Accademia di agricoltura scienze e lettere di Verona

SISMICITA' STORICA DELL'ITALIA NORD-ORIENTALE

Verona 11-13 settembre 2008

Comune di Verona
Assessorato alla Cultura
Museo di Storia Naturale

FAGLIE ATTIVE AL FRONTE DELLA CATENA SUDALPINA ORIENTALE (ITALIA NE): STATO DELL'ARTE

M.ELIANA POLI

Dipartimento di Georisorse e Territorio
Università di Udine

INDICE

Inquadramento geologico

La procedura adottata per l'individuazione dei segmenti di faglie attive

Esempi: 1. Il sistema Arba-Ragogna (Prealpi carniche orientali)

2. Il sovrascorrimento del Montello e la sua chiusura orientale (Prealpi venete)

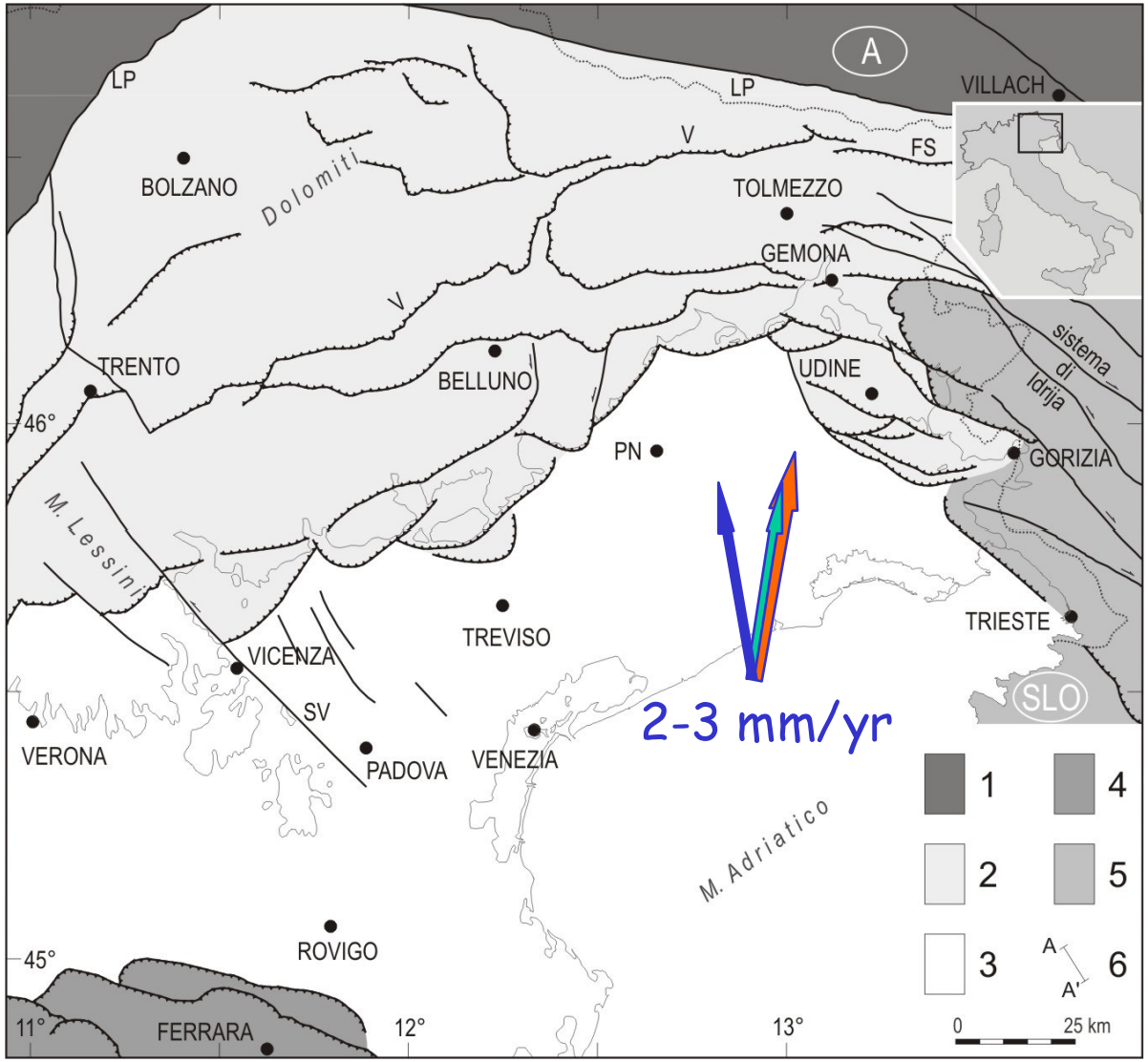
3. Il fronte sudalpino orientale nella pianura friulana a sud di Udine

L'identificazione di sorgenti sismogeniche

La parametrizzazione delle sorgenti individuate al fronte della catena sudalpina orientale

Il catalogo DISS.03

Bibliografia essenziale



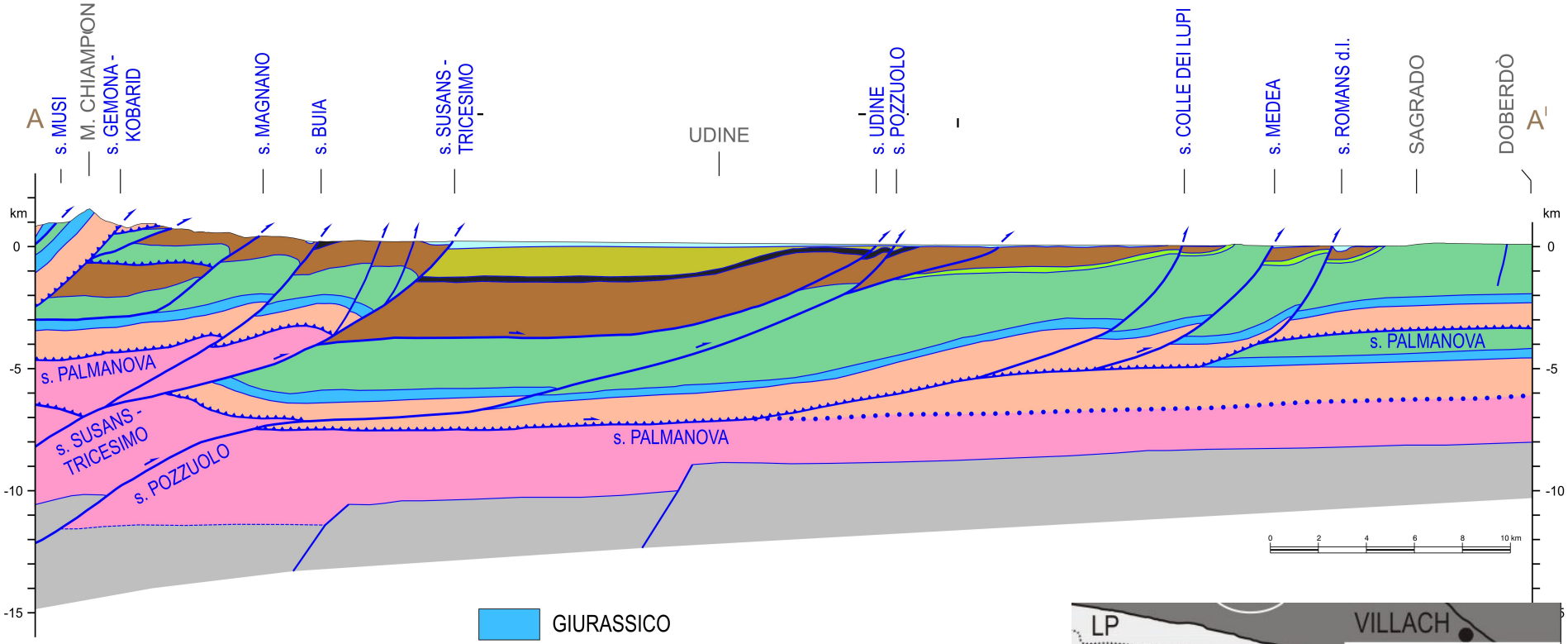
INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le Alpi meridionali orientali sono una catena a sovrascorrimenti Sud-vergenti in attività dal Miocene medio ad oggi, come testmoniato anche dall'attività sismica in atto.

La catena è stata prodotta dalla convergenza di Adria verso Europa: attualmente la velocità di convergenza è stimata attorno a 2 -3 mm/anno (le frecce indicano la direzione di convergenza). La convergenza dà luogo ad anticlinali di crescita, paleosuperfici quaternarie tiltate e sollevate rispetto alla pianura, anomalie del drenaggio.

Schema strutturale delle Alpi meridionali orientali 1. Austroalpino; 2. Sudalpino orientale; 3. Avampaese sudalpino-appenninico; 4. Fronte appenninico settentrionale; 5. Regione a prevalente deformazione dinarica paleogenica.

D'Agostino et al., 2005 — **Grenerczy et al., 2005** — **Serpelloni et al., 2005**



PLIOCENE p.p. - QUATERNARIO

MIOCENE MEDIO p.p. - SUP.

MIOCENE INF. E MEDIO p.p.

PALEOCENE - EOCENE p.p. (successioni torbiditiche)

PALEOCENE - EOCENE p.p. (calcari di piattaforma)

CRETACICO

GIURASSICO

TRIASSICO SUPERIORE p.p.

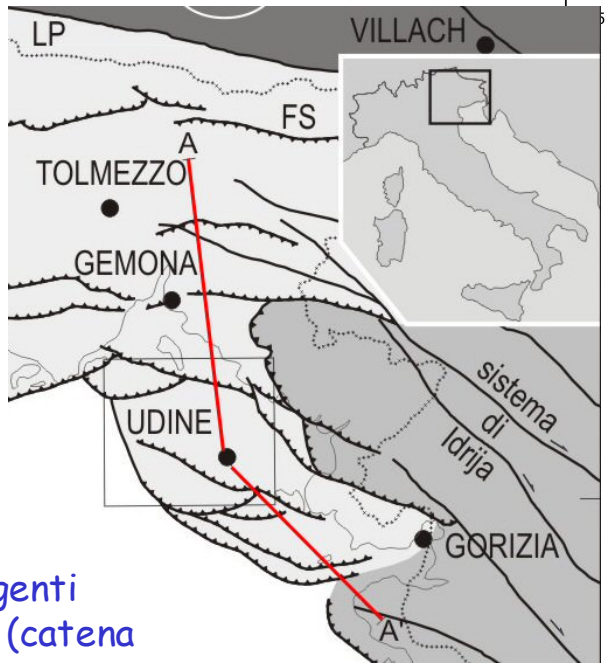
PERMIANO - TRIASSICO SUPERIORE p.p.

BASAMENTO MAGNETICO

sovrascorrimento dinarico

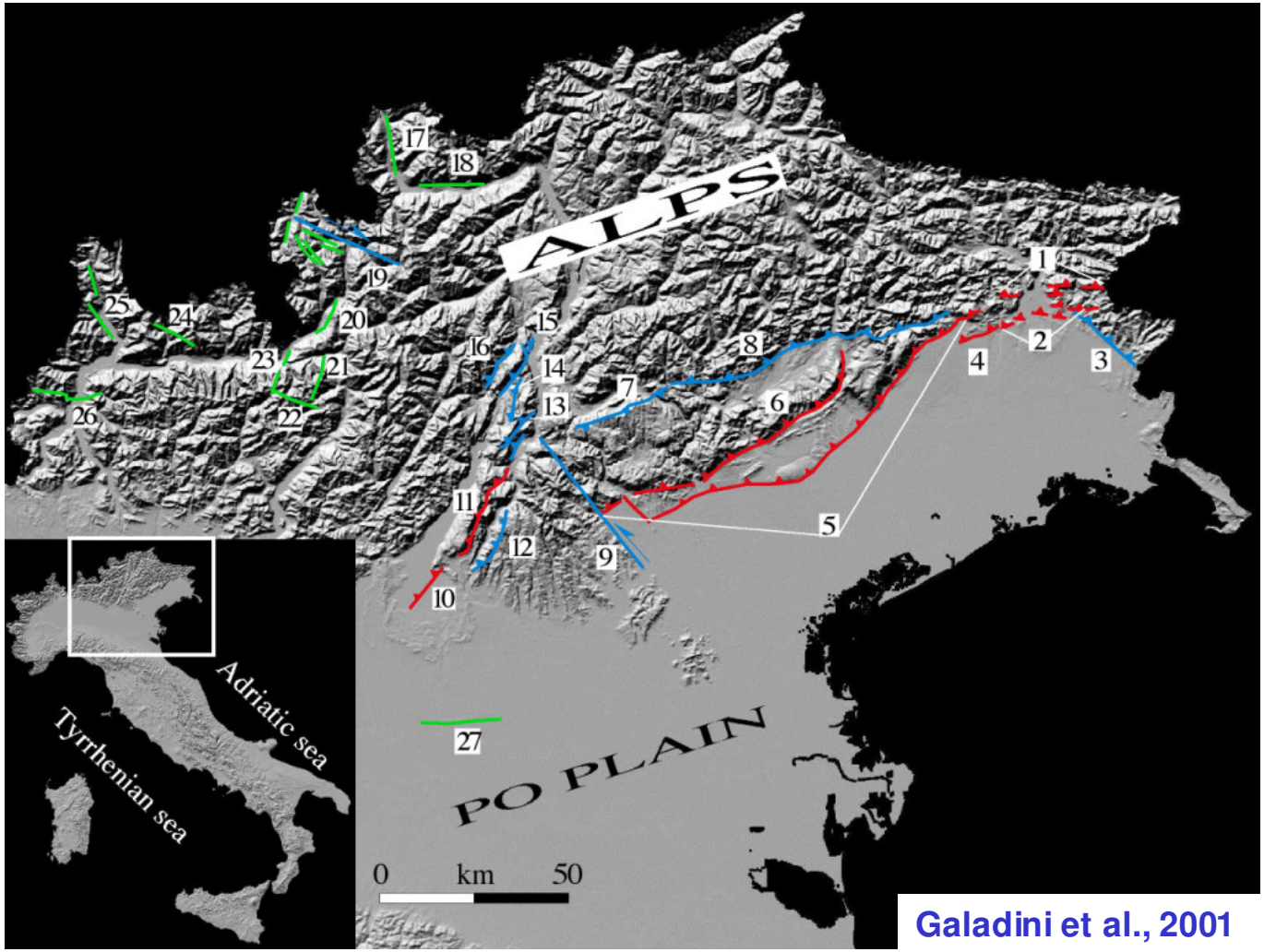
sovrascorrimento neoalpino

unconformity carnica



Sezione geologica attraverso il Friuli centrale: i sovrascorrimenti sud-vergenti (frecce) ritagliano o riutilizzano superfici di movimento di età paleogenica (catena dinarica) con trasporto occidentale (triangolini).

DA FAGLIE NON SEGMENTATE A SORGENTI SISMOGENICHE



Galadini et al., 2001

Fino alla fine degli anni '90 il fronte esterno della catena sudalpina orientale era rappresentato da un inviluppo di faglie prive di segmentazione. Dal Veneto orientale fino al Tagliamento il sistema di Aviano rappresentava un'unica struttura attiva estesa per circa 100 km. Segmenti di minori dimensioni erano invece tracciati nel Friuli orientale, questo in virtù degli studi effettuati a seguito del terremoto del 1976.

L'identificazione di segmenti di faglie attive rappresenta il primo passo nella definizione del comportamento sismogenico di un'area.

PROCEDURA ADOTTATA PER L'IDENTIFICAZIONE DEI SEGMENTI DI FAGLIE ATTIVE

Rilevamento geologico e geomorfologico per mettere in luce l'interazione fra crescita della faglia e deformazione che interessa la superficie topografica

Definizione delle evidenze superficiali di attività recente

Dati geofisici

Interpretazione di profili sismici

Ricostruzione della geometria profonda delle faglie

Rilevamento strutturale di terreno

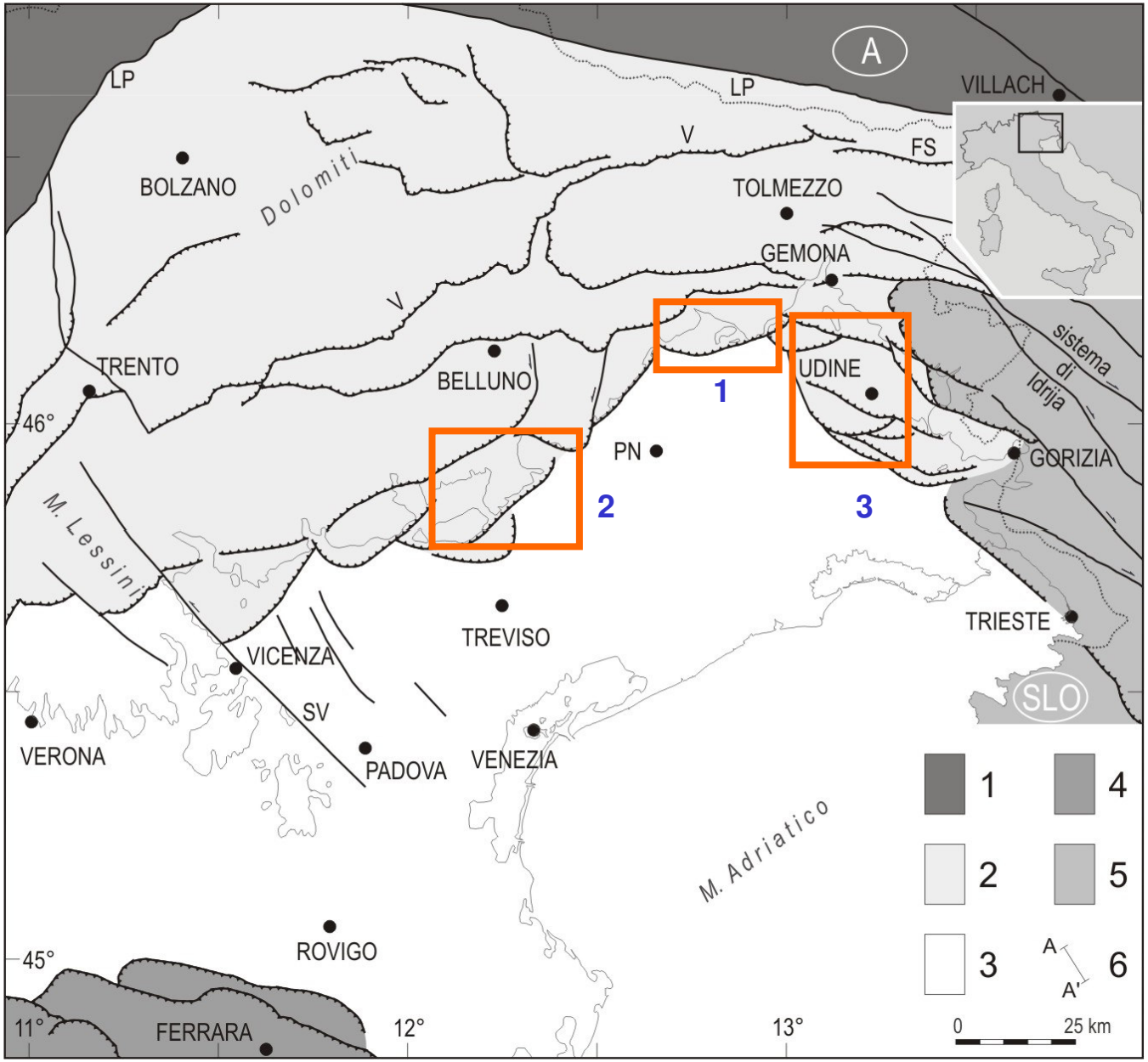
Dati geodetici

Slip vector (rake)

Sismologia strumentale

Datazioni geocronologiche

Slip rate



ALCUNI ESEMPI:

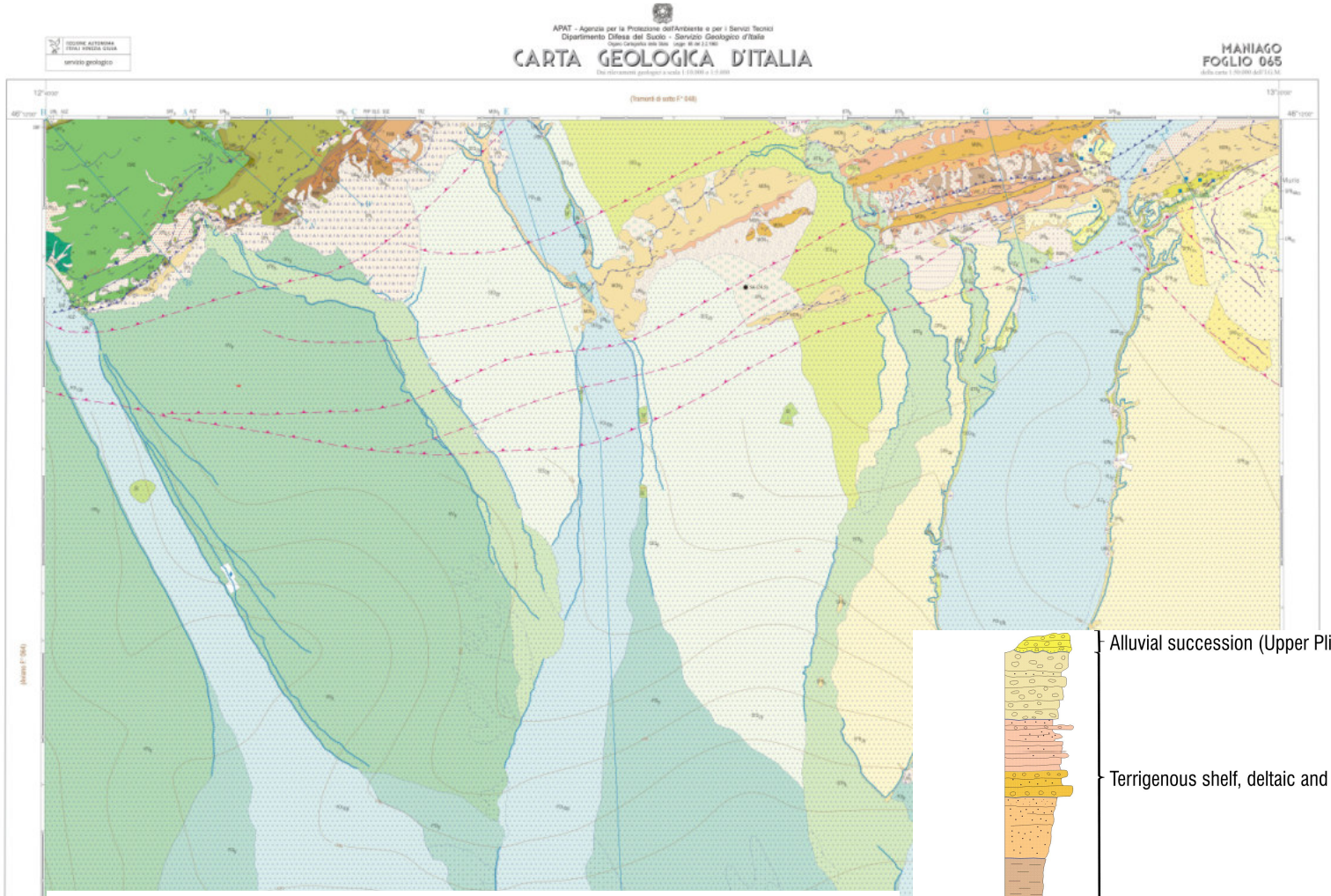
1. IL SISTEMA ARBA-RAGOGNA
2. IL SOVRASCORRIMENTO DEL MONTELLO
3. IL FRONTE SUDALPINO ORIENTALE NELLA PIANURA FRIULANA

1.

IL SISTEMA ARBA-RAGOGNA

Foglio geologico 065 - Maniago

(Progetto CARG – FVG)

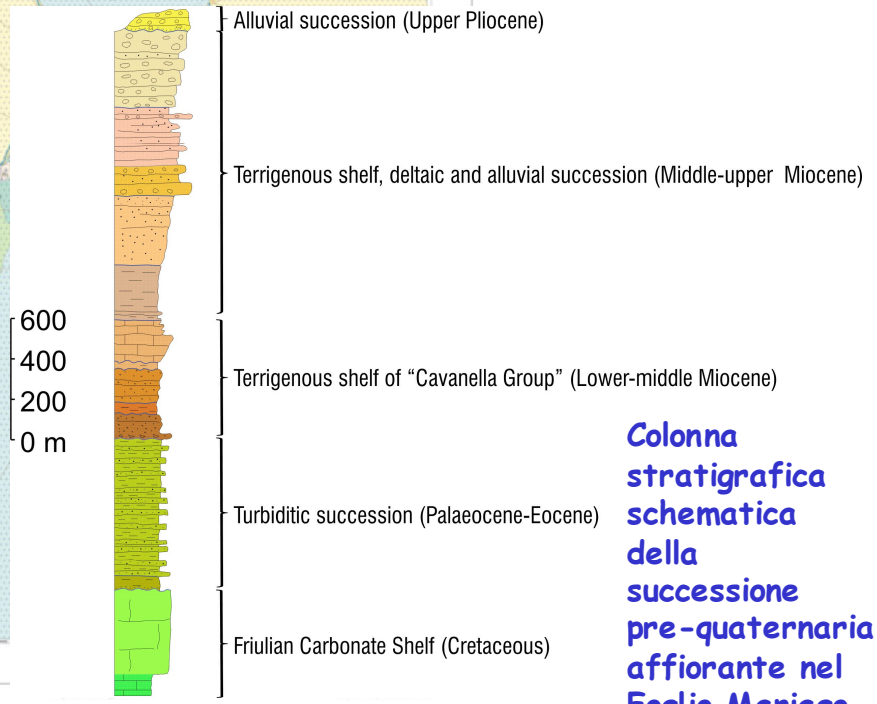


RILEVAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

RILEVAMENTO MORFONEOTETTONICO

ANALISI STRUTTURALE

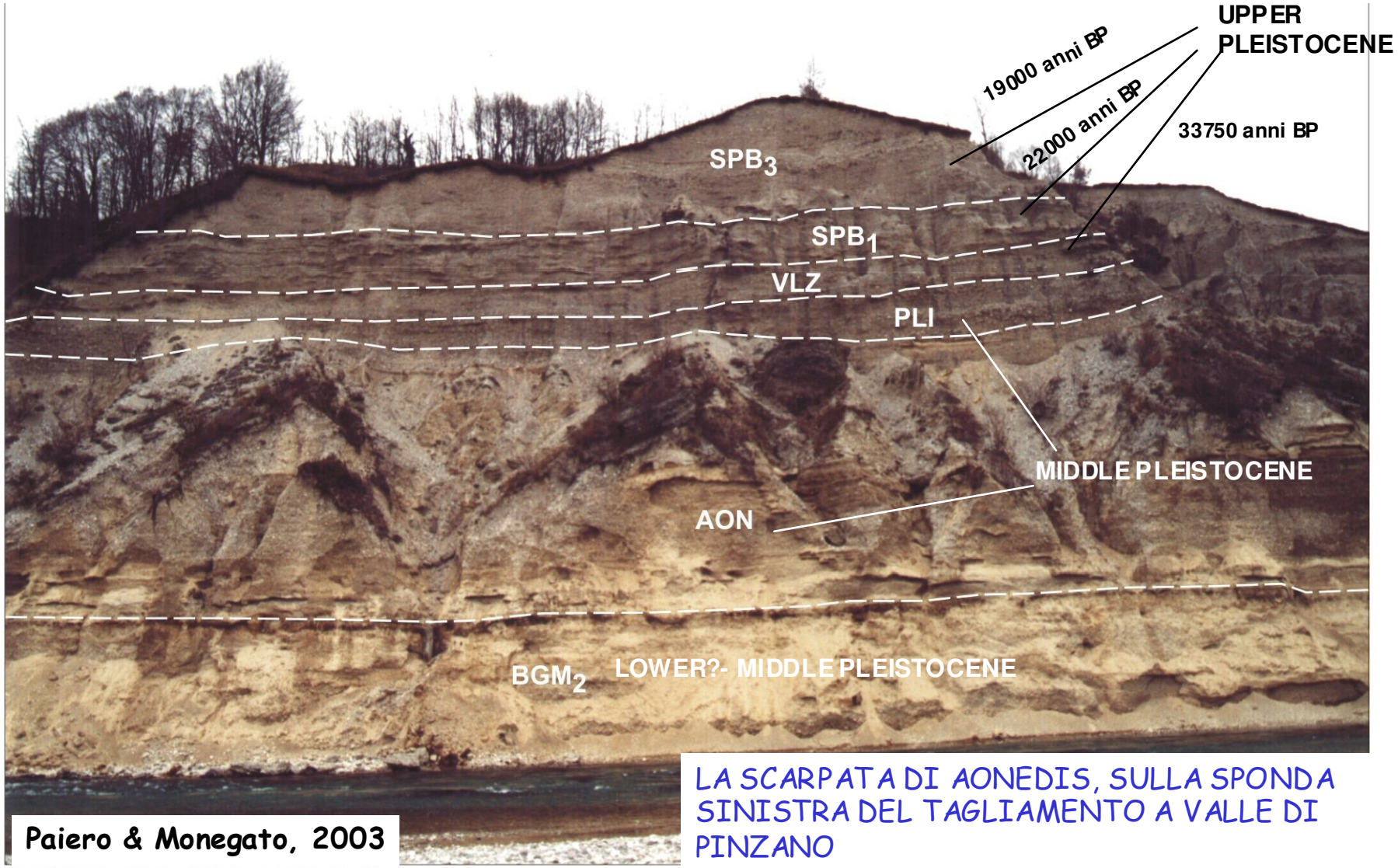
ANALISI DI LINEE SISMICHE INDUSTRIALI



Colonna stratigrafica schematica della successione pre-quaternaria affiorante nel Foglio Maniago

Il rilevamento geologico di dettaglio e le datazioni radiometriche hanno consentito di suddividere la successione dei terreni quaternari in varie unità.

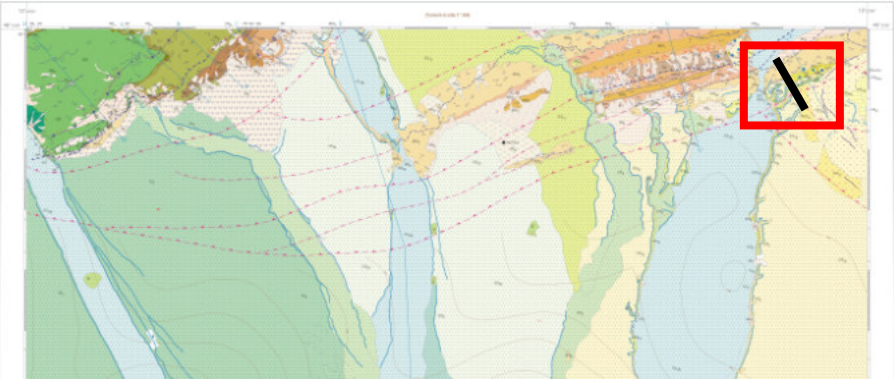
SPB1 e SPB3 rappresentano i depositi legati all'ultima avanzata del ghiacciaio del Tagliamento (LGM)



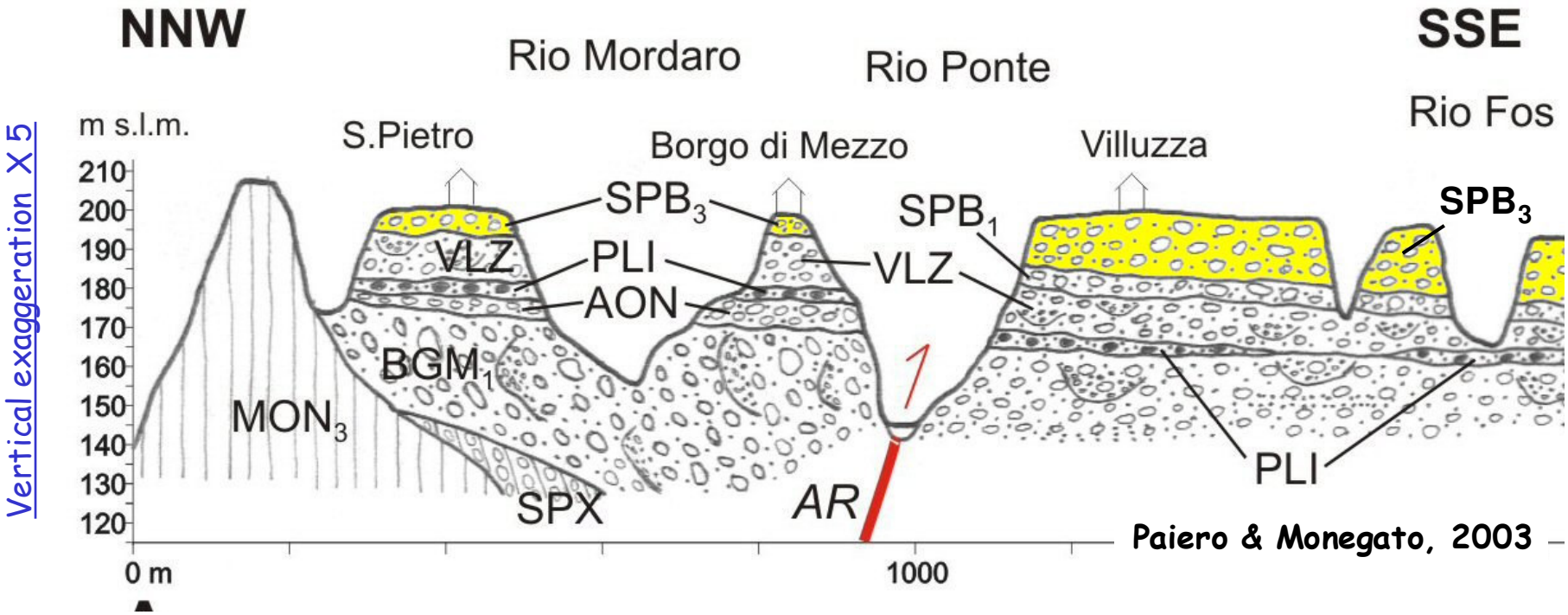
Paiero & Monegato, 2003

LA SCARPATA DI AONEDIS, SULLA SPONDA SINISTRA DEL TAGLIAMENTO A VALLE DI PINZANO

L'attività pleistocenica superiore – olocenica del sistema Arba-Ragogna ha prodotto un rigetto di circa 4 m della base dell'LGM, datata a circa 19000 BP (SPB3)

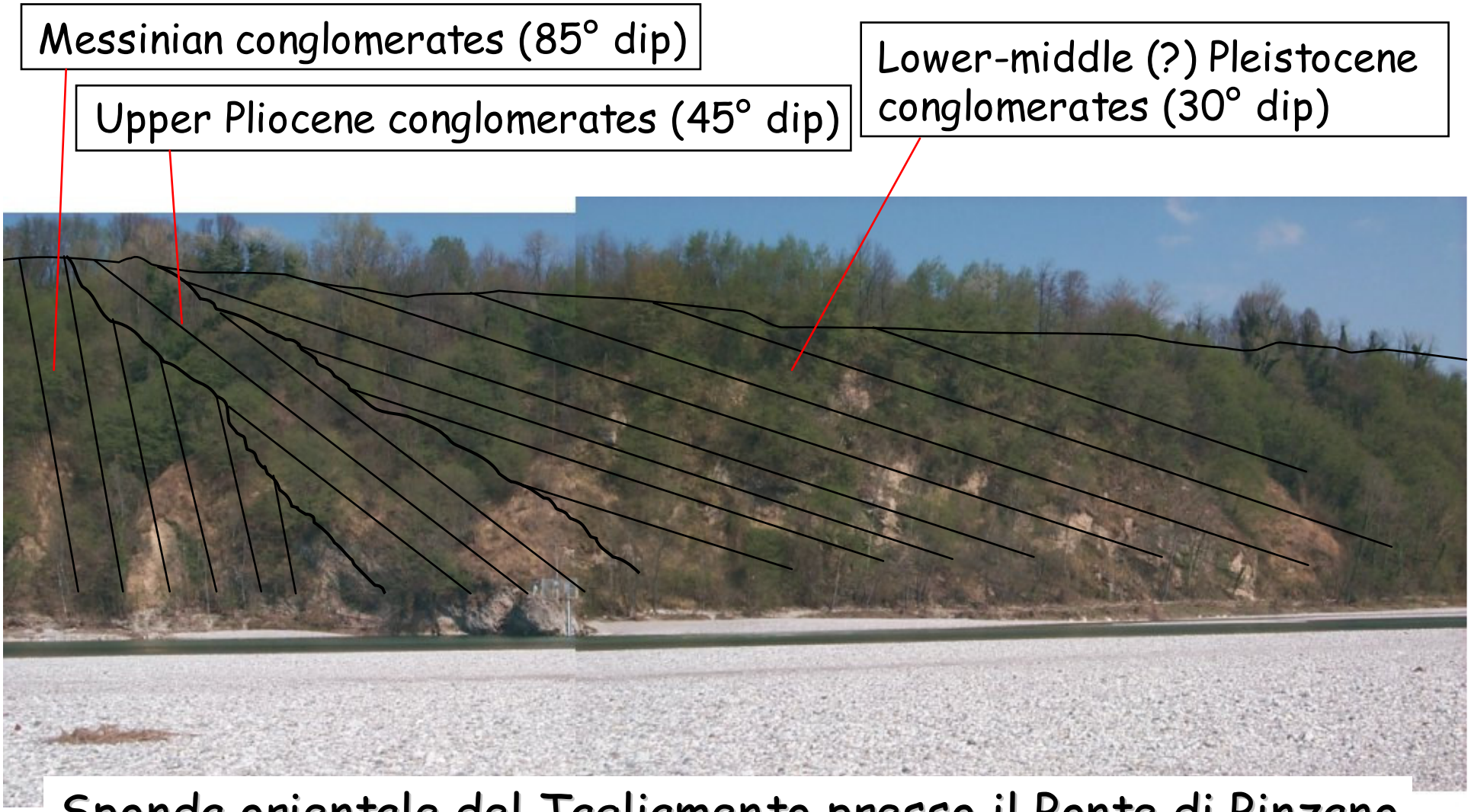


In questo settore dell'Arba-Ragogna il tasso di sollevamento (SLIP RATE) calcolato a partire dall'LGM è quindi di circa 0,21 mm/anno



Paiero & Monegato, 2003

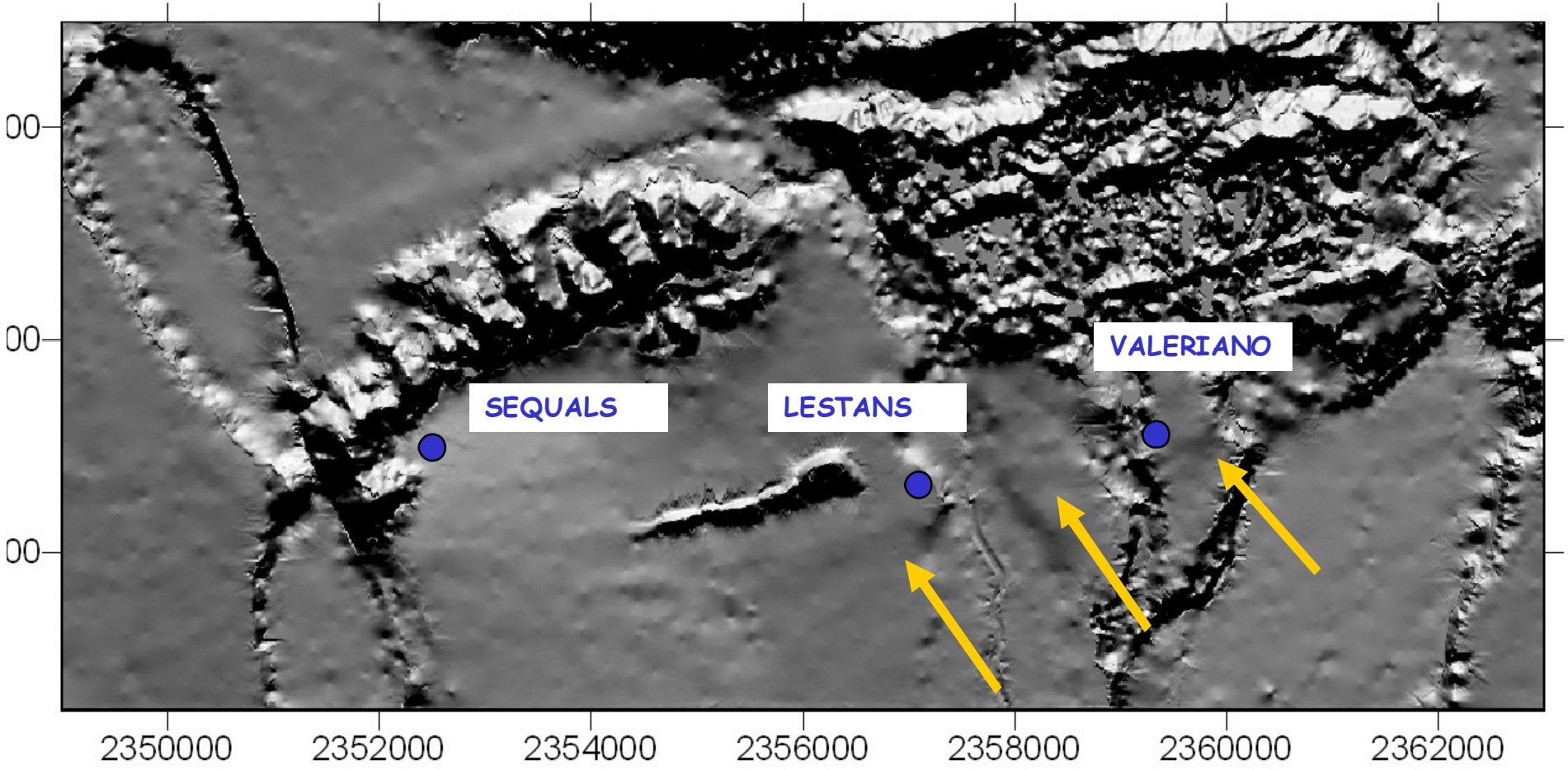
Il fianco meridionale dell'anticlinale di rampa frontale dell'Arba – Ragogna mostra evidenze di deformazione che perdura almeno dal Messiniano: sui conglomerati messiniani inclinati di 85°, poggiano in discordanza angolare i conglomerati del Pliocene superiore a loro volta inclinati di circa 45°. Su questi ultimi i conglomerati di età pleistocenica inferiore -?media inclinati di circa 30°.



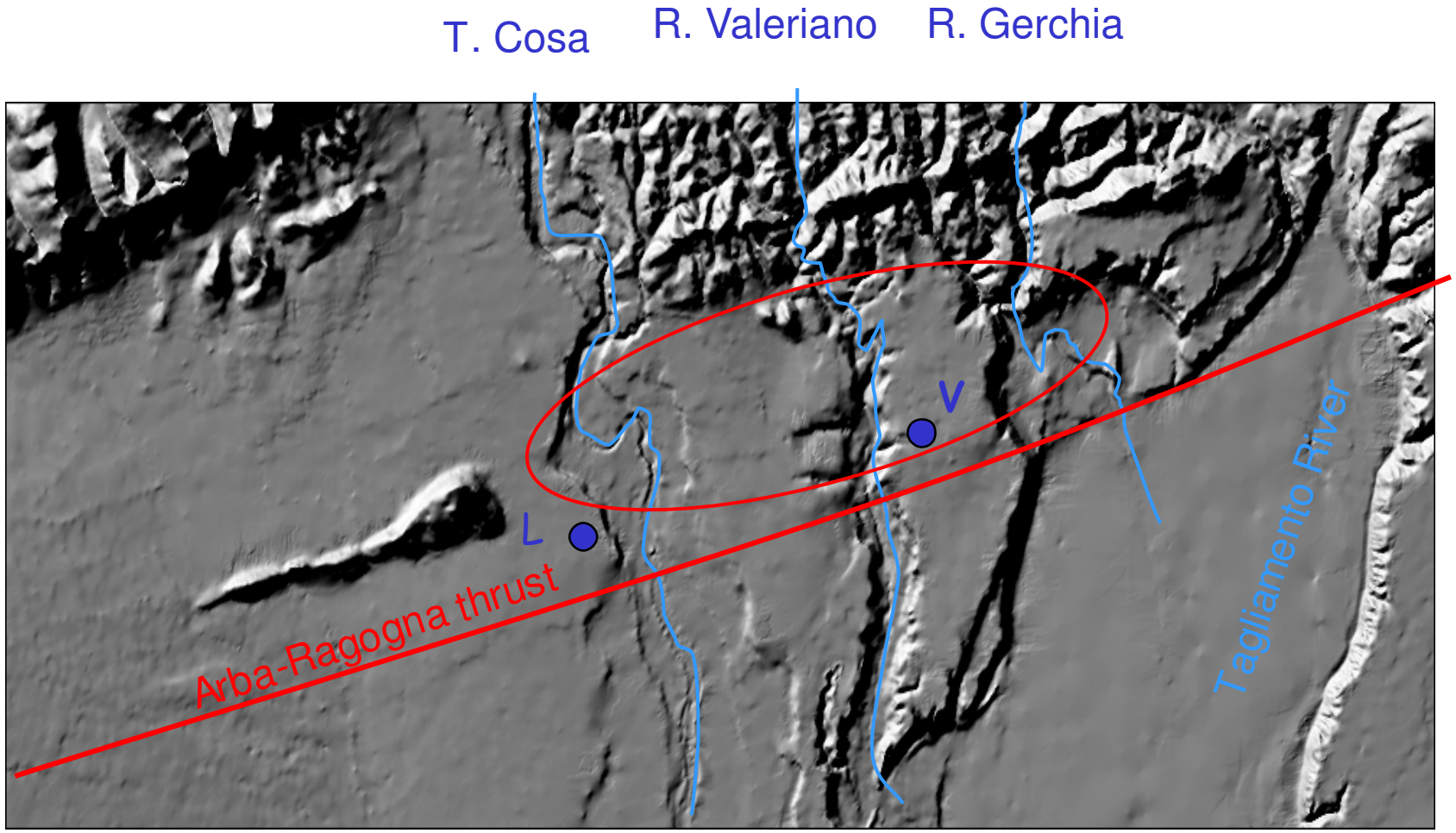
Sponda orientale del Tagliamento presso il Ponte di Pinzano

EVIDENZE DI MORFONEOTETTONICA: LA SCARPATA DI VALERIANO-LESTANS

Il DEM evidenzia la presenza di una scarpata a direzione ENE-WSW alla base dei colli di Valeriano-Lestans. La scarpata non è legata all'erosione fluviale, ma all'attività della faglia Arba -Ragogna che deforma anche i depositi più superficiali di età pleistocenica superiore (LGM).

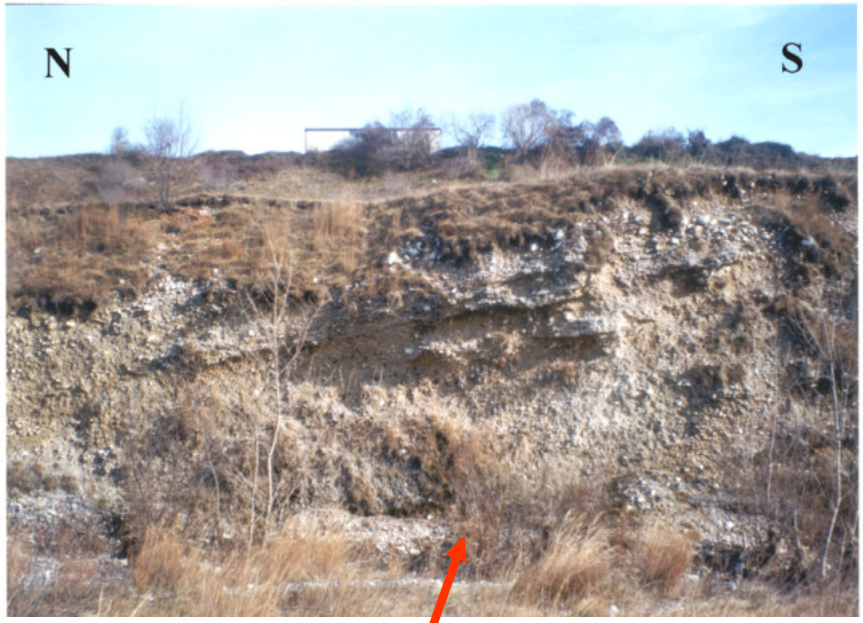


Nella zona fra Valeriano e Lestans sono evidenti anche anomalie del drenaggio: come si può notare, subito a monte della traccia della faglia, i piccoli torrenti (Cosa, Valeriano e Gerchia) formano pronunciati meandri con convessità verso oriente. Ciò come risposta ad un sollevamento operato dalla superficie di faglia.



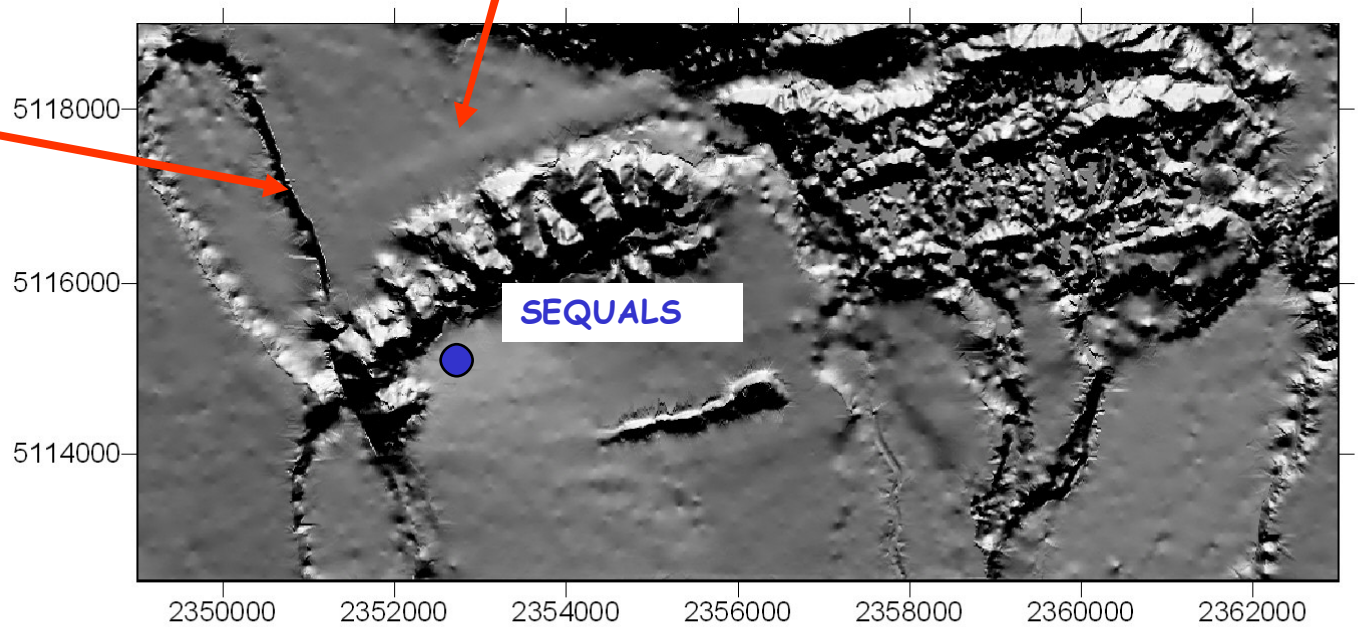
EVIDENZE DI MORFONEOTETTONICA: LE ANOMALIE DEL DRENAGGIO

CARG - FVG PROJECT 065-MANIAGO SHEET



Anche nella piana a nord del colle di Sequals il dem evidenzia la traccia di una scarpata a direzione ENE-WSW: essa è impostata in corrispondenza della *tip line* della faglia di Solimbergo, che deforma depositi del Pleistocene superiore (19000 BP).

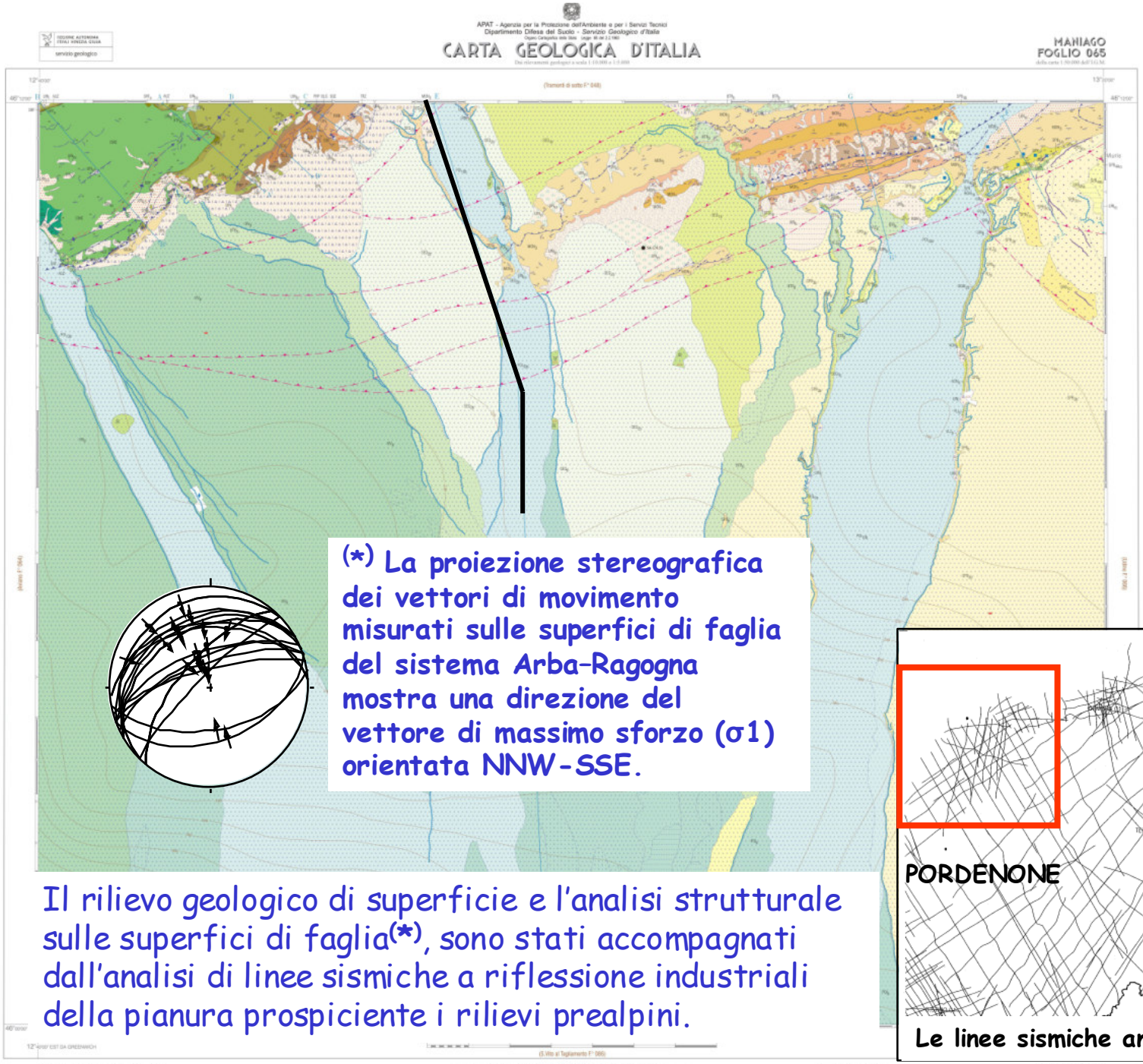
Al tetto della faglia di Solimbergo, in corrispondenza della scarpata sinistra del T. Meduna, affiorano conglomerati (probabilmente del Pleistocene medio) tiltati in contropendenza di circa 10° verso N)



IL SISTEMA ARBA-RAGOGNA

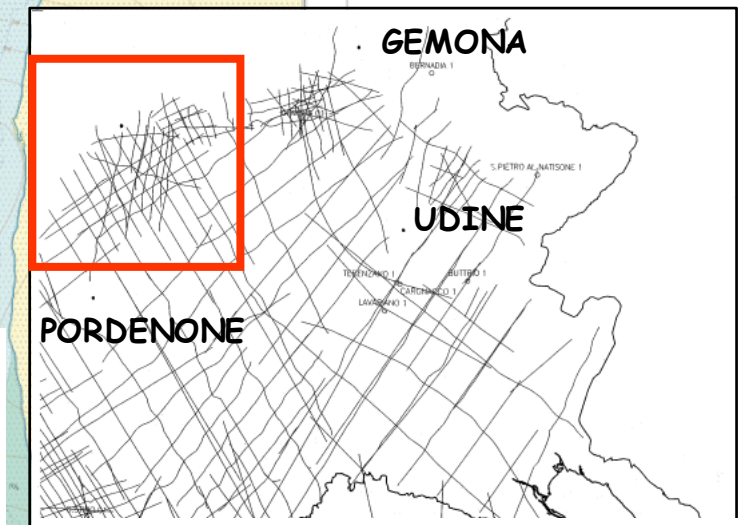
Foglio geologico 065 - Maniago

(Progetto CARG – FVG)



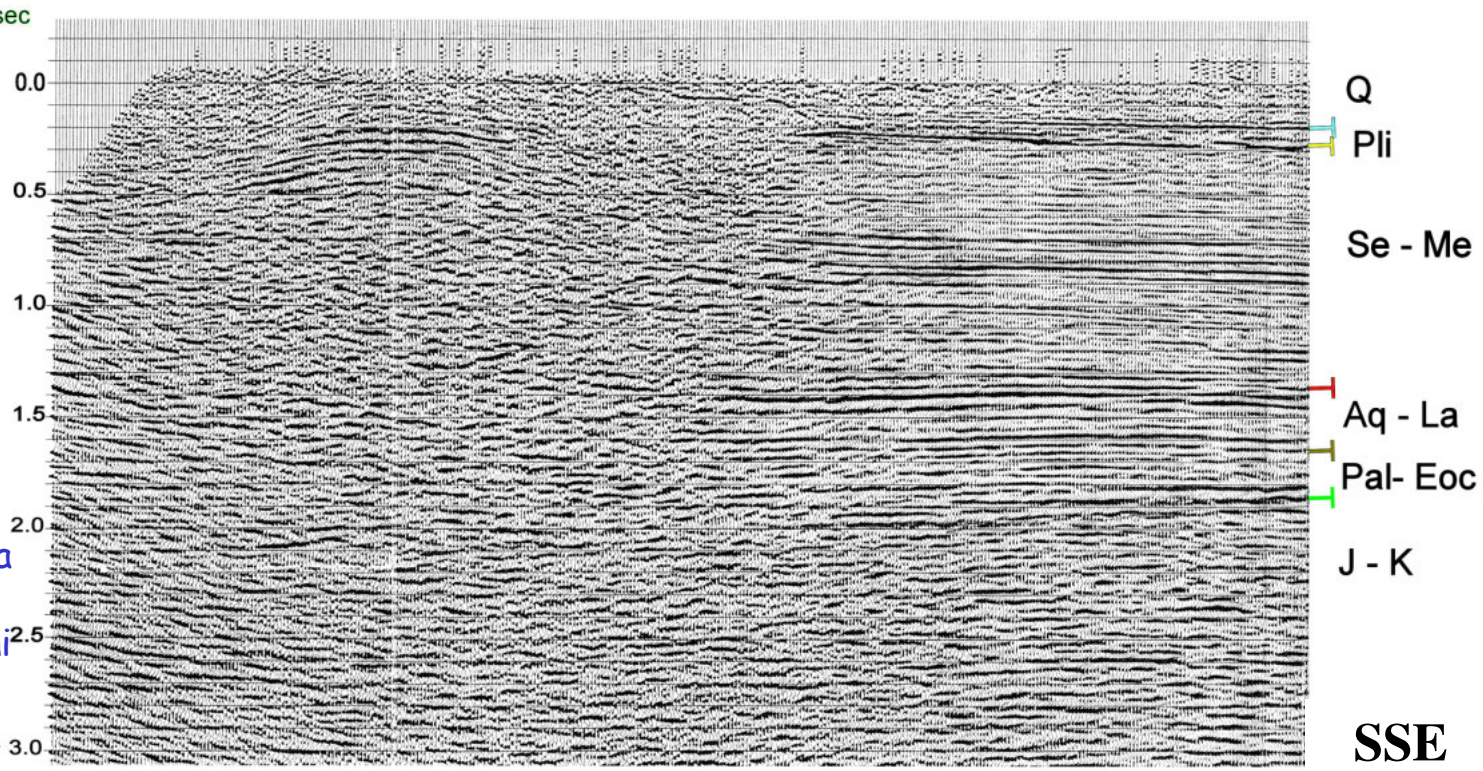
(*) La proiezione stereografica dei vettori di movimento misurati sulle superfici di faglia del sistema Arba–Ragogna mostra una direzione del vettore di massimo sforzo (σ1) orientata NNW-SSE.

Il rilievo geologico di superficie e l'analisi strutturale sulle superfici di faglia(*), sono stati accompagnati dall'analisi di linee sismiche a riflessione industriali della pianura prospiciente i rilievi prealpini.

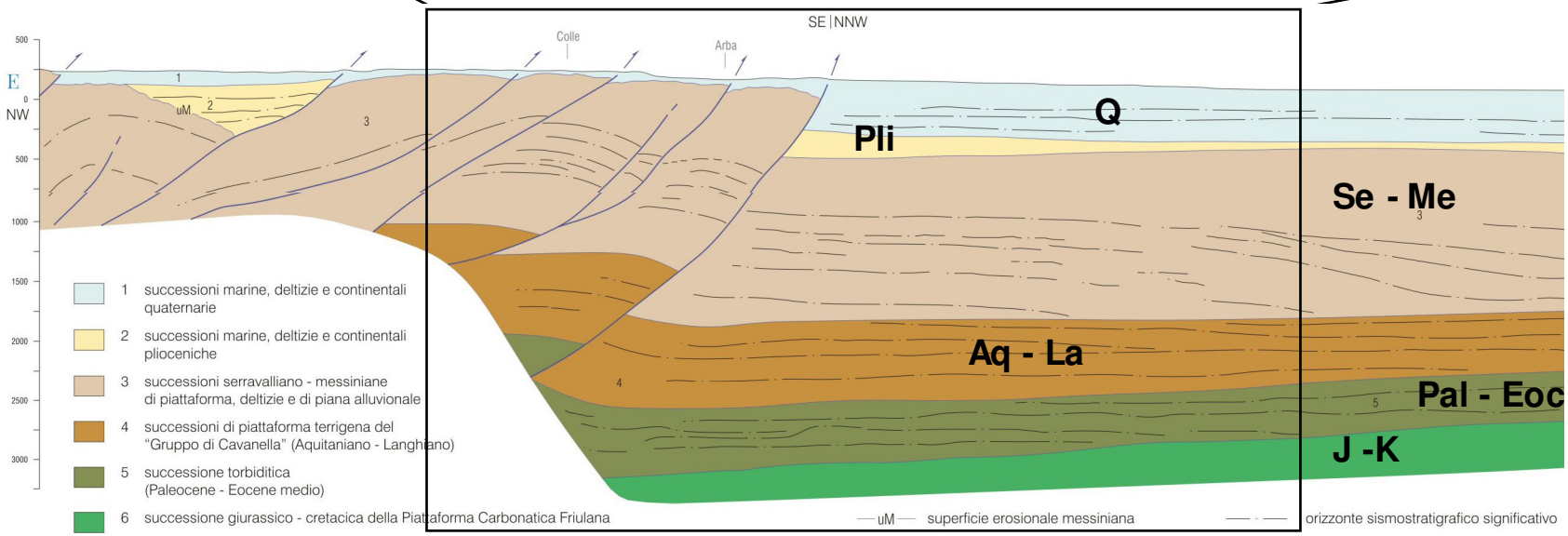


Le linee sismiche analizzate

La ricostruzione della linea sismica non più in termini di velocità (m/sec) delle onde, ma di spessori dei volumi rocciosi, ha consentito di ricostruire la situazione geologica esistente in profondità e di confermare l'esistenza di un fascio di sovrascorrimenti a medio angolo e vergenza meridionale che deforma anche i terreni plio-quaternari (il sistema Arba-Ragogna).

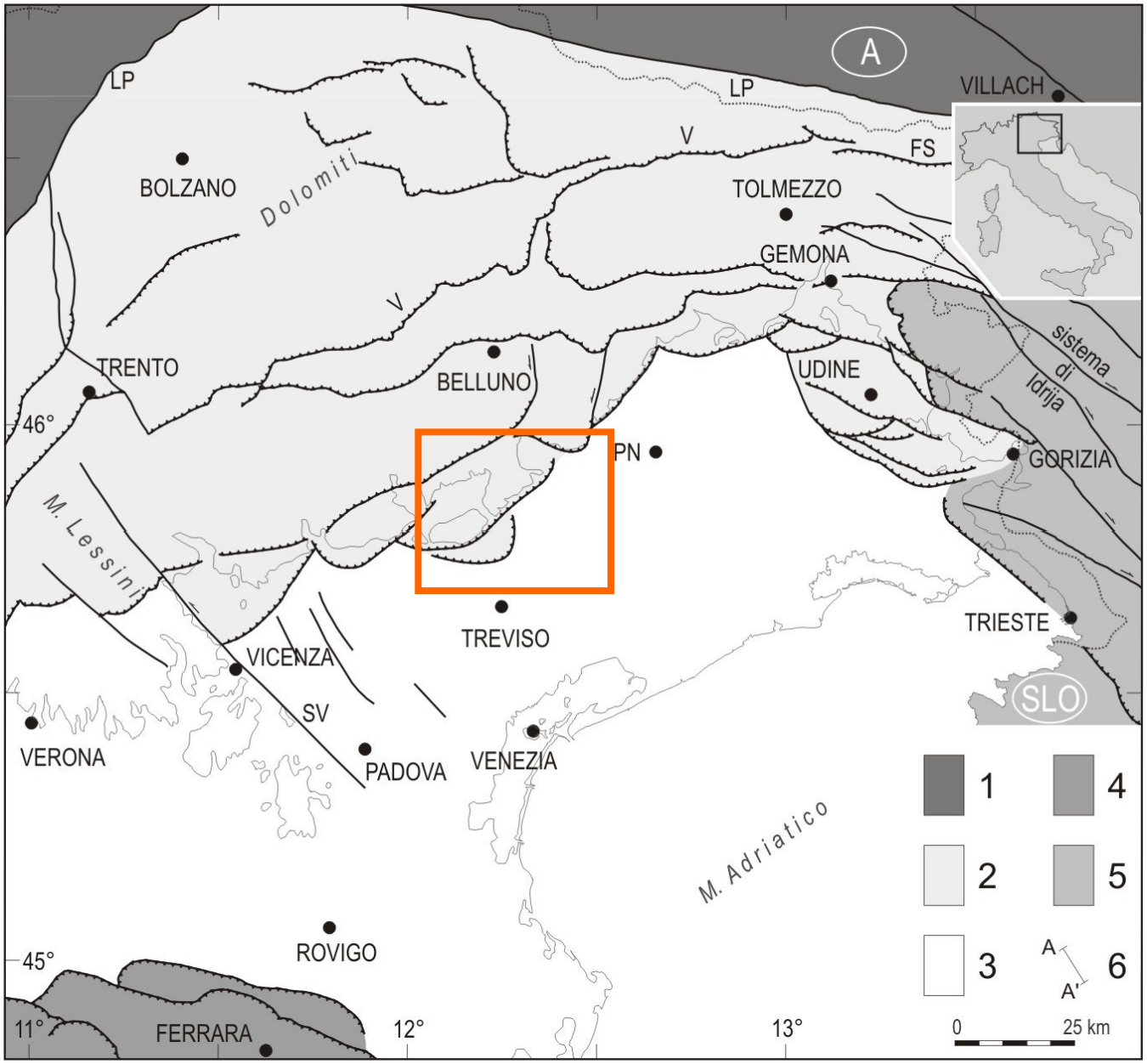


NNW

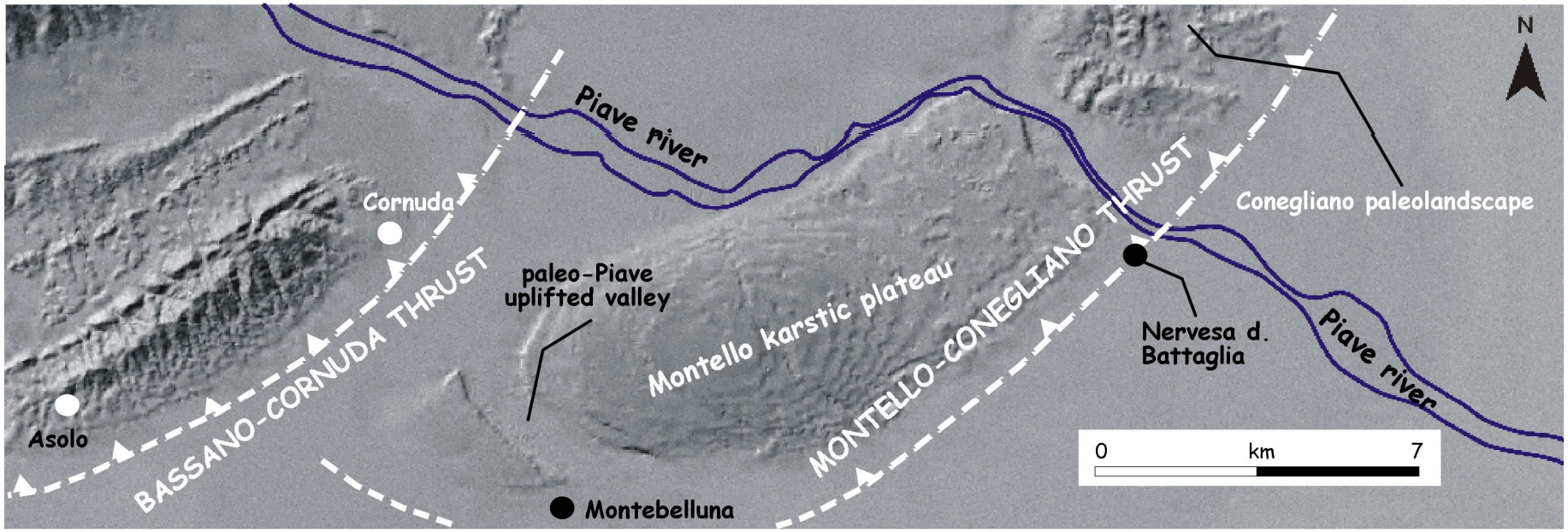


2. IL SOVRASCORRIMENTO DEL MONTELLO

(GNDT Project - "Damage scenarios in the Veneto - Friuli area")



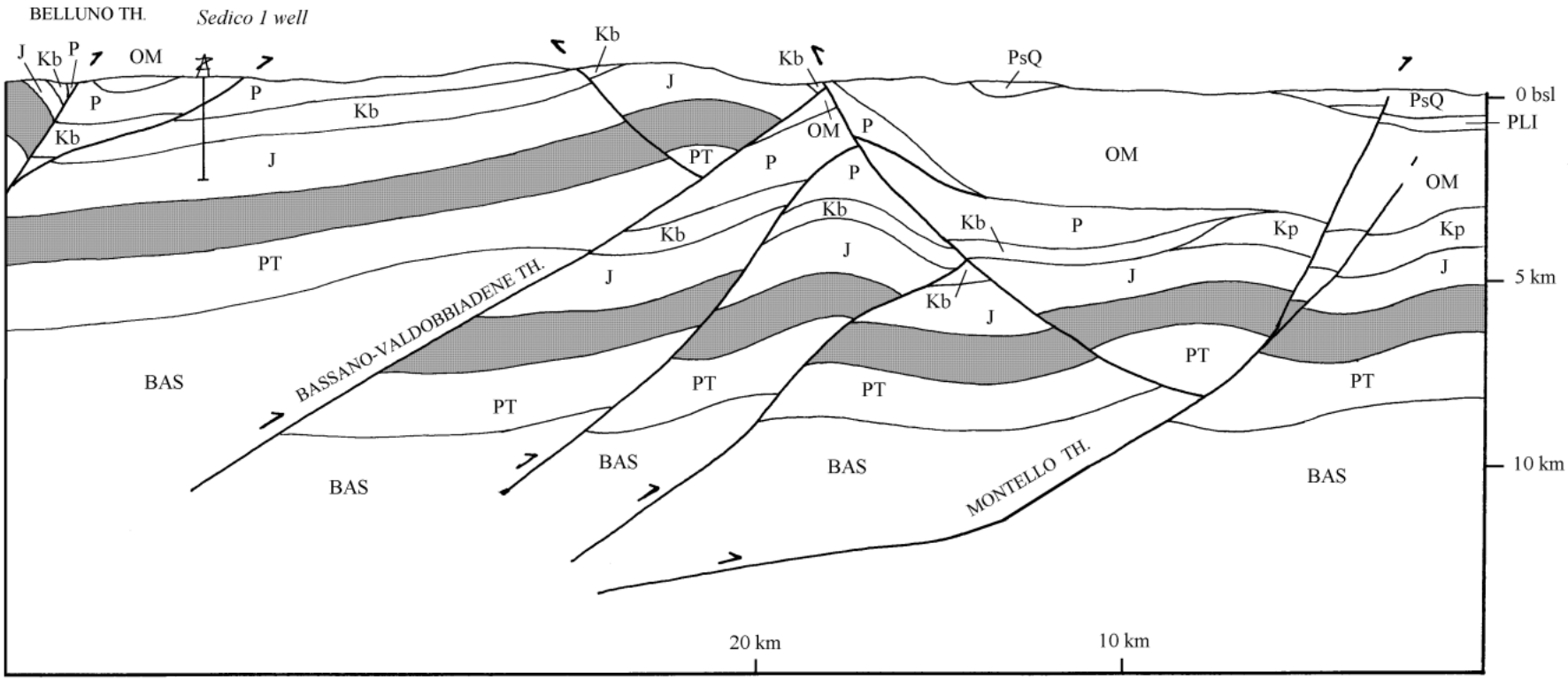
Il sovrascorrimento del Montello



L'altopiano del Montello è un esempio classico di paleosuperficie carsica sospesa: essa infatti è attualmente posta a circa 150 m dalla superficie della pianura. La sua formazione è legata all'attività del sovrascorrimento del Montello, che corre alla base del rilievo coperto dalle alluvioni recenti. L'altopiano è modellato in conglomerati ed arenarie di età tardo miocenico-pliocenica. Una valle abbandonata ne caratterizza il settore SW: si tratta della paleovalle del Piave che, a causa dell'innalzamento tettonico dell'altopiano, è stata abbandonata dal fiume, che ha deviato verso est per confluire nella forra del T. Soligo. L'attività del sovrascorrimento cieco del Montello è testimoniata, in particolare, dalla presenza lungo la paleovalle di una serie di 7 ordini di terrazzi abbandonati e deformati: i terrazzi presentano morfologia convessa, più accentuata nei terrazzi più antichi.

Secondo Benedetti et al., 2000, la formazione dei terrazzi è iniziata nel Pleistocene medio, mentre l'abbandono della valle del Piave si è avuto fra 14.000 e 8.000 anni BP .

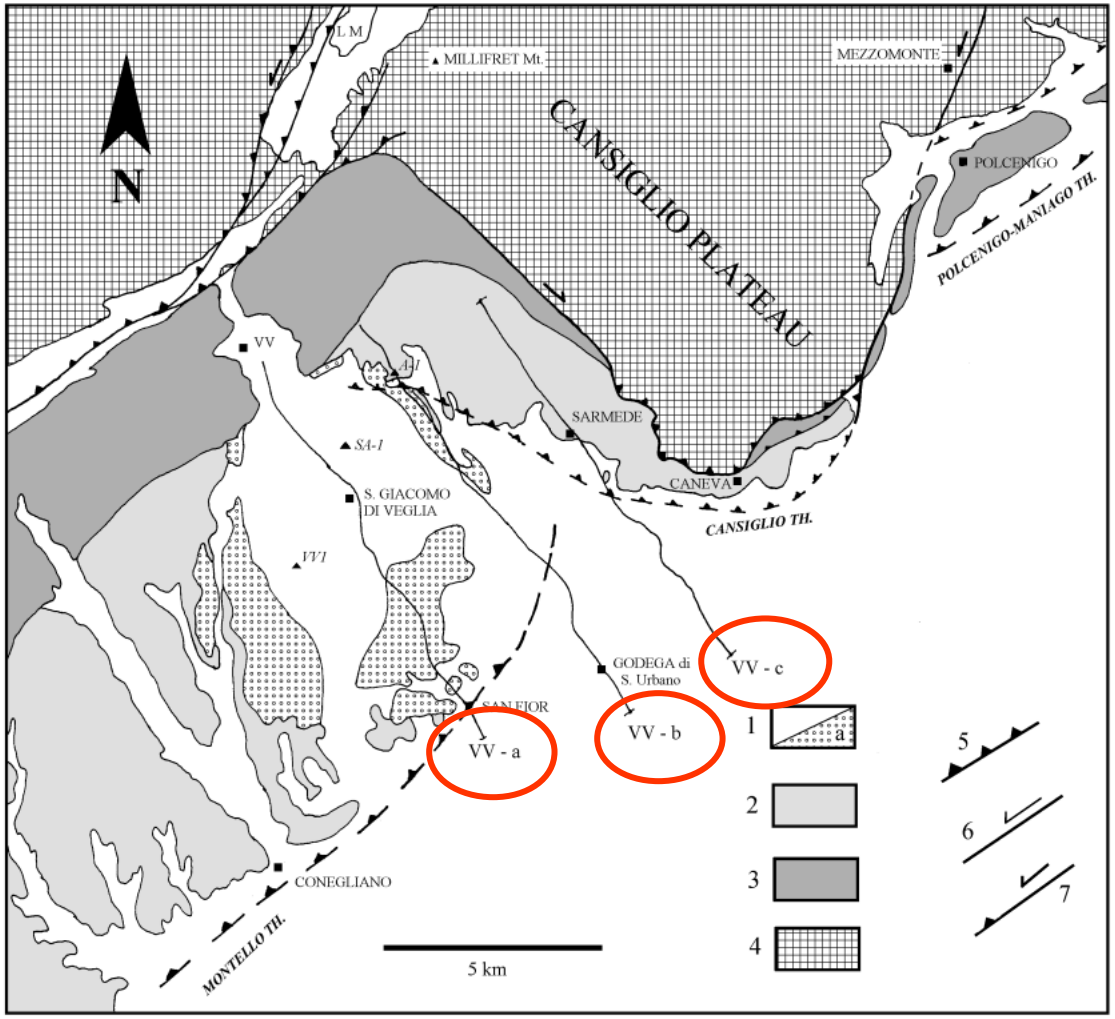
anticlinale del Montello



La sezione geologica attraverso il margine meridionale delle Alpi meridionali orientali (settore veneto) mostra l'assetto strutturale di questa parte del fronte. Il sovrascorrimento del Montello forma una importante rampa frontale che deforma anche i terreni quaternari.

La sezione geologica è stata ricostruita sulla base dei dati di sismica a riflessione del Progetto TRANSALP (2003 e 2006).

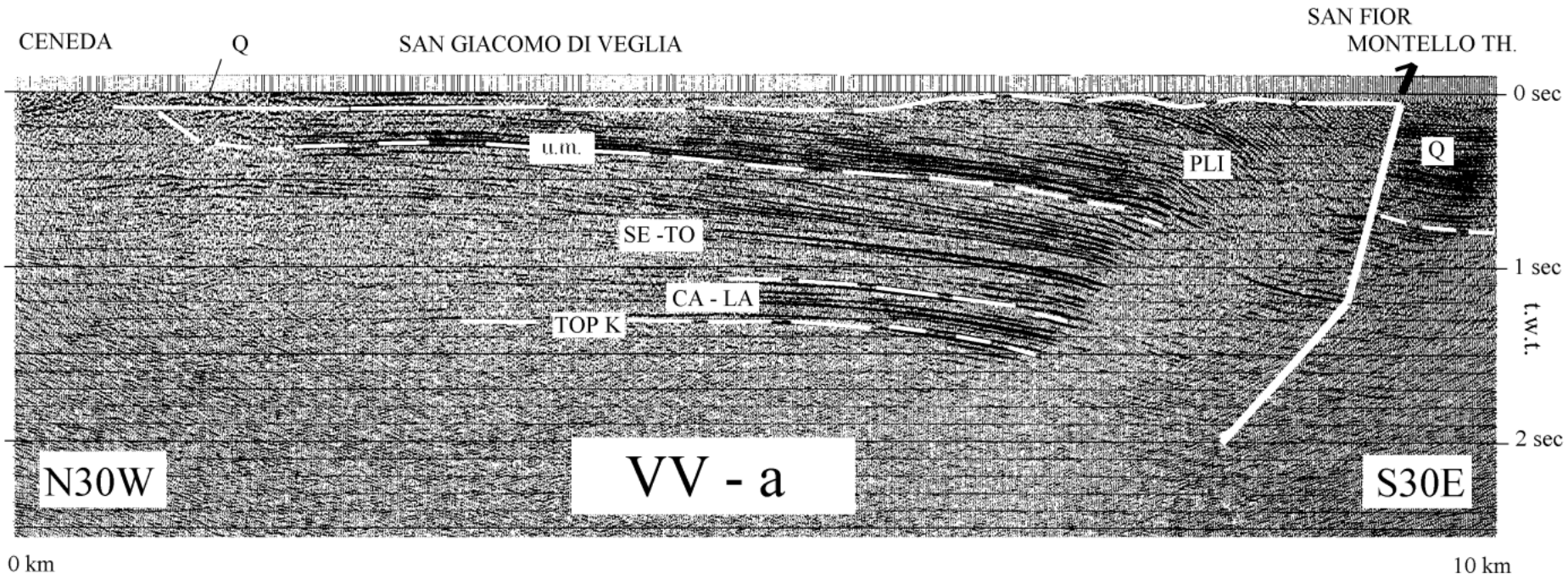
PROFILI SISMICI A RIFLESSIONE DELLA PIANURA VENETA ORIENTALE: LA CHIUSURA LATERALE DEL SOVRASCORRIMENTO DEL MONTELLO

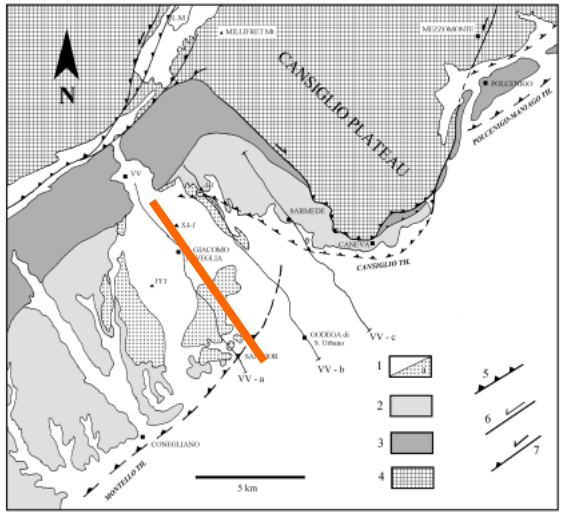


Presso la piana di Vittorio Veneto il sovrascorrimento del Cansiglio (struttura a sua volta attiva e sismogenica) si accavalla su quello del Montello.

Una serie di profili sismici mostra la progressiva attenuazione della deformazione lungo il s. del Montello procedendo da W verso E.

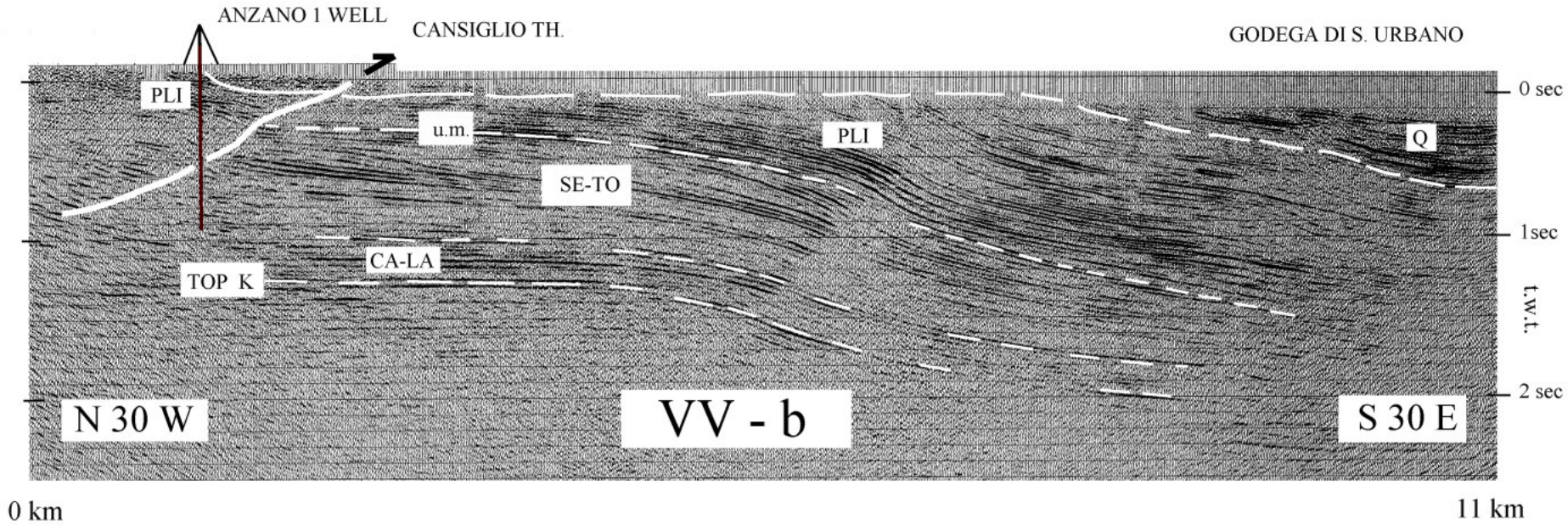
1.Depositi quaternari indifferenziati; a) depositi glaciali; 2. Depositi pliocenici di avanfossa sudalpina; 3.Depositi miocenici di avanfossa sudalpina; 4. Depositi di piattaforma mesozoica e di bacino cenozoici.

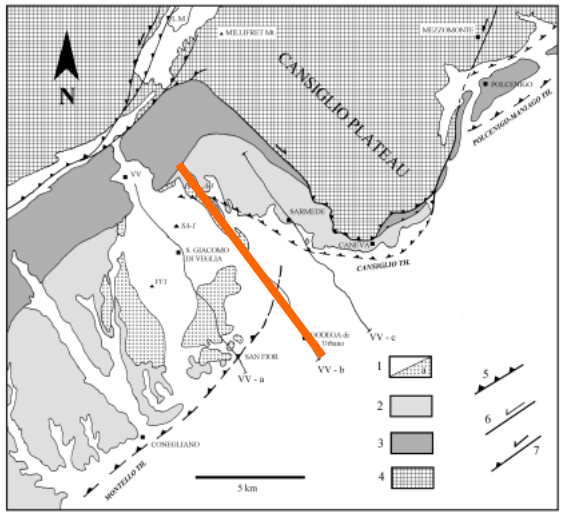




La sezione sismica più occidentale mostra la dislocazione dei terreni per effetto del sovrascorrimento del Montello.

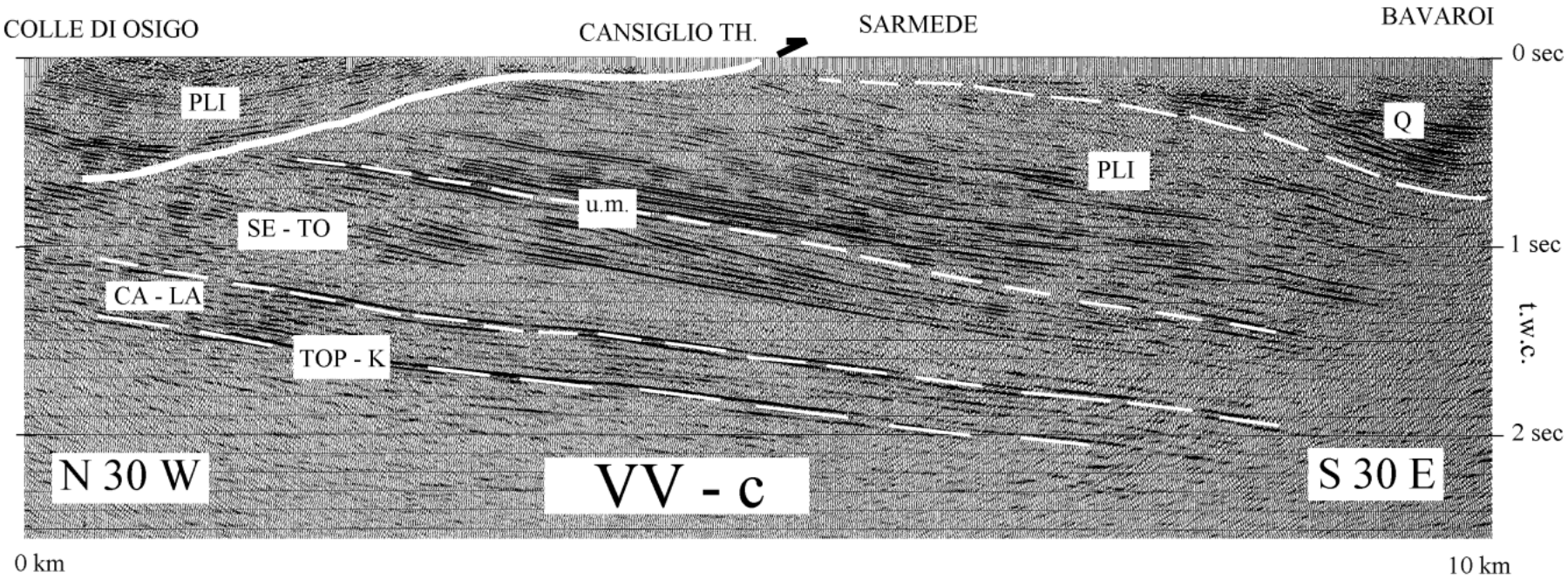
Q: depositi quaternari; PLI: depositi pliocenici; u.m.: *unconformity* messiniana; SE-TO e CA-LA: depositi serravalliano-tortoniani e cattiano-langhiani; TOP K: top della Piattaforma Carbonatica mesozoica.

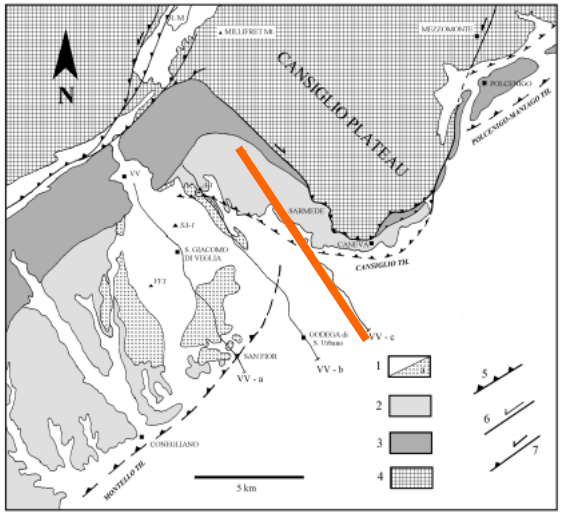




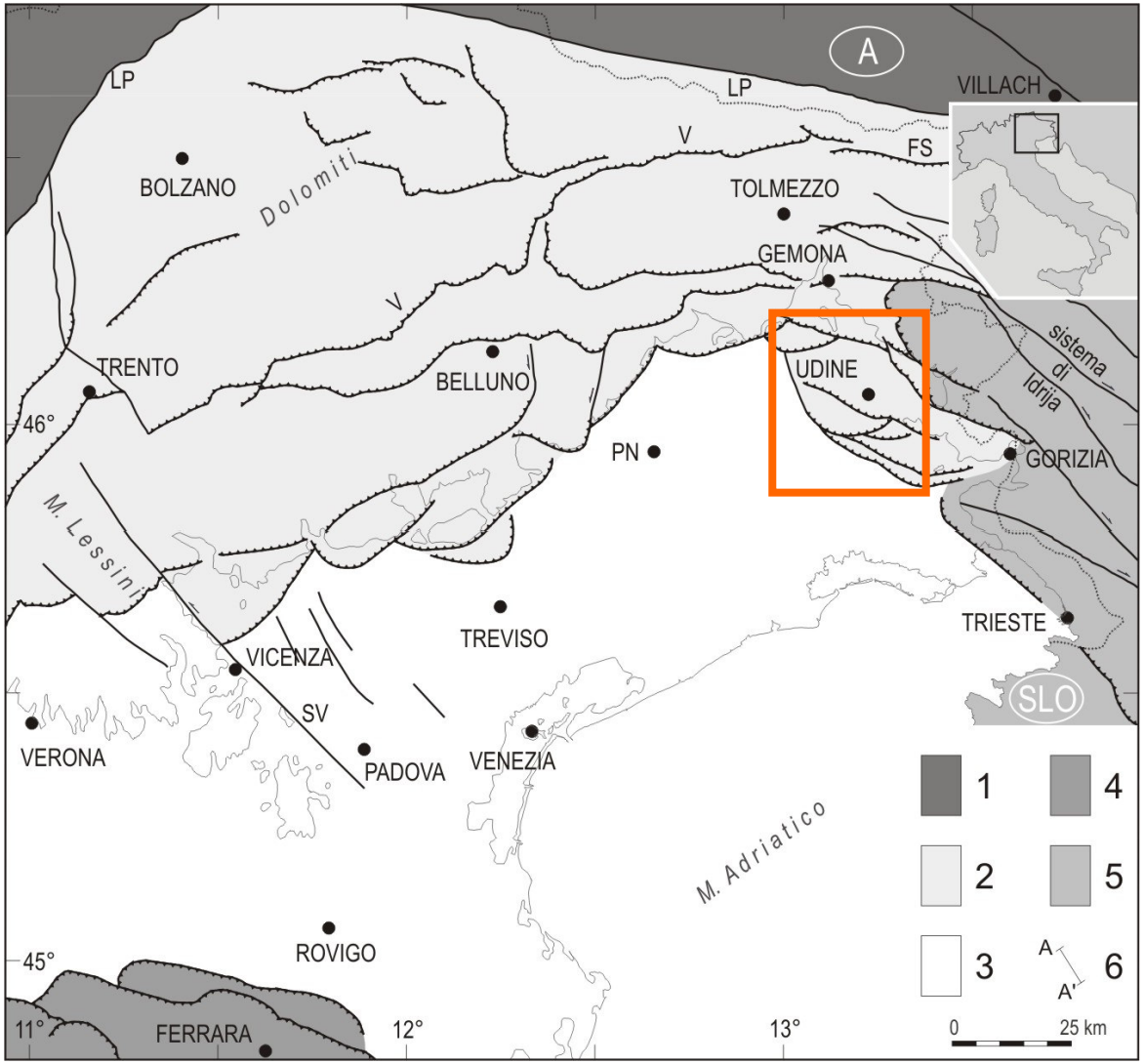
Procedendo verso oriente, l'efficacia del sovrascorrimento del Montello si va via via smorzando: è evidente solo il piegamento delle successioni tardo-mesozoiche - quaternarie.

Da notare invece, nella porzione settentrionale della sezione, il raddoppio delle sequenze plioceniche ad opera del sovrascorrimento del Cansiglio, evidenziato nel pozzo Anzano 1.





Al di sotto del massiccio carbonatico del Cansiglio, i terreni assumono assetto monoclinalico. Nella porzione collinare è evidente invece l'azione del sovrascorimento del Cansiglio.



3.

IL FRONTE DEL SUDALPINO ORIENTALE NELLA PIANURA FRIULANA

Foglio geologico

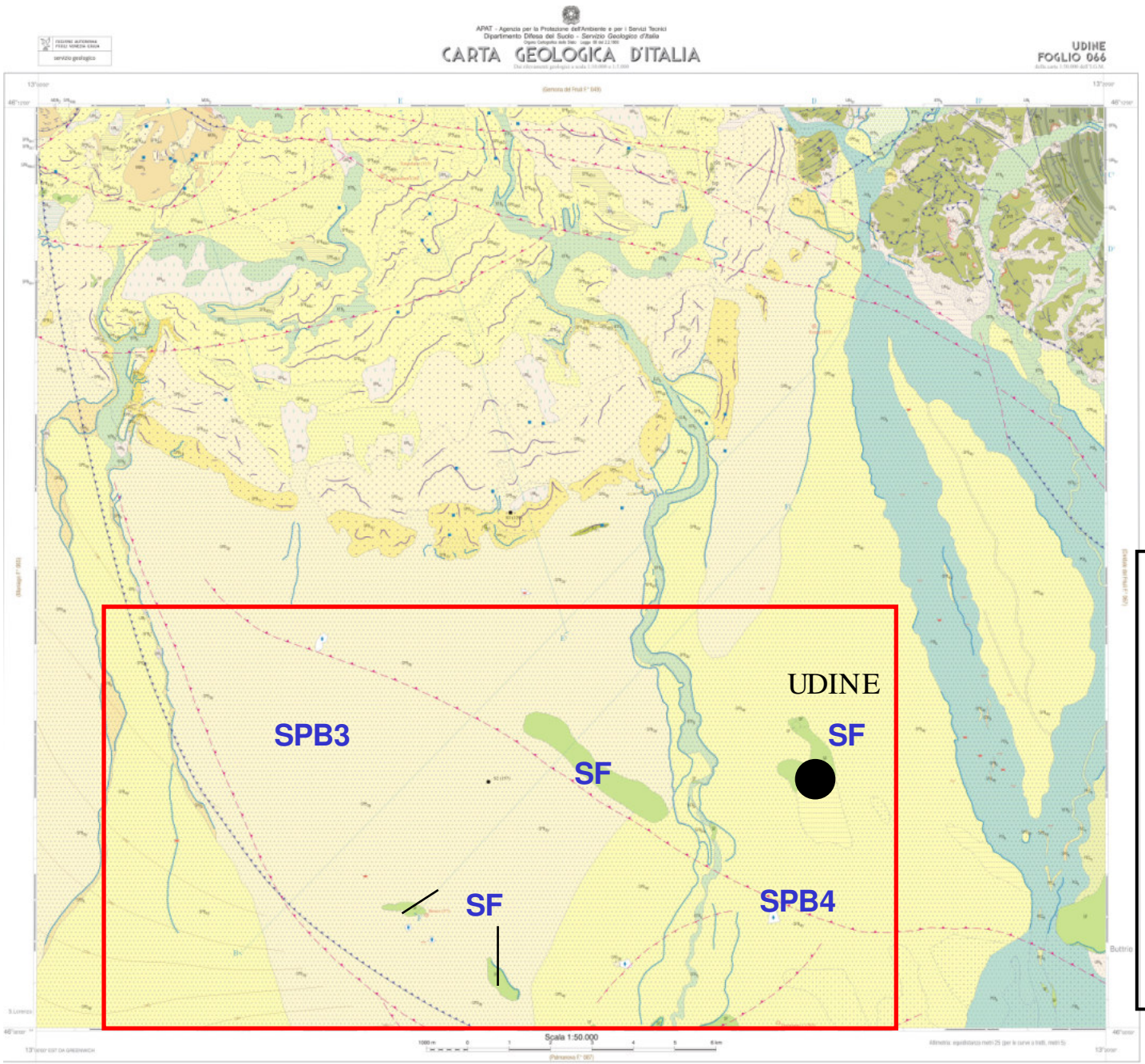
066 - Udine

(Progetto CARG – FVG)

1. Austroalpino; 2. Sudalpino orientale; 3. Avampaese sudalpino-appenninico; 3. Fronte appenninico; 4. Terreni a prevalente deformazione dinarica paleogenica.

I *"RILIEVI ISOLATI"* DELLA PIANURA FRIULANA ORIENTALE

PROGETTO CARG – FVG - FOGLIO 066-UDINE



SF

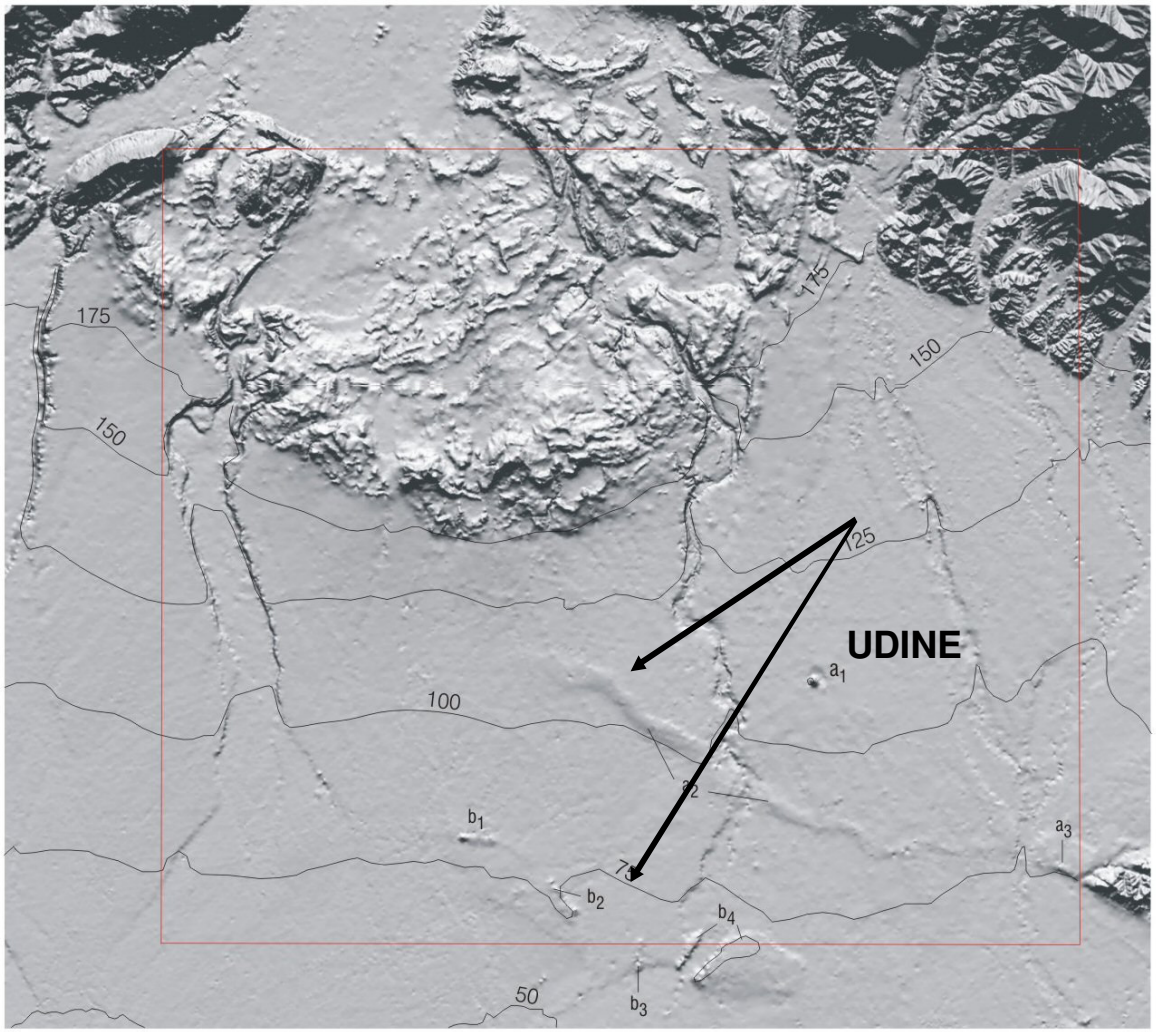
Conglomerati del Pliocene superiore-Pleistocene

SPB4 **SPB3**

Ghiaie e sabbie del LGM e del tardoglaciale (Pleistocene superiore)

RAPPRESENTAZIONE DEL RILIEVO

Scala 1:250.000



Modello del terreno da dati CTRN con lumeggiamento da nord (esagerazione 10 x), quote in m s.l.m.

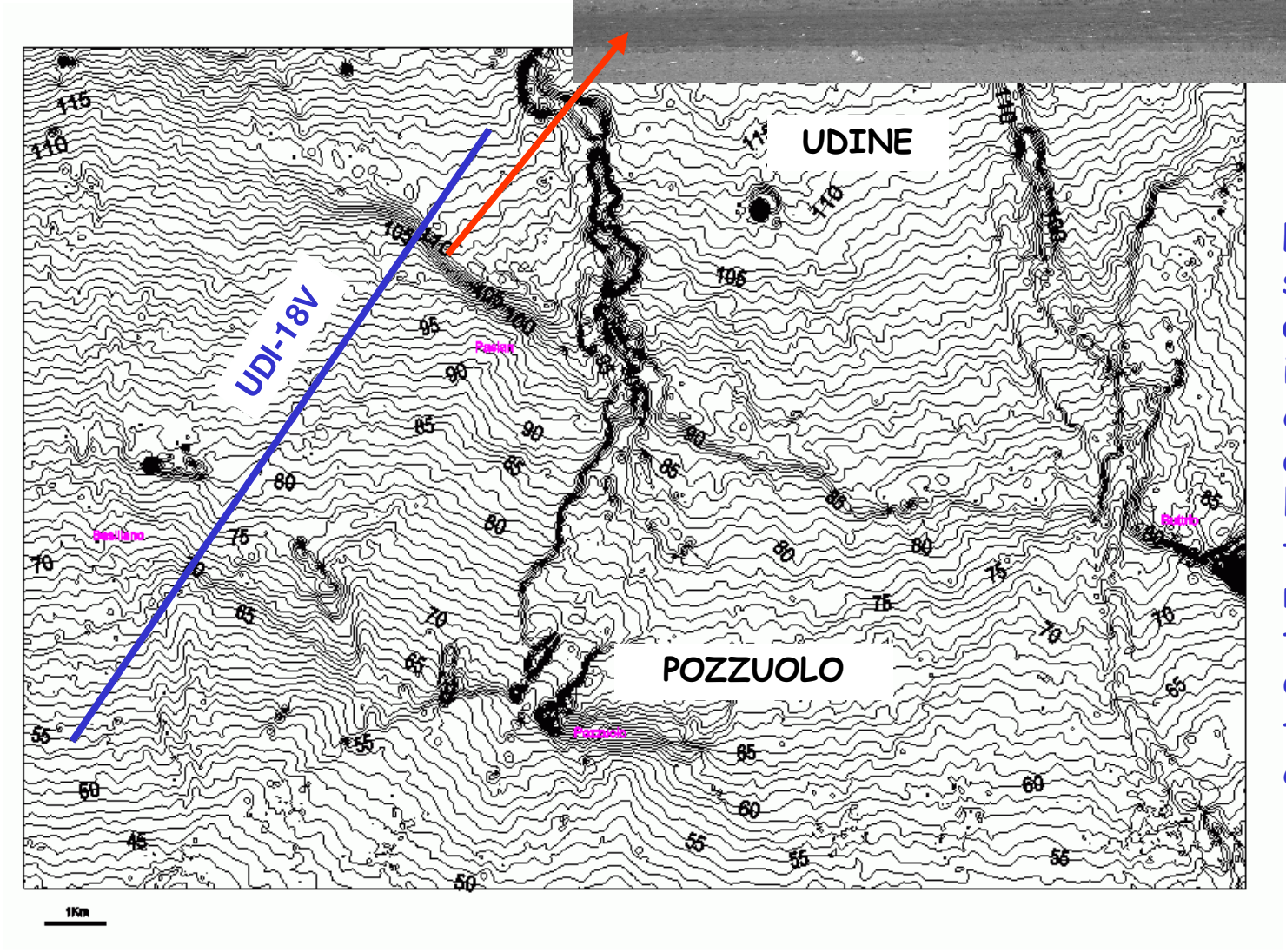
limite del Foglio — 50 curva di livello

Elevazioni della pianura associate rispettivamente ai sovrascorrimenti di Udine (a) e di Pozzuolo del Friuli (b):

- a_1 colle di Udine
- a_2 dorsale di Pasian di Prato
- a_3 terrazzo di Buttrio
- b_1 rilievi di Variano
- b_2 rilievo di Orgnano
- b_3 rilievo di Carpeneto
- b_4 rilievi di Pozzuolo

Il dem evidenzia i rilievi isolati che si elevano sulla superficie tardo-pleistocenica della pianura.

EVIDENZE MORFOTETTONICHE DELLA ATTIVITA' DEL SOVRASCORRIMENTO DI UDINE NEL TARDO PLEISTOCENE-OLOCENE: LA SCARPATA DI PASIAN DI PRATO.



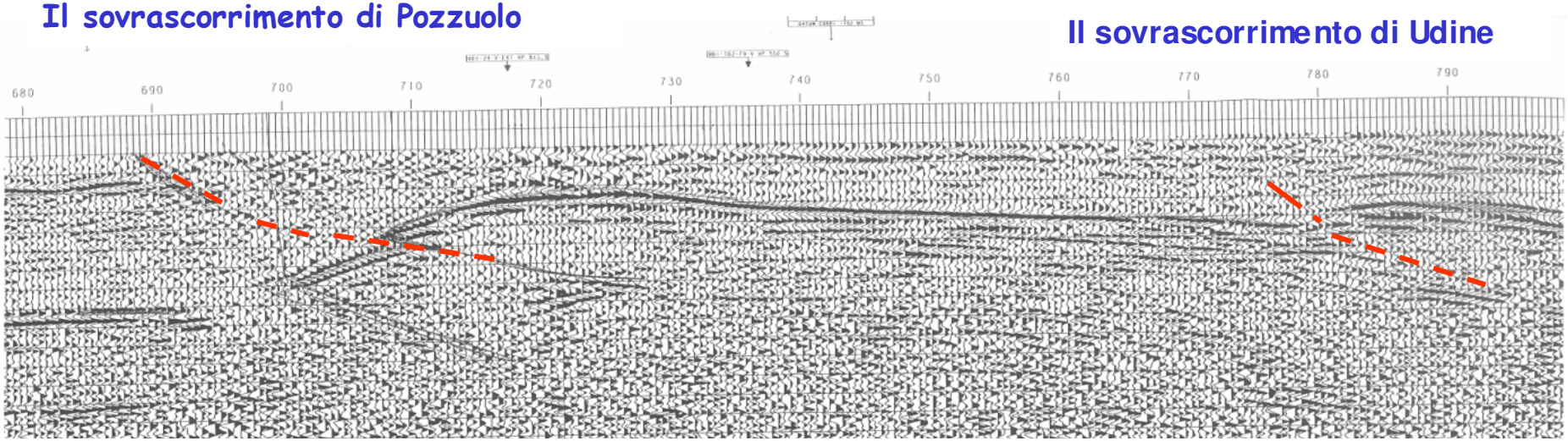
L'analisi delle sezioni sismiche a riflessione industriali ha consentito di evidenziare l'attività tettonica recente delle faglie cieche della pianura friulana centrale.

BASILIANO

PASIAN DI PRATO

Il sovrascorrimento di Pozzuolo

Il sovrascorrimento di Udine

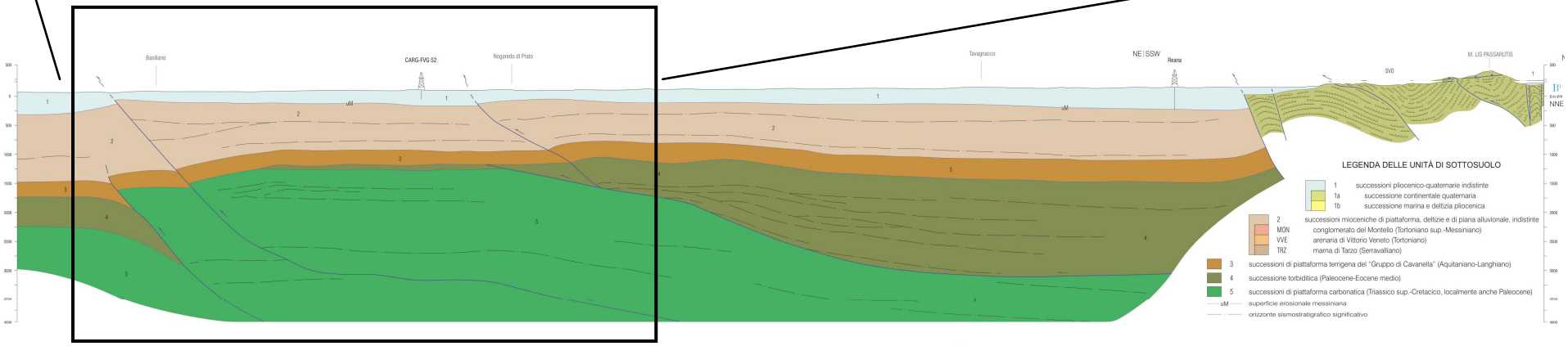


I sovrascorrimenti di Udine e di Pozzuolo tagliano e rigettano in profondità le sequenze oligo-mioceniche e deformano in superficie i depositi del tardo-Pleistocene.

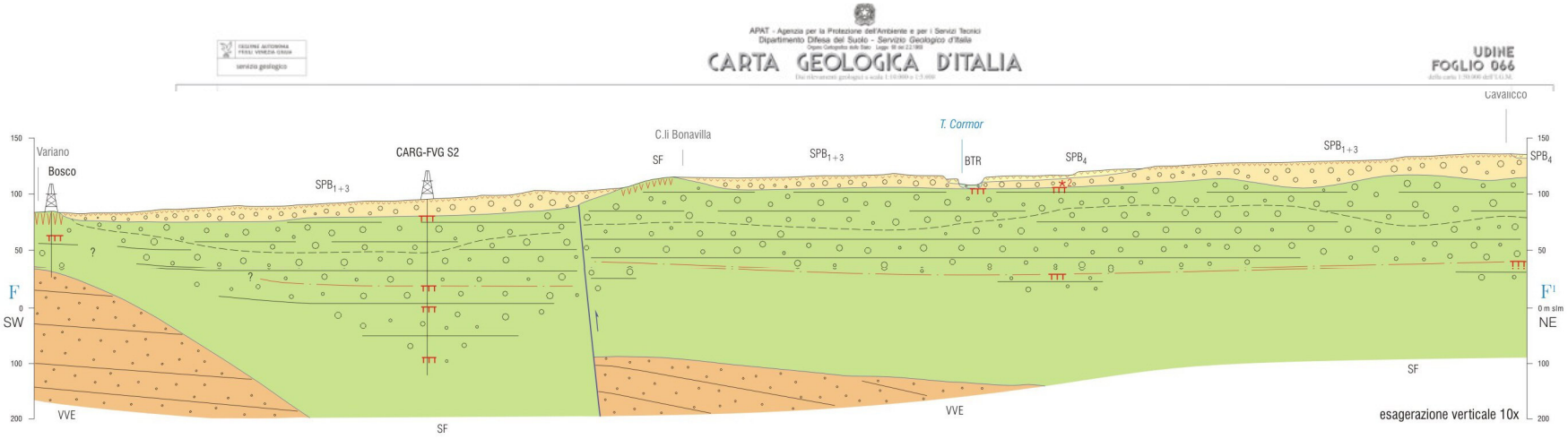
SW

UDI 18 V

NE



la sezione geologica corrispondente



SPB

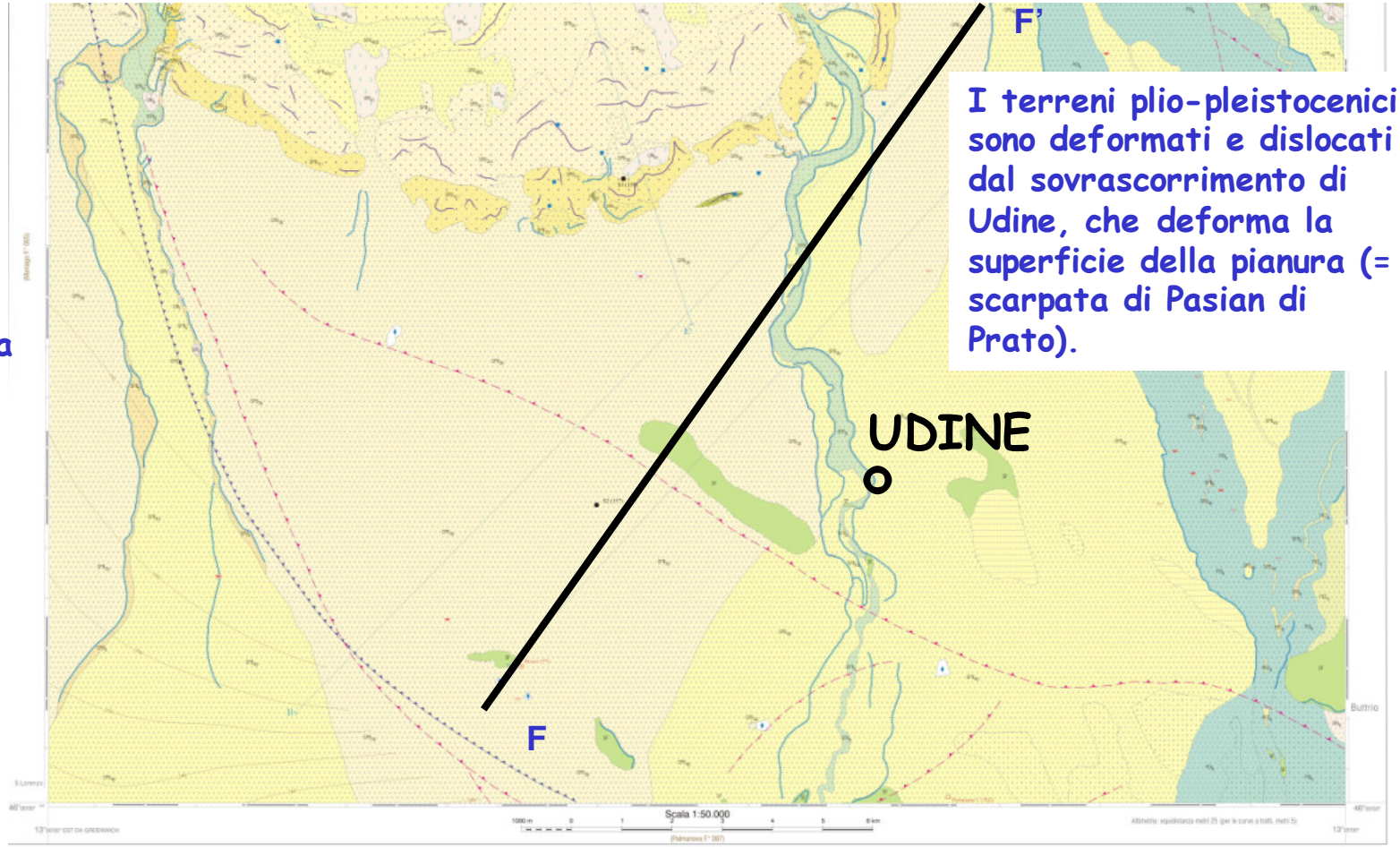
Depositi LGM (Pleistocene superiore)

SF

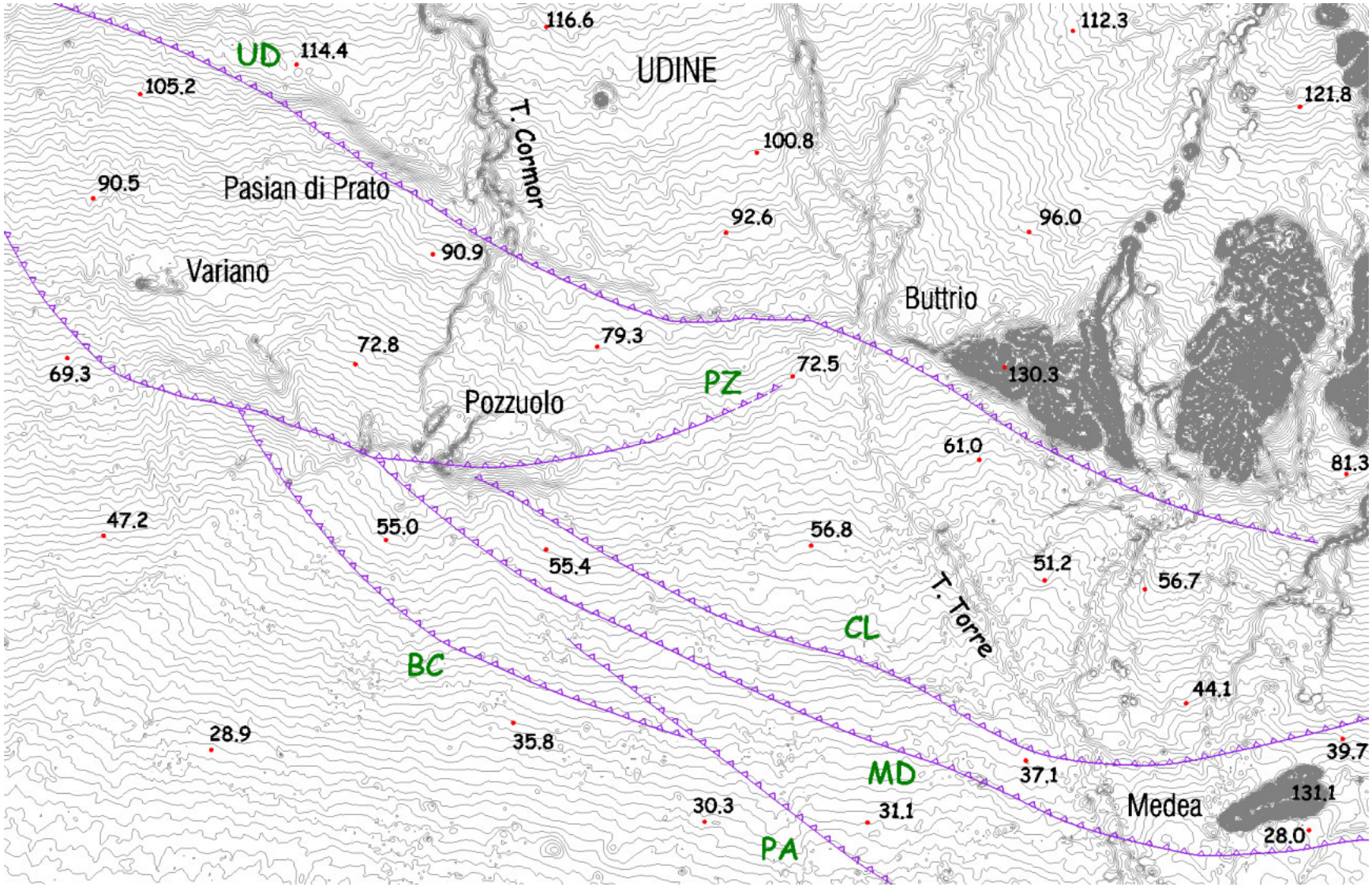
Supersintema del Friuli (Pliocene – Pleistocene superiore)

VVE

Arenaria di Vittorio Veneto (Tortoniano)



I terreni plio-pleistocenici sono deformati e dislocati dal sovrascorrimento di Udine, che deforma la superficie della pianura (= scarpata di Pasian di Prato).



DEM e modello strutturale dell'area compresa fra Udine e Medea.

PROCEDURA ADOTTATA PER L'IDENTIFICAZIONE DEI SEGMENTI DI SORGENTI SISMOGENICHE

Rilevamento geomorfologico per mettere in luce l'interazione fra crescita della faglia e deformazione che interessa la superficie topografica

Definizione delle evidenze superficiali di attività recente

Dati geofisici

Interpretazione di sezioni sismiche

Ricostruzione della geometria profonda delle faglie

Rilevamento strutturale di terreno

Dati geodetici

Slip vector (rake)

Datazioni geocronologiche

Slip rate

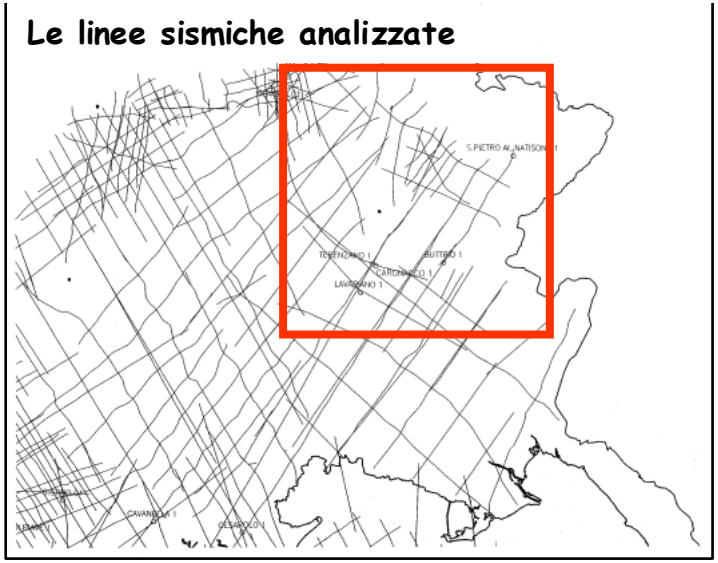
Sismologia strumentale

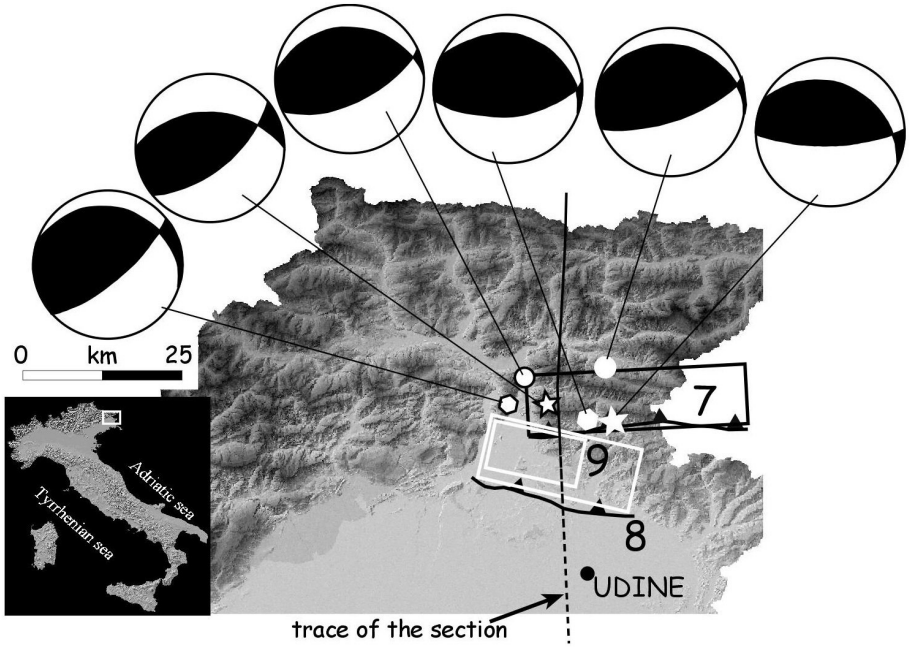
Dopo aver identificato le faglie attive, si procede all'identificazione dei segmenti potenzialmente sismogenici

Sismologia storica, paleosismologia , archeosismologia

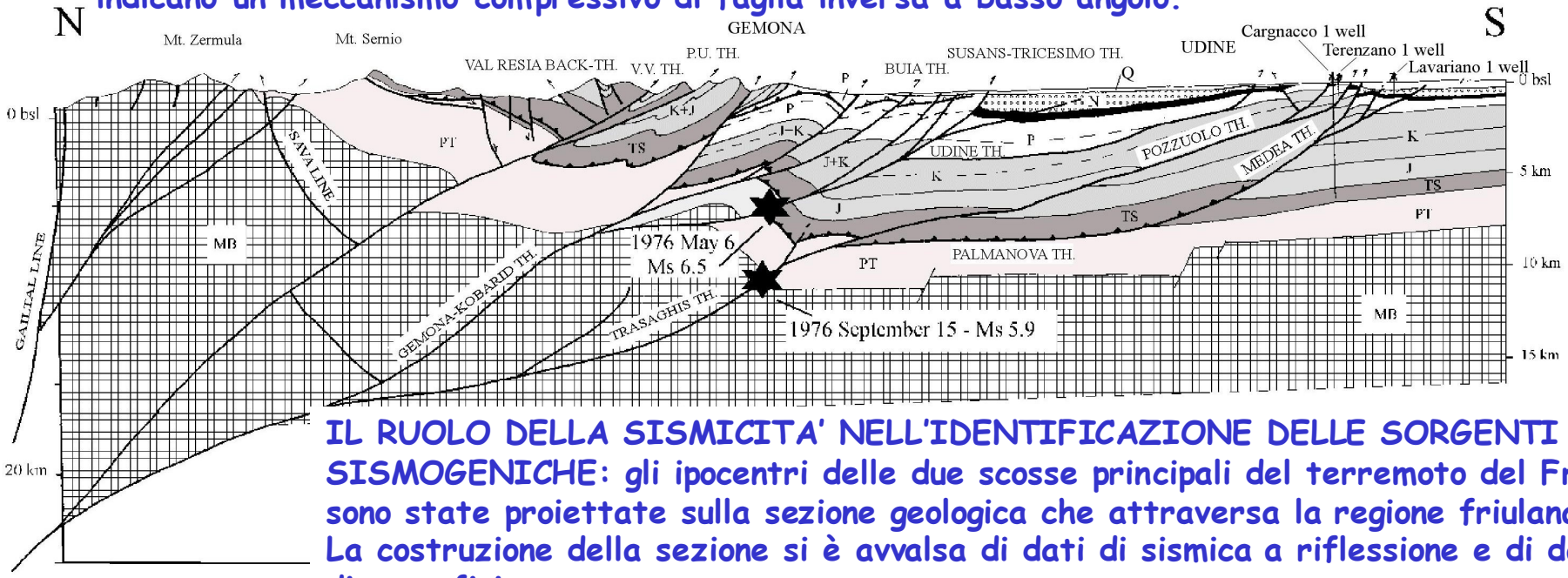
Definizione del terremoto caratteristico e associazione al terremoto storico

Intervallo di ricorrenza



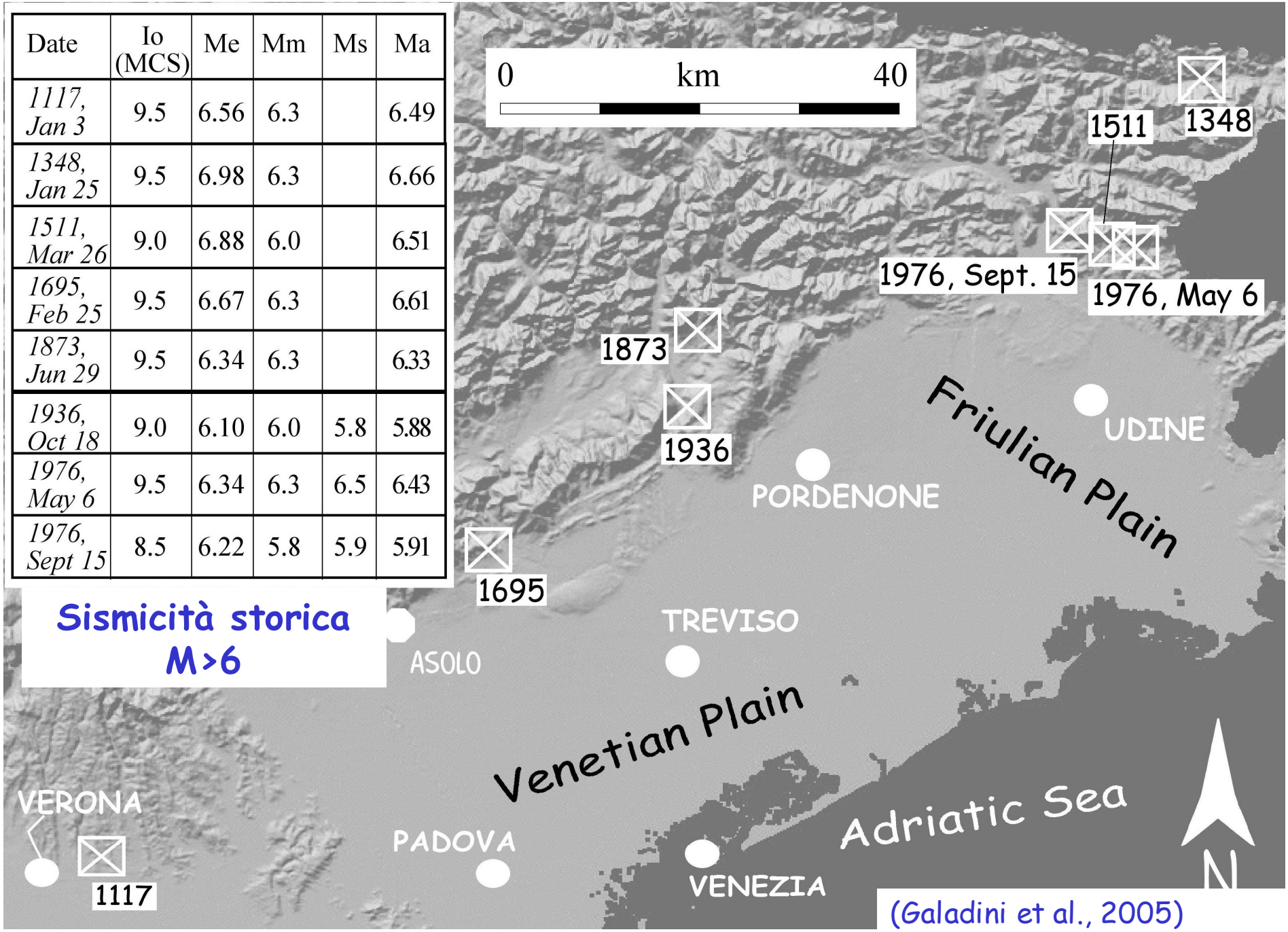


I meccanismi focali delle scosse principali del terremoto del Friuli (maggio-settembre 1976) indicano un meccanismo compressivo di faglia inversa a basso angolo.

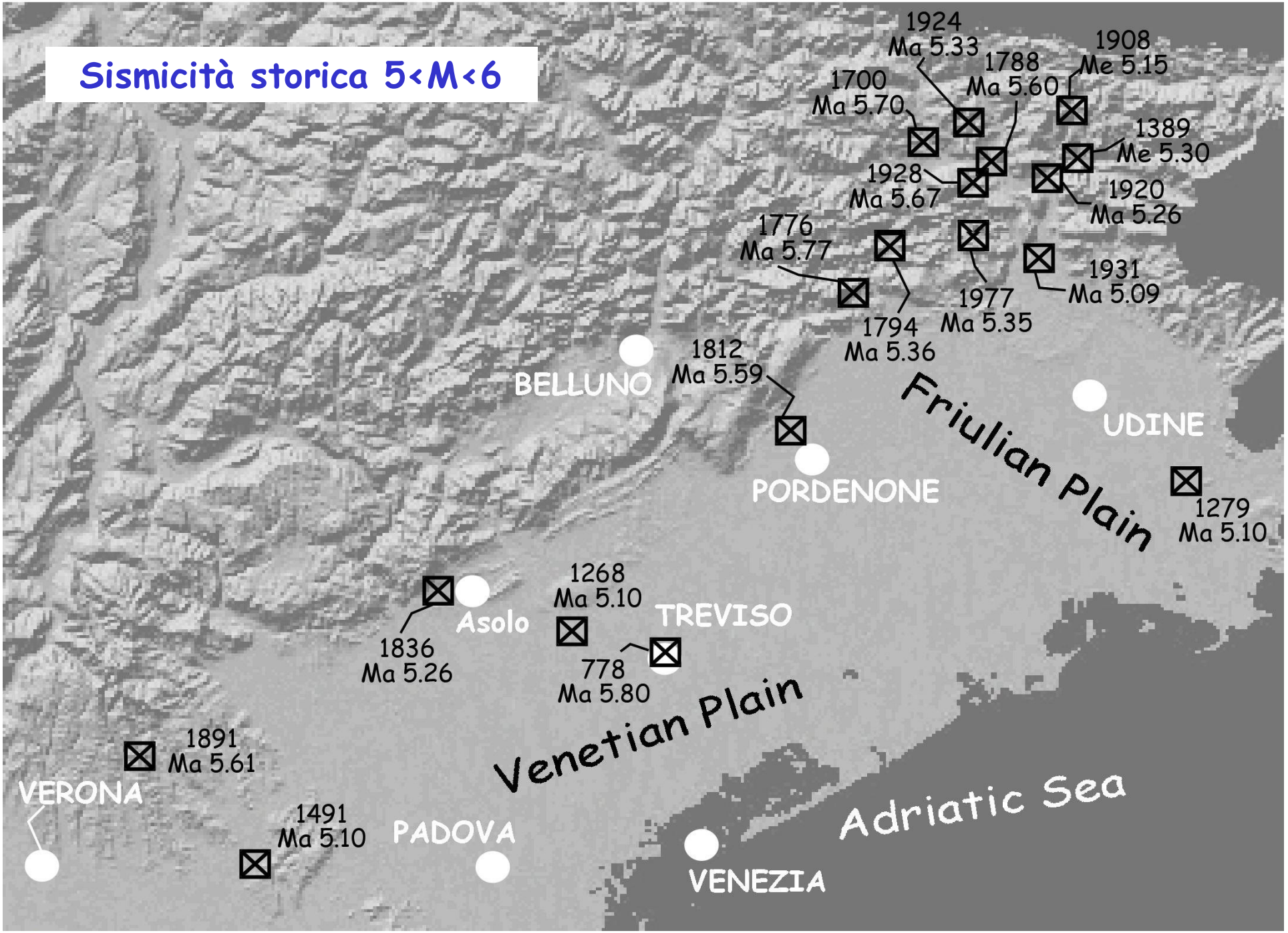


IL RUOLO DELLA SISMICITA' NELL'IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI SISMOGENICHE: gli ipocentri delle due scosse principali del terremoto del Friuli sono state proiettate sulla sezione geologica che attraversa la regione friulana. La costruzione della sezione si è avvalsa di dati di sismica a riflessione e di dati di superficie.

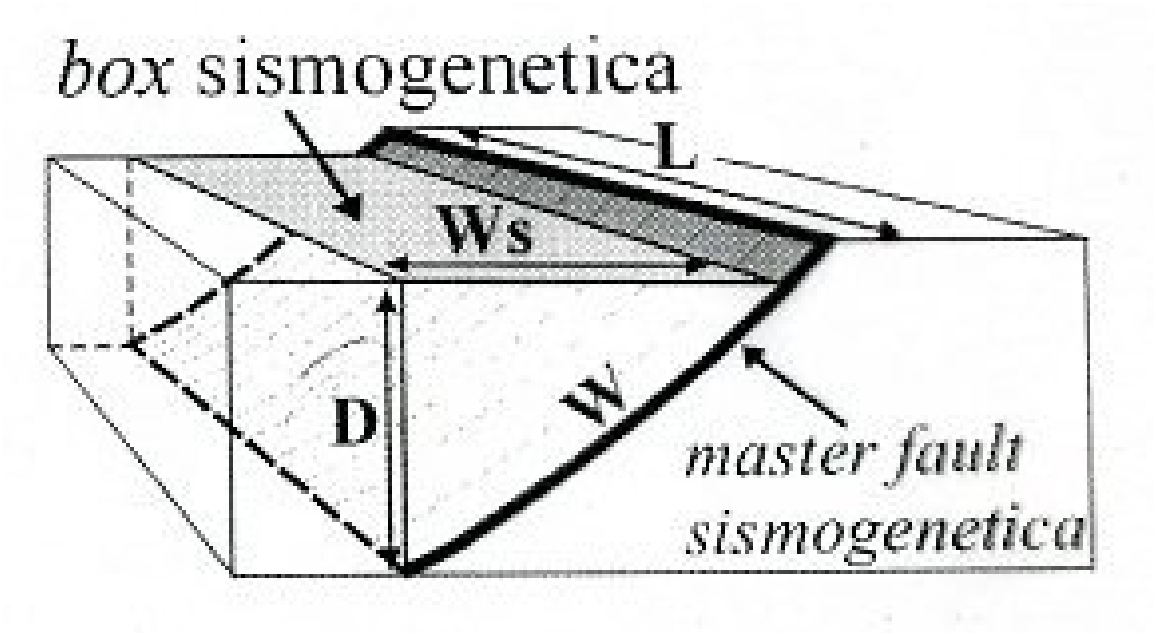
Date	Io (MCS)	Me	Mm	Ms	Ma
1117, Jan 3	9.5	6.56	6.3		6.49
1348, Jan 25	9.5	6.98	6.3		6.66
1511, Mar 26	9.0	6.88	6.0		6.51
1695, Feb 25	9.5	6.67	6.3		6.61
1873, Jun 29	9.5	6.34	6.3		6.33
1936, Oct 18	9.0	6.10	6.0	5.8	5.88
1976, May 6	9.5	6.34	6.3	6.5	6.43
1976, Sept 15	8.5	6.22	5.8	5.9	5.91



(Galadini et al., 2005)


Sismicità storica 5<M<6
1924
Ma 5.33
1908
Me 5.15
1788
Ma 5.60
1700
Ma 5.70
1389
Me 5.30
1928
Ma 5.67
1920
Ma 5.26
1776
Ma 5.77
1931
Ma 5.09
1977
Ma 5.35
1794
Ma 5.36
1812
Ma 5.59
BELLUNO
UDINE
Friulian Plain
PORDENONE
1279
Ma 5.10
1268
Ma 5.10
Asolo
TREVISO
1836
Ma 5.26
778
Ma 5.80
Venetian Plain
1891
Ma 5.61
VERONA
1491
Ma 5.10
PADOVA
Adriatic Sea
VENEZIA

INDIVIDUAZIONE E PARAMETRIZZAZIONE DELLE SORGENTI SISMOGENICHE



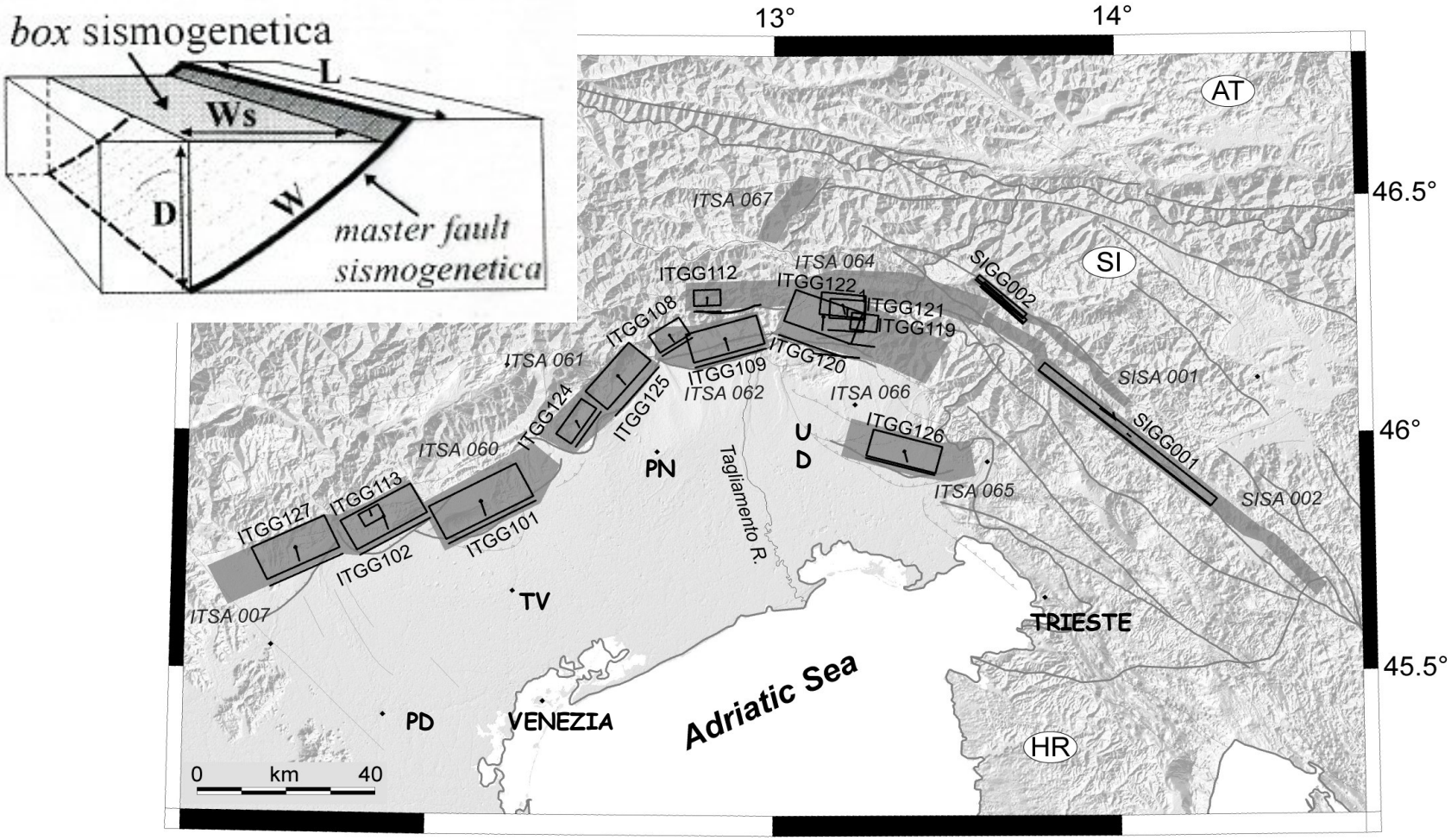
Con la box sismogenica viene rappresentata la struttura sismogenica in funzione della geometria tridimensionale.

Viene definita un'area sostanzialmente omogenea dal punto di vista cinematico e sismotettonico che rappresenta la proiezione in superficie della master fault sismogenica

Ws: la larghezza della box rappresenta la proiezione in superficie della lunghezza in direzione della superficie di faglia sismogenica, che dipende dalla profondità (D) e dalla inclinazione della superficie stessa.

E' un efficace strumento per analizzare il rapporto fra strutture tettoniche e sismicità e per affrontare la problematica della pericolosità sismica in termini di massima magnitudo attesa.

La magnitudo infatti è funzione dell'area di rottura cosismica e quindi della dimensione della struttura geologica.



Le sorgenti sismogeniche individuate nell'Italia nord-orientale e nella Slovenia occidentale inserite nel DISS - vers. 03 (Database of Individual Seismogenic Sources).

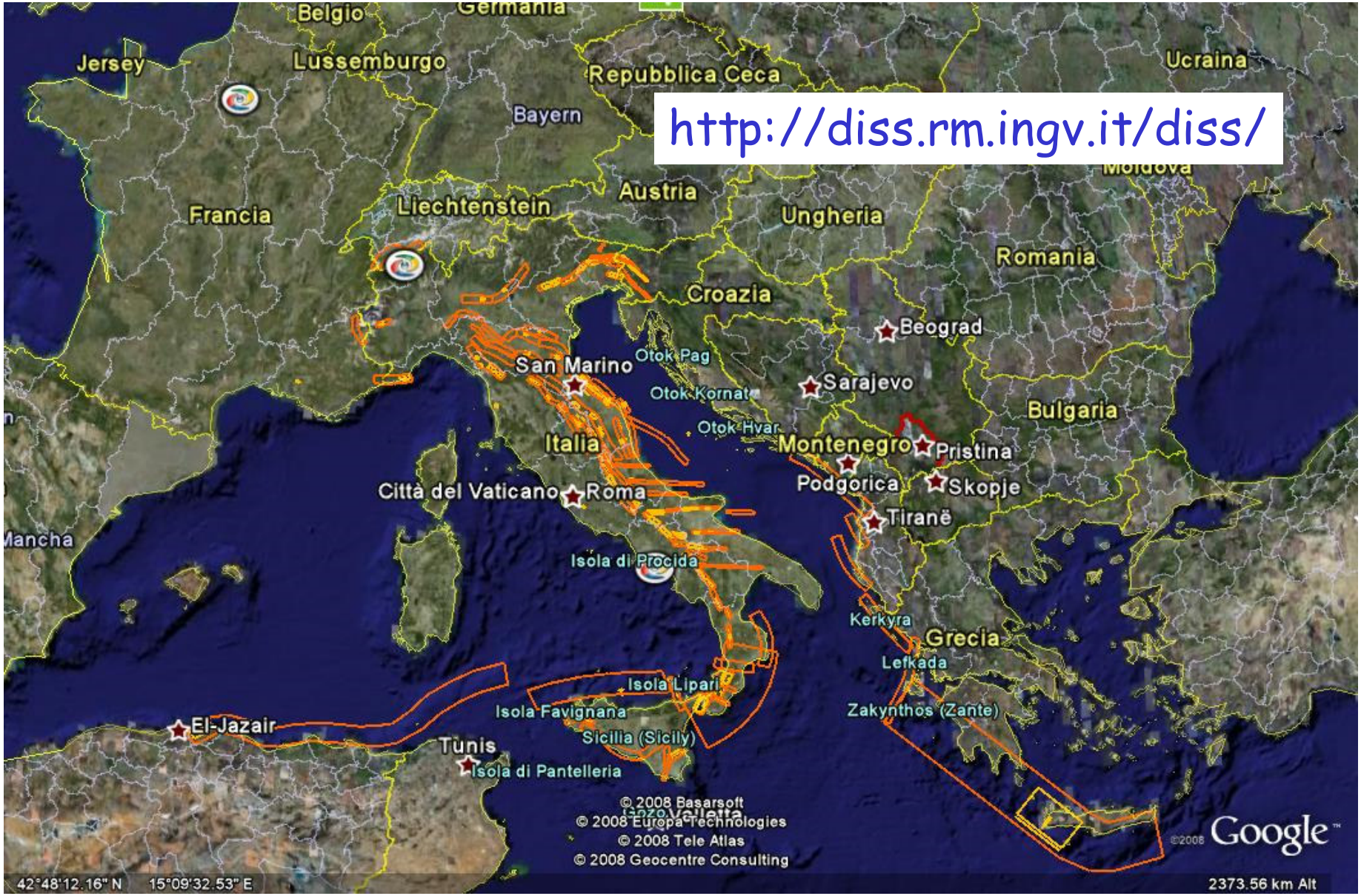
Le <u>sorgenti sismogeniche</u> <u>individuali</u> sono evidenziate in nero. Esse sono rappresentate con un rettangolo che è la proiezione del piano di faglia sulla superficie esterna e da una linea che rappresenta la proiezione della linea di rottura sulla superficie stessa. La freccetta nera all'interno del rettangolo rappresenta la direzione del vettore di movimento (vettore di slip sotto forma di angolo di rake). In grigio le aree con caratteristiche sismogeniche omogenee (<u>aree sismogeniche</u>). (Burrato et al., Tectonophysics, 2008).

ID	Name	LAT	LON	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip rate (mm/a)	Associated earthquake	M_w
ITGG127	Thiene-Bassano	45.69	11.54	18.0	9.5	1.0-5.8	244	30	80	0.10-1.00	Unknown	6.6
ITGG102	Bassano-Cornuda	45.75	11.79	18.0	9.5	1.0-6.4	240	35	80	0.70-0.87	25 Feb 1695	6.6
ITGG113	Monte Grappa	45.85	11.85	5.0	3.9	0.5-2.7	60	35	80	0.10-1.00	12 Jun 1836	5.5
ITGG101	Montello	45.88	12.31	22.0	11.2	1.0-8.2	242	40	80	0.47-1.56	Unknown	6.7
ITGG124	Cansiglio	45.98	12.41	10.0	6.4	1.5-6.4	214	50	60	0.52-0.65	18 Oct 1936	6.1
ITGG125	Polcenigo-Montereale	46.05	12.52	15.0	8.5	2.0-7.5	220	40	80	0.31-0.78	29 Jun 1873	6.4
ITGG108	Maniago	46.17	12.67	8.0	5.5	0.5-3.3	237	30	90	0.10-0.34	10 Jul 1776	5.9
ITGG109	Sequals	46.15	12.77	16.5	9.0	1.0-6.8	254	40	90	0.10-0.26	Unknown	6.5
ITGG112	Tramonti	46.27	12.77	6.0	4.5	1.0-3.6	268	35	90	0.10-1.00	07 Jun 1794	5.8
ITGG120	Gemona South	46.24	13.03	16.0	9.0	2.0-6.5	290	30	105	0.10-1.15	06 May 1976	6.4
ITGG122	Gemona East	46.26	13.13	10.0	6.4	6.5-10.2	276	35	110	0.10-0.61	15 Sep 1976	6.1
ITGG121	Montenars	46.25	13.16	8.0	5.5	2.0-5.2	274	35	90	0.10-0.61	15 Sep 1976	6.0
ITGG119	Tarcento	46.23	13.23	6.0	4.5	2.0-4.3	277	30	90	0.10-0.58	11 Sep 1976	5.7
ITGG126	Medea	45.96	13.27	16.0	9.0	0.5-6.9	285	45	120	0.10-0.28	Unknown	6.4
SIGG002	Bovec-Krn	46.32	13.61	13.0	7.0	3.0-9.9	313	82	171	0.10-2.00	12 Apr 1998	5.8
SIGG001	Idrija	46.14	13.77	50.0	12.6	1.0-13.4	310	80	176	0.10-2.00	26 Mar 1511	6.8

Parametri geometrici e cinematici delle Sorgenti sismogeniche individuali individuate in Italia nord-orientale e Slovenia occidentale.

Le coordinate geografiche sono riferite al vertice occidentale del piano di faglia. Il numero identificativo (ID) della sorgente è lo stesso che viene usato nel DISS Working Group (2006). La magnitudo del terremoto storico associato alla sorgente è tratta dal catalogo CPTI04 (Working Group CPTI, 2004), mentre la M_W delle altre sorgenti è stata calcolata attraverso le relazioni empiriche di Wells & Coppersmith (1994). Il tasso di spostamento deriva dai dati morfologici e geologici.

(Burrato et al., Tectonophysics, 2008)



Le sorgenti individuali sono state georeferenziate e descritte nel catalogo DISS-03 disponibile online.

In questa immagine: le sorgenti individuate e descritte per l'Italia NE e la Slovenia occidentale.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Banca dati INGV - http://www.ingv.it/servizi-e-risorse/banche-dati

Barchi M. et alii (a cura di) - *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale; parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*. CNR – GND - Roma, 2000, 62 pp.

Benedetti, L., Tapponnier, P., King, G.C.P., Meyer, B. & Manighetti, I., 2000. Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy, *J. geophys. Res.*, 105, 739-766.

Burrato P., Poli M.E., Vannoli P., Zanferrari A., Basili R., Galadini F. (2008) - *Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence*. Tectonophysics, Special volume "*Earthquake Geology: methods and applications*" guest editors: R. Caputo & S.B. Pavlides; 453, 157-176. doi:10.1016/j.tecto.2007.07.009

CNR-GNDT (2000) – Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). A cura di Galadini, Meletti Rebez.

Galadini F., Poli M.E. , Zanferrari A. (2005) - *Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M≥6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy).* Geophysical Journal International, 161, 739-762.

Galli P., Galadini F. , Pantosti D. (2008) – *Twenty years of paleoseismology in Italy*. Earth-Sciences Reviews,88, 89-117.

Gebrande H. et alii (A cura di) – TRANSALP: a transect through a young collisional orogen. Tectnophysics vol. 114, 2006.

http://diss.rm.ingv.it/diss

http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf

Poli M.E., Burrato P., Galadini F. & Zanferrari A. (2008) - *Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in NE Italy*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata. Volume speciale: "*Scenari di danno nell'area veneto-friulana*"; 49/3-4, 301-314.

Transalp conference. In Mem. Soc. geol., vol. 54. Extended abstract of oral and poster presentations. Trieste, 10-12 february 2003.

Zanferrari A. et alii (2008) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 065 "Maniago".* APAT-Servizio Geologico Nazionale - Regione A. Friuli Venezia Giulia. Graphicinea, Tavagnacco (UD).

Zanferrari A. et alii (2008) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 066 "Udine"*. APAT-Servizio Geologico Nazionale - Regione A. Friuli Venezia Giulia. GraphicLinea, Tavagnacco (UD).