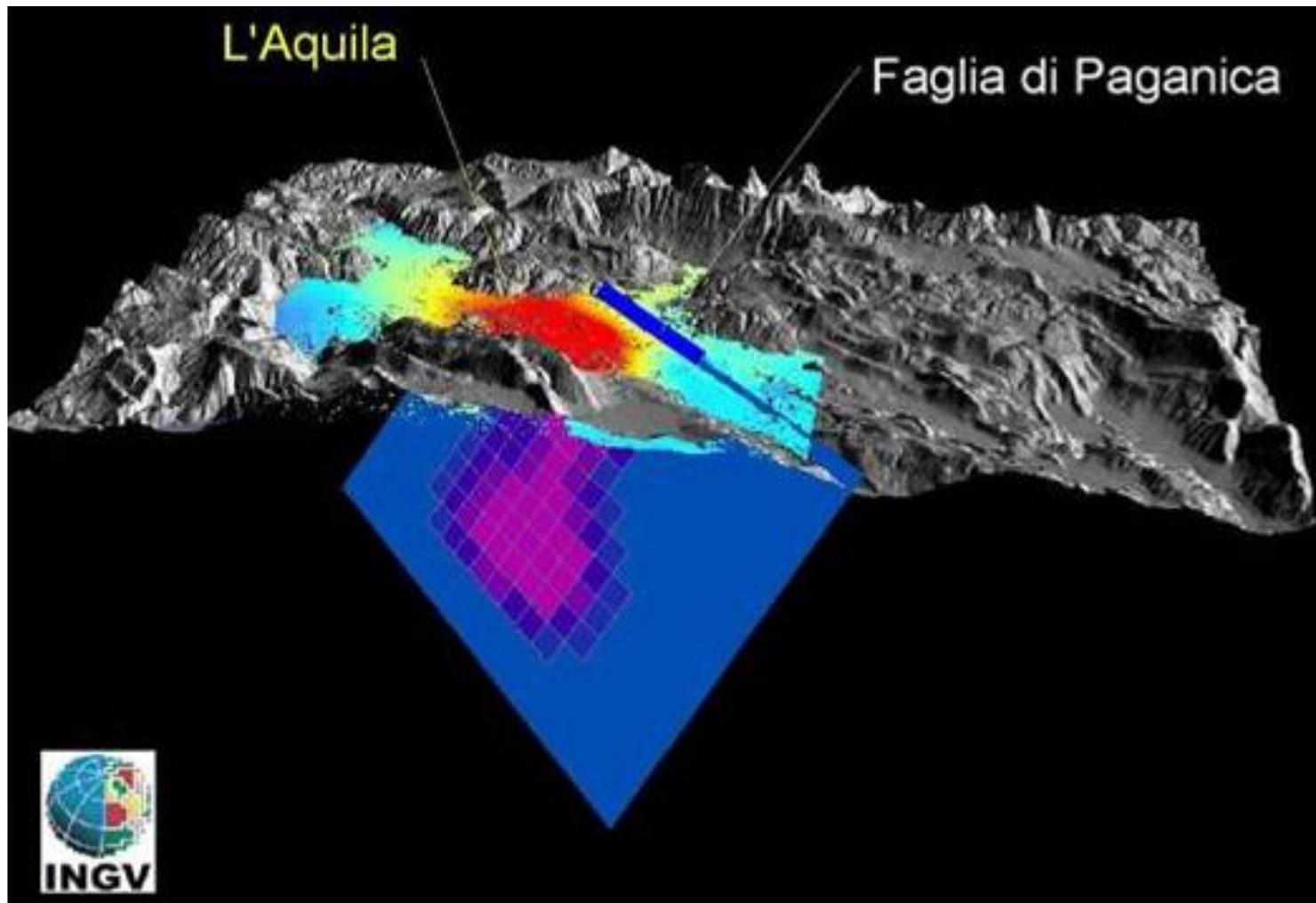
ASAR images from the European Space Agency (ESA) ENVISAT satellite

(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

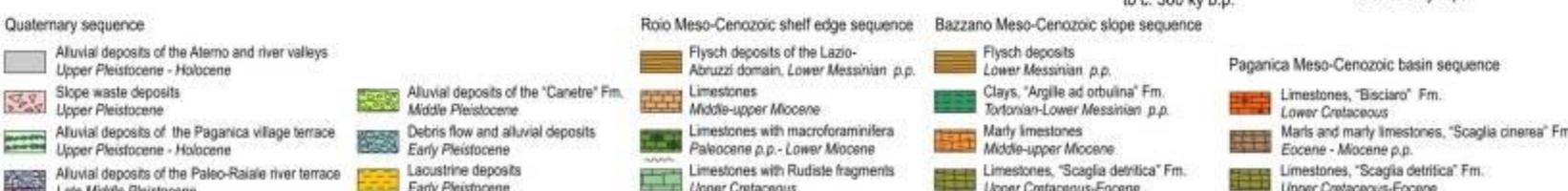
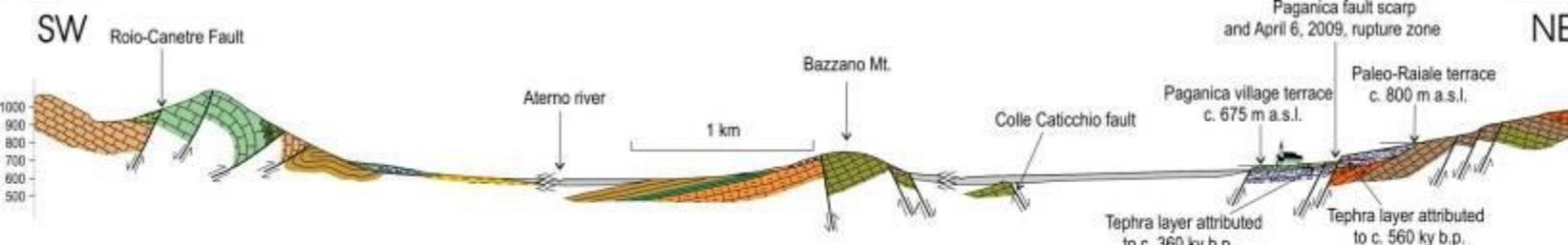
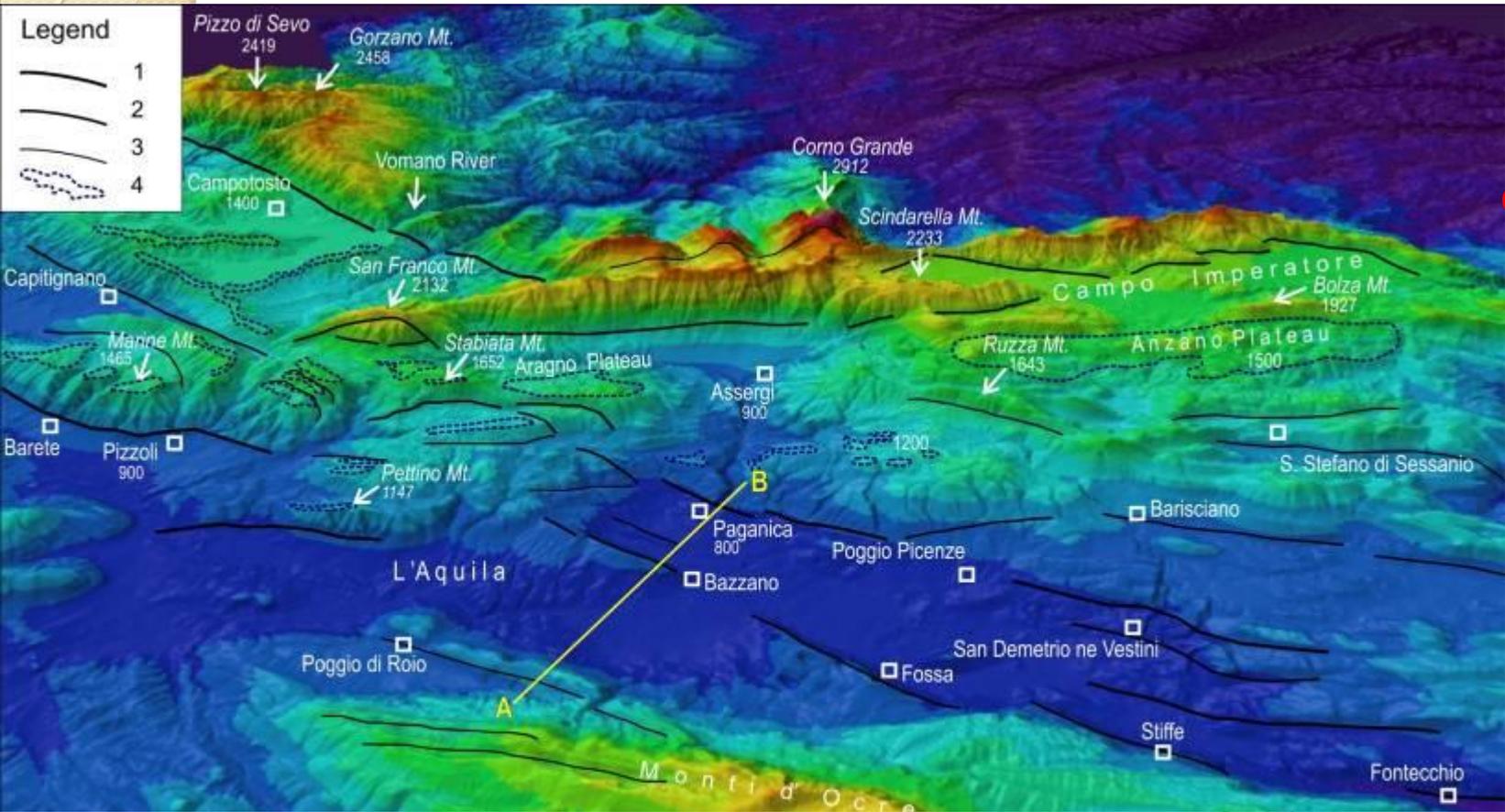




Fig. 6 - Terremoto del 1117, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS; d) Località con segnalazione di danni (da fonti narrative e documentarie coeve o posteriori autorevoli e da lapidi facenti riferimento diretto al terremoto); e) Località con ipotesi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

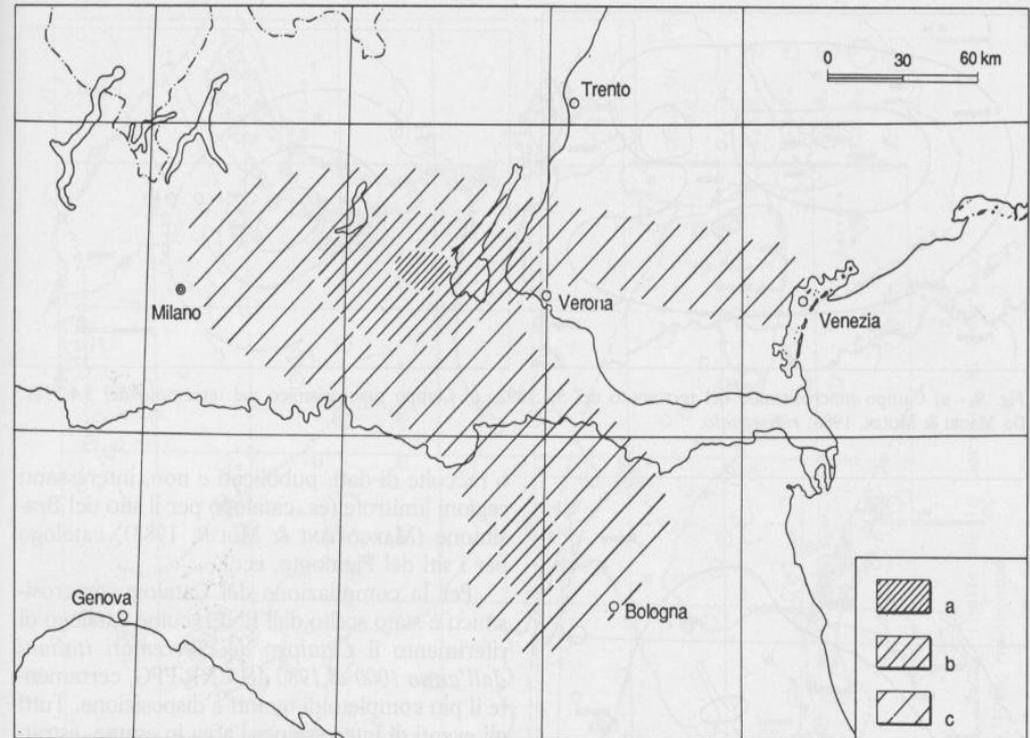


Fig. 7 - Terremoto del 1222, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX-X MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS. Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

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.

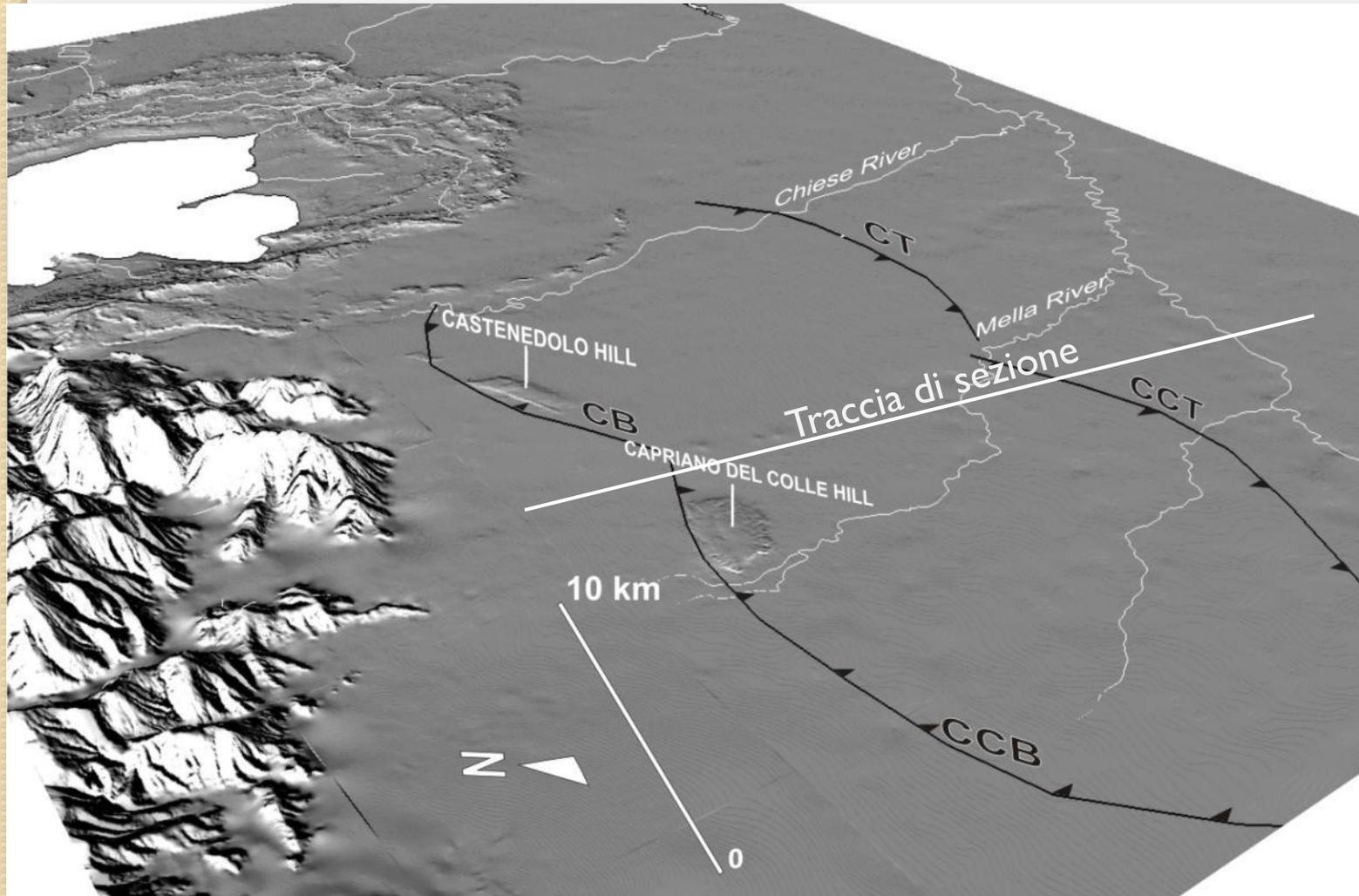
Anno Domini MCCXXII destructe fuerunt fovee civitatis Imole a Bononiensibus et Faventinis, et porte eiusdem civitatis portate fuerunt in civitatem Bononie. Et in eodem anno in Nativitate domini nostri Iesu Christi fuit maximus terremotus in civitate Regina, predicante domno Nicholao Regino episcopo in maiori Ecclesia sancte Mariæ. Et fuit iste terremotus per totam Lombardiam et Tusciam. Et appellatus fuit terremotus Brixie specialiter, quia plus vixit ibi, ita quod egressi Brixiienses de civitate morabantur extra in papilionibus, ne edificia caderent super eos. Et plures domus, turres et castra Brixiiensium corruerunt ex illo terremotu. Et ita erant Brixiienses 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 benedictæ:
 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.



Capriano del Colle Hill

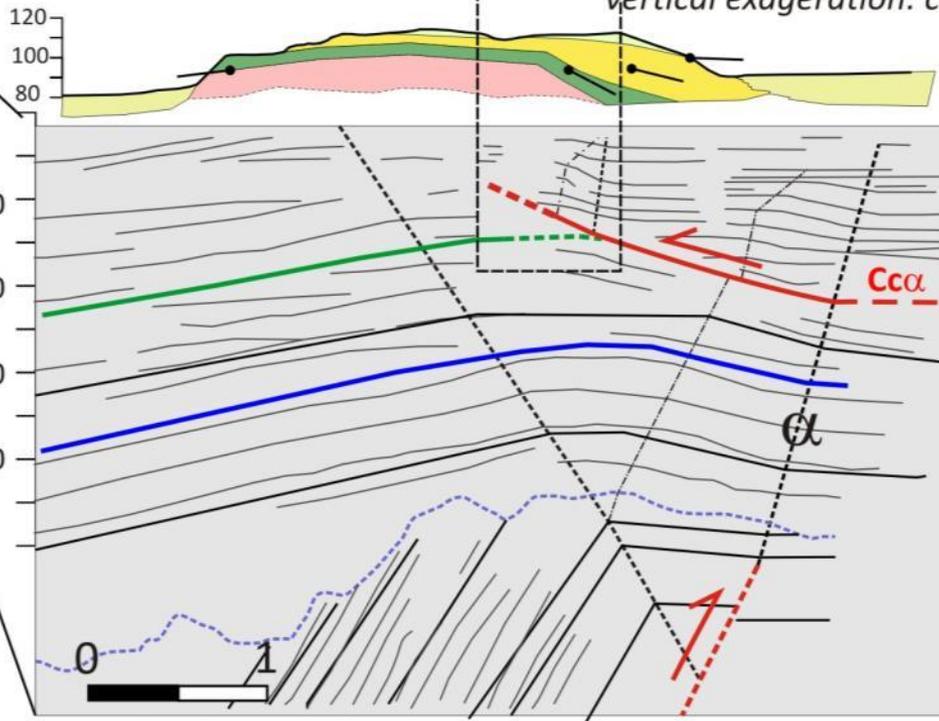
b

Quarry

Fig. 9

Topography

vertical exaggeration: ca 10x



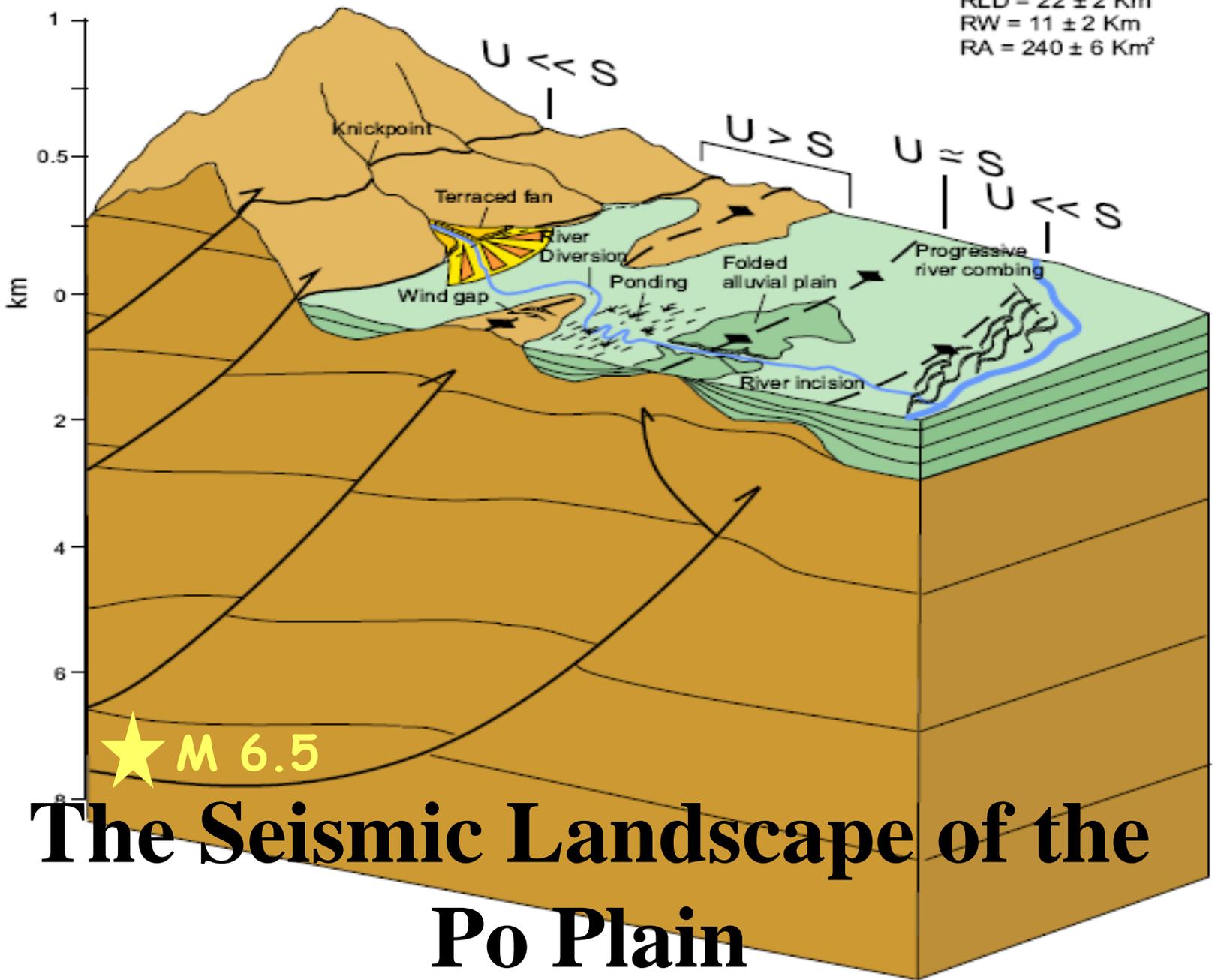
Vertical Scale TWT
vertical exaggeration ca.: 2x

Livio et al, 2009,
Tectonophysics

Secondary and pa



M = 6.5
RLD = 22 ± 2 Km
RW = 11 ± 2 Km
RA = 240 ± 6 Km²



The Seismic Landscape of the Po Plain

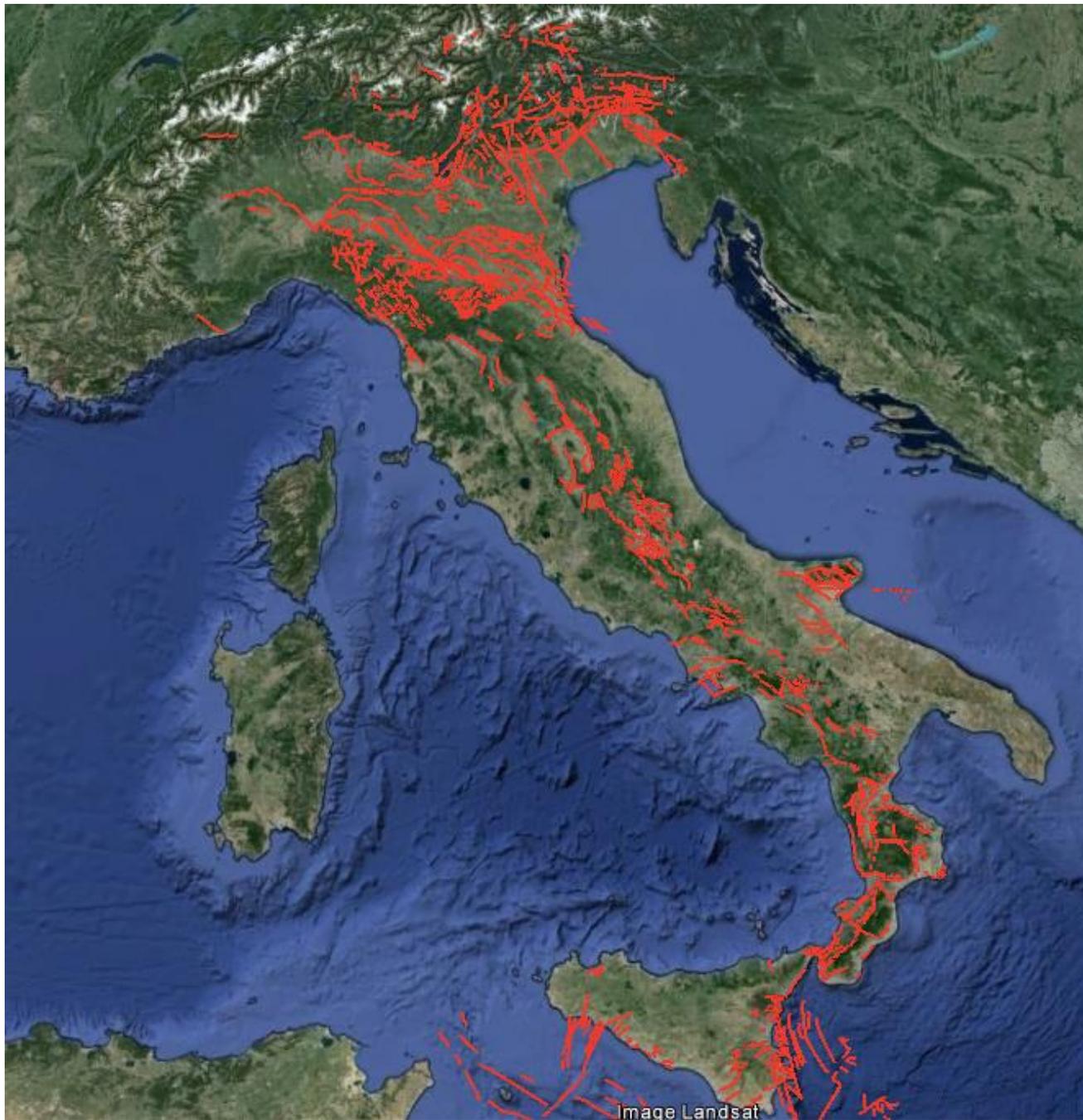
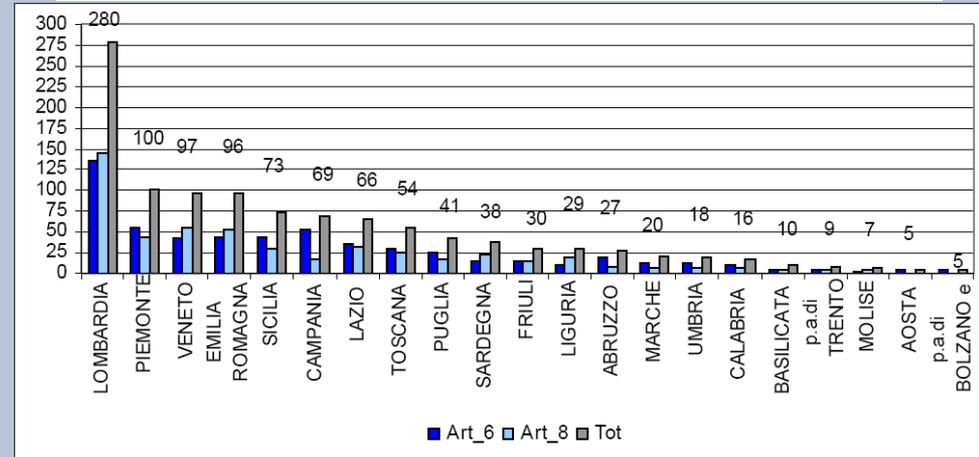
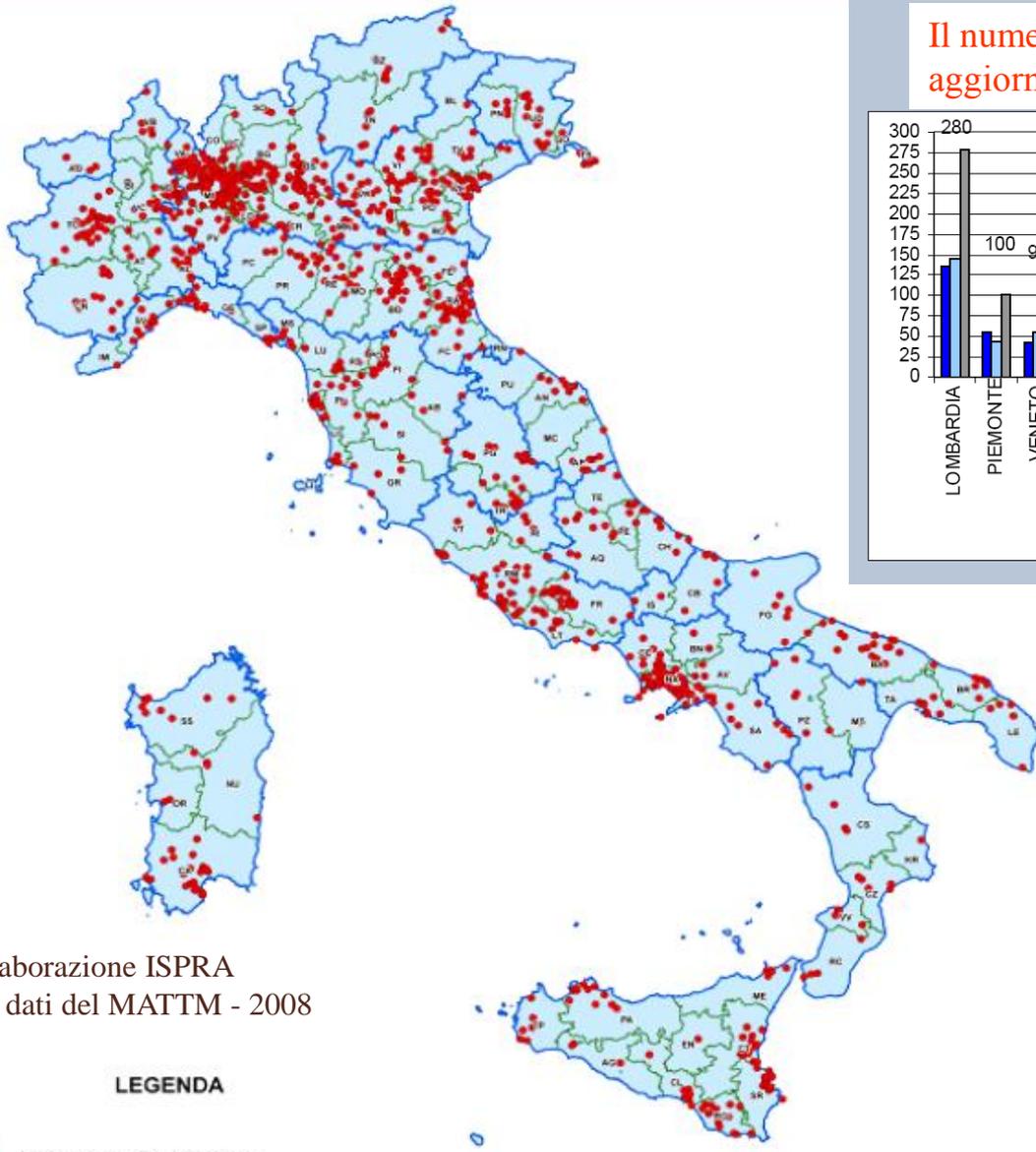


Image Landsat

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



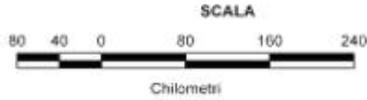
Stabilimenti a Rischio di Incidente Rilevante (R.I.R) in Italia



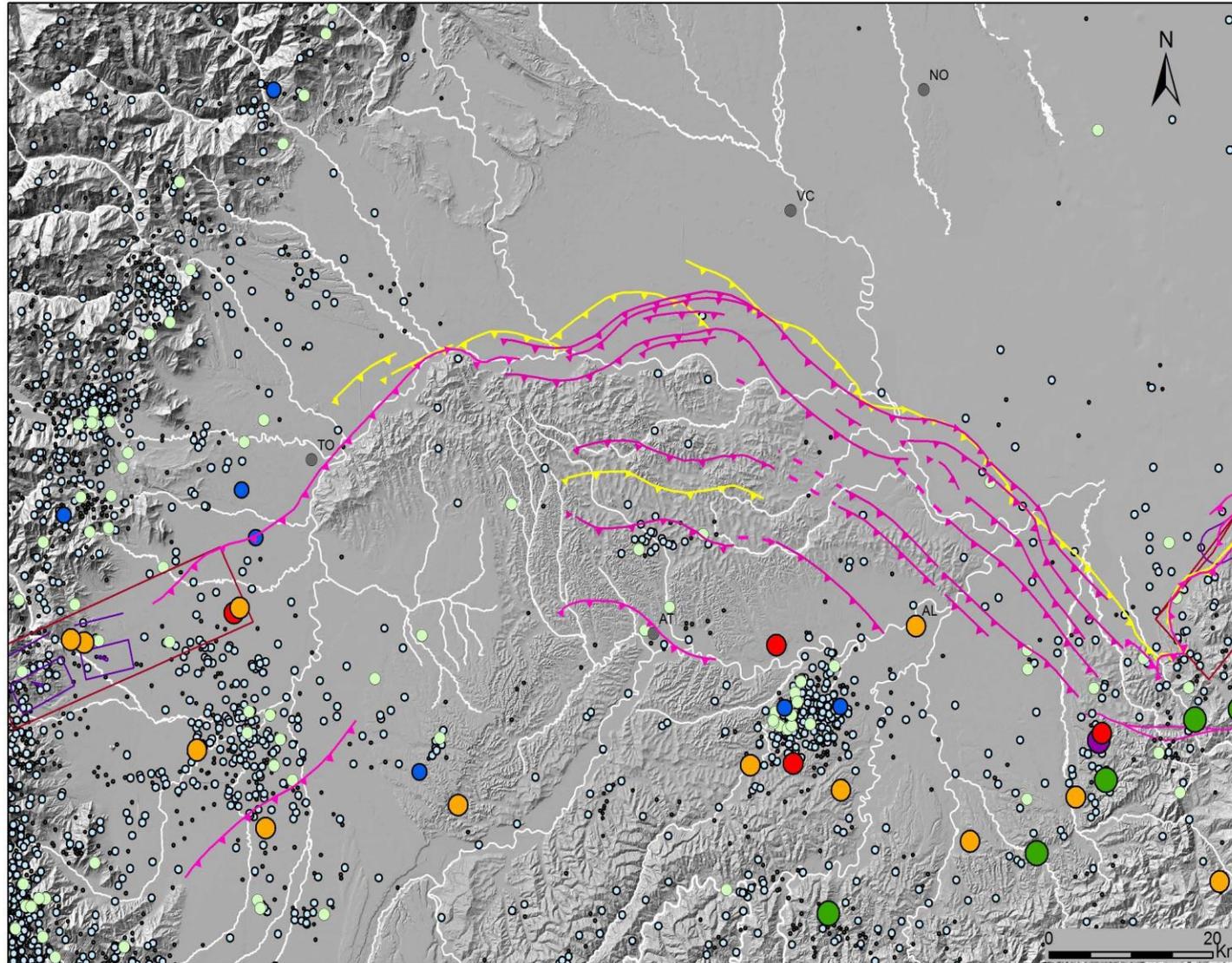
Elaborazione ISPRA su dati del MATTM - 2008

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

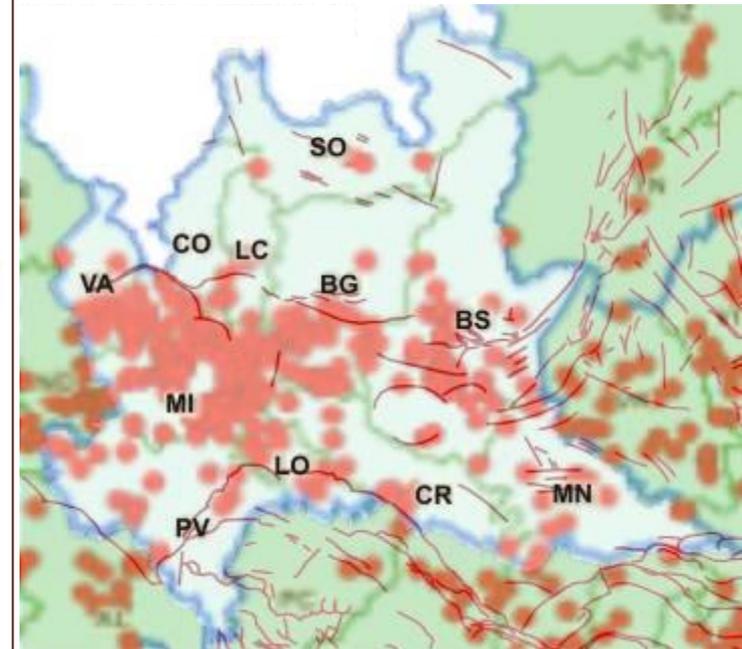
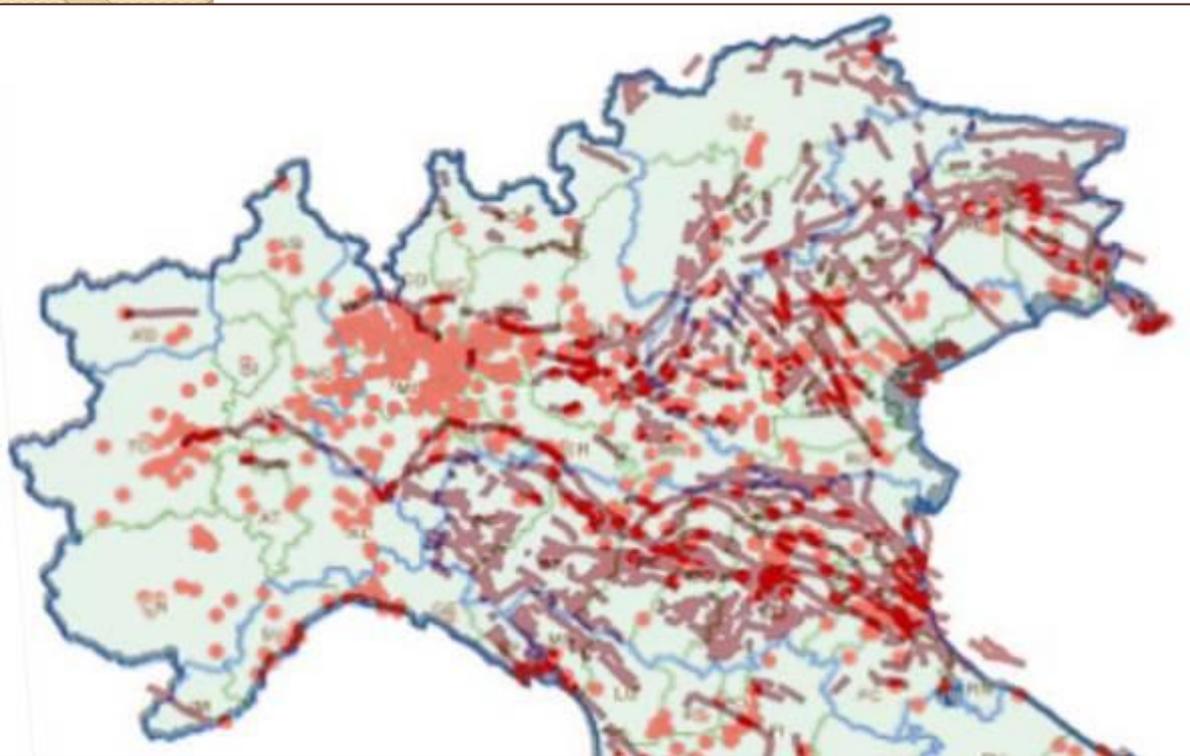
DISS 3.1

— Sorgenti individuali

— Sorgenti dibattute

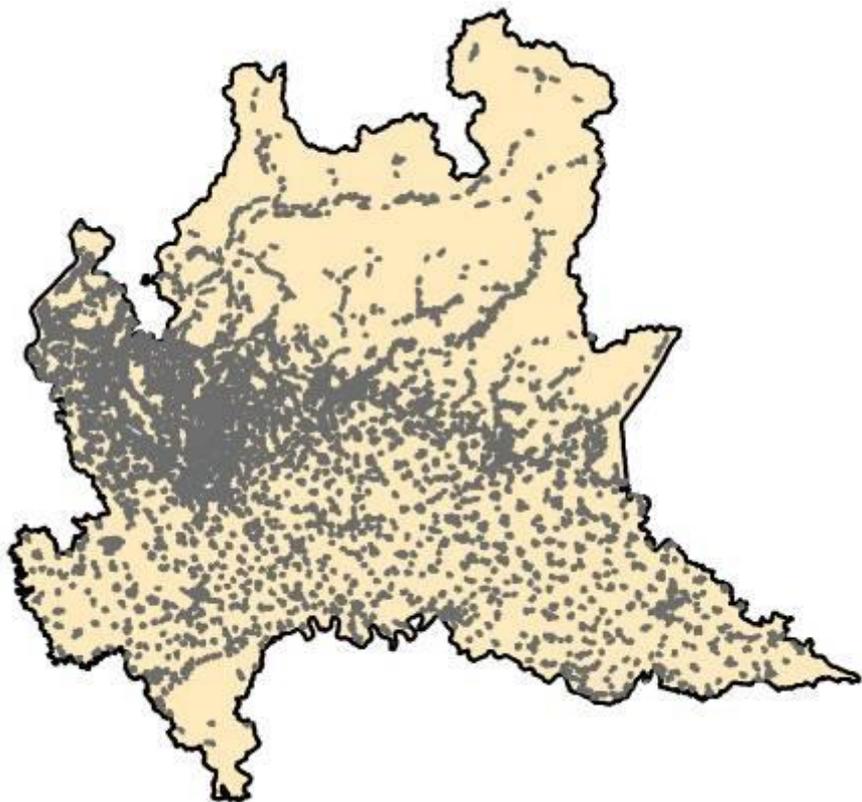
— Sorgenti composite

Stabilimenti a Rischio di Incidente Rilevante e Faglie Capaci da ITHACA



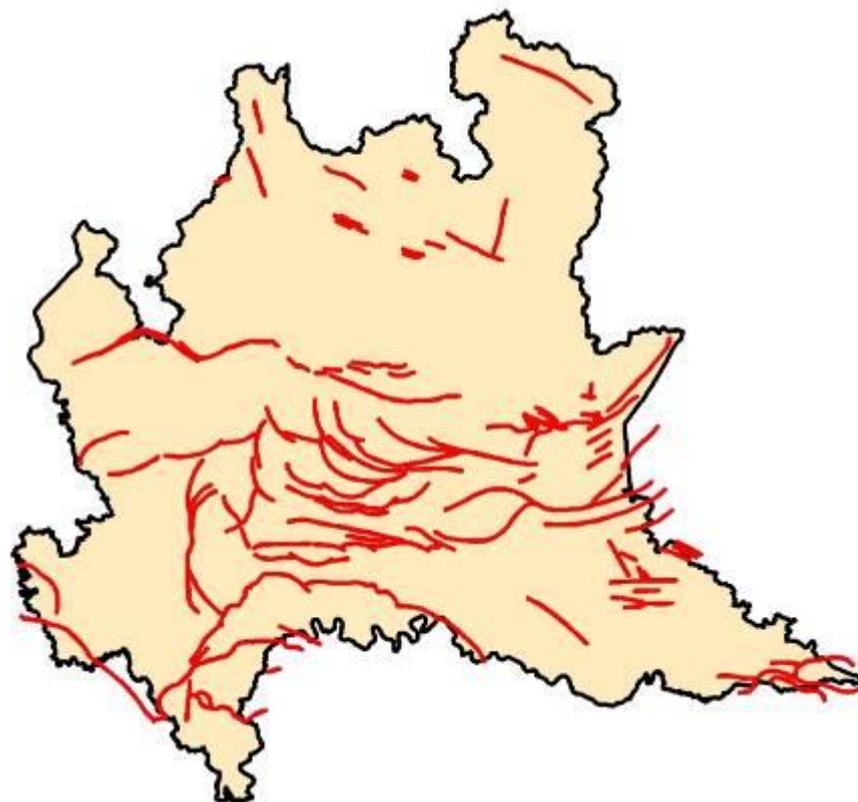
Lombardia

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.

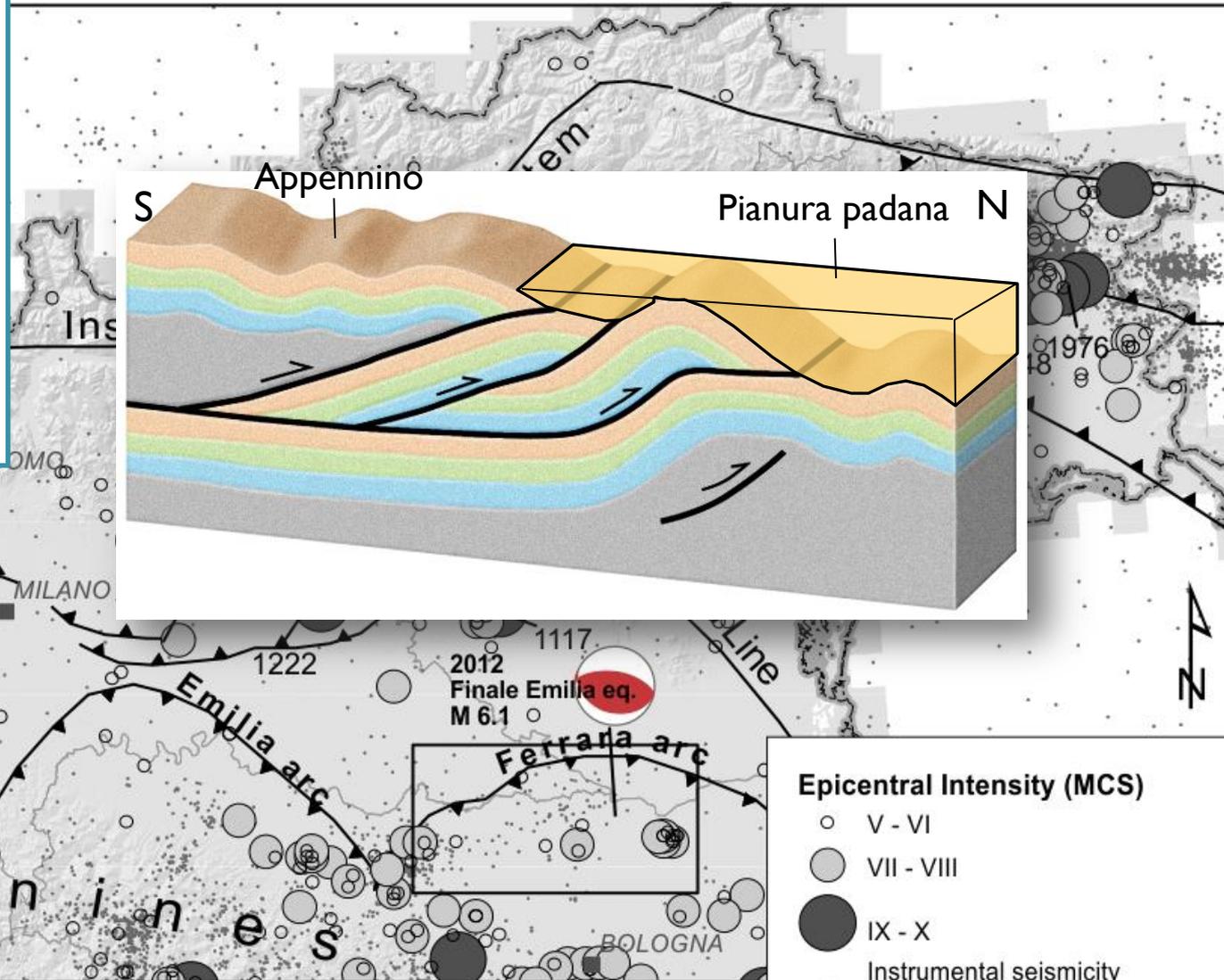
- **CONCLUSIONI**
- E' possibile trovare soluzioni ingegneristiche per mitigare la pericolosità sismica
- Questo è particolarmente vero in Pianura Padana, e in riferimento alla gestione degli idrocarburi



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



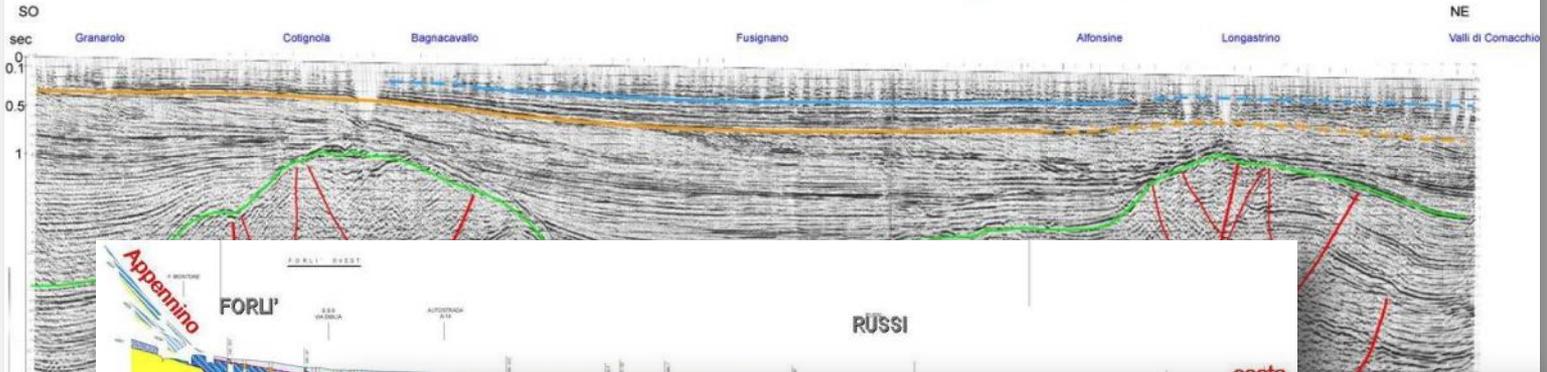
Epicentral Intensity (MCS)

- V - VI
- VII - VIII
- IX - X

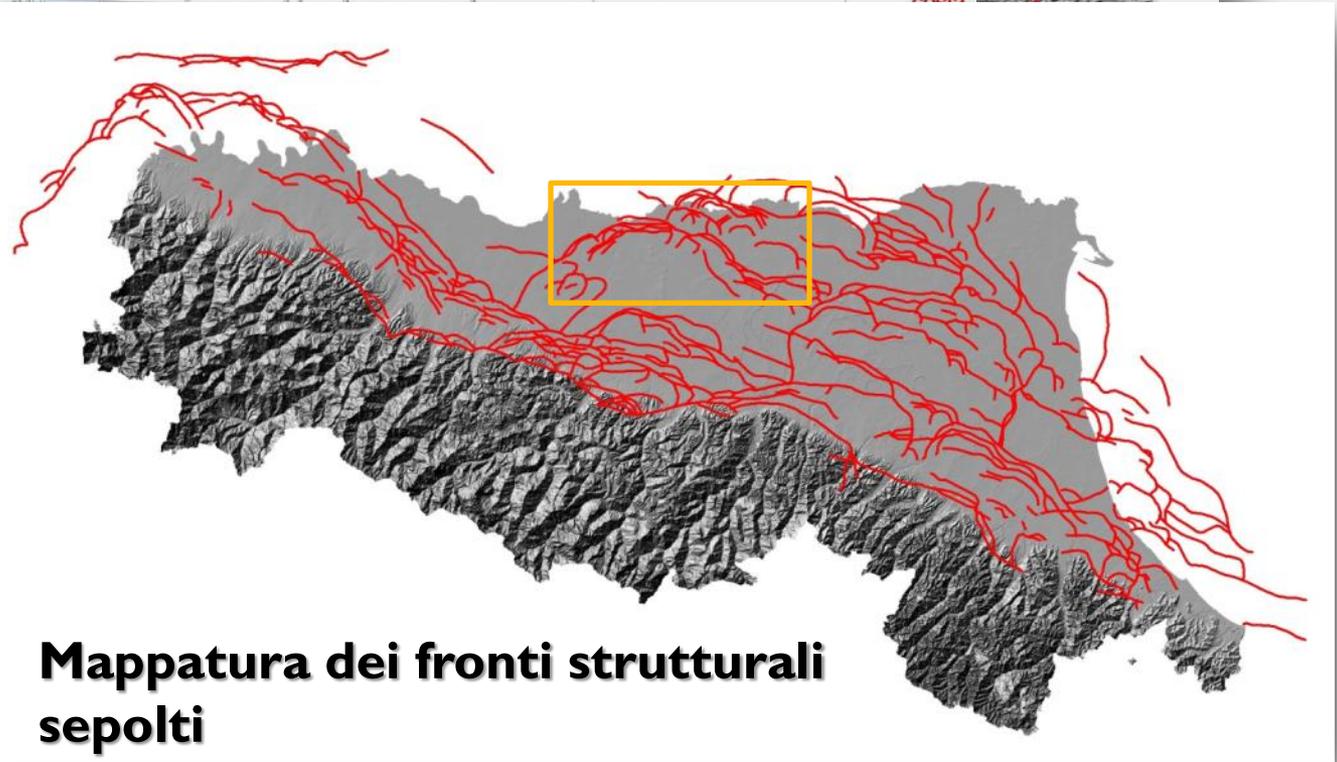
Instrumental seismicity
(1981 - 2001 - CSI catalogue)

Database utilizzato

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

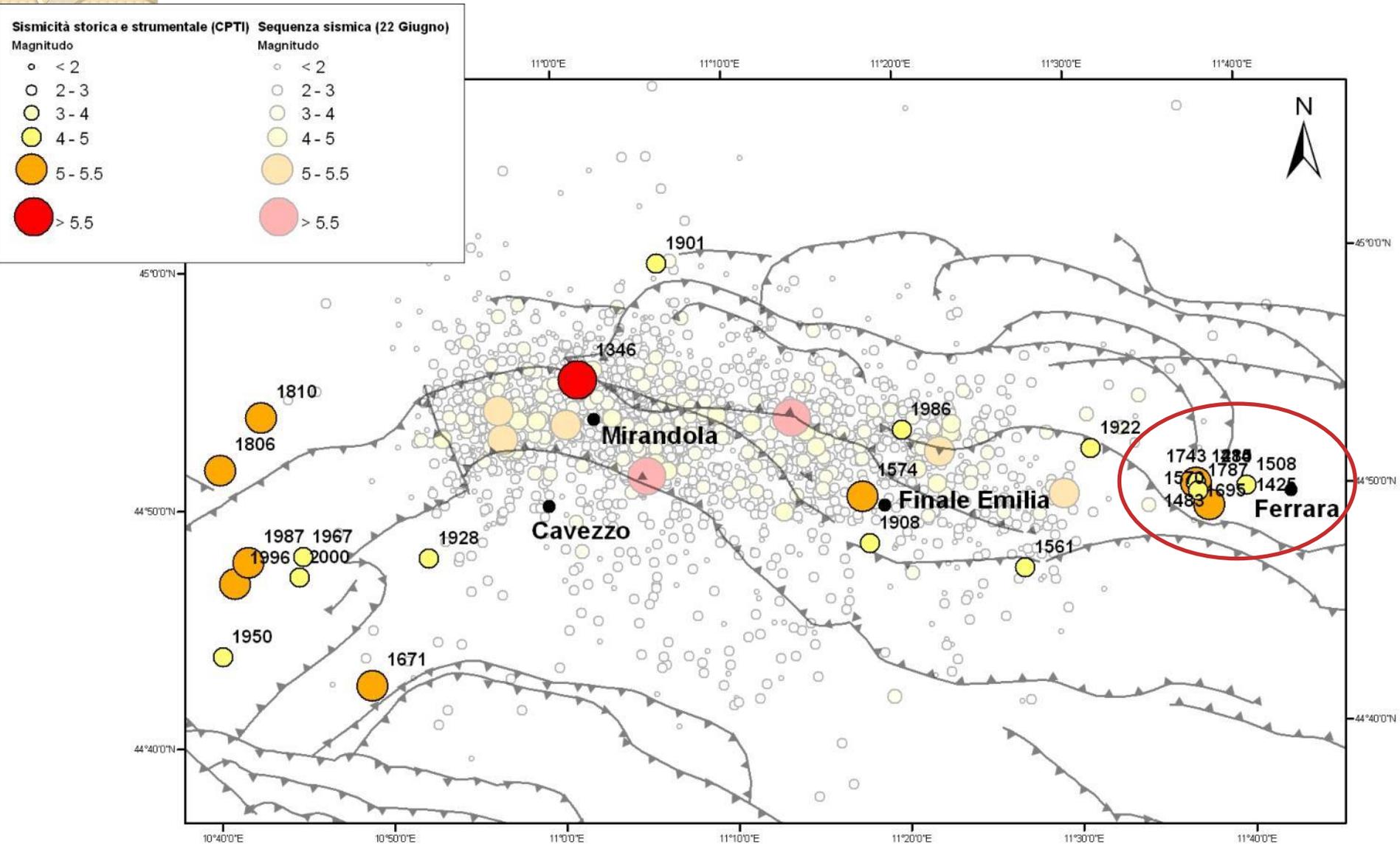


300 m
Stratigrafia e ricollocazione a sviluppo



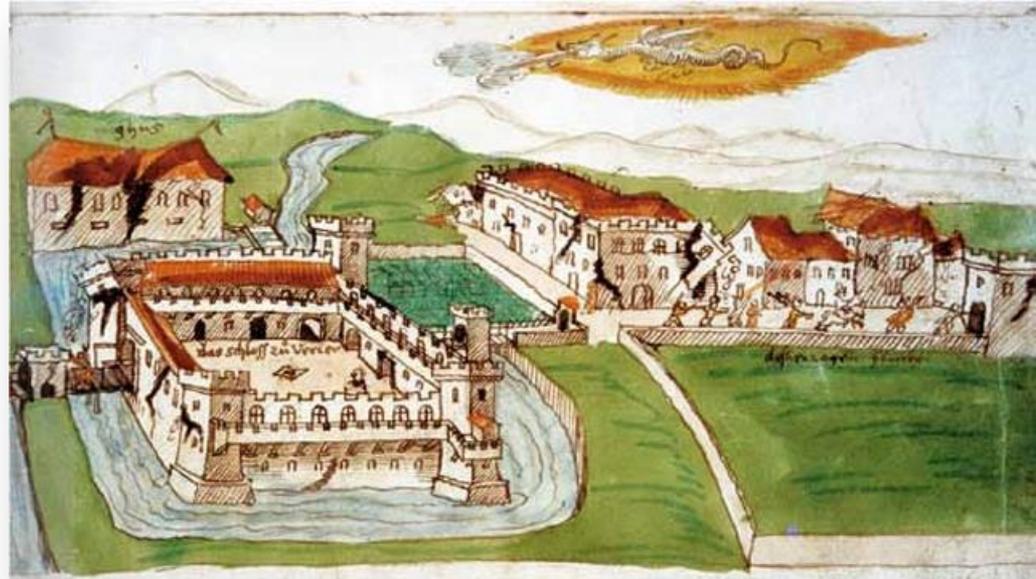
Mappatura dei fronti strutturali sepolti

Sismicità storica e strumentale



Sismicità storica e strumentale

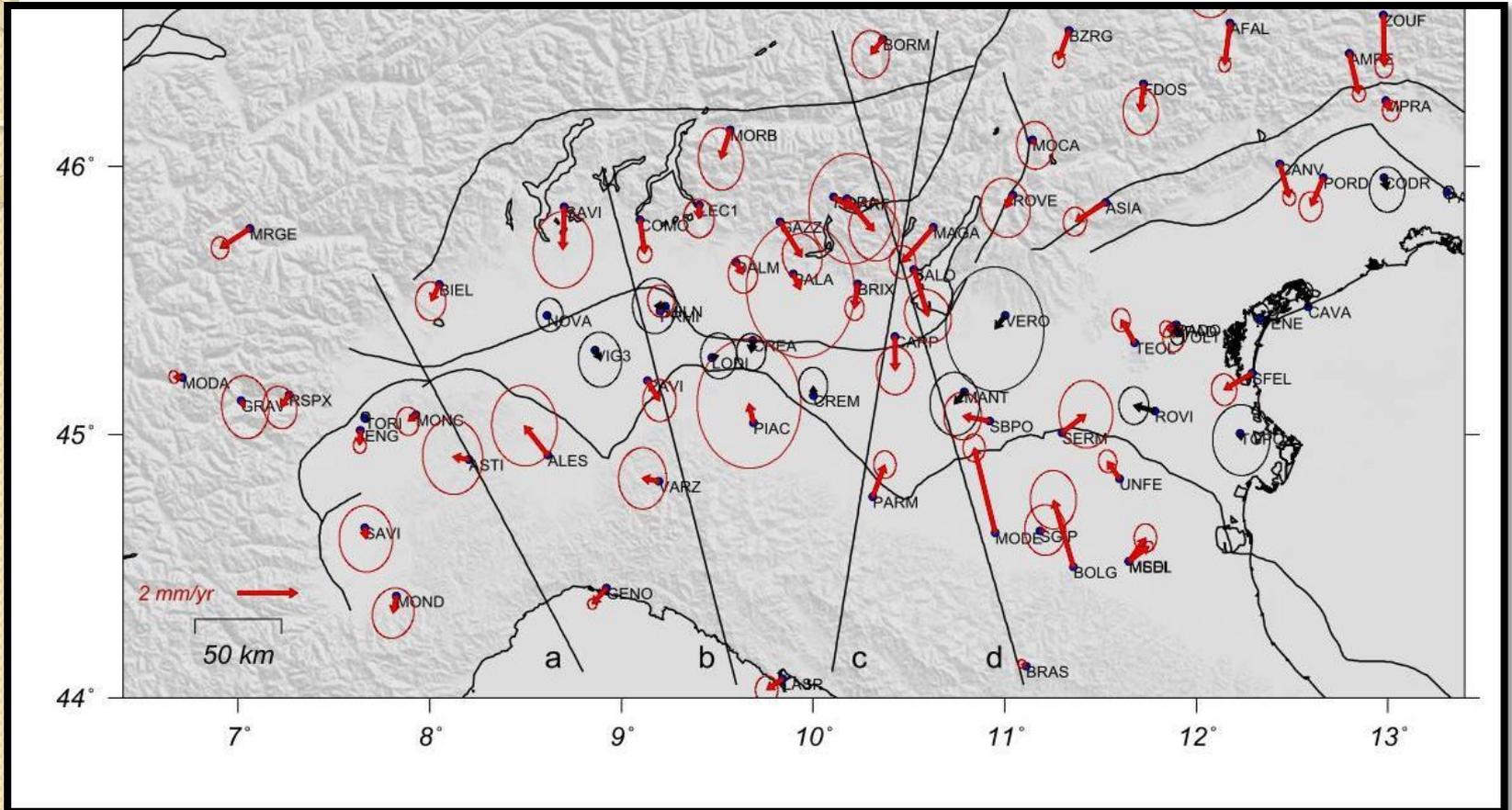
Fra il novembre 1570 e la fine del 1574 Ferrara si trovò nell'area epicentrale di una lunga e forte sequenza sismica (con oltre duemila scosse) concentrate soprattutto fra il 17 novembre 1570 e la fine del febbraio 1571.



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)

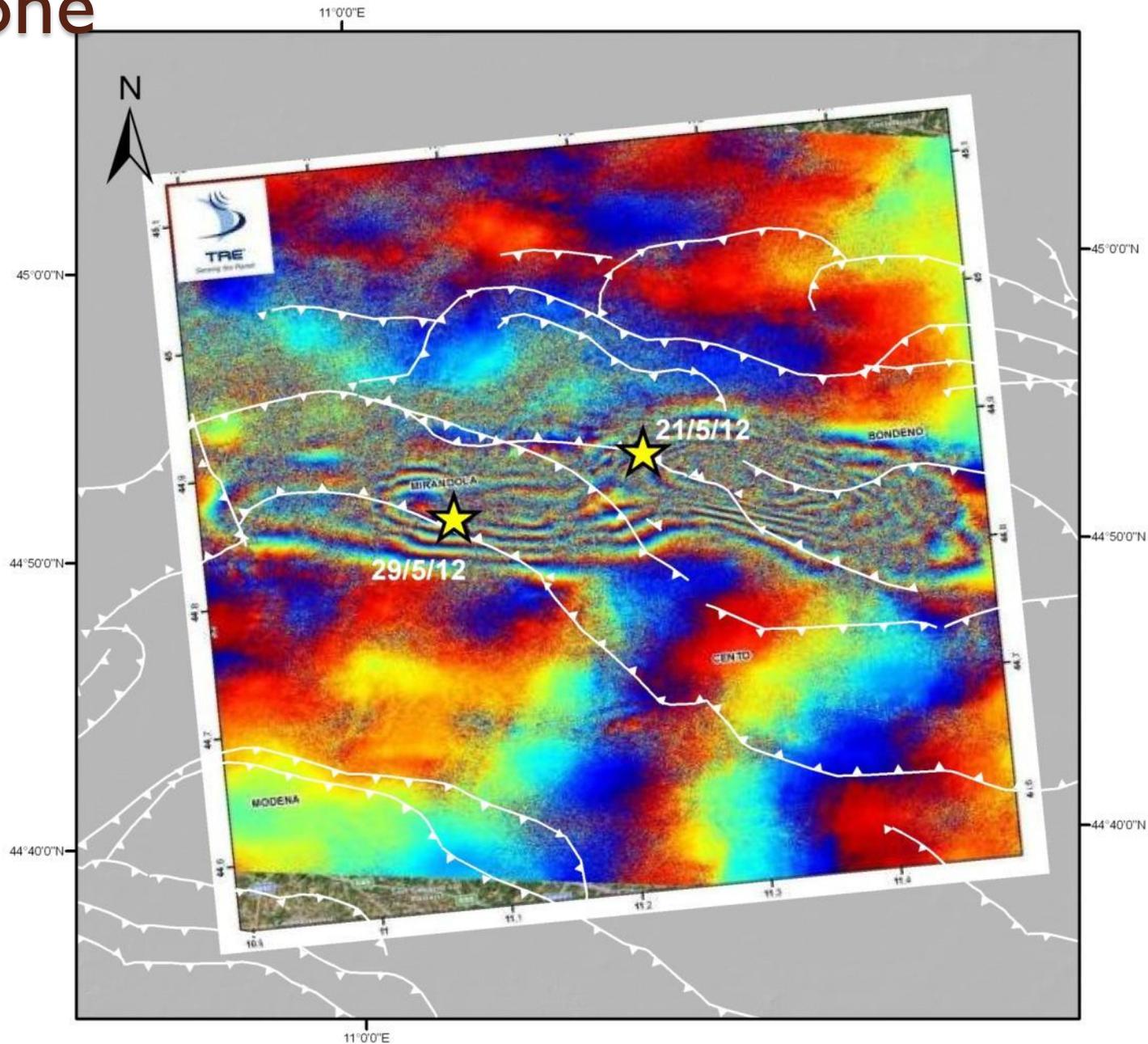
Deformazione del terreno (DInSAR)

Deformazione superficiale indotta dal movimento di faglie sepolte-cieche

Bande anticlinali

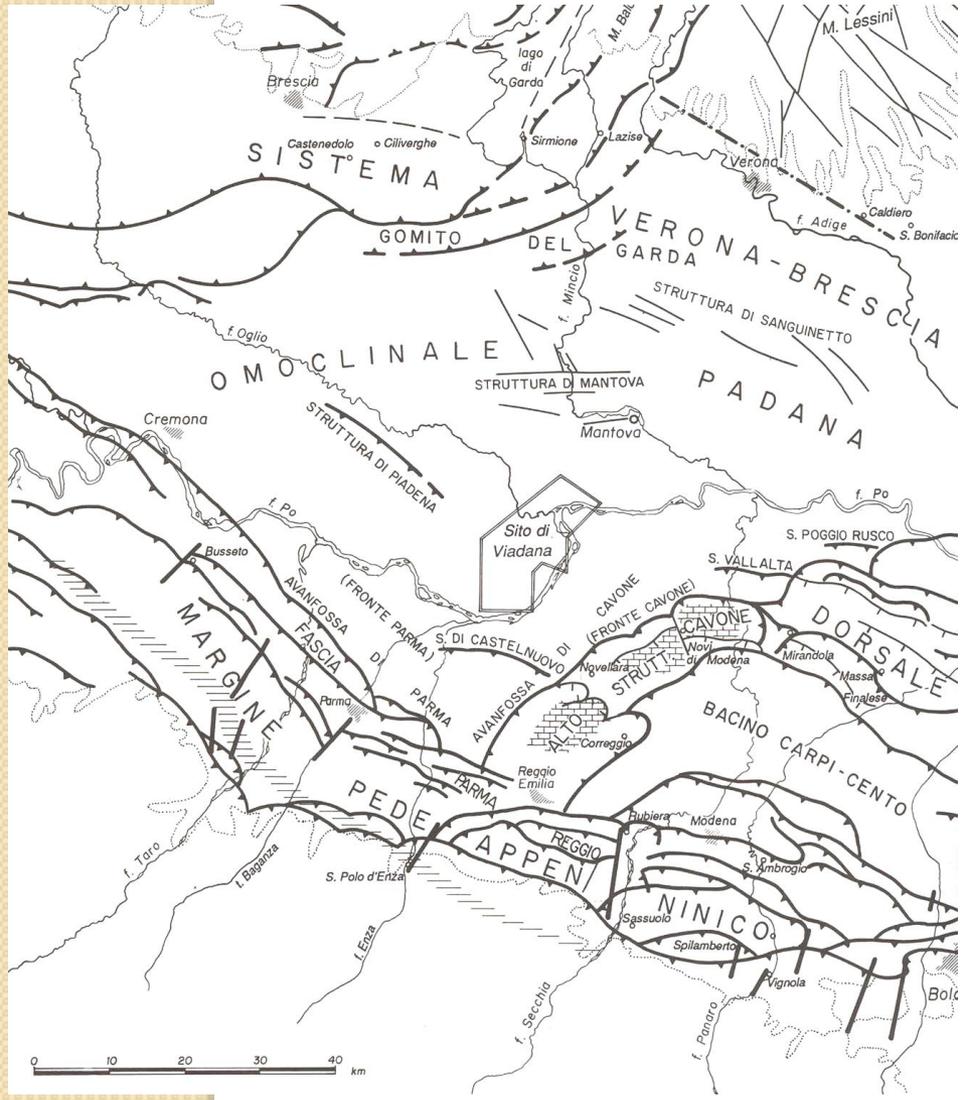
Sollevamento massimo ca. 10 cm.
(gradiente medio 10-4)
→ 100 m

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



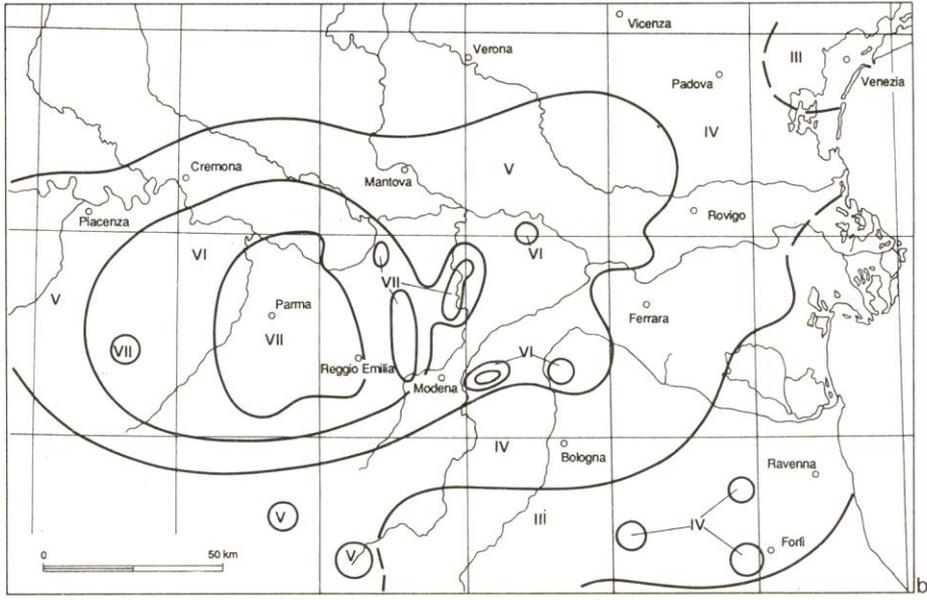
1980-1990: regional setting and first quantitative definition of the seismic landscape

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

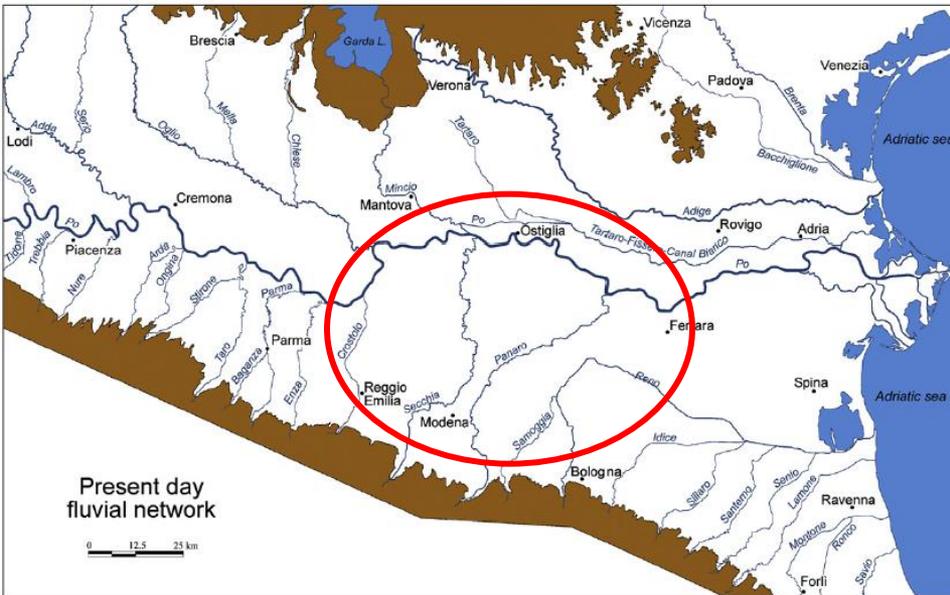
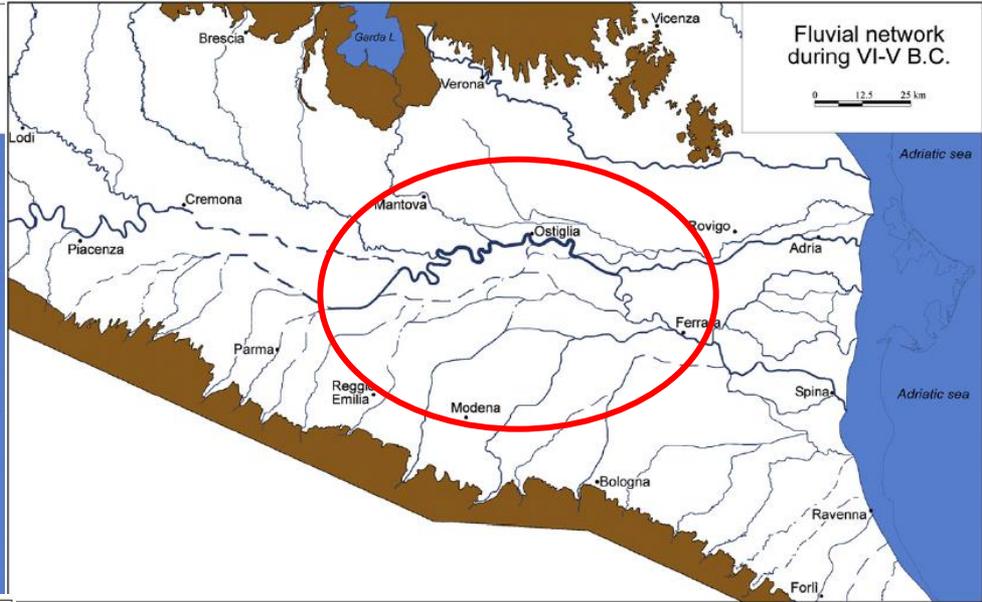
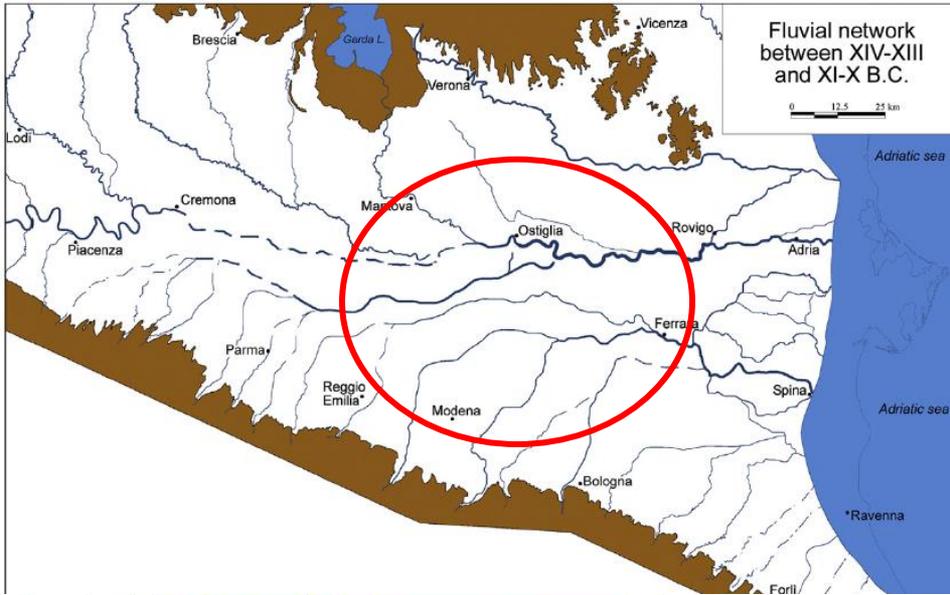


Strutture sismogenetiche rilevanti	CARATTERI SISMICI DELLE STRUTTURE					CARATTERI SISMICI AL SITO		
	Imax epic. storica (MCS)	Imax epic. potenziale (MCS)	Campi macrosismici di riferimento (terremoti)	Profondità ipoc. max e più gravoso ril. energia (km)	Magnitudo potenziale (sec. Karnik) (*)	Imax storica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

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

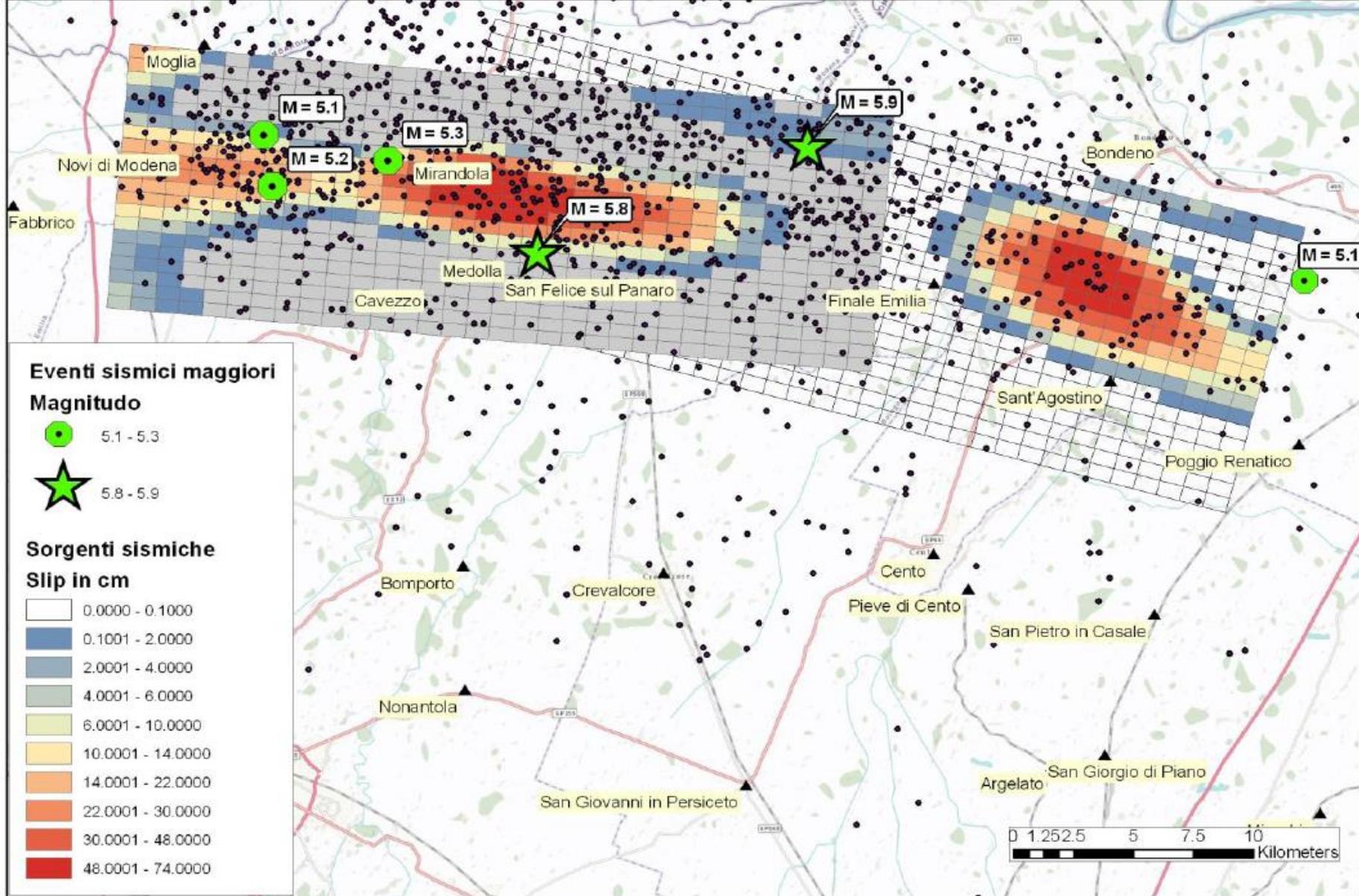


Serva, 1990

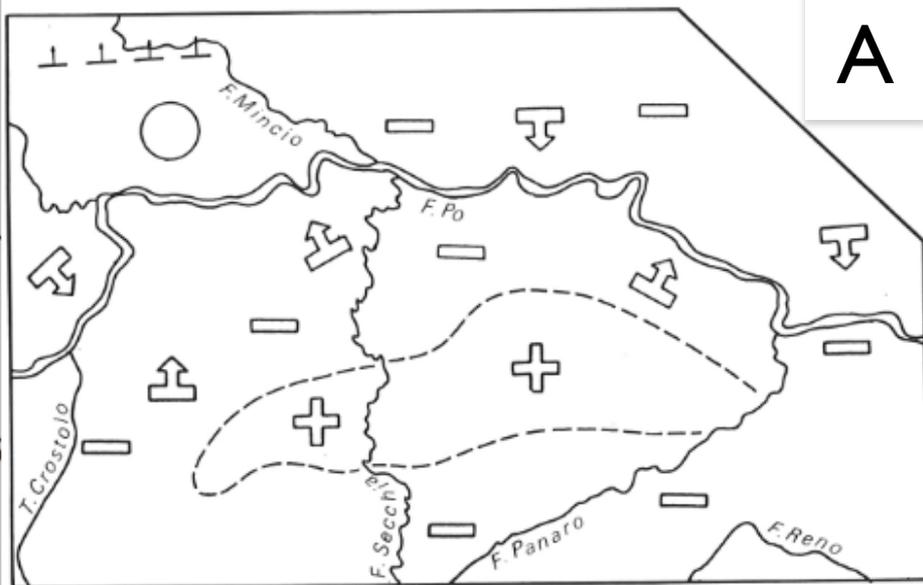


Lo studio dell'evoluzione paleoidrografica centropadana mostra uno **spostamento del Po verso Nord e deviazioni dei fiumi appenninici con tendenza a sfuggire la zona delle Pieghe Ferraresi**

Figure da Ravazzi et al. 2013

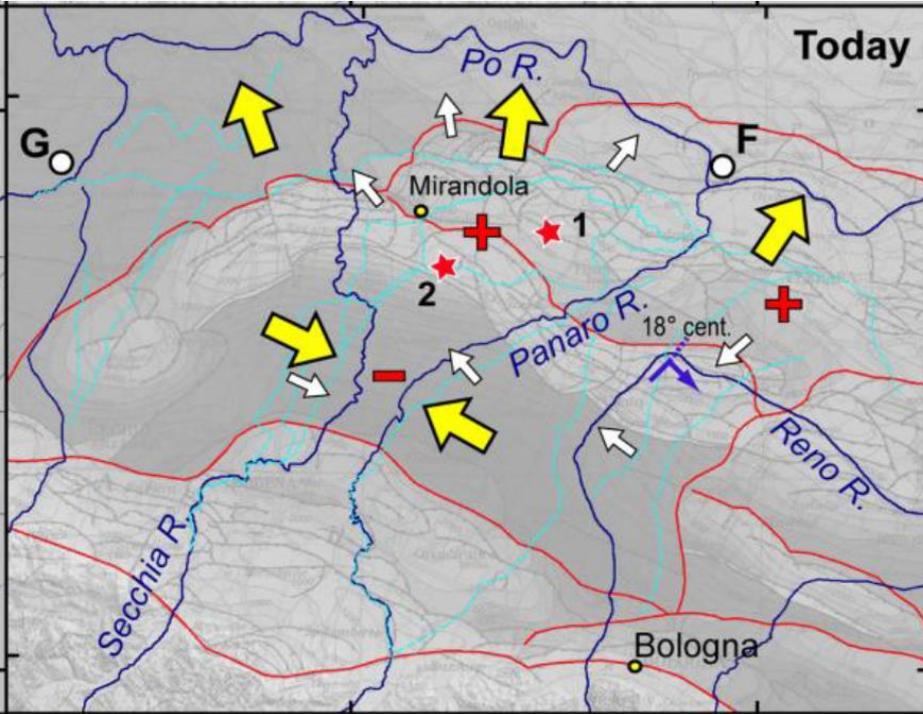


Un effetto geologico rilevante causato dai sismi piu' forti del 20 e 29 maggio è stato un **sollevamento di 10-15 cm nell'area epicentrale** (sovrastante alle culminazioni delle Pieghe Ferraresi) rilevata da satelliti radar cosmo Sky – Med



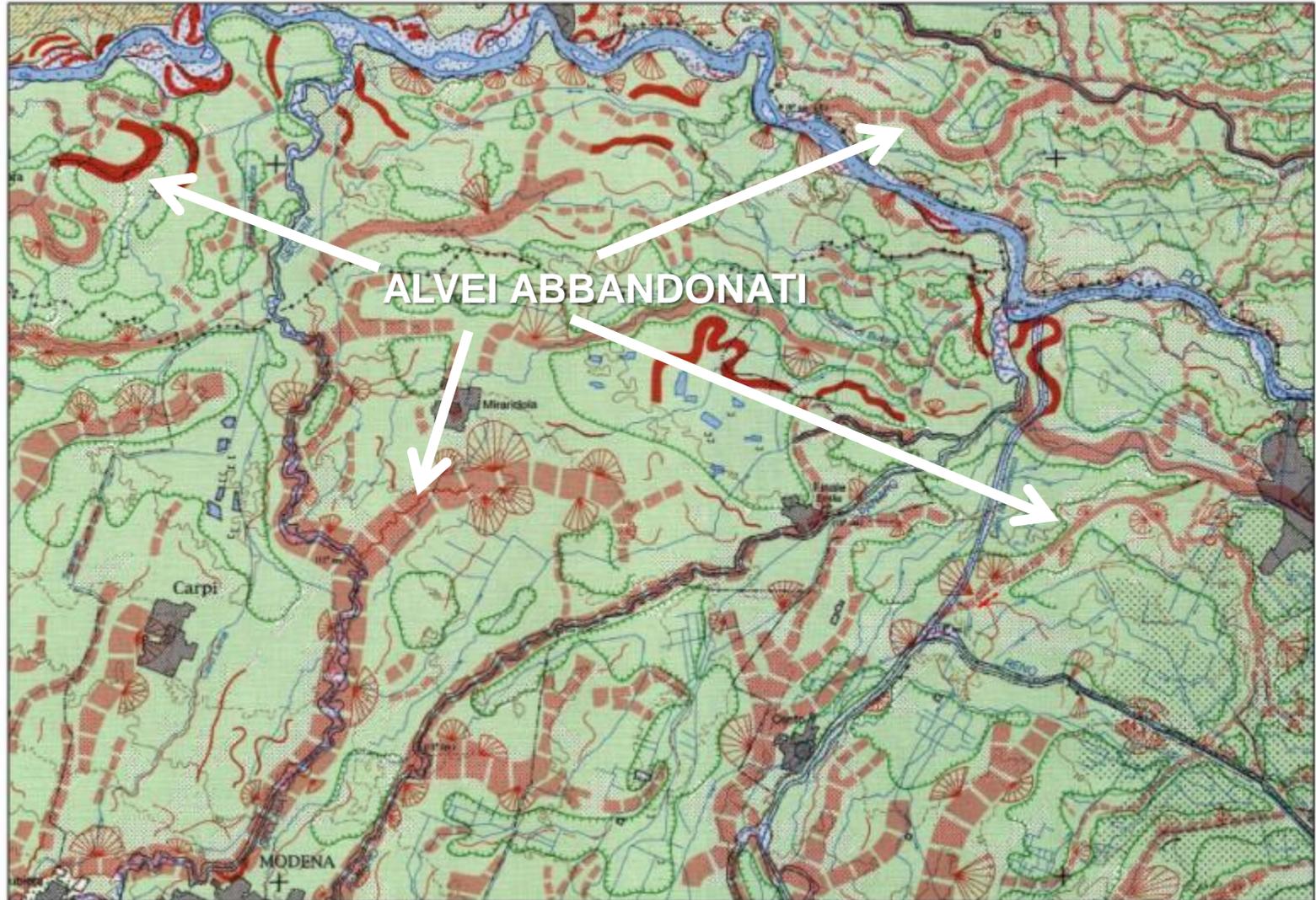
A

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

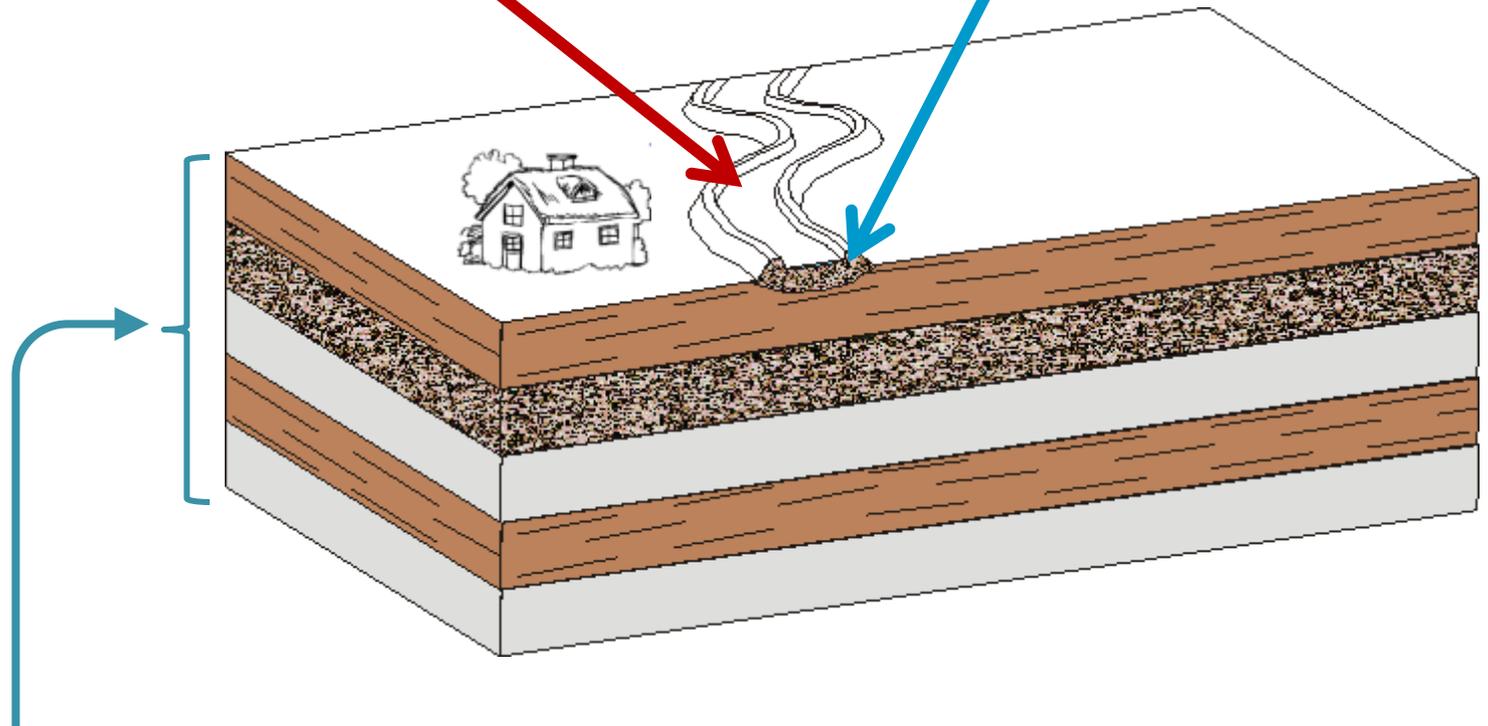




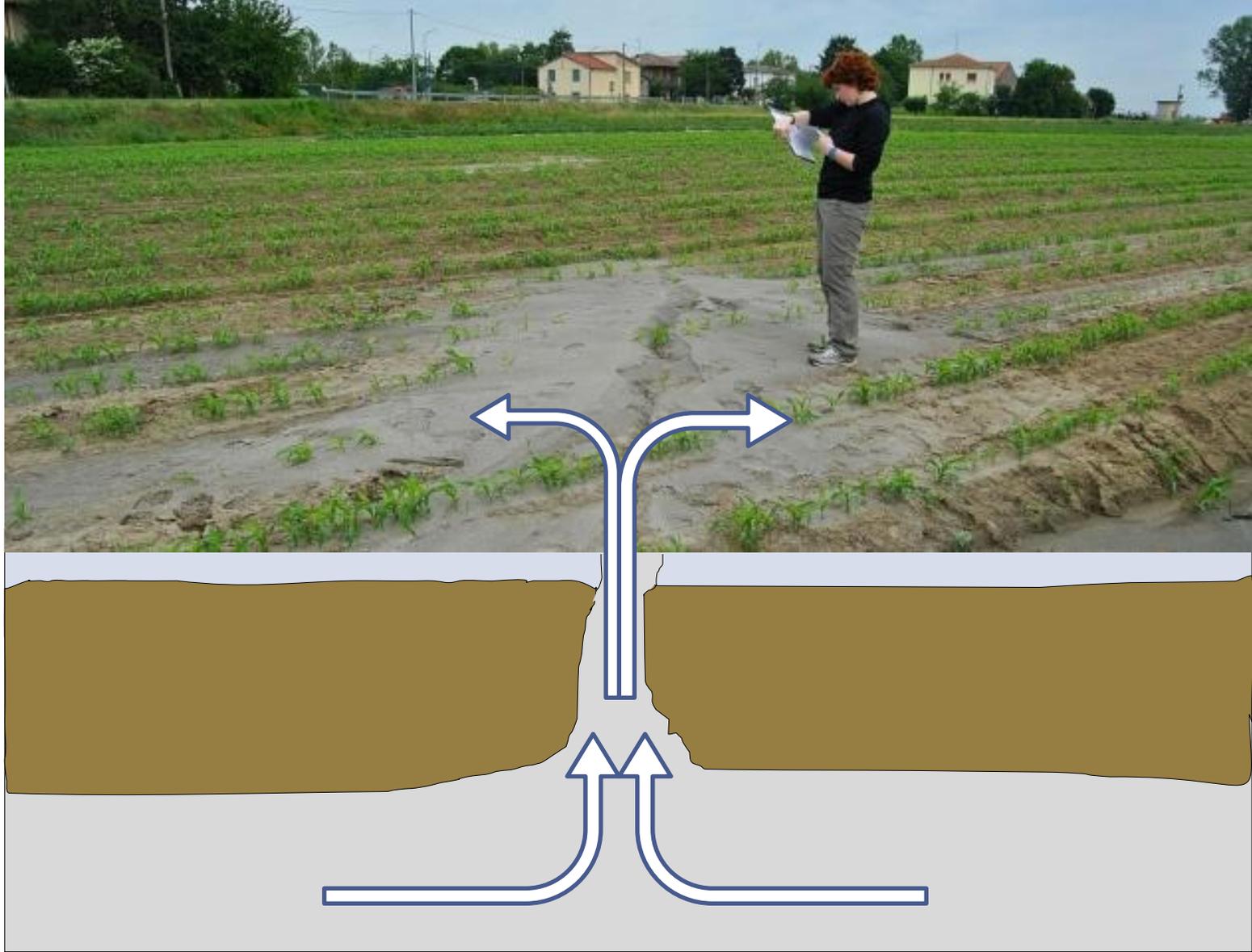
1 km
1 mi

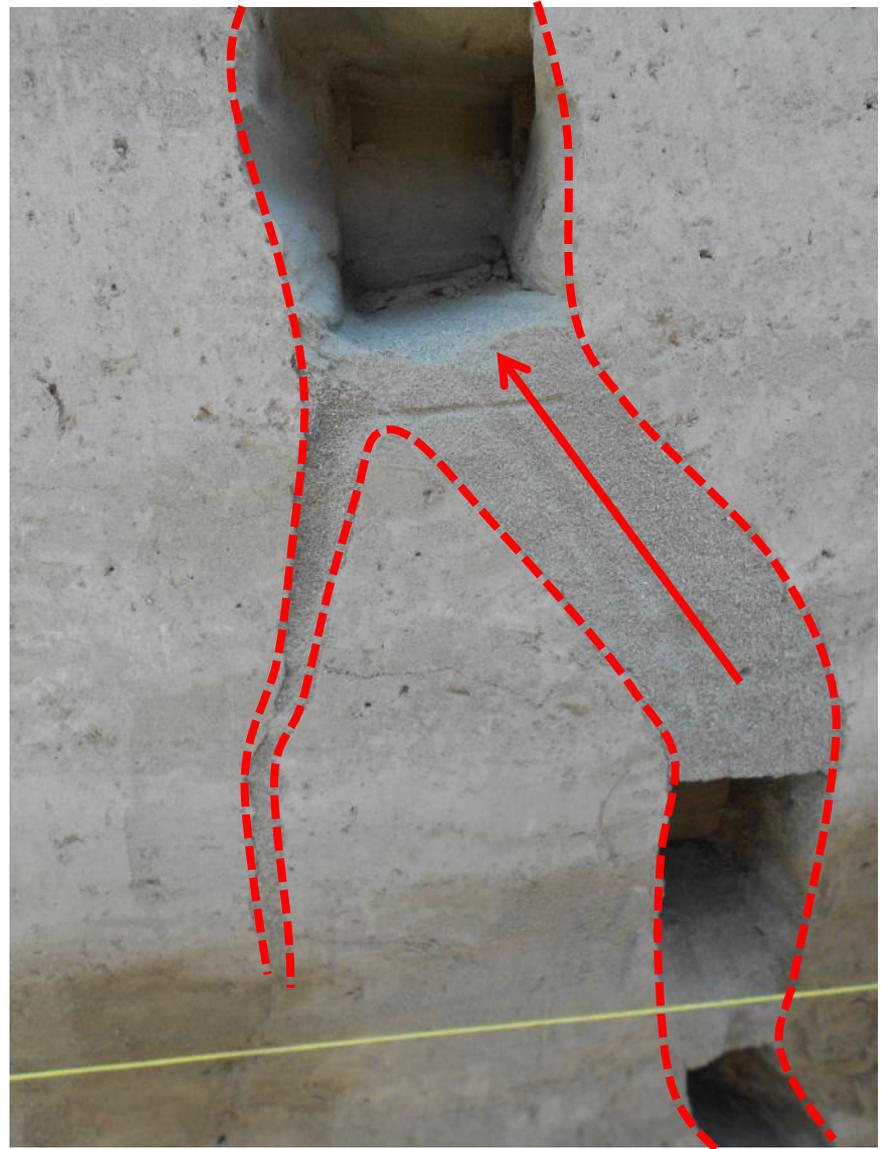
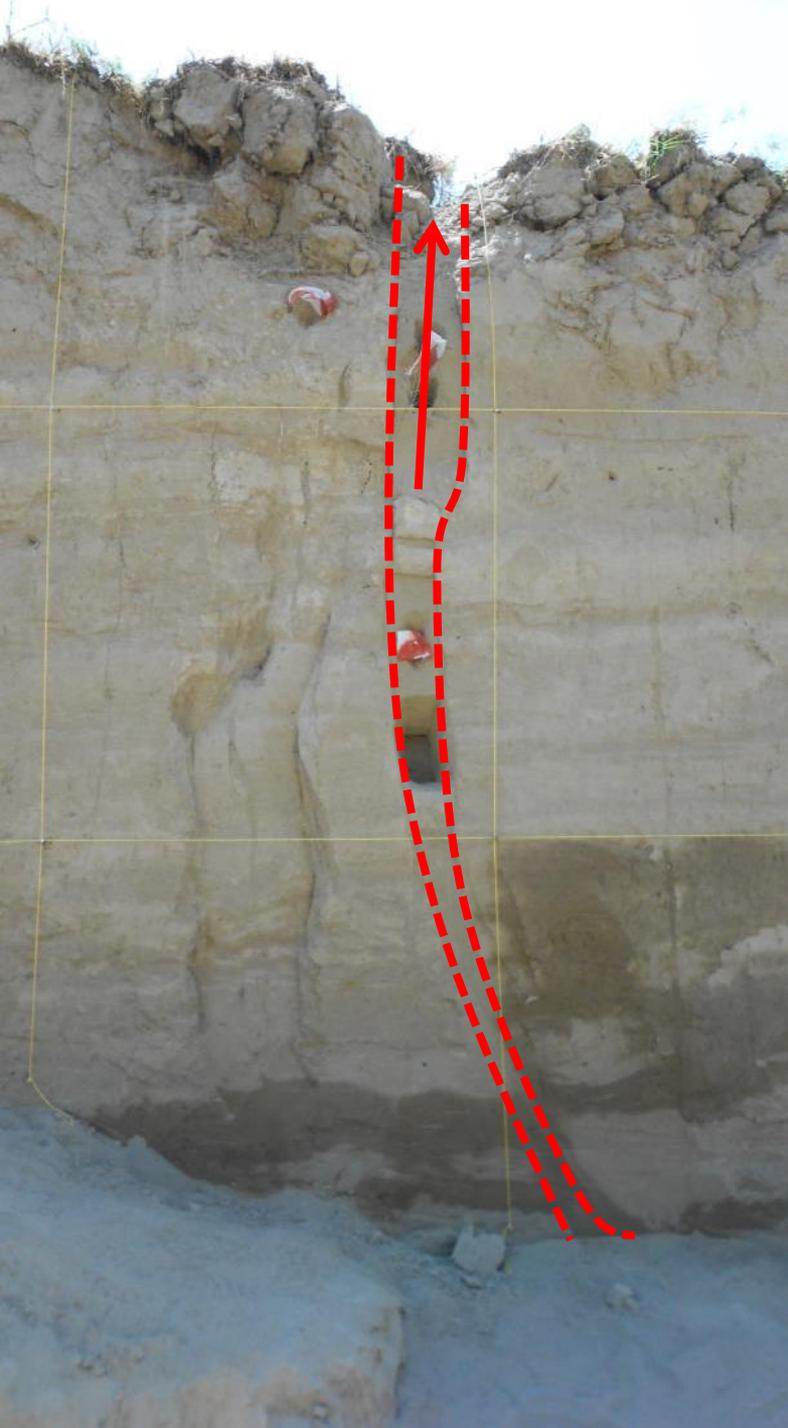
ALVEO SOSPESO

SABBIE



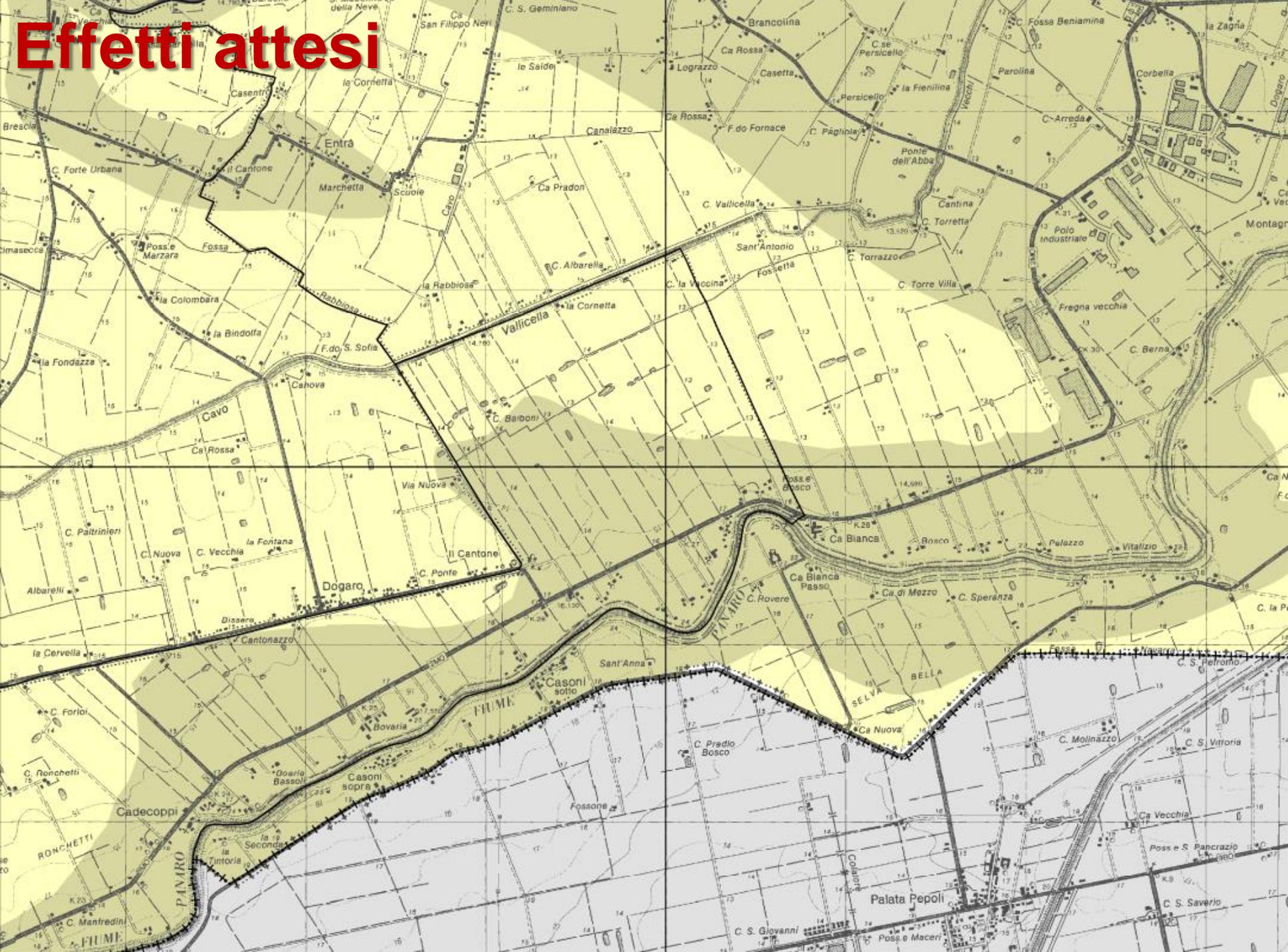
**SEQUENZA DI SABBIE,
LIMI, ARGILLE**



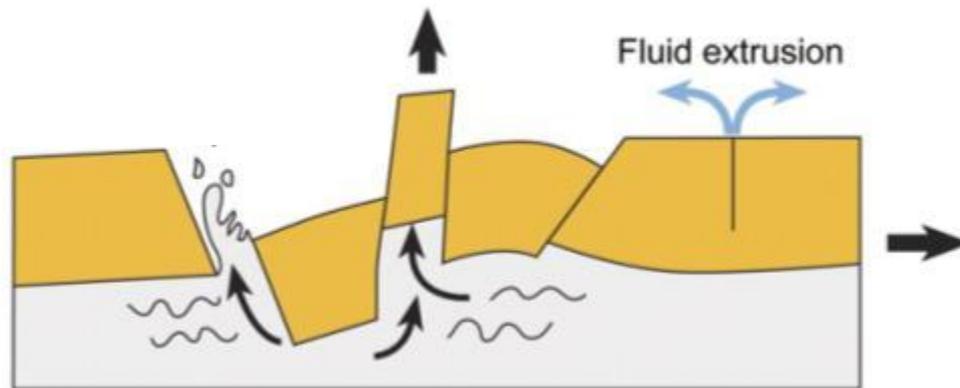
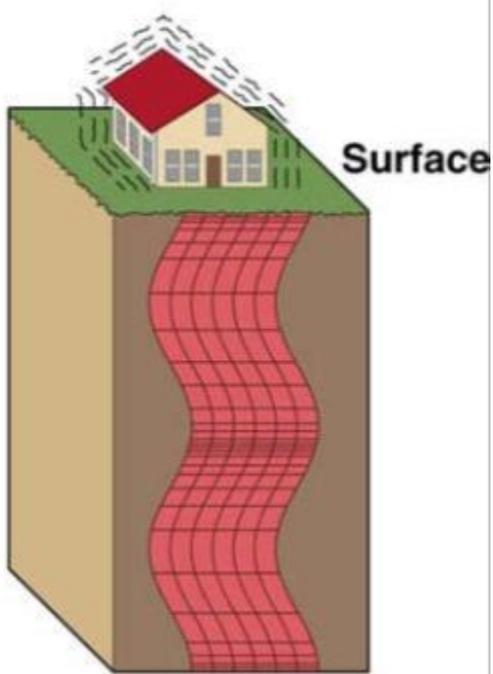


Trincea realizzata dal gruppo di lavoro del prof. Caputo

Effetti attesi



Lateral spread



LIQUEFAZIONI







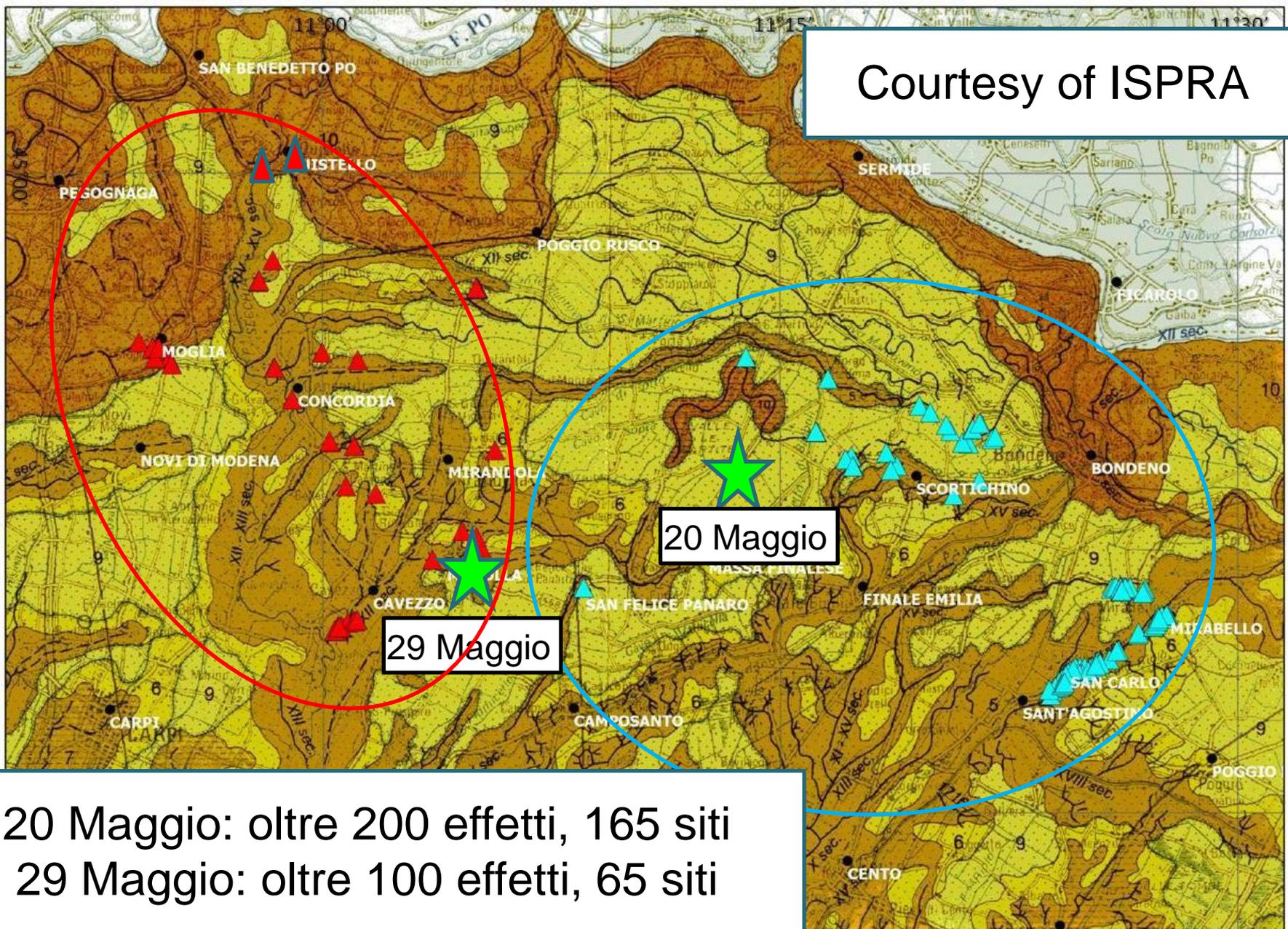
L'AQUILA 2009



SALO' 2004



Courtesy of ISPRA



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

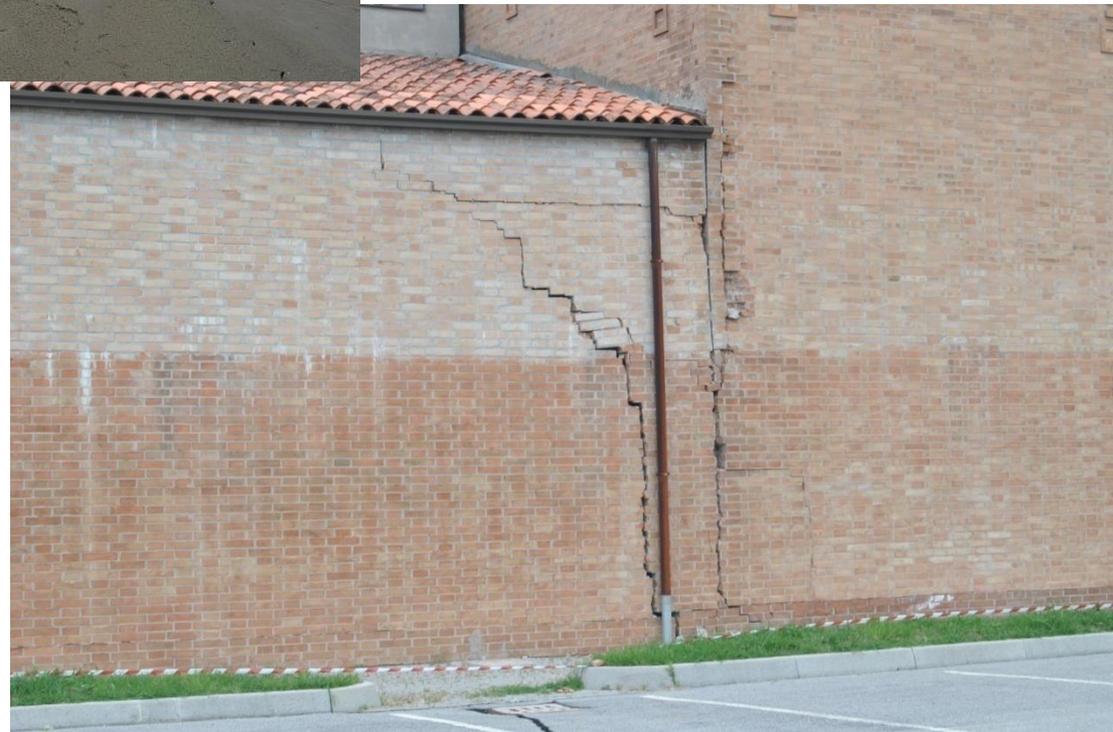
Carta geomorfologica con l'ubicazione degli effetti rilevati. Azzurro: evento del 20 maggio; rosso: evento del 29 maggio.



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

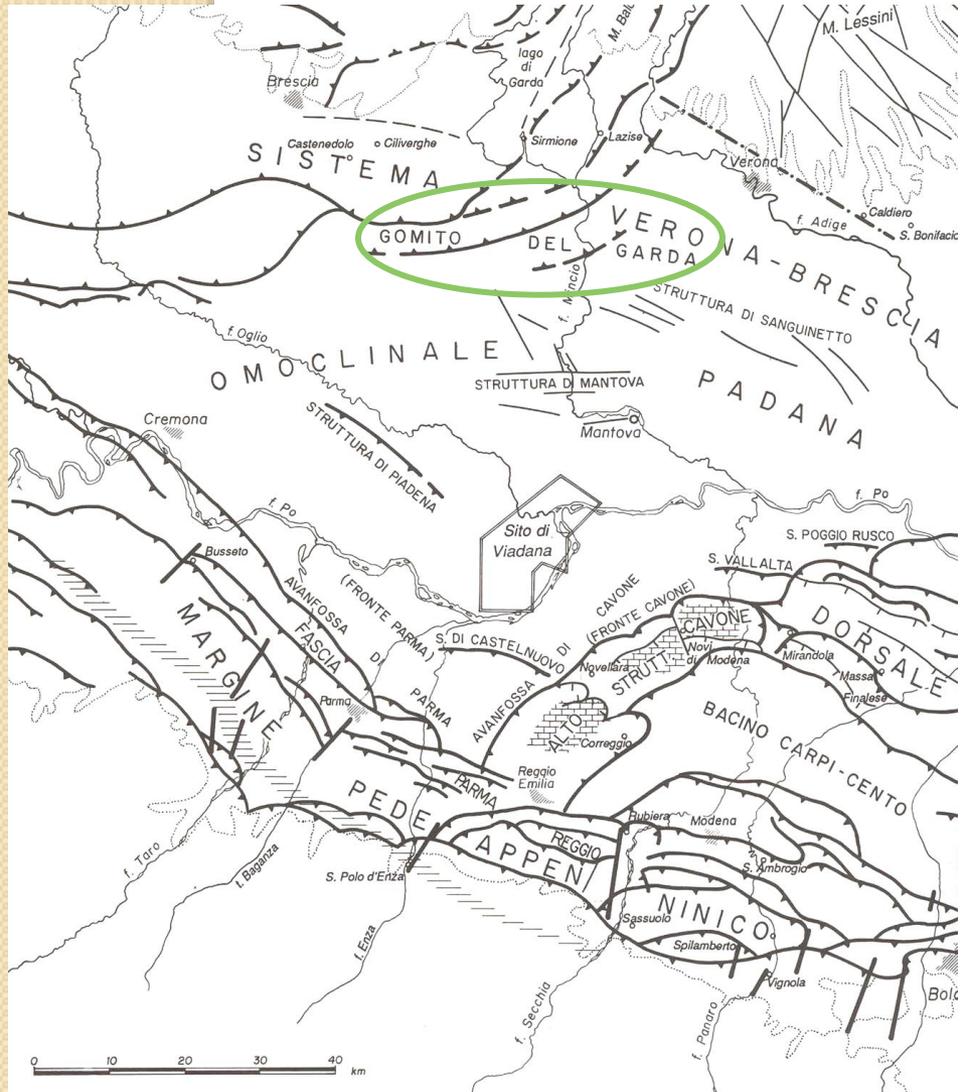


Frazione San Carlo
fratturazione del terreno

- 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'

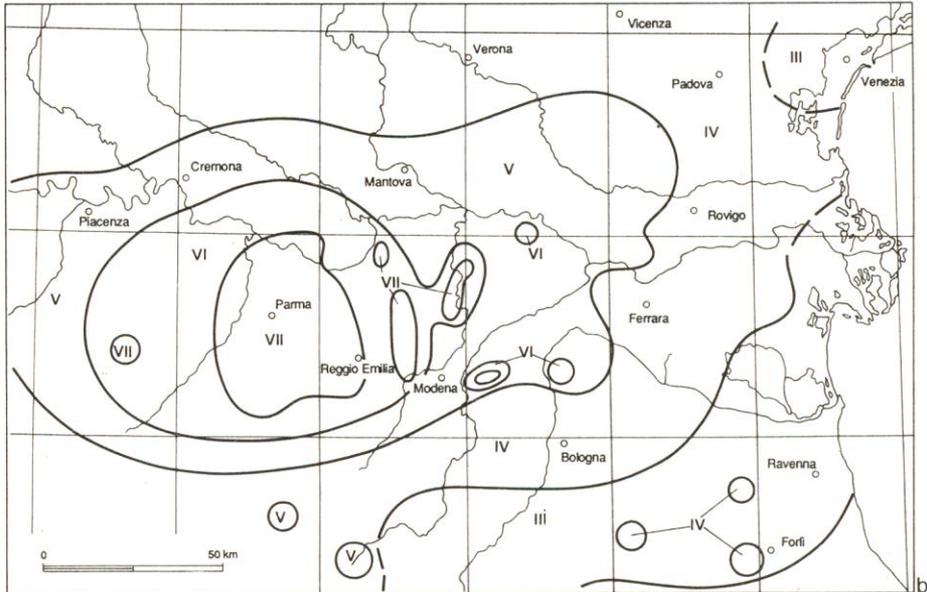
1980-1990: regional setting and first quantitative definition of the seismic landscape

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 pedalpino (o Sistema Verona-Brescia)	IX-X (1117) IX-X (1222)	X	1117 1222	10	6,8	VII (1117) VII (1222)	VIII	50
Margine pedeappenninico (Fascia sismotettonica di Parma-Reggio Emilia)	VIII (1438) VIII (1547) VII-VIII (1832)	IX	1832 1971	15	6,3	VII p.p. (1832) VII p.p. (1971)	VIII	30
avantfossa e alto strutturale di Cavone	VII-VIII (1832) VII (1806) VII (1810) VII (1928)	VIII	1806	8 - 10	5,3	VII p.p. (1806) VII p.p. (1832)	VIII	15
Sito di Viadana	terremoto near - field: M = 4.3					VII	VII	5

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



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 romanici). Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

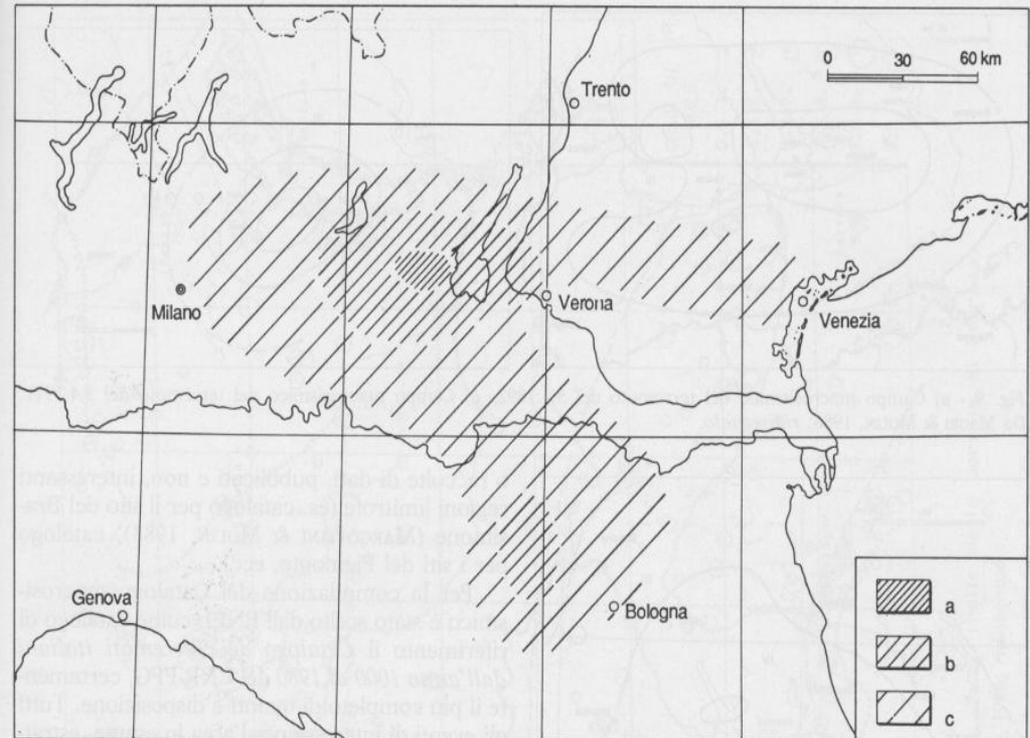


Fig. 7 - Terremoto del 1222, ipotesi di campo macrosismico. *Legenda:* Intensità stimata, a) IX-X MCS; b) VIII MCS; c) VII MCS. Da MAGRI & MOLIN, 1986; ridisegnato.

Magri and Molin, 1986, 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

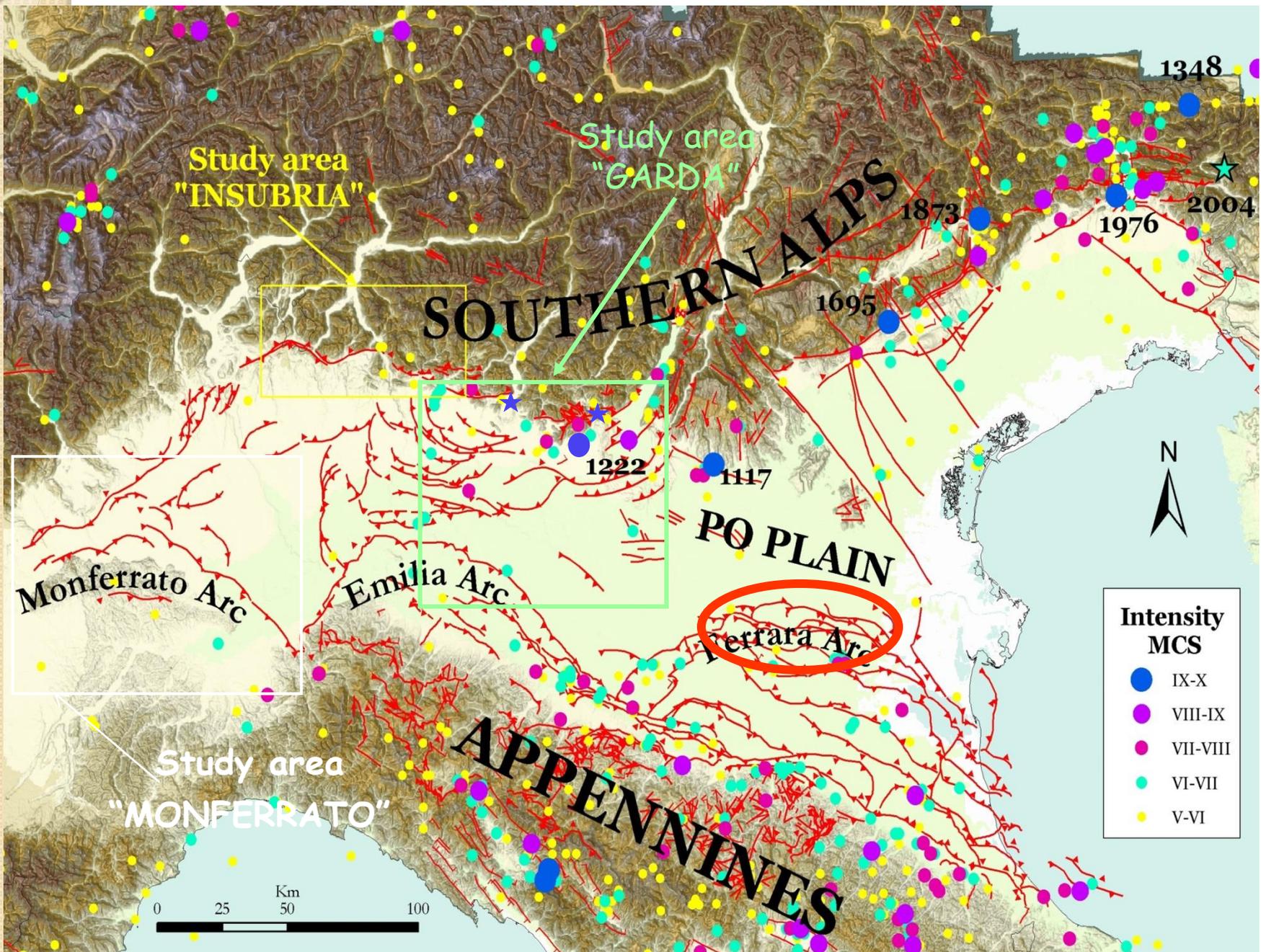
- Earthquake Environmental Effects, the lesson from Fra' Salimbene de Adam"

- 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

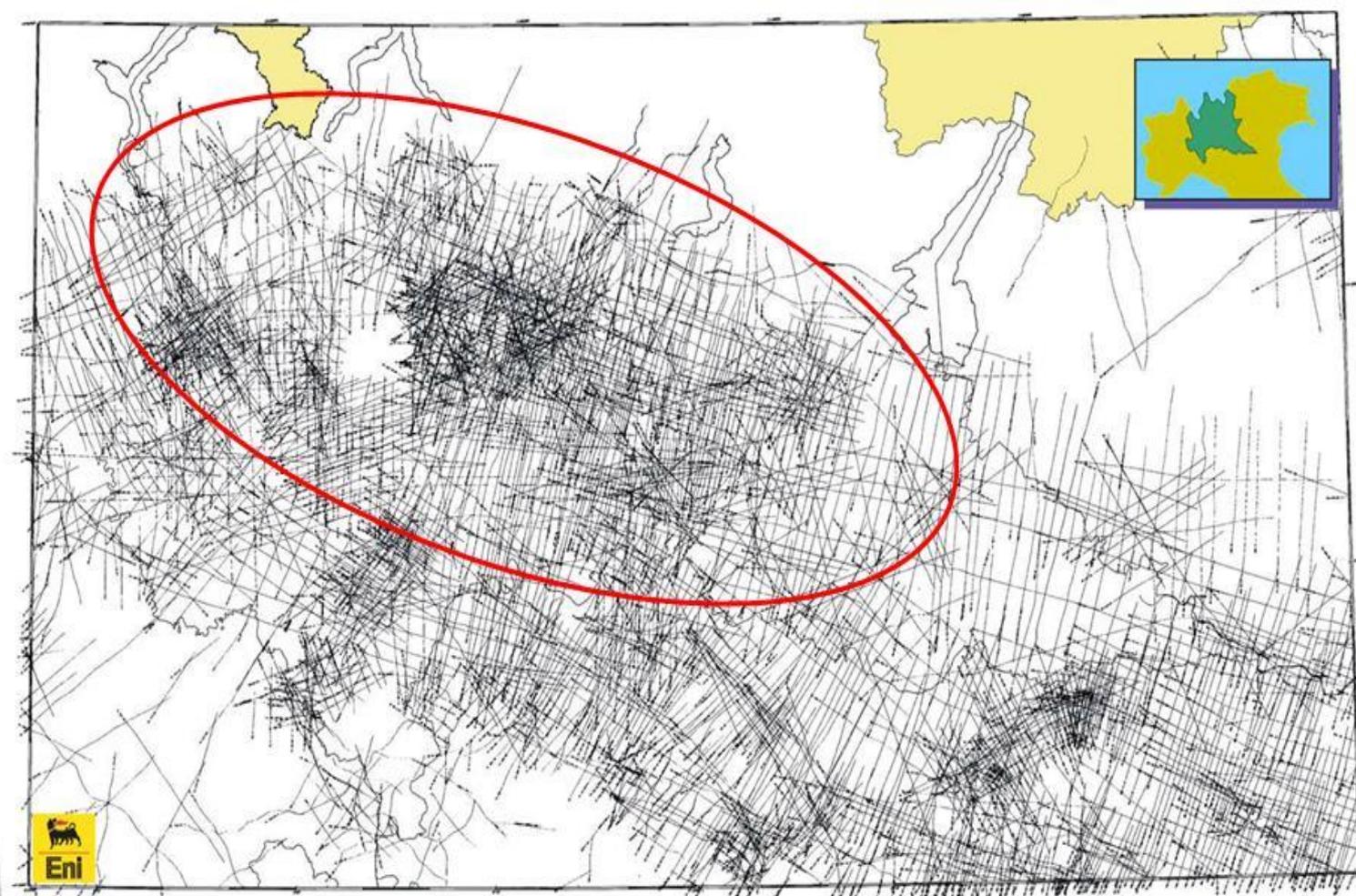
ESI-2007		PRIMARY EFFECTS		SECONDARY EFFECTS WITH GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL RECORD				OTHER SECONDARY EFFECTS WITH MINOR GEOLOGICAL RECORD		AFFECTED AREA AND TYPE OF RECORD	
		SURFACE RUPTURES	TECTONIC UPLIFT/SUBSID	GROUND CRACKS	SLOPE MOVEMENTS	LIQUEFACTION PROCESSES	ANOMALOUS WAVES AND TSUNAMIS	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		10 ³ m ³	cm	Temporary level changes Temporary sea-level changes		Rare and local	Geological frequent and exceptionally geomorphological
DESTRUCTIVE	VIII	cm	hm	cm		10 ³ -10 ⁵ m ³	1 m	Temp. temperature changes Temp. spring drying H ₂ O		Local within epicentral zone	Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological
	IX	dm	km	m		10 ⁵ -10 ⁶ m ³	0.5 m			1 km ²	
VERY DESTRUCTIVE	X	dm	km	m		10 ⁵ -10 ⁶ m ³	1 m			100 km ²	Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological
	XI	metric	10-100 km	> 10 m		> 10 ⁶ m ³	0.5 m			1,000 km ²	
DEVASTATING	XII		> 10 m	> 5 m		> 10 ⁶ m ³	> 5 m			5,000 km ²	Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological
	XII		> 100 km	> 5 m		Far-field (200-300 km) significant landsliding	0.5 m			10,000 km ²	
		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 ²	

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, reinterpretaione 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 Km², 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

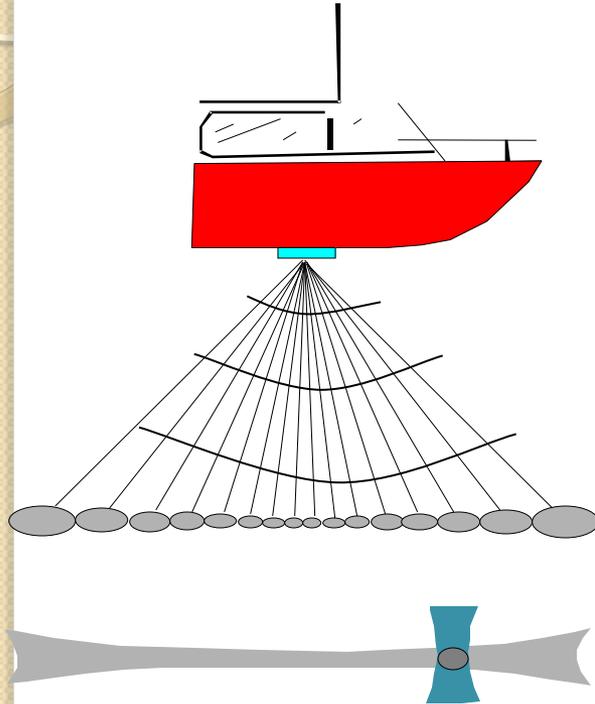
**Istituto per l'Ambiente Marino Costiero IAMC
CNR Napoli - Italia**



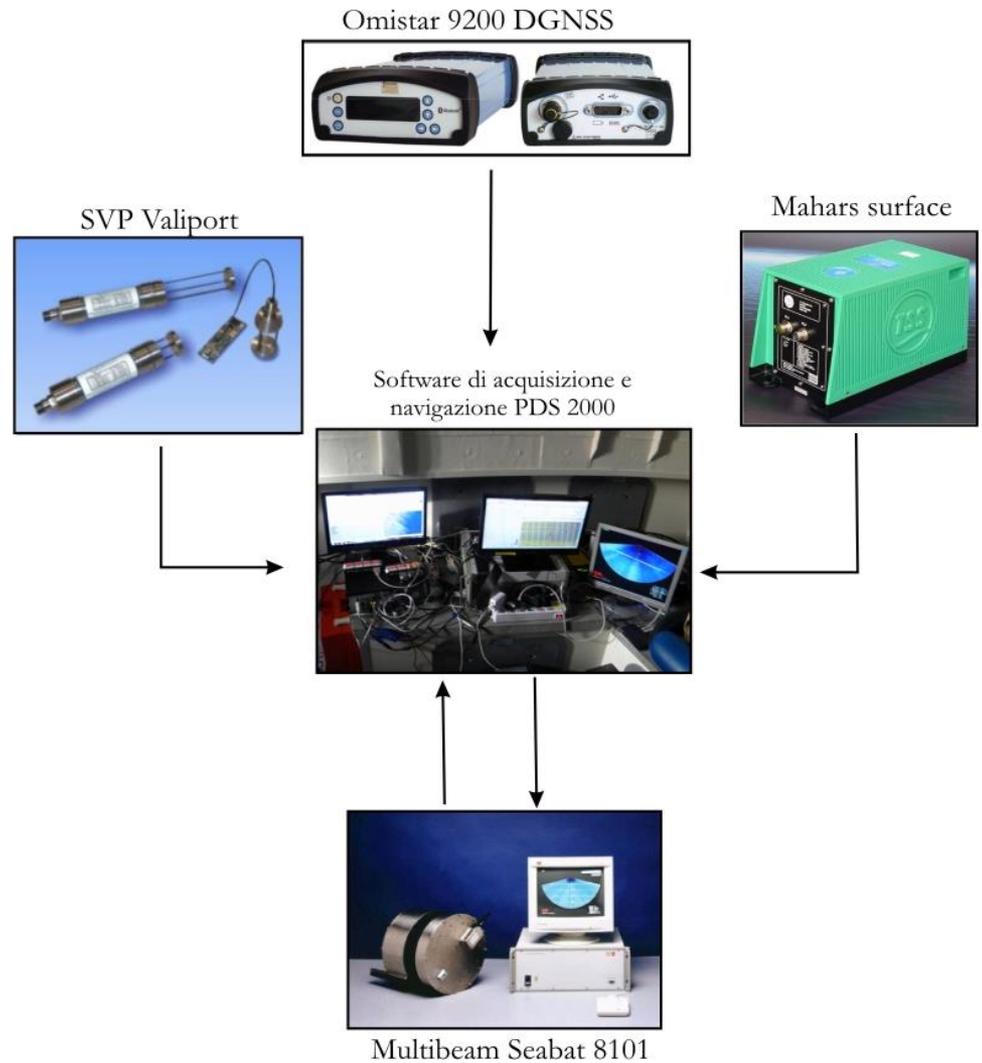
Obbiettivi

- 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

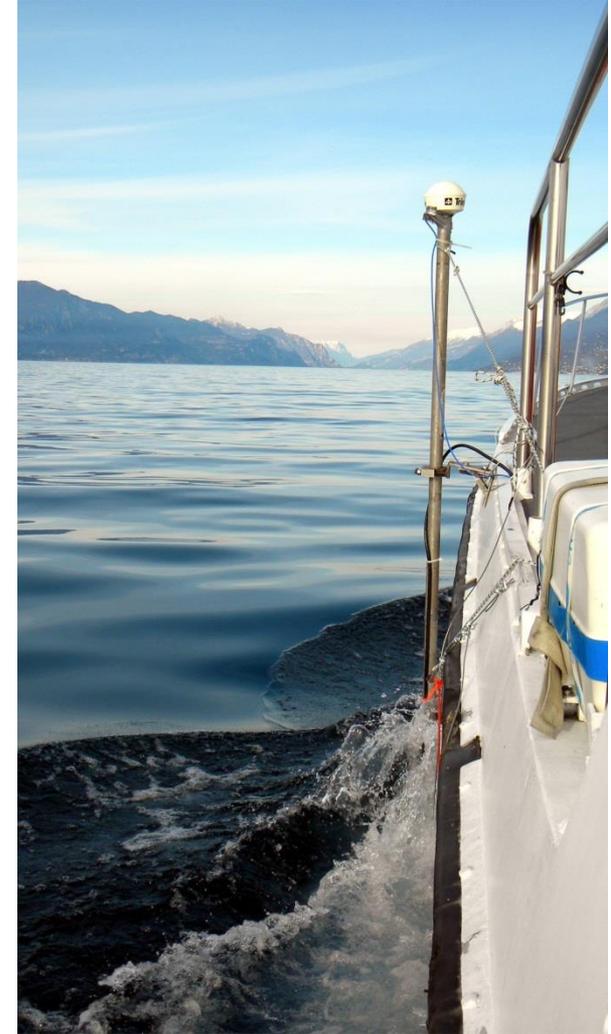
Sistema multibeam



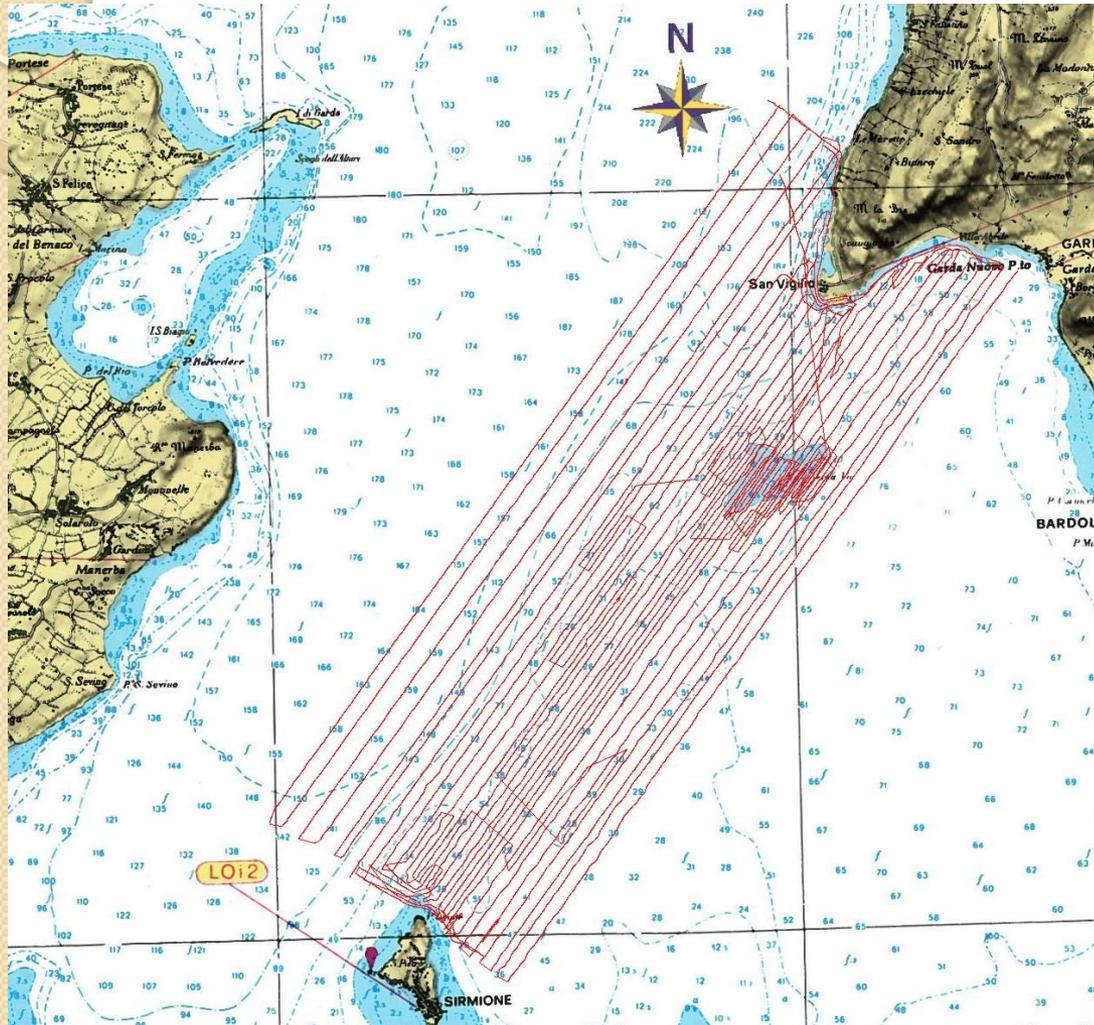
Fasci acustici direzionali trasmessi da un ecoscandaglio multifascio (multibeam)



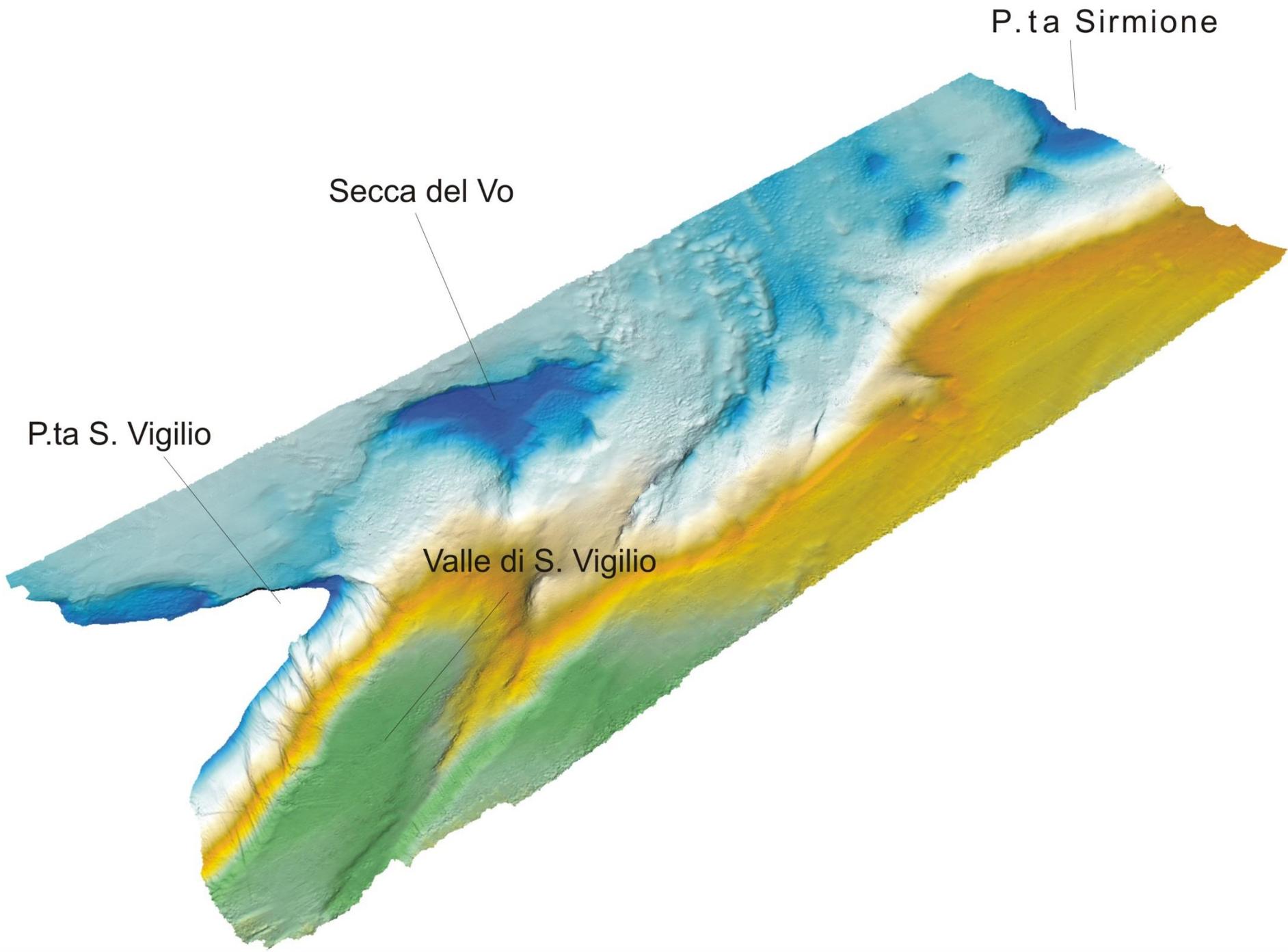
Motovedetta CP 826 Guardia Costiera



Rotte di navigazione



- Distanza lineare: 186 miglia
- Velocità: 5 – 6.5 nodi
- Area coperta: 40 km²
- Profondità: 3.6 – 226 m



P.ta Sirmione

Secca del Vo

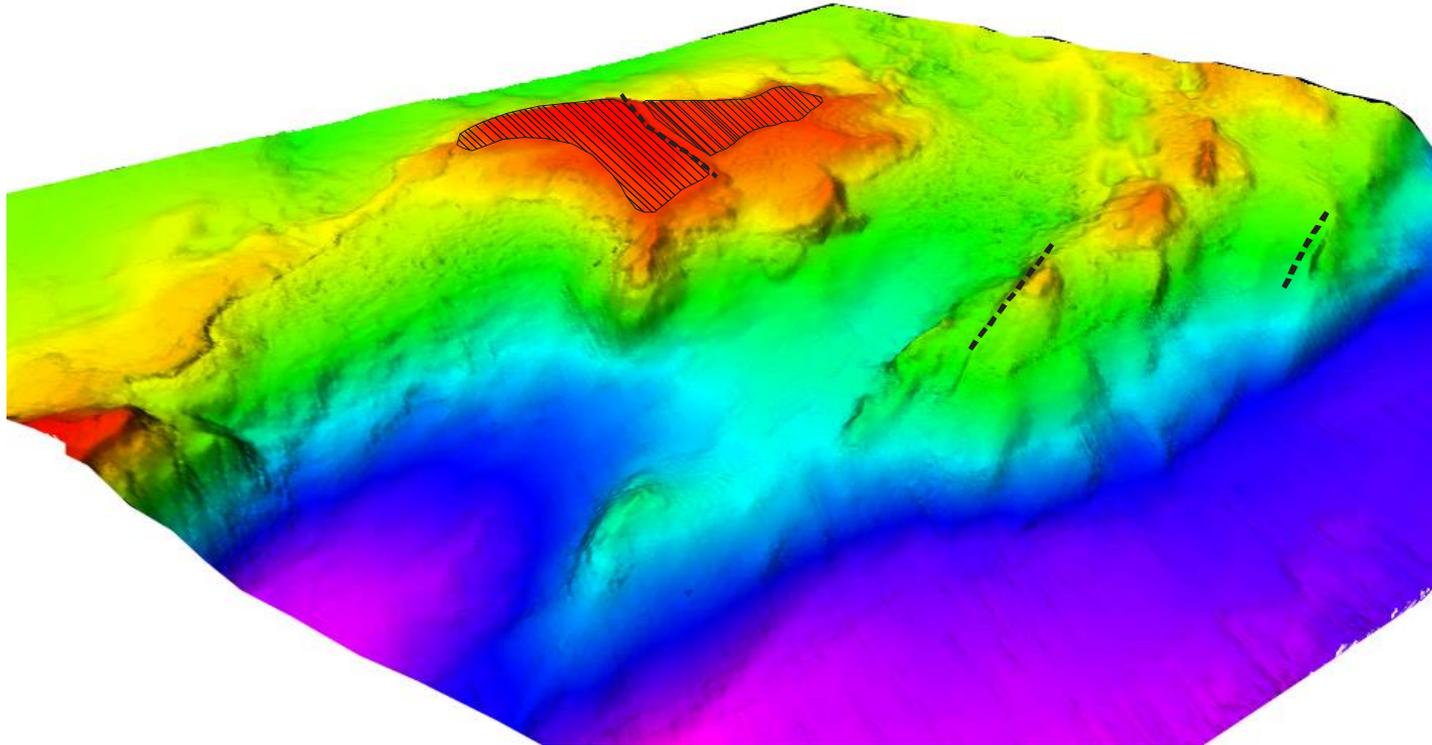
P.ta S. Vigilio

Valle di S. Vigilio

Risultati preliminari

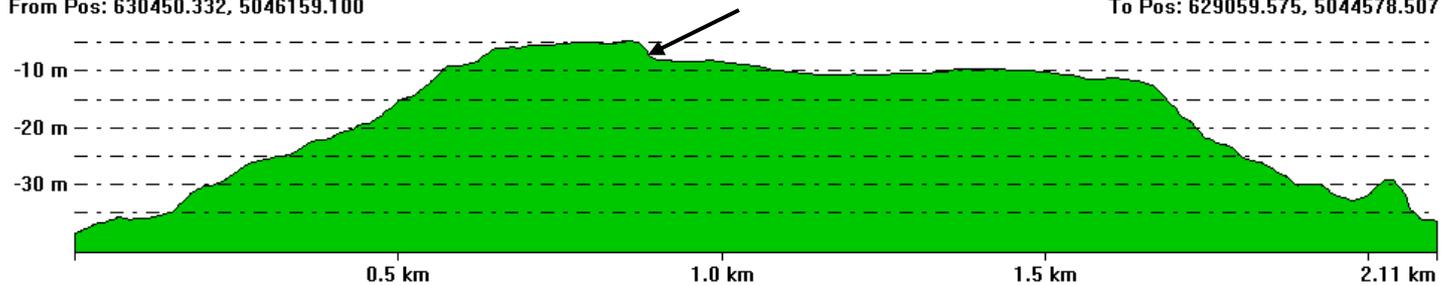
- Assetto geomorfologico attuale
- Presenza di campi di *pockmarks*: depressioni emisferiche probabilmente legate a fenomeni idrotermali
- Rotture di pendenza lineari che lasciano ipotizzare dislocazioni “recenti”
- Superfici di abrasione legate a stazionamenti del livello lago a quote inferiori

Secca del Vo e dintorni

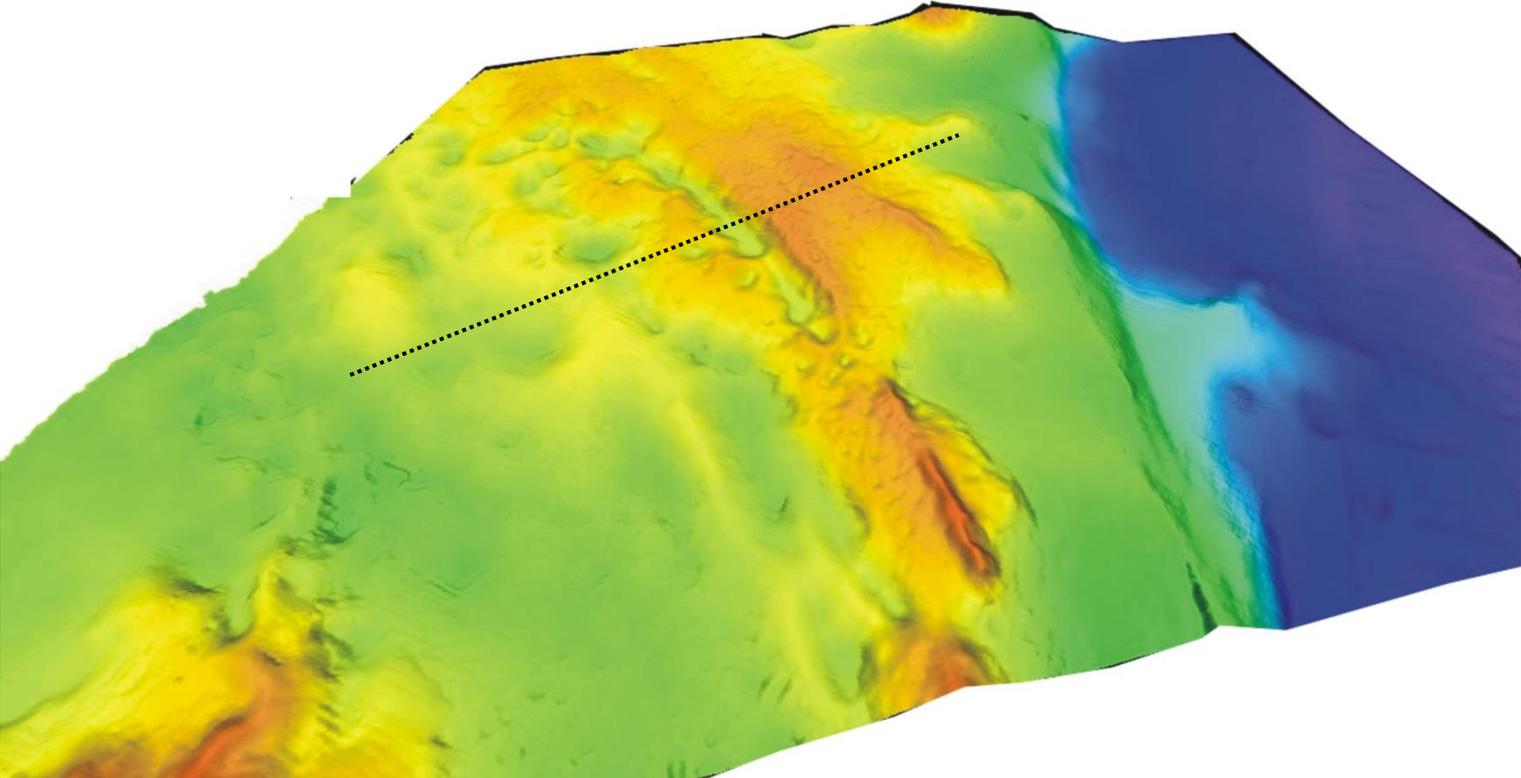


From Pos: 630450.332, 5046159.100

To Pos: 629059.575, 5044578.507

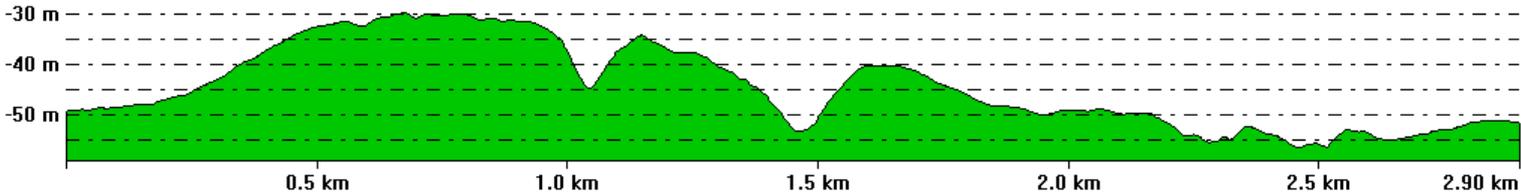


Pockmarks



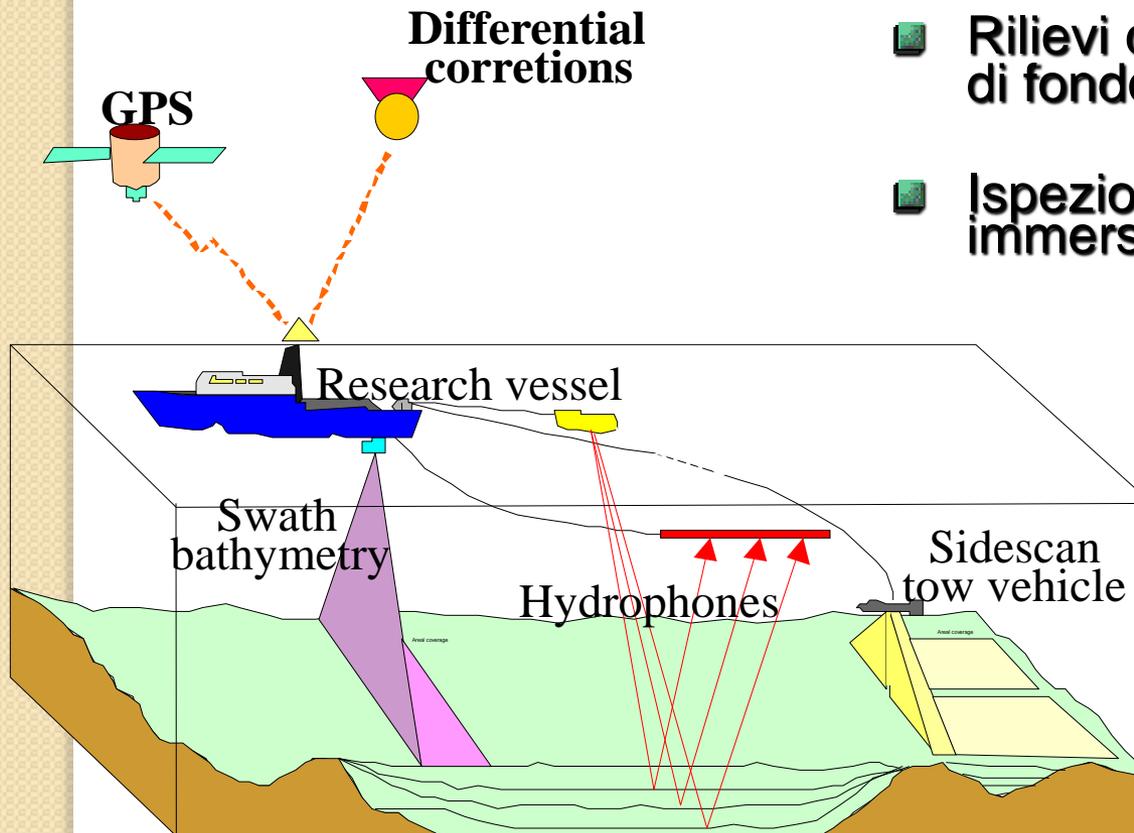
From Pos: 627163.276, 5042655.383

To Pos: 629606.386, 5044219.469

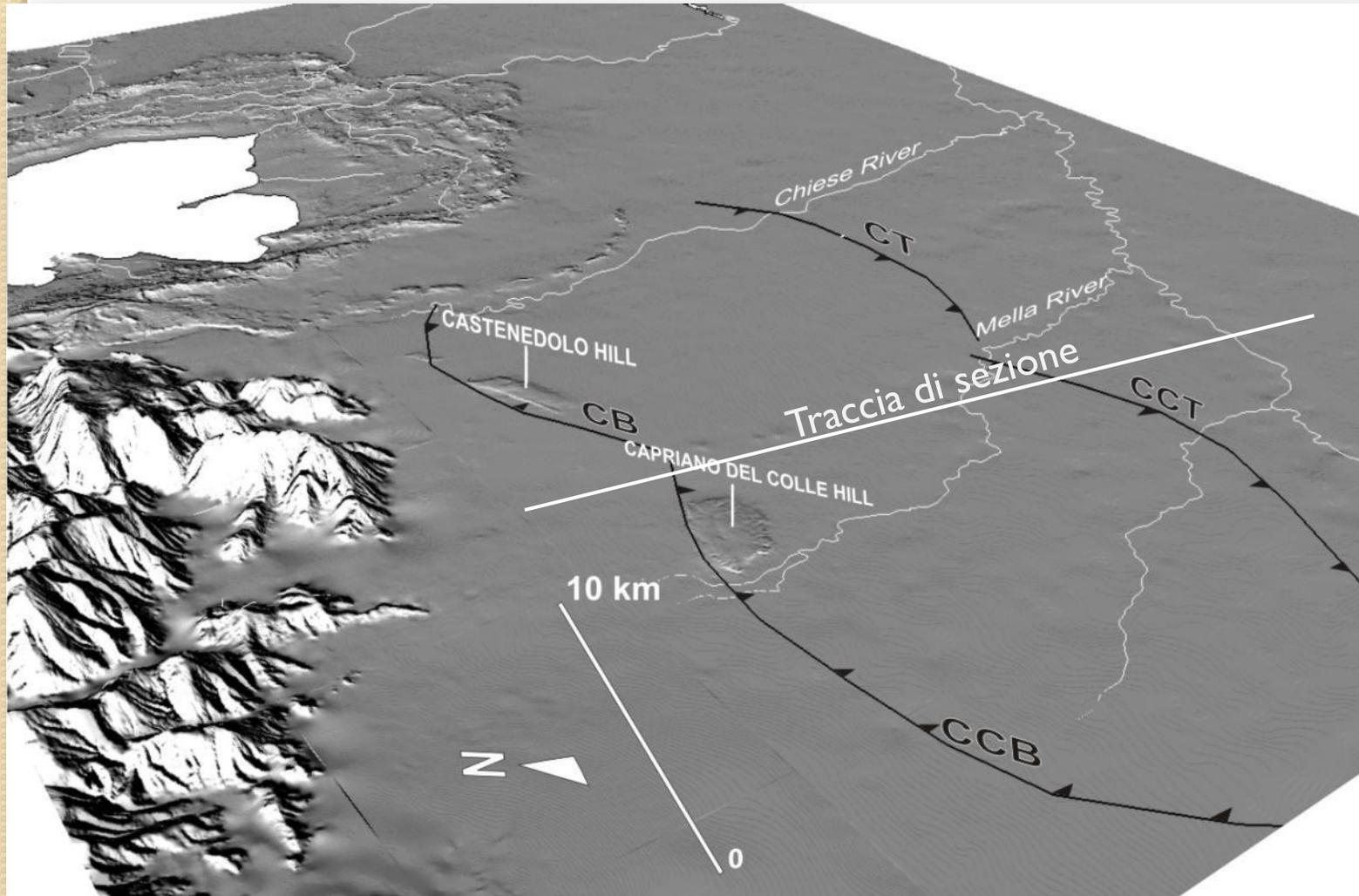


Studio del fondo e del sottofondo

- 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.



Capriano del Colle Hill

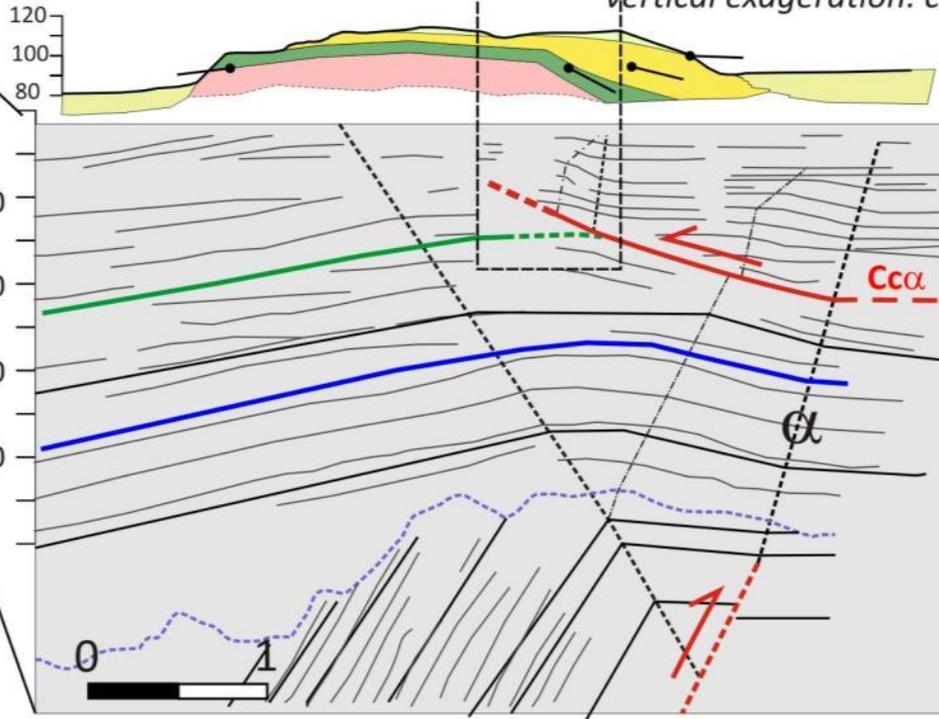
b

Quarry

Fig. 9

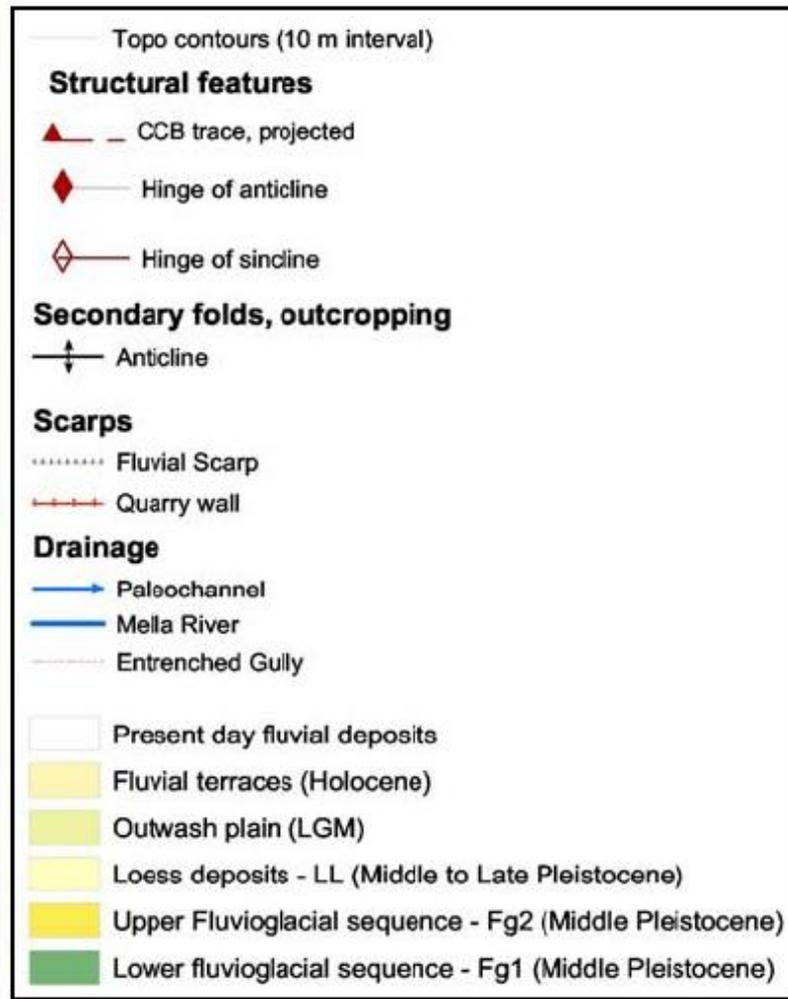
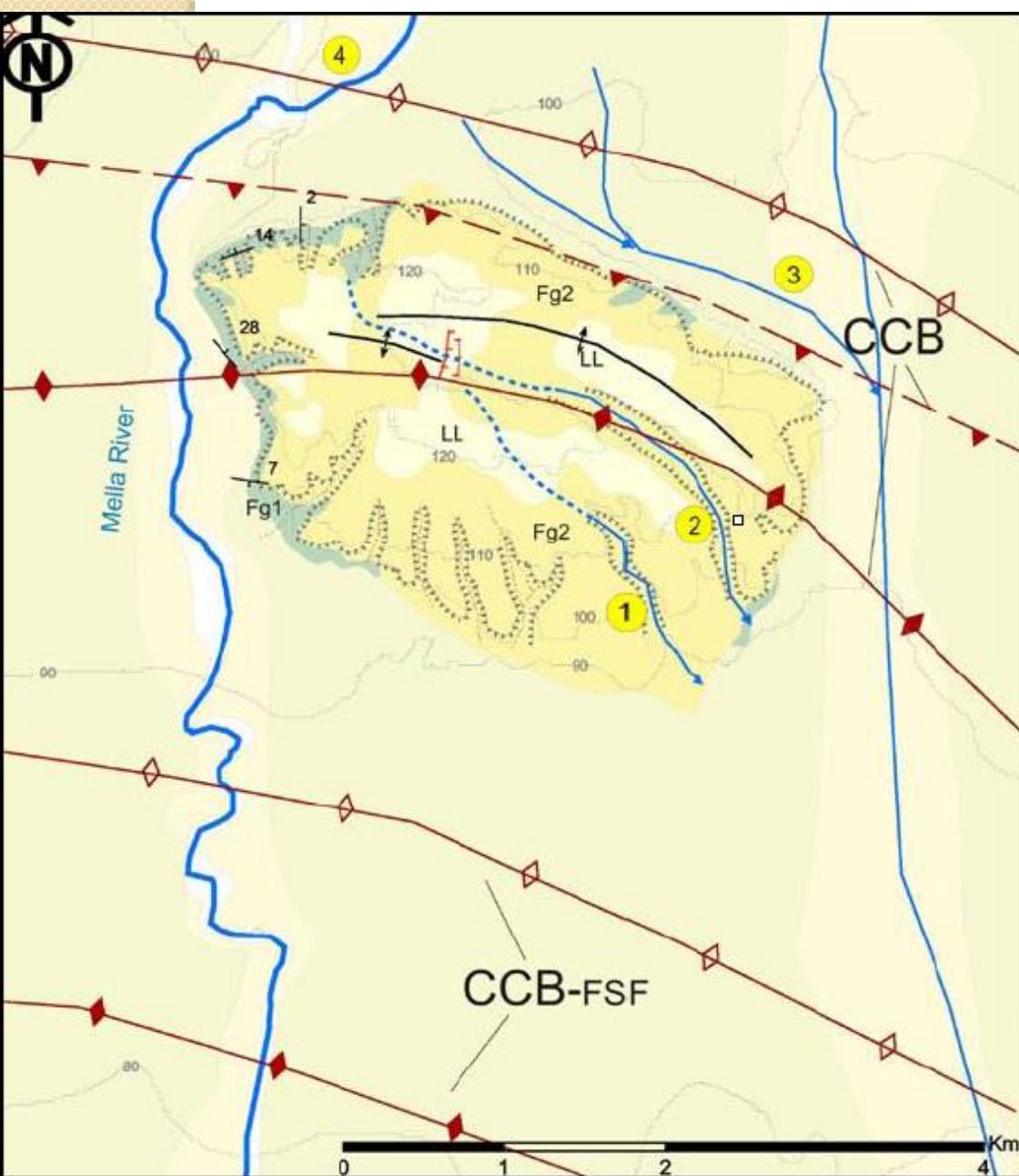
Topography

vertical exaggeration: ca 10x



Vertical Scale TWT
vertical exaggeration ca.: 2x

Livio et al, 2009,
Tectonophysics



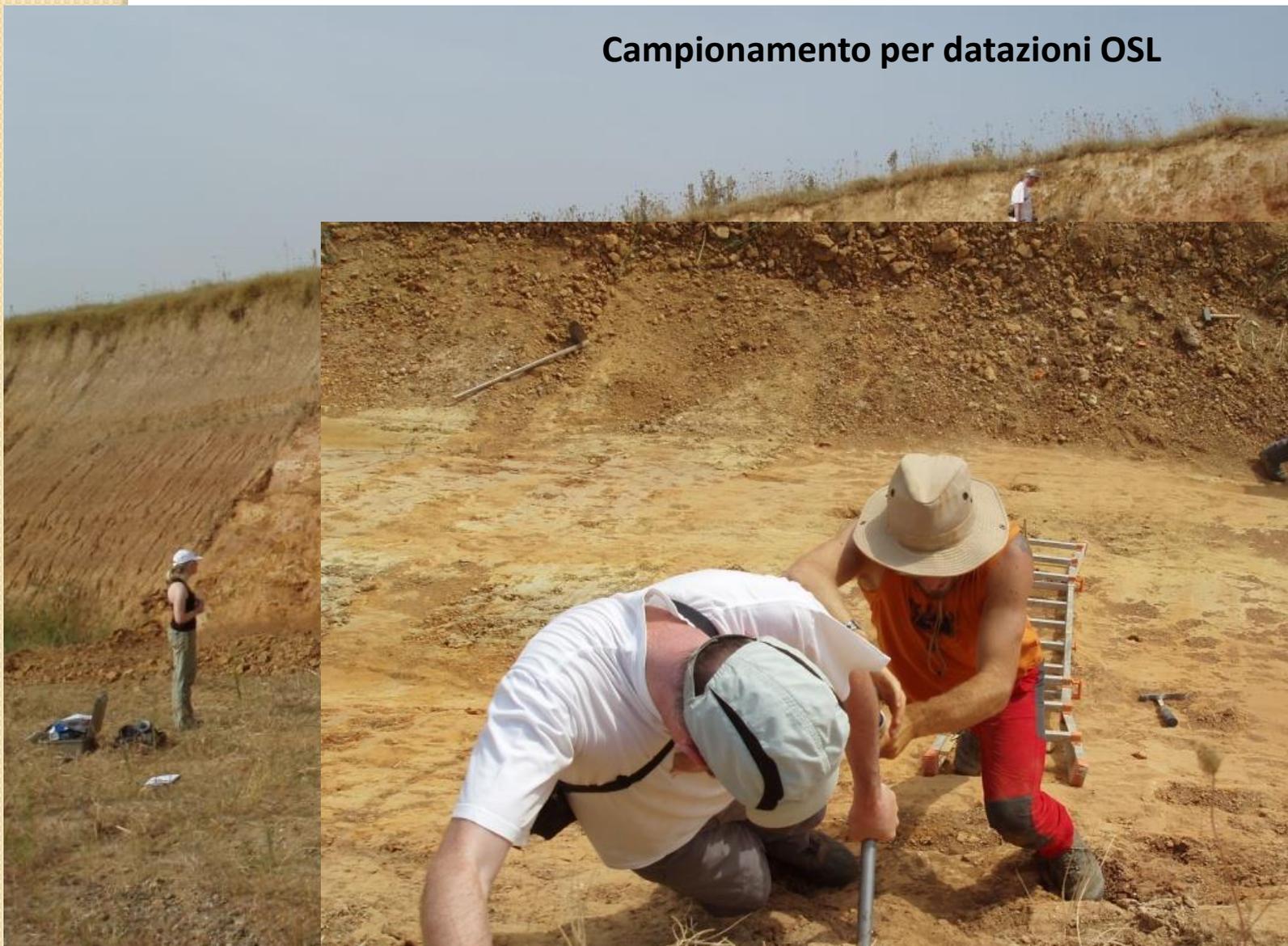


March 12, 2008

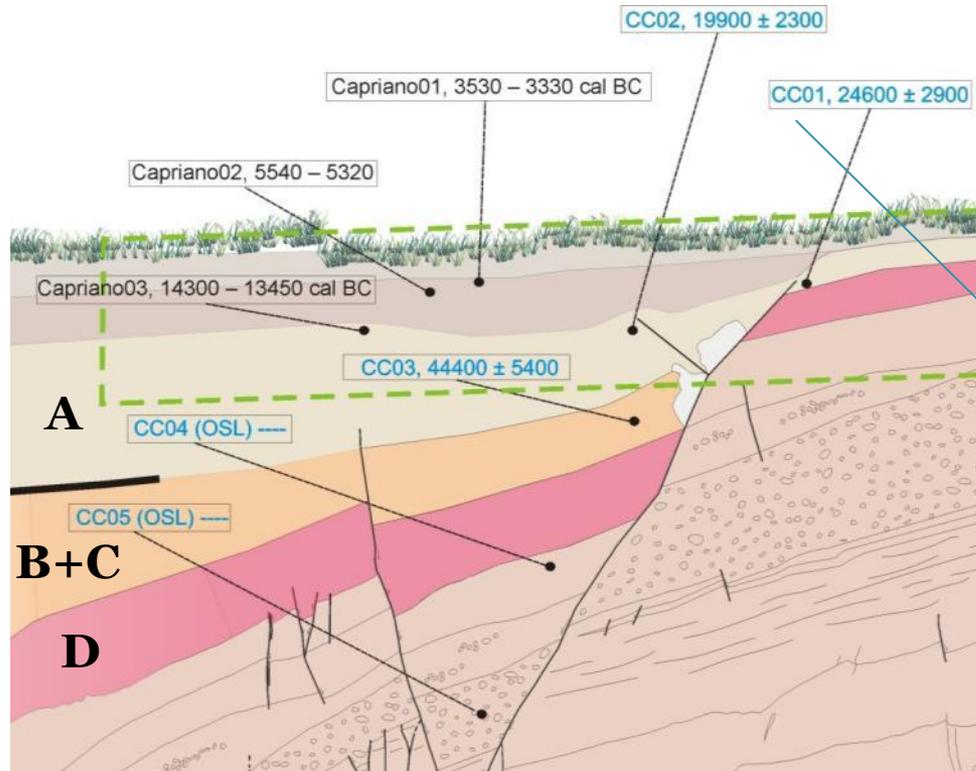
Secondary and pa



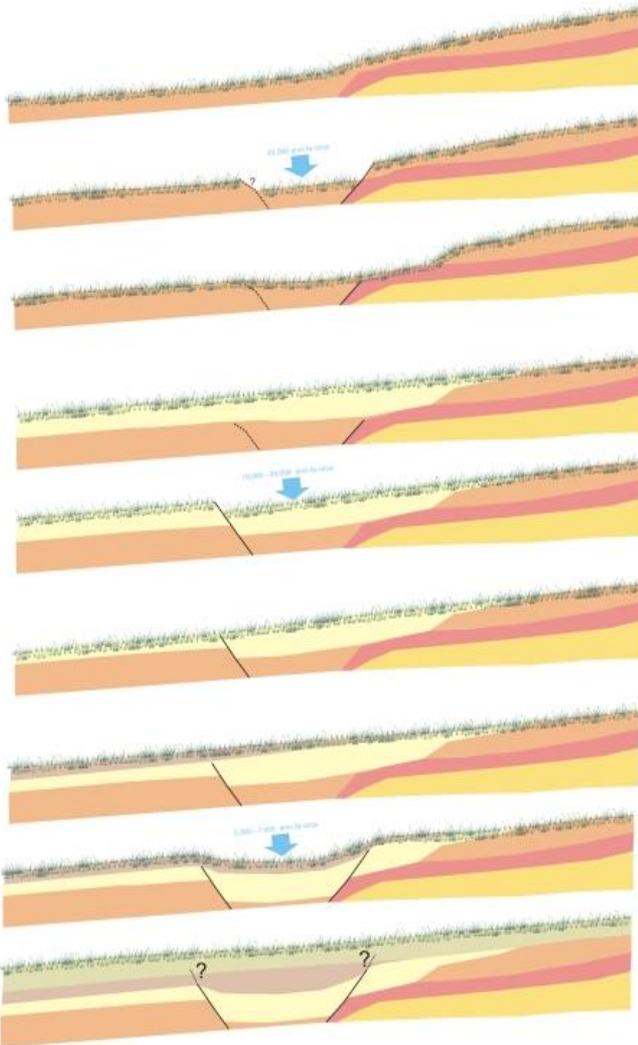
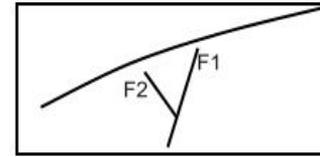
Campionamento per datazioni OSL



Trenching and dating



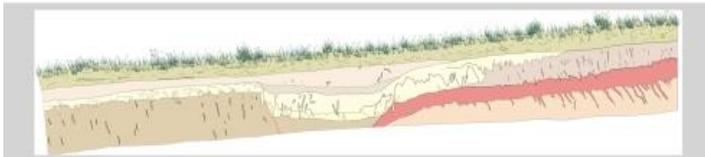
RIGETTI

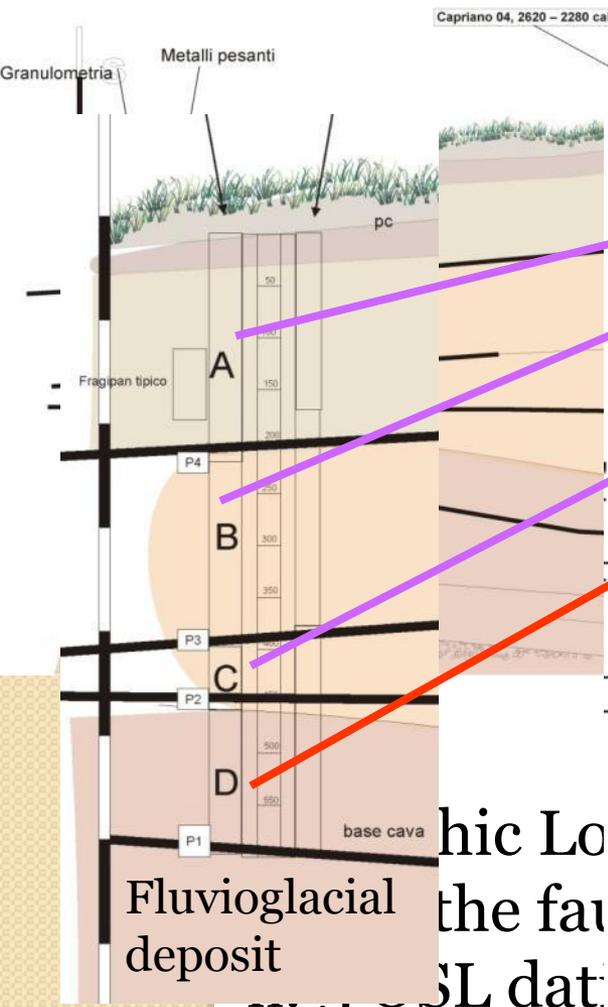


E1: $F1 = 58 \text{ cm}$, $F2 = 0 \text{ cm}$ (probabilmente)

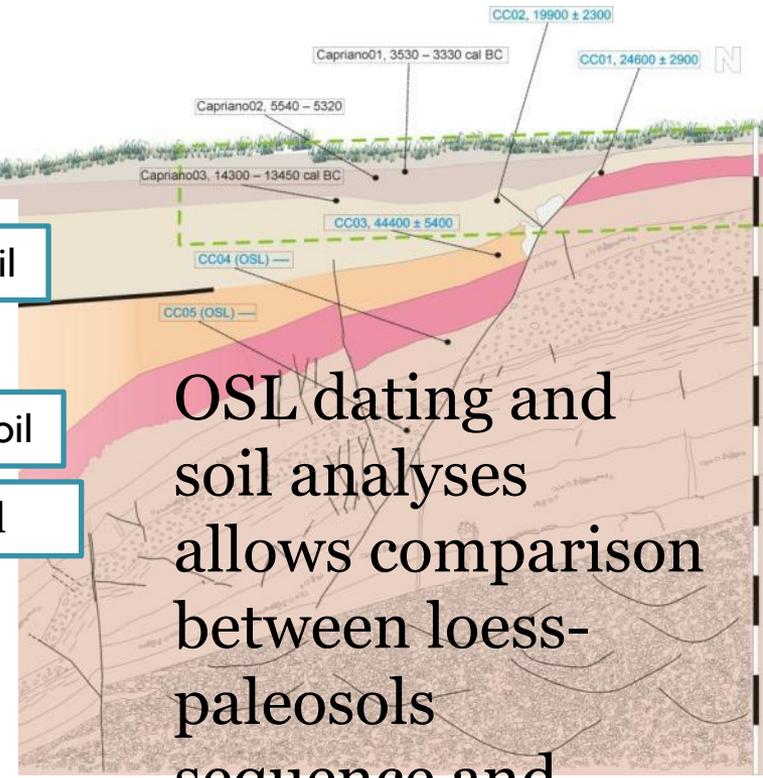
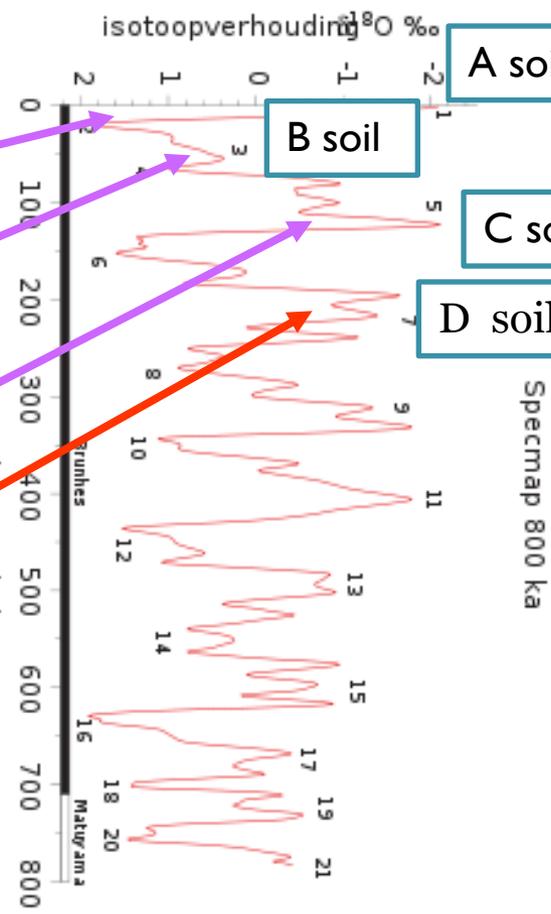
E2: $F1 = 0 \text{ cm}$, $F2 = 21 \text{ cm}$

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





Capriano 04, 2620 ± 2280 cal BC



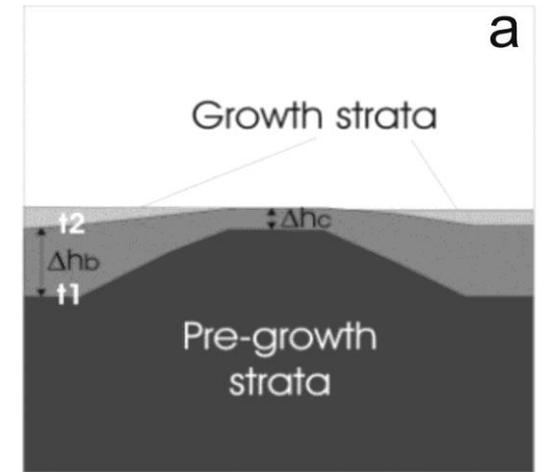
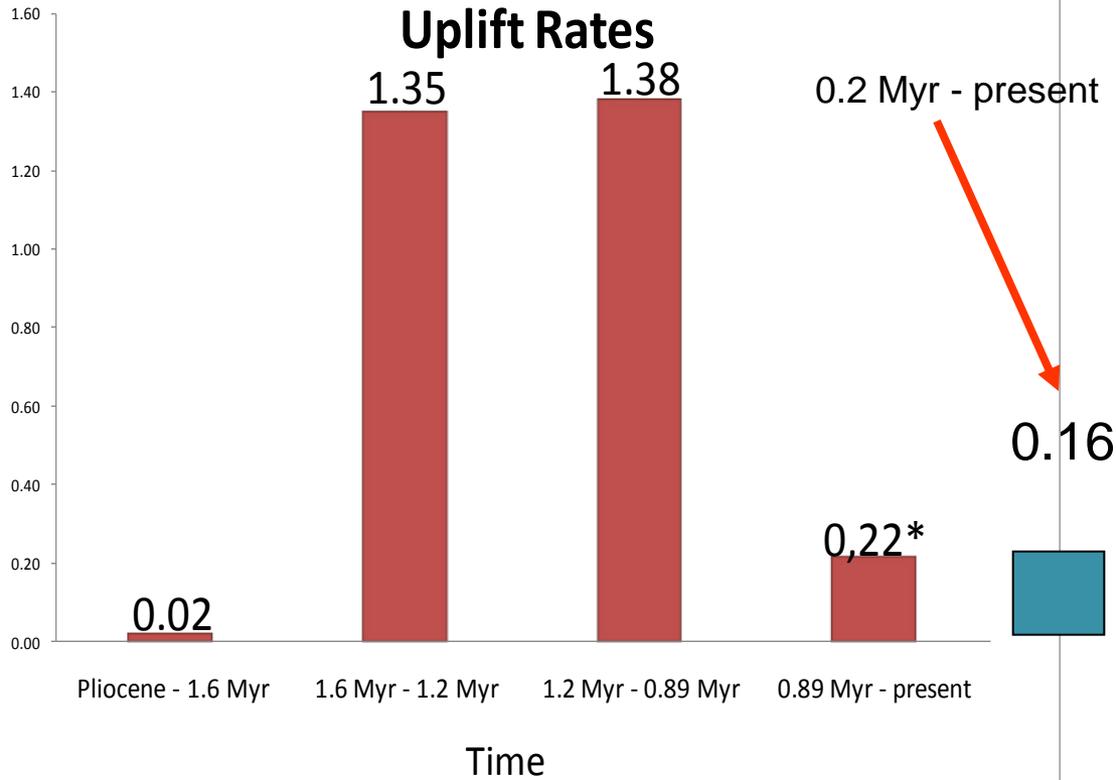
OSL dating and soil analyses allows comparison between loess-paleosols sequence and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ derived

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

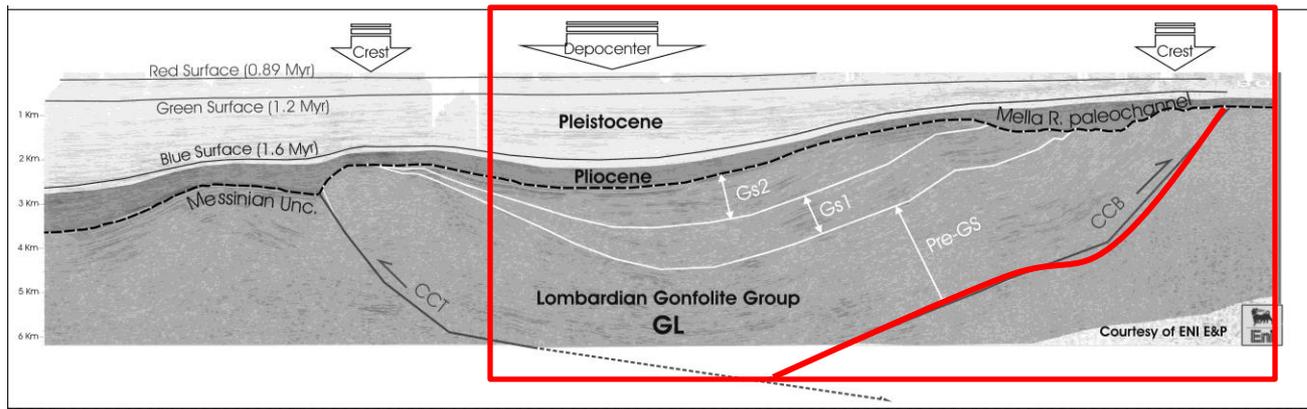
- n. 4 C14 AMS datings
- extensive pedostratigraphic analyses

Capriano del Colle Backthrust (CCB)

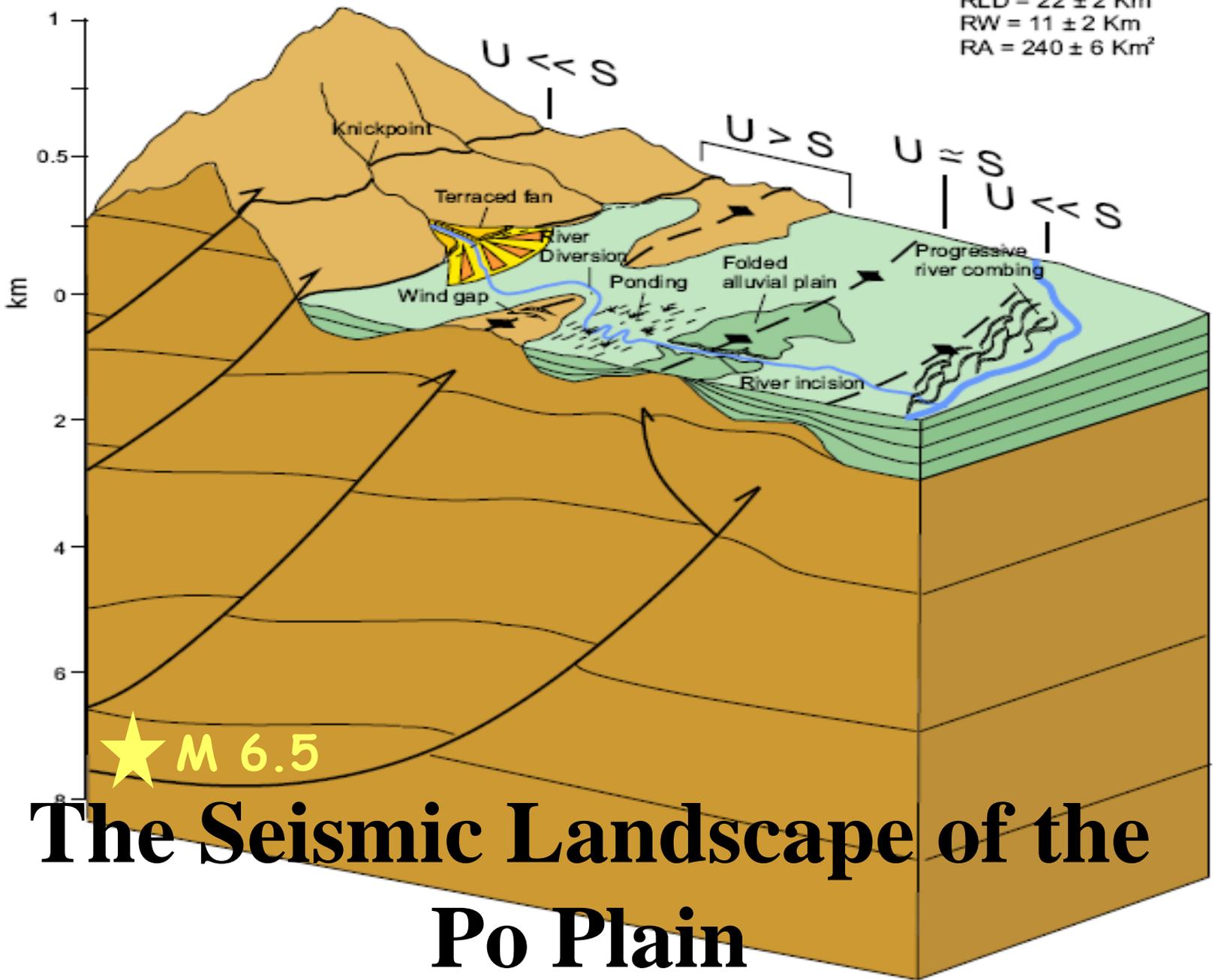
Uplift Rates



$$\text{Uplift Rate } (t_1-t_2) = (\Delta hb - \Delta hc) / (t_1-t_2)$$



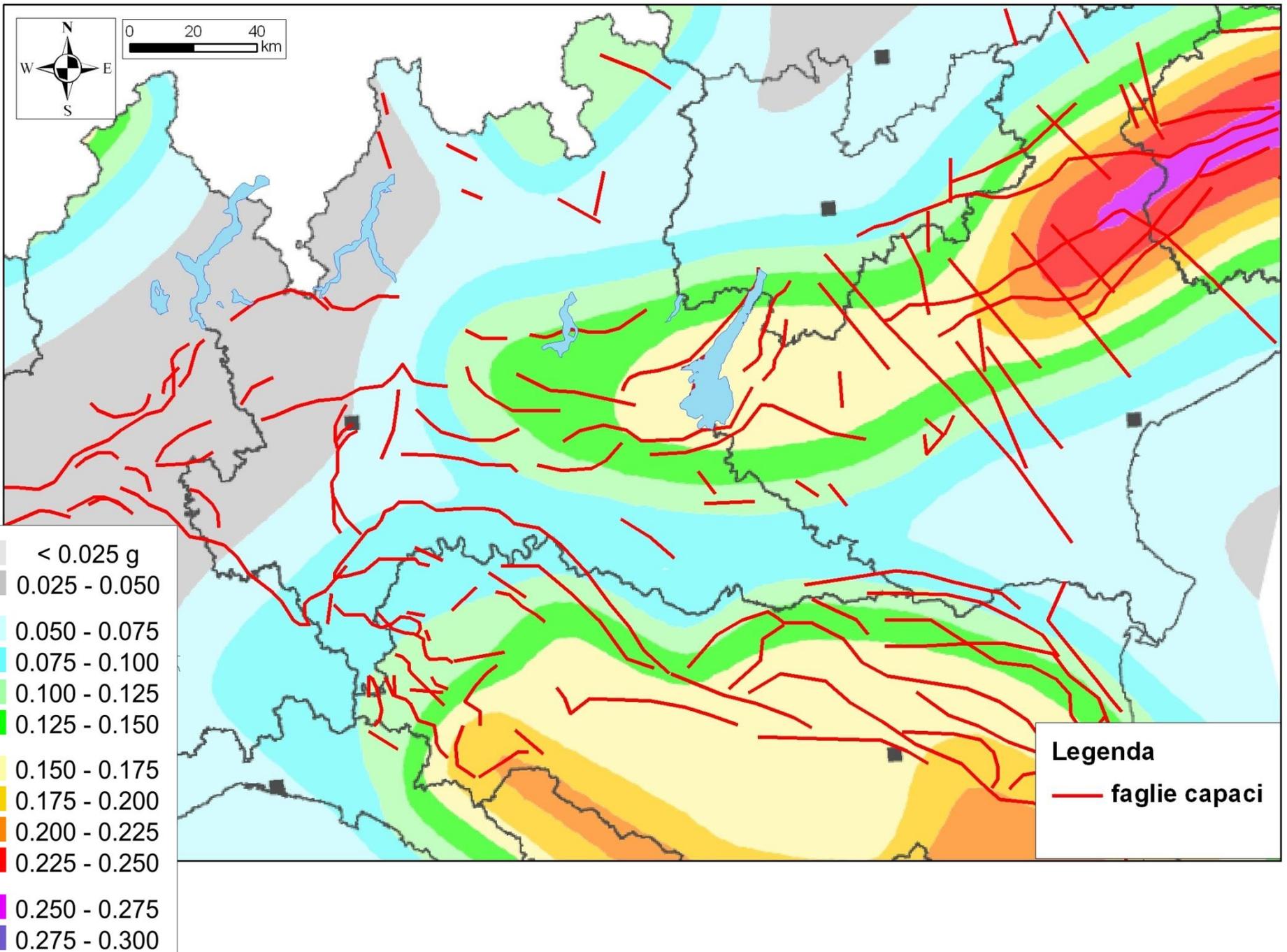
M = 6.5
RLD = 22 ± 2 Km
RW = 11 ± 2 Km
RA = 240 ± 6 Km²



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





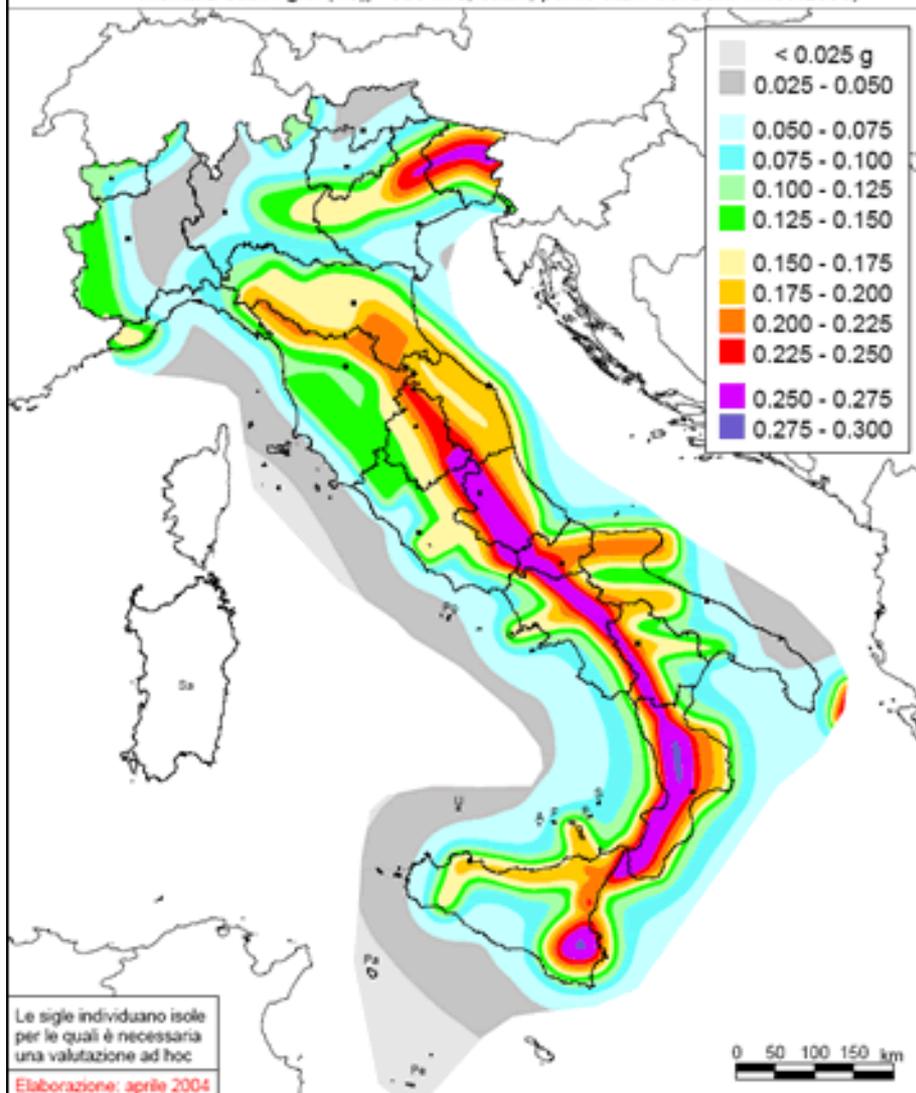
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

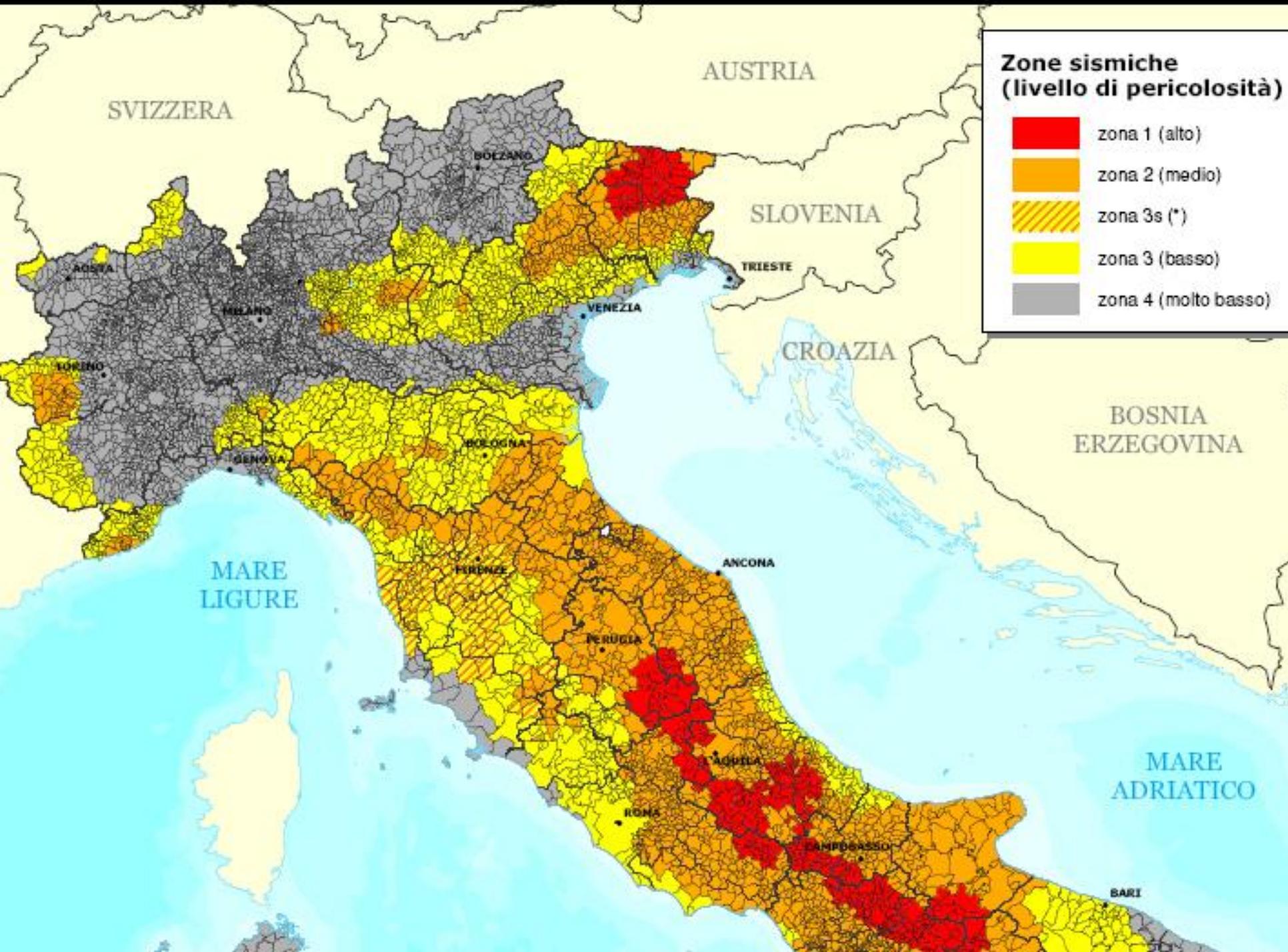
(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

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





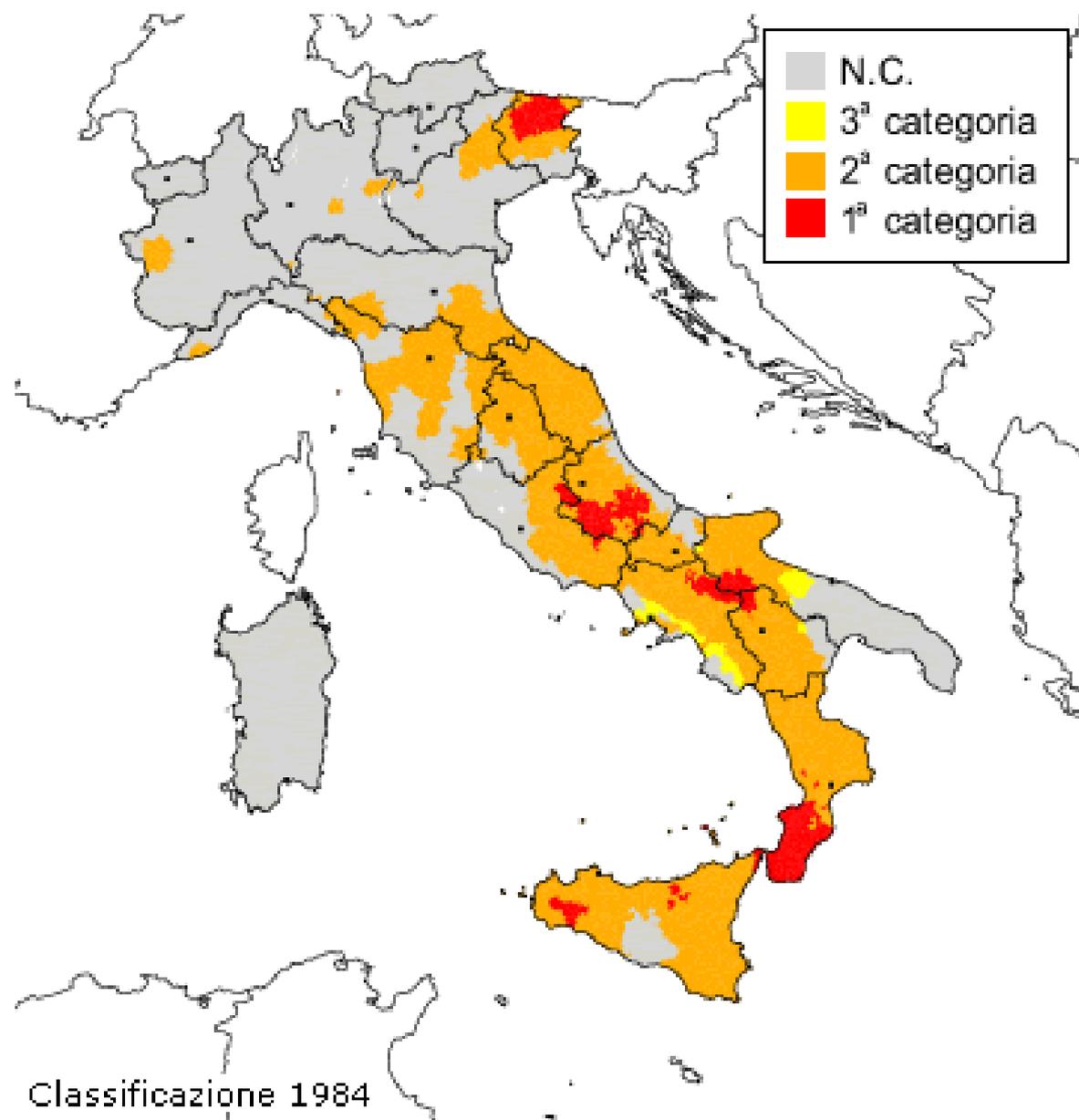
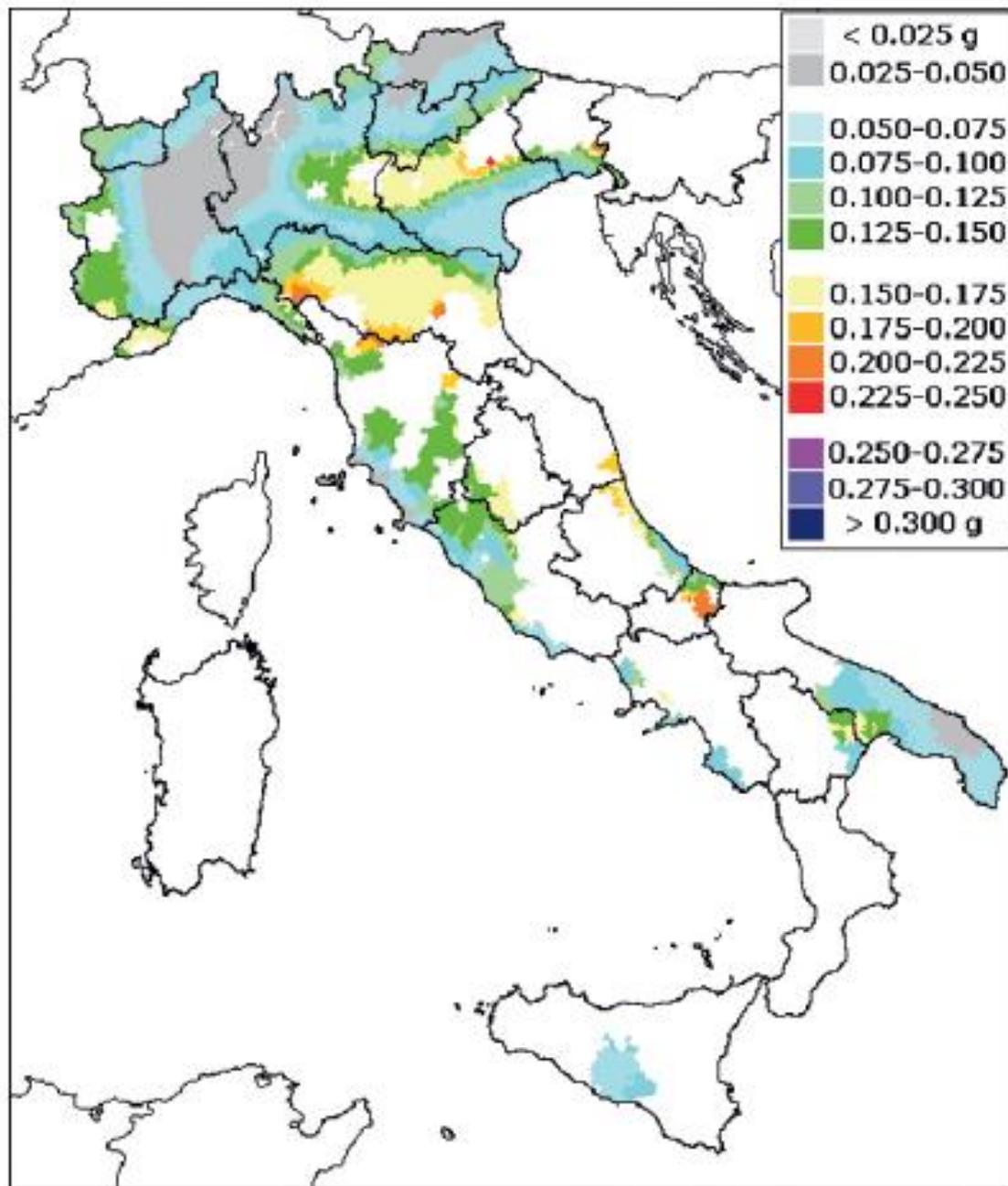


Figura 7
Mappa del deficit di
sicurezza sismica, espressa
in termini di valori della
accelerazione di progetto
secondo i quali avrebbero
dovuto essere costruiti gli
edifici, nei comuni
classificati come sismici per
la prima volta nel 2003 ai
sensi della OPCM
3274/2003.



- 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 !!!