



Aleanna Resources LLC

**Procedimento V.I.A. (ex D. Lgs. 152/06 e s.m.i.)
Progetto di Concessione di Coltivazione di idrocarburi
“Gradizza”**

INTEGRAZIONI AL S.I.A.

**Nota MATTM n° 1621 del 22/01/2016 e
Regione Emilia-Romagna n° PG.2015.860060 del 03/12/2015**

ALLEGATO 6

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI COPPARO E FORMIGNANA

Provincia di Ferrara (FE)

“CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE IDROCARBURI
GRADIZZA”

OPERE PER LA MESSA IN PRODUZIONE DEL GIACIMENTO
GRADIZZA

INTEGRAZIONI

allo STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ed ai DOCUMENTI PROGETTUALI

A seguito della richiesta del M.A.T.T.M. del 22.01.2016

21 – Relazione sulla Sismotettonica

MARZO 2016

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	SORGENTI SISMOGENETICHE DISS 3.2.0	15
3.4	FAGLIE ATTIVE DALLA CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI ITHACA	19
3.5	FAGLIE ATTIVE DALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ...	21
4	Analisi delle faglie attive in un intorno di 15 km dall'area dell'istanza	24
5	Relazioni tra attività minerarie e sismicità	30
6	Conclusioni.....	32
7	Bibliografia.....	36

1 Premessa

Questa relazione sismotettonica è stata elaborata per la redazione di integrazioni nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale relativo al progetto di "Concessione di coltivazione di Idrocarburi Gradizza – derivante dal Permesso di Ricerca La Prospera – realizzazione di opere per la messa in produzione del pozzo Gradizza 1".

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 nell'area del progetto e in un intorno di oltre 15 km dall'area stessa.

Infine, vengono anche discusse le possibili relazioni tra sismicità e attività di coltivazione mineraria 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 pedevalpina 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. L'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" ricade all'interno delle Pieghe Ferraresi (Fig. 1).

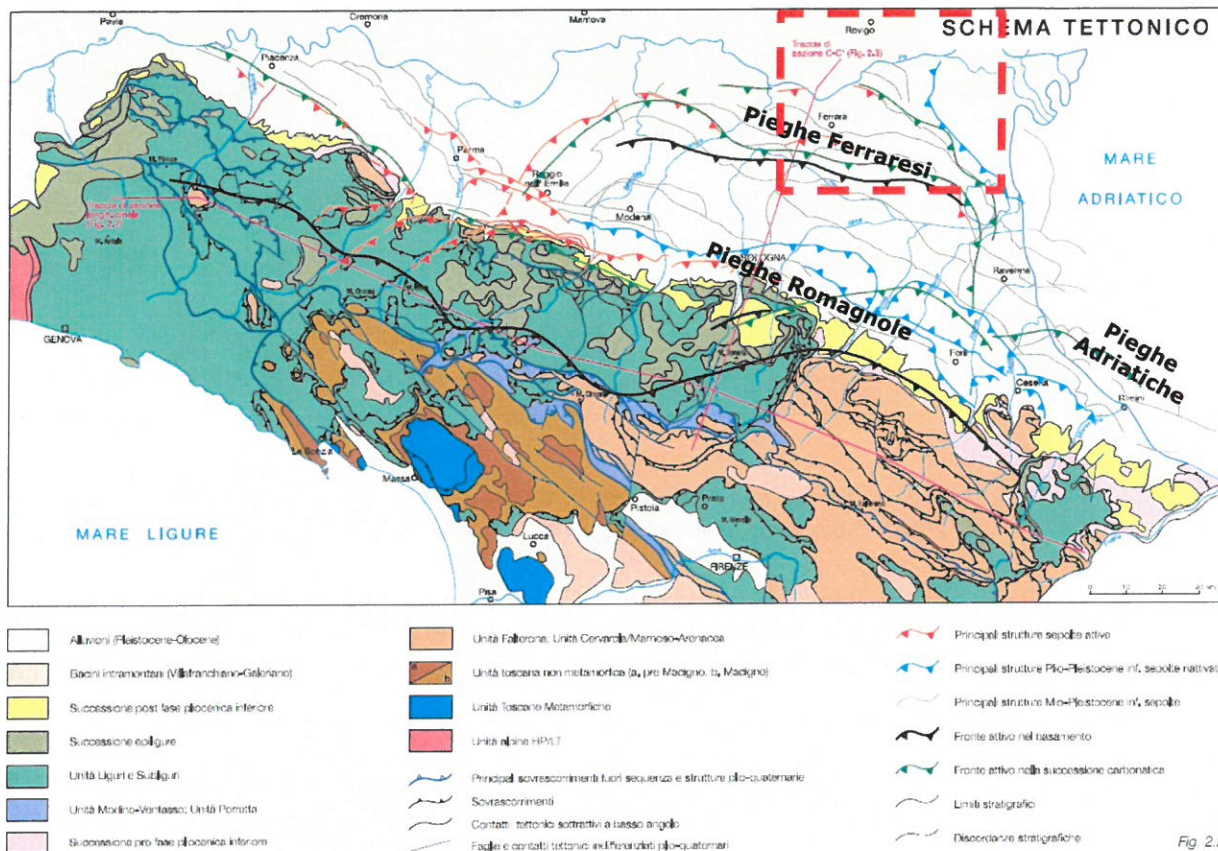


Fig. 1 – Schema tettonico della regione Emilia-Romagna (Boccaletti et al., 2004); la traccia C-C' individua la sezione geologica riportata in figura 2. Il riquadro rosso a tratteggio identifica l'area in studio in cui è collocata l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".

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.

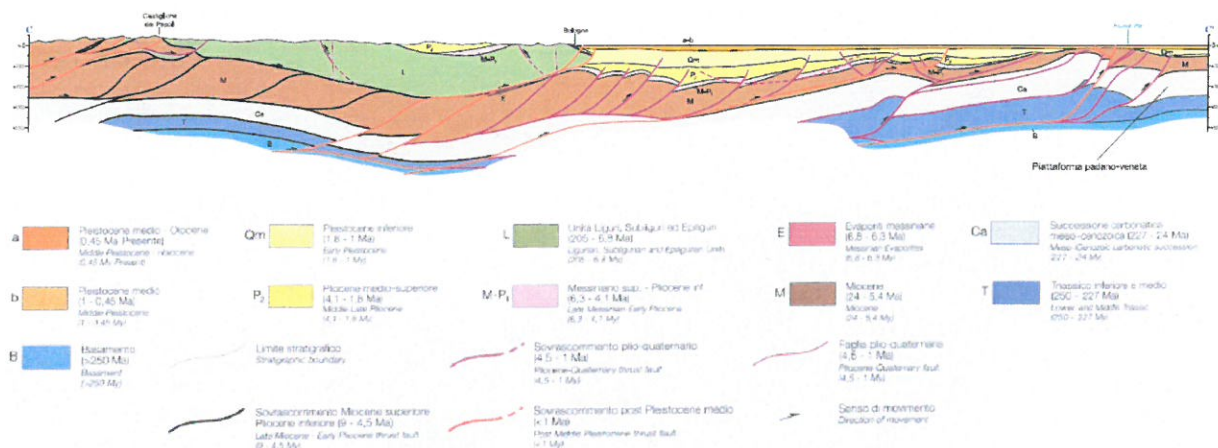


Fig. 2– Sezione geologica regionale attraverso l’arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (Boccaletti et al., 2004); l’ubicazione della sezione è indicata dalla traccia C-C’ nella figura 1.

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 del 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 Nord verso Sud. In prossimità del margine pede-appenninico 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 documenta in modo chiaro la perdurante

attività di diverse fasce di sovrascorrimenti. Tale attività recente risulta associata ad un regime tettonico compressivo con un sigma 1 orientato circa NNE-SSW, 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). 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.

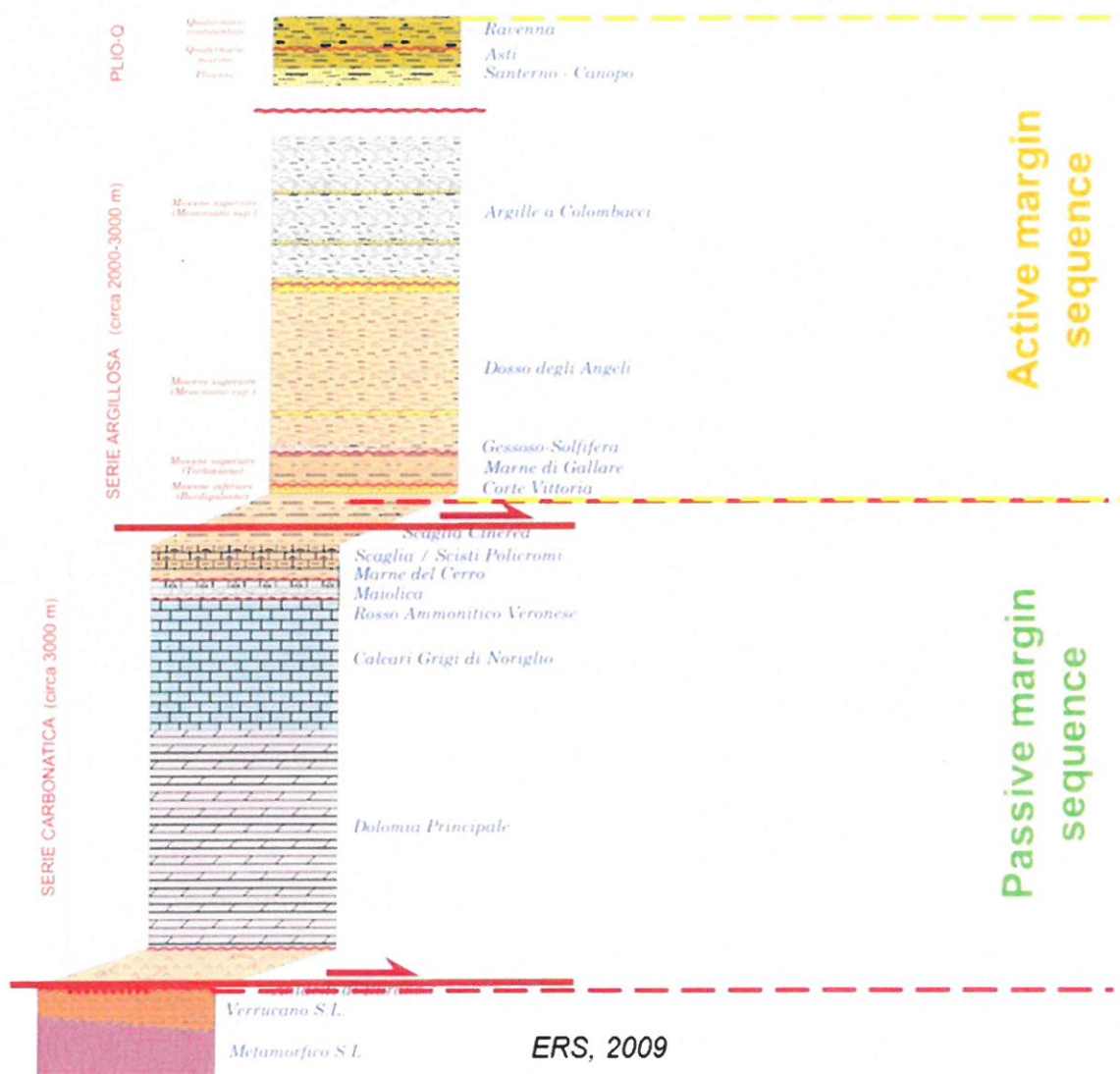


Fig. 3 - Stratigrafia schematica del settore delle Pieghie Ferraresi-Romagnole (modificato da ERS, 2009).

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 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- "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.
- 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- "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.

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; Toscani et al., 2009; Fantoni & Franciosi, 2009, 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) ed analisi sismotettoniche (Cuffaro et al., 2010; Boccaletti et al., 2011; Bonini et al., 2014; Vannoli et al., 2014). 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.

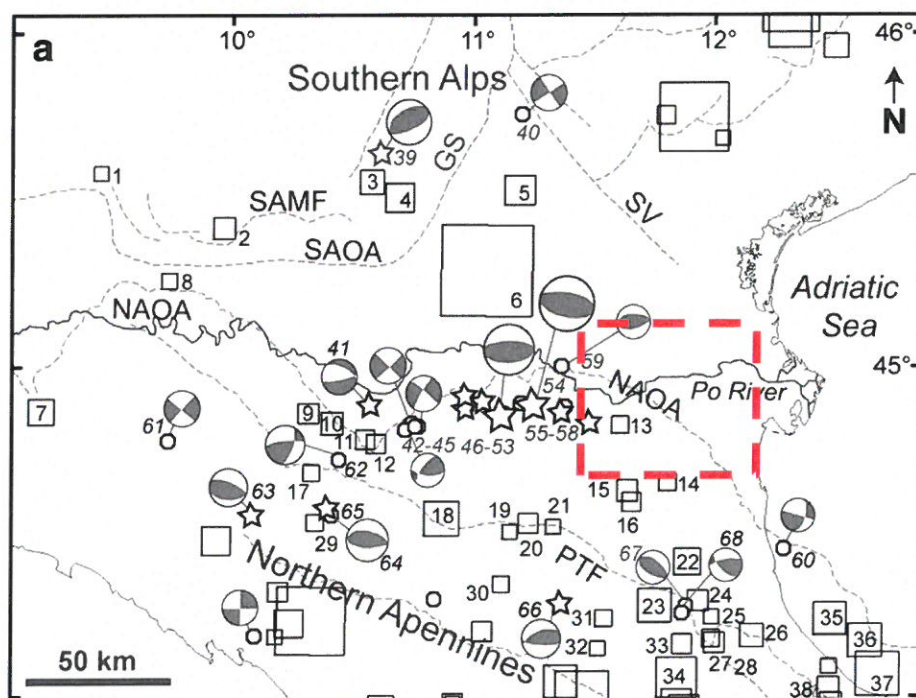


Fig. 4 – Mappa sinottica della sismicità storica e strumentale nel settore padano (Vannoli et al., 2014). I terremoti storici hanno $M \geq 5.3$ e sono identificati da quadrati, quelli strumentali hanno $M \geq 4.5$ e sono rappresentati da cerchi ($M 4.5-4.9$) o stelle ($M \geq 5.0$). Sono anche riportati 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 collocata l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".

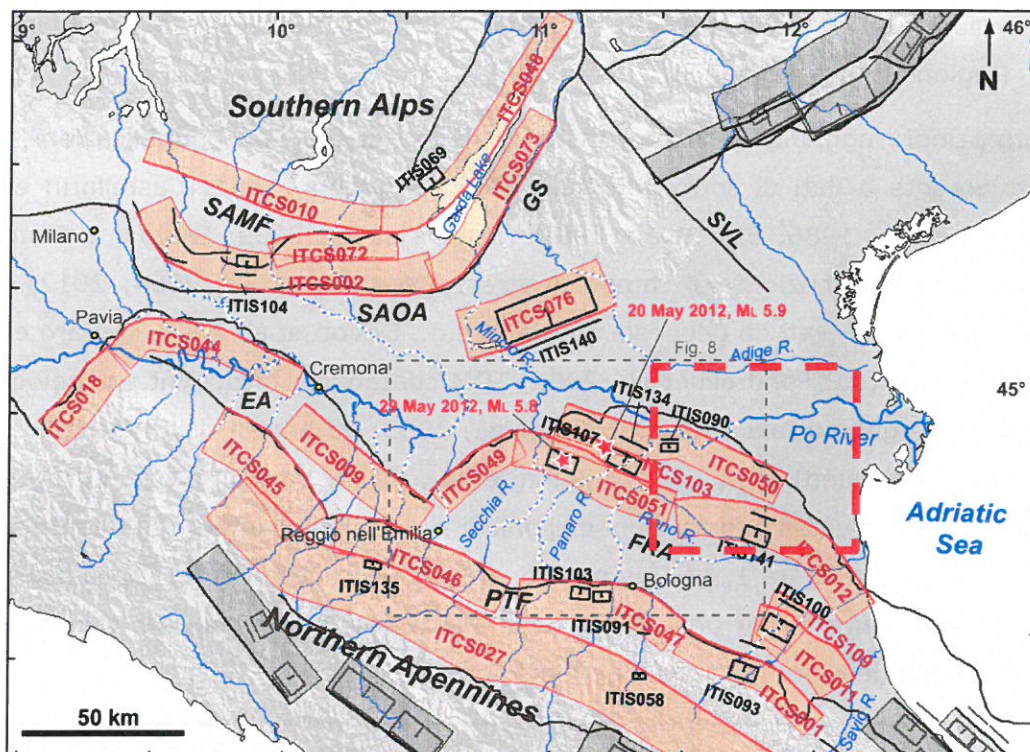


Fig. 5 – Sorgenti sismogenetiche composite (fasce rosse) ed individuali (riquadri neri) in pianura padana (Vannoli et al., 2014). Sono anche rappresentate in bianco le anomalie del reticolo idrografico (Burrato et al., 2003) e con delle stelle rosse gli epicentri dei due eventi principali del terremoto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

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 oltre 20 km dall'area dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza", si concentrano nella zona di Ferrara e nella fascia compresa tra Sant'Agostino e Argenta, in corrispondenza di sovrascorrimenti attivi di rilievo regionale. In particolare, nell'area in esame (Fig. 6), i due eventi maggiori nel catalogo CPTI11 sono rappresentati dai terremoti avvenuti rispettivamente presso Ferrara il 17 novembre 1570 (I_0 7-8; Mw 5,46) e presso Argenta il 19 marzo 1624 (I_0 7-8; Mw 5,47). La restante sismicità mostra invece magnitudo comprese nell'intervallo 3.8-5.1. Subito a sud di Argenta, al di fuori dell'area rappresentata in figura 6, si sono avuti invece diversi altri terremoti, noti anche come terremoti della "Bassa Padana" con Mw > 5 (22 ottobre 1796 con Mw 5.6, 13 gennaio 1909 con Mw 5.5 e 30 dicembre 1967 con Mw 5.4).

Relazione sulla Sismotettonica

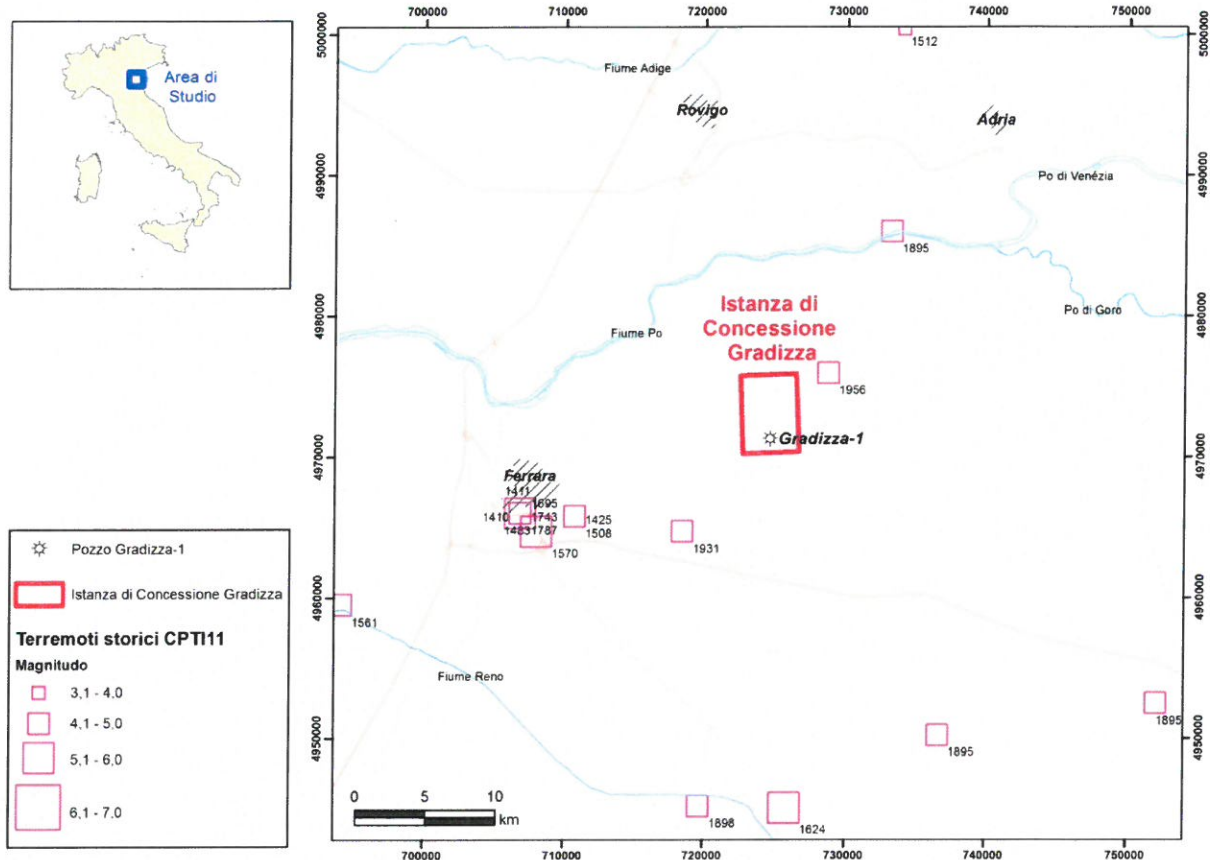


Fig. 6 - Mappa della sismicità storica nell'area dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" e nelle zone limitrofe, tratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI11 (Rovida et al., 2011). Gli eventi sismici sono rappresentati da quadrati viola di dimensione proporzionale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

Per quanto riguarda gli effetti in corrispondenza dell'area dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza", valutati in corrispondenza delle vicine località di Copparo e Formignana (Fig. 7 e 8) e ripresi dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI11, Locati et al., 2011), i maggiori risentimenti si ebbero in occasione del terremoto di Ferrara del 1570, di Argenta del 1624 e della Garfagnana del 1914 raggiungendo rispettivamente l'VI-VII della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) per il primo terremoto e il VI grado per i due più recenti.

Relazione sulla Sismotettonica

Numero di eventi: 22

Effetti		In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	I _o	M _w
6	1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8	5.47 ±0.49
4	1895 03 23	COMACCHIO	37	6	4.74 ±0.31
5	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
NF	1895 05 25 12:42	Villanova Marchesana	11	4-5	4.11 ±0.69
5	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79 ±0.33
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
NF	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
NF	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5	4.84 ±0.20
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
NF	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
5	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257	6	6.14 ±0.14
3	1917 12 02 17:39	GALEATA	32	6-7	5.09 ±0.20
3	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
4	1963 08 09 06:05	Faentino	16	4	4.99 ±0.18
4-5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
3-4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
3-4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7	4.88 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09
2-3	2004 11 24 22:59	Lago di Garda	176	7-8	5.06 ±0.09

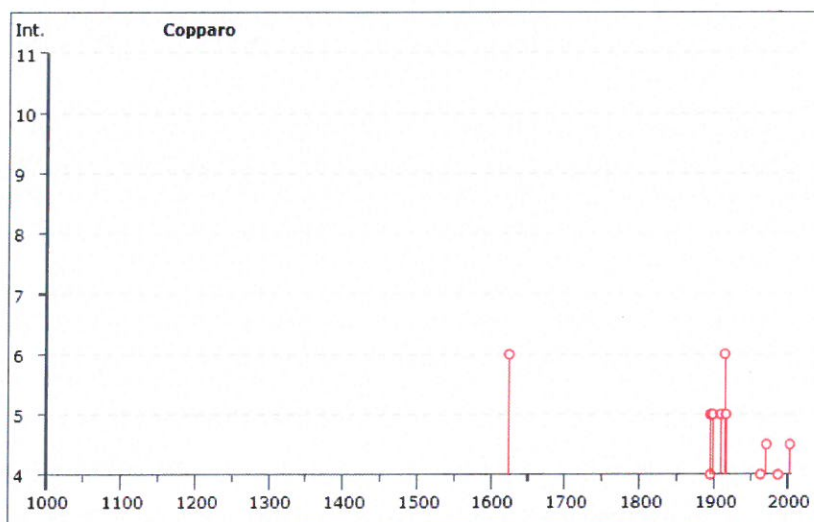


Fig. 7 - Storia sismica della località Copparo (tratta dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani, DBMI11, Locati et al., 2011): I, Intensità macrosismica a Copparo espressa in unità MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), A_x Area dei maggiori effetti, N_p Numero di osservazioni macrosismiche;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

Relazione sulla Sismotettonica

Numero di eventi: 5

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	A _x	N _p	I _o M _w
6-7	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09

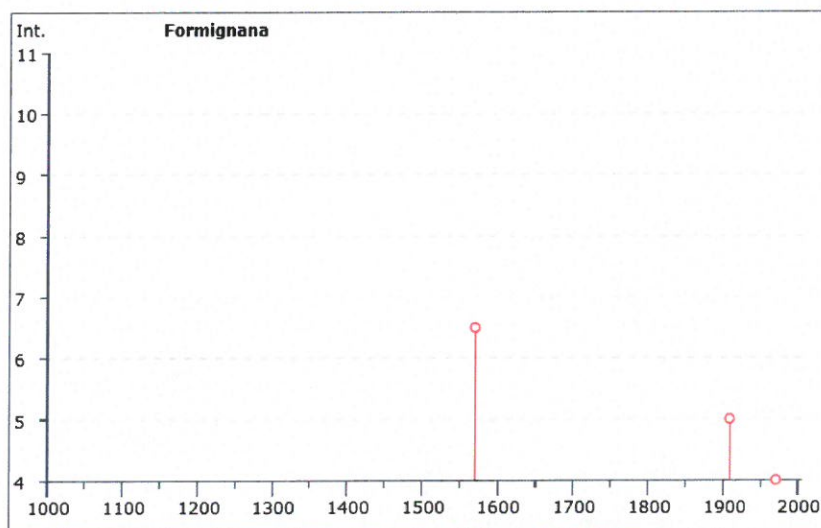


Fig. 8 - Storia sismica della località Formignana (tratta dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani, DBMI11, Locati et al., 2011): I, Intensità macrosismica a Formignana espressa in unità MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), A_x Area dei maggiori effetti, N_p Numero di osservazioni macrosismiche; I_o, Intensità macrosismica epicentrale; M_w, magnitudo momento.

3.2 SISMICITÀ STRUMENTALE

I terremoti registrati strumentalmente, in un intorno di oltre 20 km dall'area dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" (Fig. 9), sono localizzati prevalentemente nella zona ad ovest di Ferrara dove si è sviluppata la sequenza sismica dell'Emilia del maggio 2012 (Scognamiglio et al., 2012; Bonini et al., 2014; Govoni et al., 2014; ISIDE Working Group, 2015). Tale sequenza sismica (Fig. 4) ha avuto inizio il 20 maggio 2012 (02:03:53 UTC; M_w 6.1, M_L 5.9) ed è stata preceduta da alcuni *foreshocks* tra cui un evento con M_L 4.1 poche ore prima dell'evento principale. L'evento principale del 20 maggio è stato quindi seguito da tre *aftershocks* maggiori (con M_L 4.8, 5.1 e 4.9) nelle

ore successive e quindi da migliaia di repliche minori distribuite su una zona orientata circa E-W, lunga circa 30 km e larga circa 15 km. Il 29 maggio un secondo evento maggiore (07:00:03 UTC; M_w 6.0, M_L 5.8) ha interessato un settore posta ad ovest dell'area colpita dal primo *mainshock* ed è stato seguito a sua volta da due *aftershocks* con $M_L > 5$.

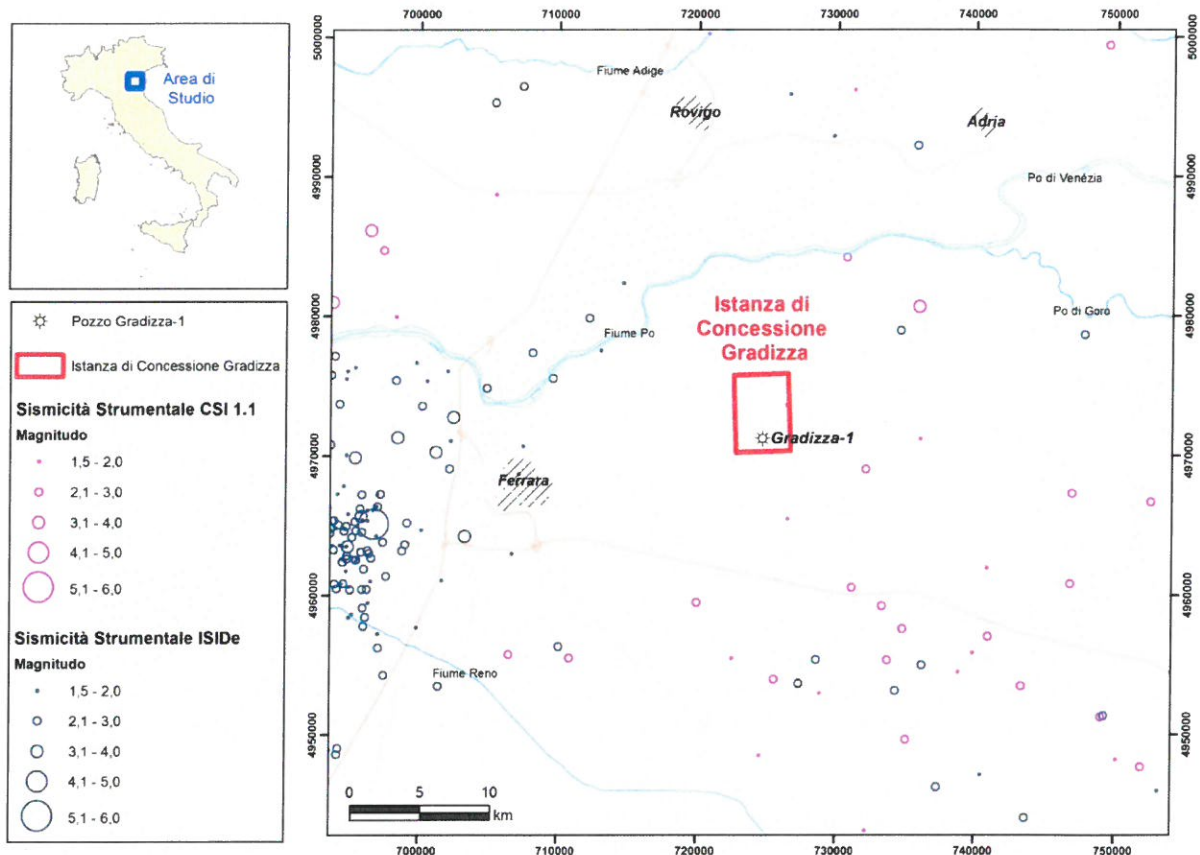


Fig. 9 - Mappa della sismicità strumentale nell'area dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" e nelle zone limitrofe tratta dal Catalogo della Sismicità Italiana CSI 1.1 (Castello et al., 2006) e dal Database Sismico Strumentale e Parametrico Italiano ISIDE (ISIDE Working Group, 2015.) Gli eventi sismici sono rappresentati da cerchi viola (CSI 1.1) e blu (ISIDE) di dimensione proporzionale alla magnitudo.

I meccanismi focali dei due eventi principali del 20 e del 29 maggio, così come quelli degli *aftershocks* maggiori, mostrano cinematiche di faglia inversa su piani nodali orientati circa E-W (Fig. 4; Pondrelli et al., 2012; Scognamiglio et al., 2012). La profondità ipocentrale dei due eventi è stata stimata a 6.3 km per l'evento del 20 maggio e a circa 8 km per

l'evento del 29 maggio (Govoni et al., 2014). L'analisi della distribuzione degli *aftershocks* evidenzia l'attivazione di piani sovrascorrimento posti nella porzione più interna (i.e., sud-occidentale) della fascia delle Pieghe Ferraresi (Bonini et al., 2014; Govoni et al., 2014).

Nelle aree adiacenti poste ad est di Ferrara (Fig. 9) sono stati invece registrati esclusivamente terremoti sparsi e generalmente di bassa magnitudo ($M < 3.5$).

3.3 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. 10). Si tratta di due sorgenti individuali (ITIS090 Ferrara e ITIS141 Argenta) e di due sorgenti composite (ITCS012 Malalbergo-Ravenna e ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino).

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; Toscani et al., 2009; Fantoni & Franciosi, 2010). Le loro caratteristiche sono state analizzate in dettaglio in diversi lavori scientifici (e.g., Toscani et al., 2009; Boccaletti et al., 2011; Vannoli et al., 2014).

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 5.5-6.0. I parametri caratteristici di queste sorgenti sono riportati in dettaglio nelle figure 11 e 12.

In particolare, l'estremità meridionale dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" è interessata dalla presenza della sorgente composta ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino, che corrisponde al fronte esterno del sistema di sovrascorrimenti sepolto appenninico. Le valutazioni effettuate nell'ambito dei lavori che hanno portato alla compilazione del DISS 3.2.0 descrivono tale sorgente come una superficie immergente verso SW con angolo variabile di 25°-55° che si estende in profondità da circa 1 km sino a circa 8 km.

È opportuno notare che la geometria delle sorgenti contenuta nel Database delle sorgenti sismogenetiche Italiane DISS 3.2.0 è comunque una rappresentazione semplificata che

non può tenere conto della configurazione strutturale di dettaglio dei sovrascorrimenti presenti nel sottosuolo. Tale configurazione sarà invece discussa in dettaglio nel successivo capitolo 4.

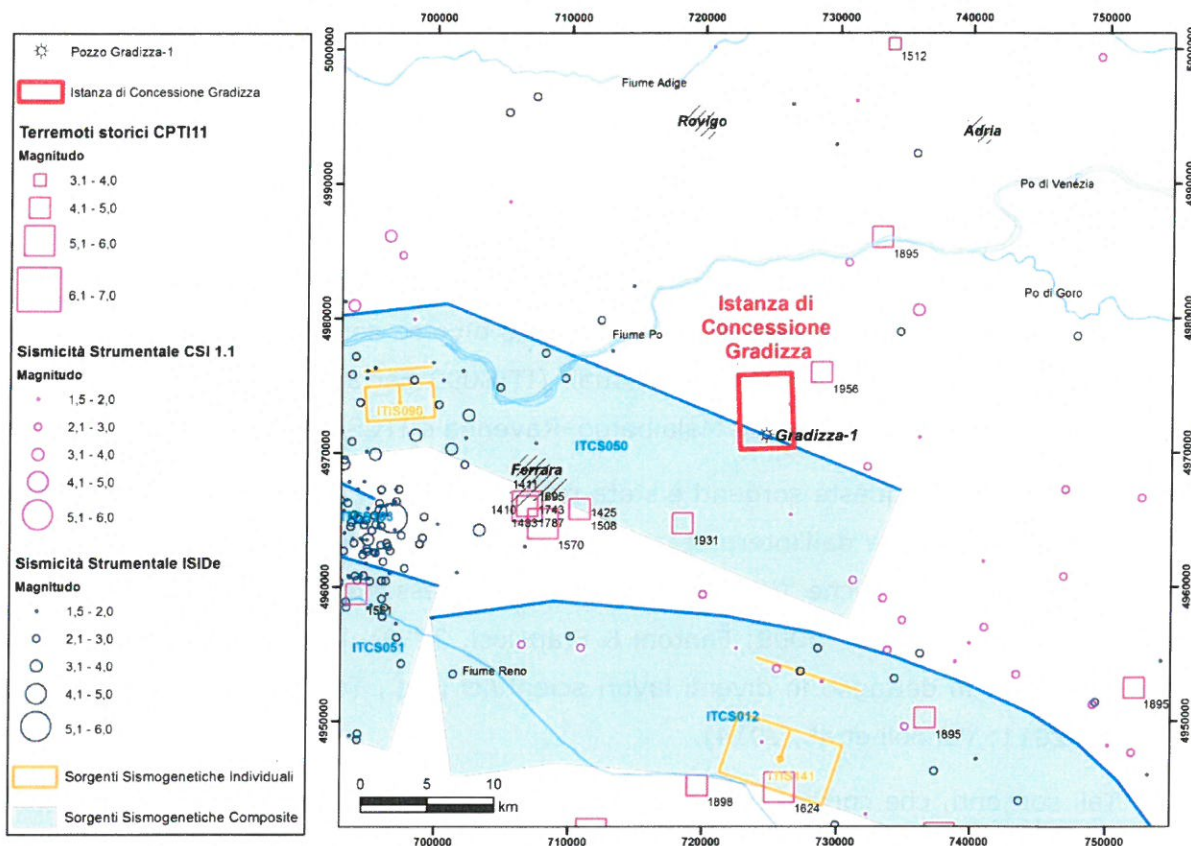


Fig. 10 – Sorgenti sismogenetiche composite (fasce azzurre) ed individuali (riquadri arancioni) nell'intorno dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" (DISS Working Group, 2015). Nella mappa è rappresentata anche la sismicità storica tratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI11 (Rovida et al., 2011) e la sismicità strumentale 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).

Relazione sulla Sismotettonica

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS090
Name	Ferrara
Compiler(s)	Rovida A.(1), Burrato P.(2)
Contributor(s)	Burrato P.(2), Rovida A.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Milano - Pavia, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy 2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 805, 00143 Roma, Italy
Created	31-May-2005
Updated	31-May-2005
Display map ...	
Related sources	ITCS050

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.89 / 11.50	OD
Length [km]	5.1	ER
Width [km]	4.0	ER
Min depth [km]	1.4	OD
Max depth [km]	4.5	OD
Strike [deg]	88	OD
Dip [deg]	50	OD
Rake [deg]	90	EJ
Slip Per Event [m]	0.35	ER
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...0.5	EJ
Recurrence [y] min... max	700...3500	EJ
Magnitude [Mw]	5.5	LD

LD=LITERATURE DATA, OD=ORIGINAL DATA, ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP, AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP, EJ=EXPERT JUDGEMENT.

INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake	17 Nov 1570	CPT04
Penultimate Earthquake	Unknown	See "Commentary" for information.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS141
Name	Argenta
Compiler(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1), Vannoli P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1), Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 805, 00143 Roma, Italy
Created	10-Feb-2014
Updated	10-Feb-2014
Display map ...	
Related sources	ITCS012

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.84 / 11.85	LD
Length [km]	8.0	ER
Width [km]	5.7	ER
Min depth [km]	3.0	OD
Max depth [km]	6.3	OD
Strike [deg]	110	OD
Dip [deg]	35	OD
Rake [deg]	90	OD
Slip Per Event [m]	0.4	ER
Slip rate [mm/y] min...max	0.49...0.55	OD
Recurrence [y] min... max	727...816	EJ
Magnitude [Mw]	5.8	EJ

LD=LITERATURE DATA, OD=ORIGINAL DATA, ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP, AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP, EJ=EXPERT JUDGEMENT.


INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake	19 Mar 1824	CPT11
Penultimate Earthquake	Unknown	See "Commentary" for information.

Fig. 11 – Parametri caratteristici delle sorgenti sismogenetiche individuali ITIS090 Ferrara e ITIS141 Argenta presenti nel Database of individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015) nell'intorno dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".

Relazione sulla Sismotettonica

GENERAL INFORMATION


DISS-ID ITCS012
 Name Malalbergo-Ravenna
 Compiler(s) Burrato P.(1)
 Contributor(s) Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3), Vannoli P.(1), Valensise G.(1), Basili R.(1)
 Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Servizio Geologico d'Italia, Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
 3) Universit  di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
 Created 16-Oct-2013
 Updated 25-Jun-2015
 Display map ... 
 Related sources [ITIS141](#)

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD Based on data of instrumental seismicity
Max depth [km]	8.0	LD Based on data of instrumental seismicity
Strike [deg] min... max	85...150	OD Based on consideration on regional geological data
Dip [deg] min... max	20...40	OD Based on consideration on regional geological data
Rake [deg] min... max	80...120	OD Based on geological data constrained by orientation of T axes
Slip Rate [mm/y] min... max	0.49...0.55	LD Based on geological data from Maesano et al. (2015)
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ Based on geological data and analysis of regional seismicity

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITCS050
 Name Poggio Rusco-Migliarino
 Compiler(s) Burrato P.(1)
 Contributor(s) Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3)
 Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Servizio Geologico d'Italia, Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
 3) Universit  di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
 Created 08-Jan-2005
 Updated 16-Oct-2013
 Display map ... 
 Related sources [ITIS090](#)

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	OD Based on geological data from various authors
Max depth [km]	8.0	OD Based on geological data from various authors
Strike [deg] min... max	85...115	OD Based on geological data from various authors
Dip [deg] min... max	25...55	OD Based on geological data from various authors
Rake [deg] min... max	80...100	OD Based on geological data from various authors
Slip Rate [mm/y] min... max	0.39...0.45	OD Calculated using geologic subsurface data
Max Magnitude [Mw]	5.5	OD Based on the strongest earthquake occurred in the region

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT

Fig. 12 – Parametri caratteristici delle sorgenti sismogenetiche composite ITCS012 Malalbergo-Ravenna e ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino presenti nel Database of individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015) nell'intorno dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".

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 l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" (Fig. 13) corrispondono sostanzialmente ai principali sovrascorrimenti che deformano la base dei depositi plio-pleistocenici (e.g., Pieri & Groppi, 1981) riportati anche nello "*Structural Model of Italy. Scale 1:500,000*" (Fig. 14; Bigi et al., 1992).

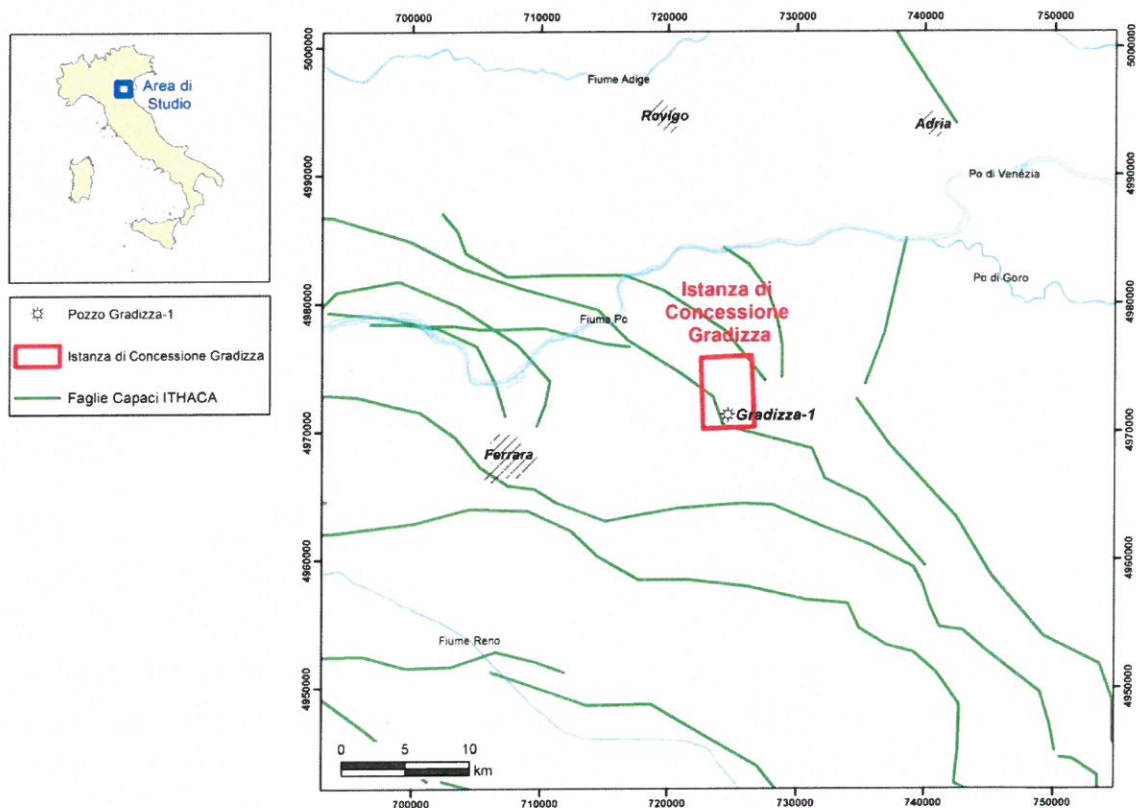


Fig. 13 – Faglie capaci (in verde) riprese dal catalogo ITHACA (ITHACA, 2015) nell'intorno dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza". Tali strutture corrispondono essenzialmente ai principali sovrascorrimenti che deformano la base dei depositi plio-pleistocenici.

Relazione sulla Sismotettonica

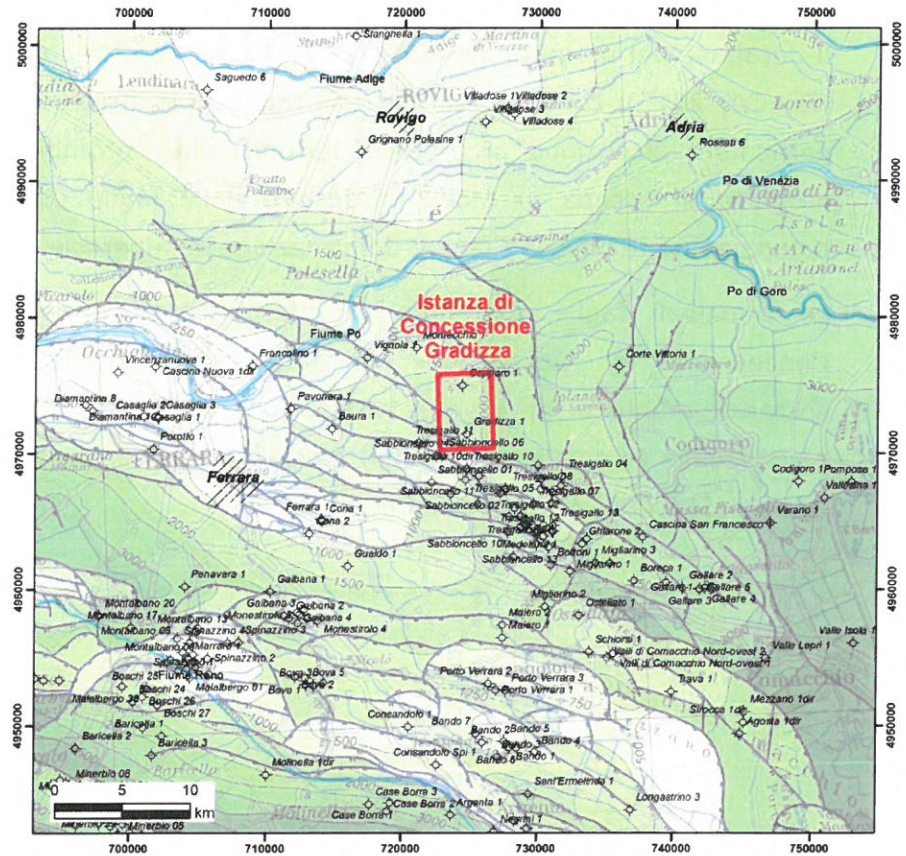


Fig. 14 – Nella mappa sono rappresentate in nero i principali sovrascorrimenti che interessano la superficie che corrisponde alla base dei depositi Plio-Pleistocenici (Bigi et al., 1992), rappresentata da isobate (in metri) con campiture di colore verde con tonalità progressivamente più scure per profondità crescenti.

In particolare, nel catalogo ITHACA gli angoli nord-orientale e sud-occidentale dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" (Fig. 13 e 14) sono attraversati da due sovrascorrimenti, orientati NNW-SSE, che producono evidenti deformazioni della base dei depositi Plio-Pleistocenici. Altre strutture simili sono presenti anche a NE e lungo una fascia posta a SW del perimetro dell'istanza di concessione Gradizza. Le caratteristiche sismotettoniche di tali sovrascorrimenti saranno analizzati e discussi nel capitolo 4.

3.5 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 alcuni dei quali ritenuti attivi (Fig. 15).

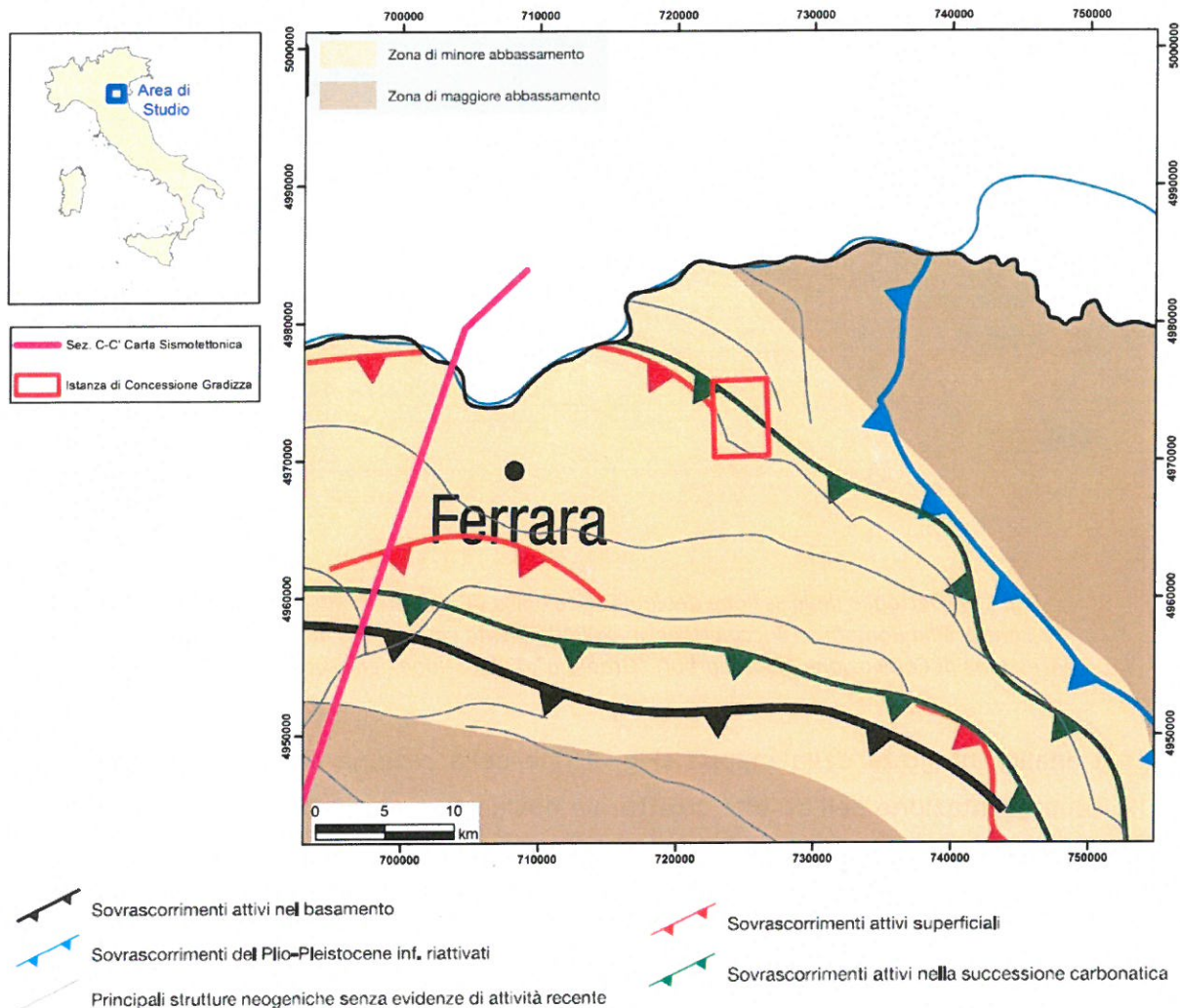


Fig. 15 – Dettaglio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, (Boccaletti et al., 2004). Sono rappresentati i principali sovrascorrimenti con o senza evidenze di attività recente nell'intorno dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".

In figura 16, è riportata la porzione settentrionale della sezione geologica CC' tratta dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al, 2004), basata sull'interpretazione di dati di sottosuolo e ubicata circa 20 km a NW rispetto all'istanza di

Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" in cui è rappresentata la prosecuzione verso ovest delle strutture presenti nell'area di interesse.

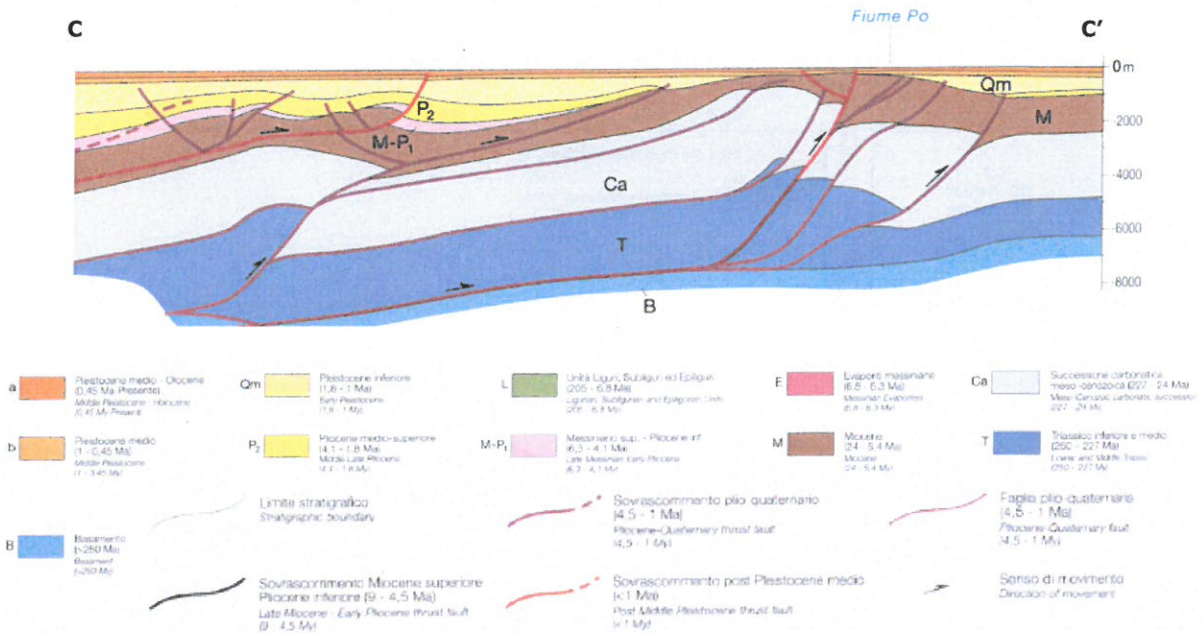


Fig. 16 – Dettaglio della sezione geologica geologica CC', tratta dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Boccaletti et al., 2004,) ubicata circa 20 km a NW rispetto all'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza"; l'ubicazione della sezione è indicata in figura 15.

L'analisi integrata della mappa (Fig. 15) e della sezione (Fig. 16) fornisce una efficace rappresentazione dell'assetto strutturale dell'area in esame e permette di comprendere le geometrie e le caratteristiche sismotettoniche dei sovrascorrimenti presenti.

Il campo a gas oggetto dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza", posto a una profondità di circa 850 m in terreni sabbioso-limosi del Pleistocene al top della formazione torbiditica di Carola, si trova localizzato sul fianco esterno della fascia di pieghe e sovrascorrimenti responsabile della genesi dell'altro strutturale di Ferrara. 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.

La fase di attività della maggior parte di tali sovrascorrimenti è attribuita all'intervallo Pliocene-Quaternario (4.5-1.0 Ma, indicati in viola nella sezione di figura 16 e riportati con

sottili linee viola nella mappa di figura 15 con la definizione di strutture neogeniche senza evidenze di attività recente).

Solo alcuni sovrascorrimenti sono considerati attivi nel post-Pleistocene medio (<1 Ma). Tali sovrascorrimenti sono indicati in rosso nella sezione di figura 16, mentre sono indicati in colori variabili in funzione del livello strutturale interessato nella mappa di figura 15 (in verde i sovrascorrimenti attivi nella successione carbonatica, in azzurro i sovrascorrimenti del Pliocene-Pleistocene inf. riattivati e in rosso i sovrascorrimenti attivi superficiali).

4 Analisi delle faglie attive in un intorno di 15 km dall'area dell'istanza

Per approfondire l'analisi delle faglie attive presenti in un intorno di oltre 15 km dall'area dell'istanza risulta utile sovrapporre in trasparenza (Fig. 17) la mappa sismotettonica della regione Emilia-Romagna (Boccaletti et al., 2004) sulle isobate del Plio-Pleistocene (Bigi et al., 1992). I principali sovrascorrimenti sono identificati con sigle (da S1 a S10).

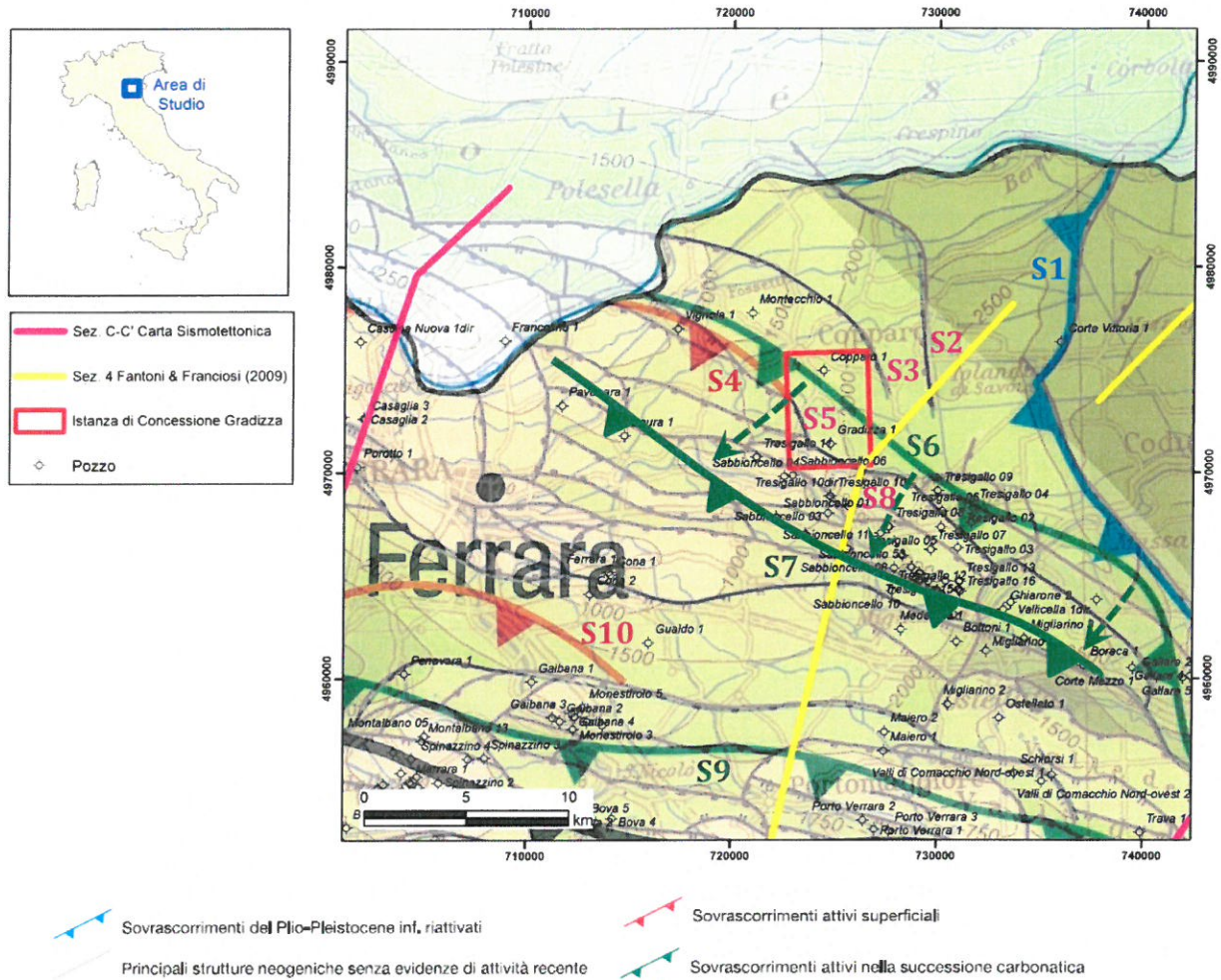


Fig. 17 – Dettaglio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, (Boccaletti et al., 2004), sovrapposta in trasparenza sulle isobate del Plio-Pleistocene (Bigi et al., 1992), in cui i sovrascorrimenti sono indicati da linee nere con piccoli rettangoli. Le tracce viola e gialla corrispondono rispettivamente al profilo in figura 16 e a quello in figura 18. Le sigle in colore da S1 a S10 identificano i principali sovrascorrimenti discussi nel testo. Le frecce a tratteggio verde evidenziano l'entità dell'arretramento della posizione della rampa attiva nei carbonati meso-cenozoici indicato dai profili di Fantoni & Franciosi (2009) e Toscani et al. (2009) rispetto a quanto ipotizzato da Boccaletti et al. (2004).

Relazione sulla Sismotettonica

Nella figura 17 sono inoltre riportati i pozzi perforati nel corso dell'esplorazione petrolifera dell'area, la traccia della sezione C-C' riportata in figura 16 (Boccaletti et al., 2004) e il fondamentale profilo geologico prodotto da Fantoni & Franciosi (2009, 2010), che attraversa l'area in esame passando vicino all'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" (Fig. 18). Tale profilo, elaborato dai tecnici dell'ENI utilizzando il completo database di pozzi e profili sismici a loro disposizione, rappresenta la ricostruzione più dettagliata e più affidabile ad oggi disponibile dell'assetto geologico-strutturale dell'area. In dettaglio, l'assetto del trend di Ferrara risulta generato dalla sovrapposizione nello spazio di strutture causate dalla propagazione di sovrascorrimenti dai due diversi livelli di scollamento descritti in dettaglio nel capitolo 2 e nella figura 3.

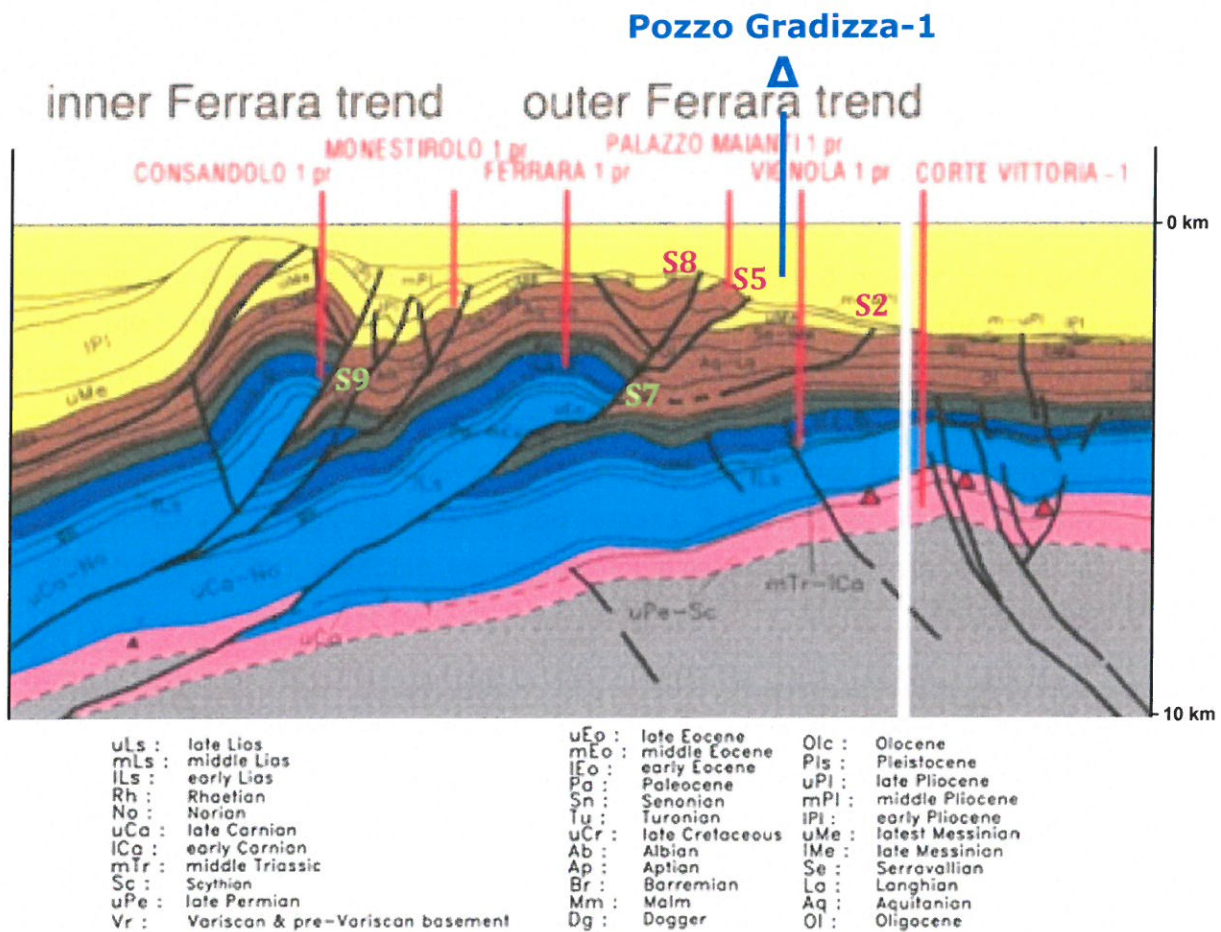


Fig. 18 – Dettaglio del profilo geologico di Fantoni e Franciosi (2009) che attraversa l'area in esame passando vicino all'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza". I livelli carbonatici Meso-Cenozoici sono rappresentati in azzurro-blu, i termini prevalentemente silicoclastici e terrigeni Oligo-Miocenici sono in marrone e quelli Plio-Pleistocenici in giallo (ubicazione in figura 17, esagerazione verticale 2X).

L'insieme delle informazioni precedentemente descritte nel capitolo 3 e l'analisi congiunta delle figure 17 e 18 permette di descrivere le caratteristiche delle principali faglie, rappresentate da sovrascorrimenti, presenti in un intorno di 15 km dal poligono dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" e discriminare quelle con evidenze di attività recente mettendo in evidenza le loro caratteristiche sismotettoniche. Inoltre, l'analisi descritta di seguito consente di rilevare alcune incongruenze nella posizione proposta per il sovrascorrimento attivo nella successione carbonatica (in verde in figura 17, identificato dalla sigla S6). Le caratteristiche dei sovrascorrimenti individuati sono le seguenti.

- Il sovrascorrimento S1 (in azzurro nella mappa di figura 17 e non intercettato nel profilo di figura 18) corrisponde al fronte più esterno del sistema di sovrascorrimenti. Tale sovrascorrimento rappresenta una rampa che si enuclea molto probabilmente dal livello di scollamento superiore posto alla base del Miocene nel corso del Pliocene-Pleistocene inferiore e a cui sono attribuite da Boccaletti et al. (2004) evidenze di riattivazione recente.
- I sovrascorrimenti S2 e S3 (in viola nella mappa di figura 15 e 17, di cui solo l'S2 intercettato dal profilo di figura 18), presenti anche nel catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITHACA, 2015), rappresentano rampe secondarie che si propagano dallo stesso livello di scollamento superiore descritto al punto precedente. Tali sovrascorrimenti sono ritenuti attivi nell'intervallo Pliocene-Quaternario (4.5-1.0 Ma) ma senza evidenze di attività recente (Boccaletti et al., 2004), in accordo con l'assenza in tale settore di sorgenti sismogenetiche nel database DISS 3.2.0 (DISS Working Group, 2015).
- I sovrascorrimenti S4 e S5 corrispondono alla stessa struttura rappresentata da una *fault-related fold* associata ad una rampa che interessa depositi Oligo-Miocenici (Fig. 18). Il segmento di tale struttura denominato S4 (in rosso nella mappa di figura 17) rappresenta una porzione di sovrascorrimento, presente al di fuori e a NW del poligono che definisce l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza", ritenuta attiva da Boccaletti et al. (2004). Il segmento S5 della stesso sovrascorrimento presente anche dentro l'istanza è invece ritenuto una struttura neogenica senza evidenze di attività recente (Fig. 15 e 17).

- Il sovrascorrimento S6 viene identificato nella mappa sismotettonica della regione Emilia-Romagna (Boccaletti et al., 2004) come un sovrascorrimento attivo nella successione carbonatica (in verde in figura 17). Il profilo pubblicato da Fantoni & Franciosi (2009), riportato in figura 18, non mostra però alcuna rampa nei termini carbonatici meso-cenozoici in corrispondenza della posizione ipotizzata da Boccaletti et al. (2004). Tale rampa si trova infatti in una posizione più arretrata di circa 5 km verso SW, corrispondente al sovrascorrimento S7 indicato in figura 17 e 18, venendosi a trovare al di fuori del perimetro dell'istanza.
- Come proposto anche da Toscani et al. (2009) in un profilo (Fig. 19) costruito sostanzialmente lungo la stessa traccia di Fantoni & Franciosi (2009), la rampa nei carbonati mesozoici associata al sovrascorrimento S7, e la sua prosecuzione nei termini silicoclastici e terrigeni neogenici S8, corrispondono alla sorgente sismogenetica composta ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino identificata nel DISS 3.2.0 (DISS Working Group, 2015) a cui è associato il terremoto di Ferrara del 1570.

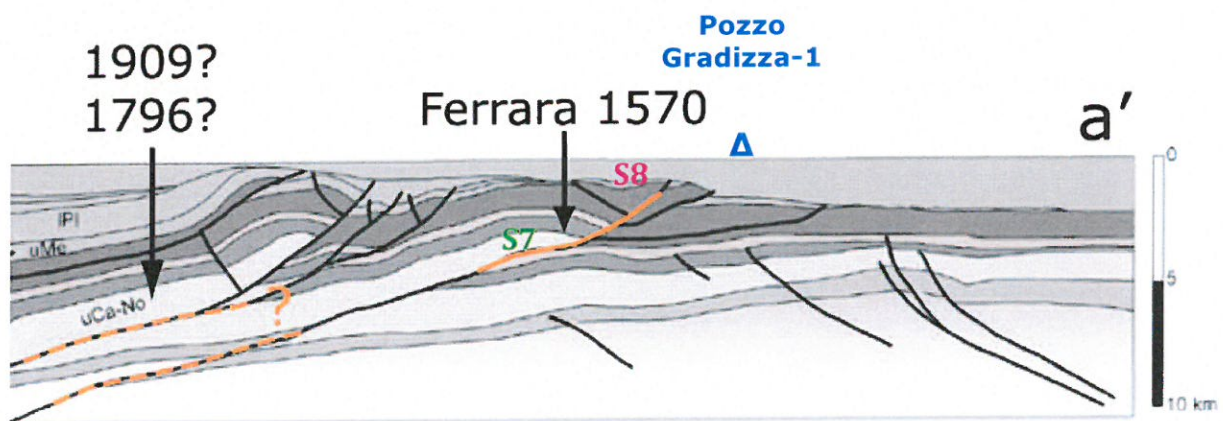


Fig. 19 – Profilo geologico ripreso da Toscani et al. (2009) costruito sostanzialmente lungo costruito sostanzialmente lungo la stessa traccia del profilo di Fantoni & Franciosi (2009) (senza esagerazione verticale, per la legenda si veda la figura 18). La rampa nei carbonati associata al sovrascorrimento S7 e la sua prosecuzione nei termini silicoclastici e terrigeni neogenici S8 corrispondono alla sorgente sismogenetica composta ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino identificata nel DISS 3.2.0 (DISS Working Group, 2015), a cui è associato il terremoto di Ferrara del 1570.

- Ai limiti dell'intorno di 15 km dal perimetro dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza", si segnala anche la presenza dei sovrascorrimenti S9 e S10. Il primo (S9) rappresenta un seconda rampa presente in profondità nei carbonati (Fig.

18) associabile alla sorgente sismogenetica ITCS012 Malalbergo–Ravenna (DISS Working Group, 2015). Tale sorgente rappresenta la prosecuzione verso SE delle strutture responsabili della genesi della sequenza sismica dell'Emilia 2012. Il secondo (S10) rappresenta invece una rampa superficiale, ritenuta attiva, che si propaga dal livello di scollamento superiore alla base del Miocene (Fig. 16, Boccaletti et al., 2004).

La revisione dei dati di letteratura, volta ad identificare e a descrivere la geometria dei principali sovrascorrimenti e a discriminare quelli a cui sono associate evidenze di attività recente, necessità comunque di un ulteriore approfondimento in relazione alla definizione del loro comportamento sismotettonico. Un sovrascorrimento attivo può infatti essere associato sia ad un comportamento sismogenetico che ad un scorrimento asismico

In questo senso risulta fondamentale l'approfondita analisi della distribuzione degli *aftershocks* della sequenza sismica dell'Emilia avvenuta nel 2012 effettuata da Bonini et al (2014). Tale analisi mette chiaramente in luce che i processi sismogenetici nel settore in esame sono confinati nelle rampe che attraversano le unità carbonatiche meso-cenozoici (in rosso nella sezione in basso della figura 20) mentre i sovrastanti livelli clastici e terrigeni neogenici mostrano sostanzialmente un lento scorrimento asismico (in azzurro nella sezione in basso della figura 20).

Relazione sulla Sismotettonica

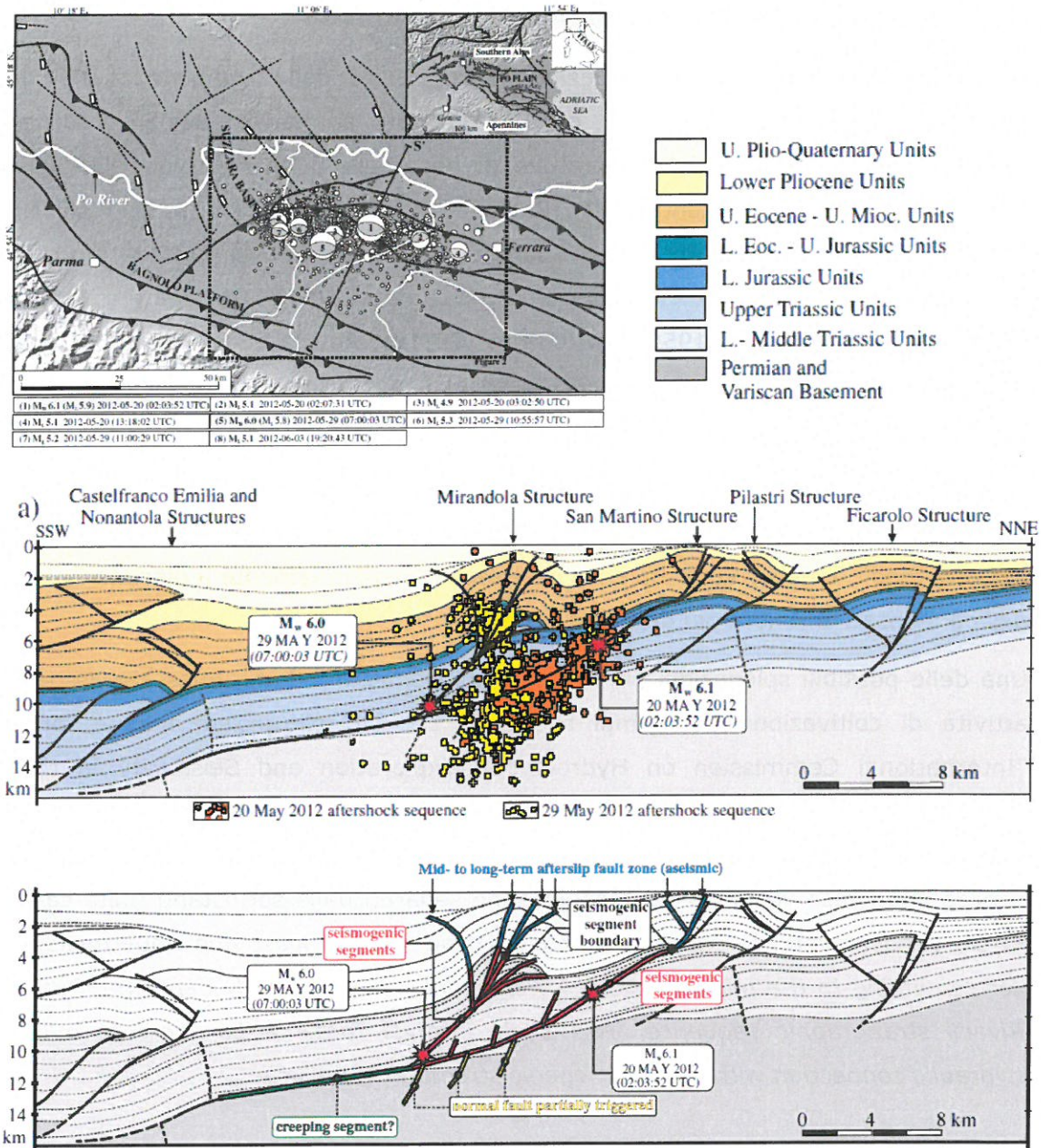


Fig. 20 – Interpretazione sismotettonica della sequenza sismica dell’Emilia avvenuta nel 2012 (Bonini et al., 2014). In alto, mappa strutturale con epicentri della sequenza e meccanismi focali degli eventi maggiori. Al centro, profilo geologico attraverso l’area epicentrale (ubicazione nella mappa e legenda in alto a destra) con sovrapposti gli aftershocks degli eventi maggiori del 20 e 29 maggio 2012. In basso, caratterizzazione del comportamento sismotettonico dei segmenti dei sovrascorrimenti basata sull’analisi della distribuzione degli aftershocks. Tale analisi mette in evidenza che i segmenti sismogenetici dei sovrascorrimenti sono confinati nelle rampe che attraversano i livelli carbonatici mesozoici mentre i segmenti dei sovrascorrimenti localizzati nei sovrastanti livelli clastici e terrigeni neogenici mostrano sostanzialmente un comportamento asismico.

5 Relazioni tra attività minerarie e sismicità

Nei limiti dell'errore nelle localizzazioni epicentrali e della completezza dei database sismologici disponibili (CSI 1.1 e ISIDe), non si hanno evidenze di sismicità indotta/innescata dalle attività estrattive di gas metano da reservoir plio-pleistocenici dell'Appennino centro-settentrionale (Regione Emilia Romagna, 2013; ICHESE, 2014; Scrocca, 2014). In passato (e.g., Suckale, 2009), era stata ipotizzato un possibile collegamento tra le attività estrattive 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).

Tale assenza di eventi nei cataloghi sismologici strumentali in corrispondenza dei principali giacimenti è particolarmente evidente in figura 21, 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.

Una delle possibili spiegazioni per l'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" Nel rapporto che contiene i risultati del lavoro svolto (ICHESE, 2014) tale commissione, analizzando le possibili 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."*

Relazione sulla Sismotettonica

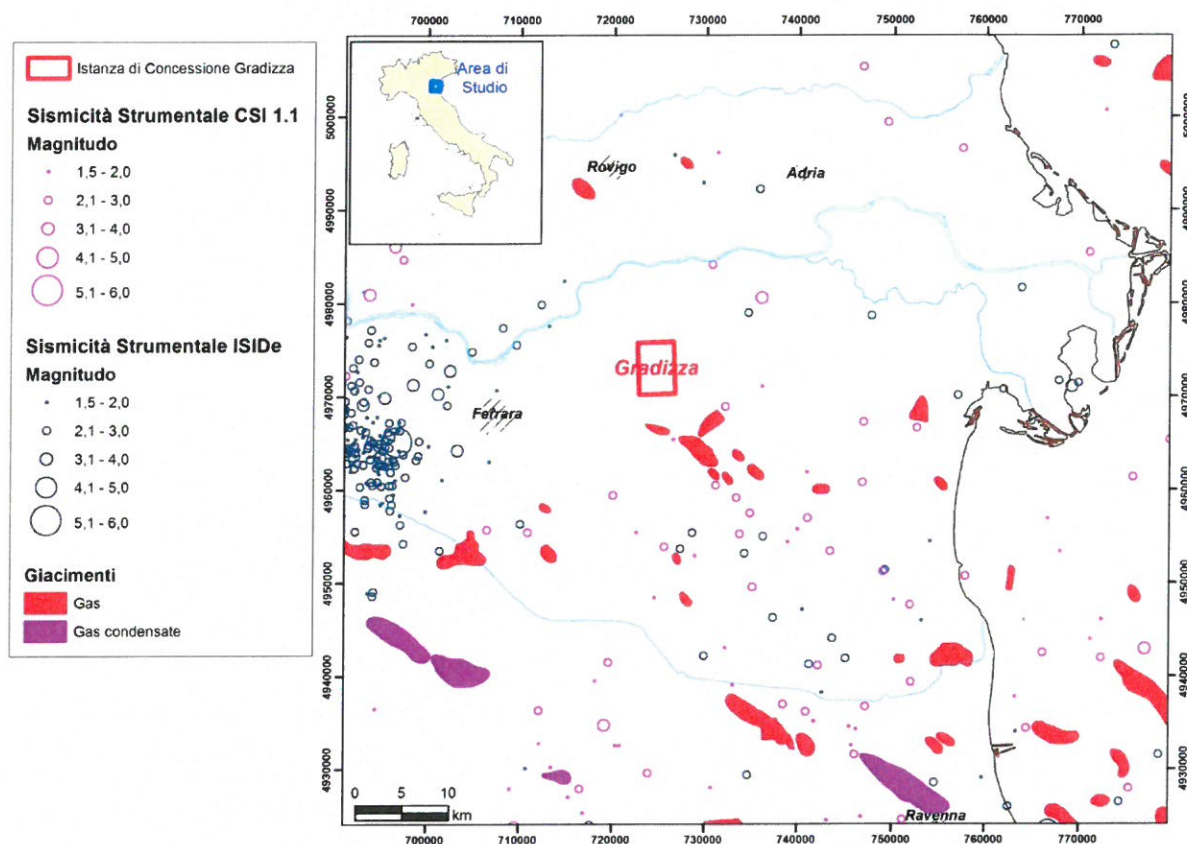


Fig. 21 – Nei limiti dell'errore nelle localizzazioni epicentrali e della completezza dei database sismologici disponibili, il confronto tra la distribuzione della sismicità strumentale e la posizione dei principali giacimenti di idrocarburi nell'area esaminata suggerisce l'assenza di significativi fenomeni di sismicità indotta/innescata associabili dalle attività estrattive di gas metano da reservoir ospitati in depositi plio-pleistocenici.

6 Conclusioni

Nel settore della Pianura Padana dove è ubicata l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza" 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; Toscani et al., 2009; Fantoni & Franciosi, 2009, 2010; Bonini et al., 2014), 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; Carminati et al., 2010; Vannoli et al., 2014). Le 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 "Pieghe Ferraresi" in esame, dove le principali strutture sismogenetiche riconosciute sono rappresentate da sovrascorrimenti attivi e sepolti responsabili della deformazione compressiva delle coperture sedimentarie meso-cenozoiche (e.g., Boccaletti et al., 2004; Calderoni et al., 2009; Toscani et al., 2009; Cuffaro et al., 2010; Vannoli et al., 2014).

La revisione critica dell'insieme dei dati disponibili in un intorno di 15 km dal perimetro dell'istanza ha messo in evidenza la presenza di alcuni sovrascorrimenti che mostrano evidenze di attività recente (Fig. 17, 18 e 19), descritti in dettaglio nel capitolo 4, di cui si riportano di seguito le caratteristiche principali.

- Sovrascorrimento S1 (Fig. 17), posto circa 8-10 km ad est del bordo orientale dell'istanza con orientazione variabile tra circa N-S e NNW-SSE, che rappresenta una rampa che si enuclea molto probabilmente dal livello di scollamento superiore posto alla base del Miocene.

Relazione sulla Sismotettonica

- Sovrascorrimento S7 (Fig. 17, 18 e 19) che rappresenta una rampa nei carbonati di età compresa tra il Triassico superiore e l'Eocene medio. La posizione di questa rampa è stata definita sulla base dei più recenti profili geologici pubblicati nell'area (Fantoni & Franciosi, 2009; Bonini et al., 2009) risultando più arretrata rispetto alla posizione proposta nella mappa pubblicata da Boccaletti et al. (2004), dove era rappresentata dal sovrascorrimento S6. Nella posizione ricostruita in figura 17 la rampa S7, orientata in direzione NW-SE, si trova a circa 4-5 km dallo spigolo SW dell'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza".
- Sovrascorrimento S4 associato ad una rampa considerata attiva da Boccaletti et al. (2004), che interessa depositi Oligo-Miocenici, presente al di fuori e a NW del poligono che definisce l'istanza di Concessione di Coltivazione di Idrocarburi "Gradizza". La sua prosecuzione verso sud all'interno dell'istanza (sovrascorrimento S5) è invece ritenuta una struttura neogenica senza evidenze di attività recente.
- Sovrascorrimento S9 che rappresenta una rampa presente in profondità nei carbonati meso-cenozoici con orientazione NW-SE posta ad oltre 12-13 km verso SW dal perimetro dell'istanza .
- Sovrascorrimento S10 che costituisce una rampa superficiale, ritenuta attiva, che si propaga dal livello di scollamento superiore alla base del Miocene; tale struttura è localizzata circa 13 km a SW rispetto al perimetro dell'istanza.

I sovrascorrimenti che mostrano evidenze di attività recente sono però associati a sorgenti simogenetiche solo in alcuni casi, in accordo con i risultati dell'analisi della distribuzione degli *aftershocks* della sequenza sismica dell'Emilia avvenuta nel 2012 (Fig. 20; Bonini et al., 2014). Tale analisi dimostra che i segmenti sismogenetici dei sovrascorrimenti sono confinati nelle rampe che attraversano i livelli carbonatici meso-cenozoici mentre i segmenti dei sovrascorrimenti localizzati nei sovrastanti livelli clastici e terrigeni neogenici sono interessati da uno scorrimento asismico.

Nella versione 3.2.0 del DISS, sono infatti riportate solo due diverse sorgenti sismogenetiche composite, con due relative sorgenti individuali associate a terremoti storici (DISS Working Group, 2015). I sovrascorrimenti ritenuti attivi con un comportamento sismogenetico sono rappresentati dalle seguenti rampe che attraversano i carbonati di età compresa tra il Triassico superiore e l'Eocene medio (Fig. 17, 18 e 19).

- Sovrascorrimento S7, localizzato circa 4-5 km a SW del perimetro dell'istanza, associabile alla sorgente sismogenetica ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino orientata circa NW-SE. Tale sorgente è ritenuta in grado di generare terremoti con valori di magnitudo massima Mw 5.5.
- Sovrascorrimento S9 associabile alla sorgente sismogenetica ITCS012 Malalbergo-Ravenna posta circa 12-13 km a sud del perimetro dell'istanza e con una orientazione media circa W-E. La massima magnitudo attribuita a questa sorgente è Mw 6.0.

Dall'analisi sopra effettuata risulta evidente che tali sorgenti, risultando ubicate all'interno dei termini carbonatici triassico-eocenici delle coperture sedimentarie di margine passivo, sono localizzate in livelli molto più profondi di quelli interessati dal giacimento di gas "Gradizza" oggetto dell'istanza.

Il giacimento di gas "Gradizza" è infatti ospitato in formazioni silicoclastiche del Pleistocene a circa 850 m di profondità. Il giacimento ha le caratteristiche di giacimento marginale poiché il gas originario in posto (GOIP) è stimato in circa 152 milioni di standard m³. La coltivazione del giacimento avverrà con modalità convenzionali, sfruttando la fuoriuscita naturale del gas che ha le caratteristiche di gas anidro (circa 99% metano), senza alcuna reiniezione di fluidi nel sottosuolo.

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 del settore padano 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 altamente improbabile una connessione idraulica tra i due diversi livelli geologici interessati dagli accumuli di gas e dalle sorgenti sismogenetiche.

Le condizioni geologiche sopra descritte rappresentano una delle probabili spiegazioni per l'assenza di significativi fenomeni di sismicità indotta/innescata associabili dalle attività estrattive di gas metano da reservoir ospitati in depositi plio-pleistocenici; tale assenza è chiaramente messa in evidenza da un confronto tra la distribuzione della sismicità strumentale e la posizione dei principali giacimenti di idrocarburi e pozzi petroliferi nell'area esaminata (Fig. 21; Regione Emilia-Romagna, 2013; Scrocca, 2014; Caciagli et al., 2015).

In conclusione, in accordo con il quadro delle conoscenze disponibili e con le conclusioni della Commissione ICHESE, si ritiene altamente improbabile che le previste attività di coltivazione mineraria del giacimento Gradizza possano perturbare lo stato naturale delle sorgenti sismogenetiche identificate nel substrato carbonatico.

Roma, 7 marzo 2016

Preparata per:

IdroGeo Service Srl

Da Geoidea Srl

Dott. Davide Scrocca

7 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.
- Bonini L., Toscani G., Seno S., 2014. Three-dimensional segmentation and different rupture behavior during the 2012 Emilia seismic sequence (Northern Italy). Tectonophysics 630, 33–42.
- 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.

Relazione sulla Sismotettonica

- 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., 2009. Mesozoic extension and Cenozoic compression in Po Plain and Adriatic foreland. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 9, 28-31.
- 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.
- Govoni A., Marchetti A., De Gori P., Di Bona M., Lucente F.P., Improta L., Chiarabba C., Nardi A., Margheriti L., Piana Agostinetti N., Di Giovambattista R., Latorre D., Anselmi M., Ciaccio M.G., Moretti M., Castellano C., Piccinini D., 2014. The 2012 Emilia seismic sequence (Northern Italy): imaging the thrust fault system by accurate aftershocks location. *Tectonophysics* 622, 44-55, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.02.013>
- 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.

Relazione sulla Sismotettonica

- 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 Styles*. 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.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Perfetti P., Danecek P., 2012. Quick regional centroid moment tensor solutions for the Emilia 2012 (northern Italy) seismic sequence. *Ann. Geophys.* 55. <http://dx.doi.org/10.4401/ag-6146>.
- Regione Emilia-Romagna, 2013. Terremoti emiliani 2012, tra certezze storiche e indagini scientifiche. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/primo-piano/2013/terremoti-emiliani-2012-tra-certezze-storiche-e-indagini-scientifiche>.
- 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.
- Scognamiglio L., Margheriti L., Mele F.M., Tinti E., Bono A., De Gori P., Lauciani V., Lucente F.P., Mandiello A.G., Marocci C., Mazza S., Pintore S., Quintiliani M., 2012. The 2012 Pianura Padana Emiliana seismic sequence: locations and magnitudes. *Ann. Geophys.* 55, 549–559. <http://dx.doi.org/10.4401/ag-6159>.
- 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.