



Doc. SICS_210_Integraz
Progetto messa in produzione pozzo
Agosta 1 Dir

INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Allegato 6a.
Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

Luglio 2016



eni Upstream and Technical Services

Doc. N°
GEOES 001/2016

TIPOLOGIA
DI
DOCUMENTO

Report

TITOLO:

Area Pozzo Agosta 001 Dir
Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie

DATA EMISSIONE: 12/07/2016

DATA DECORRENZA: 15/07/2016

		Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:
00	63	ENI GEPO A. Orefice <i>Antonio Orefice</i>	ENI GEPO L. Barzaghi <i>L. Barzaghi</i>	ENI GEPO M. Mileti <i>M. Mileti</i>
Rev.	Pagine	GEOD F. Ferulano <i>F. Ferulano</i>	GEOD F. Ferulano <i>F. Ferulano</i>	GEOD A. Mosconi <i>A. Mosconi</i>
		GEOP/CS A. Venturini <i>A. Venturini</i>	GEOES/CS D. Casini Ropa <i>D. Casini Ropa</i>	GEOE/CS D. Casini Ropa <i>D. Casini Ropa</i>
		GEOES/CS D. Casini Ropa <i>D. Casini Ropa</i>		



INDICE

1	Introduzione	3
2	Sintesi risultati	4
3	Tettonica e Geologia	5
3.1	Tettonica.....	5
3.2	Geologia.....	7
4	Storia sismica dell'Emilia Orientale e valutazione della pericolosità sismica dell'area di Agosta	12
4.1	Sismicità nell'area di Agosta.....	12
4.1.1	Sismicità Storica (1000-2006)	12
4.1.2	Sismicità Strumentale (1981-2015)	19
4.1.3	Faglie Capaci	26
4.2	Vulnerabilità.....	27
4.2.1	Risentimenti avvertiti nell'area del Permesso Agosta.....	27
4.2.2	Inquadramento amministrativo e Normativa sismica.....	31
4.2.3	Analisi Statistiche	34
5	Sismicità indotta/innescata da attività di estrazione.....	37
5.1	Cause legate all'estrazioni di fluidi responsabili dell'innescato di un evento sismico.....	45
6	Struttura della rete microsisimica	49
6.1	Geometria della rete microsisimica	49
6.2	Strumentazione.....	53
7	Stima tempi di realizzazione.....	58
8	Bibliografia	60

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie	
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00

1 Introduzione

Nell'ambito del progetto di sviluppo del campo a gas di Agosta è stato richiesto lo studio di fattibilità per la realizzazione di una rete microsismica che soddisfi le indicazioni del documento "*Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*" emesso il 24 Novembre 2014 dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), di seguito indicato con la sigla LG.

Per tale campo non vale la condizione di esclusione prevista dalle LG (profondità inferiori a 2000 m e riserve originarie inferiori a 300 milioni di m³ standard di gas).

Il presente documento si propone di fornire una prima stima dell'impegno richiesto in termini logistici, per la realizzazione della rete di monitoraggio sismico prendendo in considerazione la realtà sismo-geologica e operativa dell'area d'interesse.

Nel caso si decida di procedere con la realizzazione della rete, i presenti risultati andranno precisati nel corso di una successiva progettazione di dettaglio.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir		
	Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 4 DI 63

2 Sintesi risultati

Il campo di Agosta si trova sul lato NO delle Valli di Comacchio. La geologia superficiale è caratterizzata da terreni alluvionali olocenici, formati da sedimenti limoso-sabbiosi, ad altissima saturazione d'acqua per buona parte dell'anno. Alcune aree, al di fuori degli apparati dunari, hanno la quota piano campagna al di sotto del livello medio mare.

Dal punto di vista geologico-strutturale esso è in corrispondenza con le falde sepolte della parte orientale della Dorsale Ferrarese, caratterizzata da sismicità non frequente e di media intensità (Intensità max=5.5).

Nell'ambito dello studio della sismicità storica è stato individuato un solo terremoto rilevante nel 1624, con distruzioni significative essenzialmente solo nel sito di Argenta, ai cui danni contribuirono effetti consistenti di liquefazione. In tale occasione si ebbe anche uno tsunami interno: le acque del Po invasero Argenta e quelle presenti da Argenta a Comacchio si sollevarono urtando contro le rive.

Nel complesso si tratta di un'area a bassa sismicità, ma di cui è difficile individuare i possibili effetti di sito locali, come è stato osservato studiando la distribuzione dei valori di intensità locale in occasione di vari terremoti avvenuti nell'area o vicini. Tali comportamenti sono dovuti alla presenza di una spessa coltre di depositi poco consolidati su un substrato più rigido, che determina sia amplificazioni del segnale sismico al passaggio del contatto sia significative attenuazioni nel loro attraversamento. Le considerazioni geologiche e geomeccaniche del campo di Agosta tendono comunque ad escludere una qualche influenza a seguito delle messa in produzione del campo sull'assetto sismogenetico dell'area.

Per l'installazione di una rete sismologica la situazione geologica mostra delle criticità. I suoli più idonei sarebbero di tipo rigido, così da poter registrare adeguatamente i segnali relativi sia alle onde di tipo compressivo (onde P) sia a quelle di tipo trasversale (onde S), che non si propagano nei fluidi. Invece, la presenza di suoli saturi d'acqua con molta probabilità comporta attenuazioni forti per le onde S e comunque di tipo significativo anche per le onde P.

Nel progetto si ipotizza la realizzazione di una **rete formata da 7 stazioni**, 3 nel Dominio Interno e 4 nel Dominio Esteso. La geometria della rete è condizionata dalla presenza delle Valli di Comacchio che occupano tutta la zona sud-orientale. Per ovviare in parte a questo problema si valuterà la possibilità di utilizzare l'area del pozzo Tremotte-3X come sito per una stazione sismica. Al momento si ipotizza che tutte le stazioni abbiano i sensori installati in superficie.

I **tempi** per la realizzazione della rete si possono stimare in **16 mesi** dall'avvio del progetto.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie	
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00

3 Tettonica e Geologia

In questo capitolo si vuole fornire una visione schematica della geologia dell'Emilia Romagna Nord-orientale, con lo scopo di contribuire ad individuare e descrivere le aree sismogenetiche, che possono essere sede della sismicità registrabile da una possibile rete di monitoraggio microsismico da installare in un intorno (circa 10 km) del campo a gas di Agosta.

Inoltre viene presentata un'analisi di dettaglio della Geologia intorno al campo per determinare che caratteristiche hanno gli strati superficiali, in vista della definizioni di possibili siti per le stazioni microsismiche.

3.1 Tettonica

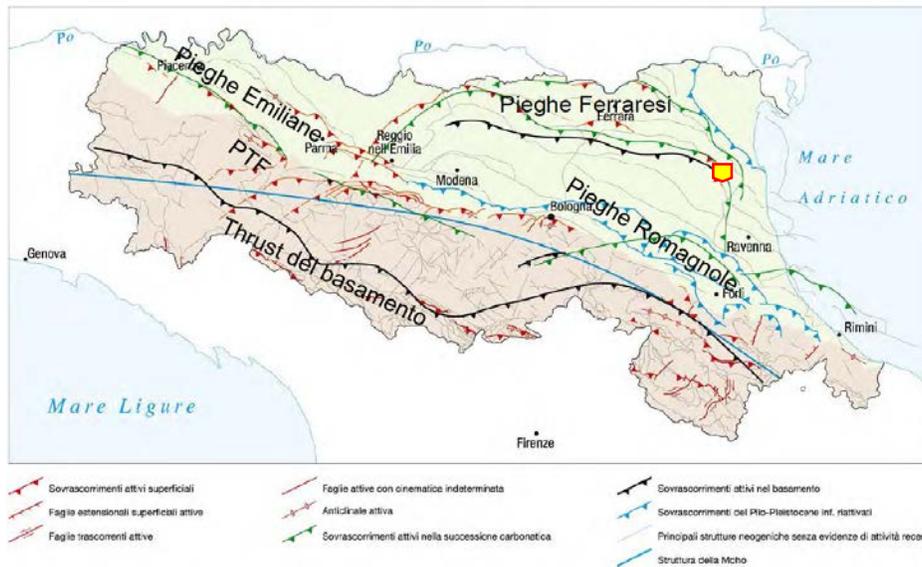
Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino e la pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica, infatti, è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Fig. 1) sepolte dai sedimenti quaternari padani (Pieri & Groppi, 1981), come visibile in Fig. 2. Quindi il fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso Nord sulla piattaforma padano-veneta.

L'area Emiliana-Romagnola costituisce, così, il raccordo fra la parte esterna della catena nel Miocene superiore - Pliocene inferiore e il settore padano-adriatico in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente Pliocene superiore - quaternarie, parti delle quali tuttora attive (tratto da Mantovani et al, 2013).

Il permesso Agosta è in corrispondenza del fronte orientale della Dorsale Ferrarese, che è formata da una serie di pieghe e accavallamenti con asse NO-SE e vergenza a NE, che coinvolgono le successioni sedimentarie delle evaporiti triassiche, i carbonati mesozoici e triassici inferiori e le successioni clastiche dell'Oligocene-Miocene. Gli strati miocenici sono ricoperti da depositi terrigeni plio-pleistocenici (per lo più torbiditi e arenarie marine) e da depositi del tardo Quaternario di tipo fluvio-lacustre.



Principali strutture attive riconosciute



Da Boccaletti et al., 2004

NB: PTF: fronte pedeappenninico

Fig. 1: strutture attive presenti in Emilia-Romagna. In giallo la posizione del campo di Agosta.

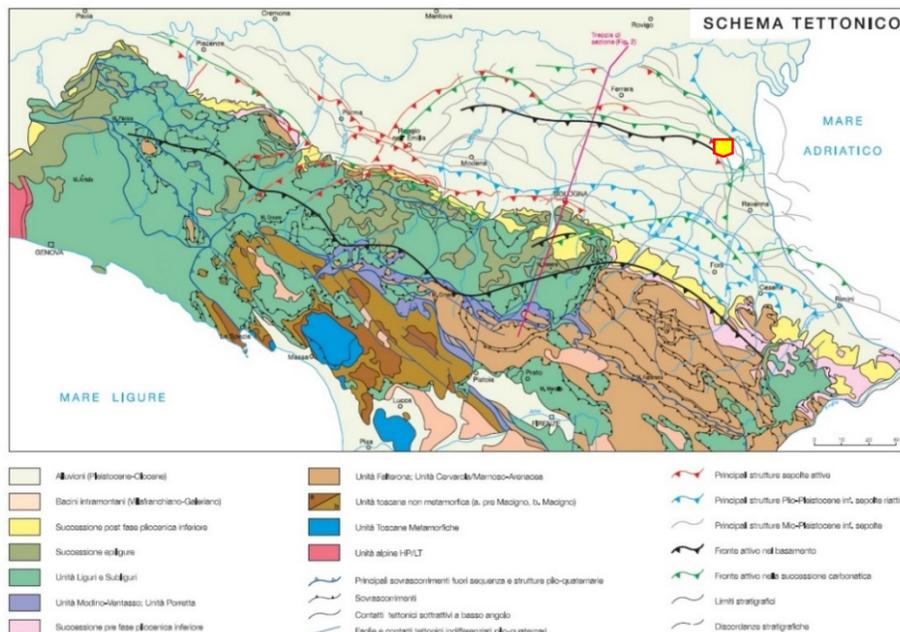


Fig. 2: schema tettonico dell'Appennino settentrionale con geologia di superficie (da Boccaletti et al, 2004, modificata). In giallo la posizione del campo di Agosta.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir	
	Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie	
DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 7 DI 63

3.2 Geologia

Nella Fig. 3 è visibile il dettaglio della carta geologico-strutturale della costa orientale-emiliana, che ingloba anche il permesso Agosta. In questa zona è presente, sepolta, la parte sud-orientale della Dorsale Ferrarese (curve nere), il cui tratto finale ad oriente va dalla bassa valle del fiume Reno fino alla città di Ravenna.

Dal punto di vista geologico la zona in esame presenta gli elementi strutturali e stratigrafici tipici degli ambienti di transizione della Fossa Padana–Appenninica, che rappresenta la continuità tra la catena appenninica e la catena alpina. L'area è caratterizzata da un ampio bacino di sedimentazione quaternario di transizione tra ambiente continentale e marino, in cui lo spessore in alcuni punti raggiunge circa 2000m.

Nel Quaternario Inferiore il bacino di sedimentazione ha subito un fenomeno di ingressione marina in cui tutta l'area è stata occupata dal mare; nel Pleistocene superiore la stessa area è stata coinvolta in una fortissima regressione, conseguente la glaciazione Wurmiana. Negli ultimi 5000 anni è iniziata l'ultima fase di accrescimento, con migrazione progressiva della linea di costa da O ad E, fino a raggiungere la posizione attuale. Nel periodo delle glaciazioni l'intero bacino Padano subì sconvolgimenti idraulici di straordinaria rilevanza. I fiumi, alimentati dalle acque di fusione dei ghiacciai, causarono inondazioni e trasportarono a valle quantità enormi di materiali che, in parte, andarono ad aumentare fortemente lo spessore della coltre alluvionale e, in parte, ad alimentare la costa.

In tale contesto la tettonica dell'area Appenninica ha originato una serie di strutture con asse NO-SE a vergenza NE.

Le varie fasi di sollevamento e deformazione, sino al Pliocene medio-superiore, hanno provocato la strutturazione delle serie mio-plioceniche (Gallare, Colombacci, Corsini, Garibaldi).

Nel Pleistocene le serie sovrascorse sono state saturate dai corpi torbiditici della Formazione Carola (Gruppo di Asti), il sistema deltizio progredente da OSO e la sovrastante piana alluvionale (Formazione Ravenna) completano il colmamento del bacino pleistocenico.

Le stratigrafie dell'area di bonifica di Comacchio mostrano la presenza di terreni argillosi nell'area centrale, in depressioni e in corrispondenza di antichi paleoalvei (estratto da: Parco delta del Po, 2005).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 8 DI 63

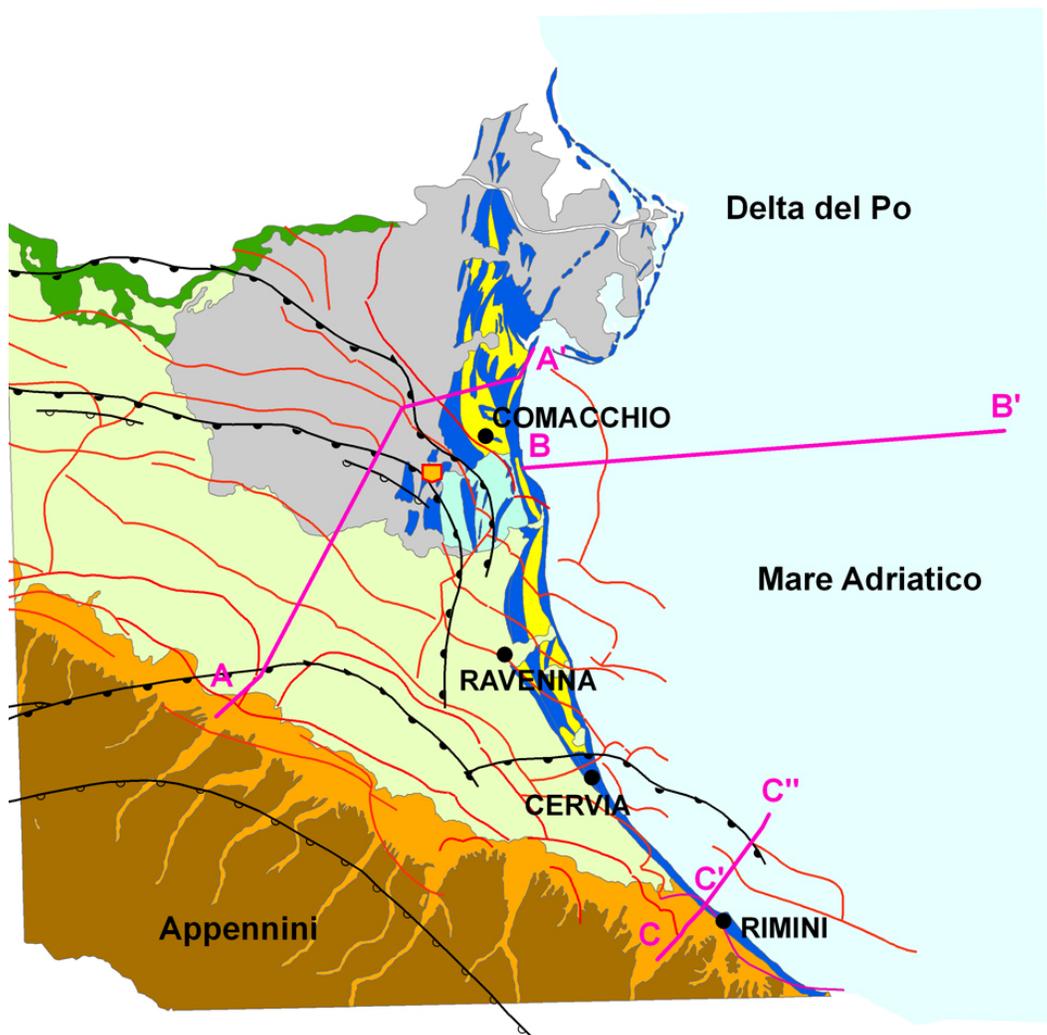


Fig. 3: carta geologica-strutturale della costa nord-orientale emiliana, in cui si notano i 3 ambienti geomorfologici: l'appennino, la piana alluvionale e i depositi deltizi e litorali (dal sito http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/immagini/costa/sic/web_f10_geologia_mappa.jpg/image_view_fullscreen).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

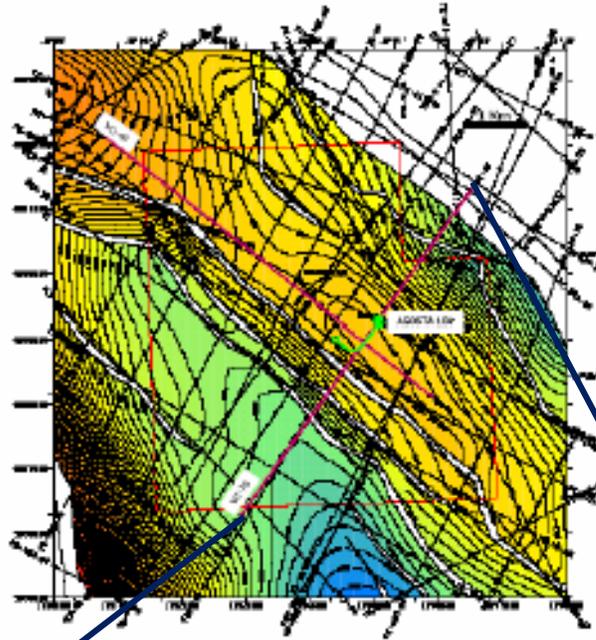
Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 9 DI 63



Istanza di Concessione AGOSTA
Linea sismica VC-76

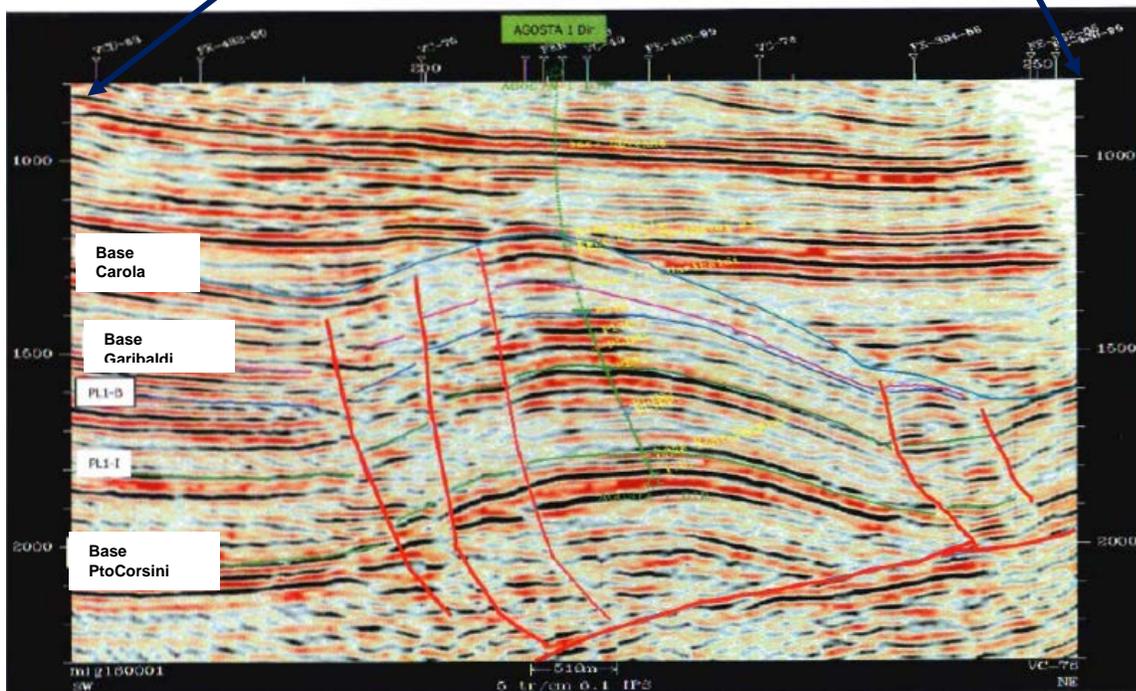


Fig. 4: mappa strutturale intorno al pozzo Agosta 1 dir, reinterpretata, con linea sismica in tempi doppi di riferimento.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 10 DI 63

Quanto detto è riscontrabile dall'interpretazione della sismica a riflessione compiuta nell'area (v. Fig. 4). La struttura di Agosta è costituita da un anticlinale con asse principale orientato NO-SE con chiusura a SO per faglia e per semplice pendenza sui rimanenti 3 lati.

Nella sezione sismica è riconoscibile la strutturazione della serie mio-pliocenica e le blande deformazioni basali del Pleistocene inferiore che preludono la suturazione delle strutture ad opera delle torbiditi della F.ne Carola, in evidente onlap verso SO. Successivamente, il sistema deltizio progradante da OSO e la sovrastante Formazione di Ravenna completano il riempimento del bacino pleistocenico.

Tali depositi, caratterizzati dalla bassissima pendenza del territorio e, al momento della deposizione, da frequenti divagazioni dei corsi d'acqua, sono costituiti da corpi canalizzati discontinui nello spazio e soprattutto da sedimenti limoso-sabbiosi, ad altissima saturazione d'acqua per buona parte dell'anno. Alcune aree, al di fuori degli apparati dunari, hanno la quota piano campagna al di sotto del livello medio mare e presentano soggiacenze della prima falda a piano campagna o pochi centimetri al di sotto.

Ne consegue che i terreni presentano una bassa consistenza e caratteristiche meccaniche assai scadenti, non certo ottimali per la trasmissione di segnali sismici, che ne risultano quindi fortemente attenuati se non addirittura filtrati (in particolare le onde di tipo trasversale – onde S).

Tali osservazioni sono ricavabili dalla Fig. 5, che evidenzia l'area di piana deltizia inferiore del sistema delta-laguna evolutosi negli ultimi diecimila anni, caratterizzato da ambienti intermedi di area costiera, soggetto prima alle variazioni eustatiche e successivamente all'evoluzione litorale che vede la formazione del delta del Po, il parziale smantellamento degli apparati dunari e la formazione di vaste aree ribassate ed allagate alle spalle di questi.

La bonifica idraulica ha reso possibile la fruizione all'agricoltura di vaste zone dell'area. Tuttavia, la soggiacenza dell'acquifero resta molto prossima al piano campagna, come evidenziato da misure freaticometriche eseguite nell'area. In Fig. 6 è mostrato stralcio dal database della Regione Emilia Romagna relativo ad un pozzo idrico prossimo all'area di interesse.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 11 DI
63

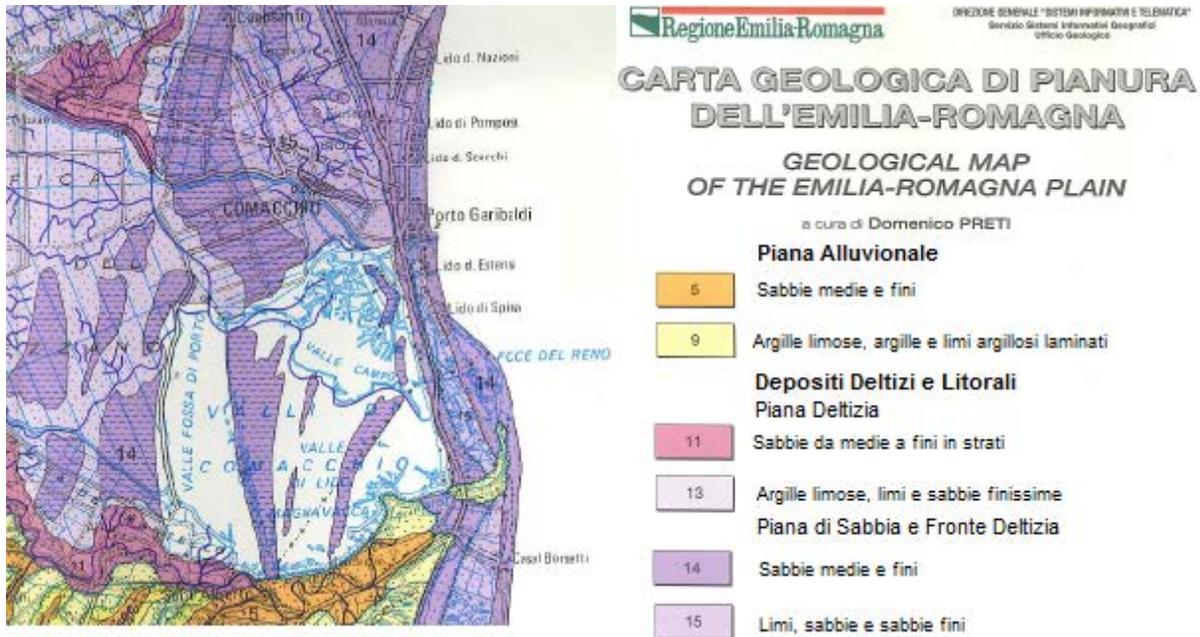


Fig. 5: stralcio della Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna.



Comune di null (null), sezione CTR: 205100

Rete ARPA	FE69-00	CODICE	FE69-00
Limiti provinciali	OSTELLATO	COMUNE	OSTELLATO
Limiti comunali	OSTELLATO	SIOLA_PROV	FE
		PROFONDITA	145
		ACQUIFERO	A2
		TIPO_MISURA	Analisi chimica e Livello piezometrico
		PROPRIETA_DATO	Servizio Tutela e Bilanciamento Risorse Acqua - Regione Emilia-Romagna
		GESTORE_DATO	ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente - Regione Emilia-Romagna
		USO	Industriale
		DATA_INDO	11-GRJ-2002
		DATA_FINE	04-NOV-2009
		LINK_SCHEDA	stratelo

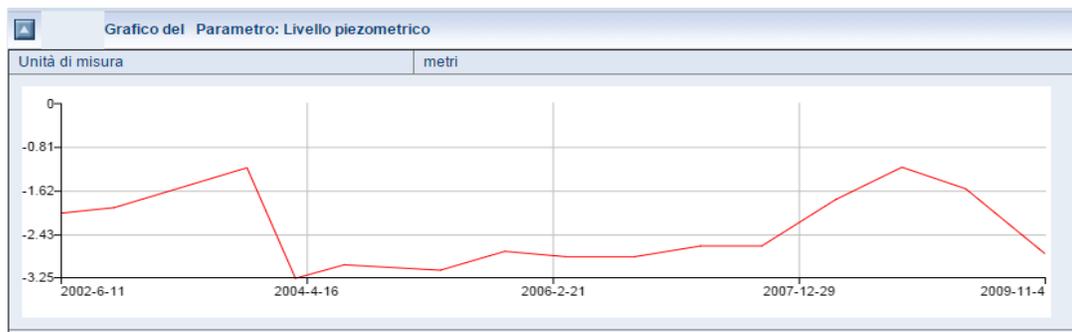


Fig. 6: grafico dell'andamento piezometrico del pozzetto FE69-00, di cui si vede la localizzazione nella mappa in alto. La scala verticale indica la profondità dell'acquifero in metri rispetto al livello mare.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 12 DI
63

4 Storia sismica dell'Emilia Orientale e valutazione della pericolosità sismica dell'area di Agosta

4.1 Sismicità nell'area di Agosta

Per valutare correttamente gli obiettivi di una rete microsismica è necessario conoscere la sismicità pregressa registrata nell'area da controllare in un intervallo di tempo il più ampio possibile. In Italia i database macrosismici partono generalmente dall'anno 1000, anche se le informazioni diventano in genere più attendibili per eventi di forte intensità (V della scala MCS) solo alcuni secoli dopo.

La storia sismica è stata studiata all'interno di tre circonferenze di raggio rispettivamente 30, 50 e 100 km centrate sul pozzo Agosta 1 Dir. Si è cercato informazioni bibliografiche sui risentimenti che ha subito la zona delle valli di Comacchio nel passato, la presenza di faglie considerate sismogenetiche e la pericolosità sismica stimata secondo gli ultimi decreti ministeriali e regionali.

4.1.1 Sismicità Storica (1000-2006)

Le informazioni sulla sismicità storica in Italia (1000-2006) sono disponibili sul DB dell'INGV CPT11 (Gruppo di Lavoro CPTI – 2011), ultima revisione di cataloghi sviluppati negli ultimi 30 anni. A causa dell'estensione temporale del DB CPT11 non sono presenti i dati relativi ai terremoti dell'Emilia del 2012.

In tale catalogo sono stati riportati in genere sismi con intensità $I_{max} > 5 - 6$ (scosse forti) e magnitudo stimata $M_w > 4.5$. Le informazioni disponibili per eventi fino al 1963 sono solo di tipo macrosismico (effetti di tipo geologico e/o danni al patrimonio immobiliare), fino al 1980 sono miste macrosismiche e strumentali. Dal 1980, con l'ampliarsi della rete sismologica nazionale, le informazioni sono essenzialmente di tipo strumentale.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 13 DI 63

In Fig. 7 sono stati riportati gli epicentri estratti dal DB CPT11. Al centro dei cerchi di raggio rispettivamente 30, 50 e 100 km (verde, viola e arancione) si trova il pozzo di Agosta 1.

Appare evidente che all'interno delle aree da investigare la sismicità è tutta raggruppata nel settore compreso tra Sud e Nord-Ovest, mentre è praticamente nulla nel semicerchio nord-orientale (vedi in Fig. 7 il diametro tratteggiato che separa approssimativamente le 2 zone).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 14 DI
63

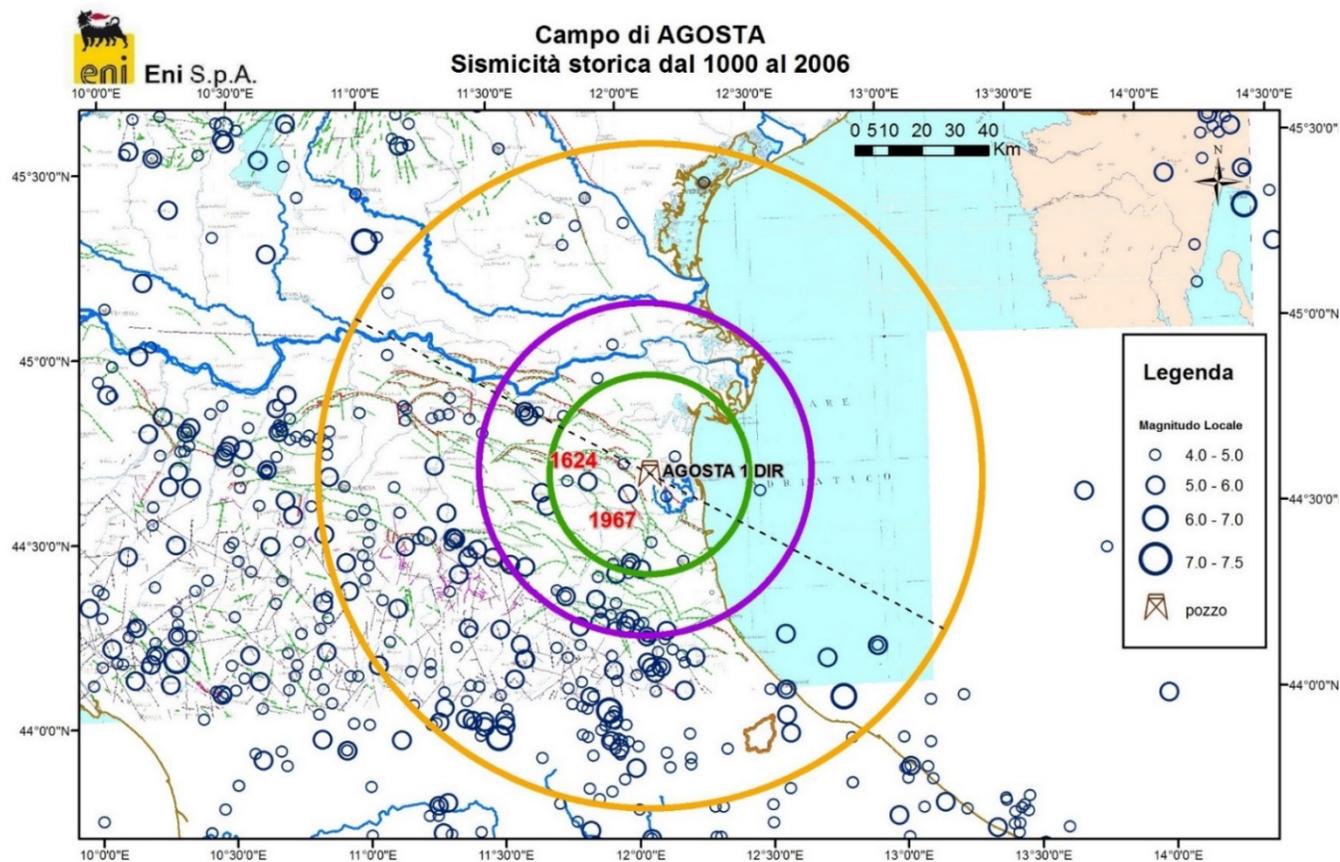


Fig. 7: mappa con gli epicentri di magnitudo > 4.0 dal 1000 al 2006 con principali lineamenti tettonici. Le circonferenze arancio, viola e verde hanno raggi di 100, 50 e 30 km rispettivamente.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 15 DI
63

Sono stati studiati con maggior dettaglio i sismi con magnitudo $M \geq 4$ localizzati entro 30 km dal pozzo di Agosta, riportati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

L'evento più forte di magnitudo 5.5 è accaduto nel 1624 ad Argenta, con intensità $I_{max}=8-9$. Tale evento è stato risentito fino a Venezia e Modena con $I=4$ (Tabella 2 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Lo studio storico-bibliografico di questo sisma e dei relativi effetti nelle varie località sono descritti in Guidoboni et al., 2007.

Nonostante che la magnitudo calcolata non sia elevata, in Argenta ci furono danni essenzialmente causati da fenomeni di liquefazione (uno dei primi casi accertati in Italia), che portarono al crollo di molti edifici. Furono descritti anche fenomeni di tsunami "interno" (rarissimo caso nel nostro paese) con le acque della Valle Padusa (il cui residuo attuale sono le Valli di Comacchio) che rompono gli argini ed invadono la campagna e Argenta. I vicini paesi di Portomaggiore, Bando, Belriguardo, Boccaleone, Filo, San Biagio e Trava risultarono sensibilmente meno danneggiati.

Anche se le informazioni relative a questo evento, da sole, non permettono di definire le caratteristiche della faglia sismogenetica (Toscani et al., 2009), questa è stata comunque inserita nel catalogo delle sorgenti sismogenetiche DISS (in <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, codice ITCS141) (Fig. 9). La sua definizione è stata ottenuta perciò solo attraverso le informazioni geologico-strutturali dell'area. La faglia di Argenta è caratterizzata da una lunghezza di 8 km e larghezza di 5.7 km; la sua profondità varia tra i 3.0 e 6.3 km. Essa immerge verso S-SO in accordo con le evidenze superficiali e in base alla distanza caratteristica tra gli assi anticlinali e sinclinali. In corrispondenza di questa faglia sembra ricadere anche la sorgente del vicino terremoto del 1967 di $M_w=5.2$, che ha mostrato $I_{max}=6$ (Fig. 10) (Vannoli et al., 2015; Toscani et al., 2009).

I restanti eventi di $M > 5$ presenti in Tabella 1 sono localizzati nell'area del Forlivese al limite dei 30 km a S dell'area investigata e per tal motivo non sono direttamente collegati con la struttura della Dorsale Ferrarese.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 16 DI
63

YEAR	MO	DA	HO	MI	SE	AX	TL	LAT	LON	MW	DMW	TMW
1591	7	10				Forlì	MM	44.40	12.04	5.2	0.8	Mdm
1624	3	19	19	45		Argenta	MM	44.64	11.85	5.5	0.5	Mdm
1688	8	18				Fusignano	MM	44.42	12.00	5.1	0.3	Mlo
1689	3	15				Fusignano	MM	44.42	12.00	4.7	0.3	Mlo
1780	5	25				Ravenna	MM	44.42	12.20	4.5	0.3	Mdm
1891	8	1	13	30		Lugo	MM	44.42	11.93	4.7	0.3	Mlo
1895	7	3				Comacchio	MM	44.70	12.18	4.7	0.3	Mlo
1895	3	23				Comacchio	MM	44.69	11.99	4.7	0.3	Mdm
1898	1	16	12	10	5	Romagna settentrionale	MM	44.65	11.77	4.8	0.3	Mdm
1967	12	30	4	19	20	Bassa Padana	MI	44.60	12.00	5.2	0.2	Wmim
1969	1	10	16	17	32	Russi	II	44.47	12.08	4.6	0.3	InsC
1978	12	5	15	39	3	Ravenna S.O.	II	44.41	11.99	4.6	0.1	InsO
2002	11	2	10	57	44.89	Adriatico	II	44.59	12.14	4.5	0.2	InsC

Tabella 1: sismi entro 30 km da Agosta. AX= Area dei maggiori effetti. TL=epicentro di default, ossia MI = macrosismico (se in alternativa a strumentale), II = strumentale solo (unica alternativa), MM = macrosismico solo (unica alternativa). DMW= errore associato alla stima della magnitudo momento MW. TMW=codice di determinazione della magnitudo, ossia Mdm = macrosismica, determinata da dati di intensità, Mlo = macrosismica, calcolata dall'intensità epicentrale lo, Wmim = media della magnitudo momento strumentale e macrosismica pesata con l'inverso dei quadrati delle rispettive incertezze, InsO = strumentale "osservata", InsC = strumentale calcolata.



Terremoto	1624 03 19 19:45 Argenta			
Studio macros.	Guidoboni et al., 2007 [Np 18, lmax 8-9]			
Epicentro	CPTI11		Mw 5.47	
	macrosismico		Mw 5.47	
Località	Sc	Lat	Lon	I
Argenta		44.615	11.837	8-9
Bando		44.644	11.885	7
Belriguardo		44.753	11.756	7
Boccaleone		44.640	11.801	7
Bologna		44.498	11.340	4
Carpi		44.784	10.885	5
Copparo		44.894	11.830	6
Ferrara		44.836	11.618	6
Filo		44.588	11.930	7
Modena		44.647	10.925	4
Padova		45.407	11.876	F
Portomaggiore		44.698	11.805	7-8
Ravenna		44.417	12.198	5
Reggio nell'Emilia		44.697	10.631	F
San Biagio		44.587	11.866	7
Trava		44.670	11.892	7
Venezia		45.438	12.335	5
Cento		44.727	11.289	NC
http://storing.ingv.it/cfti4med/				
This file has been downloaded from INGV - DBMI11				

Tabella 2: studio macrosismico del terremoto di Argenta del 1624 estratta da DBMI11.

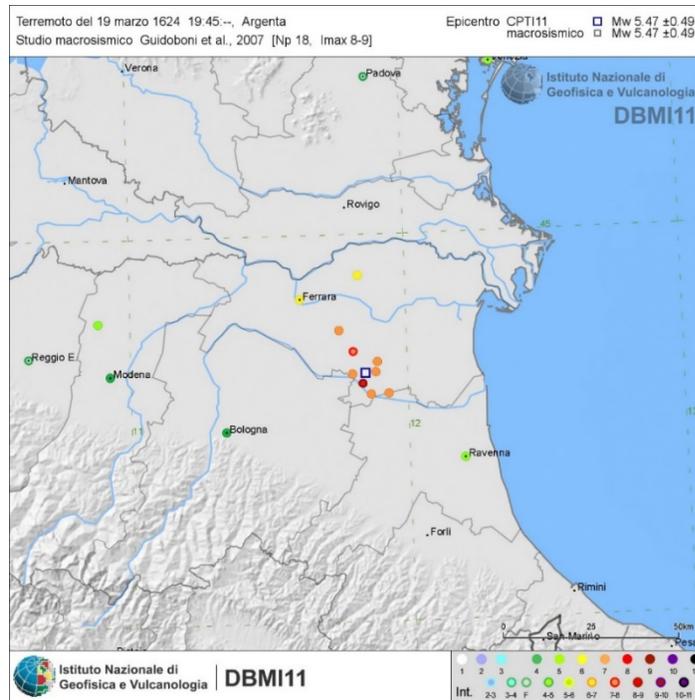


Fig. 8: mappa di intensità per il terremoto del 1624 (estratto da DBMI11-INGV su dati di Guidoboni et al,2007).

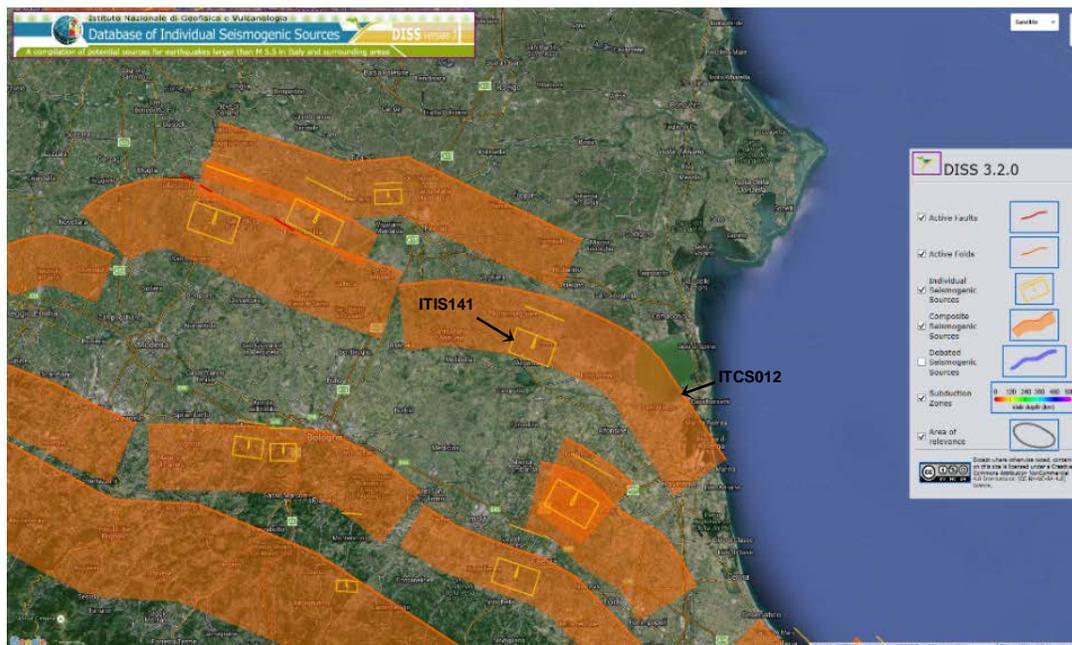


Fig. 9: Mappa delle faglie sismogenetiche estratta dal DISS. I rettangoli gialli sono le proiezioni in superficie delle sorgenti sismogenetiche individuali; in particolare è indicata la faglia di Argenta (codice DISS ITIS141) responsabile del terremoto del 1624. Le fasce arancioni sono invece le proiezioni delle sorgenti sismogenetiche composite. In figura è indicata la faglia di Malalbergo-Ravenna (codice DISS ITCS012).

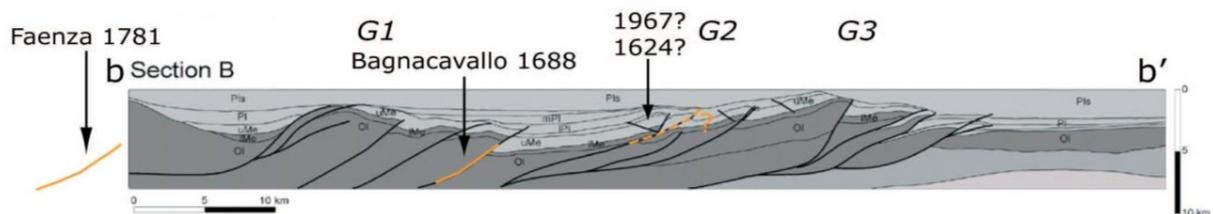
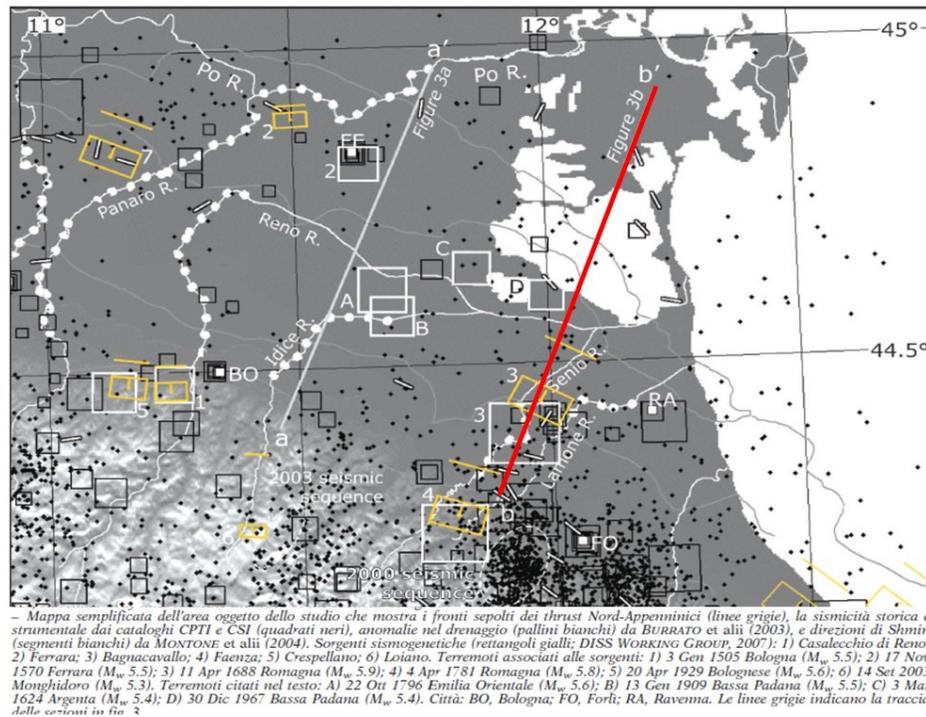


Fig. 10: Mappa e sezione geologica dei fronti sepolti dei thrust e sorgenti sismogenetiche. (Modificato da Toscani et al, 2009)

4.1.2 Sismicità Strumentale (1981-2015)

La sismicità strumentale registrata dal 1981 è estratta dai DB CSI 1.1 e ISIDE dell'INGV. Quella all'interno del cerchio di raggio 100 km dal pozzo di Agosta 1 Dir, è visibile nella Fig. 11 e in dettaglio nella Fig. 12. Si osserva che l'attività sismica principale è concentrata nella zona appenninica e in corrispondenza della Dorsale Ferrarese per il tratto ad Ovest di Ferrara, come già evidenziato nella sismicità storica. Il terremoto con magnitudo più alta si è avuto nell'area ferrarese nel Maggio 2012 ($M_L=5.8$); nella



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 20 DI
63

sequenza che ha seguito questo sisma ci sono stati altri 3 eventi con magnitudo maggiore di 5. Sette sismi di magnitudo compresa tra 4 e 5 sono presenti nelle sequenze in Appennino ad una distanza dal pozzo superiore ai 30 km, che rappresenta il limite di attività intensa. Nel cerchio di raggio 30 km, invece si ha una sismicità sporadica, al limite della capacità di percezione umana. In 35 anni sono stati localizzati 124 eventi con magnitudo massima di 3.6. (Fig. 12). In Fig. 13 è riportata la distribuzione nel tempo di questi sismi con l'indicazione della magnitudo. Si osserva che la magnitudo minima resta costante fino a circa il 2009, poi c'è un abbassamento di tale soglia, dovuto all'incremento del numero di stazioni della rete sismica nazionale (RSNC) nell'area. Tutte le stazioni sono comunque localizzate ad una distanza maggiore di 20 km dal pozzo (Fig. 14)

In Fig. 15 è mostrata la distribuzione dei sismi per classi di magnitudo. E' evidente che le informazioni sono sufficienti da $ML > 1.5$, al di sotto di tale soglia le informazioni sulla sismicità sono lacunose.

La distribuzione dei sismi in profondità (Fig. 16 e distribuzione in mappa in Fig. 17) mostra che la maggior parte dell'attività è concentrata nei primi 30 km della crosta, sono però stati registrati anche terremoti a profondità maggiore di 80 km.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 21 DI
63

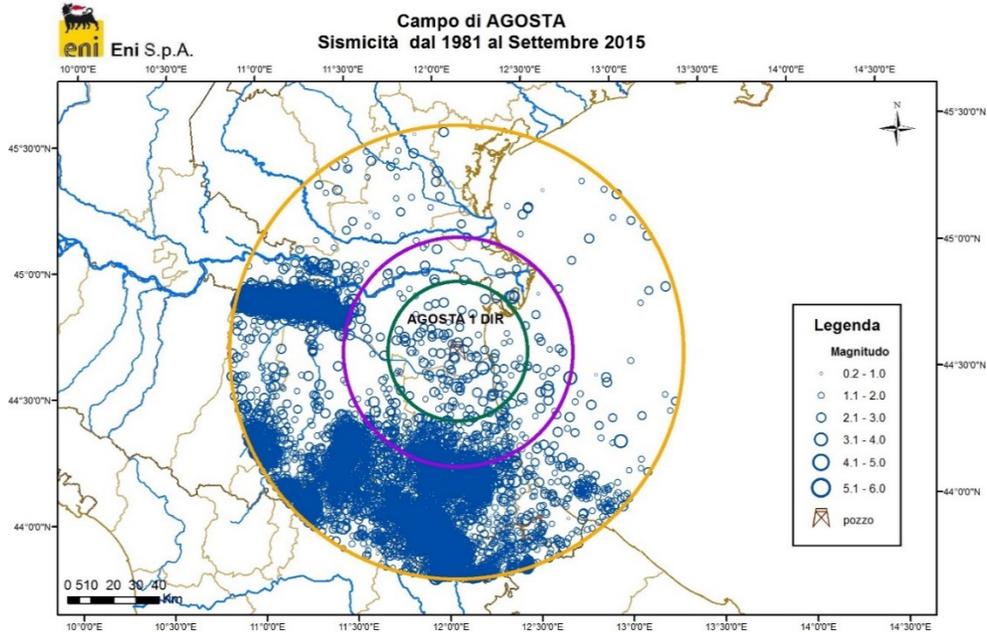


Fig. 11: sismicità strumentale dal 1981 al 2015. In arancio la circonferenza di raggio 100 km, in viola quella di raggio 50 km, in verde quella di 30 km.

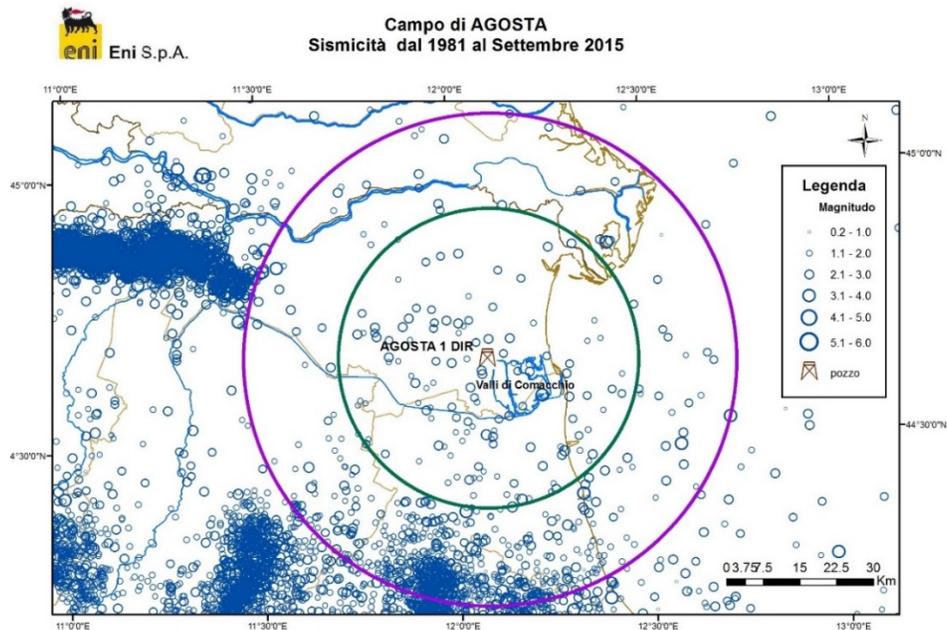


Fig. 12: sismicità strumentale dal 1981 al 2015 nella Emilia orientale. In viola la circonferenza di raggio 50 km, in verde quella di 30 km.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 22 DI
63

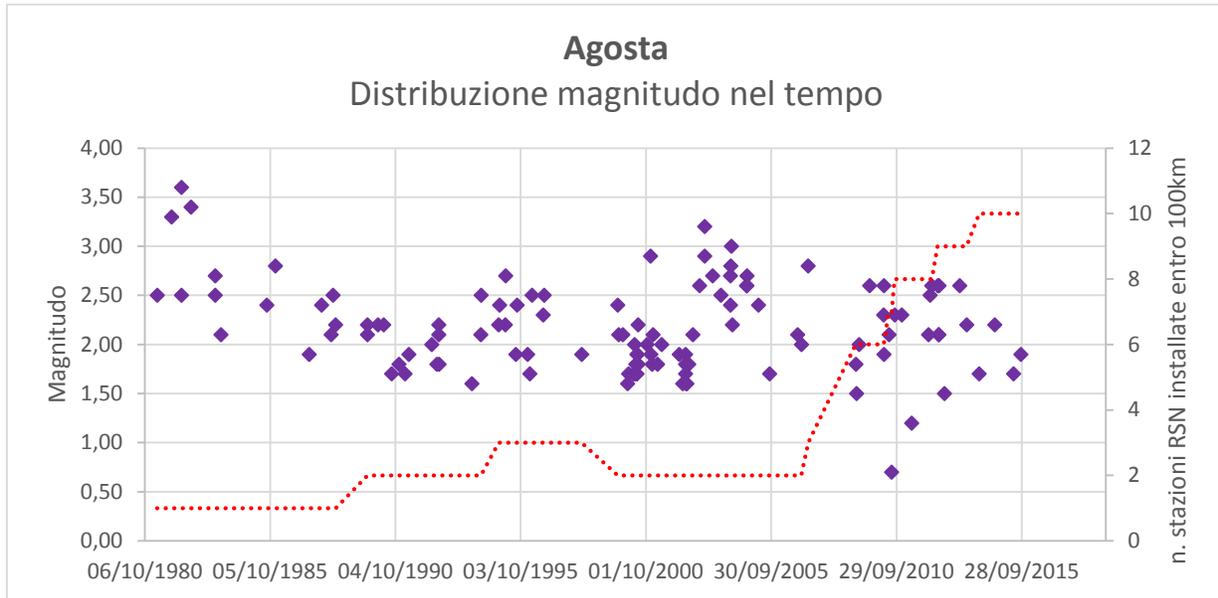


Fig. 13: distribuzione della magnitudo nel tempo per i sismi con epicentro entro 30 km dal pozzo Agosta 1 Dir. La linea indica le stazioni installate entro 100 km di distanza dalla città di Comacchio



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 23 DI
63

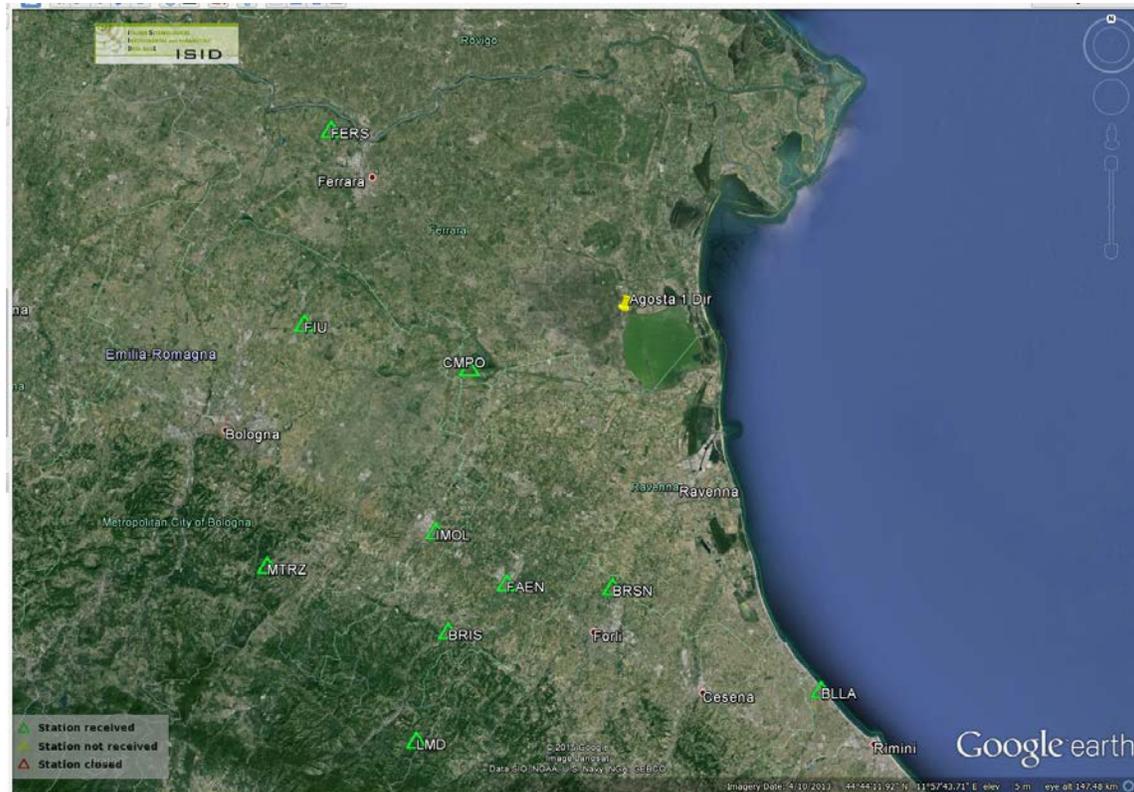


Fig. 14: attuale distribuzione delle stazioni della Rete Sismica Nazionale entro 100 km.

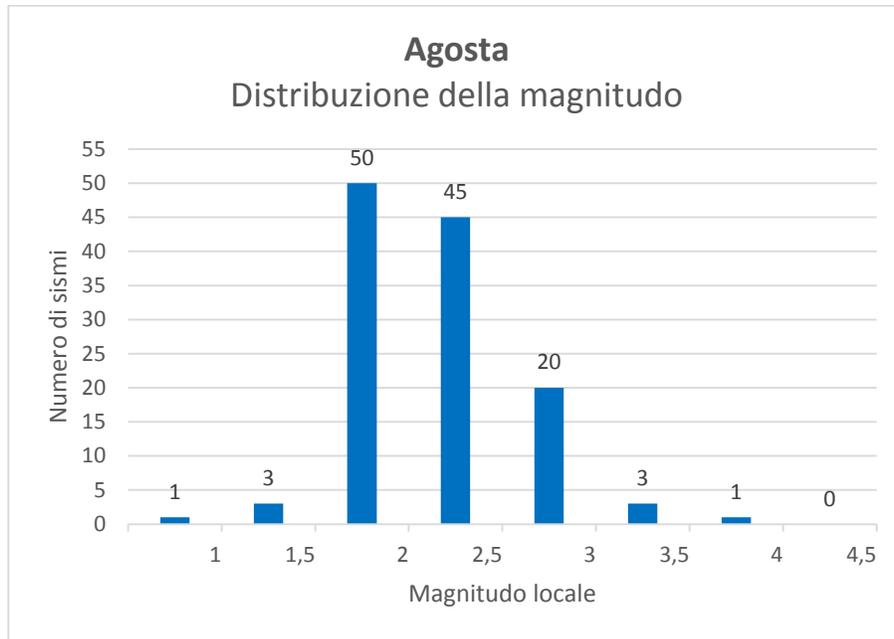


Fig. 15: distribuzione della magnitudo per i sismi registrati dal 1981 al 2015 con epicentro entro 30 km dal pozzo Agosta 1 Dir.

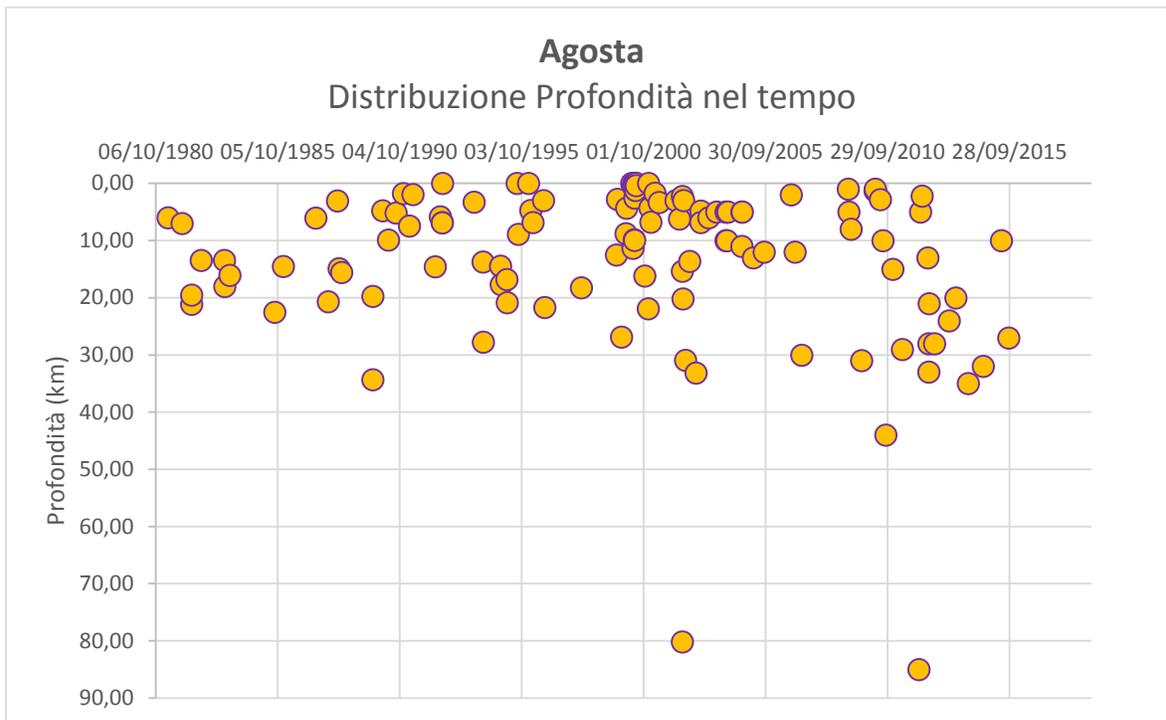


Fig. 16: distribuzione della profondità nel tempo per i sismi con epicentro entro 30km dal pozzo Agosta 1 Dir.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 25 DI
63

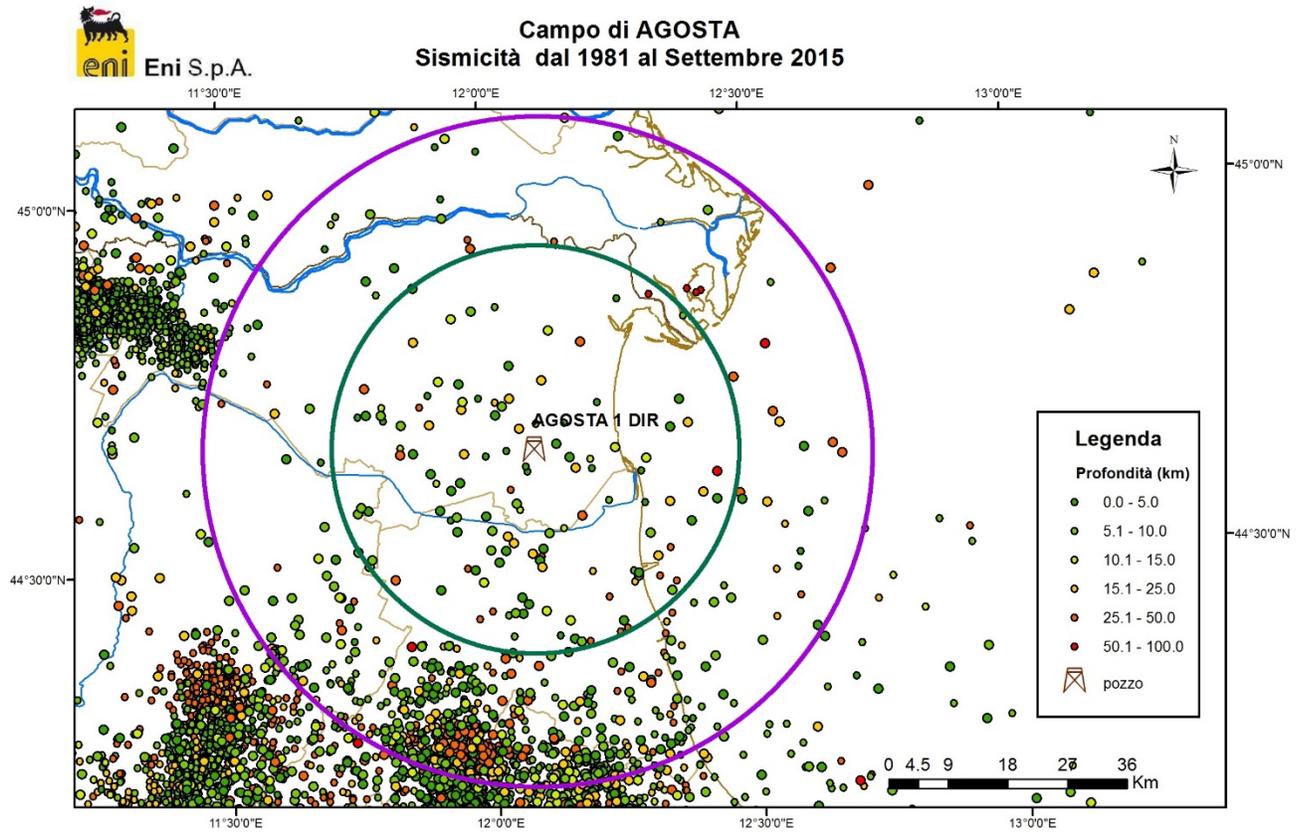


Fig. 17: mappa della sismicità strumentale nell'Emilia-Romagna orientale in funzione della profondità degli ipocentri.



4.1.3 Faglie Capaci

Le informazioni disponibili per i terremoti storici, quelle di tipo paleosismologico e quelle geologico-strutturali di un'area permettono di individuare le cosiddette "Faglie Capaci", definite come "faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie".

Per completare il quadro delle informazioni disponibili a livello nazionale sulle aree potenzialmente attive dal punto di vista sismico si riporta in Fig. 18 la mappa con la distribuzione di Faglie Capaci presenti nel DB ITHACA di ISPRA per la zona in studio. Date le caratteristiche dei suoli e i fenomeni riscontrati in occasione dei terremoti più forti discussi in precedenza, si comprende come le Faglie Capaci nell'area di Agosta coincidano con i lineamenti del fronte orientale della Dorsale Ferrarese: il confronto con le Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 9 mette in evidenza i dati comuni tra le diverse rappresentazioni.

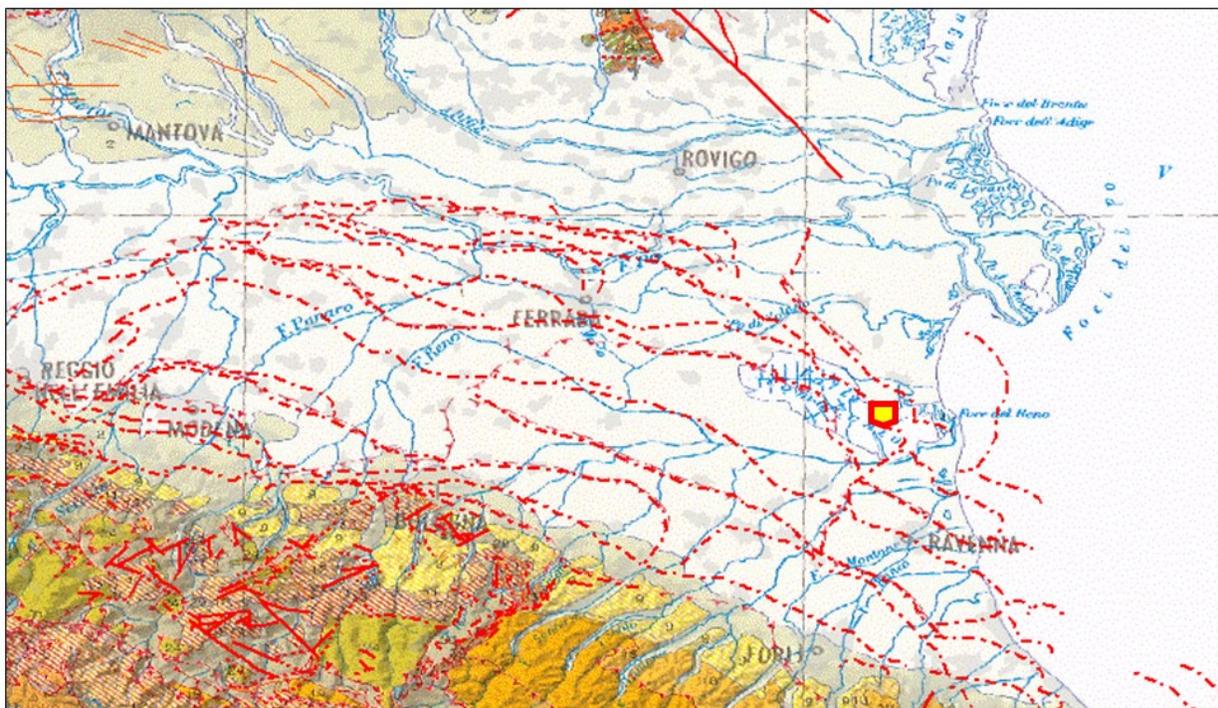


Fig. 18: distribuzione delle Faglie Capaci (in rosso) nell'area Emiliana orientale. Mappa estratta da "SGI GeoMapView" con dati del DB ITHACA di ISPRA.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 27 DI
63

4.2 Vulnerabilità

4.2.1 Risentimenti avvertiti nell'area del Permesso Agosta

Prima di presentare gli aspetti della normativa sismica della zona del permesso Agosta, che tiene conto di quanto l'area ha risentito nel passato di attività sismica vicina e lontana, viene presentato il quadro delle informazioni disponibili dal database DBMI11 dell'INGV sui risentimenti sismici sperimentati dall'anno 1000. Tali informazioni sono state raccolte da fonti coeve o successive, da memorie sui danni (quando ce ne sono stati), in particolare da archivi parrocchiali (dopo il concilio di Trento), da archivi pubblici o privati. E' possibile avere dati incompleti in zone più isolate rispetto ai centri amministrativi e a quelli con scambi commerciali. Le analisi fin qui compiute sui terremoti nell'area centro orientale dell'Emilia Romagna farebbero pensare che più volte nei comuni vicino al pozzo di Agosta (Argenta, Comacchio e Russi) siano stati avvertiti effetti di terremoti più o meno vicini, ma le informazioni disponibili per $I > 4$ sono solo quelle visualizzabili in Fig. 19. Si deduce che alcune informazioni del passato sono andate perse.

Per avere un quadro più completo almeno dal 1550 in poi vengono confrontate le informazioni dei 3 comuni, Argenta, Comacchio e Russi, posti rispettivamente a 20 km Sud-Ovest, a 8 km a Nord-Est e a 30 km a Sud di Agosta.

L'episodio di maggiore intensità ma presente solo sul primo grafico corrisponde al terremoto del 1624 di Argenta ($I=8-9$). Quest'ultima è stata poi interessata da sismi con intensità da 5 a 7; i più forti si sono verificati: nel 1781 con $I=6$ e avvertito anche a Comacchio con $I=6-7$; nel 1895 con $I=7$, registrato a Comacchio con $I=4$; ma non ci sono informazioni storiche per questi eventi a Russi. Infine il sisma del 1909 avvertito a Argenta con $I=6$ è stato risentito a Comacchio e Russi con $I=5$. Il sisma con maggiore intensità avvertito a Russi è nel 1688 con $I=8$, risentito invece ad Argenta con $I=5$.

A Comacchio e Russi i risentimenti massimi osservati di solito sono intorno a 5-7 (forti).

Si osserva che nei dati disponibili per i 3 comuni non c'è nessun riferimento al terremoto del 1967 di $M_w=5.2$, richiamato nel paragrafo sulla sismicità storica (4.1.1).

In Tabella 3 sono sintetizzati i dati di Argenta, in cui, alla tabella originale del database DBMI11 sono state inserite le indicazioni delle provincie, così da poter meglio discriminare la sismicità vicina da quella lontana.

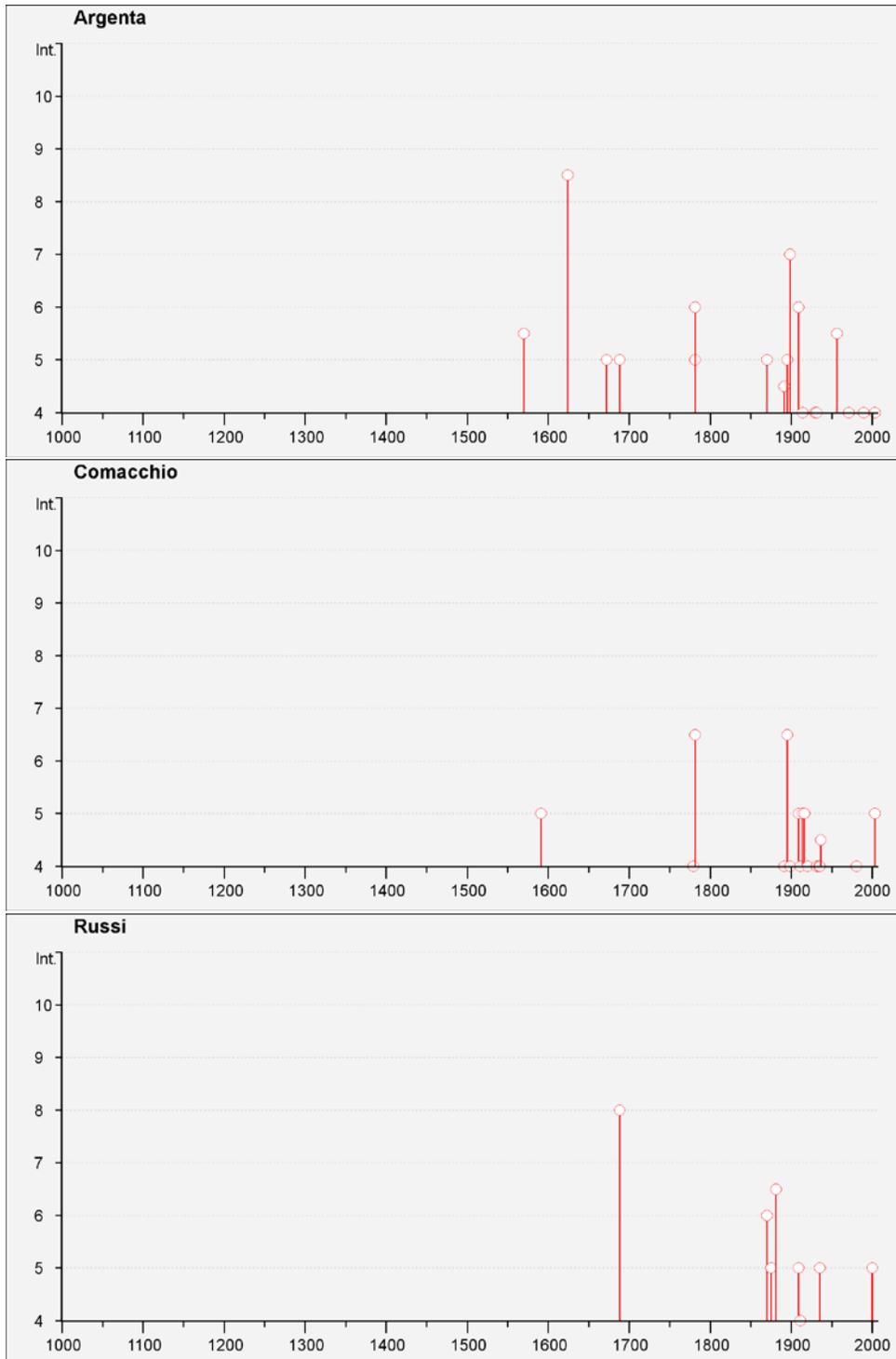


Fig. 19: risentimenti riferiti a Intensità > 4 avvertiti a Argenta, Comacchio e Russi dall'anno 1000 (fonte INGV DBMI11).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 29 DI
63

Is	Date	Ax	Np	Io
5-6	1570 11 17 19:10	Ferrara (FE)	60	7-8
8-9	1624 03 19 19:45	Argenta (FE)	18	7-8
5	1672 04 14 15:45	Riminese (RN)	92	8
5	1688 04 11 12:20	Romagna (RA)	39	8-9
F	1725 10 29 17:40	Appennino tosco-emiliano (RA)	28	8
5	1781 04 04 21:20	Romagna (RA)	96	9-10
6	1781 07 17 09:40	Romagna (FC)	46	8
5	1870 10 30 18:34	Romagna (FC)	41	8
F	1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516	
3	1887 09 30 15:55	Faenza (RA)	10	5
3	1889 03 08 02:57:04	Bolognese (BO)	38	5
3	1889 12 08	APRICENA (FG)	122	7
4-5	1891 06 07 01:06:14	Valle d'Ilasi (VR)	403	8-9
5	1895 03 23	COMACCHIO (FE)	37	6
5	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8
3	1895 06 10 01:47	VALDOBBIADENE (TV)	73	6
7	1898 01 16 12:10:05	Romagna settentrionale (FE)	73	6-7
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma (PR)	313	7-8
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese (PT)	204	7
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA (BO)	799	6-7
3	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale (FC)	181	7
4	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana (LU)	618	7



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 30 DI
63

Is	Date	Ax	Np	Io
3	1915 01 13 06:52	Avezzano (AQ)	1041	11
3	1918 11 10 15:12:28	Appennino romagnolo (FC)	187	9
3	1928 03 27 08:32	Carnia (UD)	359	9
4	1929 04 10 05:43:12	Bolognese (BO)	87	7
3	1929 04 22 08:25:33	Bolognese (BO)	41	
4	1931 03 27 02:46:57	Ferrarese (FE)	7	6
5-6	1956 02 20 01:29:41	ARGENTA (BO)	32	5-6
4	1971 07 15 01:33:23	Parmense (BO)	229	8
3-4	1983 11 09 16:29:52	Parmense (PR)	850	6-7
NF	1986 12 06 17:07:20	BONDENO (FE)	604	6
NF	1987 05 02 20:43:53	Reggiano (RE)	802	6
4	1989 09 13 21:54:01	PASUBIO (TN)	779	6-7
NF	2000 05 06 22:07:04	Emilia Romagna (RA)	84	5
NF	2000 05 08 12:29:56	Emilia Romagna (RA)	126	5
2	2000 05 10 16:52:12	Emilia Romagna (RA)	151	5-6
4	2003 09 14 21:42:53	Appennino Bolognese (BO)	133	6
NF	2003 12 07 10:20:33	Zona Forlì (FC)	172	5

Tabella 3: storia sismica di Argenta estratta da DBMI11. Is= intensità strumentale (NF= terremoto non avvertito). Ax= Area dei maggiori effetti. Np= numero di osservazioni macrosismiche. Io= intensità epicentrale.



4.2.2 Inquadramento amministrativo e Normativa sismica

Il campo a gas di Agosta ricade all'interno dell'area visibile in Fig. 20, in cui sono stati evidenziati il comune di Comacchio, nei cui confini è presente il campo, e i comuni più vicini (quelli di Codigoro e Ravenna si estendono oltre la figura, ma sono anche quelli più lontani dal campo stesso).

Dal punto di vista amministrativo il campo ricade nel comune di Comacchio. Tutti i comuni sono classificati = 3 (sismicità bassa), escluso quello di Argenta, che nel 2003 è stato classificato = 2 (sismicità media), come i comuni contigui a Sud.

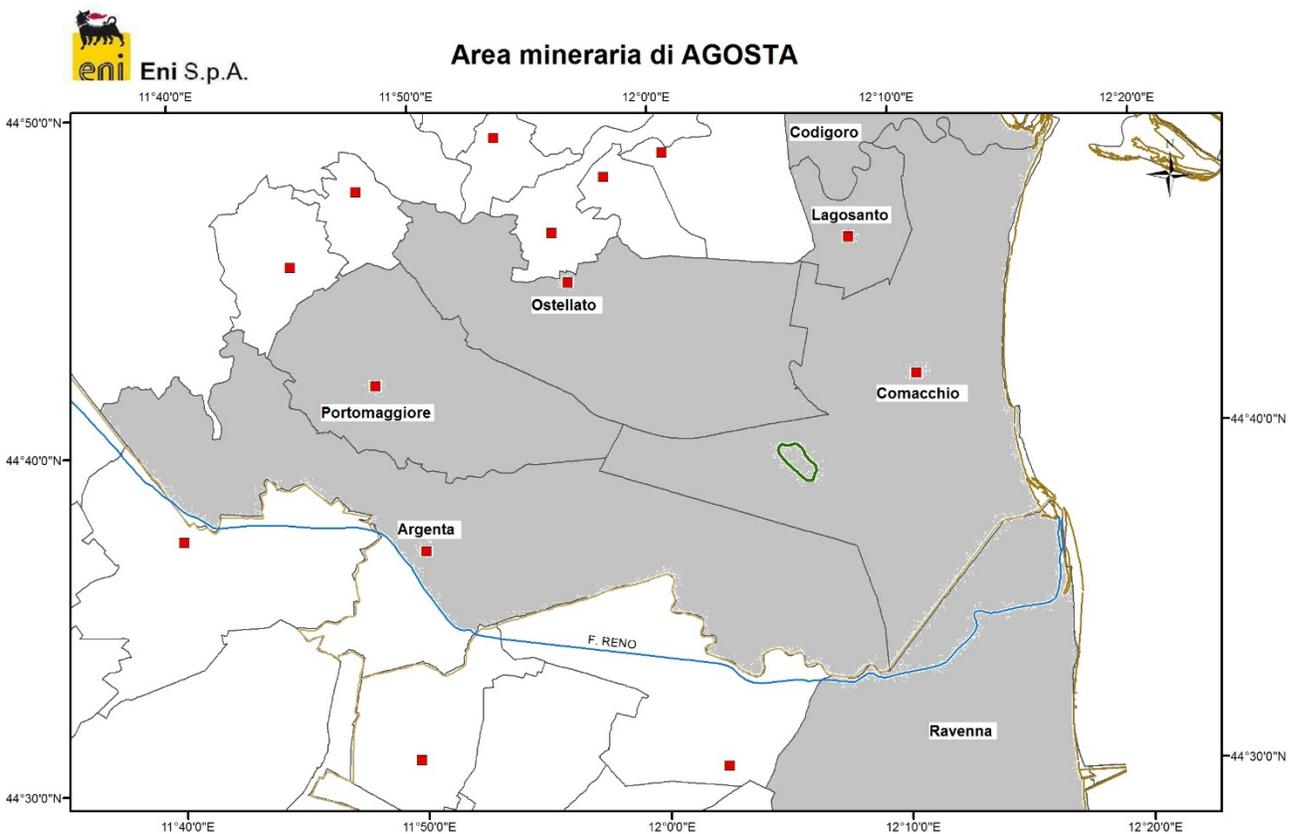


Fig. 20: limiti amministrativi dei comuni nell'area di interesse allo studio, in grigio.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 32 DI
63

In Fig. 21 viene riportata la classificazione delle zone Sismiche in Emilia Romagna come normato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio 3274/2003 e successive modifiche ed integrazioni e ratificato dalla Regione Emilia Romagna con Delibera della Giunta regionale n.1435 21/07/2003. Questa figura può essere messa a confronto con la mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata da INGV (Ordinanza PCM 28/04/2006 n. 3519, All. 1b), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Fig. 22).

Per determinare la classificazione dell'Emilia Romagna sono state utilizzate le stesse informazioni riportate nel capitolo precedente (cataloghi storici macrosismici e strumentali e informazioni geologiche-strutturali): nella zona dell'Appennino la sismicità risulta frequente e di media intensità, per tal motivo tutta l'area è stata classificata con un valore 2; in questa classificazione ricade anche il comune di Argenta per la presenza del sisma del 1624. I comuni al limite della Dorsale Ferrarese, invece, hanno avuto negli ultimi 1000 anni generalmente una sismicità scarsa e di bassa energia e sono quindi stati catalogati con valore 3.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 33 DI
63

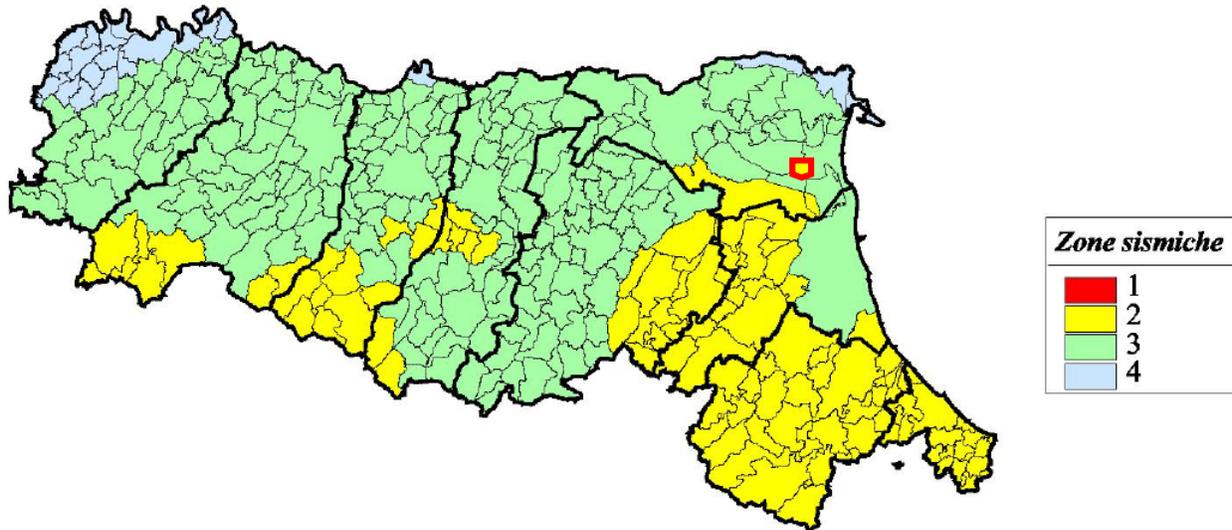


Fig. 21: classificazione sismica dell'Emilia Romagna (classificazione 3° zona: sismicità bassa). Da (D.G.R.E-R n. 1435). Il quadratino incorniciato di rosso indica la posizione del campo di Agosta.

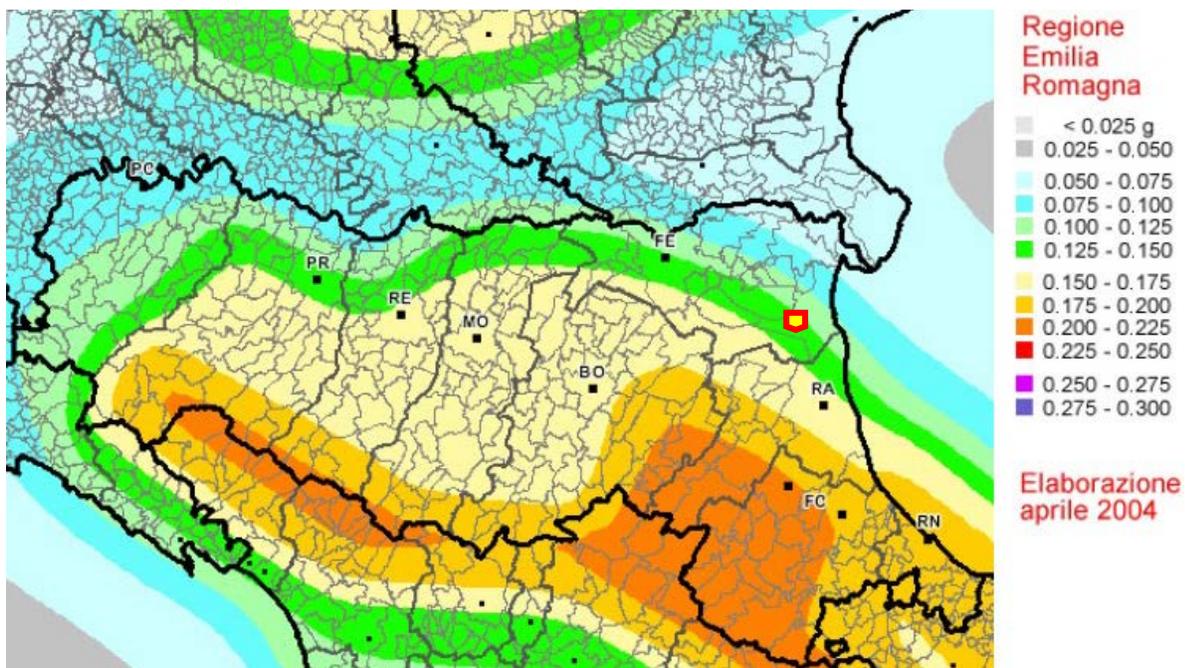


Fig. 22: valori di pericolosità sismica dell'Emilia Romagna (MPS04) origine INGV. Il quadratino incorniciato di rosso indica la posizione del campo di Agosta.



4.2.3 Analisi Statistiche

In Fig. 23 sono evidenziati i valori di pericolosità sismica per l'area di Comacchio e la probabilità di un evento forte in zona. Dalla Fig. 23A si ricava che la risposta massima in accelerazione prevista, riferita a suoli rigidi e pianeggianti, è di 0.150 g (colore verde, intervallo 0.125-0.150 g), con probabilità di superamento di questo valore del 10% in 50 anni. Questa informazione indica quanto si può prevedere essere forte a Comacchio il risentimento causato da terremoti, indipendentemente che gli epicentri siano vicini o lontani.

La Fig. 23B permette di valutare il contributo di diverse sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso (Spallarossa e Barani, 2007). Per Comacchio il contributo più alto (20%) è per un terremoto di magnitudo compresa tra M=4.5 e 5.0 ad una distanza di 0 - 10 km: a tale distanza ritroviamo (vedi paragrafo 4.1.1) il terremoto di Argenta del 1624.

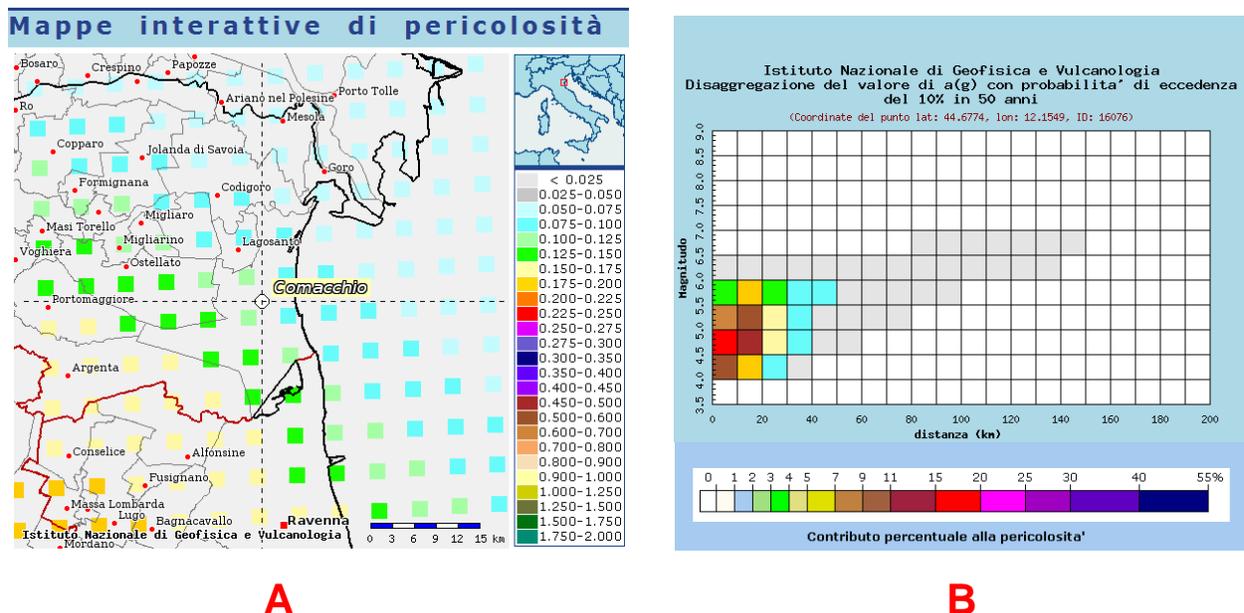


Fig. 23: A) pericolosità sismica nell'area di Comacchio, B) contributo percentuale alla pericolosità. (da INGV: dati on-line della pericolosità sismica in Italia).

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 35 DI 63

Si vuol sottolineare che le informazioni di accelerazione previste sono calcolate per suoli rigidi (velocità delle onde S a 30 m di profondità = 800 m/s), ma che tali valori devono essere ulteriormente corretti per situazioni diverse (D.M. 14/01/2008).

Le caratteristiche litologiche dell'area presa in considerazione sono ben lontane da una situazione di rigidità (vedi il capitolo 3.2 sulla geologia della zona), perché si tratta di una piana alluvionale caratterizzata da terreni riconducibili alle tipologie S1 e S2 del D.M.14/09/2005. Uno studio conoscitivo della Provincia di Ferrara per i 5 comuni di Argenta-Migliarino-Ostellato-Portomaggiore-Voghiera in vista della zonazione sismica è stato compiuto nel 2000. In esso viene descritta la situazione geologica dell'area coperta da questi comuni, che è molto simile a quella adiacente del Comune di Comacchio. Viene evidenziata che la presenza dei sedimenti quaternari (dell'ordine di 1000-4000 m, superiore a 2500 m per il pozzo Agosta 1) è possibile causa sia di attenuazione dell'energia sismica nel loro attraversamento, sia di locale amplificazione delle onde dovuta al passaggio dai corpi litologici più rigidi a quelli più sciolti. Inoltre gli strati superficiali saturi d'acqua possono dare adito a fenomeni di liquefazione in caso di terremoti con $M > 5$.

In Fig. 24 è riportata la carta tratta dal lavoro citato, che individua le aree di potenziale presenza di caratteri predisponenti a effetti di sito di tipo amplificazione e liquefazione. Da questa si può con buona approssimazione estrapolare i risultati anche all'area del permesso di Agosta, almeno per le informazioni in giallo (aree di terreni a scarse caratteristiche portanti).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 36 DI
63

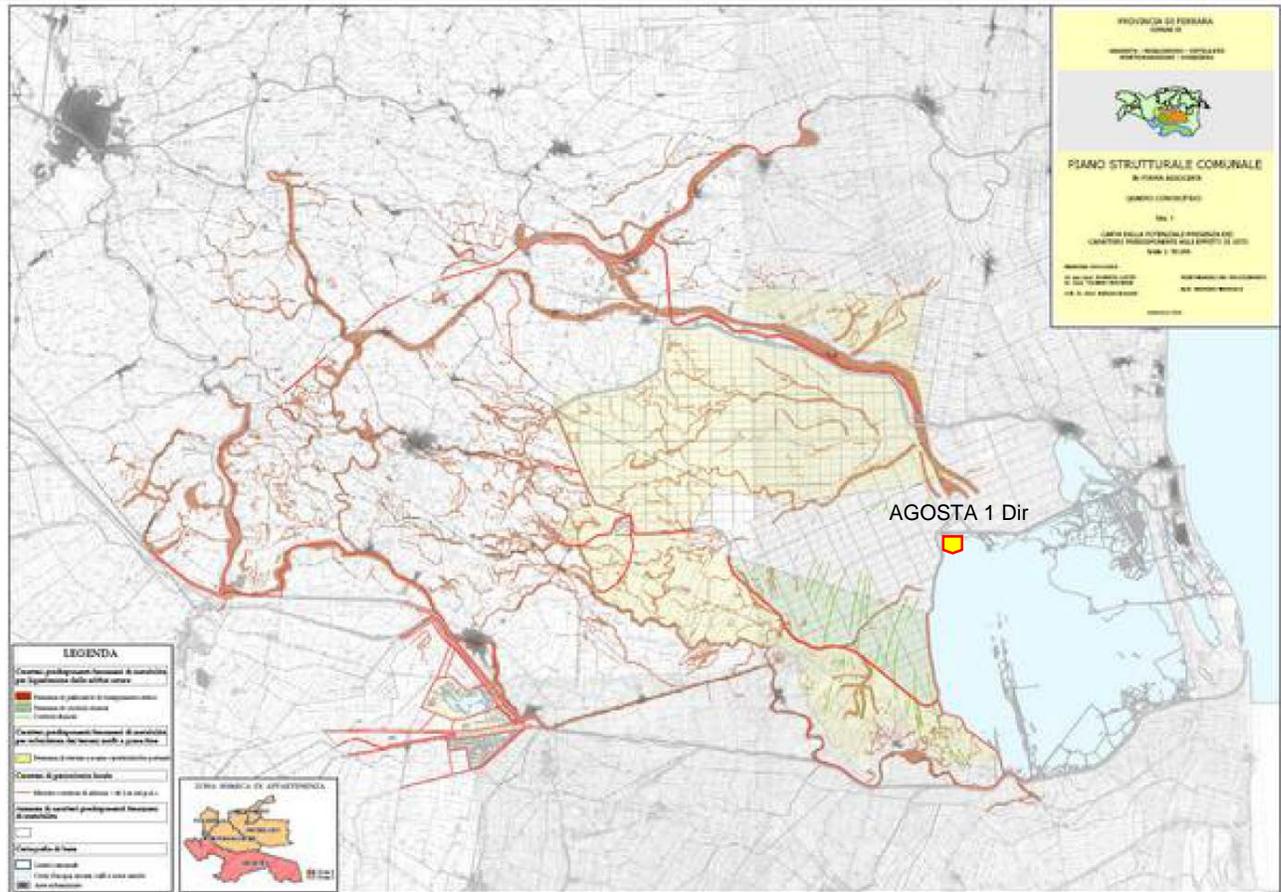


Fig. 24: carta della potenziale presenza dei caratteri predisponenti agli effetti di sito (da Quadro conoscitivo PSC, Capitolo B (2000)).

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 37 DI 63

5 Sismicità indotta/innescata da attività di estrazione

La letteratura sismologica utilizza comunemente i termini “indotto” e “innescato” per descrivere i terremoti causati da azioni umane. In alcune pubblicazioni entrambi i termini sono utilizzati come sinonimi; in altre, i terremoti “indotti” sono eventi in cui le attività antropiche sono responsabili della gran parte delle variazioni del campo di stress che genera la sismicità mentre nel caso i terremoti “innescati” le attività antropiche sono responsabili solo di una minima frazione delle variazioni del campo di stress tettonico pre-esistente che genera la sismicità, determinando il verificarsi del terremoto prima del suo accadimento naturale (McGarr et al., 2002).

In letteratura esiste un’ampia trattazione dell’argomento legato alle estrazioni di idrocarburi, con numerosi lavori che hanno raccolto la casistica per individuare quali sono le situazioni più frequenti in cui si attua un’attività indotta, quali i possibili meccanismi fisici che la determinano, quali le azioni preventive che possono essere messe in atto (Grasso, 1992; Suckale, 2009; The National Academies of Sciences, 2012).

In Italia il fenomeno ha avuto risalto pubblico a seguito della sequenza di terremoti verificatisi in Emilia Romagna nel 2012 nell’area modenese, dove a seguito dello studio eseguito dalla commissione ICHESE, era stata ipotizzata una possibile con causa nell’innescare della sequenza degli eventi sismici da attività estrattive e geotermiche presenti nell’area. La commissione concludeva così “...*Lo studio effettuato non ha trovato evidenze che possano associare la sequenze sismica del maggio 2012 in Emilia alle attività operative svolte nei campi di Spilamberto, Recovato, Minerbio e Casaglia, mentre non può essere escluso che le attività effettuate nella Concessione di Mirandola (Cavone) abbiano potuto contribuire a innescare la sequenza.*” (da: *Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region*, International Commission On Hydrocarbon Exploration And Seismicity In The Emilia Region,2014).

A seguito quindi delle raccomandazioni fornite dal rapporto ICHESE è stata avviata una attività di monitoraggio e ricerca al fine di fornire una risposta esaustiva per il campo di Cavone (Laboratorio Cavone). In particolare, il programma delle prove ha consentito di raccogliere un numero esaustivo di informazioni la cui elaborazione ha permesso di verificare l'assenza di interferenze derivanti dall'attività di reiniezione.

Contemporaneamente altri studi hanno avallato che i terremoti dell’Emilia del 2012 non sono correlabili con l’attività estrattiva di idrocarburi e con quella di iniezione d’acqua nel giacimento di Cavone, in particolare lo studio “*On the Potential for Induced Seismicity at*

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 38 DI 63

che Cavone Oilfield: Analysis of Geological and Geophysical Data, and Geomechanical Modeling" (Astiz, 2014), validato dall'INGV, e il lavoro di Dahm et al, 2015.

Nei lavori già indicati, che hanno fatto una sintesi di quanto presente in letteratura sulla sismicità indotta nelle vicinanze di campi di idrocarburi, sono riportati circa una settantina di casi con presenza di sismi con Magnitudo > 0. In Fig. 25, estratta dal testo del National Academies Sciences, sono riportati i casi per Estrazione di Olio e gas (38), per iniezione d'acqua per recuperi secondari (27) e per fratturazione idraulica in shale gas (2). Nel presentare l'elenco gli autori sottolineano che non necessariamente la sismicità registrata vicino ai giacimenti di idrocarburi elencati è di tipo indotto o innescato. Per alcuni casi è generalmente riconosciuta una connessione (es Lacq, Francia), mentre per altri (in particolare: Coalinga, Kettleman e campi Montebello, California) la questione è ancora controversa o la relazione causa/effetto è addirittura improbabile.



Site/City/State	Country	Max Magnitude	Technology type (causing induced seismicity)	Reference
Aknaar	Netherlands	3.5	Oil and gas extraction	Giardini (2011)
Apollo Hendrick Field, Texas	USA	2	Secondary recovery	Doser et al. (1992)
Assen	Netherlands	2.8	Oil and gas extraction	Grasso (1992)
Barsa-Gelmes-Wishka Oilfield	Turkmenistan	6	Secondary recovery	Kouznetsov et al. (1994)
Bergermeer Field	Netherlands	3.5	Oil and gas extraction	van Eck et al. (2006)
Blackpool	UK	2.3	Hydraulic fracturing	de Pater and Baisch (2011)
Catoosa, Oklahoma ¹	USA	4.7	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Cleburne, Texas	USA	2.8	Oil and gas extraction	Howe et al. (2010)
Coalinga, California	USA	6.5	Oil and gas extraction	McGarr (1991)
Cogdell Canyon Reef, Texas	USA	4.6	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Cold Lake, Alberta	Canada	2	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Dan	Denmark	4	Oil and gas extraction	Grasso (1992)
Dollarhide, Texas	USA	3.5	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Dora Roberts, Texas	USA	3	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
East Durant, Oklahoma	USA	3.5	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
East Texas, Texas	USA	4.3	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Ekofisk	Norway	3.4	Oil and gas extraction	Grasso (1992)
El Reno, Oklahoma ⁴	USA	5.2	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Eola field, Oklahoma	USA	2.8	Hydraulic fracturing	Holland (2011)
Fashion, Texas	USA	3.4	Oil and gas extraction	Grasso (1992)
Fort St. John, British Columbia	Canada	4.3	Secondary recovery	Horner (1994)
Gazli	Uzbekistan	7.3	Oil and gas extraction	Adushkin et al. (2000)
Gobles Field, Ontario	Canada	2.8	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Goose Creek, Texas	USA	unknown ⁵	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Groningen Field	Netherlands	3	Oil and gas extraction	van Eck et al. (2006)
Grozny	Caucasus (Russia)	3.2	Oil and gas extraction	Guha (2000)
Gudermes	Caucasus (Russia)	4.5	Oil and gas extraction	Smirnova (1968)
Hunt field, Mississippi	USA	3.6	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Imogene Field, Texas	USA	3.9	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1990)
Inglewood Oil Field, California	USA	3.7	Secondary recovery	Craig Nicholson and Robert L
Kermit Field, Texas	USA	4	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Kettleman North, California	USA	6.1	Oil and gas extraction	McGarr (1991)
Keystone I Field, Texas	USA	3.5	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Keystone II Field, Texas	USA	3.5	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Kuwait	Kuwait	4.7	Oil and gas extraction	Bou-Rabee (1994)
Laeg	France	4.2	Oil and gas extraction	Grasso and Wirtlinger (1990)
Lake Charles, Louisiana ⁶	USA	3.8	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1990)
Lambert Field, Texas	USA	3.4	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Love County, Oklahoma ⁷	USA	2.8	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Love County, Oklahoma	USA	1.9	Oil and gas extraction (hydraulic fracturing for conventional oil and gas development)	Nicholson and Wesson (1990)
Monahans, Texas	USA	3	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Montebello, California	USA	5.9	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Northern Panhandle, Texas	USA	3.4	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Petroleum field	Oman	2.1	Oil and gas extraction	Sze (2005)
Orcutt Field, California	USA	3.5	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Rangely, Colorado	USA	3.1	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1990)
Renju oil field	China	4.5	Secondary recovery	Genmo et al. (1995)
Richland County, Illinois ⁸	USA	4.9	Oil and gas extraction	Nicholson and Wesson (1992)
Rocky Mountain House, Alberta	Canada	3.4	Oil and gas extraction	Wetmiller (1986)
Romashkino, Tartarstan	Russia	4	Secondary recovery	Adushkin et al. (2000)
Rongchang, Chongqing	China	5.2	Oil and gas extraction	Lei et al. (2008)
Roswinkel Field	Netherlands	3.4	Oil and gas extraction	van Eck et al. (2006)
Rotenburg	Germany	4.5	Oil and gas extraction	Giardini (2011)
Shandong	China	2.4	Secondary recovery	Shouzhong (1987)
Sleepy Hollow, Nebraska	USA	2.9	Oil and gas extraction	Rothe and Lul (1983)
Snipe Lake	Canada	5.1	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
South Texas	USA	3.9	Oil and gas extraction	Pennington et al. (1986)
South-central Texas	USA	4.3	Oil and gas extraction	Davis et al. (1995)
Southern Alabama	USA	4.9	Secondary recovery	Gomberg and Wolf (1999)
Starogrozenskoe Oilfield	Russia	4.7	Oil and gas extraction	Kouznetsov et al. (1994)
Strachan, Alberta	Canada	3.4	Oil and gas extraction	Grasso (1992)
Valhall and Ekofisk Oilfields	Norway	unknown ¹²	Secondary recovery	Zoback and Zinke
War Wink Field, Texas	USA	2.9	Oil and gas extraction	Doser et al. (1992)
Ward-Estes Field, Texas	USA	3.5	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
Ward-South Field, Texas	USA	3	Secondary recovery	Nicholson and Wesson (1992)
West Texas	USA	3.1	Oil and gas extraction	Keller et al. (1987)
Whittier Narrows, California	USA	5.9	Oil and gas extraction	McGarr (1991)
Wilmington Field, California	USA	3.3	Oil and gas extraction	Kovach (1974)

Fig. 25: Elenco dei casi di sismicità indotta per estrazione di Olio e gas, per iniezione d'acqua per recuperi secondari e per fratturazione idraulica in shale gas (Modificato da Appendice C, National Academies Sciences, 2013).

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 40 DI 63

In Fig. 26 sono riportati tutti i principali giacimenti a gas nell'area di studio del Giacimento di Agosta sulla mappa degli eventi sismici con magnitudo > 2.

Nei limiti dell'errore delle ubicazioni epicentrali, il confronto tra distribuzione della sismicità strumentale e la posizione dei campi a gas suggerisce sia l'assenza di apprezzabili attività sismiche naturali che di significativi fenomeni di sismicità legata alla produzione dei giacimenti, come peraltro evidenziato anche in Fig. 27 (Mucciarelli et al., 2015). Infatti, in questa figura è possibile osservare che in corrispondenza delle faglie sismogenetiche individuali (ISS, rettangoli arancioni), responsabili dei forti sismi avvenuti negli ultimi secoli, sono presenti essenzialmente pozzi sterili (in verde). Ciò infatti indicherebbe che le ISS possono essere in grado di compromettere l'integrità dei serbatoi sovrastanti. Parte dei pozzi produttivi (in viola) sono invece in corrispondenza delle faglie sismogenetiche composite (CSS, strutture in giallo), ossia regioni allungate contenenti un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche allineate che non possono essere individuate singolarmente. Le CSS non sono associate ad uno specifico insieme di terremoti o ad una distribuzione di terremoti, ma indicano un'area di possibile deformazione basata su dati geologici, geofisici e su vincoli storici: anticlinali più piccole, in quanto legate a thrust più superficiali, non sarebbero in grado di compromettere i serbatoi sovrastanti.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 41 DI
63



Campo di AGOSTA
Sismicità nel periodo 1981 - 2015

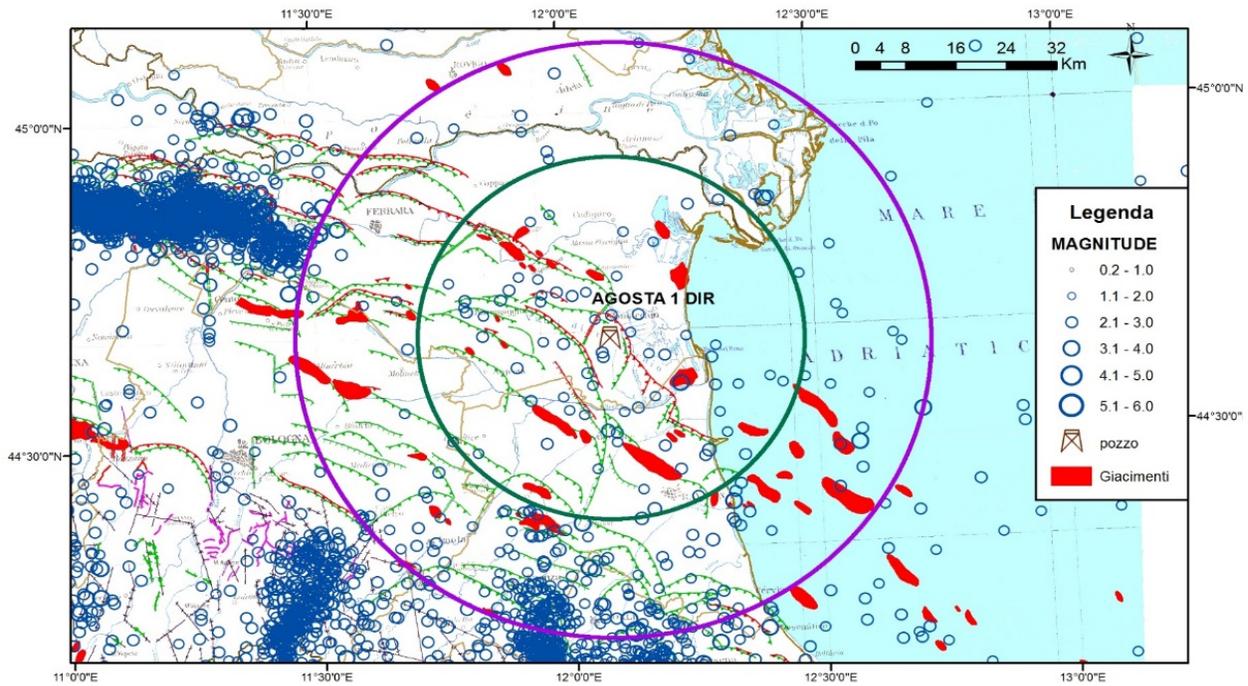


Fig. 26: Sismicità con magnitudo >2 ed ubicazione dei giacimenti a gas

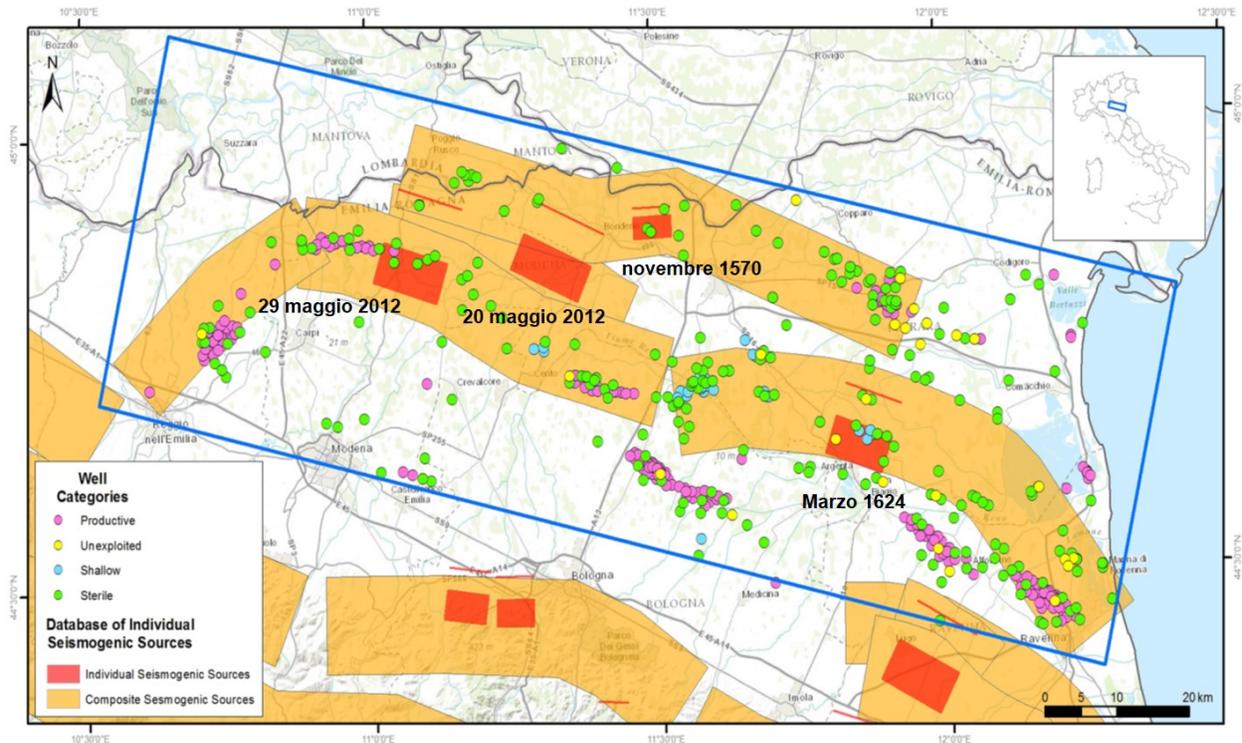


Fig. 27: ubicazione dei pozzi produttivi (in viola), sterili (in verde), non sfruttati (in giallo) e poco profondi (in azzurro) sopra le Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) e le Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS) (Modificato da Mucciarelli et al., 2015). Le ISS rappresentano le sorgenti dei quattro terremoti più forti accaduti negli ultimi cinque secoli: 29 maggio 2012 (Mw 6.1), 20 maggio 2012 (Mw 6.0), 11 novembre 1570 (Mw 5.5) e 19 marzo 1624 (Mw 5.7), da ovest ad est, rispettivamente.

Come già descritto nel paragrafo 3.2, la struttura di Agosta è costituita da un anticlinale con asse principale orientato NO-SE con chiusura a SO per faglia e per semplice pendenza sui rimanenti 3 lati (Fig. 28).

La struttura si forma scollandosi sulla formazione Gessoso Solifera messiniana e non interessa i sottostanti carbonati mesozoici, scaricando gli stress tettonici nella successione sabbiosa argillosa plio-pleistocenica con una struttura di tipo plicativo.

Le geometrie prive di deformazioni dei riflettori sismici ascrivibili alle torbiditi pleistoceniche e soprattutto quelle dei riflettori alla base delle sovrastanti progradazioni del paleo-Po evidenziando che la struttura di Agosta è inattiva da oltre 500 mila anni.

Le stesse considerazioni possono essere fatte analizzando le sezioni sismiche della Figura 29 che mostrano un transetto passante attraverso le strutture di Mezzano-Agosta e Valle Lepri.

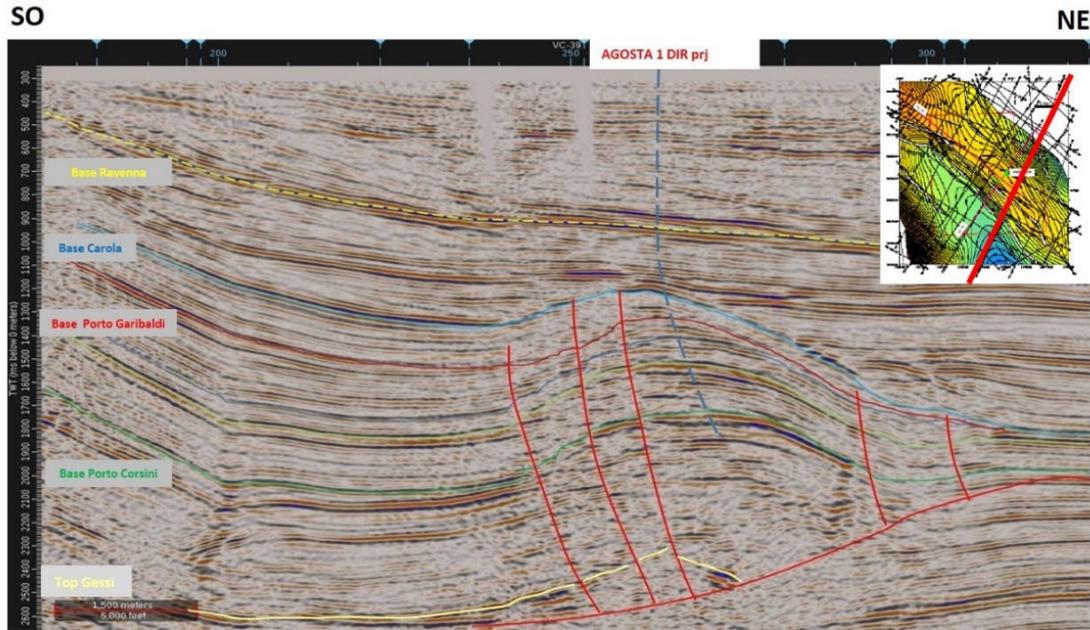


Fig. 28 Linea sismica in tempi doppi sulla struttura di Agosta. In giallo tratteggiato la base delle progradazioni del paleo Po ed in giallo chiaro alla base della sezione i Gessi della formazione Gessoso Solifera messiniana.

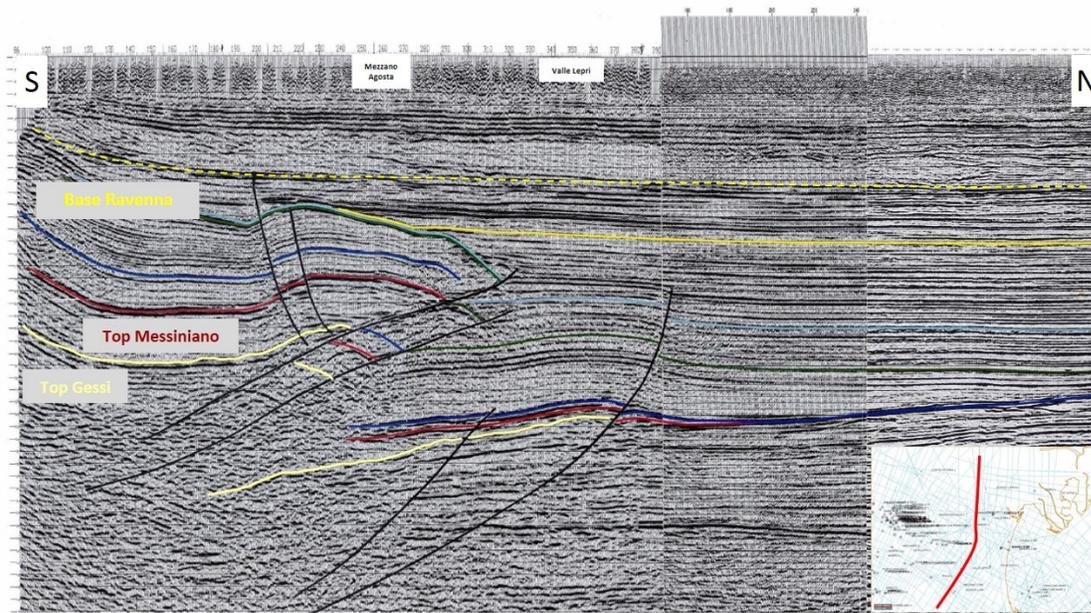


Fig. 29 Transetto di linee sismiche in tempi doppi passante sulle strutture sulla struttura di Mezzano – Agosta e di Valle Lepri. E' ben visibile lo scollamento tettonico sui gessi messiniani.



Sempre nei limiti delle ubicazioni epicentrali disponibili in letteratura, anche i più importanti eventi storici, in particolare i terremoti di Argenta e Alfonsine, geograficamente prossimi ad Agosta, sono in realtà collocati in strutture che coinvolgono intensamente la successione carbonatica. La Figura 30 mostra l'ubicazione di questi sismi ubicati in una porzione sud occidentale rispetto ad Agosta; tali eventi sono localizzati in prossimità di rampe strutturali impostate in successioni carbonatiche. Le caratteristiche geomeccaniche di tali rocce determinano un maggior accumulo di stress meccanico da sforzo tettonico lungo i piani di faglia, rispetto alla successione terrigena che caratterizza invece il campo di Agosta e le relative faglie frontali.

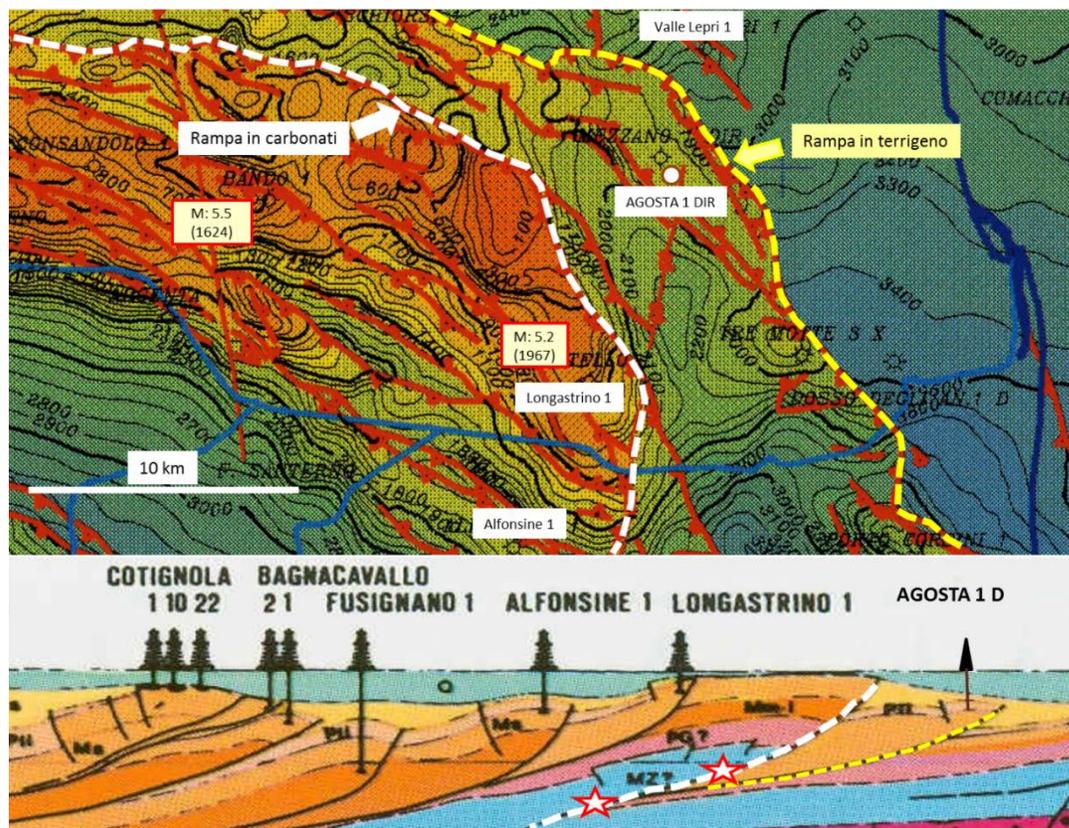


Fig. 30: In alto: mappa strutturale della base del Pliocene (in tempi doppi) dell'area orientale della Dorsale Ferrarese, con i principali lineamenti tettonici. A est di Longastrino-Alfonsine è presente un'importante linea trasversale ad orientamento NNE-SSW, che separa la Dorsale Ferrarese, dai fronti della costa romagnola.

In basso: sezione geologica (da Cati et al., 1987), passante per Agosta. La struttura di Agosta costituisce lo splay più esterno della Dorsale di Longastrino-Consandolo. Le stelle indicano i probabili ipocentri dei terremoti storici citati nel testo. In azzurro sono rappresentati i depositi carbonatici mesozoici.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 45 DI 63

5.1 Cause legate all'estrazioni di fluidi responsabili dell'innescio di un evento sismico

Per quanto riguarda l'estrazione di idrocarburi dal sottosuolo i meccanismi riconosciuti in letteratura che possono innescare un evento sismico sono legati principalmente alla variazione dello sforzo di Coulomb; questa variazione può verificarsi a seguito di:

- Iniezione di fluidi e fratturazione idraulica (fracking);
- Effetti poro-elastici legati all'estrazione di fluidi;
- Disequilibrio isostatico indotto dalla estrazione di quantità di fluidi.

Lo sfruttamento del campo di Agosta non prevede l'iniezione di fluidi, per cui gli effetti non verranno qui considerati. Il fracking, ovvero la frantumazione delle "rocce madri", non ha ragione di essere in Italia e nella gran parte del continente europeo in quanto le caratteristiche sedimentologiche e petrofisiche delle rocce madri nel contesto geologico italiano non permettono l'applicazione della tecnica del fracking. La tecnica è inoltre vietata nell'*Art 38,- comma 11-quater* del decreto legge n. 133/2014 (Sblocca Italia.)

Effetti poro elastici legati all'estrazione di fluidi

Usando la teoria della poro-elasticità, Segall (1985, 1989) mostra che la rimozione di fluidi da una formazione reservoir provoca delle variazioni volumetriche che indurranno sforzi direttamente nelle regioni circostanti il reservoir stesso. Segall (1989, 1992) e Grasso (1992) suggeriscono che il meccanismo potrebbe coinvolgere numerosi esempi di aree sismiche circostanti o al di sotto di aree petrolifere nel mondo.

Il meccanismo dell'estrazione di fluidi causa un decremento della pressione di poro ed una conseguente contrazione del reservoir con relativa subsidenza associata.

Se il reservoir è accoppiato elasticamente con le rocce circostanti questa contrazione genera il trasferimento di stress poro-elastico alle aree adiacenti, inducendo lo sviluppo di terremoti.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 46 DI 63

Il fenomeno tende a svilupparsi nella zona del giacimento (entro c.a. 5 km) sopra e sotto il reservoir con $M \leq 5$, con un ritardo temporale variabile tra i 5 ed i 20 anni dall'inizio produzione.

La sismicità indotta dallo sfruttamento dei giacimenti è inoltre ben documentata.

Nella letteratura le caratteristiche principali dei campi esaminati sono le seguenti:

- ✓ i campi hanno una subsidenza totale anche dell'ordine dei 9 m (Wilmington field, Long Beach California) e comunque sempre superiori a diverse decine di centimetri;
- ✓ la geologia dei campi esaminati mostra la presenza di formazioni competenti al di sopra od al disotto del reservoir (*Lacq* Francia - carbonati; *Ekofisk*, Norvegia - gessi; *Fashing*, Texas - carbonati);
- ✓ i giacimenti hanno inoltre dimensioni e produzioni anche di due ordini di grandezza superiori al giacimento di Agosta. (*Ekofisk*, Norvegia; *Groningen*, Olanda; *Lacq*, Francia) come immediatamente visibile in Fig. 28.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 47 DI
63

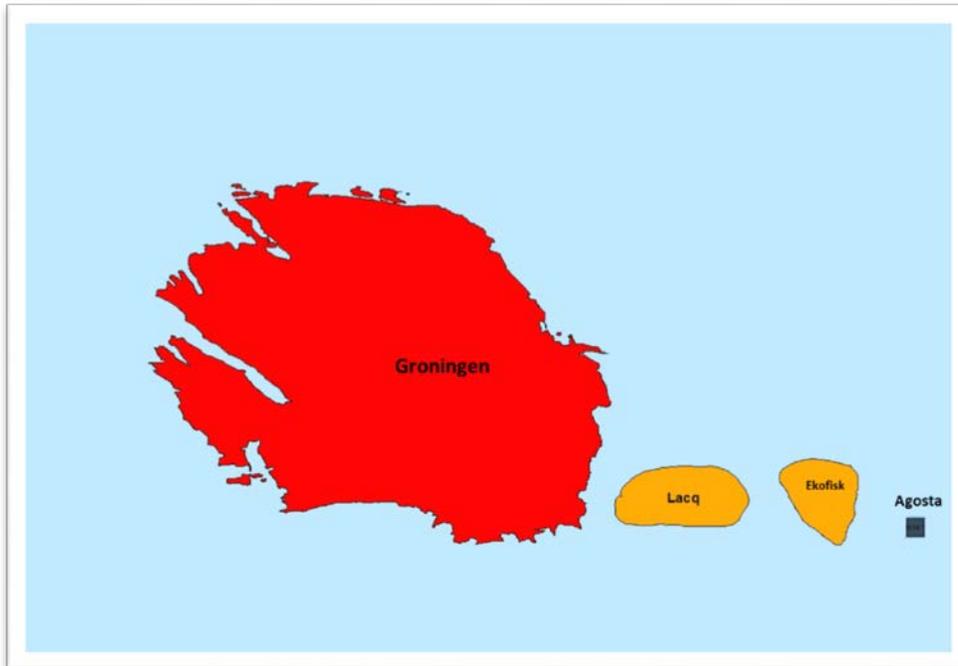


Fig. 28: Rappresentazione in scala di alcuni campi in cui è stata osservata sismicità, confrontati con il campo di Agosta.

Le caratteristiche del campo di Agosta sono profondamente diverse da quelle evidenziate nei campi studiati da Segall e Grasso; lo studio geomeccanico ed il relativo modello di subsidenza (Doc. n°SICS_210_Appendice C allegato al SIA) mostrano valori di massima subsidenza relativi allo scenario medio di 7 cm a fine produzione del campo.

La struttura di Agosta è inoltre inserita nella successione plio-pleistocenica della pianura padana che ha litologie solamente argillose e sabbiose e non presenta nel suo intorno formazioni rigide su cui le variazioni poro-elastiche possono amplificare il loro effetto (vedi paragrafo 3.2). La produzione attesa è inferiore ai 500 milioni di Sm³, anche di due ordini di grandezza inferiore ai casi considerati in letteratura.

Inoltre come già evidenziato precedentemente l'analisi della distribuzione della sismicità strumentale nell'area di Agosta, nei limiti dell'errore delle ubicazioni epicentrali, suggerisce sia l'assenza di apprezzabili attività sismiche naturali che di significativi fenomeni di sismicità indotta legata alla produzione dei giacimenti limitrofi.

Per il campo di Agosta sono quindi da considerare estremamente improbabili effetti percepibili causati da variazioni poro-elastiche.



Disequilibrio isostatico indotto dalla estrazione di fluidi

Il meccanismo del disequilibrio isostatico è stato proposto da McGarr (1991). L'idea alla base è che l'estrazione di fluidi da un giacimento produce la rimozione di una massa che genera un assestamento isostatico che può indurre un evento sismico.

I casi esaminati nella letteratura contemplan rimozioni di massa dell'ordine degli $1-2 \times 10^{11}$ kg (Fig. 29). Appare quindi evidente che gli effetti dovuti a disequilibrio isostatico sono riferiti a variazioni di massa ingenti, legate a giacimenti di grandi dimensioni.

SEISMIC DEFORMATION AND LIQUID EXTRACTION FROM OIL FIELDS									
Earthquake Sequence	Oil Field	M_0	ΣM_0	Net Liquid	Δm	γ	$\frac{\Sigma \mu \Delta m \gamma}{\rho_c}$	$M_0 / \frac{\Sigma \mu \Delta m \gamma}{\rho_c}$	$\Sigma M_0 / \frac{\Sigma \mu \Delta m \gamma}{\rho_c}$
		N-m	N-m	Removed m^3 ^a	kg		N-m		
Coalinga 1983	Coalinga	3.95×10^{18}	5.36×10^{18}	2.7×10^{8a}	2.7×10^{11}	0.69	4.14×10^{18}	0.95	1.29
Kettleman N. Dome 1985	Kettleman N. Dome	1.7×10^{18b}	1.74×10^{18}	1.23×10^{81}	1.23×10^{11}	0.60	1.62×10^{18}	1.05	1.07
Whittier Narrows 1987	Montebello	1.0×10^{18c}	1.13×10^{18f}	1.35×10^{82}	1.35×10^{11}	0.38	1.14×10^{18}	0.88	0.99

^aFrom Segall (1985).
^bVery broadband estimate by Ekström (1987).
^cConservation Committee of California Oil Producers (1983-1987); California Division of Oil and Gas (1927-1987).
^dHauksson *et al.* (1988).
^eHauksson and Jones (1989).
^fNet liquid produced is given by: oil + water produced - water injected. In the case of the Montebello field, the total water produced was estimated from California Division of Oil and Gas statistics indicating the fraction of water in the annual produced liquid for the years 1924 to 1987.

Fig. 29: tabella riassuntiva dei volumi estratti di liquidi per i campi riportati da McGarr (modificato da McGarr, 1991)

Anche questa teoria è quindi difficilmente applicabile ai campi a gas italiani ed in particolare al campo di Agosta, il cui emungimento porterebbe ad una rimozione di massa di $3,55 \times 10^8$ kg, valore di tre ordini di grandezza inferiore alla masse considerate nello studio di McGarr.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 49 DI 63

6 Struttura della rete microsismica

6.1 Geometria della rete microsismica

Le LG definiscono 2 volumi di sottosuolo circostante il giacimento: il Dominio Interno di rilevazione (DI) e il Dominio Esteso di rilevazione (DE). L'estensione di tali domini è determinata dalle caratteristiche geometriche e produttive del giacimento da controllare.

Tali domini servono ai fini della progettazione della rete. A questo proposito si sottolinea che l'idoneità della rete alle LG non sarà valutata sulla base di parametri geometrici o strumentali, ma dei seguenti requisiti prestazionali:

- 1) Rilevare e localizzare nel DI terremoti a partire da magnitudo locale inferiore a 1 ed incertezza di localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri.
- 2) Nel DE migliorare di circa 1 unità la magnitudo di completezza (M_c) delle reti nazionali, con incertezza di localizzazione dell'ipocentro entro circa 1 km.
- 3) Determinare l'accelerazione e la velocità del suolo sui punti di misura.
- 4) Integrarsi con altre reti di monitoraggio esistenti.

All'interno dei domini sopra indicati le stazioni della rete andranno ubicate in modo da soddisfare alcune indicazioni geometriche date nelle LG.

La rete in oggetto dovrà controllare l'attività produttiva sul campo a gas di Agosta, il cui giacimento si trova a una profondità inferiore a 2000 m l.m. Nel campo non è prevista la reiniezione d'acqua.

Sulla base di tali caratteristiche e delle indicazioni delle LG, sono individuati i seguenti parametri significativi ai fini della progettazione (profondità da livello mare):

- $Z_{gwc} = 2$ km profondità massima del giacimento
- $DI = 3$ km estensione del DI oltre il giacimento
- $DE = 5$ km estensione del DE oltre il DI
- $Z_i = 5$ km profondità massima del DI



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 50 DI
63

- $Z_e = 10$ km profondità massima del DE
- $DS_i \leq 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DI
- $DSE > 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DE
- $M_c < 1.5$ magnitudo di completezza richiesta nel DE

La M_c è determinata sulla base delle mappe contenute nella Figura 3 di Schorlemmer et al. (2010) in cui si osserva che la M_c della Rete Sismica Nazionale per la zona di Agosta è compresa tra 2 e 2.5.

Nella Fig. 30 è riportata un'immagine da satellite su cui sono indicati il campo di Agosta e i limiti del DI e del DE calcolati secondo i dati sopra riportati. Le dimensioni massime dell'area di monitoraggio sono 17x19 km. Si osserva che tutto il settore sud-orientale è occupato dalle Valli di Comacchio e quindi risulta difficile poter ubicare delle stazioni in tale aree.

In aggiunta, tutta l'area d'interesse è soggetta a intensa attività agricola e i suoli, come risulta dagli studi dei capitoli precedenti, sono spesso saturi d'acqua. Quindi, sarà necessario individuare siti che permettano l'installazione in modo adeguatamente protetto, soprattutto per i sensori.

Al momento non sono stati effettuati sopralluoghi di campo, ma è stata solo definita la configurazione geometrica della rete e le zone dove cercare i siti idonei per l'installazione. Nella Fig. 31 sono individuate tramite l'indicatore giallo le zone di possibile installazione. Si tratta di posizioni assolutamente indicative che nella fase di progettazione della rete andranno esaminate con sopralluoghi di dettaglio per individuare i siti più idonei sia dal punto di vista logistico (accessibilità, patrimoniale ...) che operativo (rumore, segnale telefonico, illuminazione solare).

La rete proposta risulta formata da 7 stazioni, 3 nel DI e 4 nel DE con una copertura azimutale completa intorno al campo. Nella parte sud-orientale essa sarà ottenuta sia cercando di mantenere le 2 ubicazioni ADIS e ADIE (Fig. 31 ragionevolmente a ridosso della valle di Comacchio, sia utilizzando l'ubicazione ADES. Quest'ultima si trova all'interno della valle e per la sua installazione si valuterà la possibilità di utilizzare la piazzola del pozzo Tremotte-3X ivi localizzato. Se tale soluzione sarà possibile, si otterrà un punto di misura estremamente utile all'interno della valle.

La stazione ADEN è stata aggiunta per tenere conto che verso NO è ubicata buona parte della sismicità più recente rilevata vicino al campo (Fig. 12).



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 51 DI
63

Il numero di stazioni ipotizzato, su un'area così ristretta, consentirà di avere ridondanza, utile per garantire il corretto svolgimento del monitoraggio anche in presenza di malfunzionamenti di alcune stazioni.

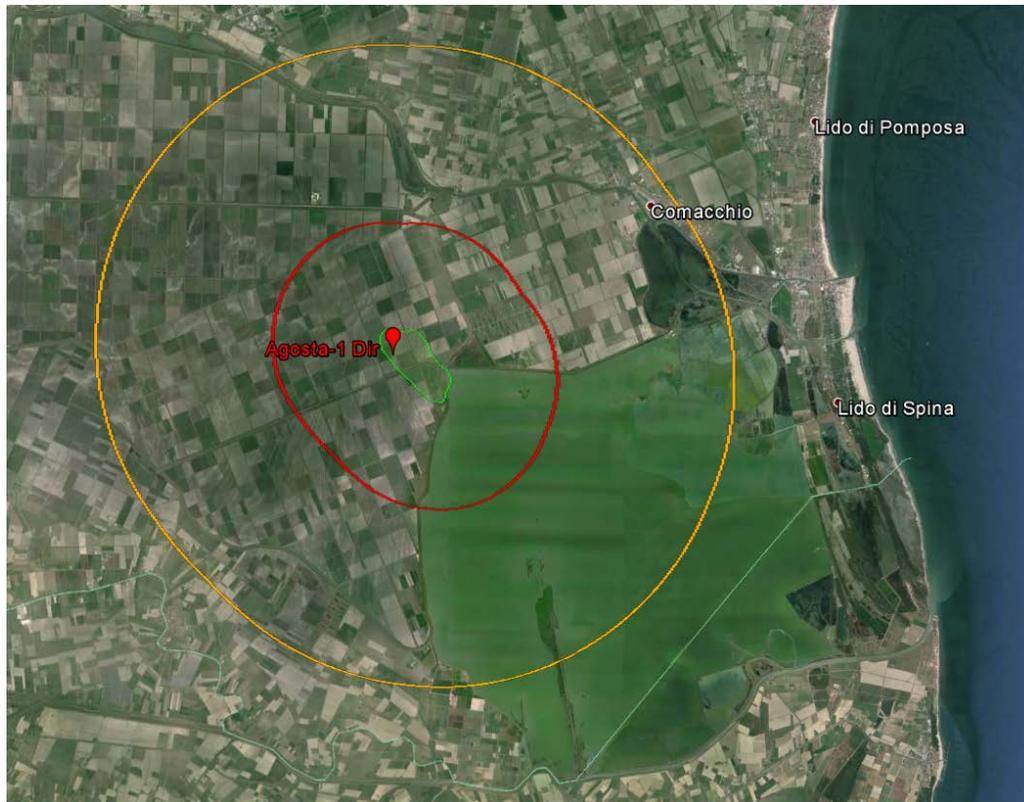


Fig. 30: immagine da satellite del campo di Agosta con indicata la posizione del pozzo Agosta-1 Dir. In rosso è indicato il limite del DI e in arancio il limite del DE.

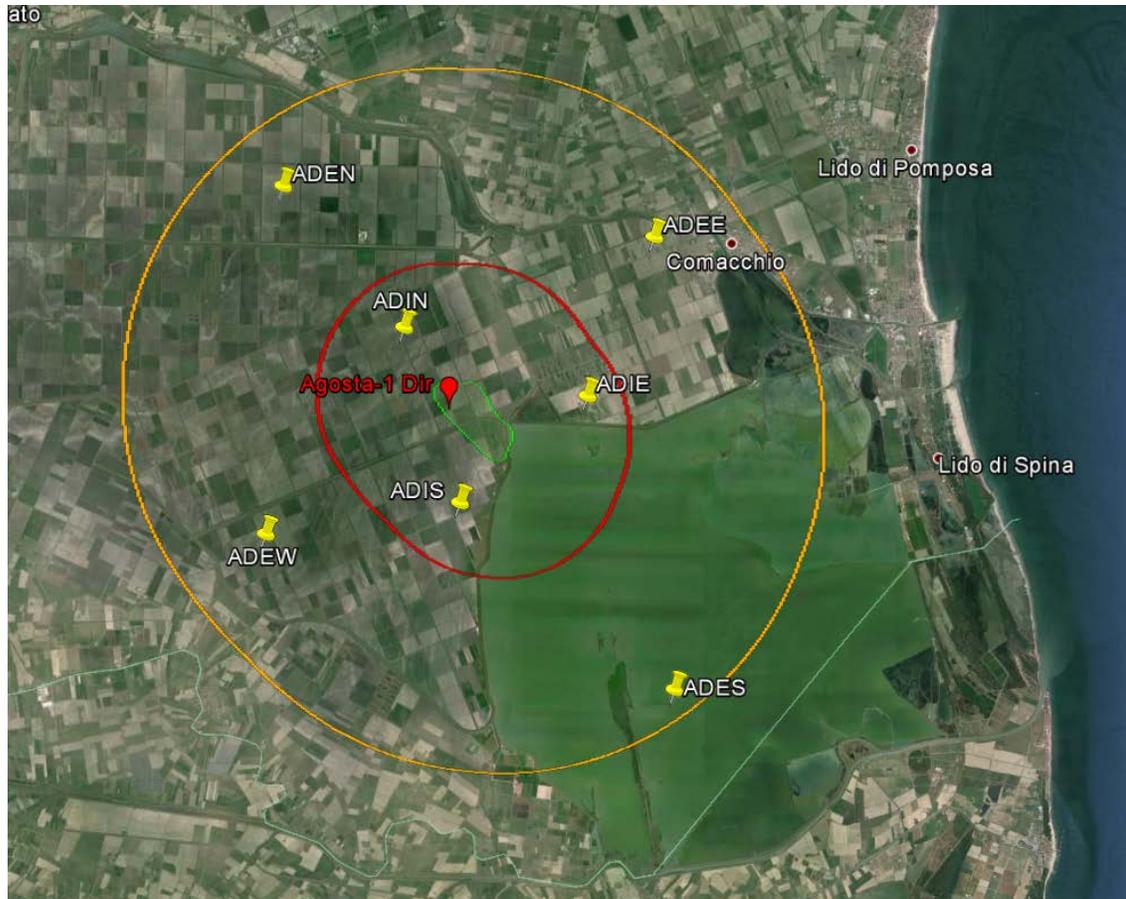


Fig. 31: immagine da satellite del campo di Agosta con indicata la posizione delle possibili zone dove ubicare le stazioni microsismiche.

Nella Tabella 4 sono riportate le distanze indicative tra tutte le possibili zone d'ubicazione e anche dal pozzo Agosta-1 Dir, mentre nella Tabella 5 sono indicate le distanze solo tra quelle adiacenti. Si possono fare le seguenti considerazioni:

- 1) La distanza massima tra due ubicazioni è di circa 16 km (ADEN-ADES).
- 2) La distanza minima tra due ubicazioni è di circa 5 km (ADIS-ADIE).
- 3) L'interdistanza nel DI è inferiore a 5 km.
- 4) L'interdistanza nel DE è inferiore a 12 km.
- 5) La distanza massima dal pozzo è di circa 9.5 km.
- 6) Entro 3 km circa dal pozzo ci sono 3 ubicazioni.



Ubicazione	ADEE	ADEN	ADES	ADEW	ADIE	ADIN	ADIS	Agosta-1Dir
ADEE		9.6	11.6	12.5	4.4	6.8	8.4	6.6
ADEN	9.6		16.4	9	9.5	4.7	9.3	6.9
ADES	11.6	16.4		11.3	7.9	11.7	7.3	9.5
ADEW	12.5	9	11.3		9	6.4	5	6
ADIE	4.4	9.5	7.9	9		5	4.3	3.2
ADIN	6.8	4.7	11.7	6.4	5		4.7	2.1
ADIS	8.4	9.3	7.3	5	4.3	4.7		2.9
Agosta-1Dir	6.6	6.9	9.5	6	3.2	2.1	2.9	

Tabella 4: distanze in km tra le possibili ubicazioni delle stazioni microsismiche di Agosta. Sono indicate anche le distanze dal pozzo Agosta-1Dir.

Ubicazione	ADEE	ADEN	ADES	ADEW	ADIE	ADIN	ADIS	Agosta-1Dir
ADEE		9.6	11.6		4.4	6.8		
ADEN	9.6			9		4.7		
ADES	11.6			11.3	7.9		7.3	
ADEW		9	11.3			6.4	5	
ADIE	4.4		7.9			5	4.3	3.2
ADIN	6.8	4.7		6.4	5		4.7	2.1
ADIS			7.3	5	4.3	4.7		2.9
Agosta-1Dir					3.2	2.1	2.9	

Tabella 5: come Tabella 4 ma solo tra le ubicazioni adiacenti.

6.2 Strumentazione

Conformemente alle indicazioni delle LG, le stazioni saranno equipaggiate nel seguente modo:

- Accelerometri a 3 componenti su tutte le stazioni.



- Sismometri a 3 componenti a Corto Periodo con periodo naturale ≥ 1 s su 6 stazioni.
- Sismometro a 3 componenti a Larga Banda con periodo naturale ≥ 20 s su una delle tre stazioni nel DI.
- Sensori installati in superficie. Eventuali installazioni in pozzi superficiali saranno valutate a seguito delle misure di rumore.
- Acquisitore a 6 canali con conversione analogico-digitale a 24 bit.
- Frequenza di campionamento ≥ 200 Hz per i sismometri, ≥ 100 Hz per gli accelerometri.
- Banda utile di segnale:
 - sismometri corto periodo almeno 1-80 Hz;
 - sismometri larga banda almeno 0.05-80 Hz;
 - accelerometri almeno 0-40 Hz.
- Registrazione in continua H24.
- Trasmissione dati H24 al sistema centrale di controllo tramite connessioni ad alta velocità, tipo segnale UMTS.
- Salvataggio in locale di almeno 2 mesi di dati raw su memoria non volatile, recuperabili a posteriori nel caso di prolungata assenza del collegamento con la stazione centrale.
- Sincronizzazione temporale dei dati tramite segnale GPS.

Per quanto riguarda l'alimentazione, sarà in tensione continua a 12 V e potrà avvenire sia tramite linea elettrica sia con pannelli solari. Quest'ultima opzione dovrà tenere conto dei lunghi periodi con presenza di nebbia che sono possibili nell'area d'interesse. In ogni caso il consumo massimo previsto dalla stazione completamente funzionante non sarà superiore a 5 W. In entrambi i casi saranno utilizzate batterie tampone per garantire il funzionamento per alcuni giorni anche in assenza di alimentazione esterna.

I sensori saranno installati in un pozzetto superficiale in cemento, con dimensioni indicative 1.5x1.5x1.5 m, all'interno del quale si trova un plinto di cemento di dimensioni 60x60 cm circa su cui essi saranno appoggiati.

Data la condizione dei terreni su cui si andrà ad operare, potrà essere opportuno inserire i sensori in opportune scatole stagne con classe di protezione IP68, in modo da prolungarne la vita operativa.

La restante strumentazione sarà contenuta all'interno di armadietti stagni, con classe di protezione almeno IP55, tipo quelli usati per i quadri elettrici. Questi armadietti



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 55 DI
63

potranno essere installati all'aperto o riparati presso garage o scantinati, a seconda delle disponibilità logistiche e di proprietari esterni. Nelle Fig. 32 - Fig. 35 sono mostrate alcune tipologie di installazione delle stazioni in uso sulle reti Eni.

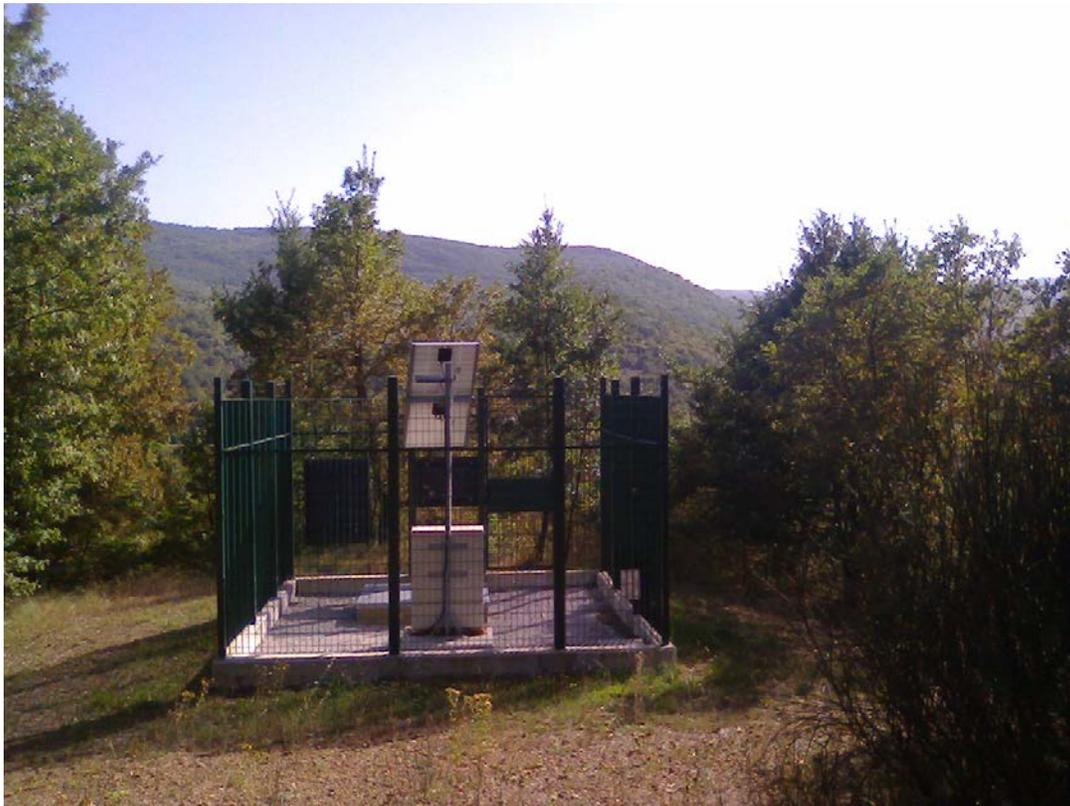


Fig. 32: esempio di stazione microsismica completamente autonoma in zone remote.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 56 DI
63



Fig. 33: esempio di alloggiamento della strumentazione nell'armadietto e del sensore all'interno del pozzetto.



Fig. 34: armadietto con la strumentazione installato all'interno di deposito per attrezzi agricoli.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 57 DI
63



Fig. 35: armadietto con la strumentazione installato sul retro di un garage e pozzetto del sensore.

Le stazioni remote trasmetteranno i dati in modo continuo e in near-real time (con ritardi complessivi dell'ordine del minuto) alla stazione centrale di controllo, ubicata presso gli uffici Eni di San Donato Milanese dove opera il gruppo microsismico di Eni. Qui i dati saranno sottoposti a controllo di qualità e all'elaborazione.

Sulla stazione centrale funzionerà il software di elaborazione automatica per l'elaborazione continua dei dati raw in modo autonomo, utilizzando i parametri e le opzioni selezionate dall'utente. Lo scopo è di rilevare l'esistenza di possibili eventi microsismici, localizzarli e calcolare la magnitudo. In seguito, i risultati saranno comunque rivisti da un sismologo per la validazione finale, utilizzando il software di elaborazione interattiva.

Seguendo l'approccio standard utilizzato per tutte le reti Eni, i risultati dell'attività saranno diffusi ufficialmente tramite bollettini mensili. Tali bollettini conterranno tutte le informazioni riguardanti sia il funzionamento delle stazioni sia i sismi, corredate da mappe e analisi statistiche.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 58 DI 63

7 Stima tempi di realizzazione

I tempi per la realizzazione della rete si possono stimare in 16 mesi dall'avvio del progetto e si ripartiscono nelle fasi principali di Progettazione e Installazione, come indicato in Tabella 6. Nella tabella sono riportate anche le principali attività che saranno svolte durante le due fasi.

E' stata aggiunta anche la successiva fase di Avviamento della rete, che normalmente dura circa 6 mesi. Si sottolinea che durante l'Avviamento, la rete è pienamente operativa ma è necessario calibrare il monitoraggio sulla realtà sismica specifica dell'area per ottenere risultati ottimali. Si effettuerà la taratura degli strumenti di registrazione con la definizione dei migliori parametri di acquisizione. Inoltre, devono essere definite le procedure di elaborazione, con la determinazione/verifica del modello di velocità e la definizione di un'adeguata legge di magnitudo. Queste informazioni dipendono dalla complessità geologica e dal numero di sismi, infatti è necessario avere una quantità di dati significativa per poter effettuare un'analisi statisticamente valida.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 59 DI
63

ATTIVITA' \ MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Progettazione																						
<i>Individuazione siti</i>																						
<i>Misure di rumore</i>																						
<i>Scelta strumentazione</i>																						
<i>Progettazione opere civili</i>																						
<i>Definizione costi</i>																						
<i>Definizione tempi</i>																						
Installazione																						
<i>Stipula contratti affitto</i>																						
<i>Realizzazione opere civili</i>																						
<i>Acquisto strumenti</i>																						
<i>Installazione strumenti</i>																						
Avviamento																						
<i>Taratura parametri di acquisizione</i>																						
<i>Definizione procedure di elaborazione</i>																						

Tabella 6: distribuzione temporale delle varie fasi di realizzazione della rete microsismica di Agosta.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsisimica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 60 DI
63

8 Bibliografia

Astiz I., J.H.Dieterich, C.Frohlich, B.H. Hager, J.H. Shaw, 2014: *On the Potential for Induced Seismicity at the Cavone Oilfield: Analysis of Geological and Geophysical Data, and Geomechanical Modeling*,
(http://www.assominerariacavone.org/uploads/tappe_lavori/11/attachment/cavonereport_final_v03.pdf)

Boccaletti M., Martelli L. (a cura di) 2004. *Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 e note illustrative*. Selca, Firenze.
(<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-in-scala-1-250.000>)

Dahm, T., Cesca, S., Hainzl, S., Braun, T., Krüger, F. (2015): *Discrimination between induced, triggered, and natural earthquakes close to hydrocarbon reservoirs: A probabilistic approach based on the modeling of depletion-induced stress changes and seismological source parameters*. - Journal of Geophysical Research, 120, 4, p. 2491-2509.

Decreto Giunta Regionale. Emilia Romagna n. 1435 "Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Decreto Ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008. *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008)

Grasso, J.R., 1992 *Mechanics of seismic instabilities induced by the recovery of hydrocarbons*, Pure Appl. Geophys., 139 (3-4) 507-534.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 61 DI
63

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. and Valensise G., 2007. CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>

ICHESE, 2014: *Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region* (http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/ICHESE/ICHESE_Report.pdf)

Mantovani E., M. Viti, D. Babbucci, N. Cenni, C. Tamburelli, A. Vannucchi, F. Falciani, G. Fianchisti, M. Baglione, V. D'Intinosante, P. Fabbroni, L. Martelli, P. Baldi e M. Bacchetti (2013). *Assetto tettonico e potenzialità sismo genetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana*. Regione Emilia Romagna-SGSS, Regione Toscana, Università di Siena-DSFTA, <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/eventi/eventi-2013/verso-una-nuova-mappa-della-pericolosita-sismica>

McGarr, A., 1991. *On a possible connection between three major earthquakes in California and oil production*. Bull. Seismol. Soc. Amer., 81 (3): 948-970.

McGarr, A., D. Simpson, and L. Seeber (2002). *Case histories of induced and triggered seismicity*. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A, W.H.K. Lee et al., eds., Academic Press, 647-661.

Ministero dello Sviluppo Economico, 2014. *Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*, 24 Novembre 2014.

Mucciarelli M., F. Donda, and G. Valensise, 2015. *Earthquakes and depleted gas reservoirs: which comes first?* Nat. Hazards Earth Sys., 15, 2201-2208.

The National Academies of Sciences, "Induced Seismicity Potential in Energy Technologies," 2013.

 eni DICS Distretto Centro Settentrionale	Area Pozzo Agosta 001 Dir Sismicità e studio di fattibilità della rete microsismica di superficie		
	DOC. N. GEOES 001/2016	REV. 00	PAG. 62 DI 63

Parco delta del Po (2005). *Redazione e approvazione del piano di gestione del SIC-ZPS IT4060002 valli di Comacchio.*

Pieri M. & Groppi G. (1981). *Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy)*. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. n. 414, 1-13.

Quadro conoscitivo Piano Strutturale Comunale in Forma Associata Argenta-Migliarino-Ostellato-Portomaggiore-Voghera, Provincia di Ferrara, PSC L.R. 20/2000 – Capitolo B, B.2 “1° livello di microzonazione sismica”.

Schorlemmer, D., Mele F., Marzocchi, W., 2010. *A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy*, J. Geophys. Res., 115, B04308.

Segall, P., 1985. *Stress and subsidence resulting from subsurface fluid withdrawal in the epicentral region of the 1983 Coalinga earthquake*, J. Geophys. Res, 90(B8), 6801-6016.

Segall, P., 1989. *Eartquake triggered by fluid extraction*, Geology 17, 942-946.

Segall, P., 1992. *Induced stresses due to the fluid extraction from axisymmetric reservoirs*, Pure Appl. Geophys., 138(3/4): 535-560

Spallarossa D., Barani S., 2007. *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

Suckale, J. 2009. *Induced seismicity in hydrocarbon fields*, Adv. Geophys., 51, 55-106,

Toscani, G.,p. Burrato, D. Di Bucci, S. Seno and G. Valensise, 2009. *Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts (Bologna, Ferrara section, Italy): seismotectonic implications*. Italian J. Geosci., 128, 605-613.



eni DICS
Distretto Centro Settentrionale

Area Pozzo Agosta 001 Dir

Sismicità e studio di fattibilità della rete
microsismica di superficie

DOC. N.
GEOES 001/2016

REV.
00

PAG. 63 DI
63

Vannoli, P., P. Burrato, and G. Valensise 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.