

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI SOLAROLO

Provincia di Ravenna

PERMESSO DI RICERCA DI IDROCARBURI

“PONTE DEI GRILLI”

POZZO ESPLORATIVO ARMONIA 1dir

INTEGRAZIONI

allo STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE ed

ai DOCUMENTI PROGETTUALI

A seguito della richiesta del M.A.T.T.M. del 06.08.2015

I.3 – Relazione sulla sismotettonica

OTTOBRE 2015

SOMMARIO

1	Premessa	3
2	Inquadramento geologico-strutturale	4
3	Caratterizzazione sismotettonica	8
3.1	SISMICITÀ STORICA	10
3.2	SISMICITÀ STRUMENTALE	13
3.3	FAGLIE ATTIVE DALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA... 14	
3.4	FAGLIE ATTIVE DALLA CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI ITHACA..... 16	
3.5	SORGENTI SISMOGENETICHE DISS 3.2.0..... 18	
4	Relazioni tra attività minerarie e sismicità	23
5	Conclusioni	25
6	Bibliografia	27

1 Premessa

Questa relazione descrive in modo dettagliato il quadro geologico e sismotettonico di un'area che comprende il Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli", in cui è ubicato il sondaggio esplorativo denominato "Armonia 1 dir", conferito ad Aleanna Resources LLC con D.M. 30/03/2009.

Nel seguito viene fornito un inquadramento dell'assetto geologico strutturale dell'area di interesse, un'analisi dei dati contenuti nei principali data-base di carattere sismologico e sismotettonico e, in particolare, una descrizione delle caratteristiche delle faglie attive e delle strutture sismogenetiche note in un'intorno di circa 20 km dal pozzo "Armonia 1 dir".

Infine, vengono anche brevemente discusse le possibili relazioni tra sismicità ed distribuzione di giacimenti di gas nell'area considerata.

2 Inquadramento geologico-strutturale

La Pianura Padana può essere considerata, in generale, come un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione verso ovest della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico. La microplacca padano-adriatica, è delimitata dal fronte degli accavallamenti sud alpini a Nord e dinarici ad Est.

La subduzione verso Ovest, in direzione opposta al flusso del mantello, provoca l'arretramento verso Est della placca in subduzione. Questo fenomeno (*slab retreat*) è responsabile della progressiva migrazione del sistema catena-avanfossa verso l'avampaese ed in parte della subsidenza a cui è sottoposta l'intera area (e.g., Royden, 1988; Doglioni, 1991; Scrocca et al., 2007).

Nella parte meridionale della Pianura Padana, al di sotto della spessa copertura plio-pleistocenica, è ubicato il fronte dell'Appennino settentrionale, che non coincide con il fronte morfologico della catena. Tale fronte è costituito da un sistema a pieghe e sovrascorrimenti di età terziaria sviluppatosi al tetto della zona di subduzione (e.g., Pieri & Groppi, 1981; Bigi et al., 1992; Boccaletti et al., 2004; Cuffaro et al., 2010; Fantoni & Franciosi, 2010; Boccaletti et al., 2011).

I dati geologici attualmente disponibili sulle strutture sepolte della Pianura Padana derivano principalmente dai rilievi di sismica a riflessione, realizzati per la ricerca degli idrocarburi negli ultimi decenni (e.g., Pieri & Groppi, 1981; Pieri, 1983; Fantoni & Franciosi, 2010; Ghielmi et al., 2010). Tale dati mostrano che le strutture tettoniche associate al fronte dell'Appennino settentrionale non presentano un andamento lineare, ma si organizzano in tre grandi archi:

- 1) l'arco del Monferrato è il più occidentale, collocato tra Torino ed Alessandria;
- 2) l'arco delle Pieghe Emiliane, che si estende a nord di Piacenza;
- 3) l'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole, attivo principalmente dal Pliocene superiore al Pleistocene, che si estende fino a nord di Ferrara e rappresenta l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale, sovrascorso sulla monoclinale pedealpina immergente verso sud-ovest.

L'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole è costituito da un complesso di strutture che può essere suddiviso in tre gruppi minori: le Pieghe Ferraresi, che sono quelle più esterne,; le pieghe Romagnole, collocate verso l'interno della catena,; e, infine, le Pieghe Adriatiche,

situate tra le Pieghe Romagnole e la monoclinale Adriatica (Fig. 1). Il Permesso Ponte dei Grilli ricade all'interno delle Pieghe Romagnole.

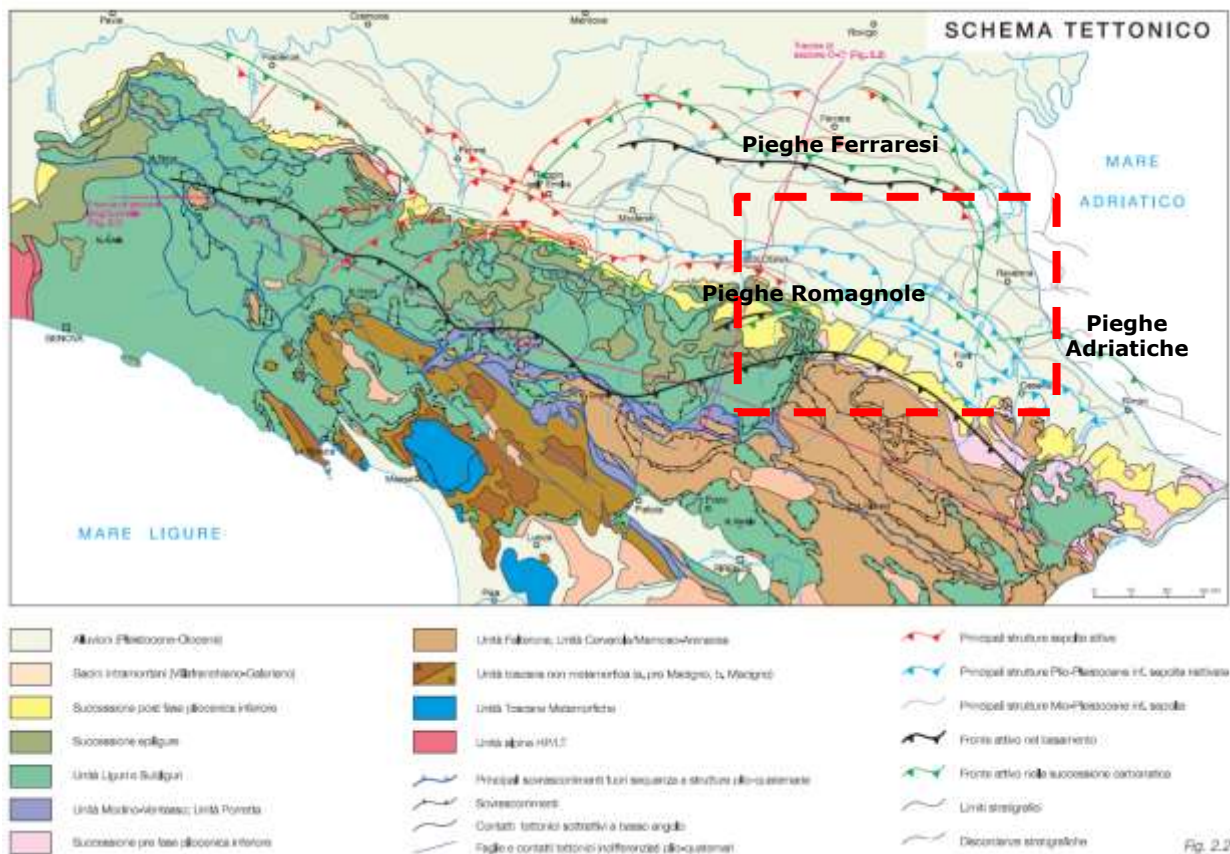


Fig. 1 – Schema tettonico della regione Emilia-Romagna (Boccaletti et al., 2004); la traccia C-C' individua la sezione geologica riportata in figura 2. Il riquadro rosso a tratteggio identifica l'area in studio in cui è collocato il Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli".

Il bacino Padano è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica (Fig. 2 e 3). Sebbene la fase principale di compressione sia iniziata nel Messiniano, i primi sedimenti clastici si sono depositi nell'Oligocene superiore, con una provenienza principale dalle Alpi meridionali.

I depositi sin-tettonici di margine attivo poggiano su unità carbonatiche di età mesozoica e terziaria inferiore di margine passivo, costituite prevalentemente da rocce calcaree e dolomitiche il cui ambiente deposizionale varia da piana di marea-mare poco profondo fino a mare profondo. La base della successione stratigrafica è invece costituita dal basamento

ercinico e da formazioni continentali e di piattaforma del Permiano e del Triassico inferiore-medio, a cui si intercalano talora corpi vulcanici intra-sedimentari.

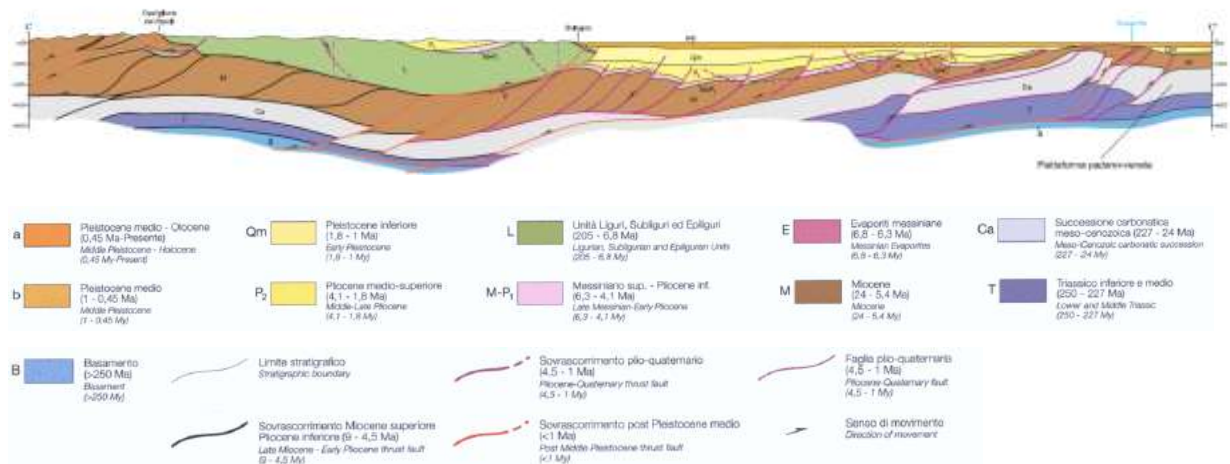


Fig. 2– Sezione geologica regionale attraverso l’arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (Boccaletti et al., 2004); l’ubicazione della sezione è indicata dalla traccia C-C’ nella figura 1.

Il prisma di accrezione appenninico mostra piani di scollamento ubicati a differenti livelli stratigrafici (Fig. 2 e 3): un piano di scollamento superficiale collocato entro la copertura silicoclastica terziaria alla base del Miocene ed uno più profondo ubicato alla base della successione carbonatica Trias superiore (Bally et al., 1985; Carminati et al., 2010). I due livelli di scollamento sono collegati da rampe che attraversano la successione carbonatica trasferendo il rigetto dal livello più profondo verso il livello più superficiale (Fig. 2). Inoltre, alcuni ricercatori ipotizzano anche un coinvolgimento del basamento nella strutturazione della catena (e.g., Picotti & Pazzaglia, 2008; Fantoni & Franciosi, 2010; Boccaletti et al., 2011). Le strutture del fronte consistono in *fault-related folds* associate a piani di sovrascorrimento i cui angoli d’inclinazione sono mediamente tra i 20° e 30°, con valori tendenzialmente crescenti da Nnord verso Ssud. In prossimità del margine pedeappenninico le superfici di sovrascorrimento sono infatti più inclinate, con angoli che arrivano anche a superare i 40° (Pieri, 1983; Bally et al., 1985; Castellarin et al., 1985; Carminati et al., 2010).

La deformazione del settore padano dell'Appennino settentrionale ha avuto inizio nel Messiniano, con una fase di particolare intensità nel corso del Pliocene, ma l'insieme delle evidenze geologiche e geofisiche disponibili (descritte nel seguito) documenta in modo chiaro la perdurante attivante di diverse fasce di sovrascorrimenti.

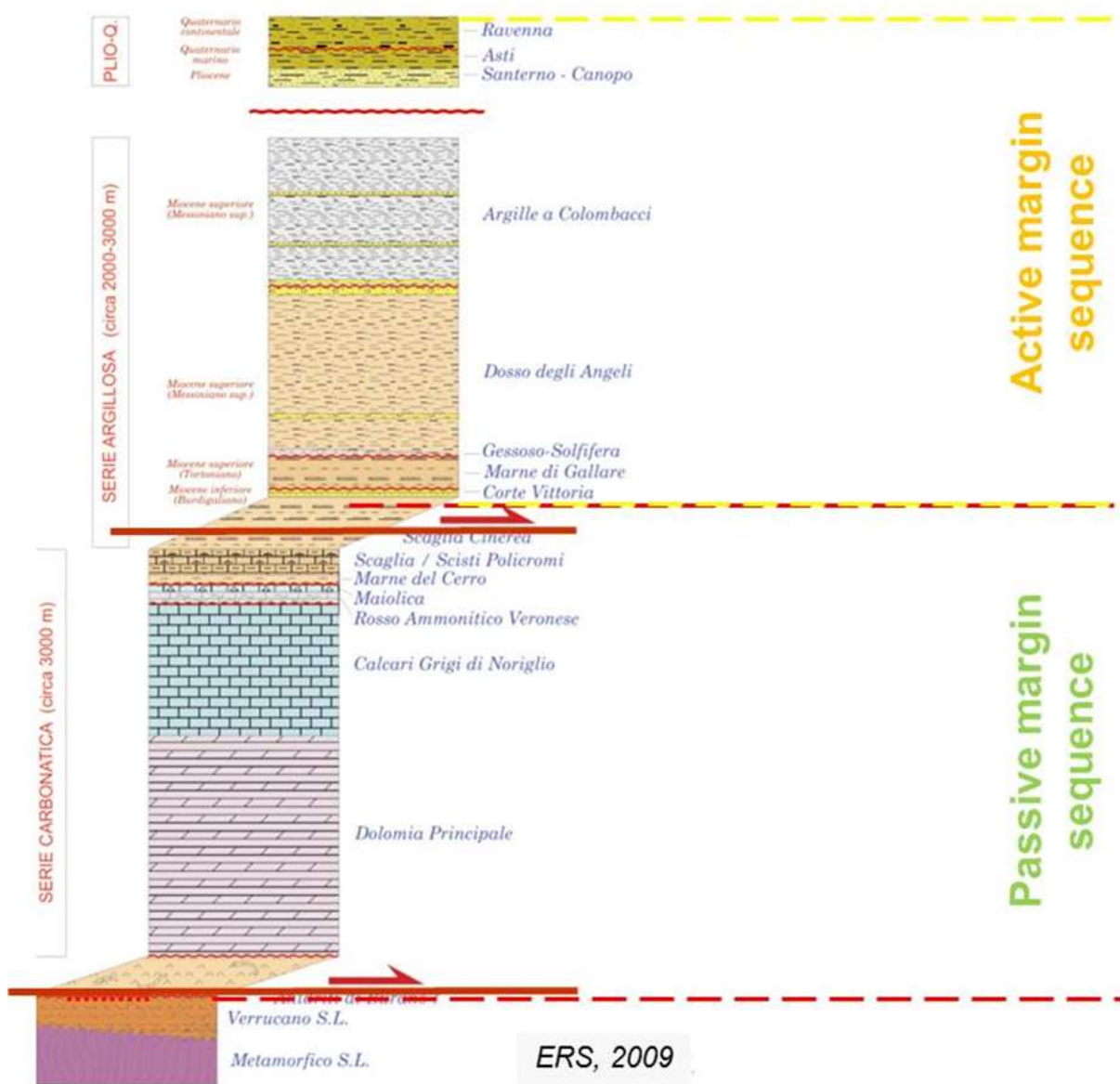


Fig. 3 - Stratigrafia schematica del settore delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (modificato da ERS, 2009).

3 Caratterizzazione sismotettonica

Nel sottosuolo della Regione Emilia-Romagna, sulla base di analisi integrate di dati geologici, geofisici, sismologici e geomorfologici, sono state riconosciute diverse strutture attive e capaci di generare terremoti.

Per la caratterizzazione sismotettonica dell'area in studio sono state utilizzate informazioni tratte da diverse banche dati e lavori pubblicazioni scientifiche, tra cui in particolare quelle descritte di seguito.

- 1- "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPT11" (Rovida et al., 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>) che raccoglie i parametri dei terremoti italiani avvenuti dal 1000 2006.
- 2- "Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani, DBMI11 (Locati et al., 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>) che riporta i dati degli studi macrosismici relativi a 1681 terremoti con effetti in territorio italiano dall'anno 1000 al 2006.
- 3- "Catalogo della Sismicità Italiana, CSI 1.1" (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale INGV dal 1981 al 2002.
- 4- "Database Sismico Strumentale e Parametrico Italiano, ISIDE" (ISIDE Working Group, 2015; <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>), che fornisce i dati relativi ai terremoti che ricadono sul territorio nazionale e nelle regioni limitrofe registrati dal 2005.
- 5- "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (Boccaletti et al., 2004; <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-in-scala-1-250.000>), con il relativo volume di Note Illustrative, descrive le principali strutture attive identificate nella Regione Emilia-Romagna.
- 6- "Catalogo delle Faglie Capaci" (Michetti et al., 2000; ITHACA, 2015; <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>) che contiene la distribuzione territoriale e la caratterizzazione delle faglie capaci, corrispondenti a faglie per le quali è stata documentata o ritenuta possibile una dislocazione superficiale cosismica.

- 7- "Database delle sorgenti sismogenetiche Italiane, DISS 3.2.0" (Basili et al., 2008; DISS Working Group, 2015) che rappresenta la banca dati parametrica delle potenziali sorgenti sismogenetiche di terremoti di magnitudo maggiore di 5.5, in Italia e nelle aree circostanti.

Informazioni aggiuntive sono state riprese anche da pubblicazioni scientifiche relativamente a dati di sottosuolo (e.g., Pieri & Groppi, 1981; Castellarin et al., 1985; Cassano et al., 1986; Bigi et al., 1992; Massoli et al., 2006; Fantoni & Franciosi, 2010) e ad informazioni sul campo di stress (Montone et al., 2004; 2012), sui tassi di deformazione derivati da geodesia spaziale (e.g., Devoti et al. 2008; Cuffaro et al., 2010), meccanismi focali (Pondrelli et al., 2006; TDMT database: <http://cnt.rm.ingv.it/tdmt.html>) ed evidenze geomorfologiche (Burrato et al., 2003). Una visione sinottica delle diverse informazioni disponibili alla scala dell'intera regione Emilia-Romagna è mostrata nella figura 1, per quanto riguarda la geometria dei principali sovrascorrimenti attivi, nella figura 4, per una sintesi delle informazioni sismologiche, e in figura 5, per la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche.

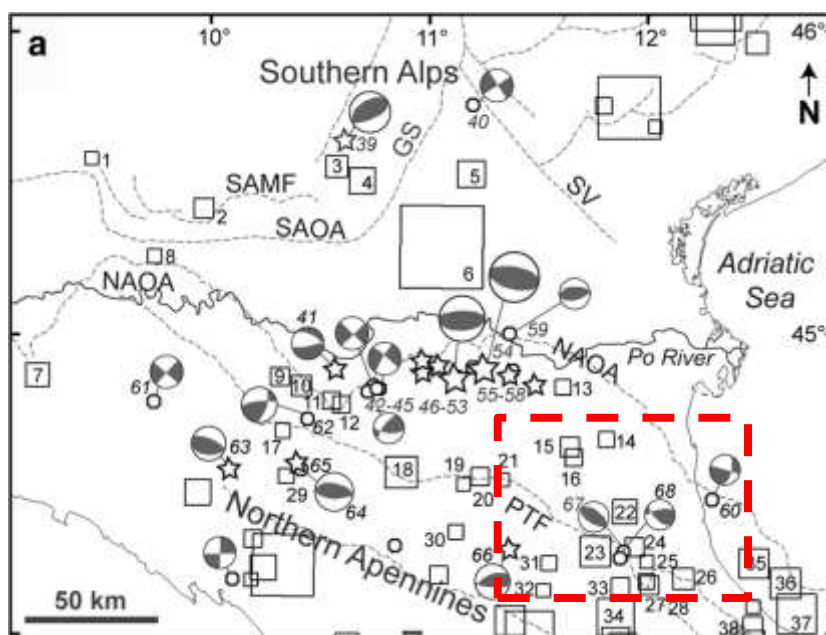


Fig. 4 – Mappa sinottica della sismicità storica e strumentale nel settore padano (Vannoli et al., 2014). I terremoti storici hanno $M \geq 5.3$ e sono identificati da quadrati, quelli strumentali hanno $M \geq 4.5$ e sono rappresentati da cerchi ($M 4.5-4.9$) o stelle ($M \geq 5.0$). Sono anche riportati i meccanismi focali disponibili (Pondrelli et al. 2006; TDMT database: <http://cnt.rm.ingv.it/tdmt.html>). Il riquadro rosso a tratteggio identifica l'area in studio in cui è collocato il Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli".

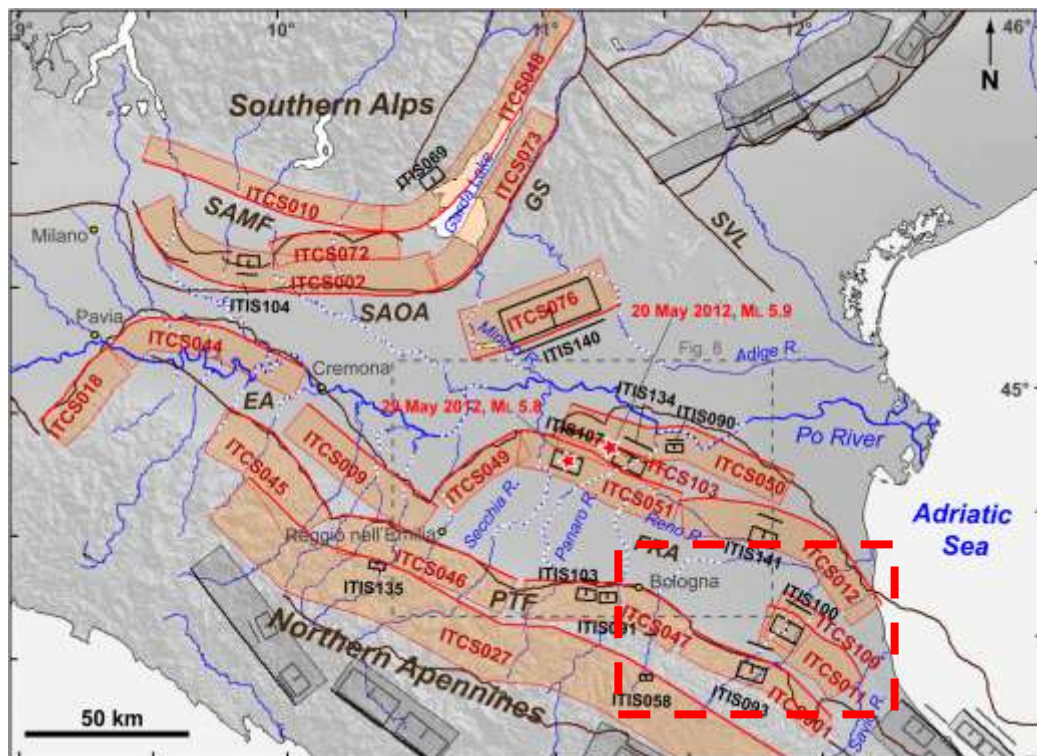


Fig. 5 – Sorgenti sismogenetiche composite (fasce rosse) ed individuali (riquadri neri) in pianura padana (Vannoli et al., 2014). Sono anche rappresentate in bianco le anomalie del reticolo idrografico (Burrato et al., 2003) e con delle stelle rosse gli epicentri dei due eventi principali del terremoto dell'Emilia del maggio 2012. Il riquadro rosso a tratteggio identifica l'area in studio in cui è collocato il Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli".

3.1 SISMICITÀ STORICA

I terremoti storici più rilevanti tratti dal catalogo CPTI11 per il periodo 1000-2006 (Fig. 6; Rovida et al., 2011), in un intorno di circa 20 km dalla posizione prevista per il pozzo Armonia 1 Dir, si concentrano nella zona di Cotignola e nella fascia orientata in senso appenninico compresa tra Imola e Cesena, in corrispondenza di un sovrascorrimento attivo di rilievo regionale (Fig. 1; Boccaletti et al., 2004) noto anche come "Fronte di sovrascorrimento pede-appenninico" (Boccaletti et al., 1985) o "Lineamento pede-apenninico" (Castellarin et al., 1985).

In particolare, i due eventi maggiori nel catalogo CPTI11 sono rappresentati dai terremoti avvenuti rispettivamente presso Cotignola l'11 aprile 1688 (I_0 8-9; Mw 5,8) e circa 8 km a

SW di Faenza il 4 aprile 1781 (I_0 9-10; Mw 5,9). La restante sismicità mostra invece magnitudo comprese nell'intervallo 4.2-5.6.

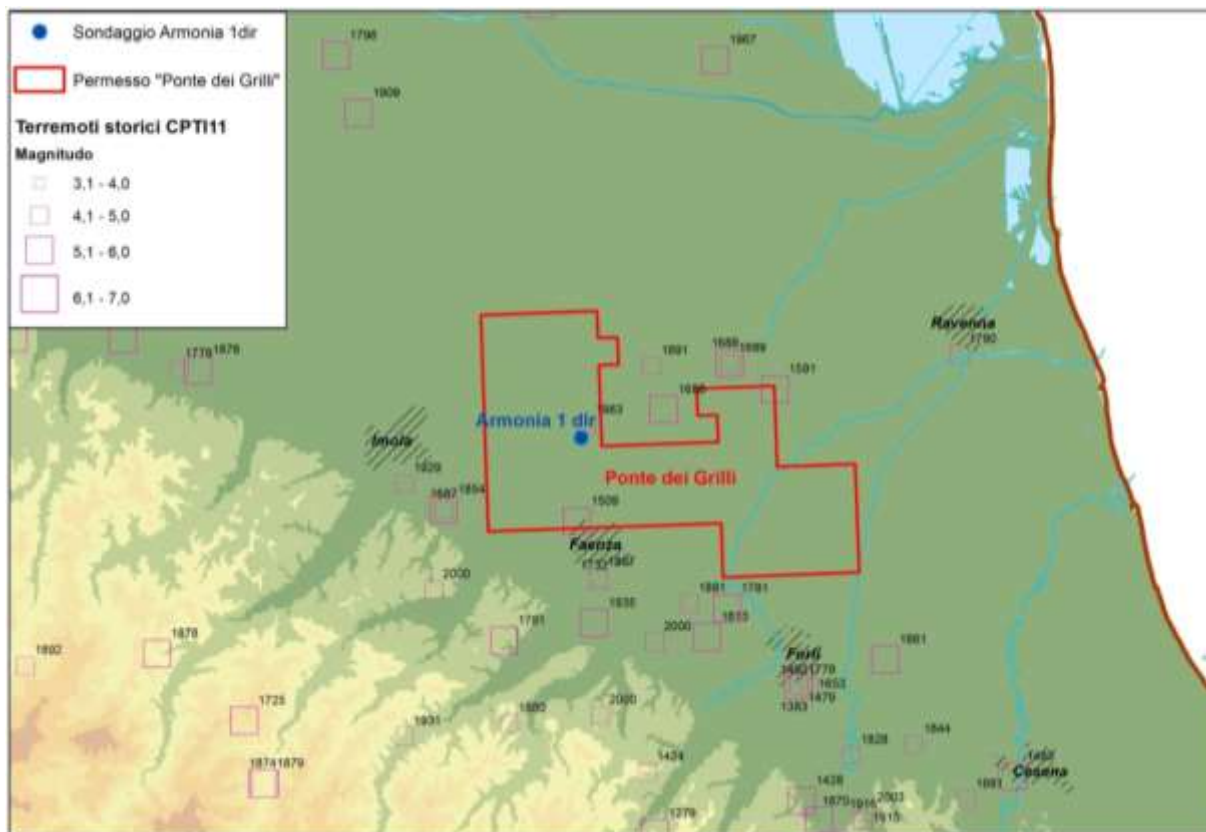


Fig. 6 - Mappa della sismicità storica nell'area del permesso "Ponte dei Grilli" e nelle zone limitrofe, tratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI11 (Rovida et al., 2011). Gli eventi sismici sono rappresentati da quadrati viola di dimensione proporzionale alla magnitudo.

Per quanto riguarda gli effetti in corrispondenza dell'ubicazione del pozzo Armonia 1 Dir, calcolati sul vicina località di Solarolo (Fig. 7) e ripresi dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI11, Locati et al., 2011), i maggiori risentimenti si ebbero in occasione del terremoto del 1688 e di un precedente evento del 1509 raggiungendo rispettivamente l'VIII e il VII grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg).

**Storia sismica di Solarolo
[44.359, 11.848]**

Numero di eventi: 9

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	A _x	N _p	I ₀ Mw
7	1509 04 19	Faentino	5	7 5.03 ±0.84
8	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9 5.78 ±0.35
6-7	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10 5.94 ±0.17
5	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
4	2000 05 06 22:07	Emilia Romagna	84	5 4.17 ±0.09
5	2000 05 08 12:29	Emilia Romagna	126	5 4.66 ±0.09
4-5	2000 05 10 16:52	Emilia Romagna	151	5-6 4.86 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5 4.22 ±0.09

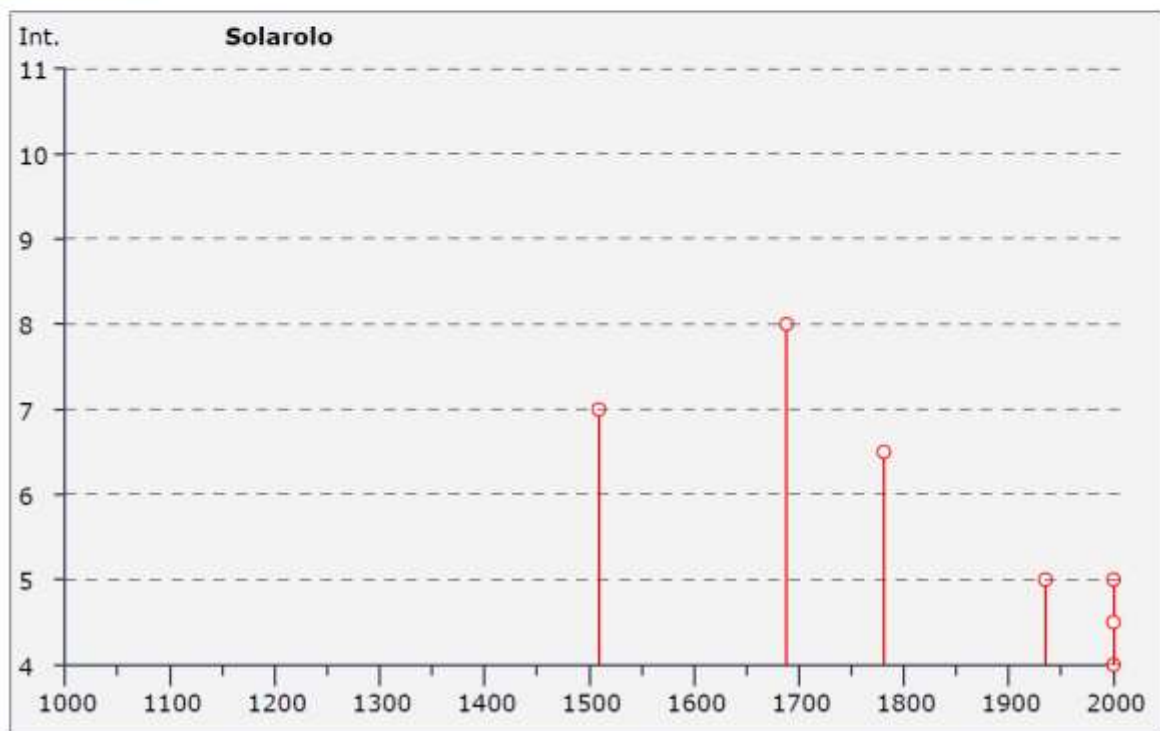


Fig. 7 - Storia sismica della località Solarolo (tratta dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani, DBMI11, Locati et al., 2011): I, Intensità macrosismica a Solarolo espressa in unità MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), A_x Area dei maggiori effetti, N_p Numero di osservazioni macrosismiche; I₀, Intensità macrosismica epicentrale; M_w, magnitudo momento.

3.2 SISMICITÀ STRUMENTALE

I terremoti registrati strumentalmente si concentrano prevalentemente nella zona compresa tra Faenza e Cesena (Fig. 8) lungo il sovrascorrimento pede-appenico (Boccaletti et al., 1985; Castellarin et al., 1985).

In questa zona si è registrata una importante sequenza sismica presso Faenza, con un evento principale di magnitudo 4.3 avvenuto l'8 maggio 2000 seguito da numerose repliche di magnitudo minore. Analisi sismologiche di questa sequenza documentano ipocentri compresi tra 7 e 16 km di profondità sviluppati lungo una zona di rottura orientata circa WNW-ESE e meccanismi focali prevalentemente compressivi con sigma 1 orientato circa NE-SW (Calderoni et al., 2009).

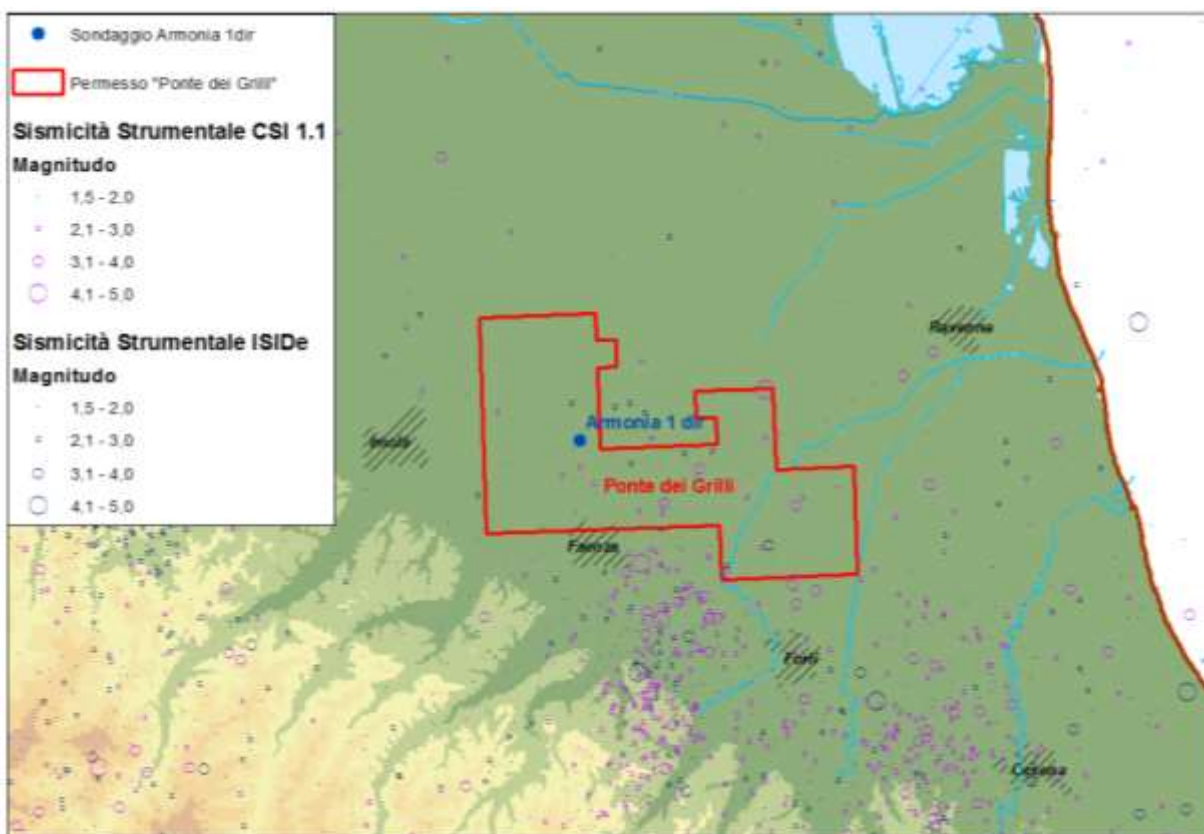


Fig. 8 - Mappa della sismicità strumentale nell'area del permesso "Ponte dei Grilli" e nelle zone limitrofe tratta dal Catalogo della Sismicità Italiana CSI 1.1 (Castello et al., 2006) e dal Database Sismico Strumentale e Parametrico Italiano ISIDE (ISIDE Working Group, 2015.) Gli eventi sismici sono rappresentati da cerchi viola (CSI 1.1) e blu (ISIDE) di dimensione proporzionale alla magnitudo.

Nelle aree adiacenti sono stati registrati esclusivamente terremoti sparsi e generalmente di bassa magnitudo, con l'eccezione di alcuni eventi particolari (M 4.6 il 5 aprile 2009 a sud di Faenza e M 4.4 il 15 luglio 2005 tra Forlì e Cesena) caratterizzati da una profondità ipocentrale di oltre 20 km.

3.3 FAGLIE ATTIVE DALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

La Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, con relative Note Illustrative (Boccaletti et al., 2004), mette in evidenza nell'area in esame la presenza di diversi sovrascorrimenti attivi (Fig. 9). Tali sovrascorrimenti interessano sia le successioni carbonatiche meso-cenozoiche di margine passivo che le successioni silico-clastiche e terrigene terziarie e neogeniche di margine attivo.

In figura 10, è riportato un dettaglio della sezione geologica DD'-EE' tratta dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna che attraversa il permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli" in corrispondenza della ubicazione del pozzo Armonia 1 Dir. Questa sezione, basata sull'interpretazione di dati di sottosuolo (i.e., pozzi e profili sismici; Boccaletti et al, 2004, 2011), fornisce una efficace rappresentazione dell'assetto strutturale dell'area in esame e permette di comprendere le caratteristiche e le geometrie dei sovrascorrimenti ritenuti attivi.

Il pozzo Armonia 1 Dir è posizionato sul fianco SW dell'alto strutturale di Cotignola, con una profondità finale prevista a 2352 m all'interno dei depositi silicoclastici del Pliocene inferiore (Formazione Porto Corsini). L'alto di Cotignola è generato dalla sovrapposizione nello spazio di strutture causate dalla propagazione di sovrascorrimenti a due diversi livelli strutturali.

La struttura più superficiale interessa i depositi miocenici (indicati in marrone e identificati dalla sigla "M" in figura 10) causata dalla propagazione di sovrascorrimenti, con associati retroscorrimenti, dal livello di scollamento superiore posto alla base del Miocene (Fig. 3); tali sovrascorrimenti sono ritenuti attivi nell'intervallo Pliocene-Quaternario (4.5-1.0 Ma, indicati in viola in figura 10). Muovendo verso SW, tali sovrascorrimenti si raccordano con una rampa attiva anche nei carbonatici meso-cenozoici, riconducibile al cosiddetto sovrascorrimento pede-apenninico responsabile della genesi dei rilievi apenninici.

La struttura miocenica è inoltre ulteriormente piegata a causa della propagazione di un altro sovrascorrimento dal livello di scollamento posto alla base della successione carbonatica

meso-cenozoica. Tale sovrascorrimento genera una rampa (con associata anticlinale che coinvolge in questo caso i termini carbonatici) nel settore compreso tra Faenza a Massa lombarda; questo sovrascorrimento è considerato attivo nel post-Pleistocene medio (<1 Ma, in rosso in figura 10). Verso NE questo sovrascorrimento si raccorda a sua volta con lo scollamento superficiale.

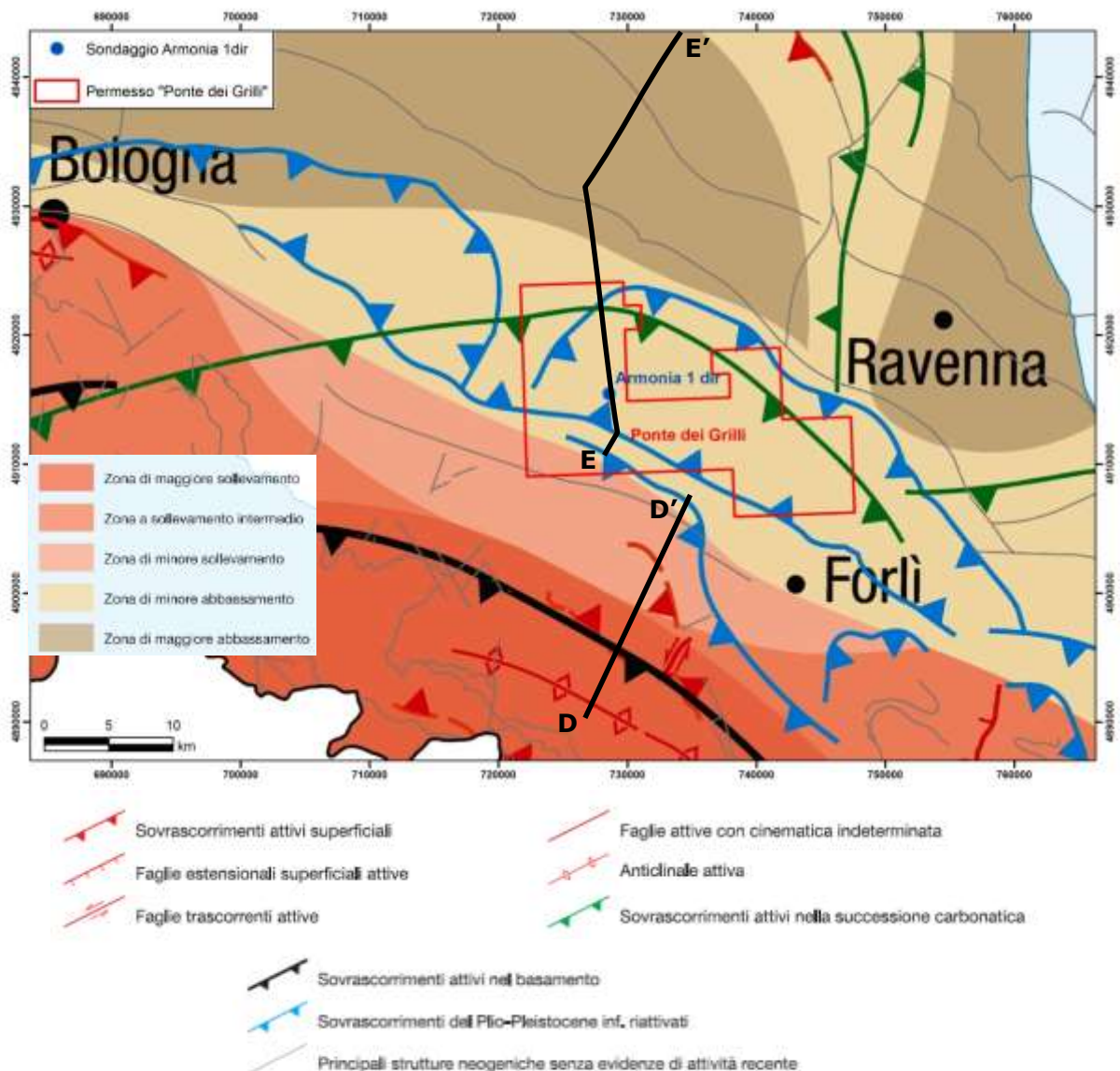


Fig. 9 – Dettaglio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, (Boccaletti et al., 2004). Sono rappresentati i principali sovrascorrimenti attivi nell'intorno del permesso di ricerca "Ponte dei Grilli".

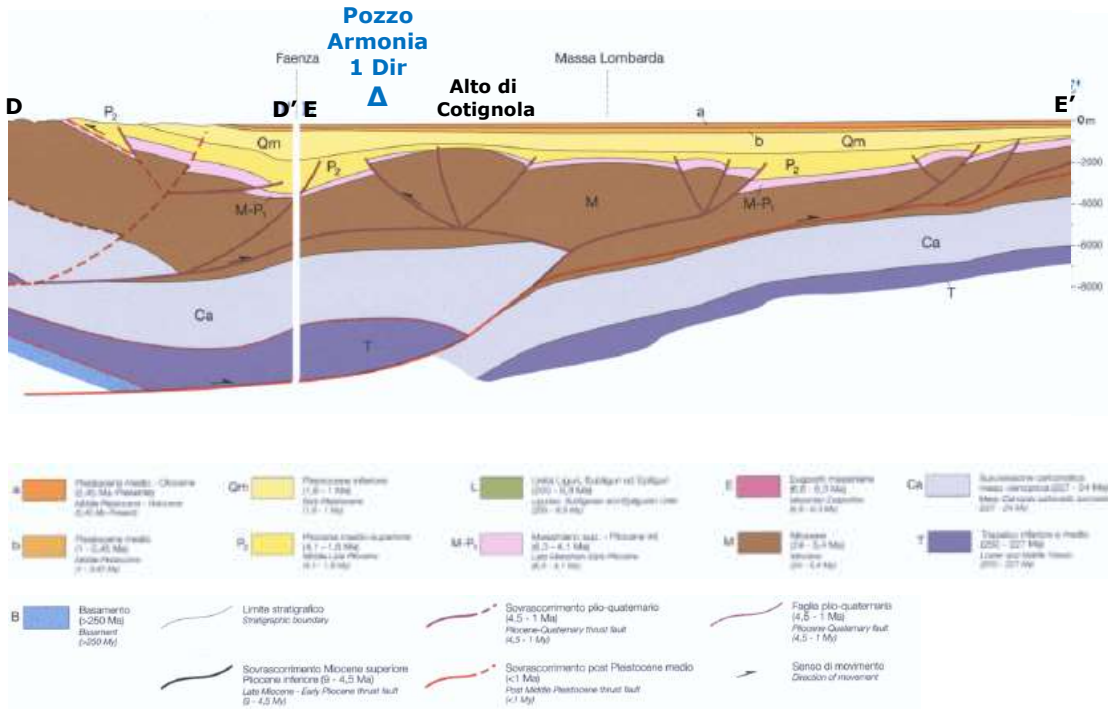


Fig. 10 – Dettaglio della sezione geologica geologica DD'-EE', tratta dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al., 2004,) che attraversa il Permessso di Ricerca "Ponte dei Grilli" in corrispondenza dell'ubicazione del sondaggio esplorativo Armonia 1 Dir; l'ubicazione della sezione è indicata in figura 9.

3.4 FAGLIE ATTIVE DALLA CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI ITHACA

Il database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults; Michetti et al., 2000; ITHACA, 2015), contiene informazioni riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Le principali faglie contenute in questo catalogo nell'area circostante il Permessso di Ricerca "Ponte dei Grilli" (Fig. 11) corrispondono sostanzialmente ai principali sovrascorrimenti che deformano la base dei depositi plio-pleistocenici (e.g., Pieri & Groppi, 1981; Bigi et al., 1992).

In particolare, le due strutture riportate in questo catalogo che attraversano in senso NW-SE la porzione nord-orientale e sud-occidentale del Permesso di ricerca "Ponte dei Grilli" (Fig. 11) corrispondono ai sovrascorrimenti del Pliocene-Pleistocene inferiore riattivati, indicati in azzurro nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (cfr. Fig. 9).

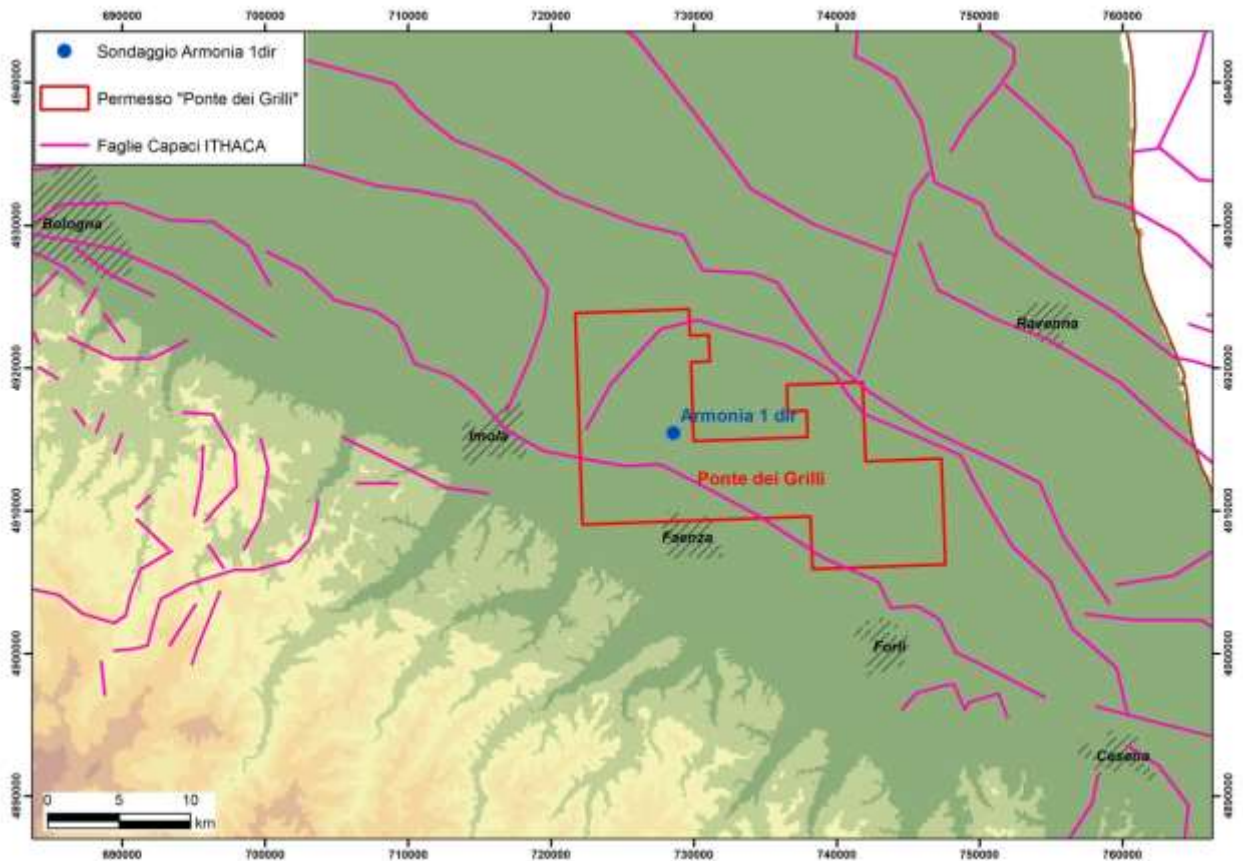


Fig. 11 – Faglie capaci (in viola) riprese dal catalogo ITHACA (ITHACA, 2015) nell'intorno del permesso di ricerca "Ponte dei Grilli". Tali strutture corrispondono essenzialmente ai principali sovrascorrimenti che deformano la base dei depositi plio-pleistocenici.

3.5 SORGENTI SISMOGENETICHE DISS 3.2.0

Nel Database delle sorgenti sismogenetiche Italiane DISS 3.2.0 (Basili et al., 2008; DISS Working Group, 2015) sono state individuate diverse sorgenti nell'area di interesse (Fig. 12).

SI tratta di due sorgenti individuali (ITIS093 Faenza e ITIS100 Bagnacavallo) e di tre sorgenti composite (ITCS001 Castel San Pietro Terme-Meldola, ITCS011 Ascensione-Armaia e ITCS109 Fusignano-Villanova).

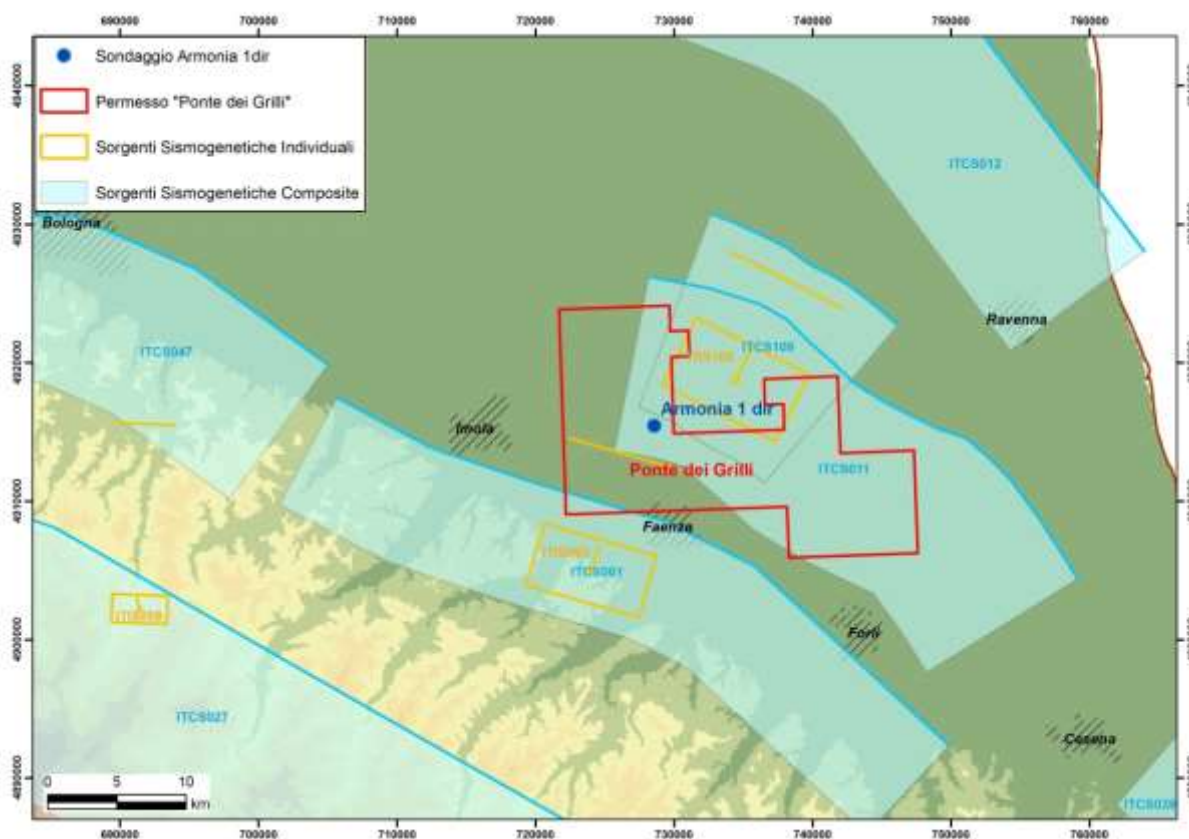


Fig. 12 – Sorgenti sismogenetiche composite (fasce azzurre) ed individuali (riquadri arancioni) nell'intorno del permesso di ricerca "Ponte dei Grilli" (DISS Working Group, 2015).

Tali sorgenti, che corrispondono ad alcune superfici di sovrascorrimento principali sepolte nel substrato della pianura padana, sono ritenute capaci di generare terremoti di Magnitudo Mw 5.8-6.0. I parametri caratteristici di queste sorgenti sono riportati in dettaglio nelle figure 13 e 14.

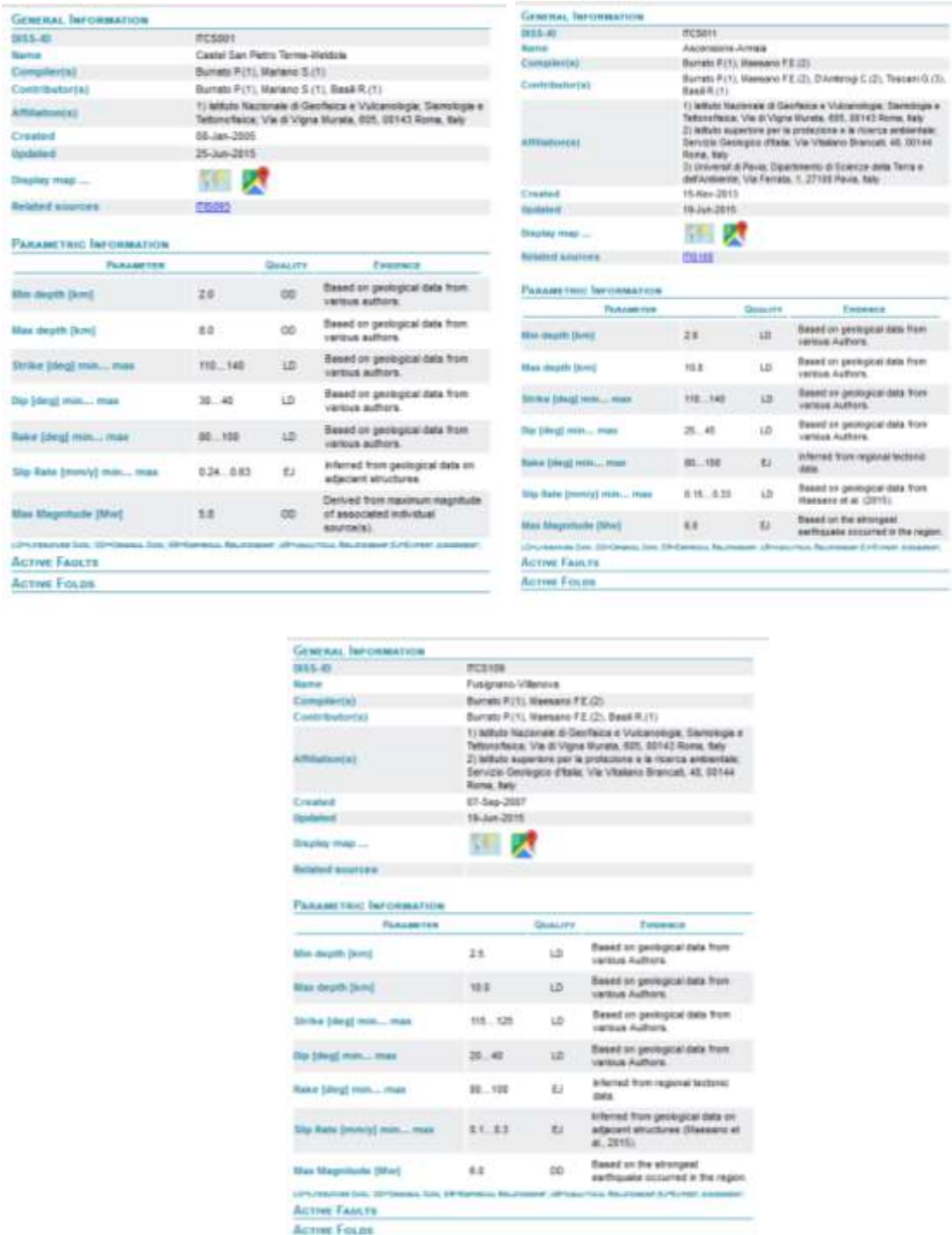


Fig. 13 – Parametri caratteristici delle sorgenti sismogenetiche composite ITCS01, ITCS011 e ITCS109 presenti nel Database of individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015) nell'intorno del permesso di ricerca "Ponte dei Grilli".

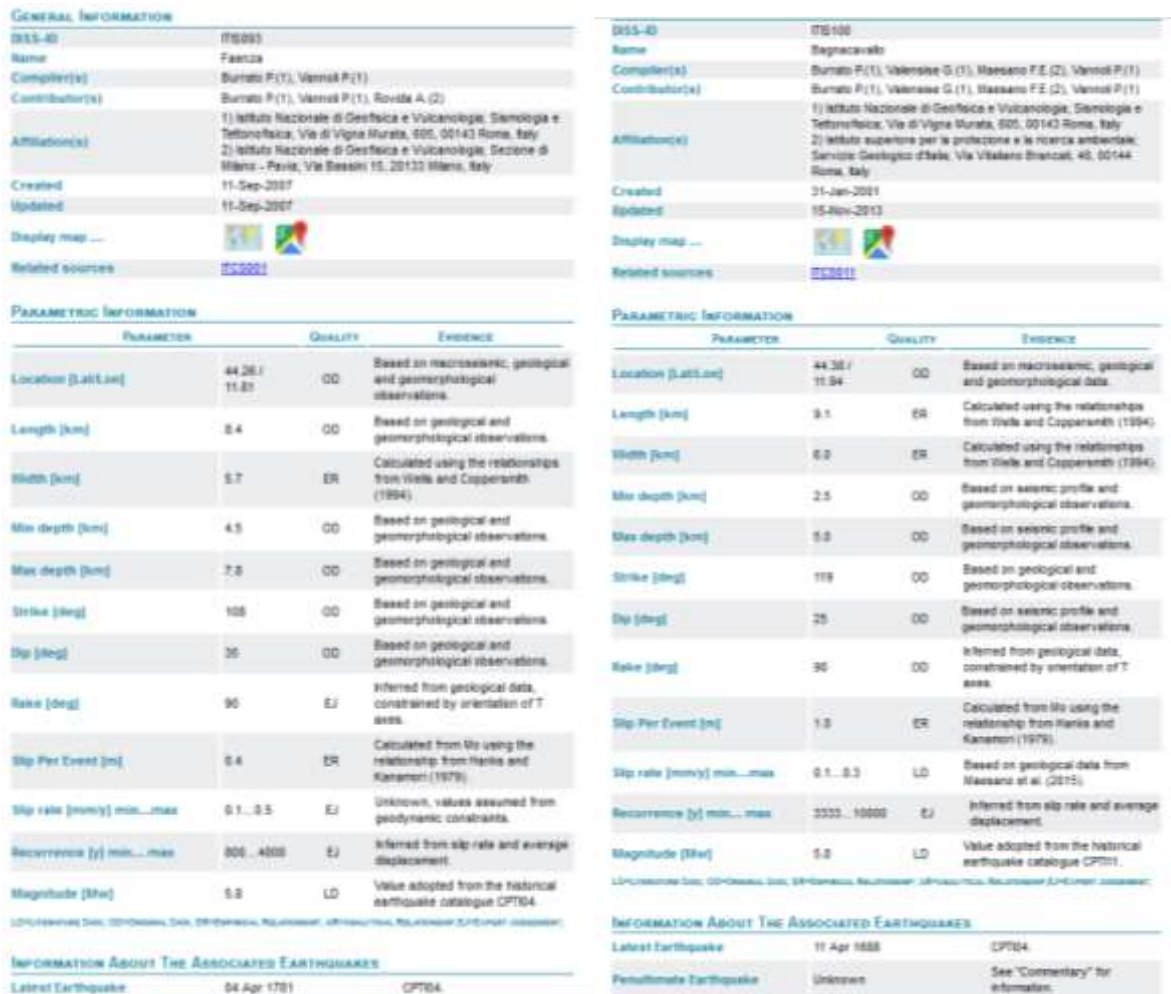


Fig. 14 – Parametri caratteristici delle sorgenti sismogenetiche individuali ITIS093 e ITIS100 presenti nel Database of individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015) nell'intorno del permesso di ricerca "Ponte dei Grilli".

La geometria di queste sorgenti è stata ricostruita sulla base di informazioni sull'assetto di sottosuolo ricavate dall'interpretazione congiunta di dati di pozzo, profili sismici ed altre informazioni geofisiche (Pieri & Groppi, 1981, Cassano et al., 1986; Boccaletti et al., 2004; Massoli et al., 2006). Le loro caratteristiche sono state analizzate in dettaglio in diversi lavori scientifici (e.g., Calderoni et al., 2009; Toscani et al., 2009; Boccaletti et al., 2011). Nel corso del tempo, nelle diverse versioni del Database of individual Seismogenic Sources la posizione ricostruita per queste sorgenti è stata progressivamente modificata ed affinata sino ad arrivare alla rappresentazione attuale.

A titolo di esempio, la posizione della sorgente ITIS100 Bagnacavallo rappresentata in figura 15 corrisponde in realtà alla versione del DISS 3.1.1., con la sorgente spostata in una posizione lievemente più esterna (dove nella versione attuale DISS 3.2.0 è ora posizionata la sorgente composita ITCS109 Fusignano-Villanova).

La sorgente individuale ITIS093 Faenza costituisce un segmento della sorgente composita ITCS001 Castel San Pietro Terme-Meldola. Questa sorgente individuale risulta associata ad un importante terremoto storico (4 Aprile 1781). Sebbene siano state proposte anche interpretazioni alternative (e.g., Picotti & Pazzaglia, 2008), la generalità degli autori ritiene che tali sorgenti corrispondano alla geometria profonda del cosiddetto fronte di sovrascorrimento pede-appennico (Fig. 10 e 15; Boccaletti et al., 1985; Castellarin et al., 1985; Boccaletti et al., 2004 ; Scrocca et al., 2007; DISS Working Group, 2015).

La sorgente individuale ITIS100 Bagnacavallo rappresenta invece un segmento della sorgente composita ITCS011 Ascensione-Armaia. La presenza della ITIS100 Bagnacavallo è suggerita oltre che dalla sismicità storica (i.e., il terremoto dell'11 aprile 1688) anche da anomalie nell'andamento del reticolo idrografico (e.g., Burrato et al., 2003). Il confronto tra l'assetto strutturale riportato in figura 10 e 15 ed i parametri ricostruiti per questa sorgente (i.e., ubicazione, profondità minima e massima e pendenza) permette di identificarla con una che rampa che il sovrascorrimento profondo (attivo post Pleistocene medio; Boccaletti et al., 2004) sviluppa nella sua propagazione dal livello di scollamento profondo, alla base del Trias superiore, al livello di scollamento superficiale, posto alla base del Miocene (Boccaletti et al., 2004; Calderoni et al., 2009; Toscani et al., 2009).

La sorgente composita ITCS109 Fusignano-Villanova rappresenta invece una rampa più esterna suggerita dall'interpretazione del dato sismico (Massoli et al., 2006; DISS Working Group, 2015).

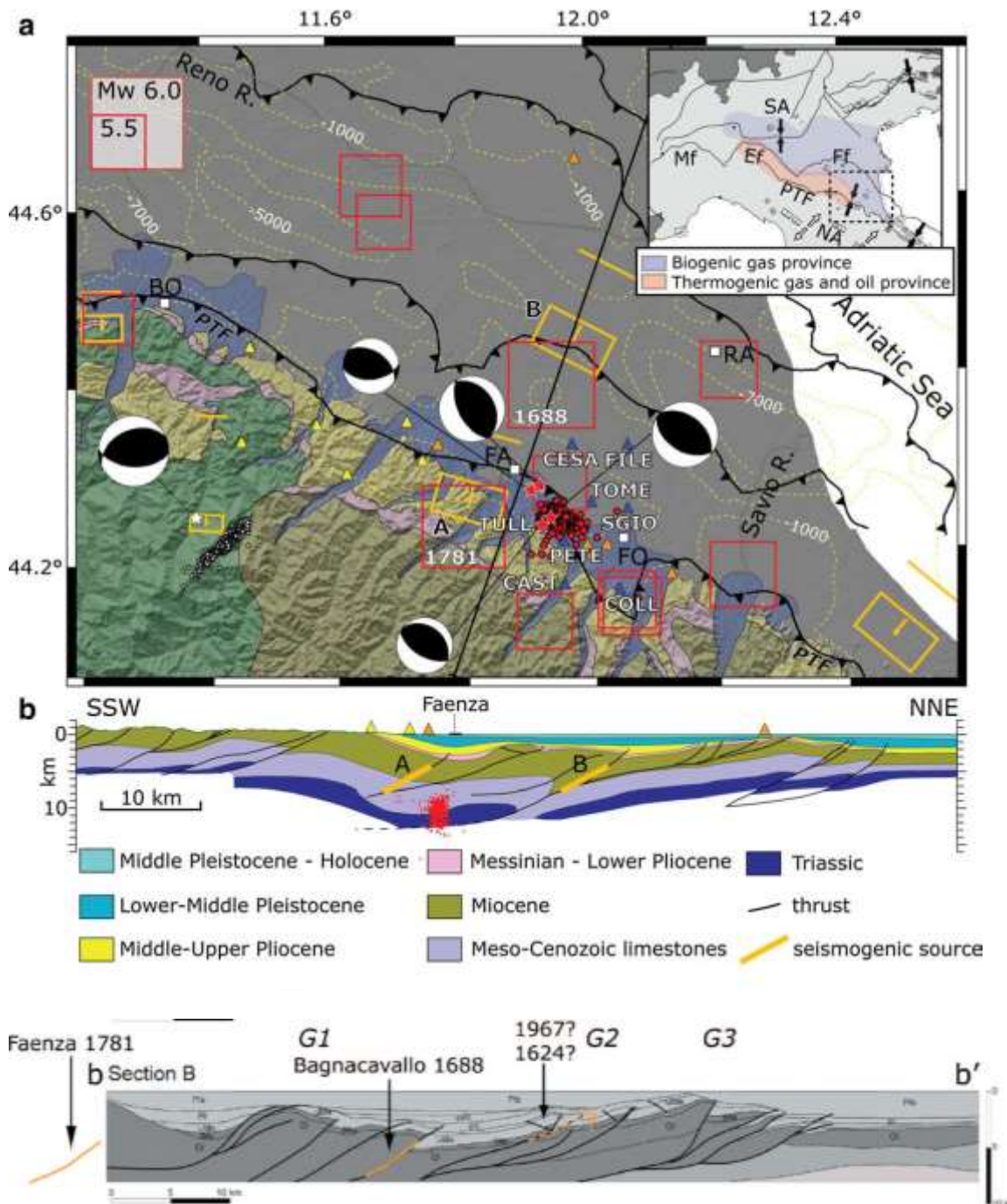


Fig. 15 – Schema sismotettonico dell'area in esame e relativa sezione geologica in colore (Calderoni et al., 2009). Sono riportate le principali sorgenti sismogeniche (DISS 3.1.1, rettangoli arancioni), la sismicità storica (quadrati rossi), la sequenza di Faenza del 2000 e i principali meccanismi focali. La sezione geologica in basso, in toni di grigio, è ripresa da Toscani et al. (2009) e corrisponde al segmento della sezione soprastante compreso tra Faenza e l'estremo NW della stessa.

4 Relazioni tra attività minerarie e sismicità

Il pozzo Armonia 1 Dir rappresenta un sondaggio esplorativo di profondità limitata che si arresterà, in unità silicoclastiche del Pliocene inferiore, a profondità inferiori a quelle attribuite alle sorgenti sismogenetiche identificate nella zona in esame. A tale riguardo si segnala anche l'assenza di significative fenomeni sismici percepibili dalla popolazione in occasione delle molte altre perforazioni petrolifere che hanno interessato in passato questo settore della Pianura Padana (Fig. 16).

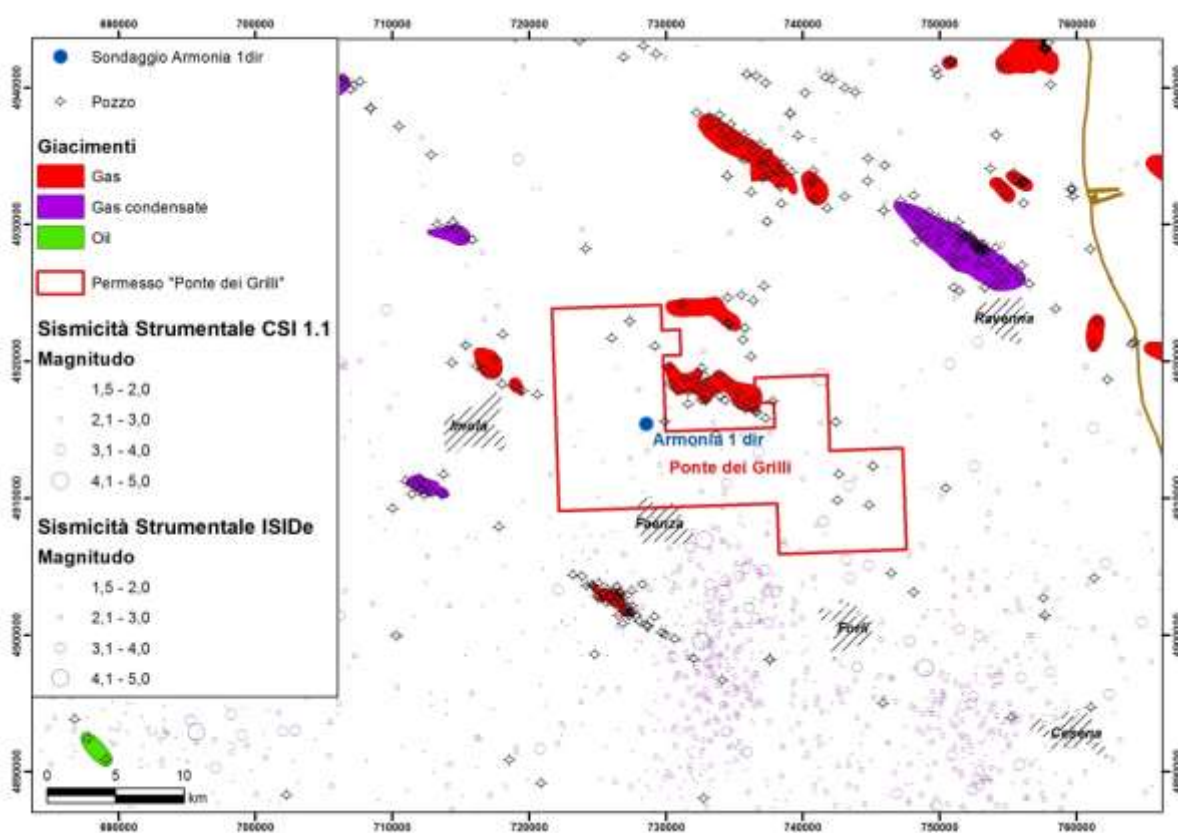


Fig. 16 – Nei limiti dell'errore nelle localizzazioni epicentrali e della completezza dei database sismologici disponibili, il confronto tra la distribuzione della sismicità strumentale e la posizione dei principali giacimenti di idrocarburi e pozzi petroliferi nell'area esaminata suggerisce l'assenza di significativi fenomeni di sismicità indotta/innescata associabili dalle attività estrattive di gas metano da reservoir ospitati in depositi plio-pleistocenici.

Inoltre, è anche opportuno ricordare che nei limiti dell'errore nelle localizzazioni epicentrali e della completezza dei database sismologici disponibili (CSI 1.1 e ISIDE), per i principali

giacimenti nell'area in esame (che include per altro anche i due campi di Dosso degli Angeli e Ravenna che costituiscono rispettivamente il giacimento di gas e di gas condensati on-shore più grandi in Italia) non si hanno evidenze di sismicità indotta/innescata dalle attività estrattive di gas metano da reservoir plio-pleistocenici (Fig. 16; Scrocca, 2014). In passato (e.g., Suckale, 2009), era stata ipotizzato un possibile collegamento tra le attività estrattive in corso presso il campo a gas di Caviaga e il Terremoto del Lodigiano del 15 maggio 1951 (Mw 5.39 nel CPTI11, Rovida et al., 2011). Recentemente tale ipotesi è stata però esclusa sulla base di considerazioni geologiche e sismologiche (Scrocca, 2014; Caciagli et al., 2015).

La possibile spiegazione dell'assenza di sismicità indotta/innescata associabile alle attività di coltivazione dei campi a gas in depositi plio-pleistocenici è fornita dalla "International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia-Romagna region" (ICHESE, 2014) che analizzando le possibile cause dei terremoti del maggio 2012 in Emilia ricorda che i reservoir Plio-Pleistocenici sono separati dalle sottostanti unità carbonatiche in cui sono presenti le sorgenti sismogenetiche da: *"at least one impermeable interval corresponding to the middle Eocene-lower/middle Miocene marly deposits of the Cavone-Rivara stratigraphic sequence. This shaly interval forms a barrier that makes direct hydraulic connection with the seismogenic structure(s) unlikely."*

5 Conclusioni

Nel settore della Pianura Padana dove è ubicato il Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli", in cui si trova il sondaggio esplorativo denominato "Armonia 1 dir", un regime tettonico compressivo attivo con un il sigma 1 orientato circa NNE-SSW è provato da *breakout* di pozzo (Montone et al., 2004, 2012), meccanismi focali (Boccaletti et al., 2004; Pondrelli et al., 2006; Calderoni et al., 2009) e dati sismologici (Castello et al., 2006; Rovida et al., 2011; ISIDE Working Group, 2015). Recenti analisi del capo di deformazione derivati da geodesia spaziale (e.g., Devoti et al. 2008; Cuffaro et al., 2010) mostrano tassi di raccorciamento di qualche mm/a.

Le informazioni sull'assetto di sottosuolo ricavate dall'interpretazione congiunta di dati di pozzo, profili sismici ed altre informazioni geofisiche (Pieri & Groppi, 1981, Cassano et al., 1986; Boccaletti et al., 2004; Massoli et al., 2006; Fantoni & Franciosi, 2010), insieme ad evidenze derivate da analisi geomorfologiche (e.g., Burrato et al., 2003), documentano l'esistenza di un sistema di sovrascorrimenti ciechi, ma attivi, che controlla lo sviluppo di associate anticlinali (Burrato et al., 2003; Boccaletti et al., 2004, 2011; Scrocca et al., 2007; Vannoli et al., 2014). Queste strutture attive sono organizzate in fasce sismogenetiche che corrispondono alle sorgenti composite del database delle sorgenti sismogenetiche italiane (Basili et al., 2008; DISS Working Group, 2015)

L'insieme dei dati contenuti nelle fonti sopra citate consente di definire in modo esauriente il quadro sismotettonico del settore delle "Pieghie Romagnole" in esame, dove le principali strutture sismogenetiche riconosciute sono rappresentate da sovrascorrimenti attivi e sepolti responsabili della deformazione compressiva delle coperture sedimentarie mesozoiche (e.g., Boccaletti et al., 2004; Calderoni et al., 2009; Toscani et al., 2009; Cuffaro et al., 2010; Vannoli et al., 2014).

Nell'area in esame, nella versione 3.2.0 del DISS, sono riportate tre diverse sorgenti sismogenetiche composite con due relative sorgenti individuali associate a terremoti storici. Tali sorgenti sono ritenute in grado di generare terremoti con valori di magnitudo sino a 6 (DISS Working Group, 2015).

Le ricostruzioni disponibili, basate su dati di sottosuolo (e.g., Pieri & Groppi, 1981; Boccaletti et al., 2004; Massoli et al., 2006; Calderoni et al., 2009; Toscani et al., 2009), mettono però chiaramente in evidenza che tali sorgenti corrispondono a rampe dei sovrascorrimenti ubicate all'interno dei termini triassico-miocenici delle coperture sedimentarie di margine

passivo e risultano quindi localizzate in livelli più profondi di quelli plio-pleistocenici interessati dal sondaggio esplorativo Armonia 1 Dir (Fig. 15).

La geometria ricostruita per queste superfici di sovrascorrimento mostra in generale una immersione verso SW con pendenze di circa 20°-40°. Di conseguenza, sebbene la sorgente ITIS100 Bagnacavallo risulti apparentemente sovrapposta in mappa al sondaggio Armonia 1 Dir (Fig. 12) è possibile stimare una distanza non inferiore a circa 5-6 km tra il fondo pozzo e la sorgente sismogenetica (e.g., Fig. 10 e 15).

Inoltre, come osservato anche dalla "*International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia-Romagna region*" (ICHESE, 2014), i reservoir Plio-Pleistocenici coltivati nei campi a gas sono separati dalle sottostanti unità carbonatiche meso-cenozoiche, in cui sono presenti le sorgenti sismogenetiche, da formazioni impermeabili dell'Eocene medio-Miocene inferiore. Tale assetto stratigrafico-strutturale rende improbabile una connessione idraulica tra i due diversi livelli geologici interessati dagli accumuli di gas e dalle sorgenti sismogenetiche.

Tale fenomeno rappresenta la probabile spiegazione per l'assenza di significativi fenomeni di sismicità indotta/innescata associabili dalle attività estrattive di gas metano da reservoir ospitati in depositi plio-pleistocenici suggerita da un confronto tra la distribuzione della sismicità strumentale e la posizione dei principali giacimenti di idrocarburi e pozzi petroliferi nell'area esaminata.

Fermo restando quanto sopra per le attività legate al sondaggio esplorativo in oggetto, eventuali approfondimenti potranno essere eseguiti a seguito dei risultati della perforazione esplorativa.

Data

Ottobre 2015

Dott. Geol. Davide Scrocca

6 Bibliografia

- Bally A. W., Catalano R., Oldow J.S., 1985. Elementi di tettonica regionale. Pitagora editrice, 290 pp., ISBN-13: 9788837103590.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008. The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., 1992. Structural Model of Italy. Scale 1:500,000. In: Quaderni de La Ricerca Scientifica, vol. 114 (3), CNR.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G., Postpischl D., 1985. Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines. Tectonophysics, 117, 7–38.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucci G., 2004. Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Servizio geologico sismico e dei suoli, Regione Emilia-Romagna. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-in-scala-1-250.000>.
- Boccaletti M., Corti G., Martelli L., 2011. Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), 100, 1331–1348, doi 10.1007/s00531-010-0545-y.
- Burrato P., Ciucci F., Valensise G., 2003. An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. Ann. Geophys., 46, 865-882.
- Caciagli M., Camassi R., Danesi S., Pondrelli S., Salimbeni S., 2015. Can We Consider the 1951 Caviaga (Northern Italy) Earthquakes as Noninduced Events? Seismol. Res. Lett. 86(5), 1-10, doi: 10.1785/0220150001.
- Calderoni, G., R. Di Giovambattista, P. Burrato, G. Ventura 2009 A seismic sequence from Northern Apennines (Italy) provides new insight on the role of fluids in the active tectonics of accretionary wedges. Earth Planet. Sci. Lett., 10.1016/j.epsl.2009.02.015.
- Carminati E., Scrocca D., Doglioni C., 2010. Compaction-induced stress variations with depth in an active anticline: Northern Apennines, Italy. J. Geophys. Res., 115, B02401, doi:10.1029/2009JB006395.
- Cassano, E., Anelli L., Fichera R., Cappelli V., 1986. Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici. Proc. 73° Meeting Società Geologica Italiana, Roma, 29 settembre - 4 ottobre 1986, 27 pp.
- Castellarin, A., Eva C., Giglia G., Vai G.B., Rabbi E., Pini G.A., Crestana G., 1985. Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. Giorn. Geol., 3a, 47/1-2.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., 2006. CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma <http://csi.rm.ingv.it>.
- Cuffaro M., Riguzzi F., Scrocca D., Doglioni C., 2011. Coexisting tectonic settings: the example of the southern Tyrrhenian Sea. International Journal of Earth Sciences, 100, 1915-1924, doi: 10.1007/s00531-010-0625-z.

- Devoti, R., Riguzzi F., Cuffaro M., Doglioni C., 2008. New GPS constraints on the kinematics of the Apennines subduction, *Earth Planet Sci. Lett.*, 273, 163–174, doi:10.1016/j.epsl.2008.06.031.
- 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.
- Doglioni C., 1991. A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions – possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system. *Terra Nova*, 3, 423-434.
- ERS, 2009. Studio multidisciplinare del sottosuolo dell'area di Rivara, Studio di impatto ambientale-Progetto Rivara, ERG Rivara Storage, 193 pp.
- Fantoni R., Franciosi R., 2010. Tectono-sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 21(Suppl 1), S197–S209, doi 10.1007/s12210-010-0102-4.
- Ghielmi M., Minervini M., Nini C., Rogledi S., Rossi M., Vignolo A., 2010. Sedimentary and tectonic evolution in the eastern Po-Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy). *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 21 (Suppl 1), S131–S166, doi 10.1007/s12210-010-0101-5.
- ISIDE Working Group (2015), Italian seismological instrumental and parametric database, <http://iside.rm.ingv.it>.
- International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia-Romagna region (ICHESE), 2014. Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region, 213 pp., http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/45_175.pdf.
- ITHACA, 2015. Catalogo delle faglie capaci. <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (Eds), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>, doi: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.
- Massoli, D., Koyi H.A. Barchi M.R., 2006. Structural evolution of a fold and thrust belt generated by multiple décollements: analogue models and natural examples from the Northern Apennines (Italy). *J. Struct. Geol.*, 28, 185-199.
- Michetti, A.M., Serva, L. Vittori, E., 2000. ITHACA Italy Hazard from Capable Faults: a database of active faults of the Italian onshore territory. CD-Rom e note esplicative, ANPA, Roma.
- Montone, P., Mariucci M. T., Pondrelli S., Amato A., 2004. An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean). *J. Geophys. Res.*, 109, B10410, 10.1029/2003JB002703.
- Montone, P., Mariucci M. T., Pierdominici S., 2012. The Italian present-day stress map. *Geophys. J. Int.*, 189, 705–716 doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05391.x.
- Picotti V., Pazzaglia F.J., 2008. A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy). *J. Geophys. Res.*, 113, B08412, doi:10.1029/2007JB005307.

- Pieri M., Groppi G., 1981. Subsurface geological structure of the Po plain (Italy). CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubblicazione n. 414, 21 pp.
- Pieri M., 1983. Three seismic profiles through the Po Plain. In: A.W. Bally (Ed.), Seismic Expression of Structural Stiles. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology. 15 (3.4.1), 8-26.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekström G., Morelli A., Gasperini P., Vannucci G., 2006. The Italian CMT dataset from 1977 to the present. Phys. Earth Planet. Int., 159(3-4), 286-303, doi: 10.1016/j.pepi.2006.07.008.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (Eds.), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, doi:10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- Royden L., 1988. Flexural behaviour of the continental lithosphere in Italy: constraints imposed by gravity and deflection data. J. Geophys. Res., 93, 7747-7766.
- Scrocca D., Carminati E., Doglioni C., Marcantoni, D., 2007. Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines. In: Lacombe O., Lavé J., Roure, F., Verges, J. (Eds), Thrust belts and Foreland Basins: from fold kinematics to hydrocarbon systems, Frontiers in Earth Sciences, 471-487, Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-69425-0, doi 10.1007/978-3-540-69426-7_25.
- Scrocca D., 2014. Giacimenti di idrocarburi e sismicità stimolata in Appennino centro-settentrionale. Giornata di studio "Ricerca di idrocarburi e gestione del gas metano in pianura padana: aspetti di rischio sismico e criticità energetiche e amministrative", Brescia 7 maggio 2014, <http://www.associazionededonato.it/documenti/2014-05-07-rischio-sismico/2014-05-07-scrocca.pdf>
- Suckale J., 2009. Induced seismicity in hydrocarbon fields, in Advances in Geophysics, Dmowska R. (Ed.), 51, 55-106, ISBN: 978-0-12-374911-6.
- Toscani, G., Burrato P., Di Bucci D., S. Seno and G. Valensise, 2009. Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts along the Bologna-Ferrara section (Po Plain, Italy), based on geological observations and analogue modelling: seismotectonic implications. Boll. Soc. Geol. It., 128, 2, 605-613.
- Vannoli, P., Burrato P., Valensise G., 2015. The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain. Pure Appl. Geophys., 172, 1105-1142, 10.1007/s00024-014-0873-0.