

Un occhio esperto nel sottosuolo della pianura padana, seminario conclusivo, area pilota italiana
Milano, 23 Aprile 2015

Faglie sepolte e sorgenti sismogenetiche nell'area Pilota Italiana

Pierfrancesco Burrato & Umberto Fracassi
INGV, Roma



Obiettivi della linea di ricerca INGV



Sorgenti Sismogenetiche

- migliorare le conoscenze sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche note;
- identificare nuove sorgenti sismogenetiche;

Interazione tra faglie

- studiare l'interazione tra i sistemi a thrust e le strutture ereditate del basamento;
- studiare il potenziale di riattivazione delle strutture ereditate (*preliminare*);

Gerarchizzazione delle faglie

- classificazione sulla base di 1- potenziale attività, 2- potenziale sismogenetico e 3- gerarchia
- includere i risultati nel *WebGIS* GeoMol e ove possibile nel *database* DISS.

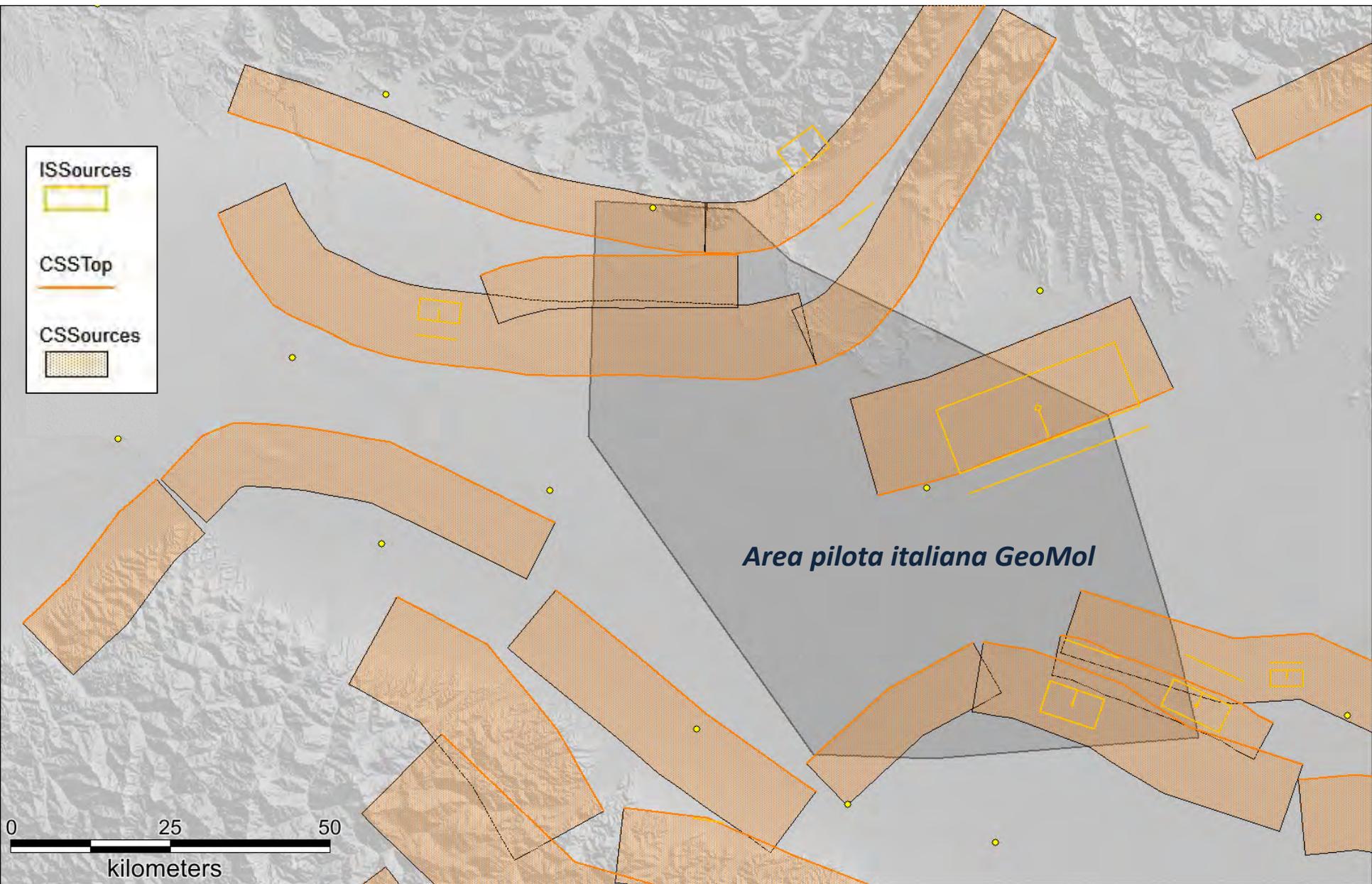
Dati utilizzati



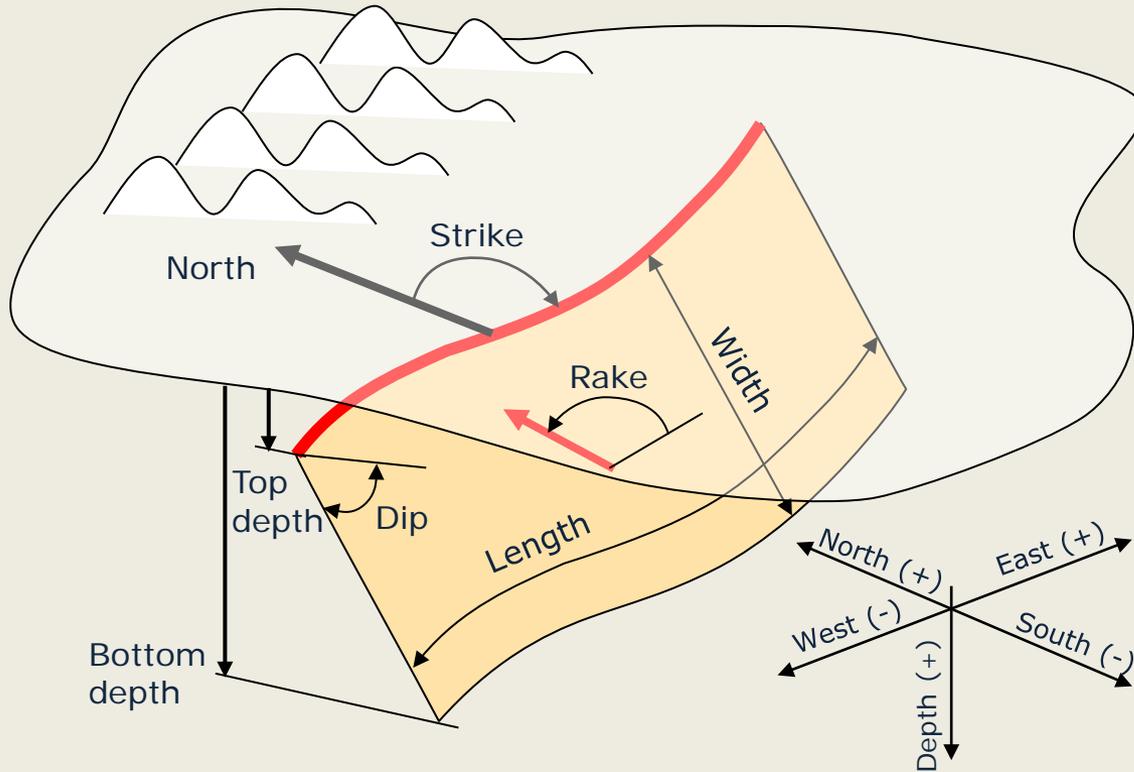
- 1- Dati di sottosuolo derivanti da stratigrafie di pozzo e interpretazione di linee sismiche (ENI);
- 2- principali orizzonti stratigrafici (interpretati);
- 3- piani di faglia (interpretati);
- 4- età dei sedimenti coinvolti nella deformazione/fagliazione;
- 5- banca dati Sorgenti Sismogenetiche DISS (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>);
- 6- banche dati sismologiche e dati di deformazione attiva.

1/2/3/4 Costituiscono e/o sono estratti dal modello geologico 3D GeoMol

Sorgenti Sismogenetiche: DISS v. 3.2beta



Generalized 3D seismogenic source model (used for ground-shaking hazard assessment)



Geometry

Location: Lat, Lon, Depth
Size: Length, Width
Orientation: Strike, Dip
Fault segments

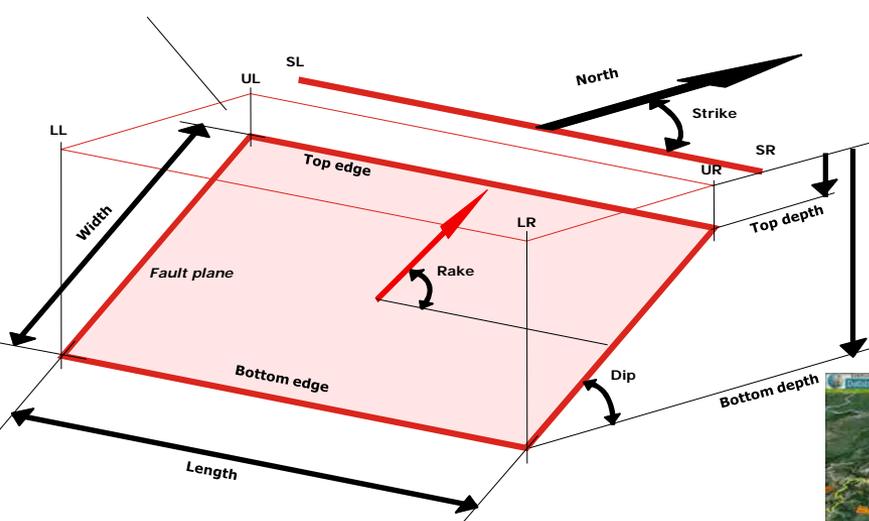
Behavior

Rake
Displacement at surface
Displacement at depth
Slip Rate
Earthquake Magnitude
Activity Rate
Earthquake history

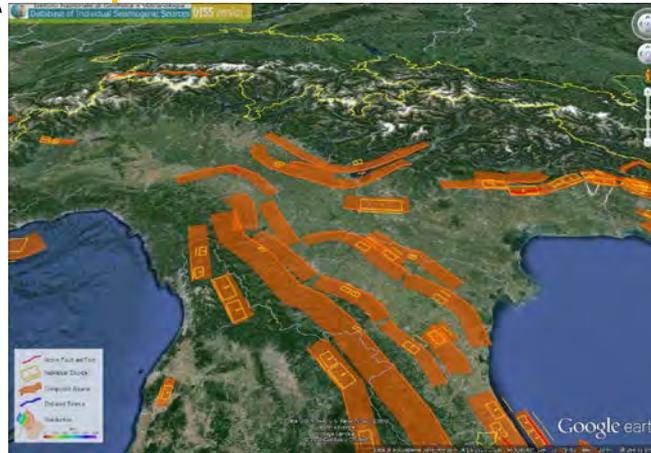
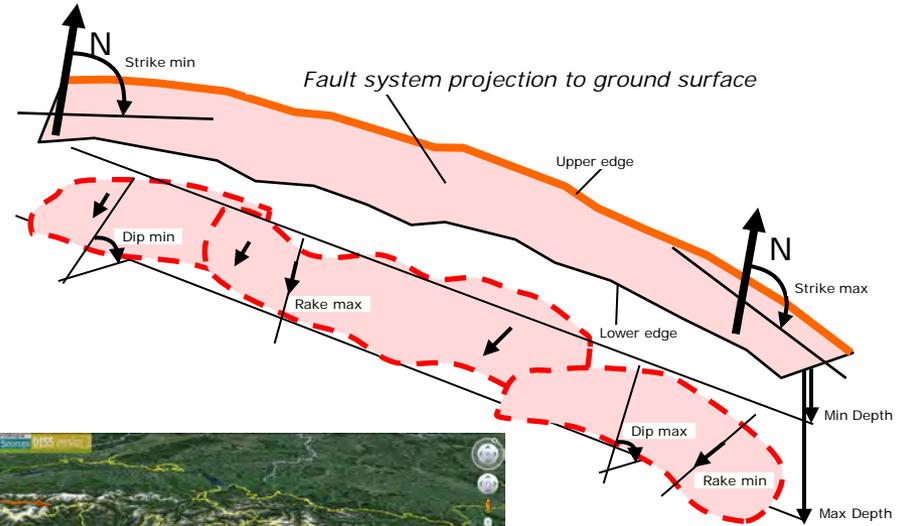
Individual vs Composite seismogenic sources

(1) the **Individual Seismogenic Source**, a simplified representation of a fault plane that released, or is deemed to release in the future, a specific earthquake. This type of source is thought to have "characteristic" behaviour with respect to rupture length/width and expected magnitude.

Fault projection to ground surface



(2) the **Composite Seismogenic Source**, an elongated region containing an unspecified number of aligned seismogenic sources that cannot be singled out. This type of seismogenic source is not associated with a specific set of earthquakes or earthquake distribution.



Obiettivi della linea di ricerca INGV



Sorgenti Sismogenetiche

- migliorare le conoscenze sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche note;
- identificare nuove sorgenti sismogenetiche;

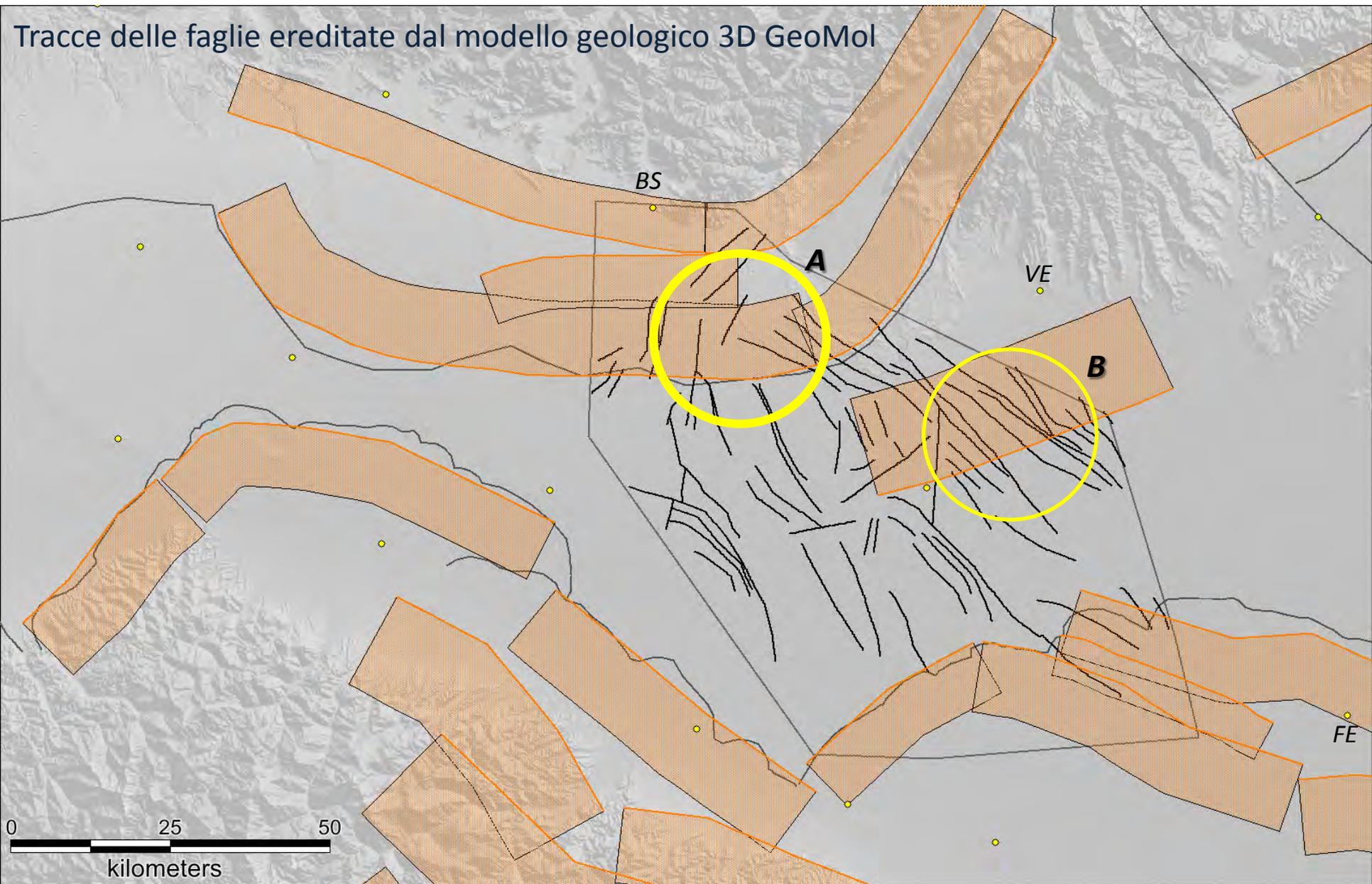
Interazione tra faglie

- studiare l'interazione tra i sistemi a thrust e le strutture ereditate del basamento;
- studiare il potenziale di riattivazione delle strutture ereditate (*preliminare*);

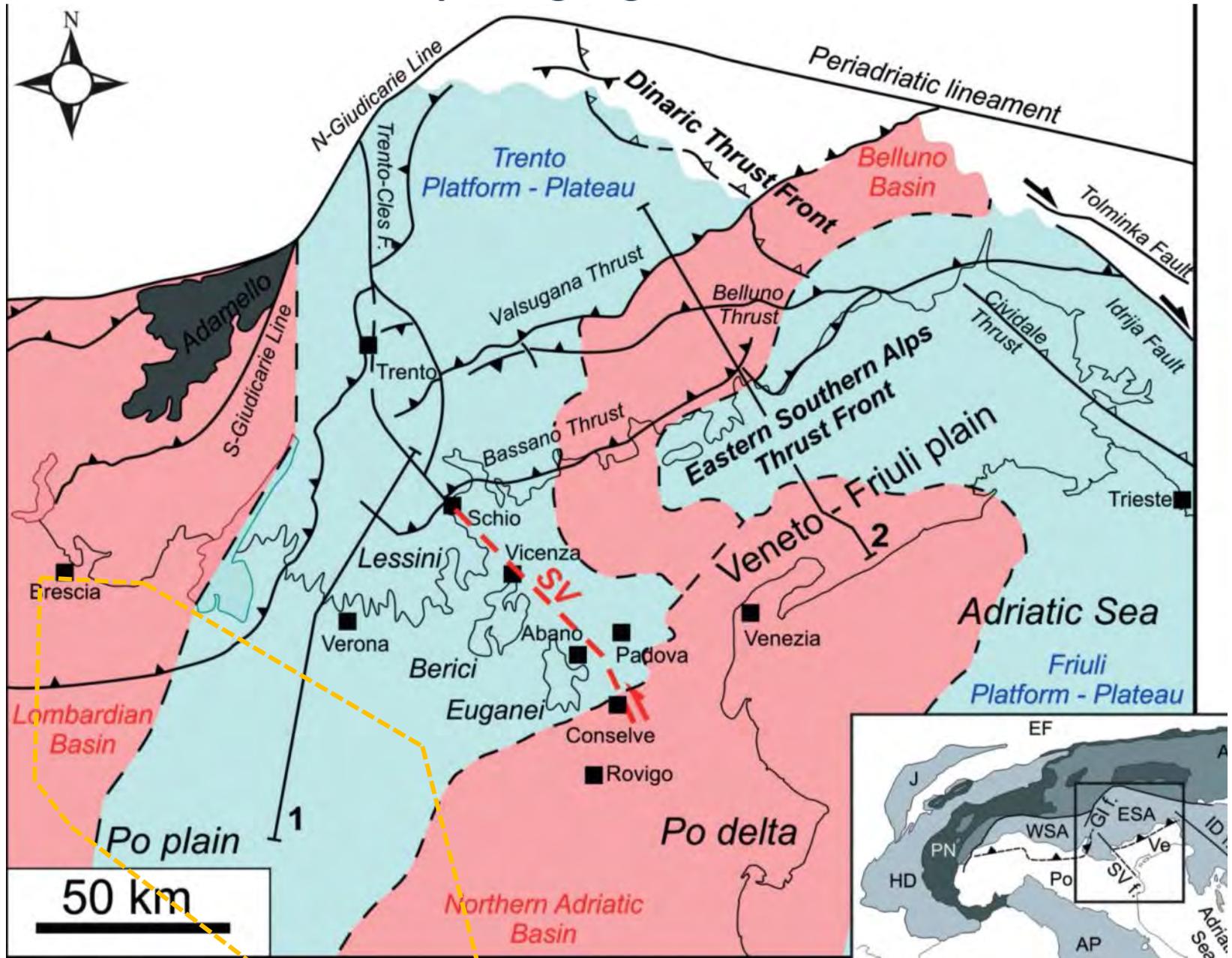
Gerarchizzazione delle faglie

- classificazione sulla base di 1- potenziale attività, 2- potenziale sismogenetico e 3- gerarchia
- includere i risultati nel *WebGIS* GeoMol e ove possibile nel *database* DISS.

Interazione tra thrust e faglie ereditate e geometria dei fronti



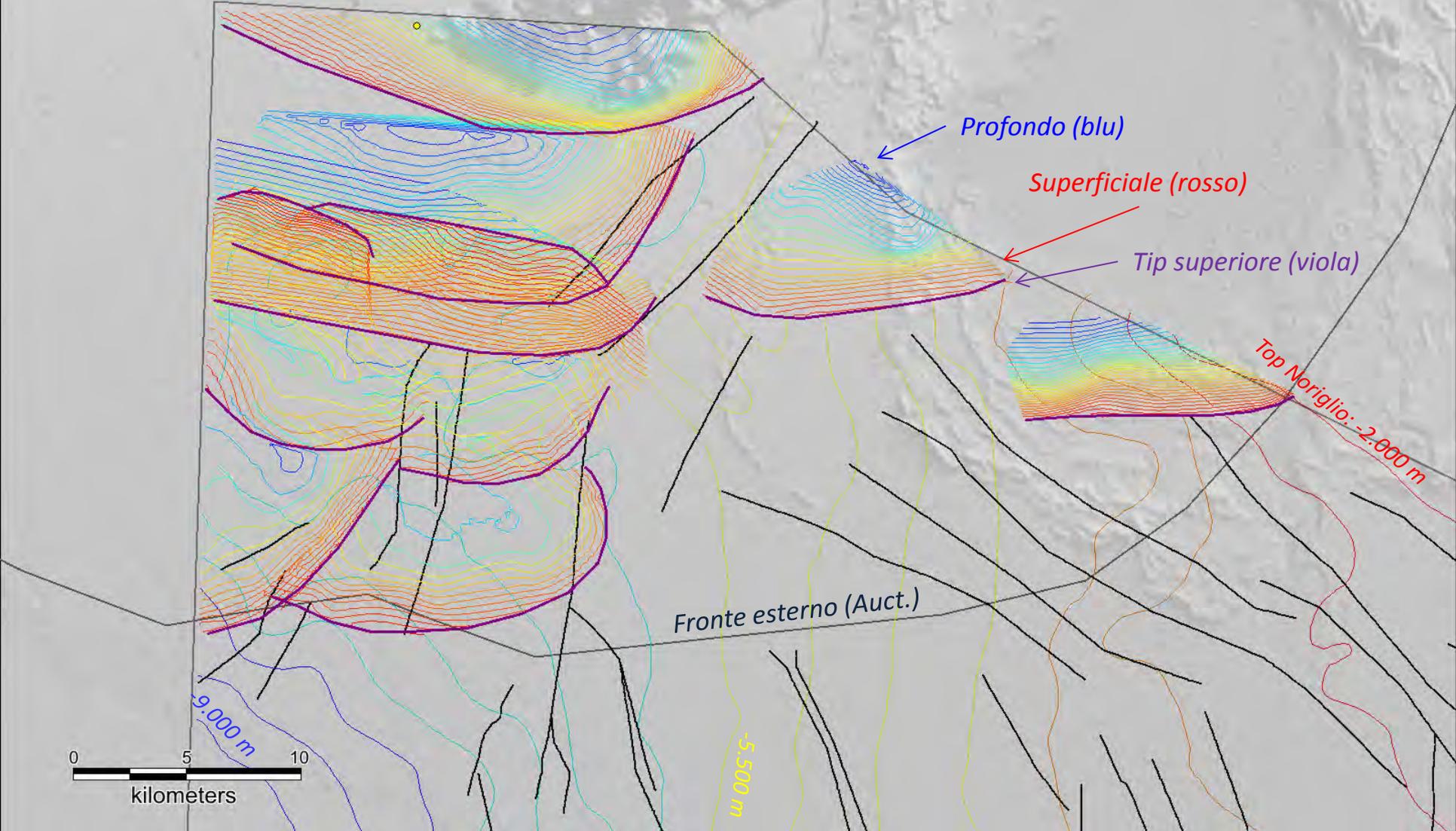
Domini paleogeografici Mesozoici



A- Il fronte esterno del Sudalpino

Faglie: isobate ogni 200 m
Top Noriglio: isobate ogni 500 m

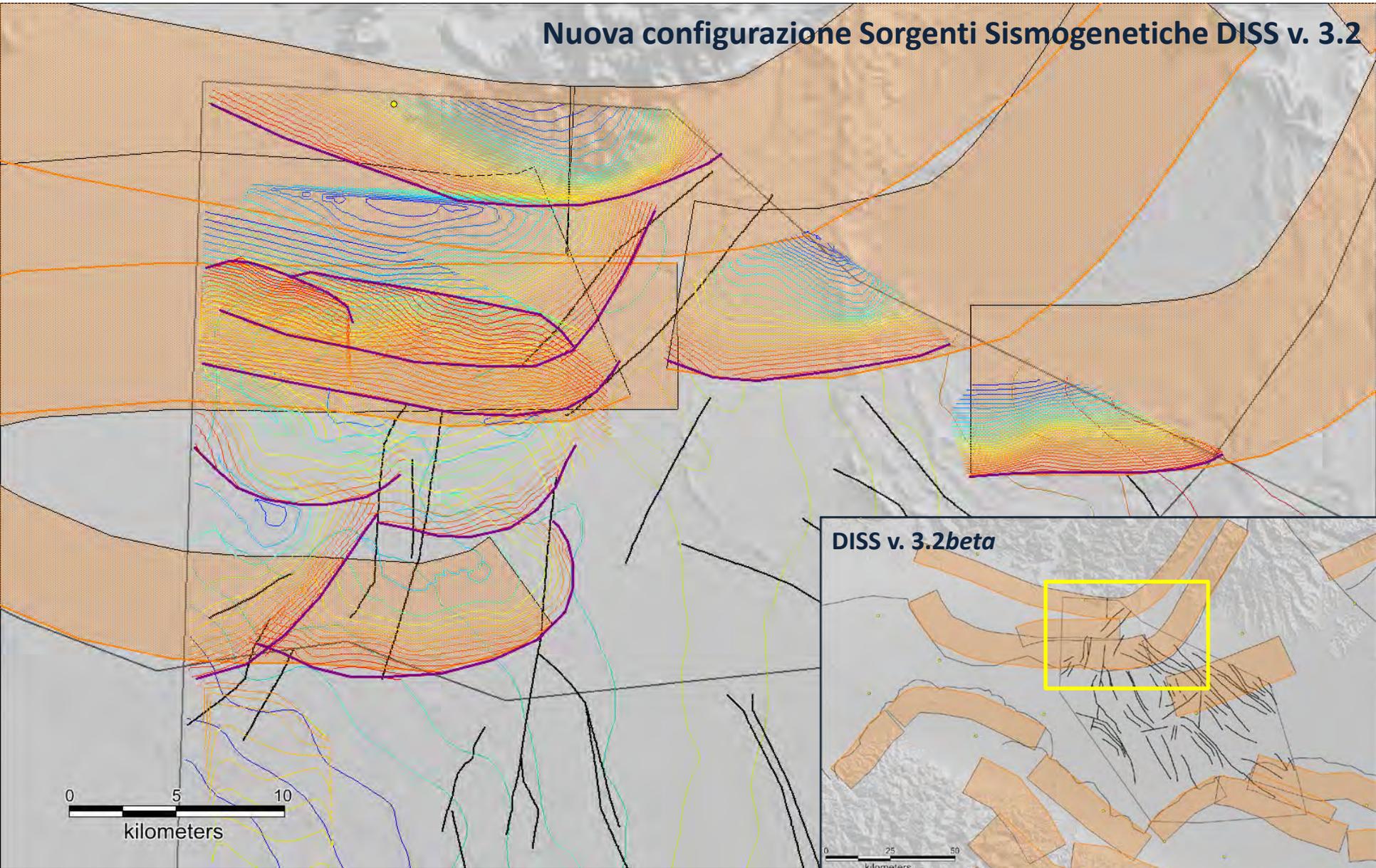
Superfici thrust e Top Noriglio dal modello geologico 3D GeoMol



La continuità dei fronti esterni del Sudalpino è interrotta dalle faglie ereditate nel basamento sedimentario

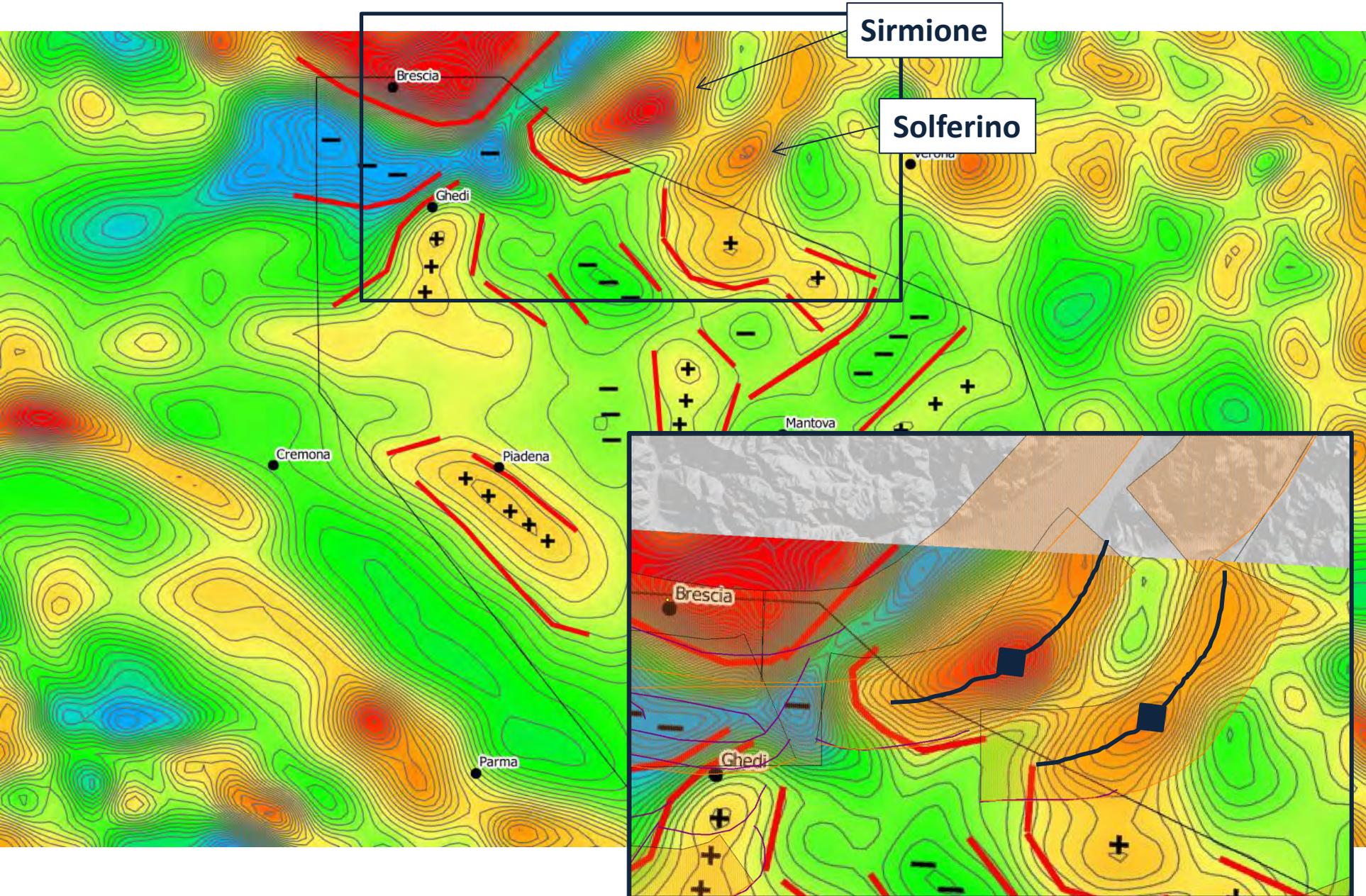
A- Il fronte esterno del Sudalpino

Nuova configurazione Sorgenti Sismogenetiche DISS v. 3.2

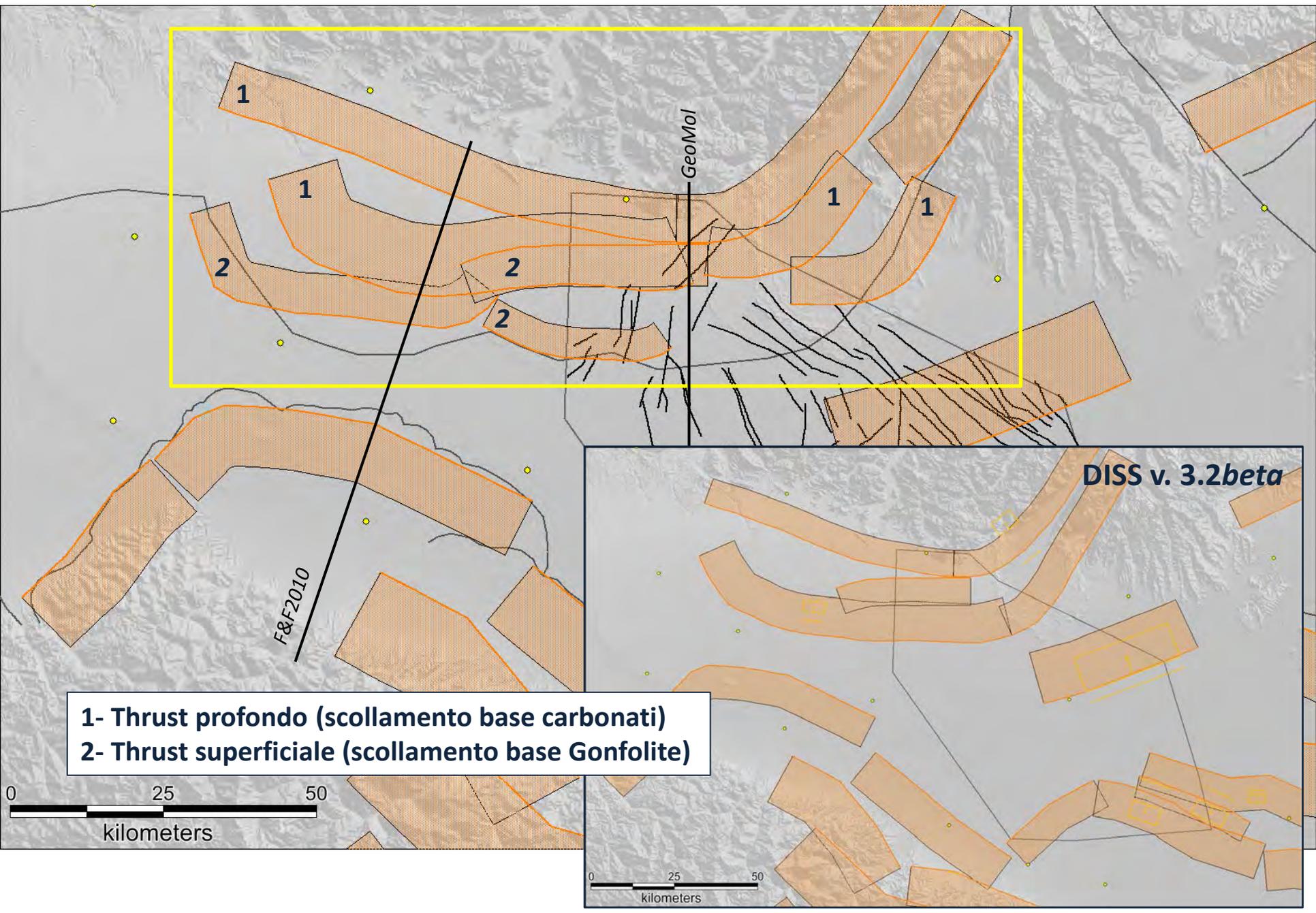


La continuità dei fronti esterni del Sudalpino è interrotta dalle faglie ereditate nel basamento sedimentario

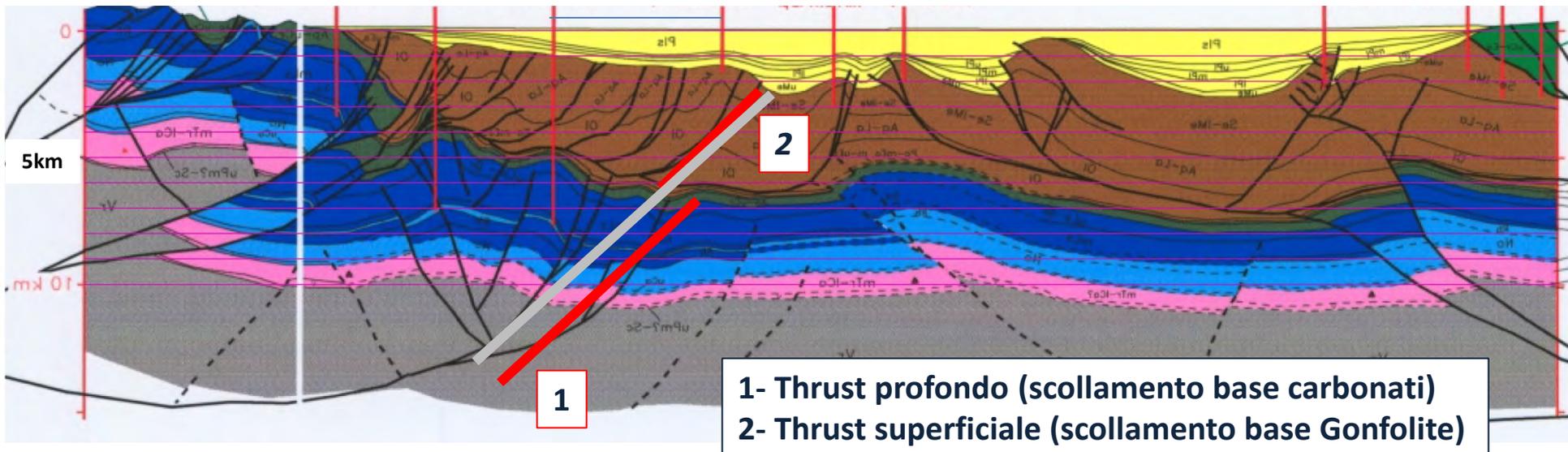
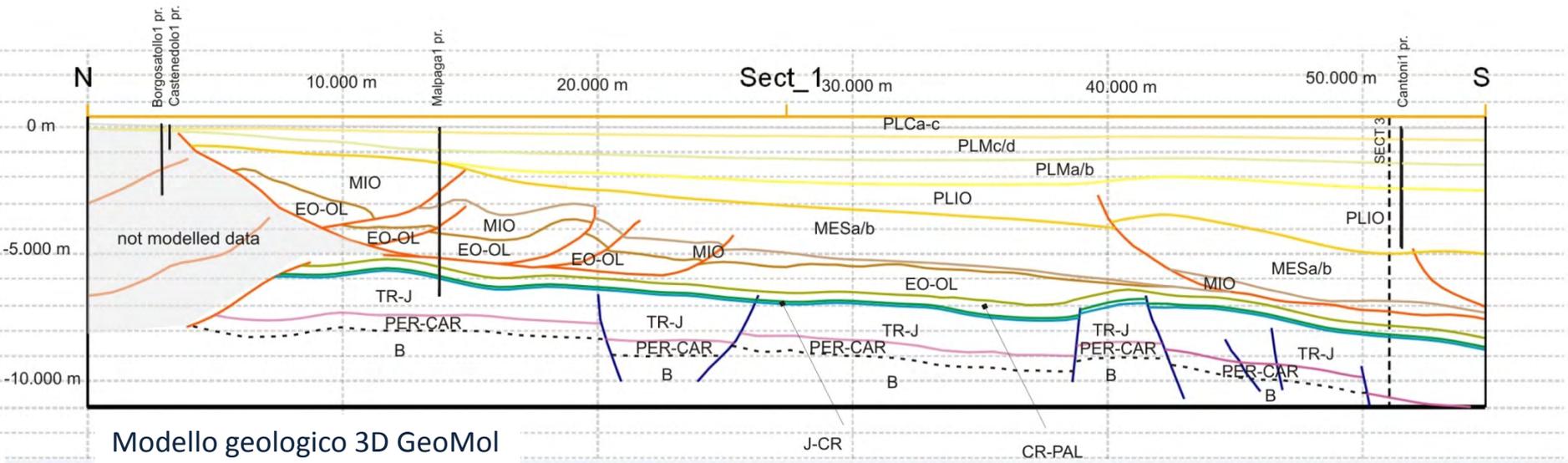
Utilizzo di dati gravimetrici per identificare assi di anticlinali sepolte



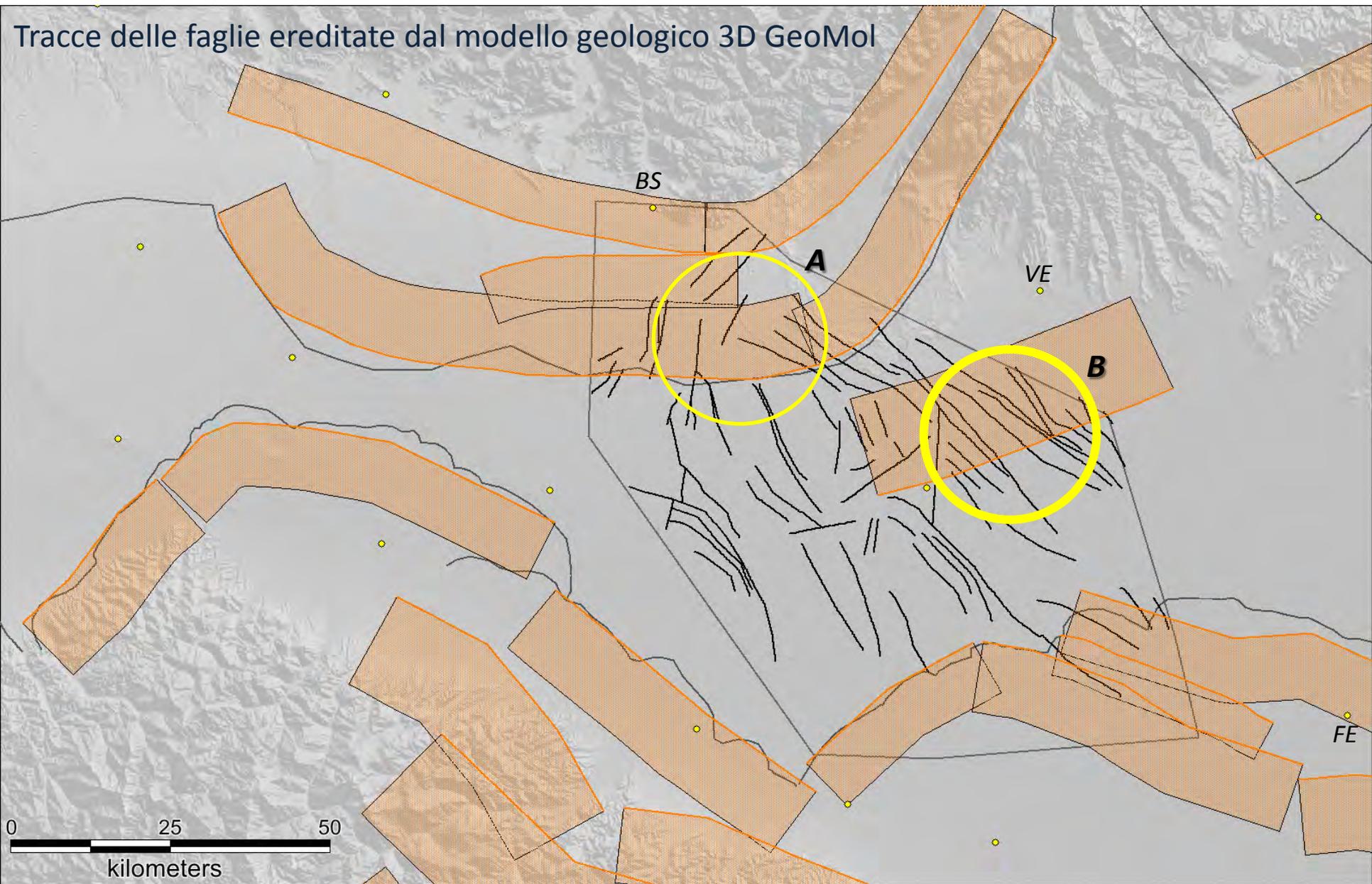
Modifiche alla geometria delle sorgenti anche al di fuori dell'area GeoMol...



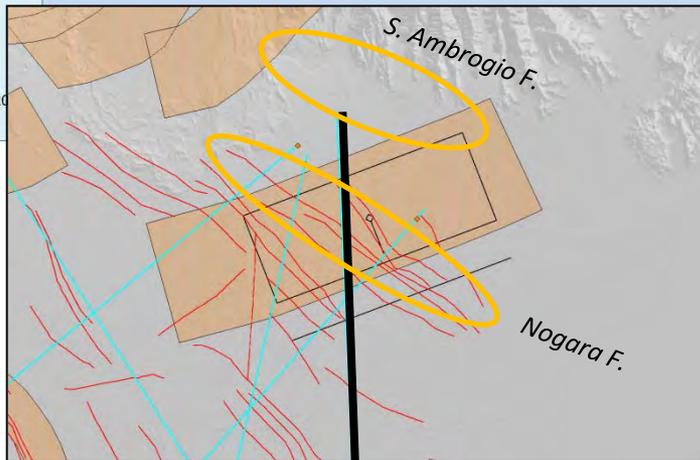
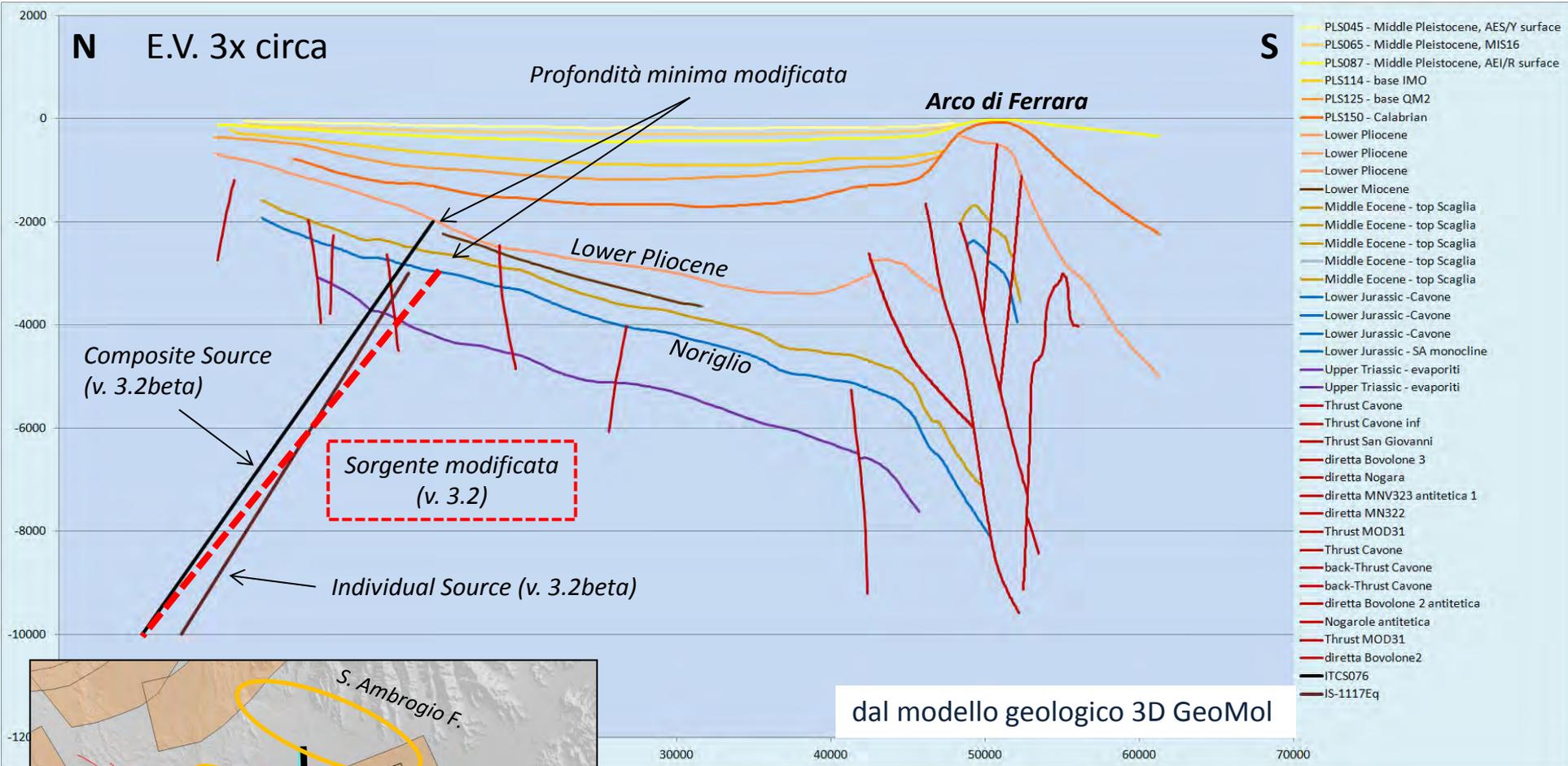
Modifiche alla geometria delle sorgenti anche al di fuori dell'area GeoMol...



Interazione tra thrust e faglie ereditate e geometria dei fronti

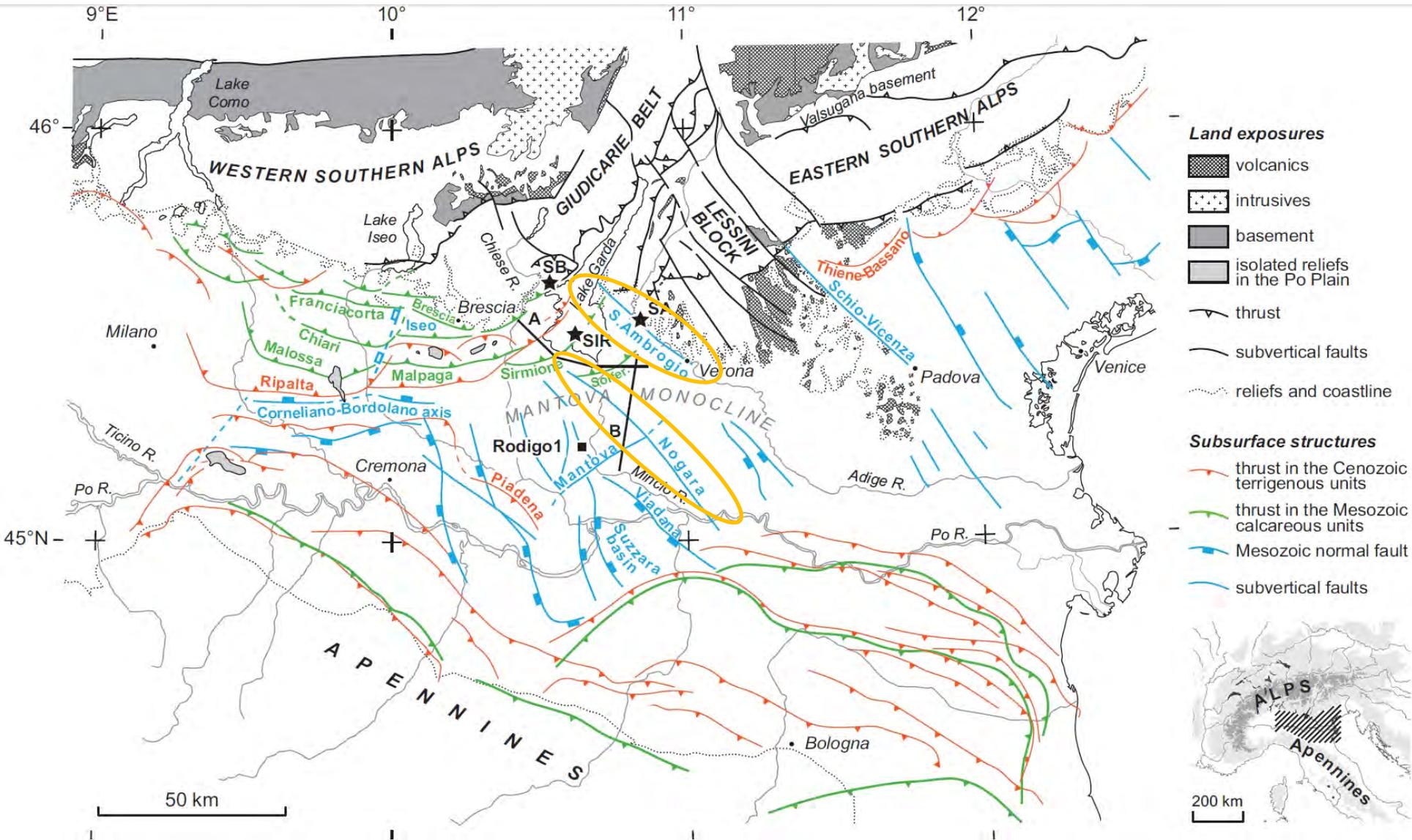


B- La Sorgente Sismogenetica del terremoto del 1117



- Il terremoto più forte della Pianura Padana (Mw 6.7)
- Identificazione mediante anomalie topografiche e del drenaggio
- La posizione spiega la distribuzione del danneggiamento
- Faglie ereditate non contraddicono la sorgente DISS
- Mancano dati più profondi

B- La Sorgente Sismogenetica del terremoto del 1117



Nuove sorgenti sismogenetiche: Piadena

Highlights

- Completa parametrizzazione geometrica/cinematica
- Nessun terremoto storico/strumentale associato

Info Tool

IDSource: ITCS700

SourceName: Piadena

MinDepth: 2.5

MaxDepth: 6.0

StrikeMin: 110

StrikeMax: 150

DipMin: 25

DipMax: 45

RakeMin: 80

RakeMax: 100

SlipRateMin: 0.2300

SlipRateMax: 0.9100

MaxMag: 5.5

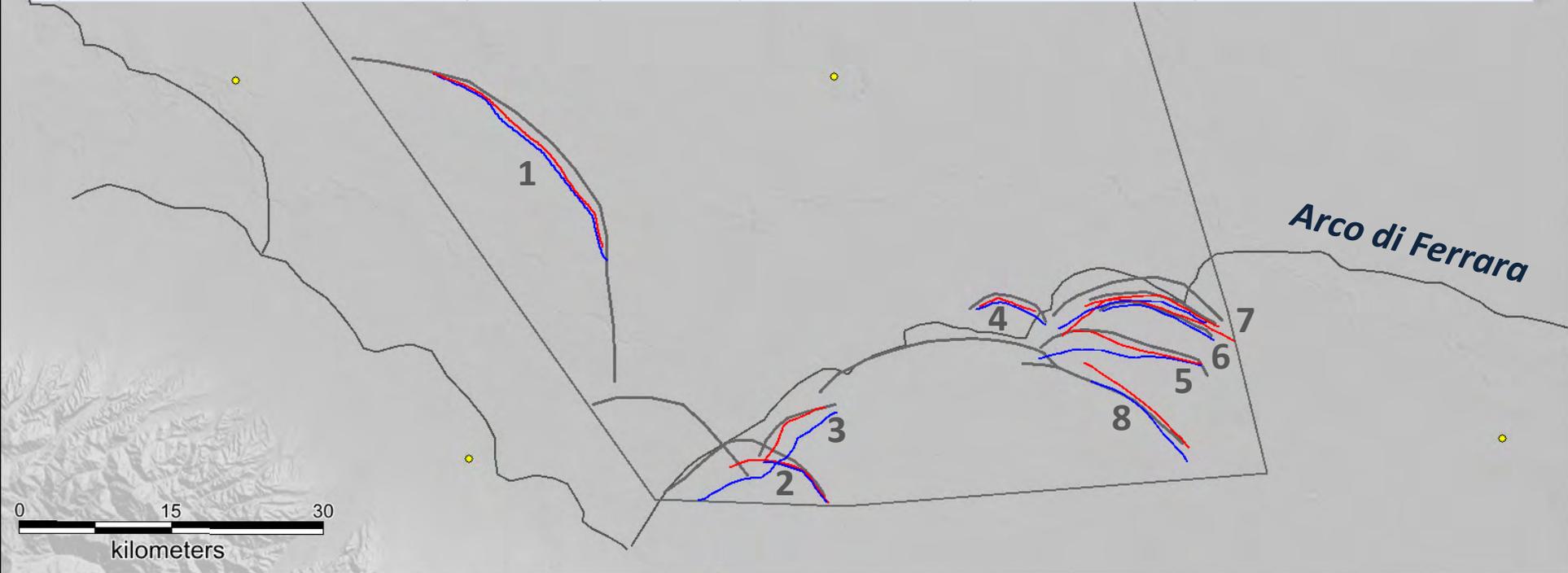
<< >> List CSources

Dati da: Maesano & D'Ambrogi, subm., It. J. Geosc.

| Orizzonte | Età Myr | Intervallo | Tassi sedimentazione | | Durata Myr | Spessore m | Uplift Rate mm/yr | uplift m | Slip piano di faglia m | Slip Rate mm/yr | avg SR mm/yr | Myr |
|-----------|---------|------------|----------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------|------------------------|-----------------------------------|--------------|------|
| Qc3 | 0.45 | Qc3-DEM | 0.4 | mm/yr | 0.45 | 180 | 0.06 | 27 | 104 | 0.23 | 0.23 | 0.45 |
| Qc2 | 0.63 | Qc2-Qc3 | 1.04 | mm/yr | 0.18 | 187.2 | 0.24 | 43.2 | 154 | 0.86 | 0.41 | 0.63 |
| Qc1 | 0.87 | Qc1-Qc2 | 0.54 | mm/yr | 0.24 | 129.6 | 0.15 | 36 | 124 | 0.52 | 0.44 | 0.87 |
| Qm3 | 1.07 | Qm3-Qc1 | 2.91 | mm/yr | 0.20 | 582 | 0.26 | 52 | 149 | 0.74 | 0.50 | 1.07 |
| Qm2 | 1.25 | Qm2-Qm3 | 2.71 | mm/yr | 0.18 | 487.8 | 0.58 | 104.4 | 255 | 1.41 | 0.63 | 1.25 |
| Qm1 | 1.50 | Qm1-Qm2 | 3.59 | mm/yr | 0.25 | 897.5 | 1.2 | 300 | 577 | 2.31 | 0.91 | 1.5 |
| | | | | | Totale: | 2464.1 | Totale: | 562.6 | 1362 | <i>Slip totale ultimi 1.5 Myr</i> | | |

Slip rate calcolati da *footwall* e *hangingwall* cut-offs alla base del Pliocene (5.3 Myr)

| id | Thrust name | Heave (m) | Throw (m) | dip separation (m) | Slip Rate (mm/yr) | standard deviation (mm/yr) |
|----|------------------------------|-----------|-----------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| 1 | Solarolo (Piadena) | 645 | 537 | 839 | 0.16 | 0.05 |
| 2 | Bagnolo | 283 | 164 | 353 | 0.07 | 0.02 |
| 3 | Novellara | 1812 | 2378 | 2997 | 0.57 | 0.07 |
| 4 | Cavone - splay01 (Mod31) | 382 | 379 | 542 | 0.1 | 0.03 |
| 5 | Poggio Rusco 2 (P.R.1) | 475 | 488 | 684 | 0.13 | 0.04 |
| 6 | Poggio Rusco 3 (P.R.2) | 1016 | 768 | 1280 | 0.24 | 0.05 |
| 7 | Poggio Rusco 4 (P.R.3) | 857 | 566 | 1028 | 0.19 | 0.14 |
| 8 | San Felice outer (Concordia) | 801 | 1984 | 2153 | 0.41 | 0.06 |



Cut-offs estratti dal modello geologico 3D GeoMol

Obiettivi della linea di ricerca INGV



Sorgenti Sismogenetiche

- migliorare le conoscenze sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche note;
- identificare nuove sorgenti sismogenetiche;

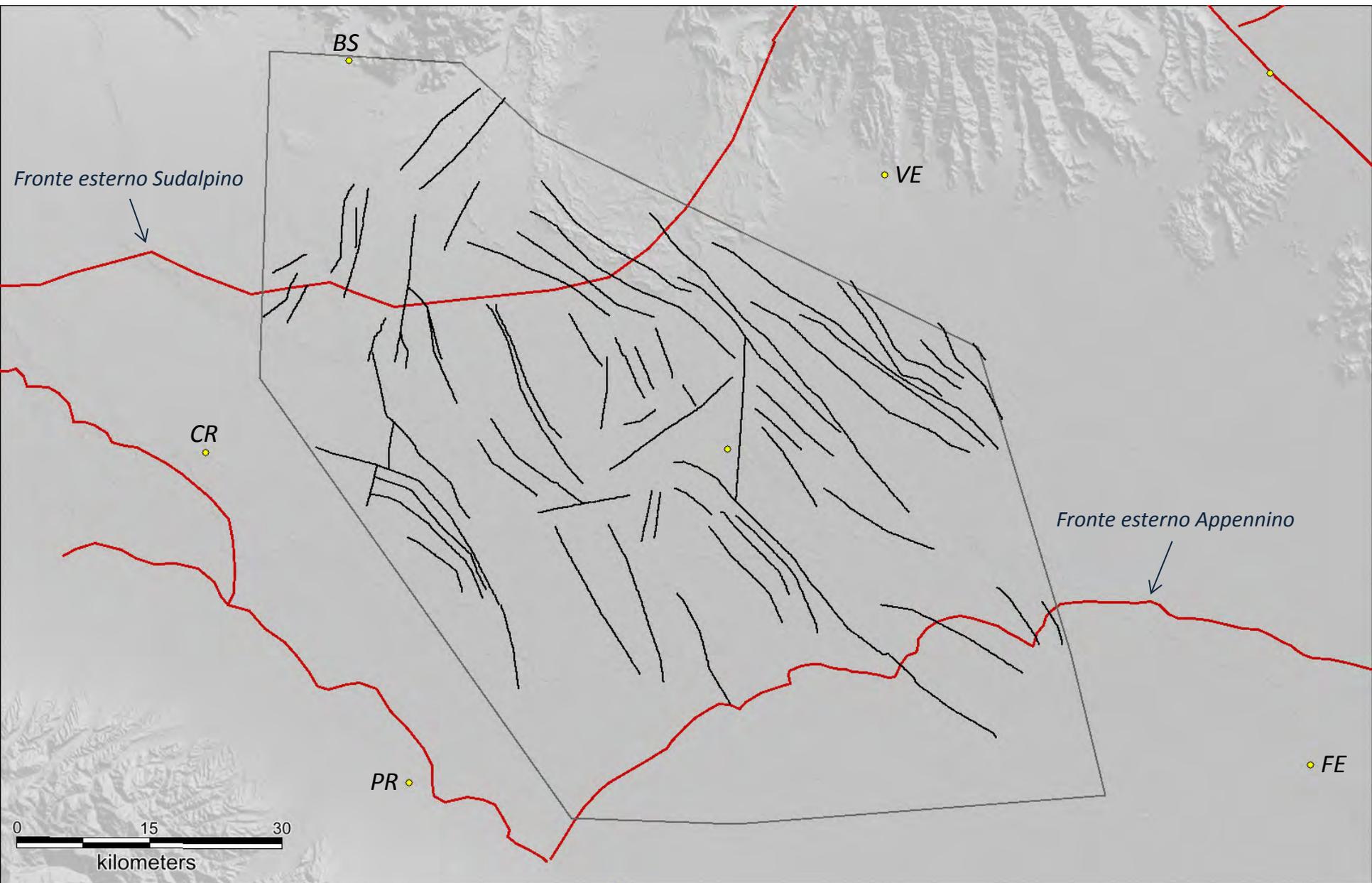
Interazione tra faglie

- studiare l'interazione tra i sistemi a thrust e le strutture ereditate del basamento;
- studiare il potenziale di riattivazione delle strutture ereditate (*preliminare*);

Gerarchizzazione delle faglie

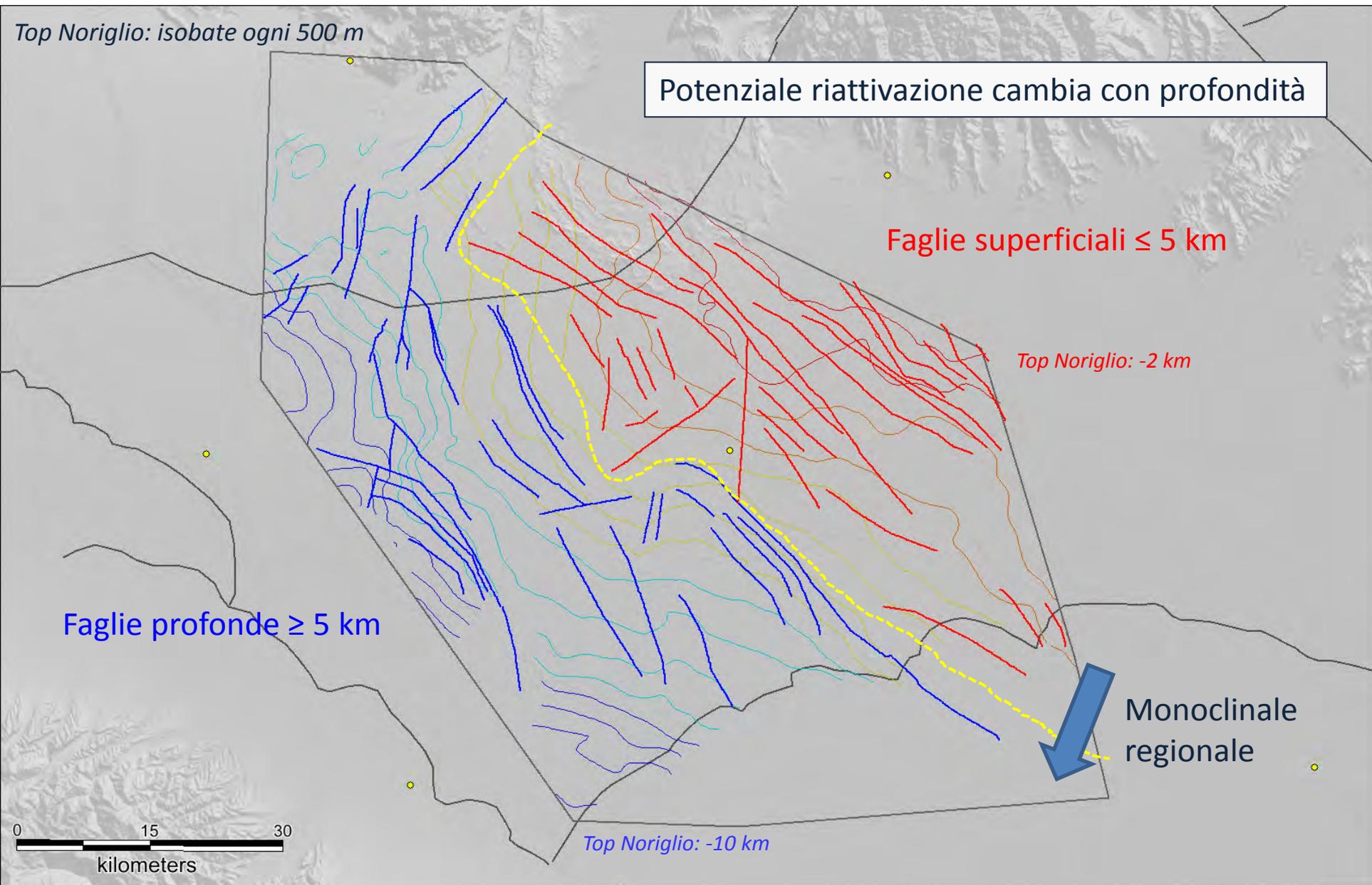
- **classificazione sulla base di 1- potenziale attività, 2- potenziale sismogenetico e 3- gerarchia**
- **includere i risultati nel *WebGIS* GeoMol e ove possibile nel *database* DISS.**

Analisi preliminare: potenziale di riattivazione



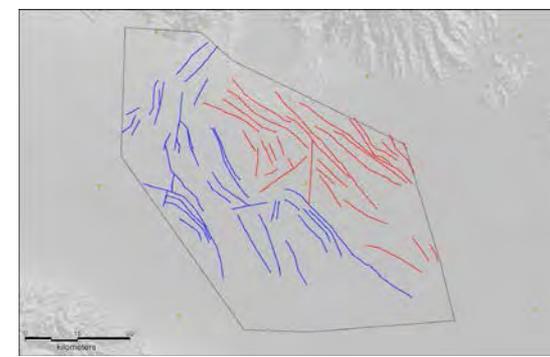
Faglie normali ereditate presenti nel basamento sedimentario di età Mesozoica

Analisi preliminare: potenziale di riattivazione



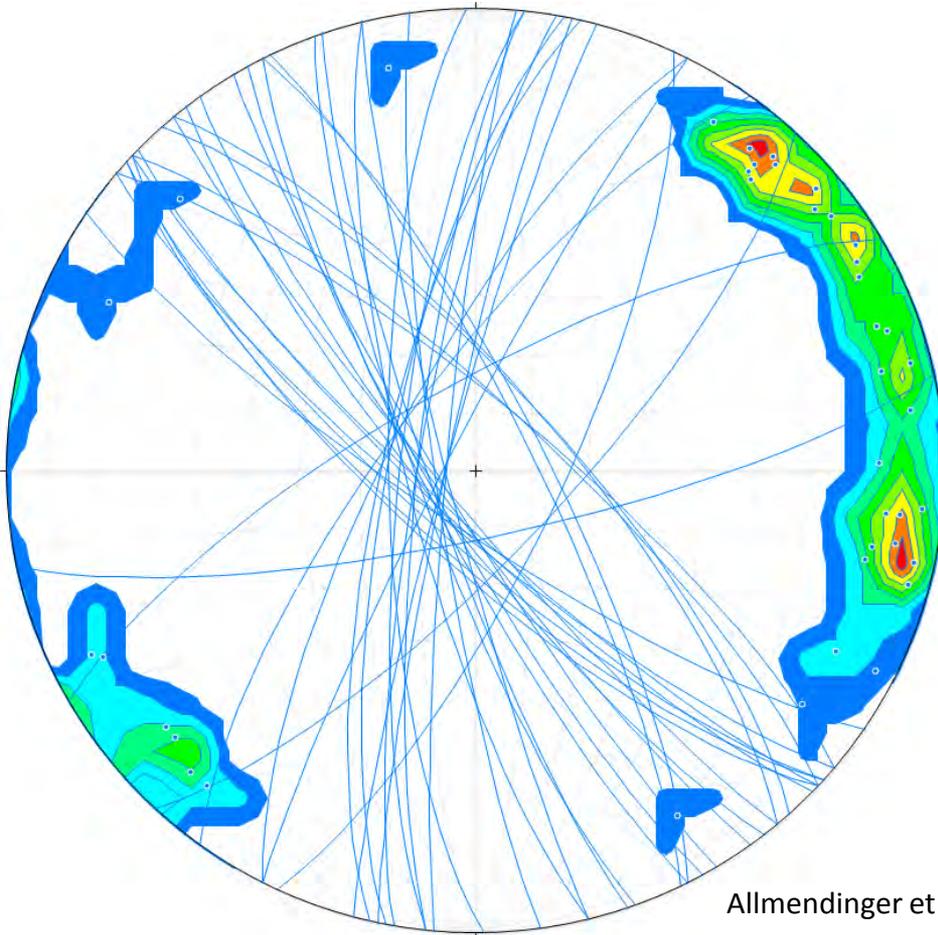
Profondità crescente verso SO che segue andamento monoclinale regionale

Geometria delle faglie ereditate – valore medio



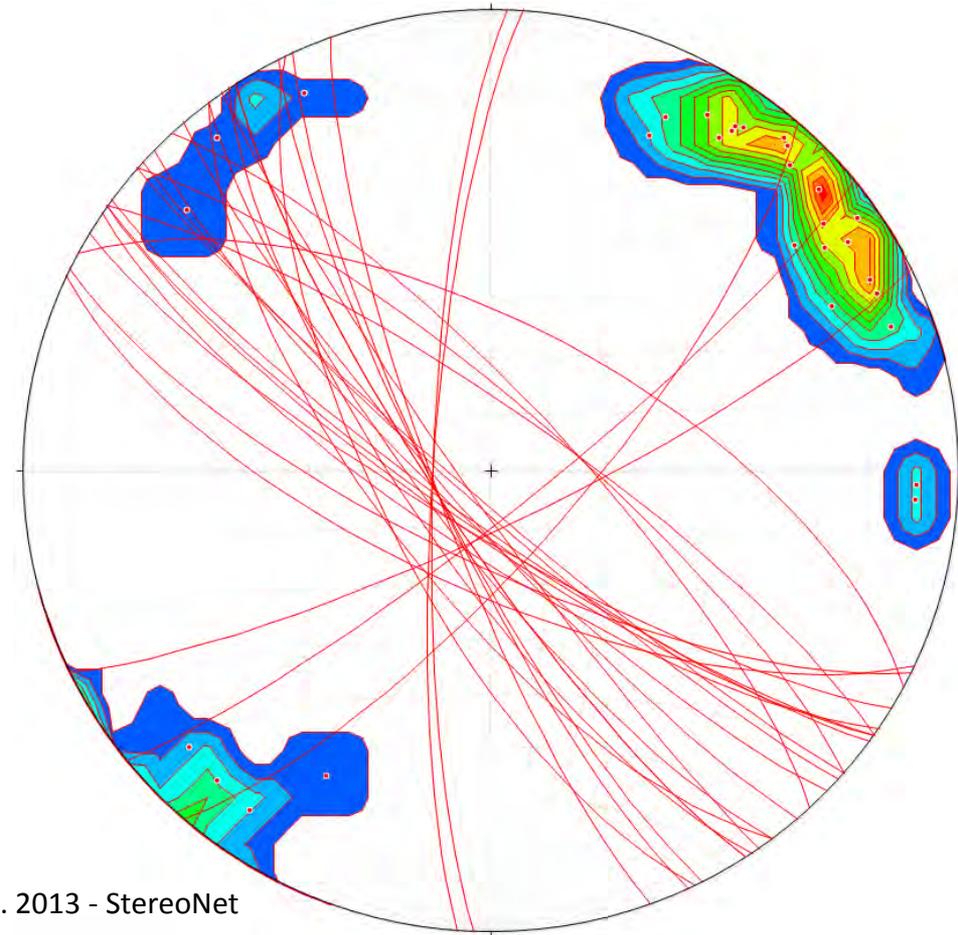
Highlights

- Parametri geometrici (strike, dip) derivati da interpretazione linee sismiche
- Orientamento prevalente NO-SE
- immersione prevalente NE



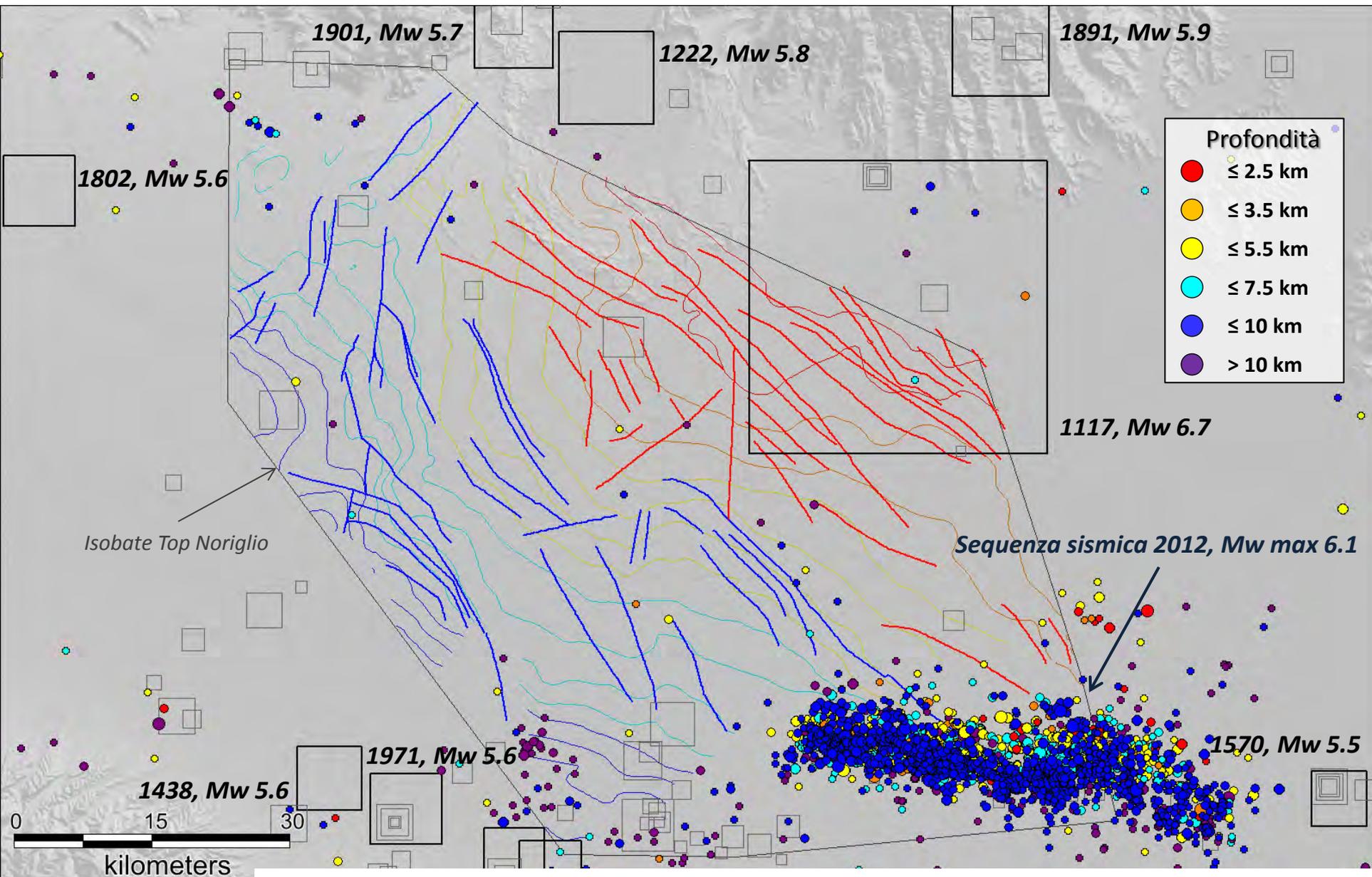
Allmendinger et al. 2013 - StereoNet

Faglie profonde: nr. 30



Faglie superficiali: nr. 40

Sismicità storica e strumentale



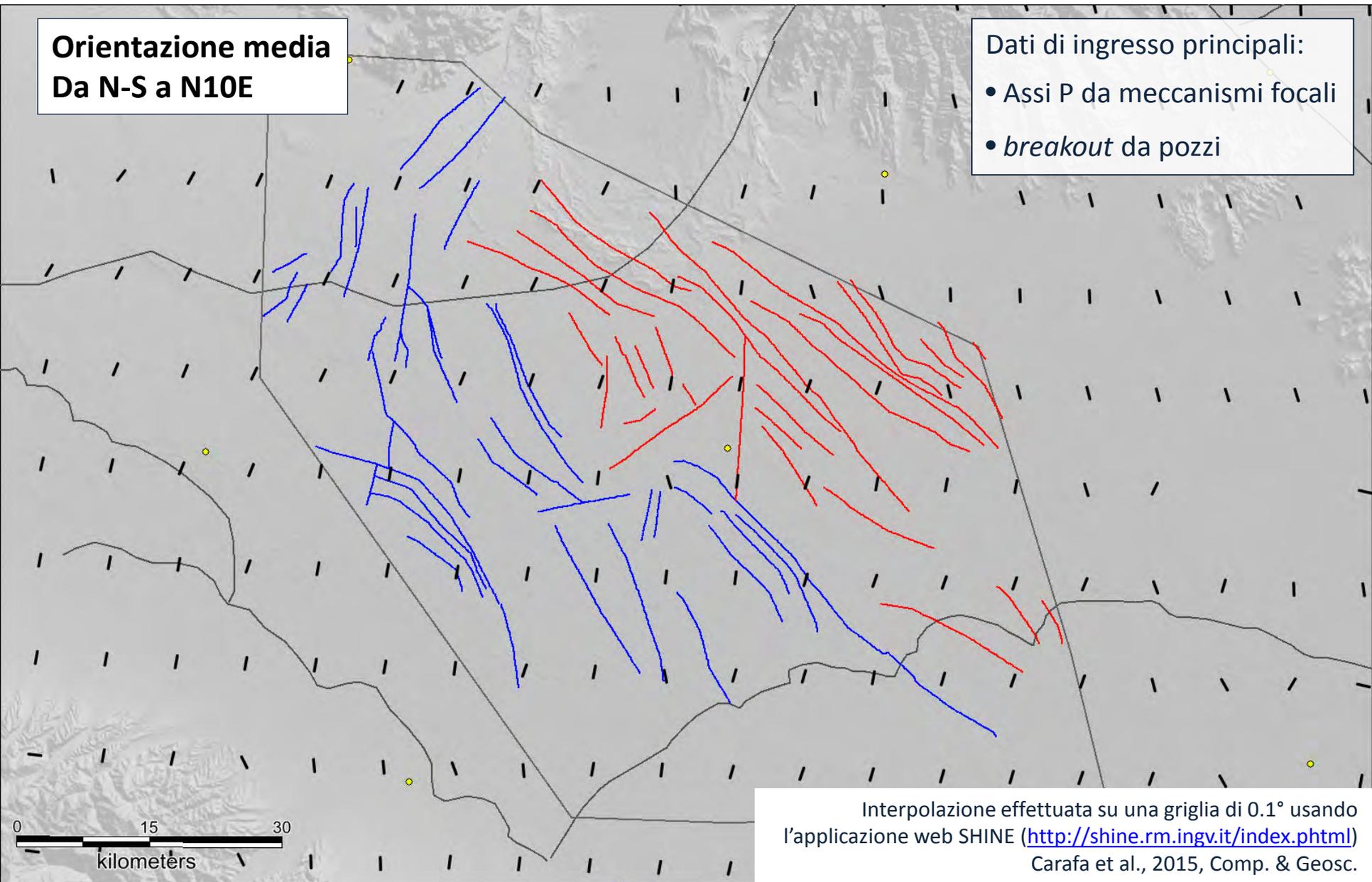
Sismicità storica: Catalogo CPTI11 (Rovida et al., 2011) - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>
Sismicità strumentale (2005-2014): database ISIDE - <http://iside.rm.ingv.it>

Orientazione del campo di sforzi (S_{hmax})

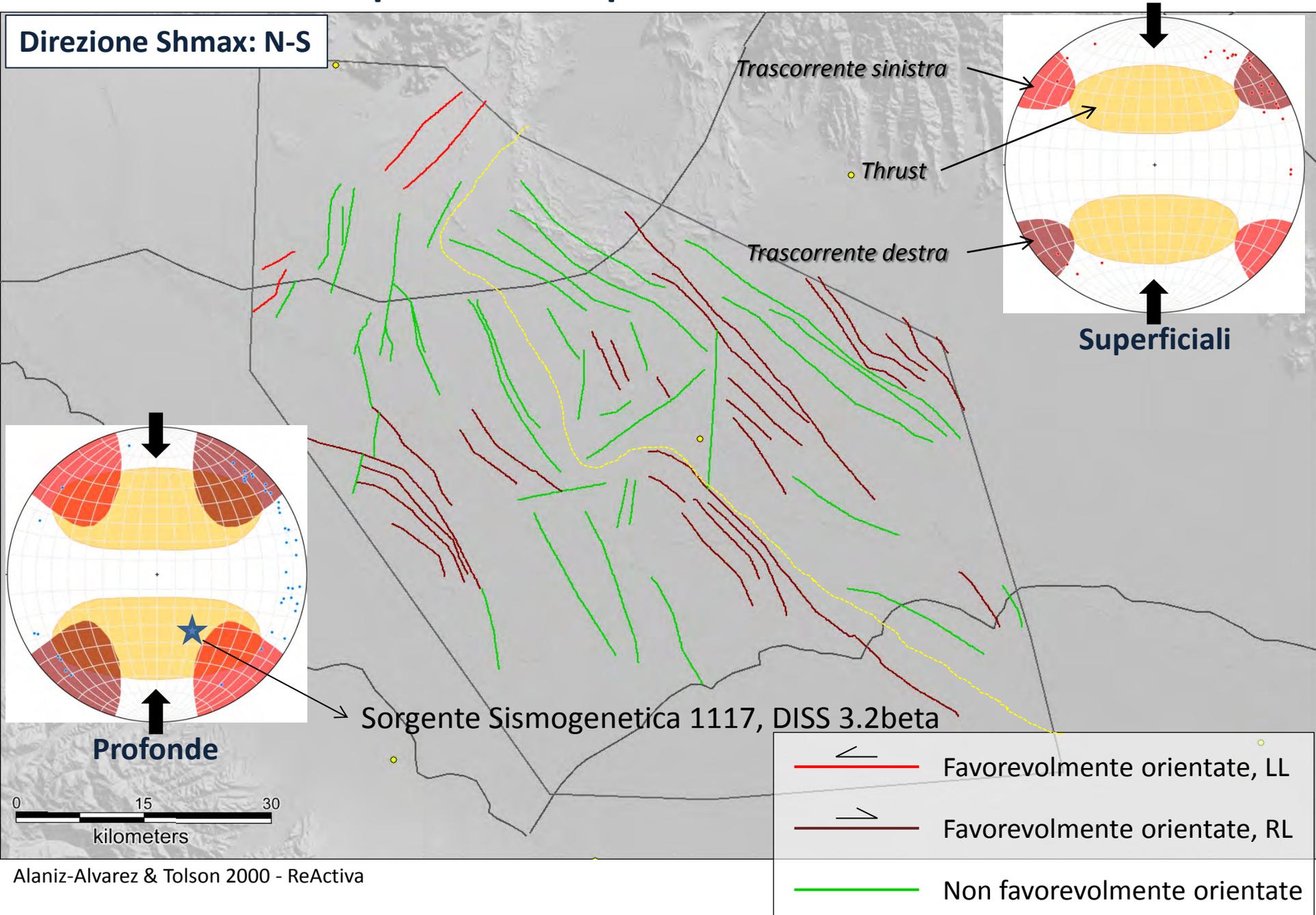
Orientazione media
Da N-S a N10E

Dati di ingresso principali:

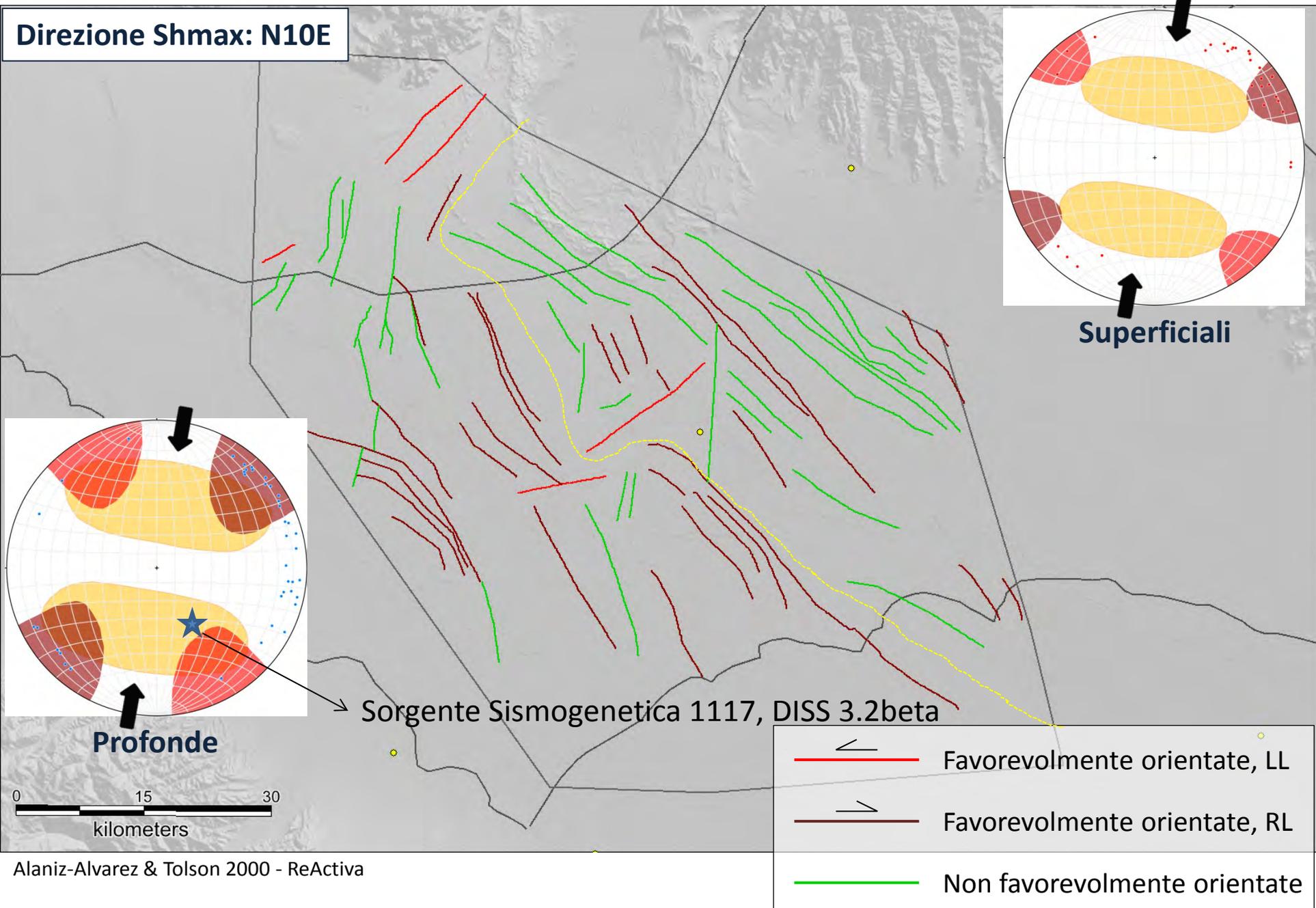
- Assi P da meccanismi focali
- *breakout* da pozzi



Analisi preliminare: potenziale di riattivazione



Analisi preliminare: potenziale di riattivazione



Classificazione per GeoMol *web-GIS* e DISS

Ogni faglia identificata e cartografata attraverso l'interpretazione delle linee sismiche è stata classificata in base a: **1- attività**, **2- potenziale sismogenetico** e **3- livello gerarchico**

| Active | Seismogenic | Existing in DISS | Type |
|--------|-------------|------------------|----------------|
| Y | Y | Y | SS |
| Y | Y | N | PSS |
| Y | N | na | AFa/AFo |
| N | N | na | BDF |
| ? | ? | ? | UKN |

Key: **SS**, Seismogenic Sources; **PSS**, Potential Seismogenic Sources; **AFa/AFo**, Active Faults/Folds; **BDF**, Bedrock Faults; **UKN**, Unknown Faults

| Type | Level of detail | Method |
|----------------|---------------------|--|
| SS | Fully parameterized | Refinement of parameters from subsurface data. |
| PSS | Fully parameterized | Identification and characterization from subsurface data and modeling. |
| AFa/AFo | Fault/fold trace | Trace from subsurface data. |
| BDF | Fault/fold trace | Trace from subsurface data. |
| UKN | Fault/fold trace | Trace from subsurface data. |

Classificazione per GeoMol *web-GIS* e DISS

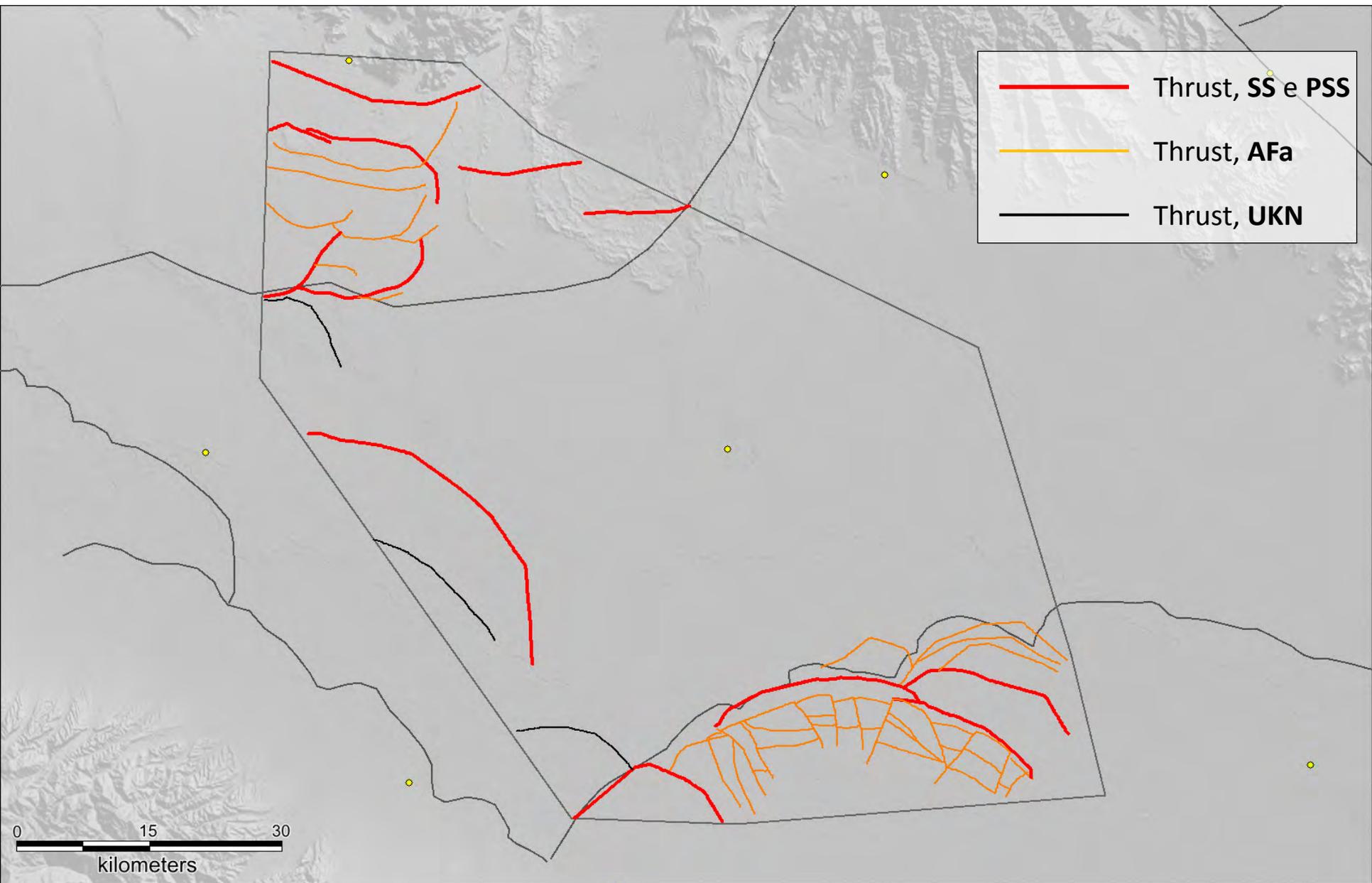
Ogni faglia identificata e cartografata attraverso l'interpretazione delle linee sismiche è stata classificata in base a: **1- attività, 2- potenziale sismogenetico e 3- livello gerarchico**

| Type | Origin | Hierarchy | Seismogenic potential |
|----------------|-------------------------------------|--|--|
| SS | Formed in the present stress regime | Primary structures. | Large earthquakes. * |
| | Inherited and reactivated | | |
| PSS | Formed in the present stress regime | Primary structures. | Large earthquakes. * |
| | Inherited and reactivated | | |
| AFa/AFo | Formed in the present stress regime | Secondary faults connected to a primary structural element or inherited faults favorably oriented in the active stress regime. | Small earthquakes. |
| | Inherited and reactivated | | |
| BDF | Inherited | Primary and secondary faults not favorably oriented in the active stress regime. May be reactivated also during seismic sequences. | No earthquakes/small earthquakes/triggered seismicity. |
| UKN | Unknown, most probably inherited | Primary and secondary faults, lack of detailed information. | Unknown. |

*implies earthquakes of at least $M \geq 5.5$

Key: **SS**, Seismogenic Sources; **PSS**, Potential Seismogenic Sources; **AFa/AFo**, Active Faults/Folds; **BDF**, Bedrock Faults; **UKN**, Unknown Faults

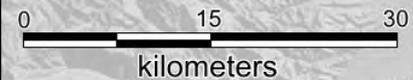
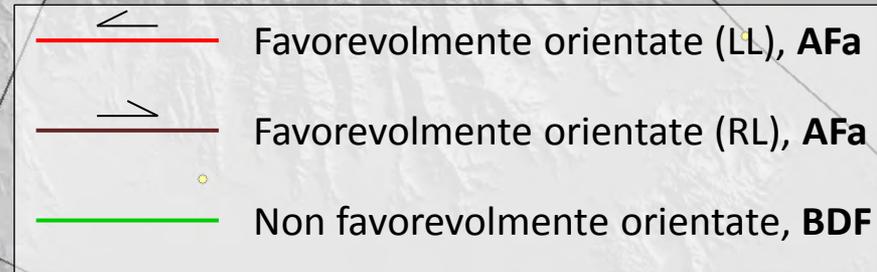
Classificazione per GeoMol *web-GIS* e DISS – thrust



Per ulteriori dettagli: C. D'Ambrogi "Accessibilità al Modello 3D e ai prodotti derivati"

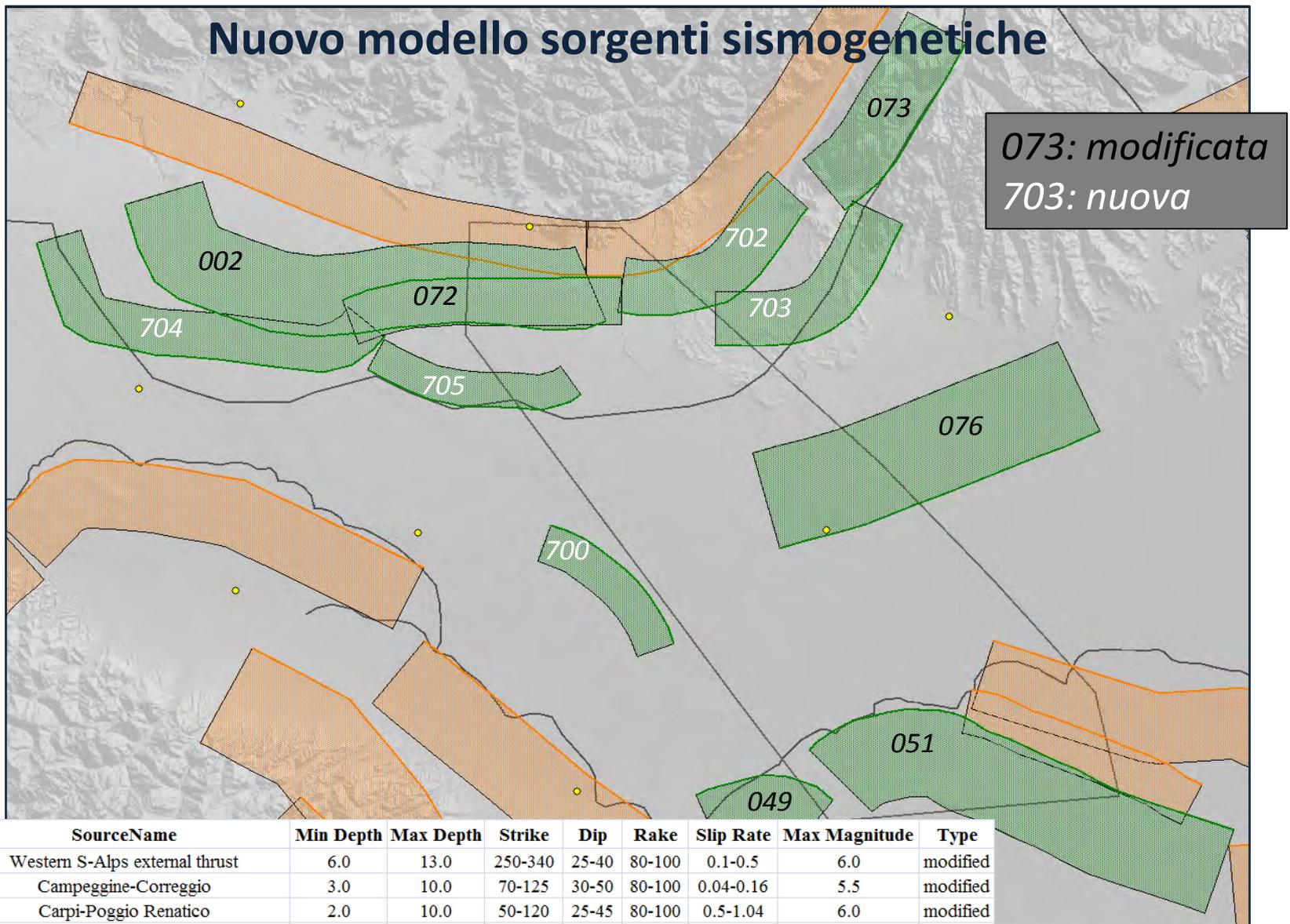
Classificazione per GeoMol *web-GIS* e DISS – faglie ereditate

Direzione Shmax: N10E



Per ulteriori dettagli: C. D'Ambrogi "Accessibilità al Modello 3D e ai prodotti derivati"

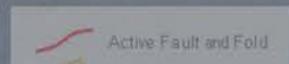
Nuovo modello sorgenti sismogenetiche



| IDSource | SourceName | Min Depth | Max Depth | Strike | Dip | Rake | Slip Rate | Max Magnitude | Type |
|----------|--|-----------|-----------|---------|-------|--------|-----------|---------------|----------|
| ITCS002 | Western S-Alps external thrust | 6.0 | 13.0 | 250-340 | 25-40 | 80-100 | 0.1-0.5 | 6.0 | modified |
| ITCS049 | Campeggine-Correggio | 3.0 | 10.0 | 70-125 | 30-50 | 80-100 | 0.04-0.16 | 5.5 | modified |
| ITCS051 | Carpi-Poggio Renatico | 2.0 | 10.0 | 50-120 | 25-45 | 80-100 | 0.5-1.04 | 6.0 | modified |
| ITCS072 | Capriano-Castenedolo b.t. | 1.0 | 6.0 | 70-100 | 30-45 | 80-100 | 0.1-0.5 | 6.0 | modified |
| ITCS073 | Monte Baldo | 3.0 | 9.0 | 200-250 | 25-45 | 70-100 | 0.1-0.5 | 5.5 | modified |
| ITCS076 | Adige Plain | 3.0 | 14.0 | 240-260 | 30-50 | 80-100 | 0.1-0.5 | 6.7 | modified |
| ITCS700 | Piadena | 2.5 | 6.0 | 110-150 | 25-45 | 80-100 | 0.23-0.91 | 5.5 | new |
| ITCS702 | Sirmione | 2.0 | 7.0 | 220-275 | 25-45 | 70-100 | 0.1-0.5 | 6.0 | new |
| ITCS703 | Solferino | 3.0 | 8.0 | 215-270 | 25-45 | 70-100 | 0.1-0.5 | 6.0 | new |
| ITCS704 | Western S-Alps external thrust shallow-W | 2.0 | 6.0 | 215-340 | 25-40 | 80-100 | 0.1-0.5 | 6.0 | new |
| ITCS705 | Western S-Alps external thrust shallow-E | 2.5 | 5.5 | 230-300 | 25-40 | 80-100 | 0.1-0.5 | 5.5 | new |

E allora..
Grazie, GeoMol!

..e grazie a voi per la pazienza..



Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins
for sustainable planning and use of natural resources

