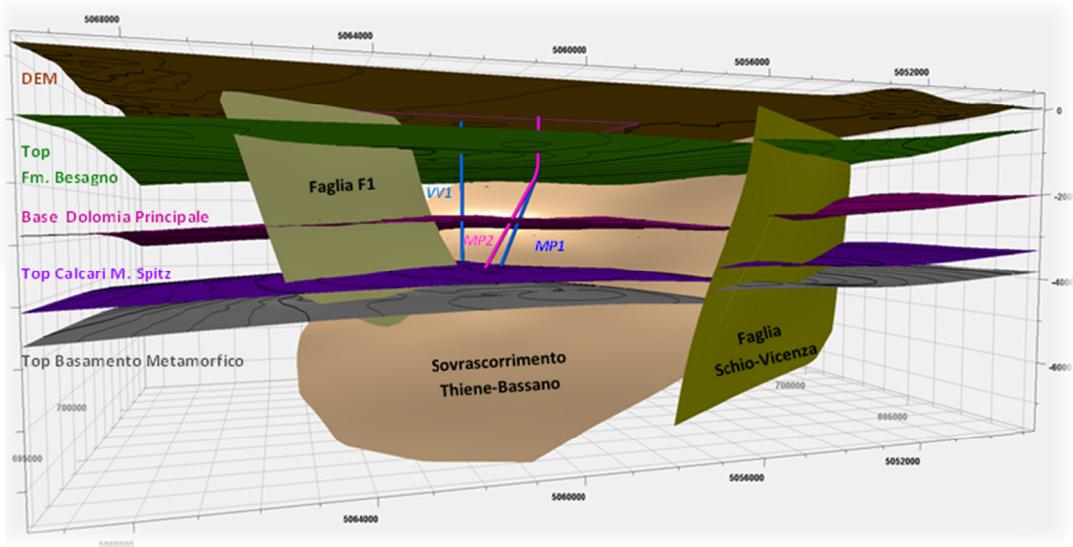




**Ricostruzione del modello geologico-strutturale 3D
e revisione del contesto sismo-tettonico nell'area
del permesso di ricerca di risorse geotermiche
"Montecchio Precalcino"**



Settembre 2015

Preparato da:

Davide Scrocca e Riccardo Recanati

**Laboratorio di Modellazione Geologica di Sottosuolo
Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (CNR)**

Sommario

0	Riassunto	3
1	Introduzione	5
2	Inquadramento geologico-strutturale dell'area in esame	6
3	Contesto sismo-tettonico dell'area di studio	9
4	Modello geologico-strutturale 3D	14
4.1	Dati disponibili	14
4.1.1	Pozzi	14
4.1.2	Profili sismici a riflessione.....	14
4.1.3	Dati di letteratura	15
4.2	Metodologia	16
4.3	Principali risultati e discussione degli elementi di criticità.....	18
4.3.1	Interpretazione stratigrafica del pozzo Villaverla-1	20
4.3.2	Caratteristiche e posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano	20
4.3.3	Altri elementi strutturali.....	21
4.3.4	Assetto strutturale del serbatoio geotermico profondo	21
5	Conclusioni	26
6	Bibliografia.....	27

0 Riassunto

Questo rapporto descrive i risultati di uno studio, svolto dal Laboratorio di Modellazione Geologica di Sottosuolo dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche su richiesta della società Lifenergy Srl, finalizzato alla revisione e all'approfondimento conoscitivo del contesto sismo-tettonico e alla ricostruzione del modello geologico-strutturale 3D dell'area interessata dal Permesso di Ricerca di risorse geotermiche denominato "Montecchio Precalcino".

L'assetto strutturale dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di un sovrascorrimento denominato Thiene-Bassano, descritto in numerosi lavori scientifici, ritenuto attivo e capace di generare terremoti fino a Magnitudo Mw 6.6 (e.g., DISS Working Group, 2015). Tale sovrascorrimento, per l'assenza di terremoti storici a esso chiaramente associabili, viene considerato essere in condizioni di *gap* sismico. Verso SW, il sovrascorrimento Thiene-Bassano è limitato da un altro motivo strutturale di rilievo regionale rappresentato dal sistema di faglie Schio-Vicenza (e.g., Pola *et al.*, 2014).

La posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano è stata ricostruita in modo anche significativamente differente nei diversi lavori scientifici che ne hanno riconosciuta l'esistenza (e.g., Antonelli *et al.*, 1990; Castellarin *et al.* 1998; Galadini *et al.*, 2005; Poli *et al.*, 2008; Pilli *et al.*, 2012; Pola *et al.*, 2013; Scardia *et al.*, 2014; Pola *et al.* 2014). Tali notevoli differenze interessano soprattutto la sua porzione sud-occidentale che mostra scarti tra le varie ubicazioni proposte anche superiori a 10 km. La causa di queste differenze è ascrivibile ai diversi approcci con cui è stata ricostruita la posizione del sovrascorrimento, che solo in alcuni casi è stata ricavata dall'interpretazione di dati di sottosuolo.

Di conseguenza, l'elaborazione di un modello geologico-strutturale 3D aggiornato dell'area in esame è stato basato sull'analisi diretta dei dati di pozzo e dei profili sismici a riflessione esistenti, eseguita durante un *data-room* presso gli uffici ENI di Milano. Le informazioni ottenute sono state quindi integrate con una revisione critica dei dati geofisici e geologici reperibili nella letteratura scientifica. In particolare, la calibrazione dell'interpretazione sismica è stata eseguita sulla base dei tagli formazionali del pozzo Villaverla-1 convertiti da profondità a tempi sulla base di un modello di velocità derivato da dati di letteratura. Le evidenze derivate dall'analisi dei profili sismici visionati durante il *data-room* sono state quindi convertite da tempi a profondità, utilizzando lo stesso modello di velocità.

Le principali superfici geologiche modellate sono la topografia, la base del Quaternario, il top della Fm. di Besagno (Eocene medio), la base della Dolomia Principale (Norico), il top della Fm. dei Calcari di M. Spitz (Ladinico inferiore) e il top del basamento metamorfico (pre-Permiano). In particolare, le ultime due superfici citate delimitano, rispettivamente verso l'alto e verso il basso, il serbatoio geotermico profondo oggetto della attività esplorative. Inoltre, sono state ricostruite le principali strutture note rappresentate dalla faglia Schio-Vicenza, dal sovrascorrimento Thiene-Bassano e della faglia denominata F1, individuata nel settore a nord del pozzo Villaverla-1.

Va comunque tenuto in considerazione che si tratta di un modello preliminare, basato su dati di qualità e quantità limitata sebbene comunque significativi, che dovrà essere verificato e sviluppato utilizzando tutte le informazioni che saranno raccolte durante la successiva fase esplorativa del permesso. Inoltre, è opportuno sottolineare che i risultati ottenuti sono comunque basati su un'interpretazione di dati (e.g., riflettori osservabili in profili sismici a riflessione o informazioni contenute nel profilo finale di pozzo) che, seppure esperta, è comunque per sua natura soggettiva. Infine, si segnala che alcune delle elaborazioni eseguite implicano un certo livello d'incertezza (e.g., il modello di velocità utilizzato per la conversione tempi-profondità) e che alcune porzioni del modello sono poco vincolate dai dati disponibili (e.g., il blocco nel *footwall* del sovrascorrimento Thiene-Bassano) o comunque derivate da una rielaborazione di informazioni desunte da interpretazioni effettuate da altri autori.

In definitiva, il modello geologico-strutturale 3D ricostruito va inteso come la rappresentazione più probabile della nostra interpretazione dei dati e delle informazioni oggi disponibili. Di conseguenza, le valutazioni quantitative effettuate sul modello (e.g., misure di distanze) sono da considerarsi stime

indicative soggette a un margine di errore (difficilmente valutabile in dettaglio) che non modifica però la sostanza delle ricostruzioni proposte.

Nei limiti sopra discussi, il modello 3D elaborato è in grado di fornire un contributo utile a chiarire alcune questioni fondamentali per la valutazione geotermica dell'area, quali ad esempio la descrizione della geometria attesa per le formazioni geologiche che costituiscono il serbatoio profondo e la posizione e le caratteristiche del sovrascorrimento Thiene-Bassano.

Le superfici geologiche ricostruite descrivono l'assetto geologico-strutturale dell'area considerata e, in particolare, del serbatoio geotermico profondo di interesse. La sostanziale continuità degli orizzonti e delle *facies* sismiche attribuibili alle formazioni triassiche, muovendo dal pozzo Villaverla-1 verso l'area interessata dai pozzi esplorativi MP1 e MP2, suggerisce la probabile persistenza laterale, almeno per qualche chilometro, delle litologie perforate dal pozzo Villaverla-1 .

Il sovrascorrimento Thiene-Bassano mostra una geometria arcuata e risulta ubicato diversi chilometri a sud rispetto al pozzo Villaverla-1, in una posizione molto vicina a quella ricostruita da Pilli *et al.* (2012) e Poli *et al.* (2008). La linea che definisce gli *hanging-wall cutoff* del sovrascorrimento al livello del top della formazione che rappresenta il serbatoio geotermico profondo (Fm. dei Calcari di M. Spitz) risulta posizionata circa 2.4 km a sud-est del pozzo Villaverla-1 ed oltre 2 km a sud della piazzola prevista per i pozzi esplorativi proposti.

La superficie di sovrascorrimento, a causa del suo approfondimento in direzione nord-ovest, si trova a passare al di sotto del fondo pozzo di Villaverla-1 (circa 1600 m sulla verticale) e delle due perforazioni esplorative previste (circa 1350-1400 m sulla verticale), senza quindi attraversarle. Tale risultato è coerente con la reinterpretazione dell'insieme delle informazioni geologiche e tecniche disponibili per il pozzo Villaverla-1, che non mostra evidenze della perforazione di un superficie di sovrascorrimento attiva.

Il modello digitale 3D prodotto con questo studio rappresenta il necessario *input* di base per successivi studi che potranno riguardare la simulazione numerica del comportamento del serbatoio geotermico, volta a determinare le perturbazioni del campo di temperature e di pressioni generate dall'eventuale esercizio dell'impianto, e la modellazione geomeccanica degli effetti di tali perturbazioni sulle faglie attive presenti.

1 Introduzione

Il Laboratorio di Modellazione Geologica di Sottosuolo dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), su richiesta della società Lifenergy Srl, ha realizzato uno studio finalizzato alla revisione del contesto sismo-tettonico e alla ricostruzione del modello geologico-strutturale 3D dell'area interessata dal Permesso di Ricerca di risorse geotermiche denominato "Montecchio Precalcino".

In particolare, sulla base delle indicazioni fornite dalla società richiedente questo studio si proponeva i seguenti obiettivi:

- partecipazione al *data-room* organizzato dalla società Lifenergy Srl presso gli uffici ENI di Milano e interpretazione dei dati sismici a riflessione e di pozzo disponibili;
- elaborazione di un modello di velocità per la conversione tempi-profondità dell'interpretazione dei profili sismici;
- definizione dell'assetto geologico-strutturale dell'area in esame sulla base dell'integrazione dei risultati dell'analisi diretta dei profili sismici effettuata durante il *data-room* con i dati (geofisici e geologici, di superficie e di sottosuolo) reperibili nella letteratura scientifica;
- revisione critica del quadro sismo-tettonico dell'area di studio;
- modellazione 3D dei principali orizzonti geologici e delle faglie maggiori identificate utilizzando il software Petrel nell'area del permesso di ricerca opportunamente estesa per rappresentare in modo adeguato le principali strutture geologiche d'interesse.

2 Inquadramento geologico-strutturale dell'area in esame

L'area analizzata in questo studio si colloca al margine occidentale delle Prealpi Venete che costituiscono la porzione orientale della catena di sovrascorrimenti delle Alpi Medionali (Fig. 1). Le Alpi Meridionali orientali sono caratterizzate dalla presenza di una serie di sovrascorrimenti SSE-vergenti sviluppatasi prevalentemente nel corso del Paleogene-Neogene (Doglioni & Bosellini, 1987; Roeder, 1989; Doglioni, 1990; Castellarin *et al.*, 1992; Doglioni, 1992; Castellarin & Cantelli, 2000; Massironi *et al.*, 2006; Castellarin *et al.*, 2006; Doglioni & Carminati, 2008) e ancora attivi lungo la fascia di strutture riconosciuta lungo il margine settentrionale della pianura veneto-friulana (Castaldini & Panizza, 1991; Galadini *et al.*, 2005).

I principali sovrascorrimenti sono noti, dal più interno al più esterno, come Linea della Valsugana, Linea di Belluno, Linea di Bassano e Linea di Aviano (Fig. 1, 2 e 3). Tali sovrascorrimenti sono interpretabili come rampe crostali (Fig. 2; Castellarin *et al.*, 2006; Doglioni & Carminati, 2008).

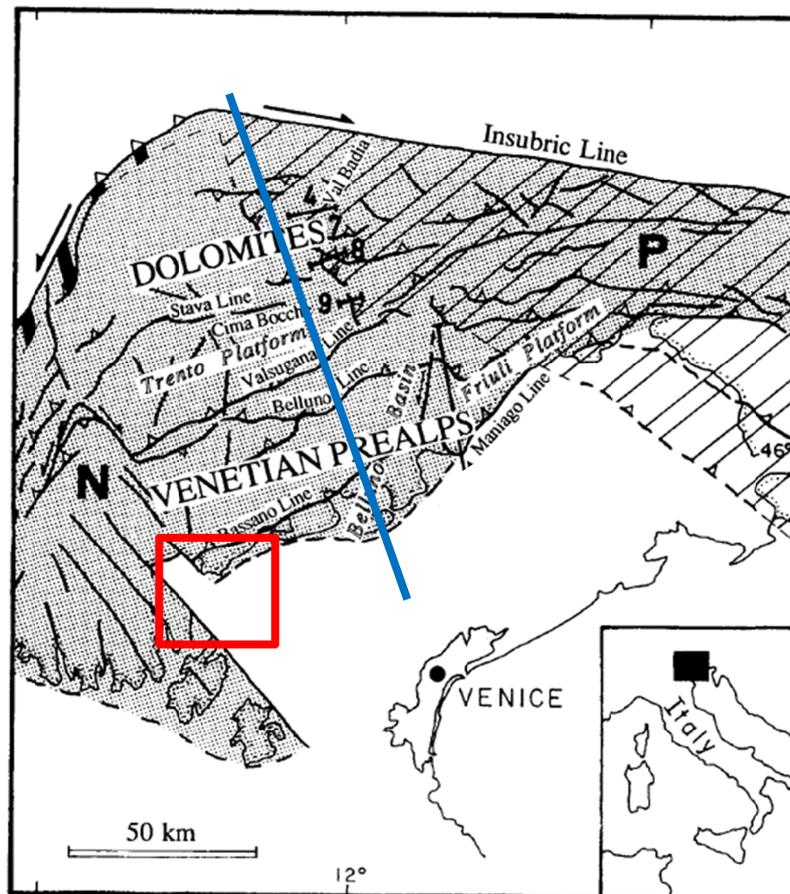


Fig. 1 – Schema strutturale delle Alpi meridionali orientali (da Doglioni, 1992). L'area esaminata è evidenziata dal riquadro rosso. La linea rappresenta la traccia del profilo geologico riportato in figura 2.

Lo sviluppo delle Alpi Meridionali orientali si è realizzato attraverso la deformazione del pre-esistente margine passivo nella porzione settentrionale della placca adriatica (Bernoulli *et al.*, 1979; Winterer & Bosellini, 1981; Masetti *et al.*, 2012), caratterizzato da una complessa architettura stratigrafico-strutturale acquisita nel corso di diverse fasi tettoniche. Nelle Alpi meridionali orientali sono riconoscibili diversi domini paleogeografici corrispondenti alla Piattaforma Trentina, al Bacino Bellunese e alla Piattaforma Friulana (Fig. 3). Le tipiche successioni stratigrafiche della Piattaforma di Trento e del Bacino di Belluno sono rappresentate in figura 4.

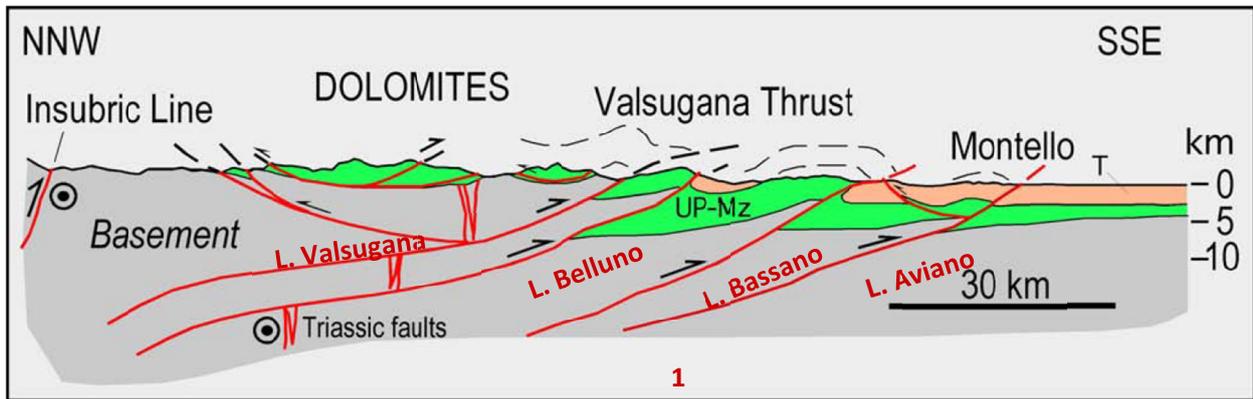


Fig. 2 – Sezione geologica crostale attraverso il settore orientale della Alpi Meridional con evidenziati i principali sovrascorrimenti (Linea della Valsugana, Linea di Belluno, Linea di Bassano e Linea di Aviano), interpretati come rampe crostali (UP-Mz, Permiano superiore-Mesozoico; T, Terziario; modificato da Doglioni & Carminati, 2008).

In sintesi, i principali eventi tettonici sono i seguenti (Doglioni & Bosellini, 1987; Roeder, 1989; Doglioni, 1990; Castellarin *et al.*, 1992; Doglioni, 1992; Castellarin & Cantelli, 2000; Massironi *et al.*, 2006; Castellarin *et al.*, 2006; Doglioni & Carminati, 2008). Nel Permiano e nel Triassico l'area è interessata da una tettonica distensiva con la formazione di alti e bassi strutturali (i.e., *horst* e *graben*) orientati circa N-S. Nel Triassico medio un evento tettonico transtensivo, e con locali effetti transpressivi (e.g., Dolomiti centro-occidentali), è associato alla messa in posto di plutoni e ad attività vulcanica. La tettonica distensiva prosegue quindi nel Liassico seguita poi da una prolungata fase di subsidenza termica sino al Cretacico inferiore.

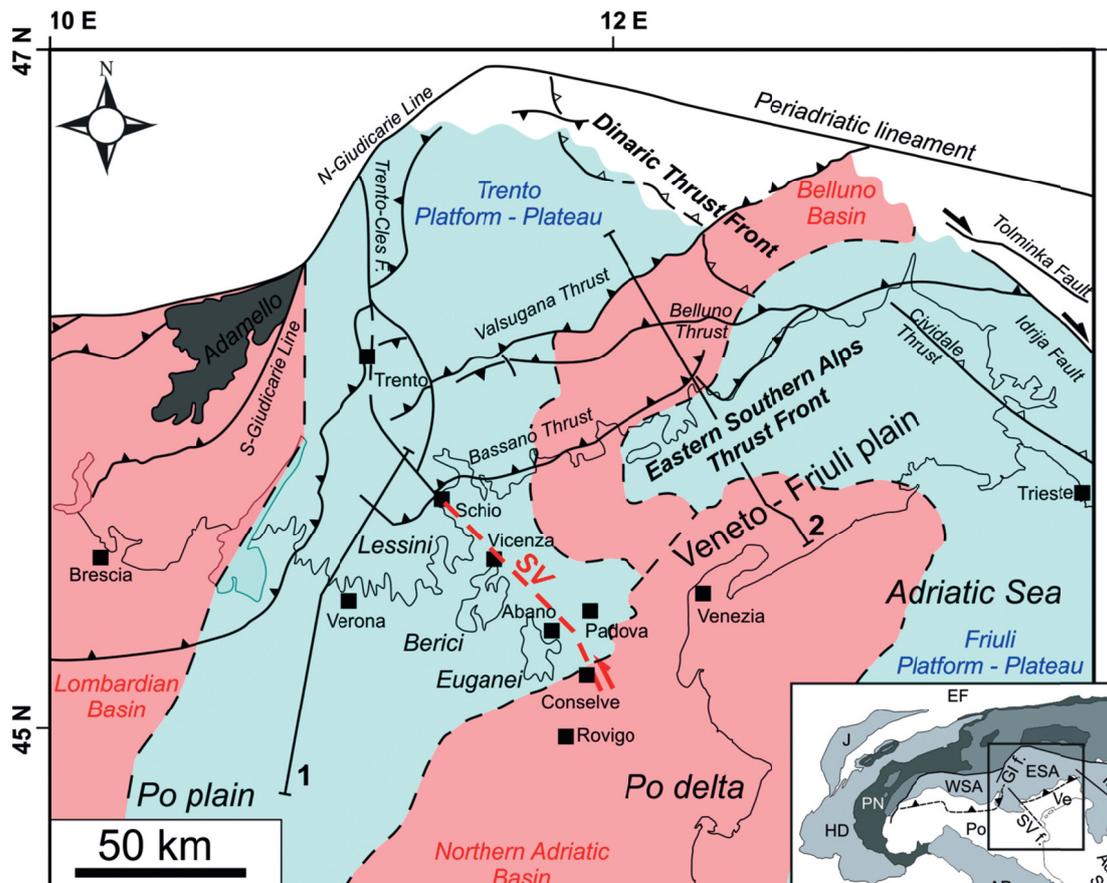


Fig. 3 – Schema strutturale semplificato dell'Italia nord-orientale (da Pola *et al.*, 2014). Sono rappresentati in colore i principali domini paleogeografici mesozoici. SV: Schio-Vicenza.

Nel Paleogene si assiste a una inversione compressiva e alla formazione di sovrascorrimenti WSW-vergenti associabili alla propagazione della catena dinarica con strutture che arrivano ad interessare le Dolomiti centrali. Con il Neogene si assiste infine allo sviluppo della catena sudapina con sovrascorrimenti diffusi in tutto il settore e vergenze verso SSE.

L'area esaminata in questo studio, ubicata lungo il margine orientale della Piattaforma Trentina, è delimitata verso nord dal sovrascorrimento, SE-vergente, Bassano-Valdobbiadene (Linea di Bassano, Doglioni, 1992) e include la propaggine SW della Linea di Aviano (che corrisponde al sovrascorrimento noto come Thiene-Bassano). Verso ovest l'area in esame è caratterizzata dalla presenza del sistema di faglie Schio-Vicenza (e.g., Cantelli & Castellarin, 1994; Zampieri, 2003; Zampieri *et al.*, 2007; Pola *et al.*, 2014), orientato NW-SE. Tale sistema si è probabilmente generato durante le fasi estensionali mesozoiche, agendo forse anche durante lo sviluppo dell'avanfossa dinarica nel Paleogene (e.g., Doglioni & Bosellini, 1987), per essere poi riattivato durante le fasi compressive neogeniche.

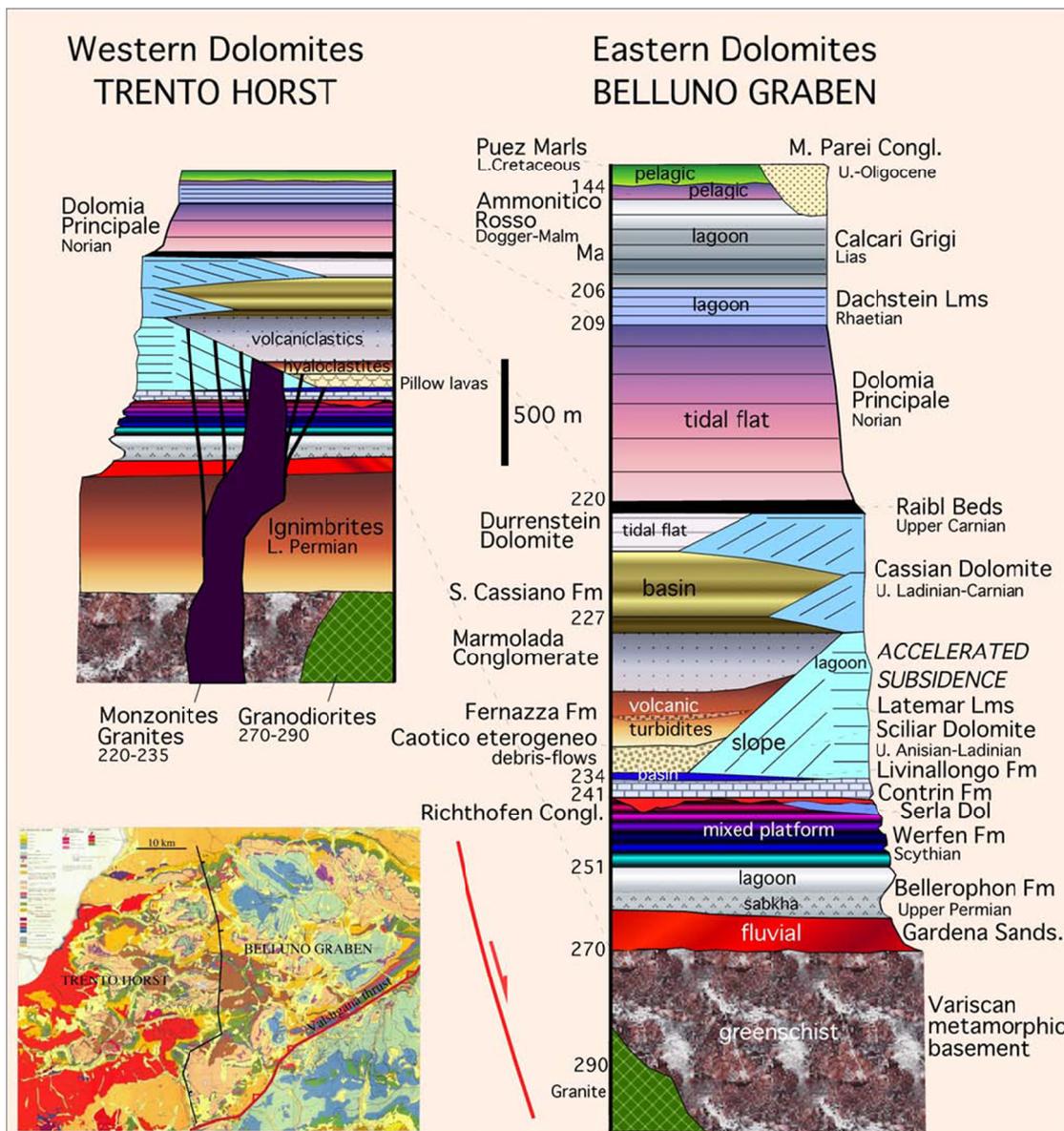


Fig. 4 – Stratigrafia delle Dolomiti (da Doglioni & Carminati, 2008). Il settore orientale (Bacino di Belluno) ha sperimentato una subsidenza maggiore del settore occidentale (Piattaforma di Trento) nel corso del Permiano-Mesozoico. Tale subsidenza differenziale è stata accomodata da diverse faglie sin-sedimentarie orientate circa N-S.

3 Contesto sismo-tettonico dell'area di studio

Il settore compreso tra le Alpi meridionali e la pianura veneta è interessato da una marcata attività sismica (Fig. 5) documentata sia nei cataloghi di sismicità strumentale (CSI 1.1, <http://csi.rm.ingv.it>; Iside, <http://iside.rm.ingv.it>; Bollettino OGS, <http://www.crs.inogs.it>) che storica (CPTI11, Rovida *et al.*, 2011).

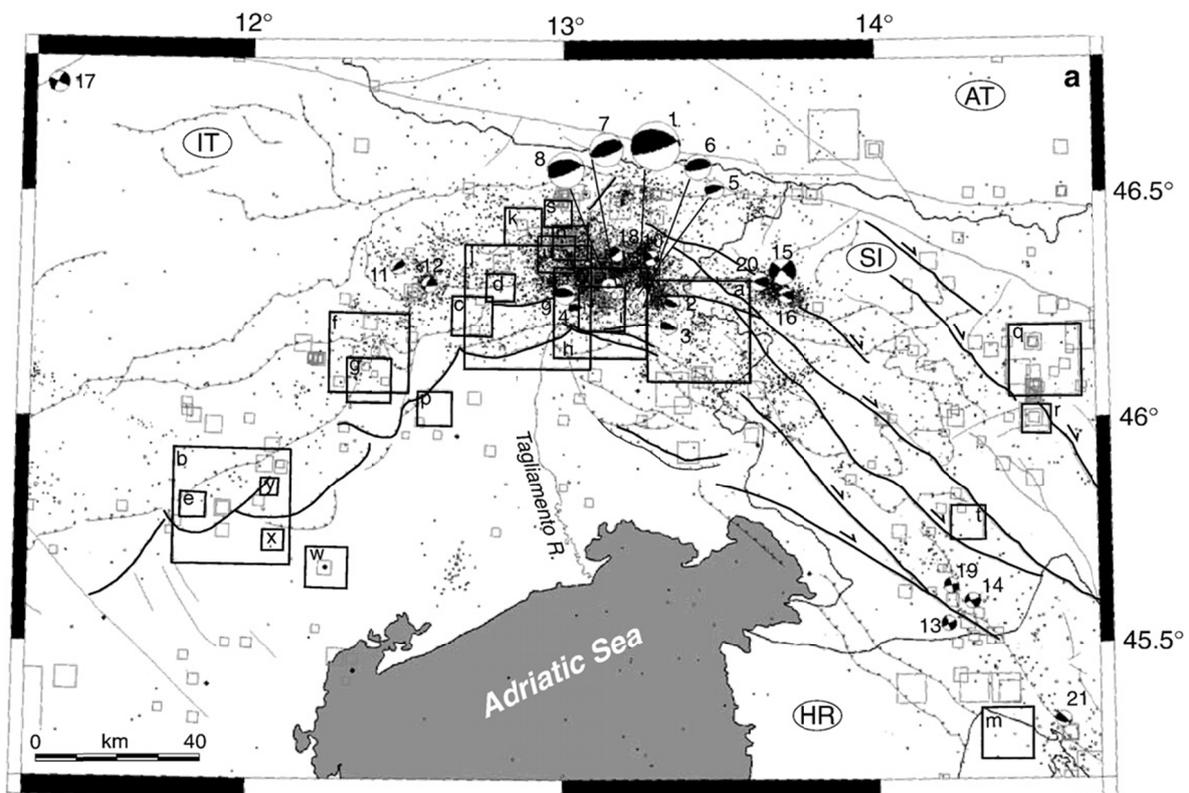


Fig. 5 - Mappa della sismicità strumentale e storica (da Burrato *et al.*, 2008) tratta dai cataloghi CPTI04 (working group CPTI, 2004) e dal Bollettino Annuale dell'OGS (1977-2001) sovrapposta su una mappa strutturale regionale (le faglie attive sono rappresentate in colore nero più marcato). I terremoti storici sono rappresentati da riquadri grigi o neri (quando associati a una specifica sorgente sismogenetica). I terremoti strumentali sono identificati da cerchi.

Tale sismicità soprattutto nel settore compreso tra il sistema di faglie Schio-Vicenza e il fiume Tagliamento è prevalentemente riconducibile all'attività di una fascia di sovrascorrimenti presenti lungo il bordo nord-occidentale della pianura veneta (Fig. 6; Galadini *et al.*, 2005; Poli *et al.*, 2008; Burrato *et al.*, 2008; Cheloni *et al.*, 14), che corrisponde alla Linea di Aviano in Castaldini & Panizza (1991), che assorbe i circa 2-3 mm/a di convergenza tra la microplacca adriatica e la placca europea (D'agostino *et al.*, 2005; Grenerczy *et al.*, 2005; Cuffaro *et al.*, 2010).

Le conoscenze sulle caratteristiche di questa fascia di sovrascorrimenti si sono evolute nel corso del tempo. Negli anni '70 ed '80 sono stati raccolti e riorganizzati molti dati ed informazioni sull'attività Plio-Quaternaria delle strutture attive presenti in questo settore (e.g., Zanferrari *et al.*, 1982; CNR-PFG, 1987; Slejko *et al.*, 1989; Castaldini & Panizza, 1991).

Nel periodo successivo, il quadro delle conoscenze è stato ulteriormente arricchito da molti altri studi sino ad arrivare a una nuova sintesi del contesto sismotettonico prodotta da Galadini *et al.* (2005), lavoro a cui si rimanda per una dettagliata analisi della bibliografia disponibile. Tale sintesi è stata successivamente perfezionata nei lavori di Poli *et al.* (2008) e Burrato *et al.* (2008) ed integrata nel *Database of individual Seismogenic Sources* (Fig. 7) compilato dall'INGV (DISS Working Group, 2015).

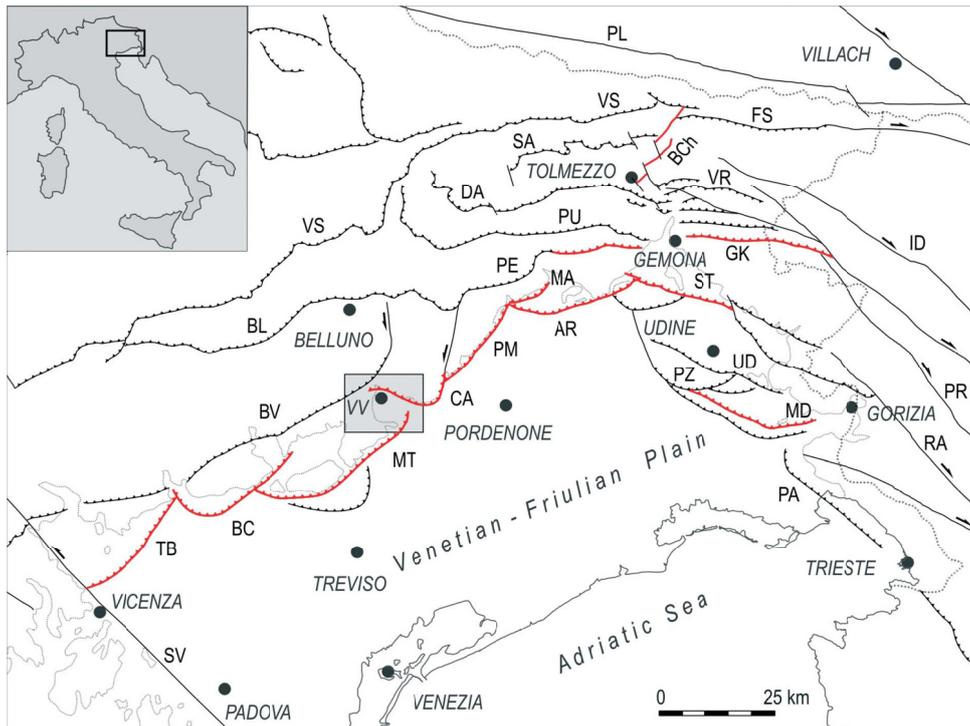


Fig. 6 – Mappa strutturale dell'Italia nord-orientale (da Poli et al., 2008). I sovrascorrimenti riconosciuti attivi sono evidenziati in rosso. Legenda: AR, Arba-Ragogna thrust; BC, Bassano-Cornuda thrust; BCH, But-Chiarsò fault; BL, Belluno thrust; BV, Bassano-Valdobbiadene thrust; CA, Cansiglio thrust.; DA, Dof-Auda thrust; FS, Fella-Sava line; GK, Gemona-Kobarid thrust; ID, Idrija fault; MA, Maniago thrust; MD, Medea thrust; MT, Montello thrust; PA, Palmanova line; PE, Periadriatic thrust; PL, Periadriatic line; PM, Polcenigo-Maniago thrust; PR, Predjama fault; PU, Pinedo-Uccea thrust; PZ, Pozzuolo thrust; RA, Rasa line; SA, Sauris thrust; ST, Susans-Tricesimo thrust; SV, Schio-Vicenza line; TB, Thiene-Bassano thrust; UD, Udine-Buttrio thrust; VR, Val Resia thrust; VS, Valsugana thrust.

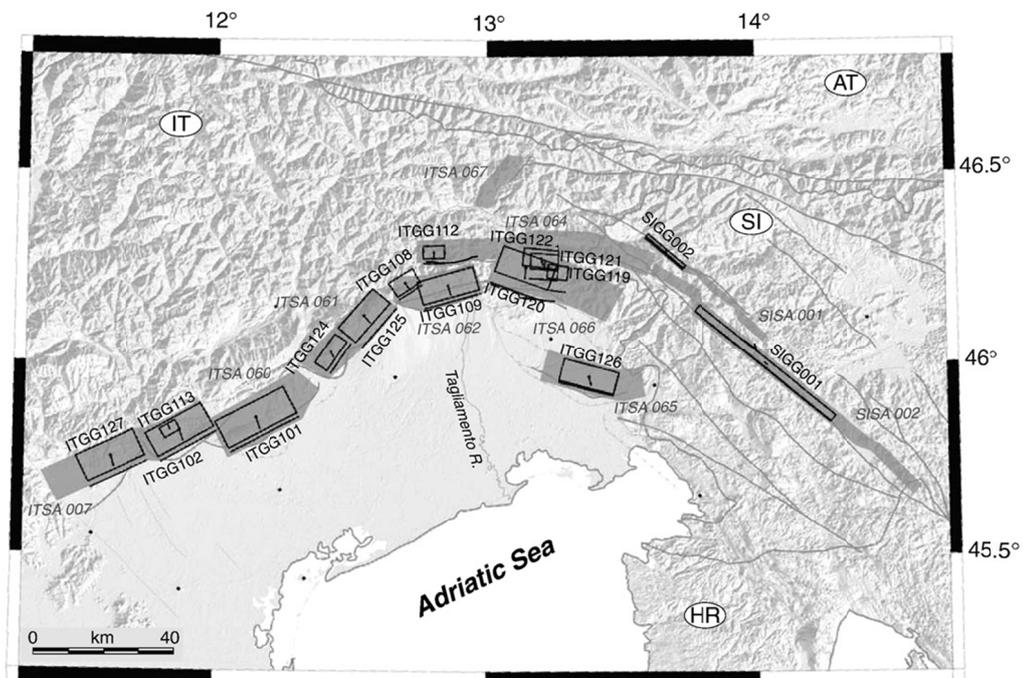


Fig. 7 - Sorgenti sismogenetiche individuali (riquadri neri) e areali (poligoni grigi) nell'Italia nord-orientale riportate nel Database of individual Seismogenic Sources (da Burrato et al., 2008).

L'assetto strutturale dell'area considerata in questo studio è caratterizzato quindi dalla presenza di un sovrascorrimento sepolto e attivo, denominato Thiene-Bassano (Fig. 6). Verso SW tale sovrascorrimento è limitato da un motivo strutturale di rilievo regionale rappresentato dal sistema di faglie denominato Schio-Vicenza (e.g., Pola *et al.*, 2014).

Nell'ultima versione del *Database of individual Seismogenic Sources* (DISS Working Group, 2015) il sovrascorrimento Thiene-Bassano è associato alla sorgente sismogenetica individuale ITIS127-Thiene-Bassano e ricade nella sorgente sismogenetica areale (o composita, nella terminologia delle ultime versioni del DISS) ITCS007-Thiene-Cornuda (Fig. 8). Tali sorgenti sono ritenute capaci di generare terremoti di Magnitudo Mw 6.6 (Fig. 8), come documentato dal terremoto Asolano del 1965 (Mw 6.6) avvenuto in corrispondenza della contigua sorgente individuale ITIS102-Bassano-Cornuda appartenente alla stessa sorgente composita ITCS007. È interessante notare che nell'intorno della sorgente ITIS127 la sismicità strumentale è di moderata magnitudo (Mw c. 3.5-4) e che la sorgente ITIS127 non risulta chiaramente correlata con alcun terremoto storico (sebbene sia stata tentativamente correlata da Galadini *et al.*, 2005 con il terremoto avvenuto nel Veronese nel 1117 con Mw 6.5); di conseguenza questa sorgente può essere considerata un *gap* sismico.

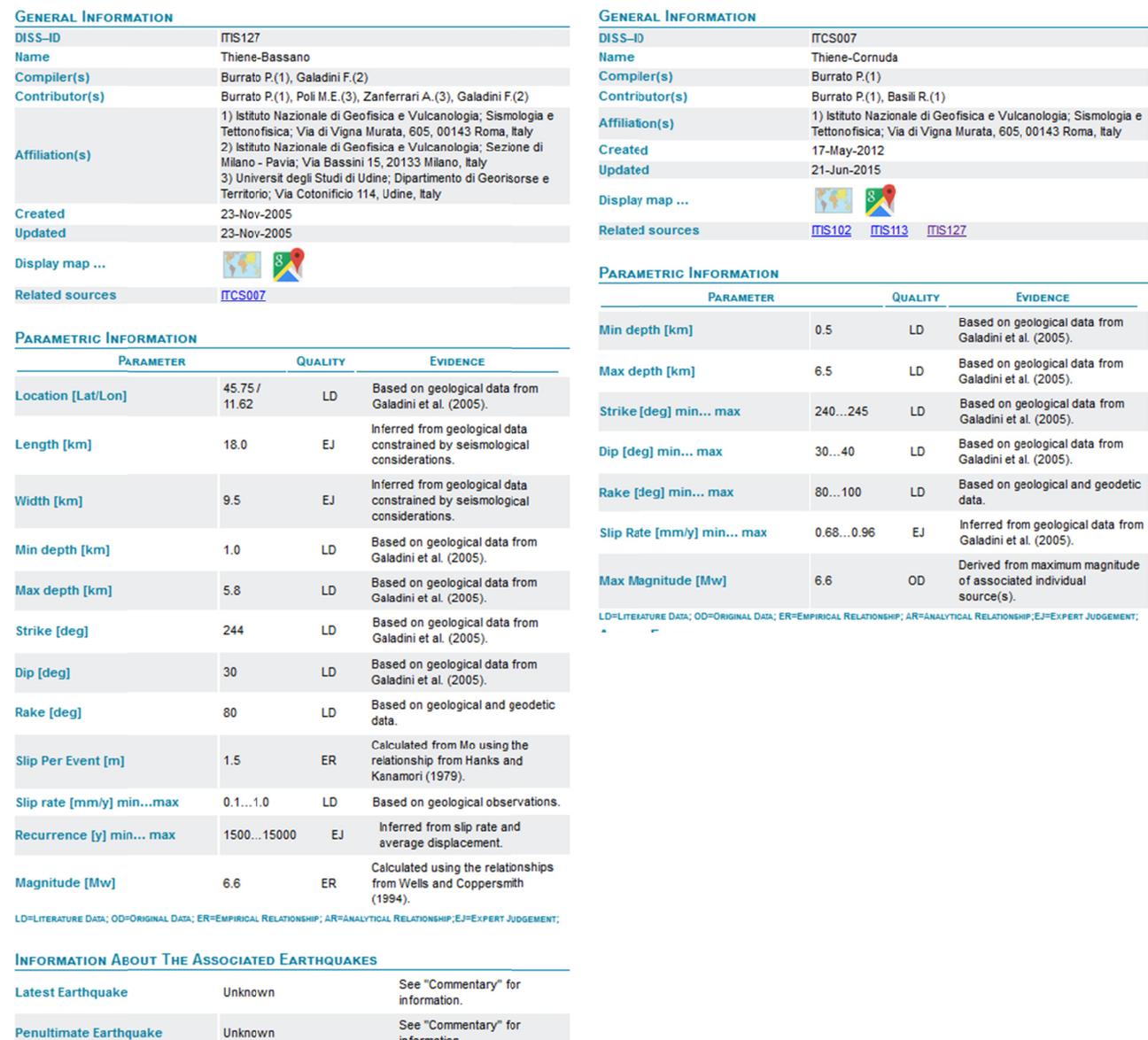


Fig. 8 – Descrizione delle sorgenti sismogenetiche individuale ITIS27 e composita ITCS007 associate al sovrascorrimento Thiene-Bassano nel Database of individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015).

La posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano è stata ricostruita in modo anche significativamente differente nei diversi lavori scientifici che ne hanno riconosciuta l'esistenza (e.g., Antonelli *et al.*, 1990; Castaldini & Panizza, 1991; Castellarin *et al.* 1998; Galadini *et al.*, 2005; Poli *et al.*, 2008; Burrato *et al.*, 2008; Pilli *et al.*, 2012; Pola *et al.*, 2013; Scardia *et al.*, 2014; Pola *et al.* 2014) soprattutto per quanto riguarda la sua porzione sud-occidentale che mostra scarti tra le varie ubicazioni proposte anche superiori a 10 km (Fig. 9).

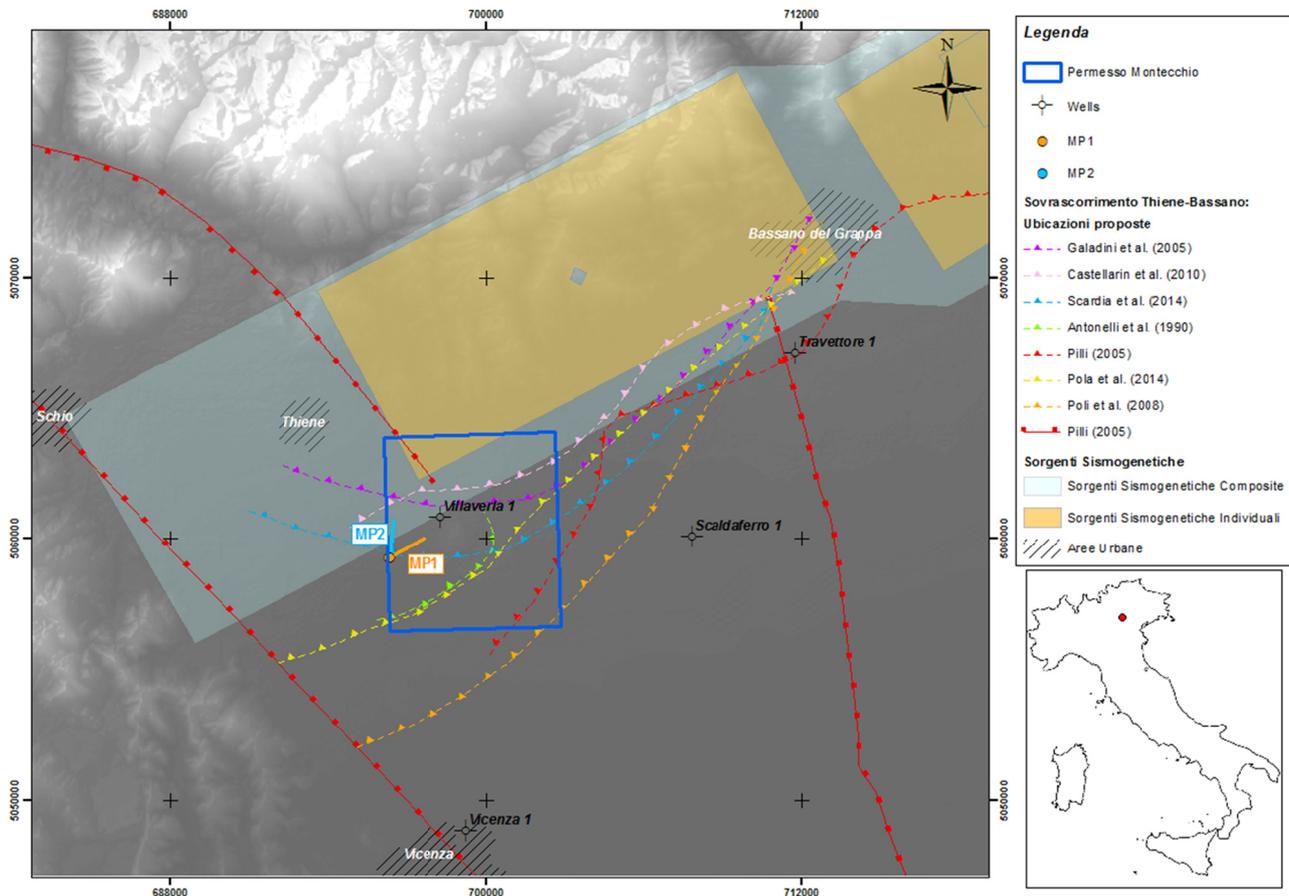


Fig. 9 – Ubicazione proposte per il sovrascorrimento Thiene-Bassano nella letteratura scientifica (identificate dai diversi colori elencati in legenda). Per confronto è anche riportata la posizioni delle sorgenti sismogenetiche individuali e composite riportate nel "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0" dell'INGV. La faglie regionali ad alto angolo (in rosso scuro) sono riprese da Pilli *et al.* (2012).

Rispetto al pozzo Villaverla-1, in alcuni casi la traccia del sovrascorrimento passa a nord (e.g., Castellarin *et al.* 1998; Galadini *et al.*, 2005). In altri casi pochi chilometri a sud (Antonelli *et al.*, 1990; Scardia *et al.*, 2014; Pola *et al.* 2014), mentre in altri ancora la traccia si trova anche spostata di circa 10 chilometri verso sud (e.g., Pili, 2005; Poli *et al.*, 2008). Tali rilevanti differenze sono spiegabili considerando i diversi approcci con cui è stata ricostruita la posizione del sovrascorrimento.

Nel lavoro di Castaldini & Panizza (1991), che sintetizza le conoscenze sulle faglie attive in Italia settentrionale, la cosiddetta "Linea di Aviano" (i.e. il sovrascorrimento Thiene-Bassano) veniva arrestata in corrispondenza del Fiume Astico, sostanzialmente nella stessa posizione in cui termina la sorgente sismogenetica ITIS127 (Fig. 9).

Nella "Carta geologica del Veneto" il sovrascorrimento Thiene-Bassano è rappresentato anche nel settore di Montecchio Precalcino-Dueville e risulta composto da archi di circa 5-6 km separati da strutture trasversali orientate NNW-SSE.

Nello studio di Galadini *et al.* (2005), basato sull'analisi di evidenze geomorfologiche e su dati strutturali di superficie e di sottosuolo, il sovrascorrimento ha invece una forma arcuata estesa sino a Thiene. In

seguito, lo stesso gruppo di autori (Poli *et al.*, 2008; Burrato *et al.*, 2008), utilizzando la medesima base di dati di Galadini *et al.* (2005), ritiene di modificare e aggiornare la posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano che, in tale revisione, disegna un arco più avanzato verso la pianura veneta e risulta prolungato sino alla faglia Schio-Vicenza.

Nell'interpretazione di Pola *et al.* (2013) e Pola *et al.* (2014), il sovrascorrimento Thiene-Bassano, sempre prolungato sino alla faglia Schio-Vicenza, viene invece arretrato verso nord in una posizione simile a quella originariamente proposta da Antonelli *et al.* (1990), dove viene supposto possa intersecare in profondità il pozzo Villaverla-1.

Infine, la posizione del sovrascorrimento nel lavoro di Pilli (2005) e Pilli *et al.* (2012), basata sull'interpretazione dei profili sismici a riflessione esistenti nella zona, mostra una geometria del sovrascorrimento Thiene-Bassano simile a quella descritta da Poli *et al.* (2008) e Burrato *et al.* (2008), esaurendosi però a sud del pozzo Villaverla-1.

Se si analizzano quindi le caratteristiche dei lavori scientifici in cui sono state descritte le diverse posizioni del sovrascorrimento Thiene-Bassano, è possibile notare che solo in alcuni casi la ricostruzione proposta è in qualche modo direttamente derivata dall'interpretazione diretta di dati di sottosuolo e, in particolare, di profili sismici a riflessione.

4 Modello geologico-strutturale 3D

Il modello geologico-strutturale 3D sviluppato dal Laboratorio di Geologia di Sottosuolo dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche è stato elaborato a partire dall'analisi diretta dei profili sismici disponibili nell'area in esame, effettuata nel corso del *data-room* svolto presso gli uffici ENI in data 15/07/2015, integrata con la revisione critica dei dati di pozzo e dei dati geologici e geofisici descritti nella letteratura scientifica.

Il modello, esteso per circa 255 km², include le principali faglie e le superfici geologiche identificabili con i dati disponibili all'interno dell'area analizzata.

Di seguito sono descritti in dettaglio i dati utilizzati, la metodologia seguita e i principali risultati (con una discussione in merito alla loro affidabilità e alle associate incertezze).

4.1 Dati disponibili

4.1.1 Pozzi

Nell'area in esame sono stati perforati alcuni pozzi (e.g., Villaverla-1, Vicenza-1, Travettore-1 e Scaldaferro-1; Fig. 10) che forniscono diverse informazioni tra cui dati sulla stratigrafia delle formazioni perforate (e.g., litologia dei *cuttings*, analisi paleontologiche, *logs* geofisici acquisiti, descrizione delle carote prelevate).

I profili finali (*composite logs*) dei pozzi Villaverla-1, Travettore-1 e Scaldaferro-1 sono disponibili in formato .pdf nel sito web del progetto Videpi del Ministero dello Sviluppo Economico (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/videpi/pozzi/consultabili.asp>). Informazioni relative al pozzo Vicenza-1 sono invece reperibili in alcuni articoli scientifici tra cui, ad esempio, Ghezzi *et al.* (1995).

In particolare, il pozzo Villaverla-1 è stato perforato nel 1977 al centro dell'area in esame sino a raggiungere il basamento metamorfico pre-Permiano ad una profondità totale di 4235 m. Il profilo finale di questo pozzo fornisce dati e informazioni fondamentali per vincolare le profondità delle diverse superfici geologiche ricostruite nel modello.

4.1.2 Profili sismici a riflessione

Il 15 luglio 2015, facendo seguito alla richiesta di integrazioni della Provincia di Vicenza, la società committente ha organizzato un *data-room* presso gli uffici ENI, in cui è stato possibile visionare ed analizzare la porzione dei profili sismici a riflessione esistenti ricadenti all'interno dei perimetri dei permessi di ricerca per risorse geotermiche "Montecchio Precalcino" e "Thiene" (Fig. 10).

Si tratta in sostanza di quattro profili sismici: due di questi (VIZ-1e VIZ-2) orientati circa N-S, uno circa W-E (nelle due versioni VIZ-76-02-V e VIZ-76-02-V-A) e l'ultimo rappresentato solo da un piccolo segmento disposto circa SW-NE (VI-310-88_PTX). La prosecuzione in direzione NE, al di fuori del perimetro del permesso "Montecchio Precalcino", del profilo VI-310-88_PTX è disponibile in formato *raster* nel sito del progetto VIDEPI.

I profili analizzati appartengono a rilievi sismici 2D risalenti agli anni '70 e '80 e hanno in generale una qualità da media a bassa. La loro qualità consente comunque di estrarre informazioni utili in relazione alla geometria ed alla continuità di alcuni riflettori principali e, sulla linea di migliore qualità (VIZ-76-02-V-A), anche in relazione alla *facies* delle unità sismiche delimitate dai principali riflettori.

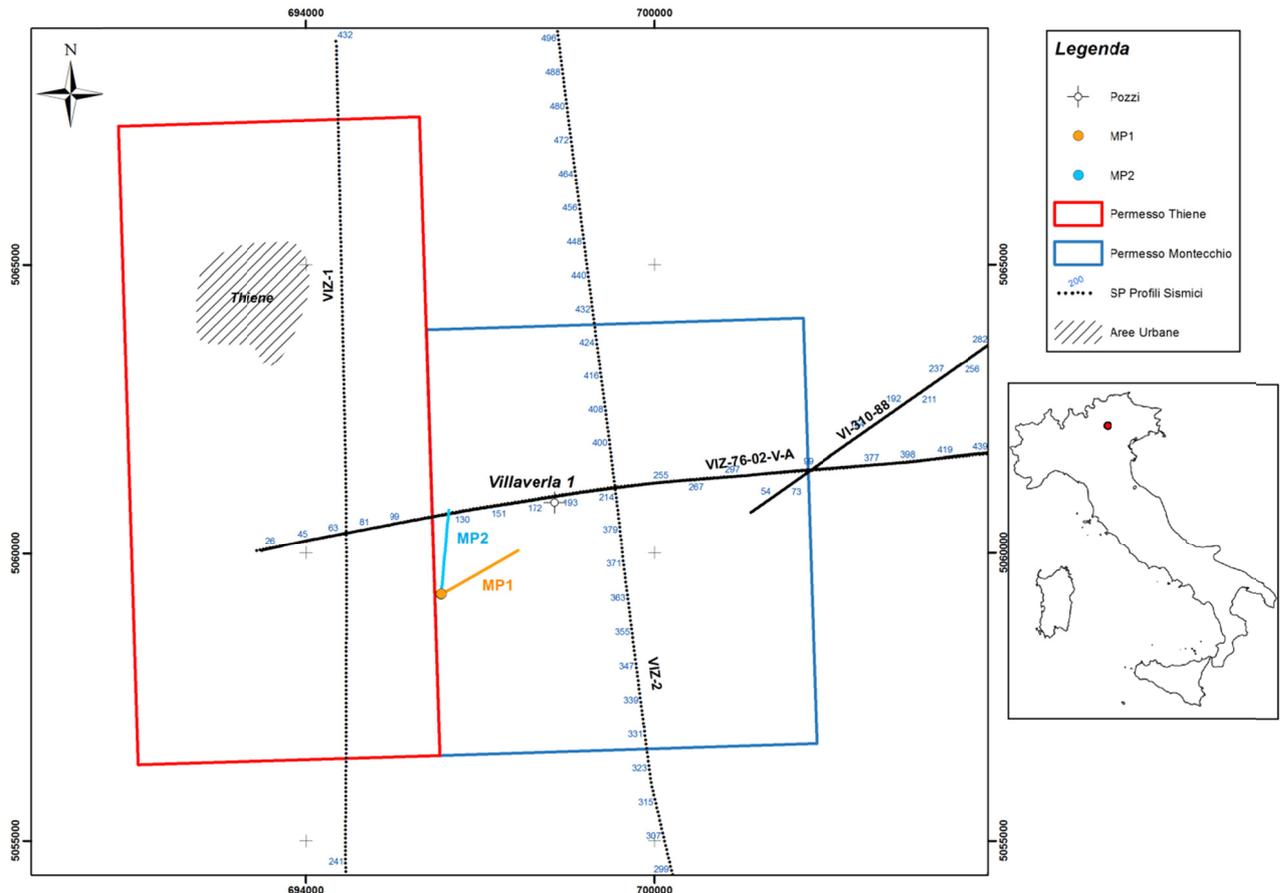


Fig. 10 – Ubicazione dei profili sismici a riflessione analizzati nel corso del data-room svolto presso gli uffici di ENI.

4.1.3 Dati di letteratura

Sebbene le informazioni contenute nella letteratura scientifica (capitoli 2 e 3) siano in generale molto preziose per la comprensione della struttura e dell’evoluzione geologica dell’area, alcuni lavori hanno la caratteristica di contenere informazioni dettagliate (e.g., sotto forma di interpretazione in tempi di linee sismiche, profili geologici e mappe strutturali di vario genere) che, con alcuni accorgimenti, verifiche e cautele, possono essere utilmente valorizzate per integrare le informazioni analizzate direttamente durante il *data-room*.

In particolare, i lavori da cui sono state estratte informazioni di dettaglio utilizzate per derivare il modello 3D proposto sono descritti di seguito (Fig. 11).

- Antonelli *et al.* (1990). La carta geologica di sintesi a scala 1:250000 contenuta in questo lavoro è stata utilizzata per vincolare la geometria dei corpi geologici affioranti e per ottenere informazioni sull’ubicazione delle strutture principali.
- Pilli (2005) e Pilli *et al.* (2012). La tesi di dottorato di Pilli (2005), e il successivo articolo di Pilli *et al.* (2012), contiene il *line drawing* (interpretazione) di alcuni profili sismici, tra cui anche quelli direttamente analizzati nel corso del *data-room*, e fornisce quindi preziose informazioni dell’area esterna ai perimetri dei permessi di ricerca. Queste fonti riportano inoltre: 1) un esteso set di profili geologici costruiti integrando la conversione tempi-profondità dell’interpretazione sismica con altri informazioni geologiche desunte da pubblicazioni precedenti e 2) dettagliate carte strutturali e mappe delle isobate di superfici geologiche.
- Ghezzi *et al.* (2005). Da questo fonte sono state riprese informazioni stratigrafiche sul pozzo Vicenza-1.

- Pola (2014). In questo lavoro viene analizzata in dettaglio la geometria del sistema di faglie regionale Schio-Vicenza a partire da una interpretazione di profili sismici. Da questo lavoro sono state riprese le seguenti informazioni: 1) velocità di propagazione delle onde sismiche nelle principali unità geologiche (velocità intervallari medie) e 2) sezione geologica orientata SW-NE che attraversa il sistema di faglie Schio-Vicenza a nord della città Vicenza basata sulla conversione tempi-profondità di uno dei profili sismici interpretati e vincolata dal pozzo Vicenza-1.

Tutte le informazioni raccolte (ubicazioni di pozzi, profili sismici, sezioni geologiche e mappe) sono state georiferite e organizzate in un sistema GIS. Tale operazione ha permesso di verificare, e dove necessario di correggere, la posizione di alcuni tracciati prima della digitalizzazione delle informazioni geologiche di interesse.

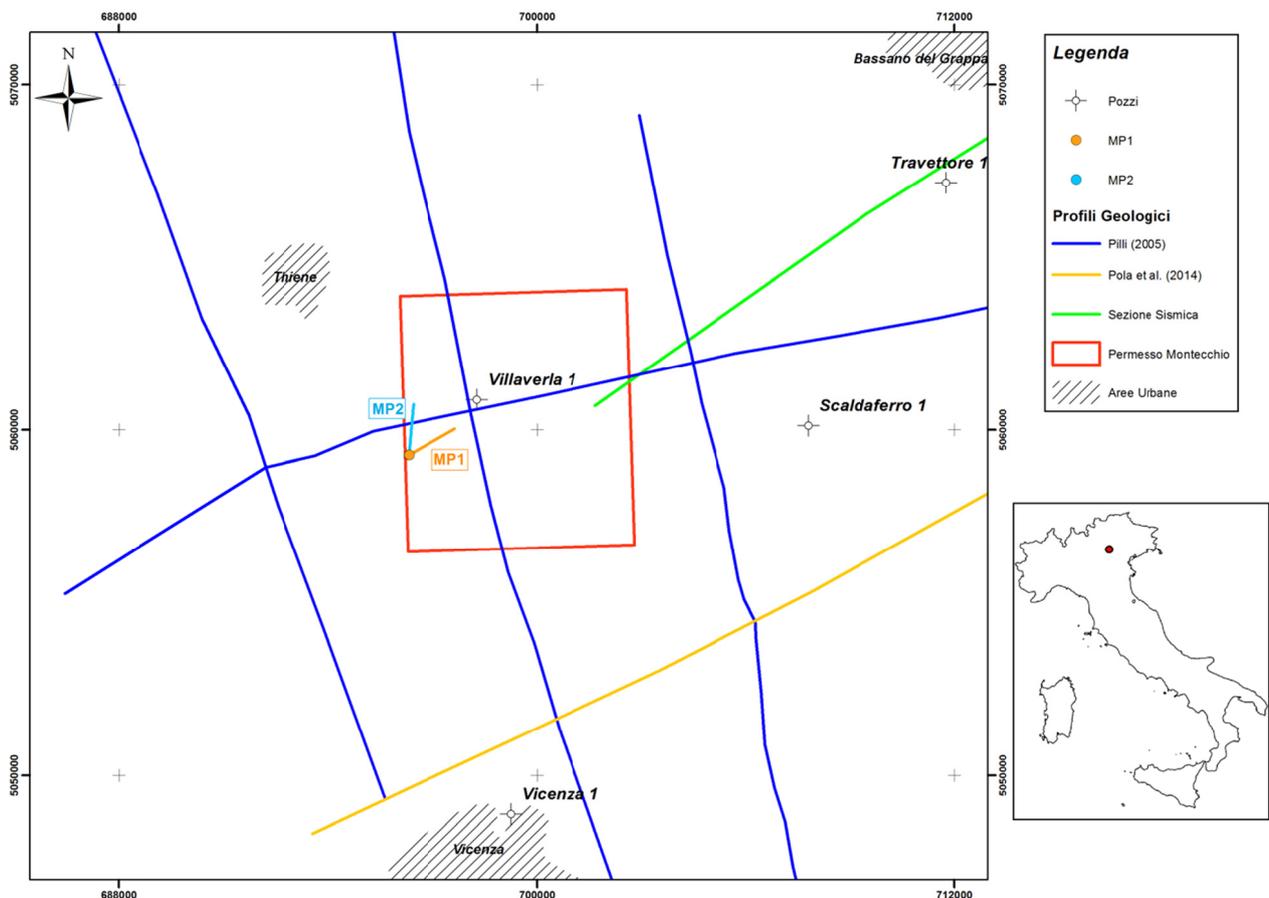


Fig. 11 - Ubicazione delle principali profili geologici da cui sono state estratte informazioni per l'elaborazione del modello geologico-strutturale 3D.

4.2 Metodologia

Il modello 3D è stato sviluppato all'interno di un'area che comprende i perimetri dei due permessi di ricerca per risorse geotermiche "Montecchio Precalcino" e "Thiene" ed è estesa verso sud sino ad includere il pozzo Vicenza-1. Il modello si estende in profondità sino a -8000 m. La procedura seguita è la seguente.

Il pozzo Villaverla-1 presenta nella sua porzione superiore uno scostamento massimo dalla verticale di 10°, mentre nella porzione inferiore varia nell'intervallo 0-2°. Tale scostamento produce a fondo pozzo una

differenza massima tra profondità misurata (MD) ed effettiva lungo la verticale (TVD) di 10 m. Tali differenze, per la loro piccola entità, sono state ignorate nelle analisi successive. I tagli formazionali del pozzo Villaverla-1 sono stati convertiti da profondità a tempi (Fig. 12) sulla base di un modello di velocità derivato dalle velocità intervallari medie riportate in Pola *et al.* (2014), integrato con informazioni derivate da Bleibinhaus & Gebrande (2006), Vuan *et al.* (2011) e Molinari *et al.* (2015) per le unità più profonde.

Pozzo Villaverla-1		Coordinate metriche WGS_1984_UTM_Zone_32N X: 698286 m - Y: 5060875 m				TR: 97 m TD: 4235 m
ETA'	Unità	MD (base unità)	Spessori (m)	Spessori TWT (s)	TWT (s)	Velocità (m/s)
Quaternario	Alluvioni	41	41	0,04	0,04	2300
Oligocene Medio-Sup.	Basalti e Tufi Basaltici	435	394	0,26	0,30	3000
Oligocene Inf-Medio	Calcareniti di Castalgomberto	684	249	0,17	0,46	
Oligocene Inf.	Arenarie di Sangonini	815	131	0,09	0,55	
Eocene Sup.	Marna di Priabona	889	74	0,05	0,60	
Eocene Medio	Besagno	975	86	0,03	0,63	5200
Eocene Inf. Paleocene	Chiusole	1012	37	0,01	0,65	
Cretaceo	Scaglia	1103	91	0,04	0,68	
	Biancone	1518	415	0,16	0,84	
Giurassico	Rosso Ammonitico	1557	39	0,02	0,86	6000
	Calcari Grigi di Noriglio	1620	63	0,02	0,88	
Norico-Retico	Dolomia Principale	2588	968	0,32	1,20	5000
Carnico	Strati di Raibl	2610	22	0,01	1,21	
Ladinico Sup.	Porfiriti	3165	555	0,22	1,43	
	Calcari metamorfosati	3220	55	0,02	1,45	
	Porfiriti	3830	610	0,24	1,70	
Ladinico Inferiore	Calcari di Monte Spitz	4108	278	0,09	1,79	6000
	Livinallongo	4131	23	0,01	1,80	
Anisico	Calcarea Recoaro	4167	36	0,01	1,81	5000
Werfeniano	Werfen	4205	38	0,02	1,83	
Pre-Permiano	Basamento	4235	30	0,01	1,84	6000

Fig. 12 – Stratigrafia del pozzo Villaverla-1. Per i diversi tagli formazionali sono indicati la profondità in metri (MD) e il corrispondente valore in tempi-doppi (TWT in secondi) utilizzato per calibrare l'interpretazione degli orizzonti riconosciuti nei profili sismici a riflessione.

Le profondità in tempi delle principali formazioni ricavate in corrispondenza del pozzo Villaverla-1 sono state utilizzate per effettuare la calibrazione dell'interpretazione degli orizzonti riconosciuti nel profilo sismico a riflessione VIZ-76-02-V-A che passa molto vicino al pozzo. Tali orizzonti sono stati quindi interpretati sugli altri profili disponibili che incrociano la VIZ-76-02-V-A.

Le evidenze derivate dall'analisi dei profili sismici visionati durante il *data-room* sono state quindi convertite da tempi a profondità, utilizzando lo stesso modello di velocità sopra descritto assumendo, in assenza di altri dati di dettaglio nell'area in esame, velocità intervallari costanti. Allontanandosi dal pozzo, le possibili variazioni nella velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno delle diverse unità geologiche generano un'affidabilità progressivamente minore nella profondità ricostruite per le diverse superfici geologiche.

L'insieme delle informazioni ottenute con questa procedura è stato quindi confrontato con le descrizioni delle principali strutture presenti nella letteratura scientifica (per quanto riguarda ad esempio la posizione e la geometria del sovrascorrimento Thiene-Bassano). Sulla base di una valutazione critica delle diverse ipotesi proposte si è proceduto quindi a integrare le informazioni ottenute dall'analisi diretta dei profili sismici con i dati ritenuti più affidabili nelle aree adiacenti ai due permessi di ricerca.

All'interno dell'area modellata e sulla base dei dati disponibili è stata quindi ricostruita la geometria 3D delle principali faglie identificabili e degli orizzonti geologici d'interesse utilizzando il software Petrel© della Schlumberger. L'allargamento dell'analisi anche all'area del permesso di ricerca "Thiene" è stato eseguito per meglio individuare le strutture e per affinare il modello geologico strutturale in un congruo intorno.

4.3 Principali risultati e discussione degli elementi di criticità

Sulla base della procedura in precedenza descritta è stato possibile elaborare un modello geologico-strutturale 3D che fornisce una ragionevole rappresentazione dell'assetto di sottosuolo nell'area esaminata (Fig. 13 e 14).

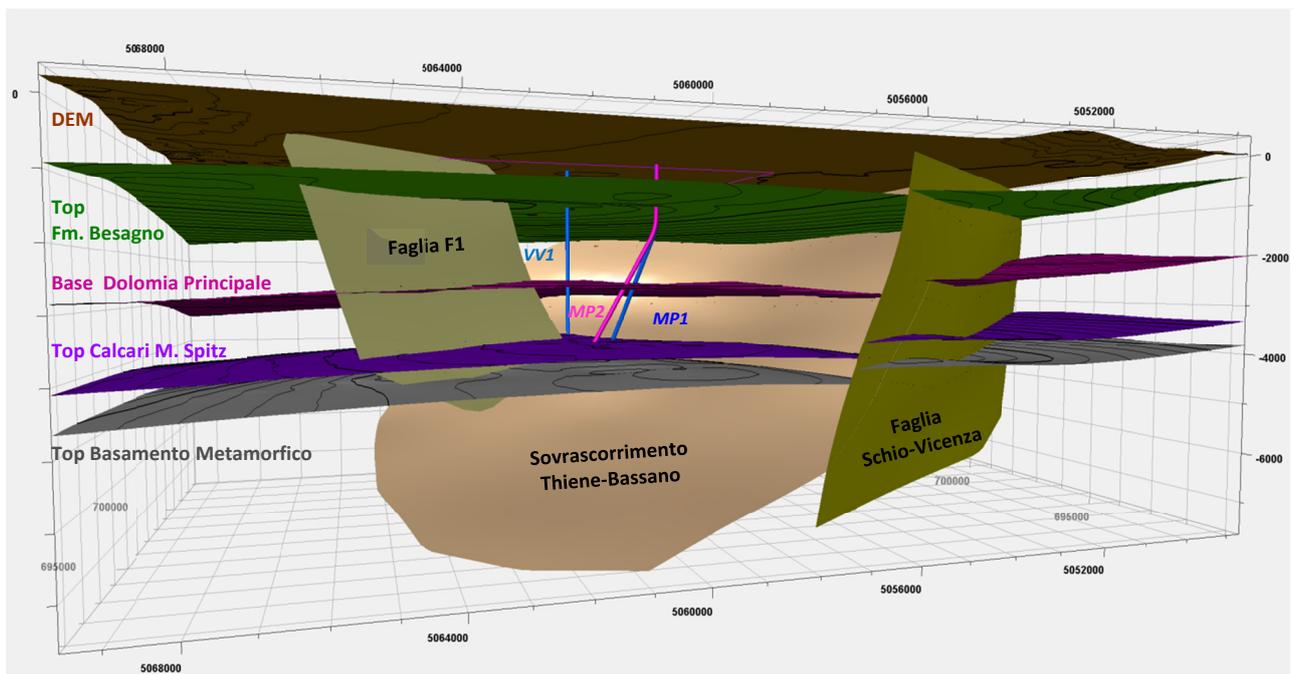


Fig. 13 – Visualizzazione del modello 3D elaborato per l'area in esame. Vista da ovest verso est. Scale orizzontali e verticale in metri. VV1: pozzo Villaverla-1; MP1 e MP2: pozzi esplorativi.

In questo modello 3D, compatibilmente con la quantità e qualità dei dati disponibili, sono state ricostruite le principali strutture note rappresentate dalla faglia Schio-Vicenza, dal sovrascorrimento Thiene-Bassano, e della faglia denominata F1 posta nel settore a nord del pozzo Villaverla-1.

Le principali superfici geologiche modellate sono la topografia, la base del Quaternario (non rappresentata in Fig. 13 e 14), il top della Fm. di Besagno (Eocene medio), la base della Dolomia Principale

(Norico), il top della Fm. dei Calcari di M. Spitz (Ladinico inferiore) e il top del basamento metamorfico (Pre-Permiano). In particolare, le ultime due superfici citate delimitano, rispettivamente verso l'alto e verso il basso, il serbatoio geotermico profondo di interesse (Fig. 14).

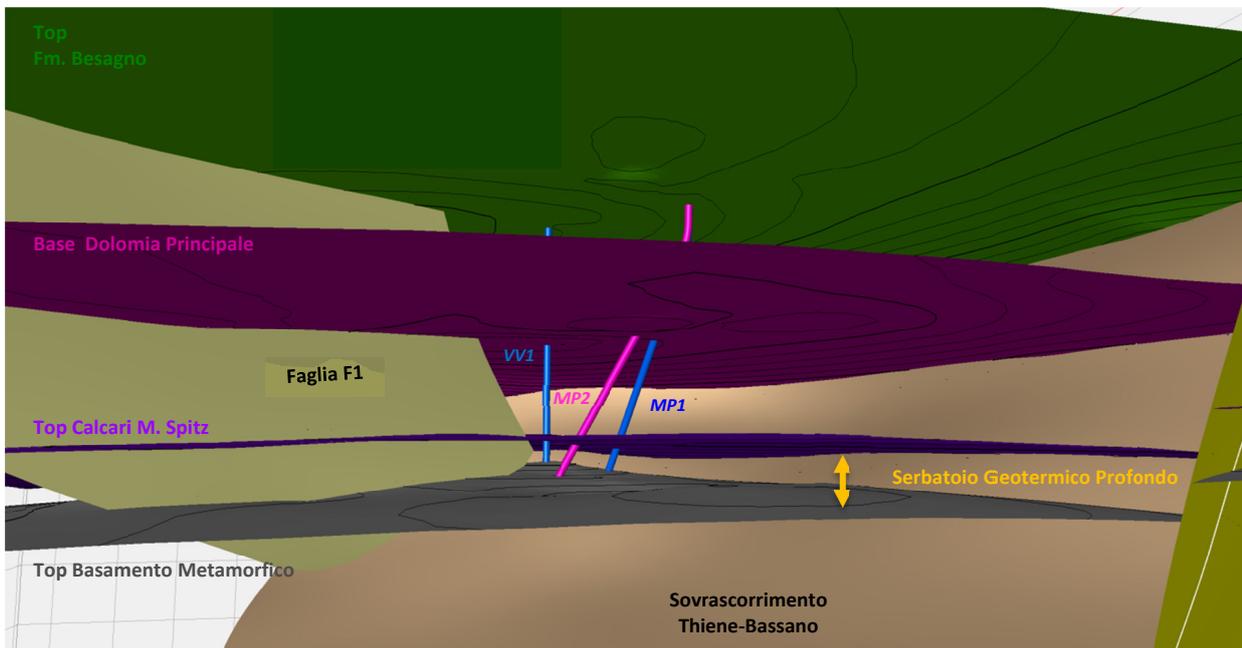


Fig. 14 – Visualizzazione di un dettaglio del nuovo modello 3D elaborato per l'area in esame. Vista da ovest verso est. VV1: pozzo Villaverla-1; MP1 e MP2: pozzi esplorativi.

Va comunque tenuto in considerazione che si tratta di un modello preliminare che presenta i seguenti limiti:

- le superfici ricostruite rappresentano un'interpolazione di dati di qualità e quantità limitata;
- i risultati ottenuti sono comunque basati su un'interpretazione di dati (e.g., riflettori osservabili in profili sismici a riflessione o informazioni contenute nel profilo finale di pozzo) che, seppure esperta, è comunque per sua natura soggettiva;
- le elaborazioni eseguite implicano un certo livello d'incertezza (e.g., il modello di velocità utilizzato per la conversione tempi-profondità);
- alcune porzioni del modello sono poco vincolate dai dati disponibili (e.g., il *footwall* del sovrascorrimento Thiene-Bassano) o comunque derivate da una rielaborazione di informazioni desunte da interpretazioni effettuate da altri autori.

In definitiva, quindi, il modello geologico-strutturale 3D ricostruito va inteso come la rappresentazione più probabile e significativa della nostra interpretazione dei dati e delle informazioni ad oggi disponibili. Di conseguenza, le valutazioni quantitative effettuate sul modello (e.g., misure di distanze) sono da considerarsi comunque stime indicative soggette ad un margine di errore (difficilmente valutabile in dettaglio) che non modifica però la sostanza delle ricostruzioni proposte.

Nei limiti sopra discussi, il modello 3D elaborato è comunque in grado di fornire un contributo utile per chiarire alcune questioni fondamentali per la valutazione geotermica dell'area, quali ad esempio, una descrizione della geometria attesa per le formazioni geologiche che costituiscono il serbatoio profondo e la posizione e le caratteristiche del sovrascorrimento Thiene-Bassano.

4.3.1 Interpretazione stratigrafica del pozzo Villaverla-1

Nella porzione inferiore del profilo finale del pozzo Villaverla-1 all'interno delle "Porfirite Triassiche" (Ladinico superiore) descritte come "rocce eruttive effusive molto alterate di colore verde e marroncino con intercalazioni di tufi argillificati", con spessore totale di 1220 m (da 2610 a 3830 m MD) sono presenti 55 m (da 3165 a 3220 m MD) di "rocce carbonatiche metamorfosate per contatto" (Fig. 12).

Tali informazioni sono state interpretate anche in alcune pubblicazioni scientifiche (e.g., Pola *et al.*, 2013) come dovute alla sovrapposizione tettonica dei calcari metamorfosati (attribuiti alla Fm. dei Calcari di M. Spitz) sulla porzione inferiore delle vulcaniti del Ladinico causata dal sovrascorrimento Thiene-Bassano, che attraverserebbe quindi il pozzo Villaverla alla profondità di 3220 m MD. Tale interpretazione contrasta però con l'assenza di fenomeni di metamorfismo nei termini della sottostante Fm dei Calcari di M. Spitz e, soprattutto, con la mancanza nella documentazione di pozzo d'indicazioni su fenomeni quali perdite di circolazioni, assorbimenti, pressioni anormali o altre anomalie tecniche (e.g., Prevedel, 2007) che sono di solito descritte durante la perforazione di una zona di faglia soprattutto se attiva (come si ritiene essere il sovrascorrimento Thiene-Bassano).

Le stesse informazioni di pozzo possono però essere interpretate in un modo diverso. Lo spessore di carbonati metamorfosati può infatti essere considerato come un olistolite franato all'interno delle vulcaniti ladiniche, in analogia a quanto noto in formazioni equivalenti affioranti nelle Dolomiti (si veda, ad esempio, Bosellini *et al.*, 1982 o Doglioni & Carminati, 2008).

4.3.2 Caratteristiche e posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano

Le diverse ipotesi proposte per la posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano sono state descritte nel capitolo 3. Le maggiori incertezze riguardano la posizione della porzione sud-occidentale di questa struttura (Fig. 9). L'analisi diretta dei profili sismici ha messo in evidenza i seguenti elementi.

1. Nel settore posto a nord e a ovest del pozzo Villaverla-1 gli orizzonti sismici principali (e.g. top dei carbonati dell'Eocene medio o base della Dolomia Principale) sono caratterizzati da geometrie prevalentemente sub-orizzontali e sostanzialmente continue (a meno della faglia ad alto angolo denominata F1 descritta nel seguito). Tale sostanziale continuità degli orizzonti si mantiene per diversi chilometri anche a sud del pozzo Villaverla-1.
2. Muovendo verso i settori posti all'estremità meridionale e orientale dell'area esaminata, si osserva invece una chiara zona di flessura delle principali superfici, che assumono immersioni prevalenti rispettivamente verso sud e sud-est.
3. All'estremità meridionale della linea VIZ-2 e orientale del profilo VIZ-76-02-V-A, al di sotto della zona di flessura descritta al punto 2, si osservano indizi della presenza di dislocazioni che coinvolgono l'orizzonte corrispondente alla base della Dolomia Principale e i livelli stratigrafici sottostanti.

Le osservazioni sopradescritte sono in contrasto con la geometria della superficie di sovrascorrimento ipotizzata da Pola *et al.* (2013) e da Antonelli *et al.* (1990). In tale ipotesi, infatti, il sovrascorrimento Thiene-Bassano dovrebbe attraversare il pozzo Villaverla-1 alla profondità di 3220 m MD e produrre nel settore posto a sud del pozzo, entro una distanza di circa 2 km, delle dislocazioni degli orizzonti meso-cenozoici di cui non si hanno evidenze nei profili sismici analizzati.

Le osservazioni sopradescritte sono invece coerenti con il quadro interpretativo proposto da Pilli (2005) e Pilli *et al.* (2012) che interpretano nei due profili VIZ-2 e VIZ-76-02-V-A la posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano subito all'esterno del permesso di ricerca "Montecchio Precalcino" e quindi al di fuori della porzione di profili direttamente analizzata durante il *data-room*.

La superficie del sovrascorrimento è stata quindi ricostruita interpolando, con le inevitabili incertezze descritte nel paragrafo 4.3, le evidenze dirette ricavate dall'analisi dei profili sismici (dislocazioni di orizzonti profondi) con le indicazioni riportate nei lavori di Pilli (2005) e Pilli *et al.* (2012).

Inoltre, in molti dei lavori pubblicati, il sovrascorrimento Thiene-Bassano si estende sino alla linea Schio-Vicenza mentre secondo Pilli *et al.* (2012) il sovrascorrimento si esaurisce poco a ovest del pozzo Villaverla 1. Nel modello 3D proposto in questo lavoro, con un approccio conservativo e tendendo in considerazione alcuni indizi ricavati dall'analisi del profilo sismico VIZ-1, è stata adottata la prima ipotesi prolungando verso ovest il sovrascorrimento sino quasi alla faglia Schio-Vicenza e riducendone progressivamente il rigetto sino ad annullarlo. In nessuna ricostruzione proposta il sovrascorrimento Thiene-Bassano è presente a SSW della faglia Schio-Vicenza che, con la sua complessa evoluzione tettonica, rappresenta comunque un elemento di rilevante anisotropia meccanica nella propagazione laterale verso SW del sovrascorrimento.

4.3.3 Altri elementi strutturali

Nel modello rappresentato in figura 13 sono stati rappresentati altri due elementi strutturali di primo ordine rappresentati dalla Faglia Schio-Vicenza e da un'altra faglia (denominata "Faglia F1" in Fig. 13) posta nel settore a nord del pozzo Villaverla-1.

La faglia Schio-Vicenza è una struttura di ordine regionale descritta e analizzata in dettaglio nel recente lavoro di Pola *et al.* (2014). La sua geometria è stata ricostruita in 3D sulla base delle informazioni descritte in tale lavoro, combinando la sua posizione in mappa con la sua posizione nel loro profilo A-A' (e.g., Fig. 11).

Nel settore a nord del pozzo Villaverla-1 la presenza di un'altra faglia (denominata "Faglia F1" in questo rapporto), orientata circa NW-SE, è indicata sia da Pola *et al.* (2014), con immersione verso NE, che da Pilli *et al.* (2012), con immersione verso SW. L'analisi diretta del profilo sismico VIZ-1 mette in evidenza la presenza di tale faglia nella posizione indicata da Pilli *et al.* (2012), confermandone l'immersione verso SW. La geometria 3D della Faglia F1 è stata quindi ricostruita integrando la traccia riportata in Pilli *et al.* (2012) con le indicazioni derivate dalla conversione tempi-profondità dell'interpretazione del profilo VIZ-1.

4.3.4 Assetto strutturale del serbatoio geotermico profondo

L'assetto strutturale del serbatoio geotermico profondo di interesse (Fig. 14), delimitato a tetto dal top della Fm. dei Calcari di M. Spitz (Ladinico inferiore) e al letto dal top del basamento metamorfico (Pre-permiano), è descritto in dettaglio nella mappa illustrata in figura 15.

In questa mappa sono rappresentate le isobate in metri al di sotto del livello del mare della superficie corrispondente al top della Fm. dei Calcari di M. Spitz (i.e., top del serbatoio geotermico profondo) e la posizione delle discontinuità strutturali a tale livello strutturale (poligono di faglia per le faglie F1 e Schio-Vicenza e linea corrispondente agli *hanging-wall cutoff* per il sovrascorrimento Thiene-Bassano).

La superficie ricostruita e rappresentata nella mappa corrisponde a un orizzonte geologico e non necessariamente garantisce la continuità areale delle litologie della Fm. dei Calcari di M. Spitz perforate dal pozzo Villaverla-1. A tale proposito, si segnala però che le piattaforme carbonatiche ladiniche (ambiente deposizionale cui appartiene la Fm. dei Calcari di M. Spitz) nelle loro aree di affioramento tipiche (i.e., Dolomiti) hanno estensioni di diversi chilometri di diametro (e.g., Doglioni & Carminati 2008 e bibliografia citata). Inoltre, le evidenze desumibili dai dati sismici a riflessione analizzati (e.g., profilo VIZ-76-02-V-A) suggeriscono una sostanziale continuità degli orizzonti e delle *facies* sismiche attribuibili alle formazioni triassiche muovendo dal pozzo Villaverla-1 verso l'area interessata dai pozzi esplorativi MP1 e MP2.

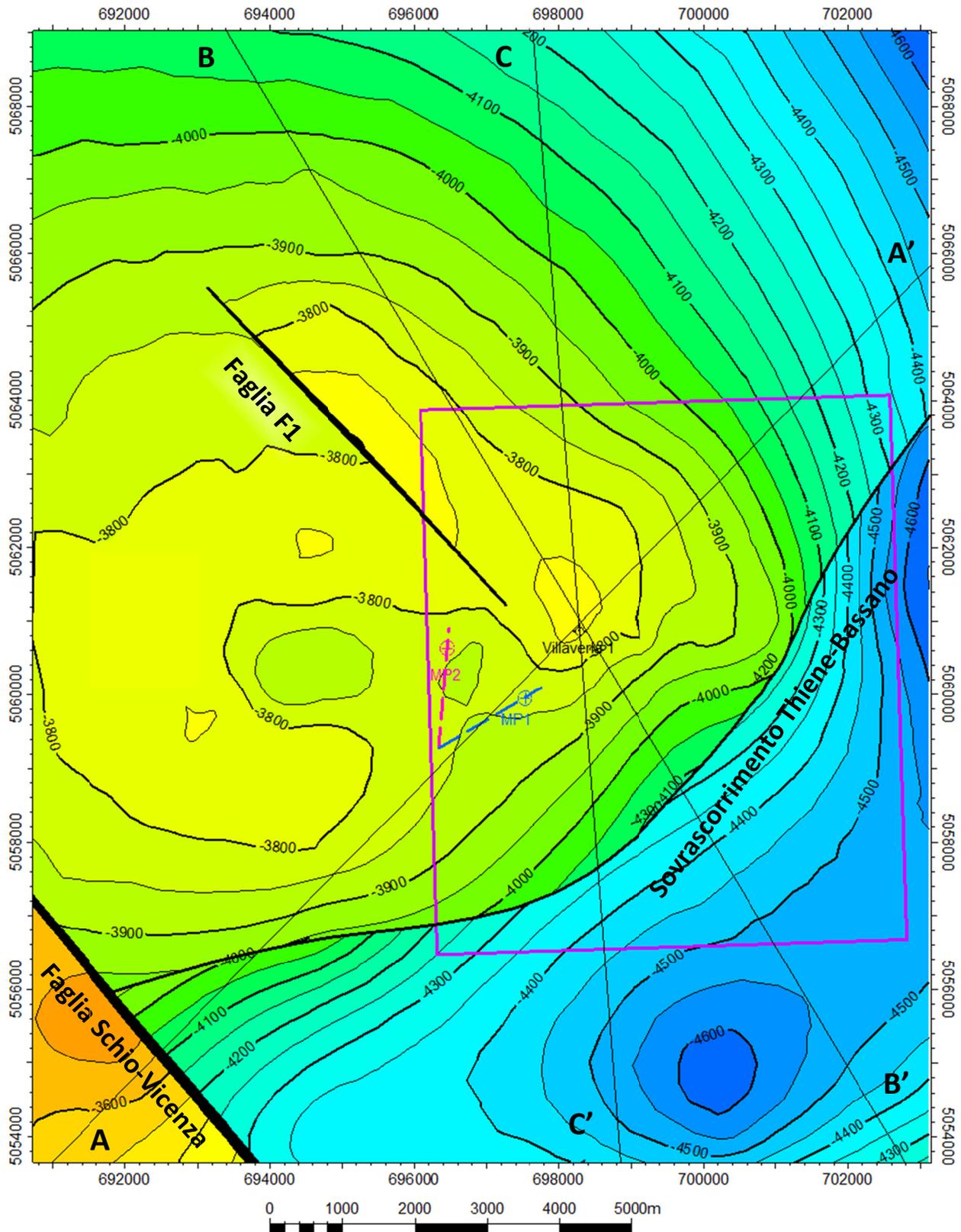


Fig. 15 – Mappa strutturale (isobate in metri al di sotto del livello del mare) della superficie corrispondente al top del serbatoio geotermico di interesse (Fm. dei Calcari di M. Spitz). Per le faglie F1 e Schio-Vicenza è riportato il relativo poligono di faglia mentre per il sovrascorrimento Thiene-Bassano è rappresentata la linea corrispondente agli hanging-wall cutoff. Il poligono viola identifica il perimetro del permesso di ricerca “Montecchio Precalcino”. Sono inoltre indicati le pozioni dei pozzi esplorativi deviati MP1 e MP2 e, in nero, la porzione delle tracce dei profili geologici, riportati nelle figure 17, 18 e 19, che ricadono nell’area della mappa.

Tale mappa è integrata da tre diversi profili geologici estratti dal modello geologico-strutturale 3D che permettono di visualizzare la configurazione geologica dell'area di interesse per le perforazioni esplorative MP1 e MP2 e le relazioni con il settore perforato dal pozzo Villaverla-1.

L'ubicazione integrale dei profili è riportata in figura 16 (e in figura quindici per la porzione che ricade nell'area mappata). I profili sono illustrati nelle figure 17, 18 e 19.

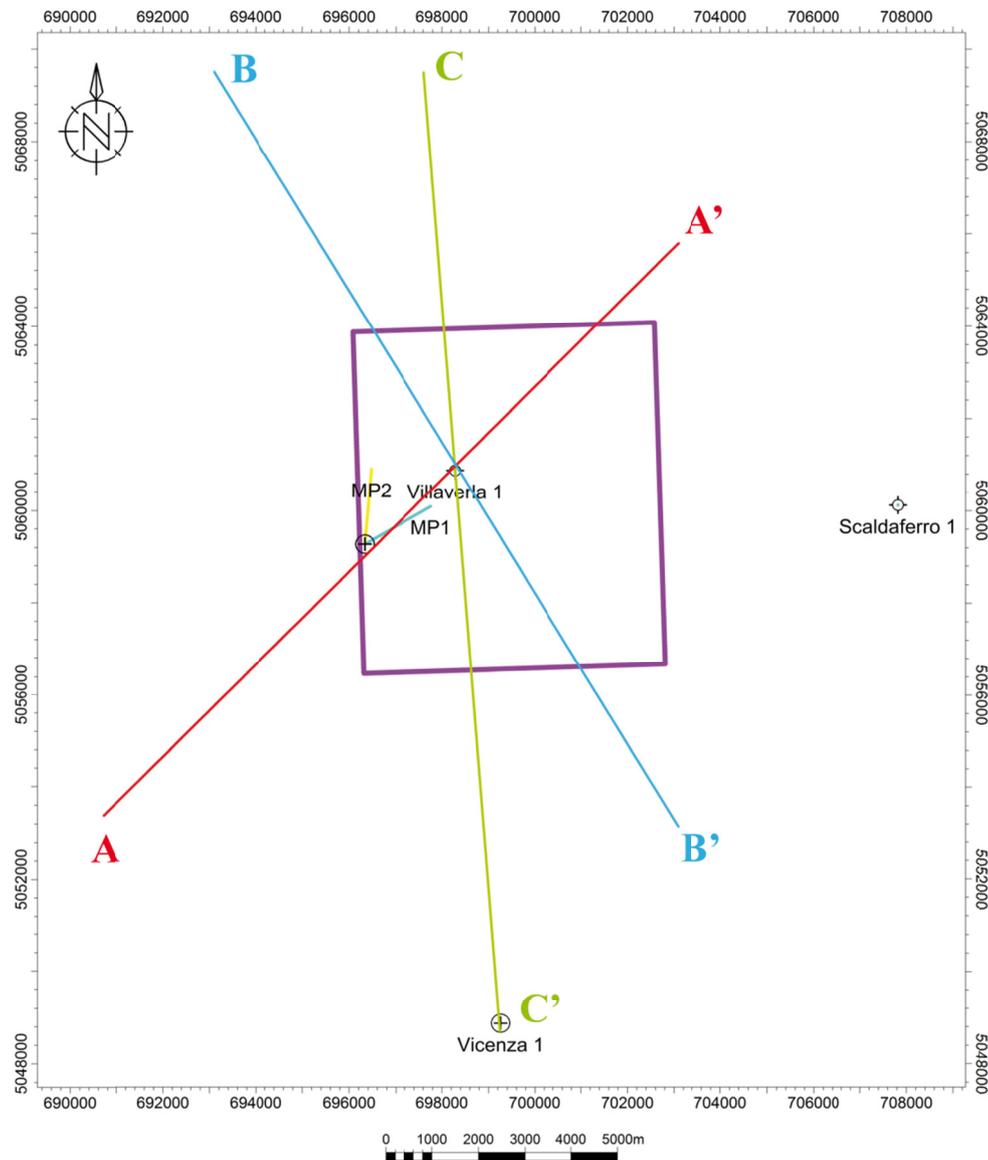


Fig. 16 – Mappa di posizionamento integrale dei profili geologici illustrati nelle figure 17, 18 e 19. In viola è riportato il perimetro del permesso di ricerca di risorse geotermico "Montecchio Precalcino".

Nei limiti imposti dalla quantità e qualità dei dati disponibili e dalle incertezze associate alle elaborazioni discussi nel paragrafo 4.3, il modello elaborato contribuisce in maniera significativa a chiarire la posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano che, al livello del top della formazione che rappresenta il serbatoio (Fm. dei Calcarei di M. Spitz), risulta ubicato circa 2.4 km a sud-est del pozzo Villaverla-1 ed oltre 2 km a sud della piazzola prevista per i pozzi esplorativi proposti (fig. 15).

La superficie di sovrascorrimento, a causa del suo approfondimento in direzione NW, si trova a passare al di sotto dei due pozzi esplorativi previsti di circa almeno 1350-1400 m rispetto alle TD di progetto senza quindi attraversarli.

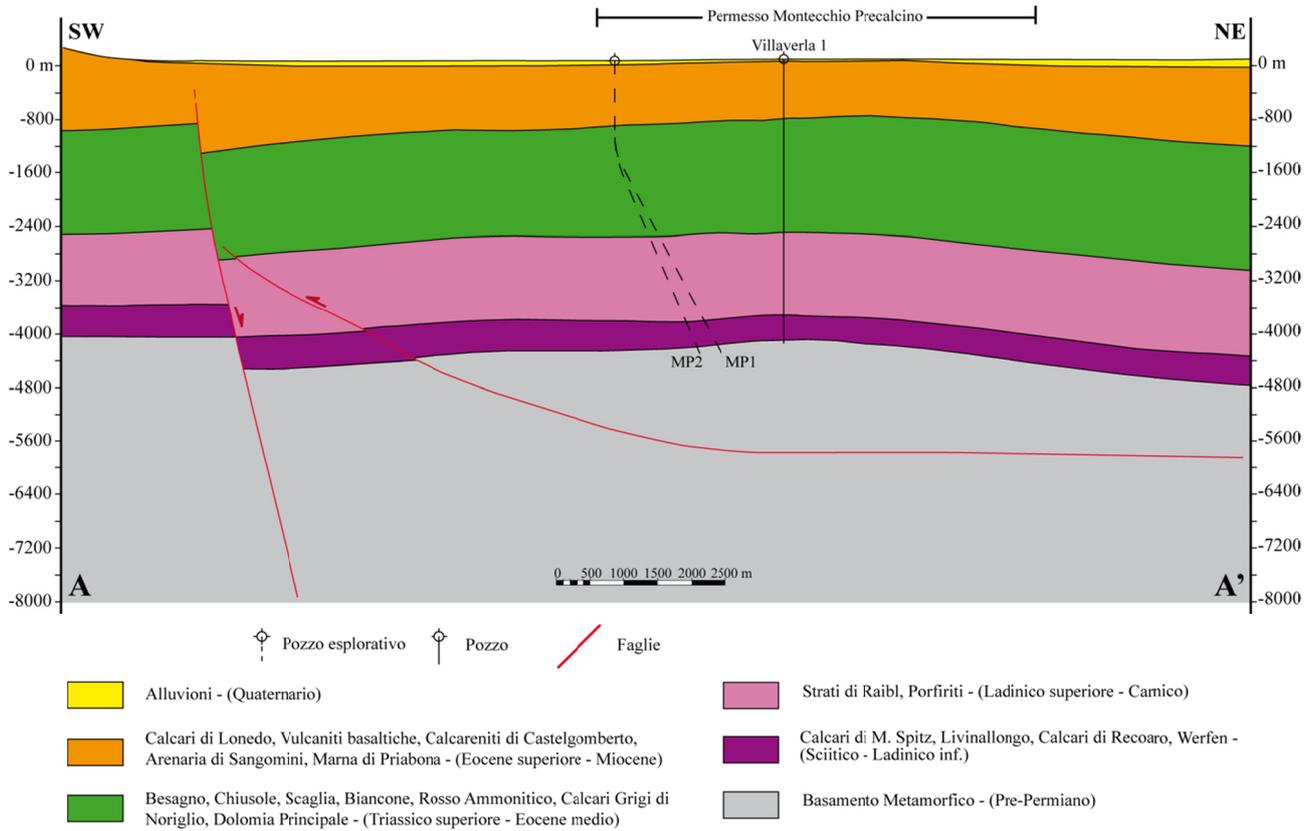


Fig. 17 – Profilo geologico lungo la traccia A-A'. Ubicazione in figure 15 e 16.

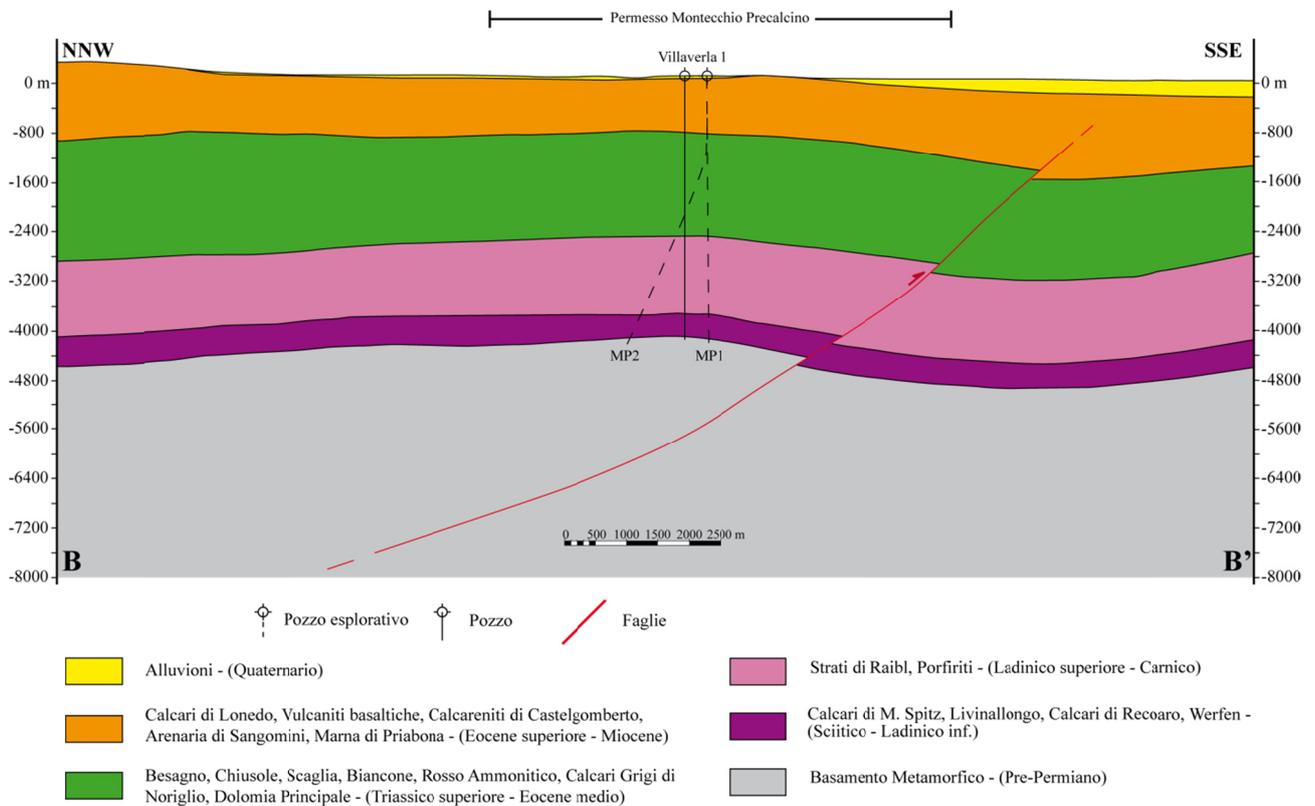


Fig. 18– Profilo geologico lungo la traccia B-B'. Ubicazione in figure 15 e 16.

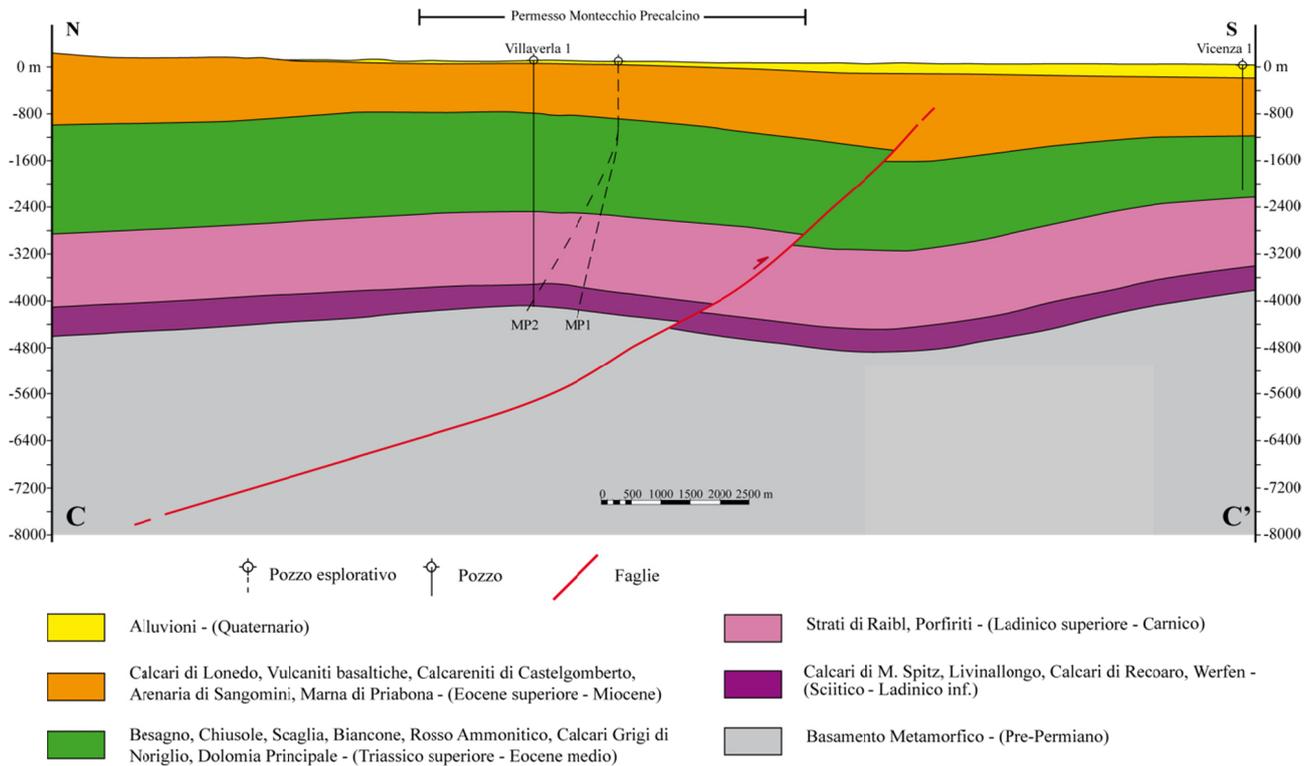


Fig. 19– Profilo geologico lungo la traccia C-C''. Ubicazione in figure 15 e 16.

5 Conclusioni

Nel settore dove è ubicato il Permesso di Ricerca di risorse geotermiche "Montecchio Precalcino" è presente un sovrascorrimento denominato Thiene-Bassano, descritto in numerosi lavori scientifici, ritenuto attivo e capace di generare terremoti di magnitudo Mw 6.6 (e.g., DISS Working Group, 2015). Tale sovrascorrimento, per l'assenza di terremoti storici ad esso associabili, viene considerato essere in una condizione di *gap* sismico che ne acuisce la pericolosità.

La posizione del sovrascorrimento Thiene-Bassano è stata però ricostruita in modo anche significativamente differente nei diversi lavori scientifici che ne hanno riconosciuta l'esistenza (e.g., Antonelli *et al.*, 1990; Castellarin *et al.* 1998; Galadini *et al.*, 2005; Poli *et al.*, 2008; Pilli *et al.*, 2012; Pola *et al.*, 2013; Scardia *et al.*, 2014; Pola *et al.* 2014). Tali differenze riguardano soprattutto la sua porzione sud-occidentale (dove è localizzato il Permesso di Ricerca "Montecchio Precalcino") che mostra scarti tra le varie ubicazioni proposte anche superiori a 10 km. Solo in alcuni casi la posizione proposta è in qualche modo direttamente derivata dall'interpretazione diretta di dati di sottosuolo e, in particolare, di profili sismici a riflessione.

Di conseguenza, l'elaborazione di un modello aggiornato dell'area in esame è stata basata sull'analisi diretta dei dati di pozzo e dei profili sismici a riflessione esistenti, eseguita durante un *data-room* presso gli uffici ENI di Milano. Le informazioni ottenute sono state quindi integrate con i dati (geofisici e geologici, di superficie e di sottosuolo) reperibili nella letteratura scientifica.

Il modello geologico-strutturale 3D, nei limiti dettati dalla quantità e qualità dei dati disponibili e delle caratteristiche delle elaborazioni eseguite (descritte in dettaglio nel paragrafo 4.3), fornisce una ragionevole (sebbene preliminare) ricostruzione delle geometrie delle principali faglie e superfici geologiche. I principali risultati sono i seguenti.

Le superfici geologiche ricostruite descrivono l'assetto geologico-strutturale dell'area considerata e, in particolare, del serbatoio geotermico profondo di interesse, che risulta delimitato a tetto dal top della Fm. dei Calcari di M. Spitz (Ladinico inferiore) e al letto dal top del basamento metamorfico (Pre-Permiano). La sostanziale continuità degli orizzonti e delle facies sismiche attribuibili alle formazioni triassiche muovendo dal pozzo Villaverla-1 verso l'area interessata dai pozzi esplorativi MP1 e MP2 suggerisce la probabile persistenza laterale, almeno per qualche chilometro, delle litologie perforate dal pozzo Villaverla-1.

Il sovrascorrimento Thiene-Bassano mostra una geometria arcuata e risulta ubicato diversi chilometri a sud rispetto al pozzo Villaverla-1, in una posizione molto vicina a quella ricostruita da Pilli *et al.* (2012) e Poli *et al.* (2008). La linea che definisce gli *hanging-wall cutoff* del sovrascorrimento al livello del top della formazione che rappresenta il serbatoio geotermico profondo (Fm. dei Calcari di M. Spitz) risulta posizionata circa 2.4 km a sud-est del pozzo Villaverla-1 ed oltre 2 km a sud della piazzola prevista per i pozzi esplorativi proposti. Sebbene l'effettiva estensione verso SW del sovrascorrimento sia poco vincolata dai dati esistenti, nella ricostruzione proposta tale superficie è stata modellata sino alla faglia Schio-Vicenza, riducendone progressivamente il rigetto sino ad annullarlo.

La superficie di sovrascorrimento, a causa del suo approfondimento in direzione nord-ovest, si trova a passare al di sotto del fondo pozzo di Villaverla-1 (circa 1600 m sulla verticale) e delle due perforazioni esplorative previste (circa 1350-1400 m sulla verticale), senza quindi attraversarle.

Tale risultato è coerente con la reinterpretazione dell'insieme delle informazioni, geologiche e tecniche, disponibili per il pozzo Villaverla-1 che non mostra evidenze della perforazione di una superficie di sovrascorrimento attiva.

In conclusione, il modello digitale 3D prodotto con questo studio rappresenta il necessario *input* di base per successivi studi che potranno riguardare la simulazione numerica del comportamento del serbatoio geotermico, volta a determinare le perturbazioni del campo di temperature e pressioni generate dall'eventuale esercizio dell'impianto, e la modellazione geomeccanica degli effetti di tali perturbazioni sulle faglie attive presenti.

6 Bibliografia

- Antonelli R., Barbieri G., Dal Piaz G.V., Dal Pra A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedeo R. & Zanferrari A., 1990. Carta Geologica del Veneto 1:250000 e relative Note Illustrative. S.E.L.C.A., Firenze.
- Bernoulli D., Caron C., Homewood P., Kalin O. & Von Stuijvenberg J., 1979. Evolution of continental margins in the Alps. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 59: 165-170.
- Bleibinhaus F. & Gebrande H., 2006. Crustal structure of the Eastern Alps along the TRANSALP profile from wide-angle seismic tomography. *Tectonophysics*, 414, 51-69. doi:10.1016/j.tecto.2005.10.028.
- Bosellini A., Castellarin A., Doglioni C., Guy F., Lucchini F., Perri M.C., Rossi P.M.L., Simboli G. & Sommariva E., 1982. Magmatismo e tettonica nelle Dolomiti. Guida alla Geologia del Sudalpino centro-orientale. Guide Geologiche Regionali, Società Geologica Italiana, 189-210.
- Burrato P., Poli M., Vannoli P., Zanferrari A., Basili R. & Galadini F., 2008. Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: A updated view based on geological and seismological evidence. *Tectonophysics*, 453, 157-176.
- Cantelli L. & Castellarin A., 1994. Analisi e inquadramento strutturale del sistema 'Schio-Vicenza'. Atti Ticinesi di Scienze della Terra,, Serie Speciale, 1994 - dsta.unipv.it.
- Castaldini D. & Panizza M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale). *Il Quaternario*, 4, 333-410.
- Castellarin A. & Cantelli L., 2000. Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. *Journal of Geodynamics*, 30, 251-274.
- Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picotti V., Pini G.A., Prosser G. & Selli L., 1992. Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N Apennines. *Annales Tectonicae*, 6, 62-94.
- Castellarin A., Selli L., Picotti V. & Cantelli L., 1998. La tettonica delle Dolomiti nel quadro delle Alpi meridionali orientali. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 53, 133-143.
- Castellarin A., Nicolich R., Fantoni R., Cantelli L., Sella M. & Selli L., 2006. Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (southern sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics*, 14, 259-282.
- Cheloni, D., N. D'Agostino, and G. Selvaggi (2014), Interseismic coupling, seismic potential and earthquake recurrence on the southern front of the Eastern Alps (NE Italy). *Journal of Geophysical Research*, 119, doi:10.1002/2014JB010954.
- CNR-PFG, 1987. Neotectonic Map of Italy. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114.
- Cuffaro M., Riguzzi F., Scrocca D., Antonioli F., Carminati E., Livani M. & Doglioni C., 2010. On the geodynamics of the northern Adriatic plate. *Rendiconti Lincei: Scienze Fisiche e Naturali*, 21(Suppl. 1), S253–S279.
- D'Agostino N., Cheloni D., Mantenuto S., Selvaggi G., Michelini A. & Zuliani D., 2005. Interseismic strain accumulation in the eastern Southern Alps (NE Italy) and deformation at the eastern boundary of the Adria block observed by CGPS measurements. *Geophysical Research Letters*, 32, doi:10.1029/2006GL024266.
- Doglioni C., 1990. Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. *Studi Geologici Camerti*, Volume speciale 117-129.
- Doglioni, C., 1992. Relationships between Mesozoic extension tectonics, stratigraphy and Alpine inversion in the Southern Alps. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 85, 105–126.
- Doglioni C. & Bosellini A., 1987. Eoalpine and Mesoalpine tectonics in the Southern Alps. *Geologische Rundschau*, 76(3), 735-754.
- Doglioni C. & Carminati E., 2008. Structural styles and Dolomites field trip. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 82, 301 pp.

- DISS Working Group (2015). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.
- Galadini F., Poli M.E. & Zanferrari A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). *Geophysical Journal International*, 161, 739-762.
- Ghezzi G., Ghezzi R., Baglioni A., Callegari E. & Scaramuzza L., 1995. Experimental Study of the Hydrodynamic Interference in a Low Enthalpy Geothermal Aquifer of the Veneto Region. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, 2251-2255.
- Grenerczy G., Sella G., Stein S. & Kenyeres A., 2005. Tectonic implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region. *Geophysical Research Letters*, 32, L16311, doi:10.1029/2005GL022947.
- Masetti D., Fantoni R., Romano R., Sartorio D. & Trevisani E., 2012. Tectonostratigraphic evolution of the Jurassic extensional basins of the eastern southern Alps and Adriatic foreland based on an integrated study of surface and subsurface data. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, 96, 2065-2089.
- Massironi M., Zampieri D. & Caporali A., 2006. Miocene to present major fault linkages through the Adriatic indenter and the Austroalpine-Penninic collisional wedge (Alps of NE Italy). *Geological Society London Special Publications*, 262, 245-258.
- Molinari I., Argnani A., Morelli A. & Basini P., 2015. Development and testing of a 3D seismic velocity model of the Po Plain sedimentary basin, Italy. *Bulletin Seismological Society of America*, 105(2A), 753-764, doi: 10.1785/0120140204.
- Pilli A., 2005. Conceptual flow model of the plain-prealps system in the area between Vicenza and Trento (northeastern Italy). Tesi di Dottorato in Scienze Ambientali, 18° Ciclo, 153 pp., Università Ca' Foscari Venezia.
- Pilli A, Sapigni M. & Zuppi G.M., 2012. Karstic and alluvial aquifers: a conceptual model for the plain – Prealps system (northeastern Italy). *Journal of Hydrology*, 464-465, 94-106.
- Pola M., Fabbri P., Piccinini L. & Zampieri D., 2013. A new hydrothermal conceptual and numerical of the Euganean Geothermal System - NE Italy. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 24, 251-253.
- Pola M., Ricciato A., Fantoni R., Fabbri P. & Zampieri D., 2014. Architecture of the western margin of the North Adriatic foreland: the Schio-Vicenza fault system. *Italian Journal of Geoscience*, 133(2), 223-234, doi: 10.3301/IJG.2014.04.
- Poli, M. E., P. Burrato, F. Galadini & Zanferrari A., 2008. Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in NE Italy. *Bollettino di Geofisica Teorica Applicata*, 49, 301-313.
- Prevedel B., 2007. Drilling and completion challenges in fault zones: lessons learned from ICDP Projects. In: Ito H., Behrmann J., Huckman S., Tobin H., Kimura G. (eds) "Scientific Drilling, Reports on deep earth sampling and monitoring", Special Issue n. 1, 98-99, doi:10.2204/uodp.sd.s01.25.2007.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P. & Stucchi M. (eds.), 2011. CPTI11, the 2011 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.
- Roeder D. , 1989. South-Alpine thrusting and trans-Alpine convergence. In: M.P. Coward, D. Dietrich & R.G. Park (Eds), *Alpine Tectonics*. Geological Society London Special Publications, 45, 211-227.
- Scardia G., Festa A., Monegato G., Pini R., Rogledi S., Tremolada F. & Galadini F., 2014. Evidences for the late Alpine tectonics in the Lake Garda area (northern Italy) and seismogenic implications. *Geological Society of America Bulletin*, 127 (1/2), 113-130, doi: 10.1130/B30990.1.

- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C.; 1989: Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review. *Bollettino di Geofisica Teorica Applicata*, 31, 109-136.
- Vuan, A., Klin P., Laurenzano G., & Priolo E., 2011. Far-source longperiod displacement response spectra in the Po and Venetian Plains (Italy) from 3D wavefield simulations. *Bulletin Seismological Society of America*, 101, 1055–1072.
- Winterer E.L. & Bosellini A., 1981. Subsidence and Sedimentation on a Jurassic Passive Continental Margin (Southern Alps, Italy). *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, 65: 394-421, Tulsa.
- Zampieri, D., Massironi, M., Sedeà, R. & Sparacino, V., 2003. Strike-slip contractional stepovers in the Southern Alps (northeastern Italy), *Eclogae Geol. Helv.*, 96, 115–123.
- Zampieri D. & Massironi M., 2007. Evolution of a poly-deformed relay zone between fault segments in the eastern Southern Alps, Italy. *Geological Society London Special Publications*, 290, 351-366.
- Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianetti F. & Sauro U., 1982. Evoluzione neotettonica dell'Italia nordorientale. *Memorie di Scienze Geologiche*, 35, 355-376.

Roma, 23 settembre 2015



Dott. Davide Scrocca

Responsabile del Laboratorio di

Modellazione Geologica di Sottosuolo