



Rapporto sullo stato delle conoscenze riguardo alle possibili relazioni tra attività antropiche e sismicità indotta/innescata in Italia

Redatto dal Tavolo di Lavoro (ai sensi della Nota ISPRA Prot. 0045349 del 12 novembre 2013) composto da: **DPC** (Dott.ssa Daniela Di Bucci, Prof. Mauro Dolce); **MISE** (Ing. Liliana Panai), **ISPRA** (Dott.ssa Chiara D'Ambrogi, Dott. Fernando Ferri, Dott. Eutizio Vittori); **INGV** (Dott. Luigi Improta); **CNR** (IGAG – Dott. Davide Scrocca, IMAA – Dott. Tony Alfredo Stabile); **OGS** (Dott.ssa Federica Donda, Prof. Marco Mucciarelli)

27 giugno 2014

INDICE

INTRODUZIONE	1
SISMICITÀ INDOTTA/INNESCATA IN ITALIA	8
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE	10
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI.....	10
RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	10
MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO	17
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	17
ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE.....	20
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	20
Dati geologici e rischi naturali.....	20
Monitoraggio delle deformazioni del suolo	21
Confinamento geologico della CO₂	21
ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI.....	22
Attività e Progetti di ricerca - Dati geologici.....	22
Attività e Progetti di ricerca - Rischi naturali	23
Attività e Progetti di ricerca - Matrici ambientali.....	23
CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA.....	24
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA.....	27
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	27
ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI.....	29
Attività e Progetti di ricerca	29
Attività con soggetti industriali.....	30
CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA.....	31
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE	33
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	33
ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI.....	33
Attività e Progetti di ricerca	33
Attività con soggetti industriali.....	37
CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA.....	37
ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE	39
ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI	39
Monitoraggio sismicità indotta.....	39
Confinamento geologico della CO₂	39
ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI.....	40
Attività e Progetti di ricerca - Monitoraggio sismicità indotta.....	40
Attività e Progetti di ricerca - Confinamento geologico della CO₂	41
Attività con soggetti industriali - Monitoraggio sismicità indotta.....	43
Attività con soggetti industriali - Confinamento geologico della CO₂	44
CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA.....	45
BIBLIOGRAFIA	46
APPENDICE 1 - ELENCO DEI DOCUMENTI UFFICIALI RELATIVI ALLA COMMISSIONE ICHESE	54
APPENDICE 2 - CONCLUSIONI RAPPORTO COMMISSIONE ICHESE.....	56

APPENDICE 3 – MONITORAGGI MICROSISMICI E DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO STORICI E IN CORSO IN IMPIANTI DI PRODUZIONE DI IDROCARBURI E STOCCAGGIO DI GAS NATURALE REALIZZATI E GESTITI DALLE SOCIETA' ENI, EDISON STOCCAGGIO E STOGIT	65
APPENDICE 4 – INCONTRI E DIBATTITI PUBBLICI	66
APPENDICE 5 – CONFINAMENTO GEOLOGICO DELLA CO₂ E SISMICITÀ INDOTTA/INNESCATA: UN CONTRIBUTO SULLO STATO DELLE CONOSCENZE	68

INTRODUZIONE

A seguito della Nota del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Prot. 0042579/GAB dell'8 agosto 2013, nella quale si chiedeva a ISPRA *“sulla base delle conoscenze e dell'esperienza possedute nell'ambito anche della geologia della tettonica attiva e della fagliazione superficiale, nonché degli impatti ambientali conseguenti”* di procedere *“ad una raccolta organica e ragionata delle informazioni consolidate e disponibili”* sullo stato delle conoscenze sulle *“possibili relazioni tra le attività di esplorazione ai fini della ricerca e coltivazione di campi di idrocarburi, sia sulla terraferma che in mare, anche condotte con tecniche nuove, ma non completamente conosciute, come quella dell'idrofrantumazione, e l'aumento, se non l'innescò, di una ulteriore attività sismica”*, è stata promossa da ISPRA la creazione di un Tavolo di Lavoro (Prot. 0045349 del 12 novembre 2013) che vede coinvolti, oltre a l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale ISPRA, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV, il Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR, l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale OGS, il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri e il Ministero dello sviluppo economico – Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche.

Il Tavolo di Lavoro si è riunito, a partire dal mese di febbraio 2014, successivamente alla nomina dei rappresentanti, per avviare una raccolta preliminare di informazioni riguardanti le attività già svolte, o attualmente in corso, o in sviluppo da parte degli enti partecipanti, *“nel campo della geologia, della tettonica attiva, della fagliazione sismogenetica e del monitoraggio sismico come contributo alla conoscenza delle relazioni che possono esistere tra le attività antropiche (dighe e grandi invasi, attività di estrazione e reiniezione di acqua per usi alimentari, irrigui, geotermici, estrazione di idrocarburi, stoccaggio sotterraneo di gas naturale e CO₂, attività sotterranea di miniera e di cava) e l'aumento e/o l'innescò di attività sismica, anche al fine della valutazione dei conseguenti impatti ambientali”*.

Il Tavolo di Lavoro si è posto come obiettivo prioritario la redazione di questo Rapporto informativo, in grado di fornire una fotografia aggiornata, completa e coordinata delle competenze e conoscenze delle istituzioni italiane coinvolte relativamente alla relazione tra attività antropiche e attività sismica, nonché delle banche dati, infrastrutture e reti di monitoraggio esistenti. Inoltre, viene fornita una breve sintesi di pubblicazioni relative a studi condotti in passato anche da altri enti pubblici o privati.

I contenuti di questo Rapporto sono volti a fornire al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nonché agli altri Ministeri competenti e alla Presidenza del Consiglio, ove richiesto, informazioni sullo stato attuale e sullo sviluppo futuro delle attività poste in essere dagli enti partecipanti al tavolo di Lavoro e delle conoscenze connesse.

Il tema della conoscenza delle relazioni che possono esistere tra le attività antropiche e l'aumento e/o l'innescò di attività sismica è stato affrontato in modo ampio, tenendo conto anche delle attività poste in essere da soggetti istituzionali e giunte a conclusione o avviate durante i lavori del Tavolo (Dipartimento della Protezione Civile: Commissione ICHESE; Ministero dello sviluppo economico: Gruppo di Lavoro per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche).

Gli enti partecipanti al Tavolo di Lavoro hanno compiti istituzionali e competenze specifiche differenziate, che vengono sintetizzate qui di seguito:

Il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) è una struttura della Presidenza del Consiglio dei Ministri e, in base alla legge n. 225 del 1992, costituisce il punto di raccordo del Servizio Nazionale della Protezione Civile con compiti di indirizzo, promozione e coordinamento dell'intero sistema.

Il Dipartimento, operando in stretto raccordo con le Regioni e le Province autonome, si occupa di tutte le attività volte alla previsione e alla prevenzione dei rischi, al soccorso e all'assistenza delle popolazioni colpite da calamità, al contrasto e al superamento dell'emergenza.

La **Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche** del Ministero dello sviluppo economico (MISE) ha competenza sia sulla gestione dei titoli minerari per la produzione di idrocarburi e stoccaggio di gas naturale e CO₂ in sotterraneo (rilascio – con prescrizioni – dei titoli, approvazione dei programmi di produzione e verifica dei quantitativi prodotti), sia, tramite i suoi Uffici Tecnici sul territorio (UNMIG di Bologna, Roma e Napoli), sui controlli e sulla vigilanza sulla sicurezza delle attività e degli impianti ed il buon governo del giacimento.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) è un ente pubblico di ricerca vigilato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare che ha come compiti istituzionali l'attività conoscitiva, di controllo, monitoraggio e valutazione; l'attività di consulenza strategica, assistenza tecnica e scientifica, nonché di informazione, divulgazione, educazione e formazione, anche post-universitaria, in materia ambientale, con riferimento alla tutela delle acque, alla difesa dell'ambiente atmosferico, del suolo, del sottosuolo, della biodiversità marina e terrestre e delle rispettive colture.

Il Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia di ISPRA, in particolare, ha tra i suoi compiti istituzionali la raccolta, gestione e pubblicazione dei dati geologici e geotematici di rilievo nazionale. ISPRA è Centro di Competenza per il Servizio Nazionale della Protezione Civile.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è un ente pubblico di ricerca vigilato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. È l'ente di riferimento per lo studio dei terremoti e per il monitoraggio della sismicità sul territorio nazionale, nonché Centro di Competenza per il Servizio Nazionale della Protezione Civile. Il monitoraggio è svolto tramite la Rete Sismica Nazionale (RSN), le reti delle aree vulcaniche e reti locali temporanee. Nel suo ruolo di Centro di Competenza, l'INGV è deputato alla realizzazione, manutenzione e disseminazione di banche dati sismologiche. L'esperienza consolidata nella realizzazione di reti per il monitoraggio/studio della sismicità anche di bassissima magnitudo, nell'analisi di dati sismologici, geodetici e geofisici, nello studio delle faglie attive, è alla base delle ricerche che INGV svolge nel campo della sismicità indotta/innescata.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è un ente pubblico di ricerca vigilato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, composto da 108 istituti organizzati in 7 Dipartimenti, con il compito di svolgere, promuovere, diffondere, trasferire e valorizzare attività di ricerca nei principali settori di sviluppo delle conoscenze e delle loro applicazioni per lo sviluppo scientifico, tecnologico, economico e sociale. È Centro di Competenza per il Servizio Nazionale della Protezione Civile. Svolge studi e ricerche nel campo della modellazione geologica di sottosuolo, geotermia, stoccaggio geologico di CO₂ e CH₄, tettonica attiva, sismotettonica e monitoraggio sismico ed ambientale sono sviluppate da diversi istituti coordinati dal Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente (DTA).

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) è un ente pubblico di ricerca vigilato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca con attività nel campo dell'Oceanografia (fisica, chimica e biologica), Geofisica e Sismologia. OGS ha presentato domanda per divenire Centro di Competenza per il Servizio Nazionale della Protezione Civile; il decreto relativo all'accoglimento della proposta è in corso di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale.

Le competenze di OGS relativamente alla sismicità indotta riguardano due temi: lo stoccaggio di gas naturale e il confinamento geologico della CO₂.

DPC, CNR, INGV e OGS sono stati recentemente coinvolti, con propri rappresentanti, nel Gruppo di Lavoro *“per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche”* istituito dal Ministero dello sviluppo economico, con decreto del 27 febbraio 2014, per rispondere a una specifica raccomandazione della Commissione ICHESE.

I risultati di una preliminare ricognizione delle attività, istituzionali e di ricerca, svolte dagli enti partecipanti al Tavolo di Lavoro, evidenziano una rilevante disponibilità di competenze, conoscenze, banche dati, infrastrutture e reti di monitoraggio utili a supportare le azioni che si vorranno porre in essere in futuro sulle problematiche trattate, anche a seguito delle raccomandazioni emerse dal Rapporto della Commissione ICHESE *“Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region”*, commissione internazionale *“incaricata di valutare le possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia Romagna nel mese di maggio del 2012”* (Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile dell'11 dicembre 2012, rep. n. 5930, e successive integrazioni e modifiche). Il Rapporto ICHESE è stato reso pubblico dalla Regione Emilia Romagna il 15 aprile 2014. [Elenco documenti ufficiali in **Appendice 1**; Conclusioni Rapporto ICHESE in **Appendice 2**]

Le aree di attività istituzionale e di specifica competenza degli enti partecipanti al Tavolo di Lavoro si possono riassumere secondo le seguenti tematiche:

- gestione e interpretazione di dati geologici e geofisici;
- modelli geologici di sottosuolo;
- georisorse (idrocarburi e stoccaggio gas naturale, geotermia, confinamento geologico della CO₂);
- monitoraggio della sismicità naturale, della sismicità indotta e delle deformazioni del suolo;
- protezione civile;
- rilascio - con prescrizioni - e gestione dei titoli minerari per la produzione di idrocarburi e stoccaggio in sotterraneo di gas naturale e di CO₂;
- controlli e vigilanza sulla sicurezza delle attività e degli impianti ed il buon governo del giacimento.

Ciascuna delle aree su elencate è oggetto di azioni specifiche da parte degli enti, che hanno maturato esperienze, sia a livello nazionale che europeo e internazionale, spesso in collaborazione tra loro o con partner stranieri, anche nell'ambito di convenzioni e accordi con soggetti industriali.

Le attività svolte, o in corso di svolgimento, si concentrano nelle aree del territorio nazionale più sensibili dal punto di vista delle possibili relazioni tra attività antropica e aumento e/o innesco di attività sismica in quanto sede di grandi dighe (Pertusillo – Val d'Agri), di attività di estrazione di idrocarburi (Val d'Agri, Pianura Padana), di stoccaggio sotterraneo di gas naturale (Collalto - Treviso), di sfruttamento della risorsa geotermica (Ferrara Est, Campi Flegrei, Ischia, area toscolaziale, Ischia), di potenziale confinamento geologico della CO₂ (Adriatico settentrionale e meridionale, Cortemaggiore - Piacenza, Alto Lazio).

Tali aree sono anche quelle maggiormente soggette a possibili impatti sulle matrici ambientali, di particolare rilevanza, per le aree a terra, anche per l'elevata densità abitativa che le caratterizza.

Conoscenze e risultati scientifici sono stati raggiunti nell'ambito di diversi e successivi Progetti Sismologici finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile attraverso passate Convenzioni (2004-2006, 2007-2009) e, più recentemente, con le convenzioni C previste nell'Accordo-Quadro (2012-2021) tra DPC e INGV, che hanno visto la partecipazione anche di CNR, ISPRA e OGS.

I risultati finali di tali Progetti sono nelle disponibilità del Dipartimento della Protezione Civile, (si veda anche il sito dell'INGV: <http://istituto.ingv.it/1-ingv/progetti>) e sono stati oggetto di presentazioni e sessioni scientifiche in congressi nazionali e internazionali e di pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali.

Inoltre, alcuni degli enti partecipanti al Tavolo di Lavoro (DPC, INGV, OGS) dispongono di reti di monitoraggio della sismicità, sia permanenti (Rete Accelerometrica Nazionale – RAN DPC e reti tributarie; Rete Sismica Nazionale - RSN INGV; reti INGV di monitoraggio sismico delle aree vulcaniche) che mobili (reti mobili DPC e INGV), nonché di specifiche reti locali attive nell'ambito di progetti di monitoraggio già in essere (Rete Sismica OGS di Collalto).

La RSN INGV, integrata con reti regionali (quali, ad esempio, la rete OGS dell'Italia nord-orientale), nel complesso rappresenta un'infrastruttura di monitoraggio e ricerca tecnologicamente avanzata che già da diversi anni è di supporto per studi di sismicità indotta/innescata. Grazie al buon livello di detezione della RSN INGV (Fig. 1), la magnitudo di completezza, che rappresenta la magnitudo minima per la quale si può considerare completo il catalogo della sismicità registrata, è a partire dal 2005 $M_L 2.0$ per buona parte del territorio nazionale e $M_L 1.5$ in Appennino ed in ampi settori delle Alpi (Schorlemmer et al., 2010). Pertanto, è possibile escludere che in anni recenti ci siano stati terremoti indotti /innescati che abbiano avuto effetti sul territorio e che non siano stati registrati dalla RSN INGV. Naturalmente, per lo studio di dettaglio della sismicità indotta/innescata è necessaria l'installazione di reti microsismiche locali che consentano il monitoraggio dell'attività anche di bassissima magnitudo ($M_L < 1$).

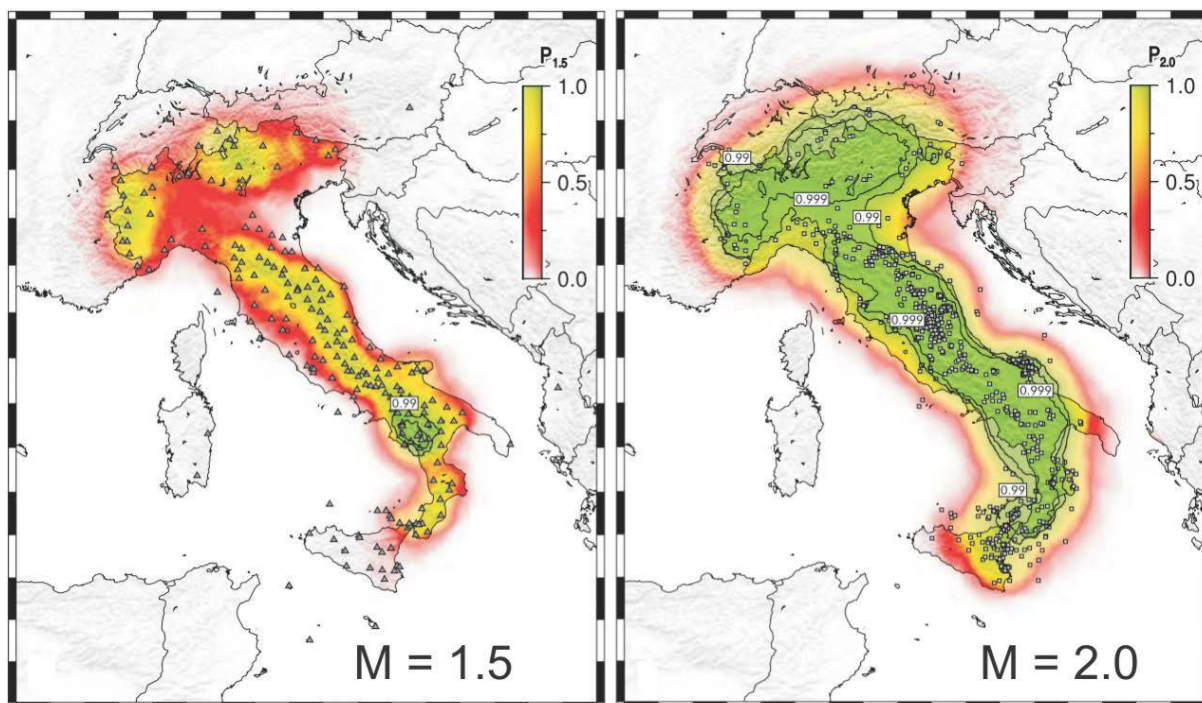


Fig. 1 - Probabilità di detezione (P_E) della RSN INGV per terremoti di magnitudo 1.5 (mappa a sinistra) e magnitudo 2.0 (mappa a destra) a Gennaio 2008. Per le regioni indicate in verde (probabilità di detezione prossima al valore 1) il catalogo sismico si può considerare completo per la soglia di magnitudo riportata. Pertanto, tutti i terremoti di magnitudo maggiore o uguale a 1.5 (mappa a sinistra) e 2.0 (mappa a destra) che avvengono nelle regioni indicate in verde sono rilevati e localizzati dalla rete. I triangoli indicano le stazioni sismiche della rete operative a Gennaio 2008, i quadrati grigi gli epicentri dei terremoti di magnitudo 2 registrati nel periodo 2005-2008 (modificata da Schorlemmer et al., 2010, JGR).

Le attività istituzionali, in particolar modo - ma non esclusivamente - di ISPRA e INGV, contribuiscono in modo significativo alla creazione e al mantenimento di banche dati, a scala nazionale, permanenti e pubblicamente accessibili, di interesse anche per quanto definito dalle raccomandazioni della Commissione ICHESE, riassunte qui di seguito e descritte in dettaglio in questo stesso Rapporto nei capitoli riguardanti i singoli enti:

1. Banca Dati CARG (ISPRA) La banca dati, associata al Progetto della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, contiene dati geologici alla scala 1:25.000 relativi a 126 fogli (di cui quasi un terzo in Pianura Padana).
2. Banca dati Sondaggi Profondi (ISPRA) Contiene dati relativi a 2.685 pozzi legati all'attività di esplorazione e produzione degli idrocarburi in Italia, depositati presso l'UNMIG dal 1957 a oggi e non più soggetti a segreto industriale. La banca dati ha recuperato, informatizzato, e armonizzato le seguenti informazioni presenti nei log composti dei pozzi: litostratigrafia e cronostratigrafia, biostratigrafia, mineralizzazioni e temperature, tubazioni e finestrate, presenza di prove geofisiche.
3. Archivio delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/84) (ISPRA) Contiene dati relativi a 44.000 pozzi di profondità superiore a 30 metri.
4. Banca dati Geofisica (ISPRA) Contiene dati e/o metadati riguardanti indagini di gravimetria, magnetometria, sismica attiva e passiva, geoelettrica, radar, sidescan sonar, batimetria, geodesia, topografia, provenienti da diverse fonti.
5. Banca dati ITHACA - (Italy Hazard from Capable faults) (ISPRA) La banca dati contiene la distribuzione territoriale e la caratterizzazione delle faglie capaci (cioè faglie per le quali è stata documentata /o ritenuta possibile una dislocazione superficiale cosismica).
6. Database EEE – catalogo degli effetti geologici dei terremoti storici (ISPRA) L'EEE Catalogue raccoglie i dati relativi agli effetti ambientali dei terremoti (EEE) a livello globale, al fine di facilitarne l'utilizzo per valutazioni di pericolosità sismica.
7. ISIDe – Database sismico strumentale e parametrico italiano (INGV) Il database fornisce i dati relativi ai terremoti che ricadono sul territorio nazionale e nelle regioni limitrofe registrati e localizzati dalla RSN (dal 2005).
8. Bollettino Sismico Italiano - Database sismico strumentale e parametrico italiano (INGV) Il Bollettino Sismico Italiano fornisce i dati relativi a terremoti che ricadono sul territorio nazionale e nelle regioni limitrofe registrati dalla RSN, revisionati e ri-analizzati dagli analisti sismologi dell'INGV (dal 2002).
9. CSI – Catalogo della sismicità italiana (INGV) Il CSI contiene i dati relativi ai terremoti in Italia e aree limitrofe registrati dal 1981 al 2002.
10. EIDA - Archivio continuo delle forme d'onda digitali della RSN (INGV) L'archivio delle forme d'onda digitali include le registrazioni in continuo di tutte le stazioni della RSN a partire dal 2008 e di alcuni esperimenti INGV con reti temporanee.
11. DBMI– Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (INGV) Il database DBMI11 raccoglie e seleziona in modo critico i dati degli studi macrosismici relativi a 1681 terremoti con effetti in territorio italiano dall'anno 1000 al 2006.
12. CPTI - Catalogo parametrico dei terremoti italiani (INGV) Il CPTI11 è il catalogo parametrico dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 2006.
13. DISS – Database delle sorgenti sismogenetiche (INGV) Il DISS3 è il database parametrico delle potenziali sorgenti sismogenetiche di terremoti di magnitudo maggiore di 5.5, in Italia ed aree circostanti.
14. OASIS Archive System of Instrumental Seismology (OGS) Il database raccoglie e organizza i dati sismologici strumentali, compresi i dati di forme d'onda continue registrati dalle stazioni di reti permanenti (circa 50 stazioni in Italia nord-orientale) e reti temporanee, o da stazioni isolate (circa 200), gestite da OGS.
15. ITACA – Italian ACcelerometric Archive (DPC-INGV) ITACA 2.0 contiene circa 7500 forme d'onda generate da circa 1200 terremoti con magnitudo maggiore di 3. La maggior parte dei

dati è stata registrata dalla Rete Accelerometrica Nazionale (RAN DPC) del Dipartimento della Protezione Civile e dalla Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://itaca.mi.ingv.it/>).

16. *VIDEPI (MISE)* Database dei documenti tecnici relativi all'esplorazione petrolifera in Italia dal 1957 al 2012 (in corso di aggiornamento). Comprende profili finali di pozzi, linee sismiche, carte geologiche e strutturali, relazioni tecniche. Progetto proposto e diretto dalla Società Geologica Italiana e finanziato da Assomineraria.
17. *Sito web del Ministero dello sviluppo economico – Direzione Generale delle risorse minerarie ed energetiche* (www.unmig.sviluppoeconomico.gov.it) Database dei titoli minerari vigenti per la produzione degli idrocarburi e lo stoccaggio di gas naturale. Dati di produzione e localizzazione di impianti, pozzi produttivi, piattaforme marine, centrali e pozzi di stoccaggio.
18. *Banca Nazionale Dati Geotermici GEOTHOPICA (CNR)* La banca dati raccoglie informazioni caratteristiche (temperature, stratigrafie, parametri chimico-fisici) di pozzi geotermici e petroliferi, nonché di sorgenti e manifestazioni termali. Per tutto il territorio nazionale il portale fornisce mappe delle isoterme a 1000, 2000 e 3000 metri dal piano campagna e di flusso di calore alla superficie. La banca dati è parzialmente disponibile al pubblico tramite il portale <http://geothopica.igg.cnr.it>, ed è gestita dall'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR.

Gran parte dei sopra elencati dataset geologici, geofisici e sismologici costituiscono vincoli essenziali per le attività di modellazione geologica 3D poste in essere già da diversi anni da ISPRA, CNR, INGV e OGS in zone di interesse per le attività di sfruttamento delle georisorse e per la caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche.

Tali modelli costituiscono da un lato strumenti preliminari di conoscenza delle strutture geologiche di potenziale interesse per lo studio della sismicità indotta/innescata, come tra l'altro definito nelle raccomandazioni della Commissione ICHESE, dall'altro strumenti necessari per una corretta lettura dei dati di monitoraggio e per la verifica delle interazioni tra attività antropiche e strutture geologiche (variazioni locali dei campi di sforzi, subsidenza indotta, sismicità indotta, ecc.).

A titolo di esempio, il modello geologico 3D in corso di completamento da parte di ISPRA, in collaborazione con Regione Emilia Romagna e Regione Lombardia, nell'ambito del Progetto europeo GeoMol, relativo a una vasta area della Pianura Padana comprendente anche l'area del terremoto del maggio 2012, è stato presentato come possibile strumento di conoscenza alla scala regionale nell'ambito delle attività poste in essere da Ministero dello sviluppo economico, Regione Emilia-Romagna e la Società Padana Energia per il monitoraggio della Concessione Mirandola (riunione del 6 giugno 2014).

Altri dataset di interesse sono stati prodotti da OGS, CNR e INGV per specifiche aree del territorio nazionale, nell'ambito di progetti di ricerca e monitoraggio:

Dati sismici della rete microsismica Eni in Val d'Agri, da luglio 2001 (CNR-IMAA) (fonte Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri; aggiornamento giornaliero del dato; trasmissione ftp del dato tramite accesso privato).

Registri di re-iniezione delle acque di strato nel pozzo Costa Molina 2 (CNR-IMAA) (fonte: Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri; aggiornamento giornaliero del dato; trasmissione dei registri via posta ordinaria alla sede dell'Osservatorio Val d'Agri).

Bilanci idrometrici dell'invaso del Pertusillo da Ottobre 1963 (CNR-IMAA) (fonte: Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria di Potenza; aggiornamento giornaliero del dato; disponibilità del dato in sede su richiesta).

Rete Sismica di Collalto – RSC (OGS) infrastruttura finalizzata al monitoraggio della sismicità naturale e della micro-sismicità eventualmente indotta presso la concessione di stoccaggio gas

naturale denominata "Collalto Stocaggio", in provincia di Treviso. I dati sono distribuiti tramite il sito OASIS (vedi punto 14 elenco precedente).

Catalogo della sismicità della Val d'Agri (INGV). Il catalogo contiene 1998 terremoti di bassa magnitudo registrati da una rete sismica locale ad alta densità installata in Val d'Agri ed aree limitrofe negli anni 2005-2006.

Dati sismici dell'area geotermica di Larderello-Travale (INGV). Il dataset include i dati di circa 1000 terremoti di bassa magnitudo registrati da una rete sismica locale ad alta densità negli anni 2012-2013 (Esperimento GAPSS - Geothermal Area Passive Seismic Sources).

A fronte della disponibilità di dati, informazioni prodotte e infrastrutture di monitoraggio e ricerca tecnologicamente avanzate, precedentemente elencati, resta irrisolto in Italia il problema della difficoltà di accesso ad alcune tipologie di informazioni legate alle attività di esercizio (volumi e pressioni di iniezione di fluidi, livelli di invaso, ecc.) e del relativo monitoraggio effettuato con reti gestite dalle società¹ [Appendice 3]. Talvolta tali dati sono addirittura impossibili da reperire in quanto dispersi o non preservati.

Tali informazioni, fondamentali per consentire lo sviluppo di ricerche indipendenti sul tema della sismicità indotta/innescata da attività antropica, sono talvolta rese disponibili dai gestori solo nell'ambito di specifici progetti di monitoraggio e/o ricerca. Appaiono quindi estremamente opportune azioni, incluse quelle di tipo normativo, volte a raccogliere, organizzare, preservare e rendere disponibili tali dati, come quelle previste nelle Linee Guida in via di definizione da parte del Gruppo di Lavoro "per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche" istituito dal Ministero dello sviluppo economico.

Infine, alla luce delle attività condotte dagli enti partecipanti al Tavolo di Lavoro appare fondamentale la predisposizione di efficaci e coordinati piani di comunicazione e divulgazione tra tutti i soggetti coinvolti: decisori, soggetti industriali, comunità locali, enti di ricerca. A titolo di esempio, si riporta quanto fatto da OGS nell'ambito della Rete Sismica di Collalto RSC, la prima rete di monitoraggio di attività di stocaggio del gas gestita da un ente pubblico, riconosciuta a livello nazionale come esempio sia per i canoni utilizzati per la sua progettazione, sia per la discussione che ne è conseguita su come il monitoraggio debba essere utilizzato e su come le informazioni debbano essere divulgate al pubblico.

Attività di comunicazione e divulgazione sul tema in esame sono condotte anche da altri enti; l'elenco è riportato in **Appendice 4**.

¹ Si segnala che la maggior parte degli impianti di stocaggio di gas naturale in esercizio in Italia (gestiti dalle società STOGIT ed Edison stocaggio) ha reti di monitoraggio microsismico e delle deformazioni del suolo. Reti di monitoraggio sono anche presenti in siti di produzione di idrocarburi gestiti da ENI. Un elenco di tali reti è riportato in **Appendice 3**.

SISMICITÀ INDOTTA/INNECATA IN ITALIA

Alcuni studi su episodi di sismicità indotta/innescata sono stati condotti in Italia, in passato, anche da ricercatori di enti pubblici o privati non partecipanti al Tavolo di Lavoro che ha redatto il presente Rapporto.

Per fornire un quadro riassuntivo degli episodi di sismicità indotta/innescata, documentati o ipotizzati, sui quali sono in corso ulteriori studi, si ritiene opportuno fornire una tabella (Tab. 1), con le indicazioni degli articoli pubblicati in cui si possono trovare i dettagli relativi [Bibliografia]. I dati riguardanti la magnitudo e la massima intensità macrosismica, se non presenti nei lavori citati, sono presi rispettivamente dalle banche dati CPTI11 e DBMI11 pubblicate sul sito INGV.

Il quadro non può essere considerato completo per la mancanza di dati pubblici relativi a molti impianti. Grazie alla migliorata soglia di completezza della RSN INGV si può escludere che, negli anni recenti, eventi importanti siano andati persi. Negli anni precedenti al 1980, invece, il livello di detezione della rete non era altrettanto adeguato; inoltre, molti dati dei monitoraggi realizzati dai concessionari non sono stati resi pubblici. Pertanto, da un lato potrebbero esserci casi non noti di impianti che hanno prodotto eventi e, dall'altro, per lo stesso motivo, casi non noti di impianti che non hanno indotto/innescato sismicità.

A titolo di esempio, Caloi (1971) con riferimento a due dighe (Ambiesta e Lumiei, UD), afferma di non aver osservato sismicità indotta, ma senza fornire dati ulteriori su modalità e durata del monitoraggio sismico. Analogamente, in un lavoro di Marzorati e Maroli (2012), in relazione ai monitoraggi microsismici dei giacimenti di stoccaggio di Sergnano, Minerbio, Cortemaggiore, Settala, Fiume Treste e Sergnano, si afferma, ma senza produrre la necessaria documentazione, che i risultati di tali monitoraggi non hanno evidenziato alcun legame con l'attività di stoccaggio.

In tempi più recenti, sono noti due casi in cui i dati di monitoraggio sismico sono stati resi pubblici e hanno permesso di escludere, al momento, l'occorrenza di sismicità indotta: l'impianto di teleriscaldamento geotermico di Casaglia (FE) e l'impianto di stoccaggio di gas naturale in giacimento depleto di Collalto (TV).

Rapporto sullo stato delle conoscenze riguardo alle possibili relazioni tra attività antropiche e sismicità indotta/innescata in Italia

Tipologia Attività	Località	Prov.	Documentato ¹ - Ipotizzato ²	Periodo di monitoraggio locale considerato	Mmax (anno)	Imax	Bibliografia	NOTE
Bacino idrico	Pieve di Cadore	BL	Documentato	1949-1952	2 (1964)		Caloi (1966)	1 Documentato: esistenza di pubblicazione scientifica/rapporto tecnico che propone una relazione documentata di causa/effetto 2 Ipotizzato: esistenza di pubblicazione scientifica/rapporto tecnico che ipotizza una correlazione
	Vajont	BL	Documentato	1962-1968	<2 (1963)		Migani (1968); Caloi (1971)	
	Ridracoli	FC	Documentato	1981-1989	3		Piccinelli et al. (1995)	
	Passante	CZ	Documentato	1981-1996	2.5		Giuseppetti et al. (1996)	
	Campotosto	AQ	Ipotizzato	n.d.	5.7 (1950)	VIII	Mucciarelli (2013)	
	Pertusillo	PZ	Documentato	2005-2012	2.7 (2010)		Valoroso et al. (2009); Stabile et al. (2014)	
Campo geotermico	Larderello/ Travale	PI	Ipotizzato	1978/1982	3.2 (1978)		Batini et al. (1980a); Batini et al. (1985); Evans et al. (2012)	In questi campi di produzione i dati disponibili mostrano l'occorrenza di eventi indotti di bassa magnitudo correlati ai processi di reiniezione dei fluidi, mentre il livello della sismicità naturale di fondo rende ancora dibattuta l'interpretazione degli eventi maggiori, considerati in alcune analisi naturali e in altre indotti/innescati
	Amiata	GR/SI	Ipotizzato	1982-1992	4.5 (2000)	VI	Mucciarelli et al. (2001)	
			Ipotizzato		3.5 (1983)		Batini et al. (1990); Moia et al. (1993), Evans et al. (2012)	
	Latera	VT	Documentato	1978-1982	2.9 (1980)		Batini et al. (1980b); Carabelli et al. (1984); Batini et al. (1990); Moia et al. (1993); Evans et al. (2012)	I dati disponibili in concomitanza con specifici esperimenti di iniezione di fluidi documentano chiari esempi di eventi indotti, generalmente organizzati in sequenze di magnitudo da negativa a circa 2, con singoli eventi che raggiungono magnitudo 2.9 a Latera e 3.0 a Torre Alfina.
	Torre Alfina	VT	Documentato	1978-1982	3 (1977)	III/IV	Batini et al. (1980b); Moia et al. (1993); Evans et al. (2012)	
Cesano	RM	Documentato	1978-1982	2 (1978)		Batini et al. (1980b); Evans et al. (2012)		
Estraz./reimiez. Idrocarburi	Caviaga	LO	Ipotizzato		5.4 (1951)	VI/VII	Caloi (1956)	Valoroso et al. (2009) correlano un sciame di 40 microterremoti ($M_L < 1.7$) avvenuto nel Giugno 2006 con le attività nel pozzo Costa Molina 2, in cui sono re-iniettate acque di strato estratte dai giacimenti della Val d'Agri. Gli eventi sismici, accuratamente registrati da una rete temporanea ad alta densità operativa dal Maggio 2005 al Giugno 2006, sono localizzati entro 1 km di distanza dal pozzo. Studi recenti eseguiti dell'INGV e presentati in convegni nazionali ed internazionali (Valoroso et al., 2013; Chiarabba, 2014) hanno analizzato dati registrati dalla rete sismica nazionale nell'area di Montemurro. Questi studi evidenziano che l'attività microsismica iniziata nel Giugno 2006 è continuata negli anni successivi, correlandosi spazialmente e temporalmente con le attività di re-iniezione nel pozzo Costa Molina 2.
	Cavone	MO	Ipotizzato		5.9 (2012)	VII/VIII	ICHESE (2014)	
	Montemurro	PZ	Ipotizzato	2006	1.7		Valoroso et al. (2009)	
Miniera	Raibl/Cave Predil	UD	Ipotizzato		n.d. (1965)	V	Caloi (1970)	

Tabella 1 - Quadro riassuntivo degli episodi di sismicità indotta/innescata documentati o ipotizzati. Per ciascun episodio è riportata la tipologia di attività svolta, i relativi articoli pubblicati e alcune note esplicative.

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI

Il Dipartimento della Protezione Civile è una struttura della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Nasce nel 1982 per dotare il Paese di un organismo capace di mobilitare e coordinare tutte le risorse nazionali utili ad assicurare assistenza alla popolazione in caso di grave emergenza. Con la legge n. 225 del 1992 diventa il punto di raccordo del Servizio Nazionale della Protezione Civile, con compiti di indirizzo, promozione e coordinamento dell'intero sistema.

Il Dipartimento insieme alle Regioni e le Province autonome, si occupa di tutte le attività volte alla previsione e alla prevenzione dei rischi, al soccorso e all'assistenza delle popolazioni colpite da calamità, al contrasto e al superamento dell'emergenza.

Con i propri Uffici tecnici - che operano in stretto raccordo con le strutture di protezione civile delle Regioni e Province Autonome - e con il supporto dei Centri di Competenza, il Dipartimento si occupa di previsione e prevenzione dei rischi naturali e antropici. In particolare, garantisce il funzionamento del Sistema di allertamento nazionale attraverso la rete dei Centri Funzionali e promuove e realizza programmi e progetti per la riduzione e la mitigazione dei rischi. Ha, inoltre, un ruolo importante di indirizzo e coordinamento delle attività di pianificazione di emergenza realizzate dalle istituzioni territoriali e di promozione e organizzazione di esercitazioni di protezione civile.

Il Dipartimento ha competenze in materia di sostegno al volontariato di protezione civile e di supporto alle attività di formazione per i diversi operatori del sistema, di promozione di iniziative per la diffusione della conoscenza della protezione civile e di informazione alla popolazione.

È inoltre compito del Dipartimento coordinare le prime attività di risposta a calamità naturali, catastrofi o altri eventi che, per intensità ed estensione, devono essere fronteggiati, con immediatezza d'intervento, con mezzi e poteri straordinari. Con la dichiarazione dello stato di emergenza nazionale da parte del Consiglio dei Ministri, spetta al Capo del Dipartimento della Protezione Civile emanare le ordinanze che disciplinano i primi interventi da realizzare.

In ambito internazionale, il Dipartimento promuove accordi e programmi tecnico-scientifici per implementare l'attività di previsione e prevenzione dei rischi, organizza ed interviene ad esercitazioni che coinvolgono diversi Paesi, partecipa a progetti di scambio e condivisione di conoscenze, di esperienze e di metodologie di intervento, contribuisce alla diffusione della cultura di protezione civile a livello internazionale. Attraverso il Dipartimento, l'Italia partecipa al Meccanismo Europeo di Protezione Civile, lo strumento con cui l'Unione Europea risponde alle emergenze che si verificano all'interno e all'esterno dell'Unione.

RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

Commissione internazionale incaricata di valutare le possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia Romagna di maggio del 2012 (Commissione ICHESE)

[Elenco documenti ufficiali in **Appendice 1**, Conclusioni Rapporto ICHESE in **Appendice 2**]

Dopo il terremoto in Emilia del maggio 2012, il Presidente della Regione – Commissario Delegato Vasco Errani, con lettera del 29 giugno 2012, ha chiesto al Dipartimento della Protezione Civile “*relativamente a possibili relazioni tra le attività di esplorazione finalizzata alla ricerca di campi di idrocarburi e l'aumento di attività sismica nell'area interessata da detta attività ... di attivare ... la Commissione internazionale sulla previsione dei terremoti [Commissione ICEF] per la protezione civile, eventualmente rimodulata ... in riferimento alla specificità dell'argomento*”.

Il tema generale proposto dal Presidente Errani era complesso. La Pianura Padana è da decenni oggetto di ricerca e sfruttamento degli idrocarburi e, di recente, anche di attività di stoccaggio del gas. Rimanendo circoscritti all'area del terremoto dell'Emilia, sono attive concessioni di coltivazione di idrocarburi di “Mirandola”, “Spilamberto” e “Recovato” e la concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio stoccaggio”. Competenze e informazioni in merito sono nelle

disponibilità della Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche del Dipartimento per l'Energia del Ministero dello Sviluppo Economico e i dati principali sono reperibili sul sito della Direzione.

Il Dipartimento della Protezione Civile, dopo una ricognizione delle informazioni disponibili sulle eventuali attività svolte dalla Società Erg (attraverso la ERS – Erg Rivara Storage) sul sito di Rivara per un suo utilizzo come serbatoio naturale per lo stoccaggio di metano, ha preso contatti con la Commissione ICEF per verificarne la possibile attivazione. È emerso che, a causa del diverso settore di competenza, i membri della Commissione non ritenevano di poter contribuire all'argomento proposto. Il nome stesso della Commissione nel caso specifico era fuorviante, perché non si trattava di previsione di terremoti, quanto, piuttosto, di possibilità di innesco degli stessi per effetto di attività dell'uomo. Pertanto, è sembrata più opportuna l'istituzione di una nuova commissione internazionale *ad hoc*.

In questo quadro, è stato di fondamentale importanza definire con precisione quali quesiti porre alla nuova commissione internazionale e, sulla base di questi, individuare anche le competenze e il livello scientifico dei potenziali membri da contattare. A questo proposito, tenendo come riferimento la richiesta del Presidente Errani e, al contempo, volendo limitare l'area oggetto di approfondimento alla zona a grandi linee interessata dalla crisi sismica, sono stati definiti i seguenti quesiti.

1. *È possibile che la crisi sismica emiliana sia stata innescata dalle ricerche sul sito di Rivara effettuate in tempi recenti, in particolare nel caso siano state effettuate delle indagini conoscitive invasive, quali perforazioni profonde, immissioni di fluidi, ecc.?*
2. *È possibile che la crisi sismica emiliana sia stata innescata da attività di sfruttamento o di utilizzo di reservoir, in tempi recenti e nelle immediate vicinanze della sequenza sismica del 2012?*

La commissione è stata formata da esperti di chiara fama internazionale e non coinvolti direttamente in consulenze riguardanti il territorio in esame, e da un esperto del Dipartimento per l'Energia del Ministero dello Sviluppo Economico. Infine, il prof. Paolo Gasparini, già membro della Commissione ICEF, ha garantito la competenza sismologica e ha svolto al contempo il ruolo di segretario della commissione, assicurando continuità con l'esperienza assai positiva della Commissione ICEF stessa.

Per quanto riguarda gli esperti di chiara fama internazionale, sia stranieri che italiani, sono state individuate figure scientifiche compatibili con il profilo tracciato. Inizialmente si trattava di:

Harsh Gupta (presidente), del National Geophysical Research Institute (N.G.R.I.), Hyderabad, India; Vice Presidente dell'International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG); Presidente dell'Expert Group on Natural and Human Induced Environmental Hazards and Disasters in Asia and Pacific; Componente dell'ICSU Planning Group on Natural and Human-induced Hazards and Disasters. Esperto di sismicità indotta.

Ernst Huenges (componente), Direttore dell'International Centre for Geothermal Research al German Research Centre for Geosciences (GFZ). Capo della sezione Reservoir Technologies e dei laboratori di petrofisica del GFZ. Esperto di tecnologie di perforazione.

Paolo Scandone (componente), Professore ordinario di Geologia strutturale, in quiescenza, dell'Università di Pisa. Esperto nella comprensione del quadro tettonico, sismotettonico e cinematico dell'area centro-mediterranea in base all'interpretazione di dati geologici di superficie e di informazioni sulle strutture profonde derivanti dall'analisi di profili sismici a riflessione e di pozzi per ricerche di idrocarburi.

Paolo Gasparini (componente e segretario), Professore emerito di Geofisica dell'Università di Napoli "Federico II"; Presidente di AMRA; già Componente e Segretario della Commissione ICEF di cui sopra. Esperto di sismologia.

Mark Zoback (componente), Stanford University (USA); Componente del Secretary of Energy Committee on Shale Gas Development (2011-2012); Componente del NAE Committee

Investigating Deepwater Horizon Accident (2010-2011); Presidente dell'American Rock Mechanics Association (2011); Presidente dello Scientific Earthquake Studies Advisory Group of USGS (2007-2011). Esperto nello studio dei campi di sforzi nella crosta terrestre e di geomeccanica.

Franco Terlizze (componente), esperto in geofisica mineraria e sicurezza ambientale, Direttore generale delle risorse minerarie ed energetiche del Dipartimento per l'Energia del Ministero dello Sviluppo Economico, indicato dal Ministro competente.

Il quadro fin qui descritto è stato formalizzato con le Ordinanze n. 76 del 16 novembre 2012, e n. 81 del 23 novembre 2012 del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato, e con il Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile dell'11 dicembre 2012 (rep. n. 5930).

Successivamente, il prof. Mark Zoback, componente della Commissione, ha fatto pervenire al prof. Paolo Gasparini, componente e segretario della stessa, la rassegnazione delle sue dimissioni per motivi legati alla propria attività professionale al servizio di alcune compagnie petrolifere. Pertanto, sentito il presidente della Commissione, prof. Harsh Gupta, si è pervenuti all'identificazione di un nuovo componente in sostituzione del prof. Zoback. La personalità individuata è stata quella del prof. Peter Styles, della Keele University (UK), docente di geofisica applicata e ambientale, coautore del report voluto e pubblicato dal Department of Energy and Climate Change sul metodo di estrazione di idrocarburi mediante fratturazione idraulica (fracking).

La nuova configurazione così raggiunta è stata formalizzata con l'Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 30 del 15 marzo 2013, e il Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 25 marzo 2013, rep. n. 1200.

Come comunicato con nota del 4 aprile 2013 (prot. n. DIP/0020510) del Dipartimento della Protezione Civile al Presidente del Consiglio dei Ministri e, per conoscenza, al Presidente Errani, il 3 aprile 2013 il Prof. Gasparini, componente e segretario della Commissione in oggetto, ha inoltrato al Dipartimento stesso un e-mail ricevuto dal Presidente della Commissione, Prof. Gupta, che comunicava le sue dimissioni a seguito della mancata autorizzazione da parte del Governo Indiano. Il Dipartimento della Protezione Civile si è immediatamente attivato per reintegrare la Commissione con un nuovo componente internazionale e nominare un nuovo Presidente.

Il nuovo presidente è stato individuato nella figura del prof. Peter Styles, già componente della Commissione, che ha accettato l'incarico. Il nuovo componente internazionale, invece, è stato identificato nel prof. Stanislaw Lasocki, Capo del Dipartimento di Sismologia e Fisica dell'interno della Terra (Istituto di Geofisica, Accademia delle Scienze – Varsavia, Polonia) e Capo del Gruppo di Lavoro TAIS (Triggered and Induced Seismicity – Sismicità Indotta e Innescata) nell'ambito dell'International Association of Seismology and Physics of the Earth Interior (IASPEI) dal 2007.

A valle delle modifiche fin qui descritte, la composizione finale della Commissione ICHESE risultava, pertanto, la seguente: Paolo Gasparini (componente e segretario), Ernst Huenges (componente), Stanislaw Lasocki (componente), Paolo Scandone (componente), Peter Styles (presidente), Franco Terlizze (componente). Questa configurazione è stata formalizzata con l'Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 54 del 3 maggio 2013, e con il Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile dell'8 maggio 2013 rep. 1786.

La Commissione ha iniziato i suoi lavori il 2 maggio 2013 e si è riunita per la prima volta in forma plenaria il 18 giugno 2013; ha acquisito dati sull'attività sismica e le deformazioni del suolo, sulla geologia e sismica a riflessione, e sulle operazioni di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi, stoccaggio di gas e attività geotermica, tra l'altro attraverso riunioni con rappresentanti dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale), del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna e delle Compagnie che svolgono attività di esplorazione e sfruttamento e stoccaggio di idrocarburi nell'area. La Commissione ha incontrato altresì la Società Independent Gas Management Srl, che ha studiato le caratteristiche geologiche dell'area di Rivara per preparare un progetto di stoccaggio in acquifero.

La Commissione si è riunita più volte a Roma, nella sede del Dipartimento della Protezione Civile; ha inoltre effettuato un sopralluogo di un giorno nell'area emiliana colpita dal terremoto del maggio 2012. Le attività sono state seguite, in qualità di uditor, dal prof. Domenico Giardini, Referente del Settore Rischio Sismico della Commissione nazionale per la previsione e la prevenzione dei Grandi Rischi. I lavori si sono conclusi con la consegna del rapporto finale, inviato in data 13 febbraio 2014 al Dipartimento della Protezione Civile, che lo ha protocollato in entrata il 17 febbraio 2014 e inviato nella stessa data al Commissario delegato- Presidente della Regione Emilia Romagna.

Attività della Commissione Grandi Rischi – Settore Rischio Sismico

La Commissione nazionale per la previsione e la prevenzione dei Grandi Rischi - Settore Rischio Sismico (CGR-SRS), organo di consulenza scientifica del Dipartimento della Protezione Civile ai sensi della legge n. 225 del 1992, ha iniziato una propria analisi sulle problematiche associate alle attività estrattive in pianura padana nella sessione a porte chiuse della riunione del 6 dicembre 2012. In tale occasione, la CGR-SRS ha preso atto dell'istituzione della Commissione ICHESE e del suo mandato, dando rilievo al fatto che il tema sismicità indotta rientra in generale nelle proprie competenze, mentre i quesiti posti alla Commissione ICHESE riguardavano un aspetto limitato nell'ambito più generale della sismicità indotta.

La CGR-SRS si è poi riunita di nuovo il 12 marzo 2013 per approfondire la discussione, iniziata nella riunione del 6 dicembre 2012, sulla possibile relazione tra attività estrattive e sismicità indotta in Italia e sul ruolo della sismicità indotta nell'analisi della pericolosità e rischio sismico in Italia, tematiche su cui, in base alle proprie competenze, la CGR-SRS intende mantenere un ruolo di indirizzo, accompagnamento e verifica di studi e analisi.

La CGR-SRS era stata invitata ad assicurare la presenza di un suo membro come osservatore alle riunioni della Commissione ICHESE, per assicurare il coordinamento delle iniziative e il recepimento delle conclusioni del lavoro della Commissione stessa nelle future attività della CGR e del DPC. In risposta alla nota del Capo Dipartimento del 12 marzo 2013 (Prot. DPC n. SCD/0015329), nella riunione tenuta lo stesso giorno la CGR-SRS ha indicato il prof. Domenico Giardini come osservatore presso le riunioni della Commissione ICHESE.

Nella successiva riunione del 24 aprile 2013, la CGR-SRS ha pianificato tra le proprie attività future una riunione volta a definire le specifiche per uno studio completo e sistematico sulla sismicità indotta in Italia, con la partecipazione dei rappresentanti delle autorità competenti, delle principali istituzioni scientifiche e dei maggiori operatori, recependo anche le risultanze dei lavori della Commissione ICHESE.

Infine, nella riunione del 6 maggio 2014, la CGR-SRS ha iniziato l'analisi del Rapporto finale della Commissione ICHESE, prendendo atto delle diverse iniziative in corso in materia di sismicità indotta, inclusa l'istituzione del presente Tavolo di Lavoro.

Al termine di tale riunione, la CGR-SRS ha formulato le seguenti raccomandazioni sulle problematiche della sismicità indotta/attivata:

“La CGR-SRS ha preso atto del rapporto della commissione ICHESE e di altre iniziative in corso sul tema della sismicità indotta/attivata e sulle possibili relazioni con attività di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi in Italia, condotte dal Gruppo di Lavoro formato dal MISE per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi, e dal Tavolo di Lavoro formato dall'ISPRA per la raccolta organica delle informazioni e per la stesura di un rapporto informativo.

La CGR-SRS si attiene agli aspetti pertinenti al rischio sismico e lavora in modo complementare con le altre iniziative per gli aspetti competenti.

La CGR-SRS formula le seguenti raccomandazioni per future iniziative, complementari a quelle già in corso da parte di MISE e ISPRA, da intraprendere rapidamente e da concludere in tempi definiti

per arrivare ad una migliore comprensione dei fenomeni di sismicità indotta/attivata e ad una efficace riduzione del rischio sismico:

- A. L'estensione dell'analisi della sismicità emiliana del 2012 a periodi precedenti, includendo la sequenza sismica nella zona Cavone-Mirandola dell'Aprile-Giugno 1987, e ad altri segmenti della stessa struttura geologica, comprendendo la crisi sismica dell'area di Correggio.*
- B. L'analisi a scala nazionale delle possibili correlazioni - geografica, temporale, geologica - tra sequenze sismiche del passato e attività di estrazione e stoccaggio di idrocarburi.*
- C. L'analisi sismotettonica e geomeccanica delle principali aree di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi, con l'interpretazione di profili sismici, dati microsismici, geologia di superficie, deformazioni superficiali e dati di produzione e stoccaggio.*
- D. L'analisi congiunta dei dati delle reti sismiche locali dell'industria assieme ai dati della rete sismica nazionale.*
- E. L'analisi della sismicità naturale, per valutare la probabilità che terremoti tettonici, non indotti/attivati, avvengano nelle aree di estrazione e stoccaggio.*
- F. Un progetto finalizzato di ricerca multidisciplinare sui meccanismi fisici di induzione e attivazione della sismicità.*
- G. Uno studio su possibili modalità di coltivazione e stoccaggio idrocarburi applicabili dall'industria per minimizzare a lungo termine la possibilità di eventi indotti/attivati.*
- H. Le stesse indagini andranno estese ad attività di sfruttamento dell'energia geotermica profonda.*

Queste misure hanno tempi di implementazioni diversi e richiederanno la cooperazione attiva di gruppi di ricerca, industria e autorità competenti, nonché la messa a disposizione dei dati in possesso dell'industria.

Sulla base delle risultanze di tali indagini, si renderà eventualmente necessario calcolare scenari di rischio e definire un piano per mettere in sicurezza il patrimonio edilizio nelle aree di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi.”

Di tali raccomandazioni, con nota del 9 maggio 2014 (prot. DIP/0024647), il Dipartimento ha inviato informativa ai Ministri dello Sviluppo Economico, dell'Istruzione, Università e Ricerca, e dell'Ambiente, Tutela del Territorio e del Mare, nonché, per conoscenza, al Sottosegretario di Stato alla Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Successivamente, il 19 giugno 2014 la CGR-SRS si è nuovamente riunita per continuare l'approfondimento del tema, a seguito del quale ha formulato ulteriori raccomandazioni riportate qui di seguito:

“Nella riunione del 6 maggio, la CGR-SRS aveva preso atto del rapporto della commissione ICHESE e di altre iniziative sul tema della sismicità indotta e sulle possibili relazioni con attività estrattive in Italia, condotte dal MISE e da ISPRA e aveva proposto alcune attività per arrivare ad una migliore comprensione dei fenomeni della sismicità indotta e ad una efficace riduzione del rischio sismico.

La CGR-SRS si attiene agli aspetti pertinenti al rischio sismico e lavora in modo complementare con le altre iniziative per gli aspetti competenti. In particolare, la Commissione si deve dotare degli strumenti necessari per poter effettuare le sue valutazioni nel caso di future sequenze sismiche, che fossero localizzate in prossimità di aree estrattive e di stoccaggio.

La Commissione ritiene che le problematiche legate all'attività indotta possano essere adeguatamente coperte dalle iniziative intraprese dal MISE. La Commissione ritiene invece che le problematiche a scala nazionale legate alla sismicità attivata (triggered o innescata) richiedano approcci complementari e propone alcuni progetti mirati a raccogliere dati e a sviluppare prodotti e interpretazioni necessari per una corretta valutazione.

- A. Si raccomanda che il MISE si adoperi per una rapida compilazione di una banca dati unificata e periodicamente aggiornata di tutti gli impianti e le attività concernenti aree di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi, bacini idroelettrici, geotermia profonda, aree di emungimento e*

immissione di acqua. Tale banca dati è fondamentale per tutte le future valutazioni di pericolosità e rischio condotte dalla CGR.

- B. L'analisi di dettaglio della sismicità emiliana effettuata dalla ICHESE nell'ambito del suo mandato andrà estesa a periodi precedenti e all'intera estensione dei fronti compressivi esterni, comprendendo anche la crisi sismica dell'area di Correggio. Questo progetto potrà dare un contributo per comprendere quale parte della sismicità emiliana possa essere eventualmente associata ad attività estrattive e le relazioni tra le varie aree e sequenze. La Commissione raccomanda un progetto multidisciplinare della durata di non più di un anno.*
- C. Si raccomanda un'analisi statistica completa a scala nazionale delle possibili correlazioni - geografica, temporale, geologica - tra l'attività sismica del passato e le attività e aree di estrazione o stoccaggio di idrocarburi, bacini idroelettrici, geotermia profonda, aree di emungimento e immissione di acqua. L'analisi dovrà includere anche la sismicità naturale, partendo dal modello di pericolosità sismica nazionale, per valutare la probabilità che terremoti tettonici non indotti né attivati ($M > 4$, $M > 5$) avvengano nei prossimi anni in prossimità (entro 10-20 km) di aree estrattive.*
- D. L'analisi sismotettonica e geomeccanica delle principali aree di coltivazione e stoccaggio di idrocarburi andrà effettuata mediante l'interpretazione di profili sismici, dati microsismici, geologia di superficie e profonda, deformazioni superficiali e dati di produzione e stoccaggio. Una lista preliminare di siti include la Val d'Agri, la Lombardia centro-meridionale, l'Abruzzo costiero e off-shore e la zona Iblea. Questa analisi potrà essere effettuata sulla base delle informazioni già collezionate in fase di concessione e su altri dati eventualmente da collezionare e dovrà durare non più di un anno per ogni area.*
- E. Si raccomanda che l'INGV e il MISE si adoperino per la rapida attuazione degli accordi necessari con l'ENI per l'analisi congiunta dei dati delle reti sismiche locali dell'industria assieme ai dati delle reti regionali e nazionale, per garantire che tutti i dati vengano utilizzati in future analisi.*
- F. Si raccomanda che il MISE e il DPC si attivino affinché le informazioni geologiche, geofisiche e sismiche di proprietà dell'industria e rilevanti per la valutazione del rischio sismico vengano messe a disposizione per le valutazioni della Commissione.*
- G. Analisi e scenari di rischio andranno condotti a scala territoriale per poter individuare aree di interesse prioritario.”*

Anche di tali raccomandazioni, con nota del 25 giugno 2014 (prot. n. REI/0033597), il Dipartimento ha inviato informativa ai Ministri dello Sviluppo Economico, dell'Istruzione, Università e Ricerca, e dell'Ambiente, Tutela del Territorio e del Mare, nonché, per conoscenza, al Sottosegretario di Stato alla Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Attività in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico

Dopo la conclusione dei lavori della Commissione ICHESE, in data 27 febbraio 2014, in conseguenza della necessità di dare immediato corso alle raccomandazioni operative della Commissione, il Presidente della Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico, ing. Franco Terlizzone, ha istituito un Gruppo di Lavoro “per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche”. Il Dipartimento della Protezione Civile partecipa, per quanto di propria competenza, con un proprio rappresentante alle attività di questo Gruppo di Lavoro.

Attività nell'ambito dell'Accordo-Quadro DPC-INGV 2012-2021

Nell'ambito dell'Accordo-Quadro DPC-INGV 2012-2021 e, in particolare, della Convenzione “C” 2012-13 tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, nel progetto sismologico S2 “Validazione della pericolosità sismica mediante dati osservati”, è stata finanziato un approfondimento dal titolo: “Valutazione della pericolosità sismica

naturale ed indotta dei serbatoi naturali di stoccaggio di gas, e degli strumenti di controllo e monitoraggio delle attività” (responsabile E. Priolo, OGS). I dettagli sono sul sito internet dell’INGV al link: <http://istituto.ingv.it/1-ingv/progetti/progetti-finanziati-dal-dipartimento-di-protezione-civile-1/verbali-progetti-presentati-contributi-ur/progetti>

Una prosecuzione di tali studi è prevista per il secondo anno di attività dello stesso progetto, iniziato il 1° maggio 2014 e finanziato con la Convenzione “C” 2014.

Attività nell’ambito della Convenzione DPC-ReLUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica)

Tra le attività previste nella Convenzione DPC-ReLUIS per il 2014, il progetto speciale “Rischio sismico indotto”, coordinato dal prof. Paolo Gasparini, affronterà il tema del rischio sismico determinato da pericolosità indotta da attività antropiche. L’obiettivo è quello di stabilire un eventuale legame tra le suddette attività e le caratteristiche degli eventi sismici indotti, tale da consentire la quantificazione del rischio sull’ambiente costruito, tenendo nel dovuto conto l’incertezza associata, anche con tecniche che hanno alla base l’*operational earthquake forecasting*.

La Rete Accelerometrica Nazionale

La Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) è la rete nazionale di monitoraggio della risposta al terremoto del territorio italiano in termini di accelerazioni del suolo. Consta di 523 postazioni distribuite in tutta Italia, con maggiore densità nelle zone ad alta sismicità, ed è gestita da personale DPC specializzato. La registrazione permanente della forma d’onda e la successiva trasmissione avviene al superamento di una soglia di accelerazione. I dati affluiscono al server centrale della RAN nella sede del DPC, dove vengono acquisiti, elaborati in maniera automatica, archiviati automaticamente nel database centrale e poi resi disponibili entro 15’ circa sul sito <http://www.mot1.it/RANdownload/>. Al database della RAN affluiscono in tempo quasi reale i dati provenienti da altre reti accelerometriche “tributarie” di proprietà pubblica: ad oggi affluiscono dati da 14 postazioni dell’Università di Trieste e da 31 postazioni del consorzio di istituti di ricerca AMRA. Al centro elaborazioni dati affluiscono dunque i dati provenienti complessivamente da 568 postazioni accelerometriche.

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

La Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche, con le sue strutture centrali e periferiche, è l'autorità competente al rilascio dei titoli minerari necessari per la ricerca e produzione di idrocarburi liquidi e gassosi (permessi di prospezione e di ricerca e concessioni di coltivazione) ed al controllo di tali attività in campo. Per la terraferma la competenza è svolta d'intesa con la regione competente.

Nella valutazione delle istanze tendenti ad ottenere un titolo minerario, dei relativi programmi di lavoro e negli altri casi previsti dalla legge, e, in particolare, nell'esame di specifiche problematiche relative alla sicurezza delle attività, la Direzione Generale si avvale del parere espresso dalla Commissione per gli idrocarburi e le georisorse (CIRM), nella quale sono rappresentate le Amministrazioni statali competenti (oltre al Ministero dello sviluppo economico, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, l'ISPRA, l'Avvocatura di Stato) nonché i rappresentanti regionali.

In applicazione alla normativa ambientale, la Direzione coordina la sua attività con il Ministero dell'ambiente e con le regioni che valutano la compatibilità ambientale dei progetti di estrazione, rispettivamente, a mare e a terra (offshore e onshore). I permessi e le concessioni in terraferma sono rilasciati dal Ministero, con decreto del direttore generale, d'intesa con le Regioni interessate.

Sono di competenza della Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche sia la gestione dei titoli minerari per la produzione di idrocarburi e stoccaggio di gas naturale in sotterraneo (rilascio – con prescrizioni – dei titoli, approvazione dei programmi di produzione e verifica dei quantitativi prodotti), sia, tramite i suoi Uffici Tecnici sul territorio (UNMIG di Bologna, Roma e Napoli), i controlli e la vigilanza sulla sicurezza delle attività e degli impianti ed il buon governo del giacimento.

Le attività della Direzione in merito alle problematiche legate alla sismicità indotta sono così schematizzabili.

Partecipazione ai lavori della Commissione internazionale sulle possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia del 2012 (Commissione ICHESE)

La Commissione ICHESE è stata istituita con decreto del Capo Dipartimento della Protezione civile n. 5930 del 11 dicembre 2012, su ordinanza n. 76 del 16 novembre 2012 del Presidente della Regione Emilia Romagna, in qualità di Commissario delegato ai sensi dell'articolo 1, comma 2 del decreto-legge n. 74/2012, al fine di *acquisire le valutazioni e gli esiti degli studi e renderli operativi nel processo di ricostruzione e pianificazione urbanistica e territoriale nell'area interessata dal sisma.*

In considerazione delle competenze, dei dati e delle informazioni nelle disponibilità del Ministero, l'ing. Franco Terlizzone, Direttore generale delle risorse minerarie ed energetiche del Ministero dello sviluppo economico, su designazione del Ministro, ha partecipato ai lavori della Commissione, in qualità di componente.

Istituzione, nell'ambito della Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM), di un gruppo di lavoro per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della micro sismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche.

Il 27 febbraio 2014, a seguito degli esiti del lavoro della Commissione ICHESE, l'ing. Terlizzone, in qualità di Presidente della Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello sviluppo economico, ha istituito in ambito CIRM, un Gruppo di Lavoro

"per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche".

Compongono il gruppo di lavoro: ing. Gilberto Dialuce (coordinatore), prof. Carlo Doglioni (Università di Roma "La Sapienza", componente CIRM), prof. Paolo Gasparini (Università degli Studi di Napoli "Federico II"), prof. Aldo Zollo (Università degli Studi di Napoli "Federico II"), dottor Enrico Priolo (OGS), dott. Claudio Chiarabba (INGV), dott.ssa Daniela Di Bucci (Dipartimento della Protezione Civile), ing. Riccardo Lanari (CNR).

I compiti affidati al Gruppo di lavoro sono definiti nel decreto di costituzione dove, a partire dalle Raccomandazioni contenute nel Rapporto ICHESE, e ritenuto opportuno e urgente fornire linee guida operative per l'esercizio delle attività di coltivazione e stoccaggio, si stabilisce che la finalità del Gruppo è la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche. Scopo del Gruppo di lavoro è quindi definire linee guida per i monitoraggi, stabilire chi analizza/gestisce le reti di monitoraggio e i dati che verranno raccolti e fissare eventuali soglie per la gestione del giacimento (sistema a semaforo).

Il lavoro da svolgere è complesso, in quanto attualmente non sono disponibili, per questo tipo di monitoraggi, protocolli consolidati e, in particolare, non sono stati ancora definiti criteri per la valutazione contestuale dei tre parametri monitorati.

Ulteriore scopo del Gruppo di lavoro è l'individuazione delle modalità per assicurare la massima trasparenza e oggettività dei monitoraggi stessi nonché l'individuazione e valutazione delle competenze necessarie per l'analisi e la gestione delle reti di monitoraggio e dei dati che verranno raccolti.

Le modalità operative del Gruppo di Lavoro si articolano in riunioni presso il Ministero dello sviluppo economico e presso l'Università di Napoli; condivisione dei documenti di lavoro su piattaforme informatiche; audizioni delle Società che esercitano monitoraggi microsismici e altimetrici attivi in Italia; scambi delle esperienze operative degli enti i cui rappresentanti sono nel Gruppo di Lavoro.

Nell'ambito dei lavori sono stati raccolti e organizzati i dati e le informazioni disponibili sulle attività di produzione di idrocarburi e stoccaggio di gas naturale in sottterraneo attualmente in corso in Italia e sulle caratteristiche delle reti di monitoraggio altimetrico e microsismico attive.

Il Gruppo si è riunito in sessione plenaria nei giorni 27 febbraio, 12 marzo, 7 aprile, 15 aprile, 12 maggio, 5 e 20 giugno. La bozza del testo è in fase di revisione finale.

Accordo tra Ministero dello sviluppo economico, Regione Emilia-Romagna e Società Padana Energia per il monitoraggio della Concessione Mirandola

Il 17 aprile 2014 è stato siglato dal Ministro Federica Guidi, dal Presidente della Regione Vasco Errani e dall'Amministratore Unico della Società Padana Energia Cinzia Triunfo un accordo di collaborazione per lo svolgimento di attività di monitoraggio e studio sul campo di Cavone. In particolare per un periodo di almeno 90 giorni l'attività della concessione sarà subordinata alle attività di ricerca in coerenza con le Raccomandazioni del Rapporto ICHESE. Assomineraria patrocina la Società nelle attività svolte nell'ambito dell'Accordo.

In esecuzione dell'Accordo di collaborazione, è stato siglato un protocollo operativo che definisce le modalità delle azioni da svolgere nell'ambito dell'accordo stesso. In particolare entro 90 giorni verranno realizzate dalla Società prove di interferenza/iniettività dei pozzi e l'aggiornamento del modello statico e dinamico del giacimento.

Ulteriore iniziativa nell'ambito dell'Accordo è stata l'attivazione, il 16 maggio 2014, di un sito internet condiviso (www.labcavone) in cui sono pubblicati, con aggiornamento giornaliero, le informazioni e i risultati relativi al programma di monitoraggio e di ricerca. In particolare, sono visualizzati gli eventuali eventi sismici rilevati dalla rete microsismica locale (4 stazioni) e dalle stazioni della rete sismica nazionale presenti in un raggio di circa 35 km dalla centrale (8 stazioni). L'iniziativa è stata condivisa con le amministrazioni comunali sedi degli impianti. Gli stessi dati

sono visualizzati all'esterno della Centrale di Cavone, dove è stato realizzato un punto informativo tramite pannello corredato da display, attivo dal 30 aprile 2014.

Al termine di tali attività, verranno esaminati i risultati e decisi eventuali ulteriori studi o approfondimenti. Nell'ambito del programma di lavoro si è conclusa la fase operativa delle attività in campo finalizzate all'acquisizione di dati di cui è in corso l'elaborazione. Presso il sito di Mirandola potrà, inoltre, essere data una prima applicazione delle Linee Guida in corso di predisposizione eventualmente integrando i monitoraggi già in atto.

Nell'ambito dei compiti istituzionali, si segnalano, quali fonti di informazione sulle attività minerarie passate e in corso: il sito della Direzione Generale, la pubblicazione del Rapporto Annuale, il progetto VIDEPI.

Il sito internet <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/home.asp>

La comunicazione dei dati di competenza della direzione generale è effettuata tramite il sito internet <http://unmig.mise.gov.it>, che oltre ad informare sui titoli minerari conferiti e sui processi amministrativi in corso, mette a disposizione un insieme di dati di interesse generale quali la produzione di idrocarburi, il gettito royalties, gli elenchi dei pozzi, delle piattaforme e delle centrali di raccolta e trattamento, nonché uno spazio divulgativo ed una sezione sulla normativa del settore.

Tra le aree di interesse sono riportate tutte le informazioni disponibili sulle attività di competenza della direzione: ricerca e coltivazione di idrocarburi, stoccaggio del gas naturale, geotermia, cattura e stoccaggio del biossido di carbonio (CCS), attività del settore dei minerali solidi, informazioni sulle attività di coordinamento, partecipazione e promozione svolte in ambito regionale e internazionale, gli eventi organizzati dalla Direzione e quelli a cui ha partecipato.

Sul sito è pubblicato il Rapporto annuale che riporta tutti i dati e le informazioni relative alle attività minerarie di ricerca e produzione degli idrocarburi in Italia, e le attività internazionali della direzione. Con cadenza mensile è pubblicato il Bollettino Ufficiale degli Idrocarburi e delle Georisorse (B.U.I.G.), organo ufficiale che riporta l'aggiornamento delle istanze presentate, i decreti di rilascio di nuovi titoli, gli elenchi dei titoli vigenti e inoltre notizie e comunicazioni connesse con l'attività di ricerca e coltivazione di idrocarburi e lo stoccaggio del gas naturale e in particolare nuove normative.

Il progetto VIDEPI (<http://sviluppoeconomico.gov.it/videpi/default.htm>)

Su iniziativa della Società Geologica Italiana è stato realizzato un database dei documenti tecnici relativi all'esplorazione petrolifera in Italia dal 1957 al 2012 (in corso di aggiornamento). La banca dati comprende profili finali di pozzi, linee sismiche, carte geologiche e strutturali, relazioni tecniche. Il progetto è stato realizzato attraverso una collaborazione tra Ministero dello sviluppo economico, Assomineraria e Società Geologica Italiana, con il contributo delle Università degli studi di Roma Tre e di Siena, la Regione autonoma Friuli Venezia Giulia, ENI e G.E.Plan Consulting.

Cattura e stoccaggio del biossido di carbonio

Tra le competenze della Direzione rientra anche il rilascio dei titoli per lo stoccaggio del biossido di carbonio e i relativi controlli in coordinamento con altre amministrazioni secondo quanto definito dal Decreto Legislativo 14 settembre 2011, n. 162.

Le attività necessarie per l'emanazione dei decreti interministeriali attuativi del Decreto Legislativo n.162/2011 sono svolte attraverso la collaborazione di Gruppi di Lavoro costituiti nell'ambito dell'Osservatorio CCS, Stakeholder Forum italiano per la promozione delle tecnologie per il sequestro nel sottosuolo del biossido di carbonio (www.osservatorioccs.org/osservatorio.htm). In particolare un gruppo è impegnato nell'individuazione delle aree idonee allo stoccaggio di CO₂ e di aree in cui tale attività sarà vietata, e della valutazione della capacità di stoccaggio.

ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE
Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

Dati geologici e rischi naturali

Il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha tra i suoi compiti istituzionali la raccolta, gestione e pubblicazione dei dati geologici e geotematici di rilievo nazionale. La realizzazione di tale compito avviene attraverso la gestione e il mantenimento delle banche dati realizzate nell'ambito di diversi progetti nazionali, quali il progetto CARG – Nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, il Progetto IFFI – Inventario dei fenomeni Franosi Franosi in Italia, l'Archivio delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/84), il Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults). A queste si affiancano anche dati di interesse, sviluppate nell'ambito di attività interne al Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, quali la carta Litologica 1:100.000, la banca dati Geofisica, la banca dati dei sondaggi profondi, o di progetti internazionali, come OneGeology Global e Europe.

Tutti questi dataset sono diffusi attraverso il Portale del Servizio Geologico e resi disponibili, nella loro forma più completa, per attività poste in essere dalle Pubbliche amministrazioni, centrali e locali, e dagli enti di ricerca.

Molti dei dati geologici e geotematici detenuti e gestiti sono relativi al sottosuolo e costituiscono vincoli fondamentali per la costruzione dei modelli geologici, base di conoscenza per una sua corretta pianificazione e gestione, soprattutto in termini di risorse, nonché ai fini della valutazione dei rischi e degli impatti sulle matrici ambientali.

Nel corso degli ultimi 15 anni il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia ha intrapreso un percorso di integrazione dei dati contenuti nelle proprie banche dati al fine di produrre modelli geologici tridimensionali in grado di supportare diverse tipologie di analisi, e utili ai fini della caratterizzazione dei corpi e delle strutture geologiche. La gran mole di dati, informatizzati e organizzati secondo standard, consente infatti la costruzione di modelli geologici multiscala, accurati e vincolati, in grado di descrivere i corpi rocciosi e l'assetto strutturale del sottosuolo, anche di zone ad elevata complessità. Tale attività risulta propedeutica a qualunque studio sul comportamento delle strutture geologiche del sottosuolo.

Allo stato attuale sono disponibili in ISPRA modelli geologici tridimensionali, particolarmente concentrati nell'area della Pianura Padana, in zone di interesse per lo sfruttamento delle risorse del sottosuolo, nonché interessate da strutture sismogenetiche. In maggior dettaglio:

- modello regionale della Pianura Padana;
- modelli di dettaglio in alcune aree della Pianura Padana (Pavia, Parma, Reggio Emilia, Ferrara, Forlì) basati su dati di sottosuolo pubblicati o derivanti da Fogli CARG, dell'area del Foglio geologico Fossombrone, dell'area urbana di Firenze, dell'area del delta del F. Tevere.

Nel corso degli anni ISPRA ha inoltre definito uno specifico workflow di retro-deformazione delle strutture, in ambiente tridimensionale, valido per il calcolo dei valori di slip-rate lungo thrust sepolti (Maesano et al., 2012), di interesse per la caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche (in collaborazione con INGV) e con ricadute sulle possibili attività di sfruttamento del sottosuolo.

Inoltre, nell'ambito delle sue attività istituzionali, il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA supporta e svolge le seguenti azioni:

- risposte ad interrogazioni parlamentari ed atti di sindacato ispettivo per il MATTM;
- rapporto di collaborazione con il Ministero dello sviluppo economico, nell'ambito della CIRM (Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie);
- aggiornamento degli indicatori per l'Annuario Dati Ambientali relativi ai temi: i) siti di estrazione di minerali di prima categoria (miniere); ii) siti di estrazione delle risorse energetiche; iii) comuni interessati da subsidenza; iv) invasi artificiali.

http://annuario.isprambiente.it/content/indicatori/?id_area=A04&v=10&id_tema=T17

- supporto alla Commissione tecnica di verifica dell'Impatto Ambientale del MATTM per quanto riguarda le istruttorie (SIA, VIA, VAS, AIA, bonifica di siti contaminati) di procedimenti correlati allo stoccaggio strategico di gas naturale, al *downstream* e *upstream* dell'industria petrolifera.

Monitoraggio delle deformazioni del suolo

Il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA, tramite il Servizio Geofisica, dispone di competenza tecnico-scientifica riguardo al monitoraggio superficiale con tecniche GPS. Tale attività si colloca all'interno di accordi e convenzioni nazionali e prevede lo sviluppo delle diverse fasi di progettazione, rilievo, elaborazione ed analisi di dati di Reti Geodetiche GPS Permanenti e Periodiche.

Tra le varie attività di interesse si ricordano le principali:

- Monitoraggio GPS in aree tettonicamente attive:
 - a) realizzazione e gestione di stazioni permanenti e esecuzione di misure periodiche nell'Appennino Centrale in collaborazione con l'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile e con INGV;
 - b) studio delle deformazioni nel versante orientale dell'Etna tramite stazioni permanenti e non-permanenti.
- Monitoraggio GPS nelle fasi post-sismiche:
 - a) monitoraggio GPS e Total Station della frana sismoindotta di Salcito (CB) (terremoto Molisano del 31 ottobre 2002) in collaborazione con la Regione Molise;
 - b) monitoraggio per la determinazione delle deformazioni cosismiche e post-sismiche tramite misure GPS e di livellazione geometrica durante le fasi emergenziali del terremoto de L'Aquila (2009), in collaborazione e a supporto del Dipartimento della Protezione Civile.

Il Servizio Geofisica, oltre al know-how tecnico-scientifico, dispone della strumentazione GPS necessaria e dei software commerciali e scientifici per l'elaborazione dei dati.

Confinamento geologico della CO₂

A seguito dell'emanazione del Decreto Legislativo n.162 del 14 settembre 2011, alla cui stesura hanno partecipato rappresentanti del Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA, e avente come oggetto l'attuazione della direttiva 2009/31/CE in materia di stoccaggio geologico del biossido di carbonio, ISPRA ha assunto un ruolo specifico sia in relazione alla fase di istruzione e valutazione dei progetti di stoccaggio che nell'ambito dei previsti successivi controlli ispettivi.

ISPRA ha quindi designato i suoi due rappresentanti nella Segreteria Tecnica per lo stoccaggio di CO₂, prevista dall'art. 4 del D.Lgs. n.162/2011.

ISPRA partecipa inoltre alle attività dei tre gruppi di lavoro istituiti dal Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare di supporto ai decreti attuativi del D. Lgs. n. 162/2011.

In questo contesto, per rispondere adeguatamente alle esigenze di supporto tecnico, nelle materie di competenza, alle attività previste dal comma 5 dell'art. 4 del D.L. n.162, con particolare riguardo alla analisi e valutazione del potenziale di stoccaggio, alla valutazione del modello geologico tridimensionale statico e dinamico del complesso di stoccaggio ed alle procedure di autorizzazione, è stato costituito nell'ambito del Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di di ISPRA un apposito Gruppo di Lavoro. Tale gruppo ha recentemente prodotto un documento di Osservazioni a seguito della consultazione, prevista ai sensi dell'art. 13 comma 1 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., promossa da MATTM e MISE e relativa alla "Valutazione Ambientale Strategica del piano per l'individuazione delle aree del territorio nazionale e della zona economica esclusiva all'interno delle quali possono essere selezionati i siti di stoccaggio geologico della CO₂".

A livello europeo, il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA partecipa alle attività del gruppo tematico CCS di EuroGeoSurveys (EGS) che raccoglie l'expertise

degli appartenenti a 16 Servizi Geologici dei Paesi EU e che è ora parte del GeoEnergy Expert Group di EGS. In questo ambito, di particolare rilevanza è stato il contributo alla realizzazione delle Linee Guida per l'implementazione della Direttiva 2009/31/CE relativa allo stoccaggio geologico del biossido di carbonio, pubblicate nel 2011 dalla Commissione Europea: http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs/implementation/documentation_en.htm.

Una sintesi di alcuni elementi di conoscenza sulla possibile sismicità indotta/innescata da processi di stoccaggio geologico della CO₂ è disponibile in **Appendice 5**.

ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI

Attività e Progetti di ricerca - Dati geologici

L'attività di analisi di dati geologici di sottosuolo, e la loro integrazione in modelli geologici 3D viene svolta nell'ambito di progetti di ricerca nazionali ed europei o nella realizzazione di sperimentazioni della metodologia di modellazione in settori del territorio nazionale interessati dalla progettazione di opere infrastrutturali.

Si elencano di seguito i progetti, inerenti le problematiche trattate, ai quali il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha partecipato o partecipa attualmente:

Convenzione Quadro DPC-INGV 2007-2009. Progetti Sismologici. S1 – Determinazione del potenziale sismogenetico in Italia per il calcolo della pericolosità sismica (coord. Salvatore Barba INGV, Carlo Doglioni Università di Roma “La Sapienza”).

Il progetto ha prodotto nuovi dati, e la loro elaborazione, in grado di proporre una descrizione in 3D della struttura profonda e della sismicità.

In particolare il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha supportato l'integrazione di dati multiscala, la costruzione di un modello crostale 3D, l'elaborazione e la verifica di congruenza geometrica delle sorgenti sismogenetiche, la costruzione di modelli geologici tridimensionali di dettaglio in settori di particolare interesse per il loro potenziale sismogenetico (Pianura Padana, Adriatico centro-settentrionale).

Accordo Quadro DPC-INGV 2012-2021. Convenzione C 2012-2013. Progetti Sismologici S1 - Miglioramento delle conoscenze per la definizione del potenziale sismogenetico (coord. Andrea Argani CNR-ISMAR).

Nell'ambito del progetto il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha supportato, attraverso l'analisi dei dati di sottosuolo disponibili presso le proprie banche dati e altri database, e attraverso la modellazione numerica, la costruzione di modelli analogici in grado di analizzare e simulare il comportamento deformativo dell'arco di Ferrara. Attività svolta in collaborazione con INGV e Università di Pavia.

Progetto GeoMol “Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins for sustainable planning and use of natural resources” (European Territorial Cooperation -Programme “Alpine Space”). Settembre 2012 - Giugno 2015.

Il progetto, coordinato dal Servizio Geologico della Baviera e al quale partecipano, oltre al Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA, i Servizi Geologici nazionali di Austria, Francia, Slovenia e Svizzera, oltre che quelli di alcune regioni tedesche (Baden-Wuttemberg) e italiane (Lombardia ed Emilia Romagna), svilupperà modelli tridimensionali del sottosuolo in grado di descrivere e caratterizzare i bacini della Molassa (Nord delle Alpi) e della Pianura Padana (settore compreso tra Brescia e Mirandola) in corrispondenza di 5 aree pilota. I modelli, basati su metodi di valutazione coerenti, supportati da criteri di lavoro e linee guida comuni e condivise a livello transnazionale, consentiranno la valutazione dei geo-potenziali, anche concorrenti sulla stessa area (in particolare: risorse idriche, geotermia, stoccaggio gas e CO₂).

Attività e Progetti di ricerca - Rischi naturali

Il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA non ha, ad oggi, svolto attività direttamente finalizzate allo studio di sismicità indotta/innescata da attività antropica, tuttavia ha maturato una solida competenza tecnico-scientifica in materia di pericolosità sismica, in particolare sugli effetti geologici dei terremoti, inclusa la fagliazione superficiale, a seguito di numerosi studi e ricerche scientifiche, nell'ambito di progetti nazionali ed internazionali. Tra questi si ricordano:

- studi di *siting* per impianti di rilevanza strategica sul territorio nazionale (per esempio il caso Priolo – “*La messa in sicurezza dell’area industriale di Priolo-Augusta rispetto ai rischi da terremoto e maremoto*” – Rapporti APAT 41/2004);
- partecipazione a gruppi di lavoro internazionali, coordinati dalla IAEA (International Atomic Energy Agency), per ridefinire gli indirizzi e i criteri per analisi di sito, per ciò che attiene ai criteri di progettazione antisismica, la pericolosità da fagliazione superficiale e da tsunami (IAEA - *Safety Standards Series*) per gli impianti nucleari e di stoccaggio di rifiuti radioattivi;
- impostazione, sviluppo e aggiornamento continuo della banca dati ITHACA (Italy Hazard from Capable faults), che si occupa della mappatura delle strutture tettoniche attive potenzialmente capaci di dare rottura/deformazione della superficie topografica o in prossimità della superficie topografica, a seguito di eventi sismici;
- collaborazione e supporto al Dipartimento della Protezione Civile durante le fasi emergenziali dei terremoti recenti (Umbria-Marche, 1997-98; Molise, 2002; L’Aquila, 2009; Emilia, 2012), per il rilievo degli effetti ambientali e l’individuazione delle condizioni di rischio residuo;
- coordinamento del gruppo di lavoro internazionale per l’implementazione dell’EEE Catalogue, con lo scopo di organizzare in una unica banca dati la grande quantità di dati relativi agli effetti ambientali dei terremoti (EEE), per gli eventi sismici recenti, storici e paleo, al fine di facilitarne l’utilizzo per valutazioni di pericolosità sismica;
- studi di microzonazione sismica di alcune delle aree colpite da terremoto di L’Aquila del 2009;
- coordinamento del gruppo di lavoro internazionale per lo sviluppo e l’applicazione della Environmental Seismic Intensity Scale - ESI 2007, scala che stima l’intensità di un terremoto sulla base dei soli effetti ambientali (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/inquascale/environmental-seismic-intensity-scale-esi-2007>);
- vari studi paleosismologici su faglie attive del territorio italiano, studi geologico-strutturali e neotettonici, e studi di dettaglio degli effetti cosismici di terremoti storici (Messina, 1908; Marsica, 1915; etc.), con relative pubblicazioni su riviste nazionali ed internazionali, specifiche di settore.

Attività e Progetti di ricerca - Matrici ambientali

Il Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha recentemente avviato uno studio relativo agli impatti ambientali delle attività *upstream*, in particolare quelle relative alla perforazione di pozzi profondi per la ricerca di idrocarburi o geotermici. In questo ambito vengono spesso applicate tecniche di stimolazione ben diverse da quelle relative al *fracking*.

E’ un dato di fatto che in Italia non esistono le condizioni geologiche né di territorio per l’utilizzo di tecniche riferibili al *fracking*. Non esistono cioè formazioni geologiche (comunemente indicate come oil *shales* o gas *shales*) dalle quali sia possibile estrarre commercialmente olio o gas metano. Inoltre, si sottolinea che la Strategia Energetica Nazionale, recentemente emanata con decreto interministeriale a firma del Ministro dell’ambiente e del Ministro dello sviluppo economico, esclude l’applicazione di tecniche non convenzionali in Italia per la produzione di idrocarburi.

Vengono invece talora adottate tecniche di stimolazione dei pozzi, che comportano anche la messa in pressione della formazione rocciosa. Va comunque ricordato che le attività di estrazione e/o immissione di fluidi nel sottosuolo possono interagire con le matrici ambientali; in caso di

sismicità indotta/innescata, andrebbe opportunamente stimato se e quanto eventuali impatti possano essere severi.

Inoltre nell'*upstream*, al di là dell'evento incidentale (eruzione di un pozzo di esplorazione/produzione), la contaminazione delle matrici ambientali può avvenire in diversi momenti relativi alla perforazione di pozzi, dalla fase di trasporto dei *chemicals* sul sito (raramente sostanze potenzialmente contaminanti, quali olii, per lo più sostanze inerti quali bentonite, barite), al loro addizionamento per il confezionamento dei fluidi di iniezione, alla fase di trattamento e conferimento degli eventuali reflui recuperati.

Per quanto riguarda gli sversamenti superficiali accidentali, andrebbero raccolte stime attendibili sulla frequenza, "severità", significatività e cause di sversamenti relativi al confezionamento, gestione dei fanghi di circolazione e gestione dei reflui rifiuti (es. corral). Alle casistiche di contaminazione nelle fasi di lavorazione in superficie sono applicabili le conoscenze e le procedure inerenti i siti contaminati /potenzialmente contaminati.

Con riferimento a tali temi, il Servizio Rischi Naturali di ISPRA ha avviato anche un'indagine conoscitiva, basata sulla raccolta delle normative applicate nei paesi di maggiore produzione petrolifera e sul censimento di casi di studio, con particolare attenzione a situazioni di pericolosità potenzialmente ripetibili nel nostro Paese.

CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA

Tutti i dataset di seguito elencati possono essere consultati tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/main/home.page> oppure utilizzando i link alla seguente pagina <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti>

Banca Dati CARG

La banca dati, associata al Progetto della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, contiene dati alla scala 1:25.000 relativi a 126 fogli geologici (di cui quasi un terzo in Pianura Padana), ed è composta da 14 strati informativi riguardanti elementi geologici differenti sia in funzione della geometria che del contenuto descrittivo. La banca dati contiene informazioni prevalentemente riferibili alla geologia di superficie, che costituiscono vincoli spaziali e geometrici indispensabili per la definizione dei corpi geologici nel sottosuolo, ma anche informazioni relative ad indagini di sottosuolo appositamente realizzate nell'ambito del progetto.

Banca dati Sondaggi Profondi

Contiene dati relativi a 2.685 pozzi legati all'attività di esplorazione e produzione degli idrocarburi in Italia, depositati presso l'UNMIG dal 1957 a oggi, e non più soggetti a segreto industriale.

La documentazione originale è costituita dai log compositi dei pozzi, dai quali sono state recuperate, informatizzate, e armonizzate le seguenti informazioni: litostratigrafia e cronostratigrafia, biostratigrafia, mineralizzazioni e temperature, tubazioni e finestrate, presenza di prove geofisiche.

La Banca dati è stata realizzata grazie a una collaborazione con il Ministero Sviluppo Economico - Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche.

Archivio delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/84)

La banca dati deriva dall'obbligo di comunicazione dei risultati acquisiti a chiunque esegua indagini nel sottosuolo ("perforazioni e rilievi geofisici spinti a profondità maggiori di 30 metri dal piano campagna e gallerie maggiori di 200 m di lunghezza") per consentire di raccogliere "elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale" (Legge n. 464/84).

I dati informatizzati fruibili (44.000 pozzi) sono relativi ai seguenti strati informativi: scheda indagine, diametri, acquiferi, piezometrie, filtri e stratigrafia della perforazione. I dati corrispondono alle informazioni dichiarate nelle comunicazioni senza alcuna aggiunta o contributo interpretativo in fase di informatizzazione. L'ubicazione (ricavata tenendo conto sia delle coordinate che degli stralci di mappa forniti nelle comunicazioni), non sempre indica il punto preciso della perforazione e pertanto, in generale, è da intendersi come centro dell'area d'indagine dichiarata.

Banca dati Geofisica

La banca dati geofisica del Servizio Geofisica nasce dall'esigenza di gestione dell'insieme dei dati geofisici e geodetici sia prodotti internamente al Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia di ISPRA che di provenienza esterna. I dati e/o metadati archiviati riguardano indagini effettuate utilizzando vari metodi quali gravimetria, magnetometria, sismica attiva e passiva, geoelettrica, radar, sidescan sonar, batimetria, geodesia, topografia, e sono provenienti da diverse fonti: dai rilievi geofisici previsti dal programma CARG (in particolare nelle aree marine comprese nella cartografia geologica nazionale alla scala 1: 50.000 e 1: 250.000) e dai dati tecnici trasmessi ai sensi della legge 464/84 (indagini geofisiche per scavi e perforazioni per ricerche idriche o per opere di ingegneria civile).

Di particolare rilevanza è il dataset gravimetrico a copertura nazionale (269.000 stazioni), in buona parte frutto di una collaborazione scientifica con ENI E&P, cui hanno contribuito anche alcuni enti di ricerca.

Il prodotto più importante derivato dalla Banca Dati è la Cartografia Gravimetrica Digitale d'Italia alla scala 1:250.000. Essa è il risultato di una collaborazione scientifica tra il Servizio Geofisica del Dipartimento di Difesa del Suolo di ISPRA, il Gruppo Cartografia e Telerilevamento del Dipartimento di Geofisica della Litosfera di OGS ed Exploration & Production Division di ENI. Il risultato conclusivo consta di 39 fogli alla scala 1:250.000, per ciascuno dei quali sono disponibili in formato digitale: punti stazione (ASCII), isoanomale di Bouguer (d 2,67) con contour interval 2 mGal (.shp), isoanomale di Bouguer rappresentate con aree a colori (.tiff) e, ove autorizzati, grid (in formato .grd Surfer) con passo 1 km delle anomalie di Bouguer.

<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartografia-gravimetrica-digitale/index>

Banca dati ITHACA - (ITaly HAZard from CApable faults)

La banca dati contiene la distribuzione e caratterizzazione delle faglie capaci (faglie dove dislocazione superficiale cosismica è stata documentata /o ritenuta possibile).

Il Progetto ITHACA ha come obiettivo principale la compilazione di un catalogo dettagliato delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, partendo dalla descrizione geologico-geomorfologica e dalla caratterizzazione tettonica, geometrica, cinematica e sismica delle strutture attive, fino a giungere alla valutazione del potenziale sismogenetico e di fagliazione superficiale ad esse associato.

Le faglie capaci, così come definito dalla IAEA (IAEA, 2010), sono faglie che presentano un potenziale significativo di dislocazione/deformazione in corrispondenza o in prossimità della superficie topografica. Pertanto la conoscenza dettagliata della loro distribuzione e del loro potenziale nel produrre effetti significativi, in termini di fagliazione superficiale e terremoti distruttivi, è di fondamentale importanza per le attività di pianificazione territoriale, per la localizzazione di impianti e strutture strategiche, e per la gestione delle reti infrastrutturali, soprattutto in fase emergenziale.

Il Catalogo ITHACA, composto da una parte cartografica restituita in un GIS, collegato ad una banca dati, è stato costruito a partire dalla revisione dei dati di letteratura e cartografici esistenti, integrati da analisi da remoto (foto aeree, immagini satellitari e DEM), nonché da studi e verifiche di terreno condotti ex novo, anche attraverso la realizzazione di trincee paleosismologiche. Esso rappresenta la sintesi delle conoscenze sulle faglie capaci in Italia, e contiene dati relativi alla loro giacitura, geometria, cinematica, sismicità associata, evidenze di capacità, tasso di deformazione medio, rigetto massimo potenziale atteso, etc. Attualmente, il Catalogo fornisce informazioni su circa 2.000 faglie, molte delle quali non presentano terremoti esplicitamente associati, ma mostrano chiare evidenze paleosismologiche e/o indizi morfologico-stratigrafici che consentono di definire il relativo potenziale di fagliazione superficiale.

<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>

Database EEE – catalogo degli effetti geologici dei terremoti storici

L'EEE Catalogue è stato promosso con l'obiettivo di raccogliere i dati relativi agli EEE (effetti ambientali dei terremoti) a livello globale e archivarli in un'unica banca dati, al fine di facilitarne

l'utilizzo per valutazioni di pericolosità sismica. L'implementazione dell'EEE Catalogue è stata promossa a livello globale dal progetto INQUA TERPRO #0811, attraverso un Gruppo di Lavoro coordinato da ISPRA, Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia. Il catalogo contiene i dati relativi alle caratteristiche, dimensioni e distribuzione geografica degli effetti cosismici sull'ambiente in un formato standard e uniforme per terremoti moderni, storici e paleo. Per ciascun evento sono anche riportate stime di intensità epicentrale e locale attraverso la scala ESI 2007 (Michetti et al., 2007), che integra e completa le scale di intensità macrosismica tradizionale, consentendo di valutare l'intensità anche laddove non sono presenti edifici o per quei gradi in cui gli elementi diagnostici basati sui danneggiamenti agli edifici vanno in saturazione.

Il maggiore valore aggiunto dell'EEE Catalogue in termini di rischio sismico è la possibilità di esplorare scenari di effetti ambientali indotti da terremoti del passato e, quindi, di identificare le aree dove gli insediamenti antropici e le infrastrutture sono maggiormente esposte a questa sorgente potenziale di pericolosità.

<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/inqua-scale/eee-catalogue>

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

L'INGV è l'ente di riferimento per lo studio dei terremoti e per il monitoraggio dell'attività sismica sul territorio nazionale, ed è centro di competenza per il Servizio Nazionale della Protezione Civile.

Il notevole potenziamento della Rete Sismica Nazionale (RSN-INGV) e delle reti sismiche di monitoraggio delle aree vulcaniche (Campi Flegrei, Vesuvio, Etna, Eolie) avvenuto negli ultimi 10 anni ha portato alla realizzazione di una infrastruttura di base per il monitoraggio e studio della sismicità naturale, infrastruttura che rappresenta anche un supporto importante per investigare l'impatto che le attività di sfruttamento del sottosuolo possono produrre sull'ambiente, compresa la sismicità indotta/innescata.

Una seconda infrastruttura di monitoraggio e ricerca ideale per il tema della sismicità indotta/innescata è il parco di stazioni sismiche della Rete Mobile INGV, che include oltre 100 acquisitori tecnologicamente avanzati. Questo parco strumentale consente la realizzazione di esperimenti con reti locali dense finalizzati al monitoraggio e allo studio di dettaglio sia di sequenze sismiche che della sismicità di fondo, fornendo dati fondamentali per la comprensione della sismogenesi e dei processi sismotettonici. La Rete Mobile INGV può essere integrata con gli array di velocimetri a larga banda dell'INGV-Osservatorio Vesuviano (uno orizzontale di 20 velocimetri ed uno da pozzo di 6 velocimetri in grado di operare a temperature fino a 125°C). Questa strumentazione è molto utile per lo studio/monitoraggio della microsismicità indotta e migrazione di fluidi in profondità poiché permette di registrare terremoti anche di bassissima magnitudo, sfruttando il minore livello di rumore sismico presente in profondità, e di eseguire analisi di dettaglio sui meccanismi di sorgente.

L'esperienza consolidata nella realizzazione e gestione di reti locali per l'acquisizione di dati sismici di alta qualità (anche di bassissima magnitudo) e nell'analisi dati sismologici e geodetici è alla base delle attività che INGV svolge nel campo della caratterizzazione di siti di sfruttamento del sottosuolo e del monitoraggio/studio della sismicità indotta/innescata.

Inoltre, l'INGV contribuisce in modo determinante alla realizzazione e gestione di banche dati sismologiche fruibili dall'intera comunità scientifica che sono di interesse per il tema. La continua raccolta dati sismici attraverso la RSN INGV e le reti locali è alla base dei cataloghi e database parametrici della sismicità strumentale (ISIDE, Bollettino Sismico Italiano, CSI). Studi multidisciplinari che combinano dati geologici, paleosismologici, storici, sismologici e geofisici condotti anche nell'ambito di Progetti Sismologici finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile attraverso passate Convenzioni (2004-2006, 2007-2009, 2010-2012), hanno permesso di ricostruire la storia sismica italiana, definire i contesti sismotettonici, identificare e caratterizzare faglie attive, producendo banche dati delle sismicità storica (CPTI, DBMI) e delle sorgenti sismogenetiche (DISS).

L'INGV partecipa al Gruppo di Lavoro "per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche" istituito dal Ministero dello Sviluppo Economico. Il rappresentante è il Dott. Claudio Chiarabba, Direttore della Struttura Terremoti.

Nella recente ri-organizzazione dell'ente, il tema sismicità indotta/innescata trova una sua collocazione all'interno proprio della Struttura Terremoti, specificatamente nella **Linea di Attività T6 "Sismicità Indotta e Caratterizzazione dei Sistemi Naturali"**. La Linea T6 ha come obiettivi principali: (i) il monitoraggio sismico di aree interessate da attività di estrazione/iniezione di fluidi nel sottosuolo (sistemi geotermici, giacimenti di idrocarburi, siti di stoccaggio gas) e da invasi artificiali, (ii) lo studio dei processi d'induzione/innesco di terremoti causati da variazioni dello stato fisico del sottosuolo generate dall'attività industriale, (iii) la valutazione dell'impatto dello sfruttamento del sottosuolo in termini di eventuale aumento della pericolosità sismica.

La Linea T6 include quattro macro aree d'intervento:

1 - Monitoraggio sismico. Studio ed implementazione di procedure di monitoraggio della sismicità mediante reti sismiche locali, sviluppo ed applicazione di tecniche per l'analisi di insiemi massicci di dati ed estrazione di segnali, valutazione delle performance di reti sismiche di monitoraggio gestite dall'industria. Analisi dati sismici e discriminazione della sismicità naturale ed indotta/innescata da iniezione di fluidi nel sottosuolo (Injection Induced Seismicity, IIS) e da invasi artificiali (Reservoir Induced Seismicity, RIS).

2 - Fluidi e sottosuolo. Studio dei sistemi naturali (e.g. serbatoi e sistemi geotermici) e del ruolo dei fluidi nel sottosuolo sulla sismogenesi. Studio delle variazioni del campo di stress locale prodotte dalla estrazione/iniezione di fluidi nel sottosuolo mediante dati di pozzo. Definizione di modelli crostali ad alta risoluzione e caratterizzazione di faglie mediante integrazione di dati di sismicità, di sottosuolo e di geofisica di esplorazione. Studio della struttura interna e stato fisico di sistemi geotermici e serbatoi e caratterizzazione degli stessi in chiave sismotettonica.

3 - Simulazione della risposta di serbatoi e sistemi geotermici interessati da iniezione-estrazione di fluidi. Modellazioni numeriche dei processi di fratturazione e relativi pattern di sismicità indotti da iniezione/estrazione di fluidi in sistemi geotermici, reservoir di idrocarburi, siti di stoccaggio gas.

4 - Pericolosità sismica associata a IIS e RIS. Valutazione quantitativa della pericolosità associata alla sismicità indotta mediante approcci sia deterministici che probabilistici. Studi di sorgente e dello scuotimento per eventi indotti superficiali di piccola magnitudo.

Alla Linea T6 aderiscono 60 ricercatori/tecnologi delle Sezioni di Sismologia e Tettonofisica, Centro Nazionale Terremoti, Napoli-Osservatorio Vesuviano, Pisa, Milano-Pavia e Catania (per un totale di 210 mesi/persona). Le attività di monitoraggio e studio sono eseguite utilizzando principalmente tre infrastrutture INGV: Reti di Monitoraggio ed Osservazione, Calcolo Scientifico, Banche Dati.

Principali collaborazioni nazionali ed internazionali sul tema sono attive con GFZ Postdam, ETH, BRGM, USGS, BGS, NORSEAR, University of Krakow, CNR-IGAG, Università di Pisa, Università di Napoli, Università La Sapienza di Roma.

Più in generale, all'INGV è affidata la sorveglianza sismica del territorio nazionale. Questa attività è svolta tramite la RSN INGV in collegamento diretto con il Dipartimento della Protezione Civile nazionale a cui vengono inviati in tempo quasi-reale i dati relativi ai terremoti di magnitudo superiore a 2.5 (Accordo Quadro DPC-INGV 2012-2021). Gli eventi al di sopra della soglia di comunicazione sono solo una minima frazione dei circa 10.000 micro-terremoti che la RSN INGV registra e localizza ogni anno, i cui dati/parametri sono resi fruibili alla comunità scientifica attraverso le banche dati sismologiche dell'INGV (Accordo Quadro DPC-INGV 2012-2021).

Il monitoraggio sismico svolto da INGV è evidentemente di interesse per il tema sismicità indotta/innescata.

I database parametrici della sismicità strumentale INGV sono necessari per eseguire studi di fattibilità in fase di caratterizzazione di siti potenziali per attività di estrazione/iniezione di fluidi (campi geotermici, siti di stoccaggio gas, giacimenti di idrocarburi), contribuendo alla definizione del livello di sismicità di fondo di una area, e sono di supporto alle ricerche nel campo della IIS e RIS.

Grazie all'elevato numero di stazioni sismiche tecnologicamente avanzate della RSN INGV la soglia di detezione è magnitudo 1.0-1.5 e la magnitudo di completezza del catalogo è 2.0 per buona parte del territorio nazionale. Le capacità di detezione della rete è migliore in Appennino ed ampi settori delle Alpi, dove la magnitudo di completezza è 1.5 (Schorlemmer et al., 2010). Ciò indica che la RSN INGV è una infrastruttura di monitoraggio e ricerca idonea per la registrazione e localizzazione della micro-sismicità on-shore in buona parte del territorio nazionale. Pertanto, questa infrastruttura può fornire dati utili per lo studio delle sismicità potenzialmente indotta/innescata, una situazione confrontabile con quanto osservato in studi recenti sulla Injection Induced Seismicity negli Stati Uniti Occidentali (i.e. Ellsworth, 2013 - Science Review, v.341).

Un esempio concreto è rappresentato dal caso della Val d'Agri. Studi recenti dell'INGV (Valoroso et al., 2013) hanno dimostrato che l'intensa sismicità di bassa magnitudo ($M_L < 2.7$) registrata dalla RSN INGV nella Val d'Agri a partire dal 2006, dopo il notevole potenziamento della rete in Appennino Lucano, è prevalentemente di origine indotta. Questa attività è riconducibile a fenomeni di RIS (invaso del Pertusillo) e di IIS (re-iniezione di acque di strato dei giacimenti di idrocarburi nel pozzo Costa Molina 2, presso Montemurro), fenomeni che erano stati già ipotizzati analizzando registrazioni sismiche di alta qualità di un esperimento ad alta densità del 2005-2006 (Valoroso et al., 2009). Gli studi dell'INGV in Val d'Agri evidenziano come il monitoraggio/studio di dettaglio dei fenomeni di RIS ed IIS necessita di reti sismiche locali ad alta densità che permettano la registrazione e localizzazione accurata di eventi anche di bassissima magnitudo ($M_L < 1$).

ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI

Attività e Progetti di ricerca

Progetto EU del VII PQ GEISER "Geiser: Geothermal Engineering Integrating Mitigation of Induced Seismicity in Reservoirs" (2010-2013). Il Progetto, con INGV-OV come partner, è rivolto allo studio ed alla mitigazione dei fenomeni di sismicità indotta durante le fasi di stimolazione per la costruzione di impianti geotermici migliorati (Enhanced Geothermal Systems, EGSs)". L'INGV-OV ha condotto attività nei seguenti campi: (i) Modellazioni numeriche per simulare l'attività di stimolazione in siti EGS e per riprodurre i pattern della sismicità indotta, con applicazione al sito di Soultz-sous-Forets, France; (ii) Implementazione di procedure per l'ottimizzazione di reti sismiche locali per il monitoraggio della microsismicità, con applicazione alla caldera dei Campi Flegrei (Tramelli et al., 2013), (iii) Studio delle proprietà fisiche del sistema e dei meccanismi di sorgente dei terremoti indotti registrati nel sito EGS The Geysers (California), ed analisi della pericolosità sismica mediante approccio probabilistico in siti EGS.

Progetto INGV GAPSS (Geothermal Area Passive Seismic Sources) (2012-2013). Scopo del progetto è lo studio di dettaglio della sismicità nell'area geotermica di Larderello-Travale mediante l'acquisizione ed interpretazione di dati sismici da una rete locale densa di 20 stazioni. Durante l'esperimento è stata registrata una intensa microsismicità organizzata in sciami e cluster. Localizzazioni ipocentrali di precisione forniscono indicazioni sulla geometria dei sistemi di fratture e sulle relazioni tra attività sismica ed operazioni di iniezione/estrazione di fluidi negli impianti geotermici (Piccinini et al., 2013).

Progetto INGV Val d'Agri (2005-2006). Nel 2005-2006 l'INGV ha installato in collaborazione con l'OGS un rete locale densa di 23 stazioni in Val d'Agri per eseguire studi di dettaglio della sismicità locale e della struttura crostale. L'intensa microsismicità registrata (circa 2000 terremoti di $M_L < 2.7$) è stata localizzata con tecniche tomografiche, permettendo di risolvere variazioni temporali dei parametri elastici nel sottosuolo. Queste variazioni e buona parte della sismicità sono interpretabili in termini di RIS, fornendo il caso meglio documentato in Italia di attività indotta da un invasore artificiale (invaso del Pertusillo) (Valoroso et al., 2011). Un cluster di eventi di bassa magnitudo ($M_L < 1.8$) è stato invece correlato con il pozzo iniettore Costa Molina 2 del campo Monte Alpi, presso Montemurro (Valoroso et al., 2009).

Progetto Campi Flegrei Deep Drilling Project (CFDDP) coordinato dall'INGV-OV nell'ambito del Consorzio Internazionale ICDP (2009 -). Il CFDDP è finalizzato allo studio multidisciplinare dei processi vulcanici e di deformazione della caldera dei Campi Flegrei e del potenziale geotermico attraverso l'esecuzione di un pozzo pilota di 500 metri (concluso nel 2012) ed di un pozzo profondo. Obiettivi principali sono la misura diretta su campioni ed in foro dei parametri fisici e meccanici delle rocce e la realizzazione di un sistema di monitoraggio in pozzo. Il progetto prevede attività

rivolte alle comprensione dei processi di generazione dei micro-terremoti mediante test di iniezione in pozzo.

Analisi di dati geodetici. Nell'ambito di collaborazioni internazionali, l'INGV conduce studi sulla relazione tra attività di estrazione di fluidi dal sottosuolo, subsidenza ed eventi sismici attraverso l'analisi di dati geodetici. In particolare, dati geodetici e di deformazione cosismica sono stati utilizzati per vincolare la sorgente ed il processo di rottura del terremoto di Lorca (Spagna) di Mw 5.1 del 2011, evidenziando gli effetti delle variazioni del campo di stress generate dal prolungato ed intenso emungimento di acqua dal sottosuolo sul processo di rottura.

Attività con soggetti industriali

Convenzione stipulata con ENI sul Progetto "Servizi di ricerca, studi specialistici e rilevamenti in campo geofisico, sismologico e geochimico in Val d'Agri" (2013-2015). Argomento principale del progetto multidisciplinare è lo studio di dettaglio della sismicità naturale e/o indotta della Val d'Agri. Temi specifici di attività sono: (i) rianalisi dei dati sismici registrati a partire dal 2001 dalla rete locale ENI, integrati con i dati INGV di stazioni permanenti e temporanee, (ii) studio delle performance della rete locale ENI in termini di livello di detezione e di qualità delle localizzazioni ipocentrali e proposte di ammodernamento della rete, (iii) analisi di dettaglio della sismicità registrata nel sito di re-iniezione di acque di strato (pozzo Costa Molina 2) e della sismicità nelle aree di possibile futura re-iniezione per definire una *baseline* sismica.

Consulenze tecnico scientifiche per istanze di permessi di ricerca di risorse geotermiche finalizzati alla sperimentazione di impianti pilota (2012-2015): Permesso Forio (Ischia, committente ex Taddei Green Power, ora IGT), Permesso Cuma (Campi Flegrei, committente Geoelectric Srl), Permesso Scarfoglio (comuni di Napoli e Pozzuoli, committente Geoelectric Srl).

Convenzione stipulata con ITW&LKW Geotermia Italia SpA "Progetto Geotermico Castel Giorgio – Torre Alfina" (2011, 2013-2016). Il progetto prevede la realizzazione di due impianti geotermici pilota, nei comuni di Castel Giorgio (Umbria) e di Acquapendente (Lazio), con emissione nulla e reiniezione totale del fluido estratto attraverso pozzi produttivi e di re-iniezione. Nell'ambito della convenzione, INGV svolgerà attività di monitoraggio geochimico, sismico e geodetico nell'area del progetto. Il monitoraggio della sismicità prevede la realizzazione e gestione di una rete microsismica di 10 stazioni. La realizzazione è iniziata nell'area di Castel Giorgio ed ha la zona di reiniezione come baricentro. I dati saranno resi pubblici agli enti interessati. L'INGV ha anche prodotto un rapporto sulla sismicità storica e strumentale registrata nell'area.

Convenzione stipulata con STOGIT sul Progetto "Realizzazione di un monitoraggio della microsismicità naturale e/o indotta nell'area del giacimento di Cortemaggiore nell'ambito del progetto pilota di campo" (2009-2012). Obiettivo del Progetto è la pianificazione e realizzazione da parte di INGV di una infrastruttura per il monitoraggio sismico del potenziale sito per stoccaggio di CO₂ nel giacimento esausto a gas di Cortemaggiore (PC) (Augliera et al., 2013) in cui attualmente viene realizzato lo stoccaggio di gas naturale. La rete sismica, operativa dal 2010, è attualmente gestita da STOGIT e monitora le attività di stoccaggio di gas naturale.

Convenzione stipulata con ENEL sul "Progetto ENEL Stoccaggio gas Romanengo" (2011-2013). Realizzazione di un documento divulgativo sul contesto geologico e sismotettonico dell'area di Romanengo (CR) e sulle problematiche connesse alla stoccaggio geologico di gas naturale (sismicità indotta, subsidenza, degassamento). Successivamente l'ENEL ha rinunciato alla realizzazione dell'impianto di stoccaggio.

Convenzione stipulata con CONSORGAS sul tema "Analisi geochimiche e di subsidenza in prossimità del pozzo Pieve Santo Stefano 1 (Umbria)" (2010-2011). L'attività è consistita nell'installazione di un array sismico in prossimità del pozzo per il monitoraggio ed analisi della sismicità prima e durante l'estrazione a fini industriali di CO₂.

Convenzione stipulata con ERG Renew Spa su "Studio di fattibilità di impianti geotermici nei Campi Flegrei" (2009-2012). L'INGV-Osservatorio Vesuviano ha effettuato studi di fattibilità per individuare i siti di maggiore interesse geotermico e le metodologie di generazione elettrica più efficienti e con minore impatto ambientale.

Progetto Multidisciplinare "Pre-injection on-shore geophysical and geochemical monitoring and surveys" stipulato con ENEL nell'ambito del Progetto EEPR-ZEPT (Zero Emissions Porto Tolle) (2008-2010). Il Progetto, incluso nel Programma EU European Energy Programme for Recovery, era finalizzato alla caratterizzazione di potenziali siti per CCS in Alto Adriatico. L'attività svolta da INGV in campo sismologico ha avuto due obiettivi: (i) definizione del quadro sismotettonico del Apenninic Coastal Belt tra l'Emilia-Romagna e le Marche mediante studi multidisciplinari; (ii) studio della sismicità di fondo mediante l'analisi di dati acquisiti da una rete sismica temporanea installata nella regione nel 2010-2011.

Progetto "Alto Lazio" stipulato con ENEL (2006-2010). Il Progetto si inserisce in uno studio di fattibilità per lo stoccaggio geologico di CO₂ nel Lazio settentrionale. Nel 2008-2009 INGV ha installato una rete sismica temporanea per definire il livello di sismicità di fondo ai fini della caratterizzazione di potenziali siti per CCS. L'attività dell'INGV ha anche riguardato l'identificazione di potenziali strutture geologiche per lo stoccaggio di CO₂ mediante dati geologici e di sottosuolo.

Convenzione stipulata con ENEL sul tema "Studio della micro-sismicità nelle aree geotermiche toscane e dei suoi meccanismi di genesi con particolare riferimento alla fenomenologia di tipo sciame" (2004). L'attività è consistita principalmente nell'analisi ed interpretazione delle banche dati sismici strumentali esistenti.

CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA

Uno dei compiti dell'INGV riguarda la gestione, manutenzione e disseminazione delle banche dati sismologiche (Accordo Quadro DPC-INGV 2012-2021).

Banche dati e cataloghi di interesse per ricerche nel campo della IIS e RIS sono:

ISIDe – Database sismico strumentale e parametrico italiano

Il database fornisce i dati relativi ai terremoti che ricadono sul territorio nazionale e nelle regioni limitrofe registrati e localizzati alla RSN INGV. Il suo aggiornamento avviene in tempo quasi-reale, in connessione con le attività di sorveglianza sismica nazionale. I parametri di tutti i terremoti (latitudine, longitudine, profondità, magnitudo locale o durata) vengono inseriti non appena controllati e rianalizzati dai sismologi in turno nel Centro Operativo H24 del Centro Nazionale Terremoti entro 30 minuti dall'evento (Accordo Quadro DPC-INGV 2012-2021). Successivamente, questi dati vengono sostituiti con quelli determinati dalla revisione di tutti i dati disponibili, che definiscono il Bollettino Sismico Italiano. Nel database ISIDe sono disponibili i dati relativi agli eventi registrati e localizzati a partire dal 2005. Il database viene distribuito tramite apposita pagina web.

Bollettino Sismico Italiano - Database sismico strumentale e parametrico italiano

Il Bollettino Sismico Italiano fornisce i dati relativi a terremoti che ricadono sul territorio nazionale e nelle regioni limitrofe registrati dalla RSN INGV revisionati e ri-analizzati dagli analisti sismologi dell'INGV. Il database include i parametri ipocentrali, magnitudo locale, la sintesi delle

localizzazioni ipocentrali, tempi di arrivo ed ampiezza delle fasi sismiche. Il Bollettino è pubblicato su pagina Web con cadenza bimensile ed include dati a partire dal 2002.

CSI – Catalogo della sismicità italiana

Il CSI contiene i dati dei terremoti in Italia e aree limitrofe registrati dal 1981 al 2002. Si basa sull'integrazione delle fasi dalla RSN INGV con tutte le reti regionali e locali che hanno reso disponibili i dati dei tempi d'arrivo dei terremoti. I dati pubblicati si riferiscono ad i parametri ipocentrali, magnitudo (per eventi di magnitudo locale > 1.5) e tempo di arrivo delle fasi P ed S (per gli anni 1997-2002). Il catalogo contiene la localizzazione di circa 92.000 terremoti dei 136.850 registrati, e 39.020 stime di magnitudo. Il catalogo è pubblicato su pagina Web.

EIDA - Archivio continuo delle forme d'onda digitali della RSN

L'archivio delle forme d'onda digitali include le registrazioni in continuo di tutte le stazioni della RSN INGV a partire dal 2008 e di alcuni esperimenti INGV con reti temporanee. I dati, scaricabili attraverso interfaccia Web e Webservice, sono in formato standard internazionale SEED. La qualità, formato ed archiviazione del database delle forme d'onda segue i protocolli definiti dall'European Integrated waveform Data Archive (EIDA), che è la principale piattaforma per la condivisione degli archivi delle forme d'onda registrate dalla comunità sismologica Europea.

DBMI– Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani

Il database DBMI11 raccoglie e seleziona in modo critico i dati degli studi macrosismici relativi a 1681 terremoti con effetti in territorio italiano dall'anno 1000 al 2006. Il database include un sezione specifica dedicata al terremoto Aquilano del 2009. E' consultabile tramite interfaccia Web e per ogni terremoto contiene: i dati di intensità, la mappa con la distribuzione dei valori di intensità, i parametri epicentrali (coordinate e magnitudo M_w) macrosismici e strumentali (ove disponibili), le box sismogenetiche calcolate dal codice Boxer per i terremoti successivi al 1600 e con $M_w > 6.5$. Il database è consultabile anche per località, in modo da fornire la storia sismica del sito di interesse.

CPTI - Catalogo parametrico dei terremoti italiani

Il CPTI11 è il catalogo parametrico dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 2006. Il catalogo fornisce i parametri/dati (parametri epicentrali e ove disponibile profondità ipocentrale, dati macrosismici, magnitudo M_w) di 2894 eventi localizzati in Italia ed aree limitrofe per le soglie di riferimento di $I_0=5-6$ e $M_w=4.5$. I parametri sono stimati a partire da database macrosismici (DBMI11, attraverso l'algoritmo Boxer) e/o strumentali. Nel catalogo sono inclusi *foreshock* e repliche, nonché una sezione specifica sui terremoti etnei. Il CPTI11 è accessibile tramite interfaccia Web.

DISS – Database delle sorgenti sismogenetiche

Il DISS3 è il database parametrico delle potenziali sorgenti sismogenetiche di terremoti di magnitudo maggiore di 5.5, in Italia ed aree circostanti. Il database è il risultato di studi basati sull'analisi integrata di dati geologici, geomorfologici, paleosismologici, di sismicità storica e strumentale, geodetici e di geofisica da esplorazione, finalizzati alla caratterizzazione di sorgenti sismogenetiche individuali o composite (per approfondimenti: Basili et al., 2008). Questi studi sono stati condotti anche nell'ambito di Progetti Sismologici finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile e di Progetti EC (FAUST, SAFE, SHARE). Le sorgenti sono caratterizzate in termini di ubicazione, geometria (lunghezza, profondità, larghezza), cinematica e parametri sismologici (potenziale sismogenetico, tassi di scorrimento, intervalli di ricorrenza, ecc.). Il database è consultabile attraverso un'interfaccia Web-GIS ed una sua replica per Google-Earth. L'aggiornamento avviene mediamente una volta l'anno, secondo la disponibilità dei dati.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è un ente pubblico italiano con il compito di svolgere, promuovere, diffondere, trasferire e valorizzare attività di ricerca nei principali settori di sviluppo delle conoscenze e delle loro applicazioni per lo sviluppo scientifico, tecnologico, economico e sociale. La rete scientifica del CNR è composta da 108 istituti organizzati in 7 Dipartimenti, che coordinano le attività nelle diverse macro-aree di ricerca.

Il Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente (DTA) ha il compito di programmare e coordinare la ricerca scientifica e tecnologica svolta nella rete degli Istituti CNR, con l'obiettivo di ampliare la conoscenza del pianeta Terra, considerato come sistema complesso le cui componenti sono strettamente connesse tra loro.

Le problematiche ambientali come i Cambiamenti Climatici, i Rischi Naturali, le Risorse Naturali e il loro Uso Sostenibile sono le sfide del 21esimo secolo in cui il DTA è principalmente coinvolto. Le attività di ricerca si collocano quindi equamente nelle scienze della Terra e dell'Ambiente, comprendendo lo studio dell'atmosfera, dei sistemi acquatici e terrestri. L'osservazione del sistema Terra, l'analisi dei dati e il loro inserimento in modelli matematici sono tra le attività che il DTA coordina per la comprensione dei processi fisici, chimici e biologici che regolano il nostro pianeta e che servono per prevedere l'evoluzione dell'ambiente nelle sue diverse componenti.

Attività di ricerca specifica sulle relazioni che possono esistere tra le attività antropiche e l'aumento e/o l'innescamento di attività sismica, anche al fine della valutazione dei conseguenti impatti ambientali è svolta principalmente presso l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) e l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG).

Studi e ricerche nel campo della modellazione geologia di sottosuolo, delle georisorse (e.g., geotermia e stoccaggio geologico di CO₂ e CH₄), della tettonica attiva, della sismotettonica e del monitoraggio sismico ed ambientale sono sviluppate, oltre che nei due istituti prima menzionati, anche in altri istituti quali, ad esempio, l'Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA), l'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) e l'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), l'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) e l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC).

Per quanto attiene le relazioni del CNR con altre istituzioni nazionali si segnala quanto segue. L'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) e l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del CNR sono Centri di Competenza del Dipartimento della Protezione Civile su tematiche connesse sismico alla sismicità. In tale veste, IMAA e IGAG hanno partecipato ad attività geologiche e geofisiche di supporto al Dipartimento della Protezione Civile durante le fasi di emergenza sismica del 2009 in Abruzzo e del 2012 in Emilia Romagna. Anche altri istituti del CNR, tra i quali l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) e l'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), sono centri di competenza del Dipartimento della Protezione Civile su problematiche inerenti i rischi ambientali e naturali.

Il CNR partecipa inoltre con un proprio membro (ing. Riccardo Lanari, IREA) al Gruppo di Lavoro "per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche" istituito il 27 febbraio 2014 dal Presidente della Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico.

ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI

Attività e Progetti di ricerca

Sistema per lo studio della sismicità locale (01/2012 - 12/2014)

Progetto di ricerca in fase di svolgimento presso l'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri,

previsto dall'accordo operativo stipulato tra la Regione Basilicata e l'IMAA-CNR per la fase di start-up dell'Osservatorio Ambientale della Val d'Agri e finanziato dalla stessa Regione Basilicata. Il progetto si è occupato dello studio della sismicità storica e recente della Val d'Agri e dello studio delle strutture sismogenetiche dell'area investigata. Sulla base delle forme d'onda disponibili della rete sismica dell'ENI (rete di 15 stazioni sismiche operativa da luglio 2001), integrata con i dati della rete INGV disponibili sul sito <http://iside.rm.ingv.it> da Aprile 2005, sono stati individuati cluster di sismicità concentrati in specifiche aree.

Di particolare interesse sono i due cluster di eventi sismici localizzati rispettivamente a nord e a sud dell'invaso del Pertusillo che presentano le seguenti caratteristiche: si tratta di sciame sismici per i quali non esiste evidenza di un evento principale; la distribuzione frequenza-magnitudo della sismicità presenta un b-value pari a 1.40, molto alto rispetto a quello dell'intero Appennino Meridionale (pari a 0.96); la profondità media degli eventi sismici è di circa 3-4 km.

Un primo risultato (Stabile et al., 2014) ha dimostrato che la sismicità a sud del lago del Pertusillo è significativamente correlata con le variazioni stagionali del livello dell'invaso: è una sismicità indotta continua di bassa magnitudo ($M_l \leq 2.7$, periodo analizzato: gennaio 2005 – giugno 2012) che si genera con ciclicità annuale e con un ritardo di circa un mese rispetto alle variazioni cicliche dell'invaso, è concentrata principalmente tra i mesi di Marzo e Luglio ed interessa la parte terminale meridionale del sistema di faglie dei Monti della Maddalena.

Lo stesso studio ha dimostrato, invece, che il cluster di sismicità a nord dell'invaso non è correlato con le variazioni stagionali dell'invaso ed ha avuto inizio a giugno 2006.

L'ipotesi più probabile è che la sismicità sia indotta dalla re-iniezione nel pozzo "Costa Molina 2" delle acque di strato risultanti dall'estrazione e separazione degli idrocarburi nella concessione ENI in Val d'Agri, in quanto la sismicità è concentrata nei pressi del pozzo su indicato. Sono in corso ulteriori studi focalizzati sull'analisi del cluster di sismicità a nord dell'invaso, grazie anche ai dati provenienti dai registri di re-iniezione di ENI resi disponibili dalla Regione Basilicata.

Di seguito si riporta l'elenco dei dati di interesse per il tema che sono a disposizione del CNR-IMAA, ottenuti attraverso le attività di progetto (in parentesi è indicata la fonte dei dati):

1. Dati sismici della rete microsismica Eni in Val d'Agri da Luglio 2001 (fonte Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri; aggiornamento giornaliero del dato; trasmissione ftp del dato tramite accesso privato)

- a. Dati campionati a 62.5 Hz da Luglio 2001 a Settembre 2012 e a 125 Hz per il periodo successivo;
- b. Numero stazioni della rete Eni: 15 stazioni di superficie
- c. Sensori: geofoni triassiali LE-3D 1Hz della Lennartz Electronic
- d. Acquisitori: MARS88/MC della Lennartz Electronic
- e. Tipo di acquisizione: a trigger

2. Registri di re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2 (fonte: Regione Basilicata – Osservatorio Ambientale della Val d'Agri; aggiornamento giornaliero del dato; trasmissione dei registri via posta ordinaria alla sede dell'Osservatorio Val d'Agri)

- a. Quantitativo smaltito (m^3)
- b. Ore giornaliere di pompaggio
- c. Pressione a testa pozzo (kg/cm^2)

3. Bilanci idrometrici dell'invaso del Pertusillo da Ottobre 1963 (fonte: Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria di Potenza; aggiornamento giornaliero del dato; disponibilità del dato in sede su richiesta)

- a. Volume invasivo netto, affluito e defluito (m^3)
- b. Quota livello invasivo (m s.l.m.)
- c. Portata affluente (m^3/s)
- d. Dati meteo (piogge, temperatura media, minima e massima dell'aria, temperatura del lago, umidità, pressione atmosferica)

Giacimenti di idrocarburi e sismicità stimolata (09/2012 - 12/2014)

Questo progetto di ricerca è in corso di svolgimento presso il Laboratorio di Modellazione Geologica di Sottosuolo (GeoS Lab) dell'IGAG-CNR.

L'obiettivo del progetto è di investigare le possibili relazioni tra le attività connesse con lo sfruttamento minerario di giacimenti di idrocarburi e l'attivazione di sismicità indotta/innescata.

Lo sfruttamento minerario di un giacimento di idrocarburi comporta infatti non solo l'estrazione di petrolio o metano ma anche, in diversi casi, la re-iniezione di fluidi nel sottosuolo. Sia l'estrazione che l'iniezione di fluidi sono potenzialmente capaci di stimolare, in determinate condizioni, fenomeni sismici. Tali fenomeni sismici sono in genere d'intensità molto contenuta (i.e., micro-sismicità) e sono rilevabili solo a livello strumentale. Tralasciando gli effetti microsismici, nella letteratura scientifica internazionale sono comunque descritti almeno 70 casi di eventi con magnitudo da moderata ad elevata (eventi cioè che possono essere risentiti in superficie arrivando a provocare danni anche significativi) in cui l'attività sismica è stata associata, sebbene non sempre in modo incontrovertibile, con la produzione di idrocarburi.

Nel corso di questo studio sono state esaminate le caratteristiche dei tre processi fondamentali ritenuti, nella corrente letteratura scientifica, capaci di "stimolare" sismicità durante le attività di sfruttamento di giacimenti di idrocarburi. In sintesi tali processi sono i seguenti:

1. riduzione della resistenza a taglio causata dall'aumento della pressione di poro conseguente all'immissione di fluidi nel sottosuolo;
2. effetti poro-termo-elastici dovuti ad estrazione di fluidi;
3. disequilibrio isostatico indotto da estrazione di ingenti quantità di fluidi.

In generale, la sismicità indotta/innescata (tipicamente quella associata a fenomeni poro-elastici) si sviluppa entro distanze di qualche chilometro rispetto al giacimento. Possibili eccezioni a questa regola sono rappresentate da: 1) pochi eventi di elevata magnitudo per cui sono state proposte interpretazioni diverse; vengono associati, da alcuni, a processi di riequilibrio isostatico; 2) da alcuni terremoti innescati da iniezione di fluidi in pressione nel sottosuolo anche a distanze di 10 km dal punto di iniezione e con ritardo temporale anche di mesi o anni. In ogni caso, nella letteratura scientifica che descrive tale eccezioni la presenza di eventi a grande distanza è comunque accompagnata da eventi, magari di magnitudo minore, nell'intorno del giacimento.

Su queste basi, per i principali giacimenti italiani dell'Appennino centro-settentrionale (gli importanti giacimenti della Val d'Agri in Appennino meridionale sono oggetto di specifici progetti sviluppati dall'IMAA), si è proceduto a confrontare la posizione nota dei principali giacimenti con i database sismologici disponibili (sismicità database INGV CSI 1.1 per il periodo 1981-2002 e ISIDE per quello 2005-2013; sorgenti sismogenetiche database INGV DISS 3.1.1).

Inoltre, sono state riesaminate le caratteristiche dei principali eventi per cui era stata ipotizzata una possibile correlazione con le attività estrattive (terremoto del Lodigiano del 15 maggio 1951 e terremoti dell'Emilia del maggio 2012).

Il progetto è in corso di completamento con una dettagliata analisi delle caratteristiche geologiche e di giacimento dei reservoir associati ai principali casi in cui sono stata documentata sismicità indotta/innescata.

Elite (01/2013 - 06/2014)

Partecipazione dell'IMAA-CNR come partner al progetto europeo ELITE.

ELITE è l'acronimo di "Elicit to Learn Crucial Post-Crisis Lessons", un progetto finanziato dalla Commissione Europea all'interno del Settimo Programma Quadro (FP7/2007-2013 - grant agreement n° 312497), il cui responsabile è l'Università di Navarra (Spagna) attraverso TECNUN "Scuola di Ingegneria di San Sebastian". ELITE si colloca all'interno del topic "post crisis lesson learned exercise" e, pertanto, ha come scopo primario quello di rafforzare, su scala europea, il livello di preparazione e risposta all'emergenza, anche e soprattutto attraverso la condivisione, l'analisi, la categorizzazione e la valutazione di casi di studio reali, derivati dai principali disastri

che hanno colpito gli Stati Membri. Questi includono al momento solo eventi di tipo naturale connessi ad alluvioni, incendi boschivi e terremoti. Nell'ambito del progetto, l'IMAA-CNR mette a disposizione, in un contesto europeo, quelle che sono le proprie conoscenze nel campo soprattutto del rischio sismico.

Tra le diverse attività svolte dalla rete di ricerca del CNR si segnalano, in particolare, le seguenti attività di ricerca di interesse per i temi oggetto di questo rapporto.

1. Attività dell'IMAA dedicate a studi di sismicità indotta da invasi idrici con tecniche statistiche robuste nell'ambito degli Accordi Bilaterali di Cooperazione Scientifica e Tecnologica tra CNR e (1) CSIR, India (invaso idrico nella regione del Koyna-Warna), (2) ASRT, Egitto (invaso idrico di Aswan), (3) SRNSF, Georgia (invaso idrico di Enguri) e nell'ambito del Programma Short Term Mobility del CNR con l'Universidade Federal do Rio Grande di Natal, Brasile (invaso idrico nell'area di Açú).
2. Attività dell'IMAA dedicate allo studio e alla caratterizzazione delle strutture sismogenetiche e alla valutazione e mitigazione del rischio sismico in aree ad elevato rischio sismico (es., Abruzzo, Pollino, Molise, Emilia Romagna, Val d'Agri, Irpinia, Umbria, etc.), in parte realizzate nell'ambito dei Progetti Sismologici S2 ("Terremoti probabili in Italia nel trentennio 2005-2035. Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia." Task 2: Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana) e S3 ("Scenari di scuotimento e di danno atteso in aree di interesse prioritario e/o strategico"), finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale nell'ambito della Convenzione 2004-2006 con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (art. 5c).
3. Identificazione di faglie in aree sismicamente attive mediante integrazione di tecniche di prospezione elettriche ed elettromagnetiche (Tomografie di Resistività Elettrica, Metodo del Potenziale Spontaneo, Metodi EM, Georadar, ecc.) ed indagini paleosismologiche eseguite dall'IMAA in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale e con l'IGAG di Roma.
4. Progettazione e installazione di una rete di monitoraggio geofisico mediante stazioni multiparametriche per la misura di parametri geofisici (Potenziale Spontaneo, Conduttività elettrica, CO₂, Radon, Temperatura fluidi, Temperatura ambientale, etc.), direttamente o indirettamente associati a dinamiche sismotettoniche, misurati in aree ad elevato rischio sismico dell'Appennino Centro-Meridionale. La rete è stata in funzione dal 1993 al 2005 con n.4 stazioni sismometriche, n.6 stazioni geoelettriche, n.1 stazione MT in continuo e n.2 stazioni geochimiche ed ha rappresentato l'unico esempio in Italia e tra i pochi in Europa di rete multisito e multiparametrica per il monitoraggio di aree sismicamente attive. Attualmente, la rete è in fase di potenziamento nell'ambito di una attività di collaborazione con gruppi di ricerca francesi, tedeschi, greci e giapponesi. La rete ha fornito oltre 100.000 dati geoelettrici, magnetici e geochimici alla banca dati del laboratorio geofisico dell'IMAA.
5. Attività dell'IMAA e dell'IGAG dedicate allo studio e caratterizzazione del sottosuolo, mediante integrazione di tecniche di prospezione elettrica ed elettromagnetica (ERT, GPR, SP, MT) e sismica (HVSR), a supporto di studi di Microzonazione Sismica, in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile nazionale, durante le fasi di emergenza sismica del 2009 in Abruzzo e del 2012 in Emilia Romagna o in aree archeologiche (es. Progetto: "Esecuzione di indagini finalizzate alla valutazione delle pericolosità geologiche del Colle Palatino e alla Microzonazione Sismica di livello 3 dell'area archeologica comprendente lo stesso Colle Palatino, il Foro Romano e il Colosseo").
6. Attività svolte dall'IGAG per la definizione delle caratteristiche delle sorgenti sismogenetiche presenti nel prisma di accrezione nell'Appennino centro-settentrionale e in settori della Basilicata e della Calabria (Progetto S1 "Determinazione del potenziale sismogenetico in Italia per il calcolo della pericolosità sismica" nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 2007-2009) e nel Mar Tirreno meridionale (Progetto S2 "Valutazione del potenziale sismogenetico e

- probabilità dei forti terremoti in Italia” nell’ambito della Convenzione DPC-INGV2004-2006).
7. Ricerche in campo geotermico sono state eseguite, e sono in corso di sviluppo, nell’ambito dei progetti “VIGOR - Valutazione del potenziale Geotermico delle Regioni della convergenza”, “Atlante Geotermico - Caratterizzazione, classificazione e mappatura di risorse geotermiche convenzionali e non-convenzionali per produzione di energia elettrica nelle regioni del Mezzogiorno d’Italia” coordinati dal CNR e a cui hanno partecipato ricercatori di diversi istituti (IGG, IDPA, IGAG, IAMC, IMAA, IRPI, IRSA, ITAE e IPCF), Si segnala, inoltre, la partecipazione all’EU (FP7) Collaborative Project “IMAGE: Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration” (2013-2017) di IGG, IMAA, IGAG e IDPA.
 8. Studi sullo stoccaggio della CO₂ geologico (IGG e IGAG) e mineralogico e degli analoghi naturali del processo di carbonatazione (IGG). Tali ricerche sono state finalizzate all’individuazione di aree idonee, con l’analisi integrata di dati geologici, geofisici e geochemici di superficie e di sottosuolo. Inoltre sono state sviluppate indagini di perfettibilità per la messa a punto di impianti industriali per il sequestro mineralogico di CO₂ in situ o ex situ sulla base dell’integrazione di studi geochemici, petrologici ed isotopici del processo di carbonatazione. Attività di modellistica numerica di confinamento della CO₂ in acquiferi, studiate in progetti internazionali quali ULTIMATECO₂, forniscono ulteriori parametri di analisi di siti potenzialmente interessanti.
 9. Progetto “Application of advanced methodologies for studying seismic source processes and clustering in complex seismogenic regions” approvato in data 26/03/2014 nell’ambito del Programma Short Term Mobility del CNR. Il progetto prevede attività di collaborazione scientifica finalizzate allo studio della sismicità nel Golfo di Corinto (Grecia) e della sismicità indotta in Val d’Agri tra il CNR-IMAA e l’Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) nel periodo compreso tra il 16 giugno e il 6 luglio 2014.
 10. Partecipazione dell’IGAG al progetto FIRB - Accordo di programma 2010, “Indagini ad alta risoluzione per la stima della pericolosità e del rischio sismico nelle aree colpite dal terremoto del 6 aprile 2009” in collaborazione con INGV. Durata 36 mesi.
 11. Progetto SIR (Scientific Independence of young Researchers) presentato al MIUR in data 12/03/2014 dal titolo “INDuced Seismicity in Italy: Estimation, Monitoring, and sEismic risk mitigation” (acronimo INSIEME), in collaborazione con OGS, UNIBAS e IPGP (Parigi, Francia).
 12. Progetto di ricerca sul tema della mitigazione del rischio da sismicità indotta in Val d’Agri, sarà presentato nel quadro dell’iniziativa internazionale “NATO Science for Peace and Security” (collaborazione tra OGS, CNR-IMAA e ReLUI).

Attività con soggetti industriali

Contratto di Ricerca Independent Energy Solutions SRL-IGAG per il progetto “Caratterizzazione geologico-strutturale di trappole potenzialmente idonee allo stoccaggio di metano e/o CO₂” (2008-2010). Tale progetto si proponeva di definire, sulla base dell’interpretazione di dati di sottosuolo e di analisi di analoghi affioranti, l’assetto geologico-strutturale di reservoir rappresentati da rocce carbonatiche fratturate potenzialmente idonei allo stoccaggio di metano e/o CO₂ ubicati nel settore padano ed in adriatico centro-settentrionale.

CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA

Banca Nazionale Dati Geotermici - GEOTHOPICA

La Banca Nazionale Dati Geotermici (BNDG), parzialmente disponibile al pubblico tramite il portale GEOTHOPICA (<http://geothopica.igg.cnr.it>) è gestita dall’Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR. Con l’occasione dei progetti VIGOR e ATLANTE GEOTERMICO, la base di dati è stata notevolmente ampliata inserendo i dati pubblici relativi alle nove regioni del Mezzogiorno d’Italia.

La banca dati raccoglie informazioni caratteristiche (temperature, stratigrafie, parametri chimico-fisici) di pozzi geotermici e petroliferi, e di sorgenti e manifestazioni termali. Per tutto il territorio nazionale il portale fornisce mappe delle isoterme a 1000, 2000 e 3000 metri dal piano campagna e di flusso di calore alla superficie. Mappe aggiornate di temperatura e flusso di calore sono in fase di sviluppo per le regioni del Mezzogiorno. La cartografia tematica si arricchisce anche di indicazioni su tutte le aree che mostrano caratteri favorevoli ad ospitare in profondità sistemi geotermici di alta temperatura (favorevolezza geotermica). Carte di potenziale geotermico delle quattro Regioni della Convergenza sono in corso di validazione. Il portale è in evoluzione, e sarà presto inglobato nella Piattaforma Geotermica Italiana (GIP), una piattaforma informatica per la gestione delle informazioni utili agli operatori geotermici (professionisti e operatori industriali, amministrazioni, pubblico interessato), fornendo uno sportello informativo sulla geotermia utile alla promozione e valorizzazione di questa risorsa energetica.

ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE

ATTIVITÀ ISTITUZIONALI E RELAZIONI CON ALTRE ISTITUZIONI NAZIONALI

OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale) è un ente pubblico di ricerca che opera e sviluppa la propria missione nello Spazio Europeo della Ricerca e in ambito internazionale con prioritario riferimento ai seguenti settori della ricerca di base e applicata: oceanografia (fisica, chimica e biologica), geofisica e geologia marina, geofisica sperimentale e di esplorazione, sismologia e pericolosità sismica. OGS opera per salvaguardare e valorizzare le risorse naturali e l'ambiente, per valutare e prevenire rischi geologici, ambientali e climatici, per diffondere le conoscenze e la cultura scientifica, anche in collaborazione con analoghi istituti nazionali, europei e internazionali, con industrie high-tech e con imprese qualificate. Ciò al fine di favorire il trasferimento dei risultati delle ricerche dal mondo scientifico a quello produttivo e contribuire così allo sviluppo tecnologico e socio-economico del Paese. In coerenza con i contenuti del Programma Nazionale della Ricerca e gli obiettivi strategici stabiliti dall'Unione Europea le aree tecnico/scientifiche su cui si concentra l'attività di OGS sono riconducibili a cinque temi principali: 1. Ambiente e clima; 2. Biodiversità e funzionalità degli ecosistemi marini; 3. Rischi naturali; 4. Risorse naturali; 5. Risorse energetiche. La strategia di ricerca di OGS prevede un approccio multidisciplinare con attività che implicino l'utilizzo delle infrastrutture dell'ente e valorizzino il patrimonio dei dati esistenti.

Monitoraggio sismicità indotta

L'OGS è stato invitato a partecipare, attraverso un proprio rappresentante, al Gruppo di Lavoro "per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche" istituito il 27 febbraio 2014 dal Ministero dello sviluppo economico. Lo scopo del GdL è di elaborare protocolli di azione al fine di monitorare gli impatti delle attività antropiche nel sottosuolo. Il GdL si propone di definire linee guida per:

1) monitoraggio della subsidenza, microsismicità e pressioni di poro nelle aree interessate da produzione/iniezione/reiniezione;

2) stabilire chi analizza/gestisce le reti di monitoraggio e i dati che verranno raccolti;

3) eventuale fissazione di soglie per la gestione del giacimento (sistema a semaforo).

L'OGS ha nominato Enrico Priolo quale proprio rappresentante in seno al GdL. L'attività del GdL è iniziata con la prima riunione il giorno 27 febbraio 2014.

Dal 2012 OGS si è fatto promotore dell'istituzione di una commissione dedicata alla sismicità indotta presso il Consiglio Nazionale Geologi. La proposta è stata accolta con interesse, dato che il CNG ha ben compreso il ruolo del geologo professionista come primo interlocutore di molte amministrazioni pubbliche e di cittadini interessati, di fronte alla crescente domanda di permessi per lo sfruttamento del sottosuolo. Lo scopo della commissione è prevalentemente quello di creare momenti di divulgazione. Il primo risultato è stato l'organizzazione congiunta di una sessione sulla sismicità indotta al convegno GeoItalia 2013, i cui lavori migliori saranno pubblicati su un numero speciale del Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata.

Confinamento geologico della CO₂

Il confinamento geologico della CO₂ rappresenta una delle principali attività di ricerca di OGS, che ha avviato studi e ricerche riguardanti il Carbon dioxide Capture and Storage (CCS) a partire dal 2003.

Nel fare ciò OGS si è avvalso delle forti competenze di esplorazione geofisica, sviluppate in decenni di ricerche svolte per industrie del settore dell'energia e nell'ambito di grandi progetti nazionali (CROP, Programma Nazionale di Ricerche in Antartide), e dei numerosi e stabili contatti sviluppati, soprattutto in Europa, nel settore delle geo-energie.

A partire da tale anno, OGS ha partecipato a 11 progetti sul CCS (5 dei quali in corso) finanziati dalla Comunità Europea nell'ambito dei Programmi Quadro 5, 6 e 7 ed ha avuto un ruolo preminente nella formazione ed ora nella gestione di CO₂GeoNet (The European Network of Excellence on the Geological Storage of CO₂, vedi sotto), Network Europeo di Eccellenza che riunisce istituzioni impegnate negli studi per il confinamento della CO₂, e in CGS Europe (Pan-European coordination action on CO₂ Geological Storage), che ha portato alla creazione di network europeo credibile, indipendente e rappresentativo delle competenze scientifiche in Europa sul confinamento geologico della CO₂. Esso contribuirà all'applicazione della recente Direttiva europea sul confinamento geologico, riducendo il divario tra i Paesi che già sperimentano tali tecniche e quelli che ne stanno avviando le prime sperimentazioni su scala medio-piccola.

OGS inoltre partecipa alle iniziative ZEP (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants), EERA (European Energy Research Alliance, maggiori dettagli forniti di seguito), ECCSEL (European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure, maggiori dettagli forniti di seguito) e CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum).

A livello nazionale, OGS partecipa ai tavoli tecnici promossi dal Ministero dello Sviluppo Economico, è membro dell'Osservatorio CCS, ed è tra i membri fondatori di CO₂Club Italia. OGS è attualmente impegnato nel progetto premiale CO₂Monitor (maggiori dettagli forniti di seguito) finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.

Inoltre, OGS ha sviluppato in ambito nazionale diversi progetti con importanti partner industriali relativi all'individuazione e caratterizzazione di siti potenzialmente idonei per il confinamento geologico della CO₂. Tra questi, l'analisi di aree in prossimità delle due centrali ENEL di Brindisi e Porto Tolle, in Pianura Padana occidentale nonché la valutazione delle potenzialità di stoccaggio di CO₂ nell'area del Sulcis (Sardegna). Infine, OGS ha collaborato con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la redazione di uno studio relativo ai rischi e agli impatti ambientali associati allo stoccaggio geologico di CO₂.

Osservatorio CCS (Osservatorio Carbon Capture and Storage)

L'Osservatorio CCS, di cui OGS è uno dei membri costituenti, è promosso dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e rappresenta lo *Stakeholder Forum* italiano per la lotta ai cambiamenti climatici mediante la promozione delle tecnologie per il sequestro nel sottosuolo della CO₂. L'Osservatorio costituisce una sede esperta e indipendente per la promozione della tecnologia della cattura e del sequestro della CO₂ mediante incontri pubblici fra soggetti istituzionali, istituzioni di ricerca e imprese interessate alla CCS, seminari di approfondimento, attività di comunicazione, formazione e informazione. OGS è coinvolto in due dei gruppi di lavoro istituiti per la predisposizione dei decreti attuativi del decreto legislativo n.162/2011 di attuazione della Direttiva Europea 2009/31/CE per lo stoccaggio geologico della CO₂ (G1 "Individuazione delle aree e potenzialità di stoccaggio" e G3 "Comunicazione")

Tavolo tecnico c/o MISE per implementazione della direttiva europea sulla CO₂

OGS ha partecipato alle iniziative avviate dal Ministero per lo Sviluppo Economico nel processo di trasposizione della Direttiva Europea 2009/31/CE per lo stoccaggio geologico della CO₂ in decreti attuativi.

Le attività principali hanno riguardato l'individuazione dei criteri per una prima mappatura delle aree entro le quali sarà eventualmente consentito stoccare l'anidride carbonica, secondo un principio di selezione-esclusione basato sulle caratteristiche geologiche dell'area e su altri requisiti, quali la zonazione sismica del territorio e la presenza di aree protette.

ALTRE ATTIVITÀ E COLLABORAZIONI CON ALTRI SOGGETTI

Attività e Progetti di ricerca - Monitoraggio sismicità indotta

Nel 2013 l'OGS ha coordinato il "Progetto StoHaz – Underground Gas-Storage Hazard" (coord. Marco Mucciarelli ed Enrico Priolo), sotto-progetto del progetto sismologico DPC-INGV

(Accordo-Quadro 2012-2021, Convenzione C 2012-2013) “S2 - Constraining observations into seismic hazard”, diretto da Laura Peruzza. Il progetto ha dato avvio a una serie di azioni mirate a colmare alcune lacune conoscitive e metodologiche che riguardano la pericolosità sismica degli impianti di stoccaggio di gas in serbatoi naturali depleti. È stata raccolta una vasta documentazione bibliografica e svolta notevole opera di divulgazione, anche veicolando le informazioni attraverso il proprio sito web (<https://sites.google.com/site/s2stohaz/home>).

Al termine del progetto, a fine 2013, è stato prodotto un rapporto scientifico intitolato “D7.1 – Best practices in seismic monitoring and seismic hazard assessment for underground natural gas storages”.

OGS partecipa con CNR e ReLUIS al progetto Convenzione C 2014 DPC-INGV, progetto S2 task 7 e alla proposta MIUR-SIR *Scientific Independence of young Researchers* per giovani ricercatori che hanno come oggetto di studio la Val d'Agri, ed in particolare la necessità di passare dalla pericolosità per sismicità indotta al rischio per la stessa.

Attività e Progetti di ricerca - Confinamento geologico della CO₂

EU CO₂GeoNet

Il CO₂GeoNet (European Network of Excellence on the Geological Storage of CO₂) è una associazione di ricerca no-profit registrata in Francia, costituita da un network europeo di eccellenza indipendente impegnato a fornire informazioni imparziali e scientificamente supportate circa la sicurezza e l'efficienza dello stoccaggio geologico della CO₂. Il network è composto da 24 membri, (principalmente rappresentati da istituti di ricerca e servizi geologici nazionali), di 16 paesi in Europa, con un alto profilo scientifico nel campo dello stoccaggio geologico della CO₂. OGS ha avuto un ruolo preminente nella formazione ed ora nella gestione di CO₂GeoNet (di cui è membro dal 2004), di cui cura il Segretariato Generale.

EERA (European Energy Research Alliance)

L'alleanza europea EERA, promossa dalla Commissione Europea, è costituita da eminenti istituti di ricerca ed enti pubblici europei attivi nel campo dell'energia ed è finalizzata ad accelerare lo sviluppo a grande scala di nuove tecnologie energetiche per concepire e attuare programmi comuni di ricerca e integrare attività e risorse, combinando fonti nazionali e comunitarie di finanziamento e massimizzando complementarità e sinergie.

EERA si articola in una serie di Programmi Congiunti (Joint Programs) tra i quali esistono EERA CCS, dedicato allo sviluppo delle tecniche CCS per la riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera, ed EERA Geotermia, incentrato sullo sfruttamento dell'energia geotermica per lo sviluppo di energia elettrica. In EERA-CCS OGS è coinvolto nel sotto-programma “Storage”, di cui è stato il coordinatore sino al 2012, che si occupa della implementazione delle conoscenze per l'identificazione e la caratterizzazione dei potenziali siti di stoccaggio, il loro monitoraggio e le tecniche per la gestione sicura dei siti di iniezione.

Il coinvolgimento di OGS in EERA-Geotermia è invece legato alla caratterizzazione geofisica da pozzo dei reservoir, in cui l'ente ha maturato una notevole esperienza, ed in particolare alle metodologie di sismica “*while drilling*” (SWD) inizialmente messe a punto da OGS assieme ad ENI per la ricerca di idrocarburi e coperte dal marchio Seisbit e da brevetti industriali congiunti OGS-ENI, adattate ed applicate da OGS per gli scopi della perforazione e dell'esplorazione geotermica.

EU ENeRG (European Network for Research in Geo-Energy)

ENeRG è una rete scientifica che riunisce università ed enti di ricerca da 29 paesi in Europa, i quali svolgono attività di ricerca di base e ricerca applicata alle tecnologie per l'esplorazione e lo sfruttamento delle geo-risorse.

L'obiettivo primario di ENeRG è quello di istituire una più ampia e stretta collaborazione a livello europeo tra le istituzioni scientifiche e le industrie, al fine di promuovere e svolgere progetti

di ricerca. Ne sono esempio di successo i seguenti progetti sul confinamento geologico della CO₂ finanziati dalla Comunità Europea: EU GeoCapacity, Castor, CO₂NetEast, CGS Europe.

Un secondo obiettivo del network è quello di interagire con le direzioni della Commissione Europea per fare il punto sullo stato della ricerca e suggerire, con dei Position Paper, quali avanzamenti sono ritenuti necessari nelle varie tematiche legate alle geo-risorse, soprattutto nei settori più rilevanti ed emergenti.

OGS è stato uno degli enti fondatori di ENeRG, rappresentante italiano fino a oggi e Presidente negli anni 2001 e 2010.

OGS ha inoltre stipulato un Accordo Quadro con l'Astronomy and Geophysics Research Institute at King Abdulaziz City for Science and Technology (AGRI) di durata quinquennale (2007-2012) per la cooperazione tecnica e scientifica nelle Scienze della Terra (Referente Scientifico: A. Vesnaver). Tale accordo definiva una serie di attività di ricerca, sviluppo, elaborazione dati ed formazione professionale di comune interesse nel campo della sismica attiva e passiva. L'Accordo Quadro contemplava importanti aspetti innovativi quali l'analisi tomografica congiunta di dati sismici attivi e passivi, la modellazione di eventi sismologici, lo studio della crosta e del mantello superiore e studi di sismologia generale ed applicata all'ingegneria.

Progetti OGS finanziati dalla Comunità Europea

- **CASTOR** (CO₂: from Capture to Storage)
- **INCA-CO₂** (INternational Co-operation Actions on CO₂ capture and storage)
- **GeoCapacity** (Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide)
- **MovECBM** (Monitoring and verification of CO₂ storage and ECBM in Poland)
- **CO₂ReMoVe** (CO₂ geological storage: research into monitoring and verification technology)
- **Accordo Italia-Algeria** (Monitoraggio della CO₂ sequestrata in un giacimento sfruttato di idrocarburi)
- **SiteChar** (Characterisation of European CO₂ Storage)
- **RISCS** (Research into Impacts and Safety in CO₂ Storage)
- **CO₂CARE** (CO₂ Site Closure Assessment Research)
- **ECCSEL** (European Carbon dioxide Capture and Storage Laboratory)
- **ECO₂** (Sub-seabed CO₂ Storage: Impact on Marine Ecosystems)
- **CO₂SToP** (Assessment of CO₂ Storage Potential in Europe)
- **CO₂REMOVE** (REsearch MONitoring VERification)
- **MovECBMm** (Monitoring and verification of Enhanced Coal Bed Methane)

Vengono illustrati in maggiore dettaglio tre progetti sul confinamento geologico della CO₂, in cui OGS è coinvolto:

- **ECCSEL**, in cui OGS sta predisponendo e gestirà dei laboratori naturali a Panarea e Latera, con lo scopo di sviluppare e sperimentare nuove tecniche di monitoraggio della CO₂ e studiare i potenziali effetti di fuoriuscite di CO₂ sull'ecosistema;
- **CO₂Monitor**, Progetto Premiale finanziato dal MIUR che prevede l'integrazione tra discipline geofisiche e oceanografiche per il monitoraggio sismico, biologico e atmosferico;
- **SiteChar**, progetto appena concluso in cui sono stati stabiliti criteri univoci per la caratterizzazione di siti di stoccaggio di CO₂ e nel quale l'OGS ha curato in dettaglio lo studio dell'unica area test ospitante un acquifero salino in depositi carbonatici.

ECCSEL (European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure)

ECCSEL ha per obiettivo l'avvio di un'infrastruttura multicentrica formata dai migliori laboratori in Europa impegnati in ricerche sulla cattura e stoccaggio geologico della CO₂ e la realizzazione di nuovi laboratori, per migliorare le tecniche CCS.

Di ECCSEL, incluso nella roadmap di ESFRI nel 2008, è stata finanziata dalla Commissione Europea, nel biennio 2011-2012, la Fase Preparatoria che proseguirà nel biennio 2013-2014, grazie ad un nuovo contratto assegnato dalla CE, con l'obiettivo di avere l'infrastruttura ECCSEL pienamente operativa nel 2015.

Alla fase preparatoria del progetto hanno partecipato 15 istituti da 10 Paesi europei, di cui, per l'Italia, OGS ed ENEA.

ECCSEL-NatLab Italy è la componente italiana di ECCSEL e consta di due laboratori naturali che OGS ha avviato e gestisce a Panarea (Isole Eolie) e Latera (provincia di Viterbo), siti di emanazione naturale della CO₂, con lo scopo di sviluppare e sperimentare nuove tecniche di monitoraggio della CO₂ e studiare i potenziali effetti di fuoriuscite di CO₂ sull'ecosistema.

CO2Monitor

Il progetto di ricerca premiale CO2MONITOR prevede uno studio multidisciplinare sulle potenzialità di differenti tecniche geofisiche e biologiche di monitoraggio, in terra e in mare, per evidenziare la presenza di fuoriuscite di CO₂ da siti di stoccaggio naturale.

Il monitoraggio dei siti di stoccaggio rappresenta un elemento di enorme importanza che condiziona il rilascio stesso dei permessi di esplorazione ed utilizzo dei siti, consente il futuro computo delle quantità di CO₂ immagazzinate (crediti CO₂) e favorisce l'accettazione da parte del pubblico. Questo progetto di innovazione tecnologica si prefigge di affrontare in maniera organica uno studio sulle potenzialità di differenti tecniche geofisiche e biologiche di monitoraggio profondo e superficiale dei siti di stoccaggio della CO₂ per assicurare e definire gli standard di sicurezza.

EU SiteChar (Characterisation of European CO₂ Storage)

Il progetto triennale europeo SiteChar, lanciato nel 2011 e finanziato nell'ambito del Settimo Programma Quadro FP7, aveva come obiettivo primario la definizione di criteri standard per la caratterizzazione di siti di stoccaggio geologico di CO₂, creando così uno strumento per l'applicazione dello stoccaggio geologico su scala industriale in Europa. Il progetto mirava ad esaminare l'intero processo di caratterizzazione di un sito integrando caratterizzazione di sito (modellazione statica e dinamica), valutazione e gestione dei rischi e sviluppo di piani di monitoraggio per mettere appunto un protocollo. Il progetto è stato testato attraverso l'analisi di una serie di siti, sia in mare che in terra, caratterizzati da potenziali reservoir ospitati in acquiferi salini e in giacimenti di idrocarburi esauriti rappresentativi di vari contesti geologici in diversi Paesi europei. Nell'ambito del progetto sono state selezionate 5 potenziali aree test per lo stoccaggio, tra cui un acquifero salino carbonatico nel Mare Adriatico meridionale.

OGS è stato coinvolto in diversi workpackage che riguardavano il monitoraggio sismico, la creazione del modello statico e la divulgazione ed è stato leader del workpackage relativo alla caratterizzazione del sito di stoccaggio situato nell'offshore dell'Adriatico meridionale, al largo di Brindisi, unico nel suo genere in quanto in acquifero carbonatico. L'OGS si è occupato anche della diffusione dei risultati del progetto, sviluppandone anche il sito web.

Attività con soggetti industriali - Monitoraggio sismicità indotta

Rete Sismica di Collalto - RSC

La Rete Sismica di Collalto - RSC è l'infrastruttura finalizzata al monitoraggio della sismicità naturale e della micro-sismicità eventualmente indotta presso la concessione di stoccaggio gas naturale denominata "Collalto Stoccaggio", in provincia di Treviso. Lo stoccaggio sfrutta un giacimento di gas naturale depleto riconvertito a deposito di gas. Per utilizzare il serbatoio a pressioni di confinamento prossime a quelle originali, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha imposto alcuni monitoraggi, tra cui quello sismico.

La RSC è stata realizzata ed è gestita dall'OGS per conto di Edison Stoccaggio S.p.A., titolare della concessione di stoccaggio, ed è operativa dal 1/12/2012. Essa si compone di dieci stazioni

sismometriche e una stazione geodetica GNSS permanente, i cui dati sono teletrasmessi alla sede dell'OGS, dove vengono elaborati e analizzati.

Tutti i dati e la documentazione tecnico-scientifica sono resi pubblici attraverso il sito web della RSC (rete-collalto.crs.inogs.it).

La RSC è, di fatto, la prima rete di monitoraggio di attività di stoccaggio del gas gestita da un ente pubblico ed è riconosciuta a livello nazionale come esempio importante dell'attività di monitoraggio sismico sia per i canoni utilizzati per la sua progettazione, sia per la discussione che è stata avviata su come il monitoraggio debba essere utilizzato e su come le informazioni debbano essere divulgate al pubblico.

Progetto "Ferrara Est"

A seguito di una richiesta di integrazione fatta dalla Regione Emilia Romagna per una VIA, nel 2012 la società di multiservizi HERA SpA di Bologna e Ferrara ha commissionato ad OGS uno studio atto ad acquisire alcuni elementi conoscitivi nell'ambito del progetto "Ferrara Est" per il raddoppio dell'impianto geotermico di tele-riscaldamento già esistente a Ferrara, nell'area occidentale della città, per estenderlo anche all'area orientale.

All'OGS fu chiesto di: 1) verificare delle stime di pericolosità disponibili per il sito di Pontegradella confrontate con altri elementi di giudizio quali il massimo terremoto credibile, la normativa per la sismicità indotta e il massimo terremoto registrato in Italia che può essere attribuito a sismicità indotta da geotermia; 2) presentare un progetto di massima di una rete sismica finalizzata al rilevamento della sismicità naturale e della microsismicità eventualmente indotta nell'ambito delle attività concernenti la realizzazione e il successivo esercizio dell'impianto geotermico.

L'OGS ha terminato questo studio nel 2013. Nell'ambito del progetto si sono svolti numerosi dibattiti/incontri pubblici [**Appendice 4**].

Si segnala come per la prima parte delle attività svolte fosse in previsione la revisione dello studio di pericolosità qualora i dati disponibili si fossero mostrati a svantaggio di sicurezza, ma tali analisi non si sono rese necessarie poiché tutti e tre gli spettri sono risultati inferiori allo spettro utilizzato per la progettazione dell'impianto.

Attività con soggetti industriali - Confinamento geologico della CO₂

OGS ha instaurato duraturi e continuativi rapporti di collaborazione con i principali rappresentanti del settore energetico nazionale, con i quali sono stati sottoscritti Accordi Quadro di collaborazione pluriennale, quali:

ENEL Energia e Innovazione S.p.A. – Accordo Quadro di durata triennale per attività legate al confinamento geologico della CO₂ (contratto n. 8400053240 del 26/03/2012). Referente Scientifico: F. Donda.

L'Accordo definiva una serie di attività di ricerca che comprendevano: 1. Analisi geologico-strutturale di potenziali siti di stoccaggio (Alto Adriatico ed altri siti in aree nazionali e/o europee); 2. Sviluppo di un modello di monitoraggio sismico; 3. Presidio della *baseline off-shore* delle emissioni naturali di CO₂ nell'area Alto Adriatico".

ENI S.p.A. – Accordo Quadro di durata triennale per attività di ricerca (Accordo Quadro n. 4400000031 del 13/01/2009). Referente scientifico: S. Persoglia.

L'Accordo prevedeva lo svolgimento di attività di ricerca nel campo della geofisica di esplorazione; nell'ambito di tale Accordo sono stati stipulati diversi contratti finalizzati all'individuazione e caratterizzazione di siti potenzialmente idonei per il confinamento geologico della CO₂.

CONOSCENZE, RISULTATI E BANCHE DATI DI INTERESSE PER IL TEMA

Rete Sismica di Collalto

La Rete Sismica di Collalto ha un sito web dedicato (rete-collalto.crs.inogs.it) all'interno del quale si trovano le informazioni di carattere generale, tecnico e scientifico, i rapporti scientifici e presentazioni, e grafici e meta-dati riguardanti il monitoraggio effettuato.

In particolare, sono liberamente accessibili i seguenti contenuti:

- i rapporti tecnico-scientifici semestrali;
- le liste di eventi rilevati (con aggiornamento circa ogni due mesi);
- le forme d'onda continue di tutte le stazioni, senza alcuna restrizione.

Tutte le informazioni che si riferiscono ai siti delle stazioni e alla strumentazione installata sono state caricate anche nel database che gestisce i dati sismologici strumentali dell'OGS, chiamato OASIS – The OGS Archive System of Instrumental Seismology.

OASIS - The OGS Archive System of Instrumental Seismology

Il portale web di consultazione di OASIS (oasis.crs.inogs.it) è aperto al pubblico e attraverso questo sito è possibile scaricare liberamente anche i dati di forme d'onda continue registrati dalle altre stazioni delle reti gestite dall'OGS, secondo standard sismologici consolidati.

Progetto StoHaz

Il sito web del Progetto StoHaz (<https://sites.google.com/site/s2stohaz/home>) raccoglie numeroso materiale bibliografico sullo stoccaggio del gas e la sismicità indotta, ordinato per argomenti specifici. Esso fornisce anche link a numerosi siti di interesse e da accesso al rapporto scientifico intitolato "D7.1 – Best practices in seismic monitoring and seismic hazard assessment for underground natural gas storages".

BIBLIOGRAFIA

SISMICITÀ INDOTTA/INNESECCATA IN ITALIA

- Batini, F., Bufe, C., Cameli, G.M., Console, R., Fiordelisi, A., 1980a. Seismic monitoring in Italian geothermal areas I: seismic activity in the Larderello-Travale region. In: Proceedings Second DOE-ENEL Workshop on Cooperative Research in Geothermal Energy, Report LBL-11555, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, USA, October 20–22, pp. 20–47.
- Batini, F., Cameli, G.M., Carabelli, E., Fiordelisi, A., 1980b. Seismic monitoring in Italian geothermal areas II: seismic activity in the geothermal fields during exploitation. In: Proceedings of Second DOE-ENEL Workshop on Cooperative Research in Geothermal Energy, Report LBL-11555, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, USA, October 20–22, pp. 48–85.
- Batini, F., Console, R., Luongo, G., 1985. Seismological study of Larderello-Travale geothermal area. *Geothermics* 14 (2–3), 255–272.
- Batini, F., Fiordelisi, A., Moia, F., 1990. Main features of the seismicity in the Monte Amiata and Latera geothermal areas (Italy). In: Presented at XXII General Assembly European Seismological Commission, Barcelona, Spain, September 17–22, pp. 649–654.
- Caloi P., De Panfilis M., Di Filippo D., Marcelli L., Spadea M.C., 1956. Terremoti della Val Padana del 15-16 maggio 1951. *Annali di Geofisica*, IX, 64-106.
- Caloi P., 1966. L'evento del Vajont nei suoi aspetti geodinamici. *Annali di Geofisica*, XIX, 1-84.
- Caloi P., 1970. Come la natura reagisce all'intervento dell'uomo - Responsabilità di chi provoca e di chi interpreta tali reazioni. *Annali di Geofisica*, XXII, 247-282.
- Caloi P., Migani M., 1971. Microsismi da piccoli bacini chiusi, da mari interni, da oceani. *Annali di Geofisica*, XXIV, 515-549.
- Carabelli E., Moia F., Fiordelisi A., 1984. Seismic monitoring during geothermal wells stimulation as contribution to the individuation of prevailing fracturation trends. In: Presented at Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence, Italy, May 14–17, pp. 1–31.
- Chiarabba C., 2014. Induced Seismicity in Italy: an overview, American Association of Petroleum Geologists (AAPG); Induced Seismicity Conference, London, February, 2014.
- Evans K. F., Zappone A., Kraft T., Deichmann N., Moia F., 2012. A survey of the induced seismic responses to fluid injection in geothermal and CO₂ reservoirs in Europe. *Geothermics* 41, 30– 54
- Giuseppetti G., Zaninetti A., Angeloni P., Mucciarelli M., Federici P., 1996. Fifteen years of acoustic emissions and microseismic activity monitoring at the Passante hydroelectric reservoir. Proceedings of the 1997 ICOLD Conference, 1007-1024.
- Marzorati D., Maroli R., 2012. Stoccaggio di gas naturale nel sottosuolo: aspetti geologici, dinamici e attività di monitoraggio. Atti del congresso dell'Ordine dei Geologi di Basilicata "Ricerca, Sviluppo e utilizzo delle Fonti Fossili: il ruolo del geologo", Potenza, 30 novembre – 2 dicembre 2012.
- Migani M., 1968. Microsismicità e variazione della pressione sul fondo di un bacino idrico. *Annali di Geofisica*, XXI, 219-233.
- Moia F., Angeloni P., Cameli G.M., Zaninetti A., 1993. Monitoring induced seismicity around geothermal fields and reservoirs. In: Presented at First Egyptian Conference on Earthquake Engineering, Hurgada – Egypt, 1993, pp. 1–10.
- Mucciarelli M., Gallipoli M.R., Fiaschi A., Pratesi G., 2001. Osservazioni sul danneggiamento nella zona del Monte Amiata a seguito del terremoto del 1° Aprile 2000. Atti del X Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera, Edizione su CD-Rom.
- Mucciarelli M., 2013. Induced seismicity and related risk in Italy. *Ingegneria Sismica*, Vol XXX, 118-125.
- Piccinelli F.G., Mucciarelli M., Federici P., Albarello D., 1995. The microseismic network of the Ridracoli dam, northern Italy: data and interpretations. *PAGEOPH*, Vol. 145, No. 1, 97-108.

- International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia region (ICHESE), 2014. Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region. 213 pp. http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/ICHESE/ICHESE_Report.pdf
- Schorlemmer D., Mele F., Marzocchi, 2010. A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy, *J. Geophys. Res.*, 115, B04308.
- Stabile T. A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L. , 2014. Evidences of Low-Magnitude Continued Reservoir-Induced Seismicity Associated with the Pertusillo Artificial Lake (Southern Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 104, doi: 10.1785/0120130333.
- Valoroso, L., Improta L., Chiaraluce L., Di Stefano R., Ferranti L., Govoni A., Chiarabba C., 2009. Active faults and induced seismicity in the Val d'Agri area (southern Apennines, Italy). *Geophys. J.Int.* 178, 488–502, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04166.x.
- Valoroso L., Improta L., De Gori P., Chiarabba C., 2013. High-resolution earthquake locations of natural and induced seismicity in the Val d'Agri region (southern Italy). *FIST GEOITALIA 2013 – IX Forum di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induce Seismicity*, Pisa 16-18 Settembre 2013.

ISPRA

- IAEA, 2010 - IAEA Safety Standards Series No. SSG-9- Seismic Hazards in site evaluation for nuclear installations - Specific Safety Guide - International Atomic Energy Agency - VIENNA., http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1448_web.pdf
- Maesano F.E., Burrato P., Toscani G., Mirabella F., D'Ambrogi C. & Basili R., 2012. Deriving thrust fault slip rates from geological modeling: examples from the Marche coastal and offshore contraction belt, northern Apennines, Italy. *Marine and Petroleum Geology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.10.008>
- Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gurpinar A., Mc Calpin J., Mohammadioun B., Mörner N.A., Ota Y. & Roghazin E., 2007. Intensity Scale ESI 2007. In: Guerrieri L. & Vittori E. (Eds.): *Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia.*, vol. 74, Servizio Geologico d'Italia – Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Rome, Italy.

INGV

- Anselmi M., Buttinelli M., et al., 2011. La campagna sismica del Progetto "Alto Lazio": rapporto delle attività 2008-2009. *Rapporti Tecnici INGV*, 183.
- Anselmi M., et al., 2012. La campagna sismica del Progetto ALTO ADRIATICO": rapporto delle attività 2010-2011. *Rapporti Tecnici INGV*, 232, ISSN 2039-7941.
- Augliera P., Franceschina G., Lovati S., and Massa M., 2013. Surface seismic monitoring of a natural gas storage reservoir in the Po Plain (Northern Italy). *FIST GEOITALIA 2013 – IX Forum di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induce Seismicity*, Pisa 16-18 Settembre 2013.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. and Boschi E., 2008. The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, 453, Issue: 1-4, 20-43.
- Bonì R., Herrera G., Meisina C., Notti D., Zucca F., Bejar M., González P., Palano M. and Tomás R., 2014. Advanced interpretation of ground motion using Persistent Scatterer Interferometry technique: the Alto Guadalentín Basin (Spain) case of study, *Geophysical Research Abstracts*, 16, EGU General Assembly 2014.
- Braun T., Cesca S., Piccinini D., Spinelli E. and Fiordelisi A., 2007. Source inversion of seismic events recorded in the Larderello geothermal area, *EGU Meeting*, Vienna 2007
- Braun T., Cesca S., Martirosian A. and Dahm T., 2012. Parameters of induced and natural seismicity recorded in the vicinity of an active low angle normal fault in the Northern Apennines (Italy). *AGU, Fall Meet. Suppl. (S43D-2506)*. 10

- Buttinelli M., Scrocca D., De Rita D. and Quattrocchi F., 2014. Modes of stepwise eastward migration of the northern Tyrrhenian Sea back-arc extension: Evidences from the northern Latium offshore (Italy), *Tectonics*, 33, Issue 2, 187–206.
- Chiarabba C., 2014. Induced Seismicity in Italy: an overview, American Association of Petroleum Geologists (AAPG); Induced Seismicity Conference, London, February, 2014.
- Convertito V., Maercklin N., Sharma N. et al., 2012. From Induced Seismicity to Direct Time-Dependent Seismic Hazard, *BSSA*, 102-6, 2563-2573.
- Douglas J., Edwards B., Convertito V., 2013. Predicting Ground Motion from Induced Earthquakes in Geothermal Areas, *BSSA*, 103-3, 1875-1897.
- González P.J., Tiampo K.F., Palano M., Cannavò F., and Fernandez J., 2013. The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater crustal unloading, *Nature Geoscience*, 5, 821-825.
- Piccinini D., Saccorotti G., Mazzarini F., Zupo M., Capello M., Musumeci G., Cauchie L., Chiarabba C., 2013. Passive, broad-band seismic measurements for geothermal exploration: the GAPSS experiment. FIST GEOITALIA 2013 – IX Forum di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induce Seismicity, Pisa 16-18 Settembre 2013.
- Schorlemmer D., Mele F., Marzocchi, 2010. A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy, *J. Geophys. Res.*, 115, B04308.
- Sharma N., Convertito V., Maercklin N. et al., 2013. Ground-Motion Prediction Equations for The Geysers Geothermal Area based on Induced Seismicity Records, *BSSA*, 103-1, 117-130.
- Tramelli A., Troise C., De Natale G., Orazi M., 2013. A New Method for Optimization and Testing of Microseismic Networks: An Application to Campi Flegrei (Southern Italy), *BSSA*, 103-3, 1679-1691.
- Tramelli A., C. Troise C., De Natale G., Orazi M., 2013. Testing and optimization of the seismic networks of Campi Flegrei (Southern Italy), *Adv. Geosci.*, 36, 49-55.
- Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise C., Tramelli A., De Natale G., 2013. A Coulomb stress model for induced seismicity distribution due to fluid injection and withdrawal in deep boreholes, *Geophys. J. Internat.*, 195-1, 504-512.
- Valoroso L., Improta L., Chiaraluce L., Di Stefano R., Ferranti L., Govoni A., Chiarabba C., 2009. Active faults and induced seismicity in the Val d'Agri area (Southern Apennines, Italy), *Geophys. J. Internat.*, 178-1, 488-502.
- Valoroso L., Improta L., De Gori P., Chiarabba C., 2011. Upper crustal structure, seismicity and pore pressure variations in an extensional seismic belt through 3-D and 4-D Vp and Vp/Vs models: The example of the Val d'Agri area (southern Italy), *J. Geophys. Res.*, 116-B07303.
- Valoroso L., Improta L., De Gori P., Chiarabba C., 2013. High-resolution earthquake locations of natural and induced seismicity in the Val d'Agri region (southern Italy). FIST GEOITALIA 2013 – IX Forum di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induce Seismicity, Pisa 16-18 Settembre 2013.

CNR

- Albarello D., Gallipoli M. R., Bianca M., 2011. Extensive seismic survey with passive prospecting techniques: the L'Aquila earthquake example. In: ARACNE EDITRICE, ARICCIA ROMA. The Dynamic Interaction of Soil and Structure. L'Aquila, 19 March 2010. 137-152, doi: 10.4399/97888548369389.
- Balasco M., Chianese D., Colangelo G., Cuomo V., Di Bello G., Gallipoli M. R., Lapenna V., Mucciarelli M., Patella D., Piscitelli S., 2002. A new monitoring network to detect geoelectrical and seismometric signals in a seismic area of Southern Italy. *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling*, Eds. M. Hayakawa and O.A. Molchanov, by TERRAPUB, Tokyo, 405-411.
- Boncio P., Pizzi A., Cavuoto G., Mancini M., Piacentini T., Miccadei E., Cavinato G. P., Piscitelli S., Giocoli A., Ferretti G., De Ferrari R., Gallipoli M. R., Mucciarelli M., Di Fiore V., Pergalani

- F., Naso G. and Working Group Macroarea 3: Giaccio B., Moscatelli M., Spadoni M., Romano G., Franceschini A., Spallarossa D., Pasta M., Pavan M., Scafidi D., Barani S., Eva C., Compagnoni M., Campea T., Di Bernardino G. R., Mancini T., Marino A., Montefalcone R., Mosca F., 2011. Geological and geophysical characterisation of the Paganica – San Gregorio area after the April 6, 2009 L'Aquila earthquake (Mw 6.3, central Italy): implications for site response. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 52, Issue 3, Pages 491-512, doi: 10.4430/bgta0014.
- Carminati E., Scrocca D., Doglioni C., 2010. Compaction-induced stress variations with depth in an active anticline: Northern Apennines, Italy. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, , doi: 10.1029/2009JB006395.
- Colangelo G., Balasco M., Lapenna V., Telesca L., 2004. Design and installation of a monitoring network to investigate the correlations between geoelectrical fluctuations and seismicity of Basilicata region (southern Italy). *Phys. Chem. Earth*, 29(4), 313-320.
- Cuffaro M., Riguzzi F., Scrocca D., Antonioli F., Carminati E., Livani M., Doglioni C., 2010. On the geodynamics of the northern Adriatic plate. *Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti Lincei. Supplemento*, vol. 21, p. 253-279, doi: 10.1007/s12210-010-0098-9.
- D'Ambrogio C., Scrocca D., Pantaloni M., Valeri V., Doglioni C., 2010. Exploring Italian geological data in 3D. *Journal of the Virtual Explorer*, vol. 36, paper 33, doi: 10.3809/jvirtex.2009.00256.
- De Matteis R., Matrullo E., Rivera L. Stabile T. A., Pasquale G., Zollo A., 2012. Fault delineation and regional stress direction from the analysis of background microseismicity in Southern Apennines, Italy, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(4), 1899-1907, doi: 10.1785/0120110225
- Doglioni C., Ligi M, Scrocca D., Bigi S., Bortoluzzi G., Carminati E., Cuffaro M., D'Oriano F., Forleo V., Muccini F., Riguzzi F., 2012. The tectonic puzzle of the Messina area (Southern Italy): Insights from new seismic reflection data. *Scientific Reports*, vol. 2, Article Number 970 doi: 10.1038/srep00970.
- Gallipoli M. R., M. Mucciarelli, 2009. Comparison of site classification from Vs30, Vs10 and HVSR in Italy. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 99, 340-351, doi:10.1785/0120080083.
- Gallipoli M. R., D. Albarello, M. Mucciarelli, M. Bianca, 2011. Ambient Noise Measurements to support Emergency Seismic Microzonation: the Abruzzo 2009 earthquake experience. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 52, 539-559.
- Gallipoli, M. R., Bianca, M., Mucciarelli, M., Parolai, S., Picozzi, M., 2013. Topographic versus stratigraphic amplification: Mismatch between code provisions and observations during the L'Aquila (Italy, 2009) sequence, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(5), 1325-1336.
- Gallipoli M. R., Chiauuzzi L., Stabile T. A., Mucciarelli M., Masi A., Lizza C., Vignola L., 2014. The role of site effects in the comparison between code provisions and the near field strong motion of the Emilia 2012 earthquakes, *Bull Earthquake Eng.*, doi:10.1007/s10518-014-9628-7.
- Giocoli A., Stabile T. A., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L., Possidente L., Marino M. F., Lapenna V., 2013. Sistema per lo studio della sismicità locale – Sismicità naturale e indotta. Primi risultati e prospettive per il caso di studio dell'Alta Val d'Agri, Basilicata, In *ATTI del 1° Congresso dei Geologi di Basilicata*, pp. 287-297, Potenza, Italy, 2013, November 30 – December 02. ISBN: 978-88-904973-5-3 (in Italian)
- Giocoli A., Stabile T. A., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L., Lapenna V., 2012. Evidences of possible reservoir-induced seismicity by the Pertusillo artificial lake (Southern Italy): preliminary results and ongoing activities. *AGU Fall Meeting*, S43D-2488, San Francisco, 3 – 7 December 2012
- Improta L., Ferranti L., De Martini P.M., Piscitelli S., Bruno P.P., Burrato P., Civico R., Giocoli A., Iorio M., D'Addezio G., Maschio L., 2010. Detecting young, slow-slipping active faults by geologic and multidisciplinary high-resolution geophysical investigations: A case study from the Apennine seismic belt, Italy, *J. Geophys. Res.*, 115, B11307, doi:10.1029/2010JB000871.
- Luzi L., Puglia R., Pacor F., Gallipoli M.R., Bindi, D., Mucciarelli M., 2011. Proposal for a soil

- classification based on parameters alternative or complementary to V_s , *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(6), 1877-1898.
- Panzerà F., D'Amico S., Galea P., Lombardo G., Gallipoli M. R., Pace S., 2013. Geophysical measurements for site response investigation: Preliminary results on the island of Malta, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54(2), 111-128.
- Petracchini L., Antonellini M., Billi A., Scrocca D., 2012. Fault development through fractured pelagic carbonates of the Cingoli anticline, Italy: Possible analog for subsurface fluid-conductive fractures. *Journal of Structural Geology*, vol. 45, p. 21-37, doi:10.1016/j.jsg.2012.05.007.
- Scrocca D., Carminati E., Doglioni C., Marcantoni D., 2007. Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines. In: Lacombe O., Lav J., Roure F., Vergs J.. Thrust belts and foreland basins: From fold kinematics to hydrocarbon systems. *Frontiers in Earth Sciences*. p. 471-487, Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-69425-0, DOI 10.1007/978-3-540-69426-7_25.
- Scrocca D., 2012. Giacimenti di idrocarburi e sismicità stimolata: una revisione (Italia centro-settentrionale). FIST Geoitalia 2013 – IX Forum Italiano di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induced Seismicity, Pisa 16-18 Settembre 2013.
- Stabile T. A., Satriano C., Orefice A., Festa G., Zollo A., 2012. Anatomy of a microearthquake sequence on an active normal fault, *Sci. Rep.*, 2, doi: 10.1038/srep00410
- Stabile T. A., Iannaccone G., Zollo A., Lomax A., Ferulano M. F., Vetri M. L. V., Barzaghi L. P., 2013. A comprehensive approach for evaluating network performance in surface and borehole seismic monitoring, *Geophysical Journal International*, 192(2), 793-806, doi: 10.1093/gji/ggs049
- Stabile T. A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L., 2013. Relationship between seismicity and water level of the Pertusillo reservoir (Southern Italy). FIST GEOITALIA 2013 – IX Forum di Scienze della Terra – Sessione 17-E2 Induced Seismicity, Pisa 16-18 Settembre 2013.
- Stabile T. A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L., 2014. Evidences of low-magnitude continued reservoir-induced seismicity associated with the Pertusillo artificial lake (Southern Italy), *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(4), doi: 10.1785/0120130333.
- Telesca L., 2010. Analysis of the cross-correlation between seismicity and water level in Koyna area (India), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 100, 2317-2321.
- Telesca L., 2011. Investigating the temporal variations of the time-clustering behavior of the Koyna-Warna (India) reservoir-triggered seismicity, *Chaos Solit. & Fractals*, 44, 108-113.
- Telesca L., 2012. Maximum Likelihood Estimation of the Nonextensive Parameters of the Earthquake Cumulative Magnitude Distribution, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 102, 886-891.
- Telesca L., Mohamed A. E.-E. A., ElGabry M., El-hady S., Abou Elenean K. M., 2012. Time dynamics in the point process modelling of seismicity of Aswan area (Egypt), *Chaos Solitons & Fractals*, 45, 47-55.
- Telesca L., Lovallo M., Mohamed A. E.-E. A., ElGabry M., El-hady S., Abou Elenean K. M., ElBary R. E. F., 2012. Informational analysis of seismic sequences by applying the Fisher Information Measure and the Shannon entropy: An application to the 2004-2010 seismicity of Aswan area (Egypt), *Physica A*, 391, 2889-2897.
- Telesca L., Lovallo M., Amin Mohamed A. E.-E., ElGabry M., El-hady S., Abou Elenean K. M., ElBary R. E. F., 2012. Investigating the time-scaling behavior of the 2004-2010 seismicity of Aswan area (Egypt) by means of the Allan factor statistics and the detrended fluctuation analysis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1267-1276.
- Telesca L., do Nascimento A. F., Bezerra F. H. R., Ferreira J. M., 2012. Analyzing the temporal fluctuations of the reservoir-triggered seismicity observed at Açú (Brazil), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 805-811.
- Telesca L., ElBary R. E. F., Amin Mohamed A. E.-E., ElGabry M., 2012. Analysis of the cross-correlation between seismicity and water level in the Aswan area (Egypt) from 1982 to 2010,

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2203–2207.

Telesca L., Matcharasvili T., Chelidze T., Zhukova N., 2012. Relationship between seismicity and water level in the Enguri high dam area (Georgia) using the singular spectrum analysis, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2479–2485.

Tropeano M., Cilumbriello A., Sabato L., Gallicchio S., Grippa A., Longhitano S.G., Bianca M., Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Spilotro G., 2013. Surface and subsurface of the Metaponto Coastal Plain (Gulf of Taranto-southern Italy): Present-day- vs LGM-landscape, Geomorphology, 203(1), 115-131.

OGS

Report

Civile D., Volpi V., Donda F., Persoglia S., Quattrocchi F., Buttinelli M., Anselmi M., Mele G., Cantucci B., Chiarabba C., Vinciguerra S., Cinti D., Scrocca D., Billi A., Divani M., Faccenna C., Petracchini L., Vignaioli G., Moia F., Cangiano C., 2009. Individuazione di siti idonei al confinamento geologico della CO₂ prodotta dagli impianti di generazione elettrica ENEL nell'area dell'Alto Adriatico – Relazione 2009/152 GDL 54 Inge dd 17/11/2009.

Civile D., Loreto M.F., Donda F., Volpi V., Persoglia S., 2012. Individuazione di siti idonei al confinamento geologico della CO₂ in un'area della Pianura Padana occidentale. Relazione 2012/43 GDL 8 CO2GEST.

Donda F., Vellico M., Persoglia S., Coren F., Salvador F., 2007 – Analisi di metodi per la valutazione di spazi potenziali atti a confinare geologicamente l'anidride carbonica in giacimenti esauriti di idrocarburi e in acquiferi salini profondi – Relazione OGS 2007/19 GDL 6 CARS dd 8/3/2007.

Donda F., Volpi V., Civile D., Loreto M.F., 2011 – *Geological modeling of the XXX structure at a local and regional scale* – Contratto n. 1400015683

Donda F., Loreto M.F., Volpi V., Civile D., Forlin E., 2011 – *Geological and structural model of the XXX structure* – Contratto n. 1400050337, Relazione 2011/105 GDL 42 INGE dd. 24/10/2011.

Merson, B., Donda F., Civile D., De Vittor C., Loreto M.F., Volpi V., Lombardi S., Vercelli S., Anderlucci J., Annziatellis A., Bigi S., Tartarillo C., 2012. Attività sulle opzioni nazionali di applicazione della tecnologia CCS. Relazione 2012/35 GDL 7 CO2GEST

Picotti S., Gei D., Rossi G., Carcione J., 2013. Design of an effective seismic monitoring plan at Porto Tolle. 2013/51 Sez. GEO 6 GIANT.

Petronio L., Poletto F., Palmieri F., Barbagallo A., Corubolo P., Zuliani D., Meneghini F., Farina B., Schleifer A., Baradello L., 2012. Progetto Geotermia Grado-Indagini geofisiche. 2012/69 GEO 4 SEISBIT.

Petronio L., Poletto F., Palmieri F., 2012. Relazione metodologica per l'esecuzione di indagini geofisiche nell'ambito del progetto "Geotermia Grado-II lotto". 2012/17 GDL 4 SEISBIT.

Rossi G., Picotti S., Gei D., 2011. Zero Emission Porto Tolle: CO₂ injection and storage study. Design of an effective seismic monitoring plan. 2011/57 GDL 16 REDAS.

Rossi G., Gei D., Picotti S., Carcione J., 2008. CASTOR WP3. Casablanca: studies for a seismic monitoring for the site Casablanca. 2008/1 GDL 1 REDAS.

Rossi G., Gei D., Picotti S., Carcione J., 2007. Studies for a seismic monitoring for the site Atzbach-Schwanenstadt. 2007/103 GDL 31 REDAS.

Volpi V., Donda F., Persoglia S., 2008 – Individuazione di siti idonei al confinamento geologico della CO₂ prodotta dagli impianti di generazione elettrica nell'area del Basso Adriatico (Brindisi) – Relazione OGS 2208/54 RIMA GEMAR.

Volpi V., Donda F., Loreto M.F., Civile D., DiViacco P., Sauli C., Marchi M., Wardell N., Zgur F., Persoglia S., 2010 – Realizzazione di un rilievo di sismica marina a riflessione nell'Alto Adriatico – Contratto n. 14000013965, Relazione OGS 2010/69 RIMA 15 GEMAR.

- Volpi V., Sauli C., Donda F., Civile D., Facchin L., Persoglia S., Diviaco P., 2010 - Individuazione di siti idonei al confinamento geologico della CO₂ prodotta dagli impianti di generazione elettrica nell'area del Basso Adriatico (Brindisi)-II fase – Contratto n. 1400010495, Relazione n. 2010/55 RIMA 12 GEMAR.
- Volpi V., Forlin E., Sauri C., Donda F., Facchin L., Civile D., Merson B., 2012 – 3D structural and geological model, Southern Adriatic site – Relazione 2012/68 Sez. IRI 1 GEMAR.

Pubblicazioni (peer review)

- Chadwick A., Williams G., Delepine N., Clochard V., Labat K., Sturton S., Buddensiek M.L., Rossi G., 2010. Quantitative analysis of time-lapse seismic monitoring data at Sleipner CO₂ storage operation. *Leading Edge*, 29 (2), 170-177.
- Carcione J.M., Picotti S., Gei D., Rossi G., 2006. Physics and seismic modeling for monitoring CO₂ storage. *Pure and Applied Geophysics*, 163 (1), 175-207.
- Carcione, J. M., Gei, D., Picotti, S., and Michellini, A., 2012, Cross-hole electromagnetic and seismic modeling for CO₂ detection and monitoring in a saline aquifer, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2012.03.018>.
- Carcione JM, Santos JE, Picotti S., 2012. Fracture-induced anisotropic attenuation. *Rock Mech Rock Eng.* 2012;45(5):929-42. , DOI: 10.1007/s00603-012-0237-y.
- Carcione, J. M., Picotti, S. and Santos, J. E., 2012. Numerical experiments of fracture-induced velocity and attenuation anisotropy. *Geophysical Journal International*. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05697.x.
- Castelletto N., Teatini P., Gambolati G., Codreanu D.B., Vincke O., Daniel J.M., Battistelli A., Marcolini M., Donda F., Volpi V., 2013. Multiphysics modeling of CO₂ sequestration in a faulted saline formation in Italy. *Advances in Water Resources*, 62, 570-587.
- Civile D., Zecchin M, Forlin E., Donda F., Volpi V., Merson B., Persoglia S., 2013. CO₂ geological storage in the Italian carbonate succession. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 19, 101-116.
- Donda F., Volpi, V., Persoglia S., Vellido M., 2009. Acquiferi salini profondi: potenziali siti per il confinamento geologico della CO₂ in Italia. *Geoitalia*, 27, 27-29.
- Donda F., Volpi V., Persoglia S., Parushev D., 2011. CO₂ storage potential of deep saline aquifers: the case of Italy – *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 327-335.
- Donda F., Civile D., Forlin E., Volpi V., Zecchin M., Gordini E., Merson B., De Santis L., 2013. The northernmost Adriatic Sea: a potential location for CO₂ geological storage?. *Marine and Petroleum Geology*, 42, 148-159.
- Persoglia S., Carcione J.M., Rossi G., Gei D., 2006. 4-D seismics, gas hydrate detection and overpressure prediction as a combined methodology for application to CO₂ sequestration. *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide*, 315-323.
- Picotti S, Carcione JM, Gei D, Rossi G, Santos JE, 2011. Seismic modeling to monitor CO₂ geological storage: The atzbach-schwanenstadt gas field. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*. 2012;117(6). doi:10.1029/2011JB008540.
- Picotti, S., Gei, D., Carcione, J.M., Grünhut, V., Osella, A., 2013. Sensitivity analysis from single-well ERT simulations to image CO₂ migrations along wellbores. *Leading Edge*, 32 (5), pp. 504-512.
- Poletto F., Corubolo P., Schleifer A., Farina B., Pollard J., Grozdanich B., 2011. Seismic while drilling for geophysical exploration in geothermal wells. *GRC Transactions*, 35, 1737-1741.
- Rossi G., Gei D., Picotti S., Carcione J.M., 2008. CO₂ storage at the Atzbach-Schwanenstadt gas field: a seismic monitoring feasibility study. *First Break*, 26 (1).
- Rossi G., Sardu G., Del Negro E., Sordo D., Nieto D., Podda P., 2010. Seismic tomography in Monte Sinni (Sardinia, Italy) coal mine. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 51 (2-3), 223-238.

- Vesnaver A., Lovisa L., Bohm G., 2010. Joint 3D processing of active and passive seismic data. *Geophysical Prospecting*, 58, 831-844.
- Menanno G., Vesnaver A., Jervis M., 2013. Borehole receiver orientation using 3D velocity model. *Geophysical Prospecting*, 61 (1), 215-230.

Appendice 1 - Elenco dei documenti ufficiali relativi alla Commissione ICHESE

- Delibere del Consiglio dei Ministri del 22 e del 30 maggio 2012 con le quali è stato dichiarato, fino al 29 luglio 2012, lo stato d'emergenza in ordine agli eventi sismici che hanno colpito il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Reggio Emilia, Mantova e Rovigo.
- Decreto-legge del 6 giugno 2012, n. 74, convertito con modificazioni dalla legge 1° agosto 2012, n. 122 ed in particolare l'articolo 1, comma 2, ove è sancito che i Presidenti delle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto operino in qualità di Commissari delegati nell'attuazione degli interventi per la ricostruzione, l'assistenza alle popolazioni e la ripresa economica nei territori dei Comuni colpiti delle tre Regioni.
- Nota del 29 giugno 2012, con cui il Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato ai sensi del decreto-legge n. 74 del 2012 chiede al Dipartimento della protezione civile "relativamente a possibili relazioni tra le attività di esplorazione finalizzata alla ricerca di campi di idrocarburi e l'aumento di attività sismica nell'area interessata da detta attività ... di attivare ... la Commissione internazionale sulla previsione dei terremoti per la protezione civile, eventualmente rimodulata ... in riferimento alla specificità dell'argomento".
- Nota del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 5 ottobre 2012, inerente la comunicazione, al Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato, degli esiti dell'istruttoria all'uopo avviata.
- Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 76 del 16 novembre 2012, con la quale:
 - si valuta la congruità dell'istruttoria compiuta dal Dipartimento della Protezione Civile di cui si accolgono le conclusioni, ivi compreso l'elenco dei componenti della Commissione stessa;
 - si autorizza il Capo del Dipartimento della Protezione Civile a costituire una Commissione tecnico-scientifica in base alle scelte indicate nelle premesse della stessa ordinanza;
 - si dispone che i relativi oneri, nel limite massimo di 50.000 euro, siano posti a carico del Fondo per la ricostruzione delle aree terremotate in Emilia, di cui all'articolo 2 del decreto-legge n. 74/12 citato.
- Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 81 del 23 novembre 2012, con la quale si prevede che "dagli esiti e dalle valutazioni richieste alla Commissione possono derivare indicazioni utili ai fini della ricostruzione e pianificazione urbanistica e territoriale dell'area interessata dal sisma implementando in tal modo il quadro delle conoscenze avviato con l'approvazione del Programma per gli studi di Microzonazione Sismica".
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile dell'11 dicembre 2012, rep. n. 5930, inerente l'istituzione della Commissione internazionale incaricata di valutare le possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia Romagna nel mese di maggio del 2012. Per l'attività prestata, in linea con gli standard internazionali, ai componenti non italiani della Commissione viene corrisposto un compenso "una tantum" pari ad €3.000,00 (tremila/00) netti ciascuno.
- Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 30 del 15 marzo 2013, con la quale viene ridefinita la composizione della Commissione Internazionale, con l'inserimento del Prof. Peter Styles in sostituzione del Prof. Mark Zoback.
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 25 marzo 2013, rep. n. 1200, recante "modifica della composizione della Commissione tecnico-scientifica per la valutazione delle possibili relazioni tra le attività di esplorazione per gli idrocarburi e l'aumento dell'attività sismica nel territorio della regione Emilia Romagna colpita dal sisma del mese di maggio 2012", con il quale il Prof. Mark Zoback è sostituito con il Prof. Peter Styles.
- Nota del 3 aprile 2013 (prot. n. 20463), con la quale il Prof. Gasparini, Componente e Segretario della Commissione ICHESE ha inoltrato al Dipartimento della Protezione Civile le

dimissioni ricevute dal Presidente della Commissione, Prof. Gupta, a seguito della mancata autorizzazione da parte del Governo Indiano.

- Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 54 del 3 maggio 2013, con la quale si dispone: 1) di sostituire il Presidente della Commissione tecnico-scientifica per la valutazione delle possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia Romagna nel mese di maggio del 2012, Prof. Harsh Gupta, precedentemente individuato con l'Ordinanza n. 76 citata, con il Prof. Peter Styles, Componente della stessa Commissione; 2) di sostituire il Componente della Commissione, Prof. Harsh Gupta, con il Prof. Stanislaw Lasocki; 3) di attribuire al Prof. Peter Styles i compiti precedentemente attribuiti al Prof. Harsh Gupta; 4) di dare atto che la composizione finale della Commissione è pertanto la seguente: Peter Styles (Presidente), Paolo Gasparini (Componente e Segretario), Ernst Huenges (Componente), Paolo Scandone (Componente), Stanislaw Lasocki (Componente), Franco Terlizze (Componente); 5) di inviare la citata ordinanza alla Corte dei Conti per il controllo preventivo di legittimità, ai sensi della legge n. 20 del 1994.
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile dell'8 maggio 2013, rep. 1786, recante "ulteriore modifica nella composizione della Commissione internazionale sulle possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia del 2012", con il quale la Commissione è integrata con il Prof. Stanislaw Lasocki come Componente, mentre il Prof. Peter Styles ne assume la Presidenza.
- Ordinanza del Presidente della Regione Emilia Romagna - Commissario delegato n. 82 del 15 luglio 2013, con la quale si dispone, tra l'altro, di espungere dal comma 4 delle premesse dell'ordinanza n. 76 del 16 novembre 2012 del Presidente della Regione Emilia Romagna – Commissario delegato il limite "fino a un massimo di due riunioni".
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 1 agosto 2013, rep. 3271, recante "ulteriori modifiche al decreto di costituzione della Commissione tecnico scientifica internazionale per la valutazione delle possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nel territorio della regione Emilia Romagna colpita dal sisma del mese di maggio 2012", che recepisce quanto previsto dall'ordinanza succitata.
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 27 gennaio 2014, rep. 173, recante "Modifiche inerenti lo svolgimento delle attività della Commissione internazionale sulle possibili relazioni tra attività di esplorazione per gli idrocarburi e aumento di attività sismica, nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia del 2012" con il quale l'operatività della Commissione è prorogata fino al 15 febbraio 2014.
- Rapporto finale della Commissione e relativi allegati, trasmesso dalla Commissione ICHESE al Dipartimento della Protezione Civile con nota del 13 febbraio 2014 (prot. DPC n. 9189 del 17.02.2014)
- Lettera di trasmissione del rapporto finale della Commissione e relativi allegati da parte del Dipartimento della Protezione Civile alla Regione Emilia Romagna (prot. DPC n. SIV/0009231 del 17.02.2014).
- Decreto ministeriale del 27 febbraio 2014, del Presidente del CIRM, per la nomina dei componenti del Gruppo di Lavoro per la definizione di indirizzi e linee guida per il monitoraggio della microsismicità, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro nell'ambito delle attività antropiche.

Appendice 2 - Conclusioni Rapporto Commissione ICHESE

IX. Conclusioni

La Commissione tecnico-scientifica incaricata di valutare le possibili relazioni tra attività di esplorazione per idrocarburi ed aumento dell'attività sismica nell'area colpita dal terremoto dell'Emilia-Romagna del mese di maggio 2012 (ICHESE) è stata istituita l'11 dicembre 2012 con decreto del Dott. Franco Gabrielli, Capo del Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri su richiesta del Presidente della Regione Emilia. La composizione della Commissione è stata modificata con successivi decreti.

La Commissione ha avuto il seguente incarico:

“La Commissione Internazionale dovrà produrre un rapporto che, sulla base delle conoscenze tecnico-scientifiche al momento disponibili, risponda ai seguenti quesiti:

1. E' possibile che la crisi emiliana sia stata innescata dalle ricerche nel sito di Rivara, effettuate in tempi recenti, in particolare nel caso siano state effettuate delle indagini conoscitive invasive, quali perforazioni profonde, immissioni di fluidi, ecc.?

2. E' possibile che la crisi emiliana sia stata innescata da attività di sfruttamento o di utilizzo di reservoir, in tempi recenti e nelle immediate vicinanze della sequenza sismica del 2012?

La Commissione ha iniziato i suoi lavori il 2 maggio 2013 e si è riunita per la prima volta in forma plenaria il 18 giugno 2013. La Commissione ha acquisito dati sulla attività sismica e deformazioni del suolo, sulla geologia e sismica a riflessione e sulle operazioni di esplorazione, e sfruttamento di idrocarburi, stoccaggio di gas e attività geotermica, tra l'altro attraverso riunioni con rappresentanti dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale), del Servizio Sismologico della Regione Emilia Romagna e delle Ditte che svolgono attività di esplorazione e sfruttamento idrocarburi nell'area. La Commissione ha incontrato altresì la società Independent Gas Management Srl che ha studiato le caratteristiche geologiche dell'area di Rivara per preparare un progetto di stoccaggio in acquifero.

Il lavoro della Commissione è iniziato con una revisione della letteratura scientifica e dei rapporti disponibili. Esiste infatti una vasta letteratura scientifica, sviluppata soprattutto negli ultimi venti anni, che mostra come in alcuni casi azioni tecnologiche intraprese dall'uomo, comportanti iniezione o estrazione di fluidi dal sottosuolo, possano avere una influenza sui campi di sforzi tettonici principalmente attraverso variazioni nella pressione di poro nelle rocce e migrazione di fluidi. Pertanto sull'attività sismica che si verifica in prossimità spaziale con i siti e temporale con le operazioni sorge il sospetto che le operazioni antropiche possano aver avuto una influenza.

Nella letteratura scientifica viene spesso adottata una distinzione dei terremoti nelle seguenti categorie:

1. Terremoti tettonici, che sono prodotti dai sistemi di sforzo naturali, dove lo sforzo tettonico ha superato lo sforzo di attrito esistente e la regione era “matura” da un punto di vista sismico.

2. Terremoti antropogenici, nei quali l'attività umana ha avuto un qualche ruolo nel portare il sistema al punto di rottura:

1. Terremoti indotti, nei quali uno sforzo esterno, prodotto dalle attività antropiche, è sufficientemente grande da produrre un evento sismico in una regione che non era necessariamente sottoposta a un campo di sforzi tale da poter generare un terremoto in un futuro ragionevolmente prossimo (in senso geologico). Cadono in questa categoria i terremoti prodotti da procedimenti di stimolazione termica o idraulica di una roccia, quali la Fratturazione Idraulica (Fracking) e gli Enhanced Geothermal Fields.

2. Terremoti innescati, per i quali una piccola perturbazione generata dall'attività umana è sufficiente a spostare il sistema da uno stato quasi-critico ad uno stato instabile. L'evento sismico sarebbe comunque avvenuto prima o poi, ma probabilmente in tempi successivi e non precisabili. In altre parole, il terremoto è stato anticipato. In questo caso lo sforzo perturbante "aggiunto" è spesso molto piccolo in confronto allo sforzo tettonico preesistente. La condizione necessaria perché questo meccanismo si attivi è la presenza di una faglia già carica per uno sforzo tettonico, vicina ad un sito dove avvengono azioni antropiche che alterano lo stato di sforzo, dove vicina può voler dire anche decine di chilometri di distanza a seconda della durata e della natura dell'azione perturbante. In alcuni casi queste alterazioni possono provocare l'attivazione della faglia già carica. È importante ricordare che, poiché in questo caso le operazioni tecnologiche attivano solamente il processo di rilascio dello sforzo tettonico, la magnitudo dei terremoti innescati può essere grande, dello stesso ordine di quella dei terremoti tettonici, e dipenderà dall'entità della deformazione elastica accumulata sulla faglia a causa del carico tettonico.

Numerosi rapporti scientificamente autorevoli descrivono casi ben studiati nei quali l'estrazione e/o l'iniezione di fluidi in campi petroliferi o geotermici è stata associata al verificarsi di terremoti, a volte anche di magnitudo maggiore di 5. È difficile, a volte impossibile, utilizzare il termine provata per questi casi. I casi riportati sono solo una piccola percentuale di tutti i casi esistenti di estrazione ed iniezione di fluidi, e si riferiscono in gran parte all'aumento di pressione di carico legato a serbatoi molto grandi e a iniezioni di grandi volumi di fluido (in genere acqua di processo) nella roccia circostante, non nello stesso serbatoio in cui avviene l'estrazione, durante operazioni per recupero avanzato di idrocarburi o per tenere costante la pressione. Esistono comunque alcuni casi in cui l'attività sismica è stata associata a re-iniezione di acqua di processo nello stesso serbatoio dal quale è stato estratto olio o gas.

Le principali conclusioni che si possono trarre dai casi riportati sono:

- Estrazioni e/o iniezioni legate allo sfruttamento di campi petroliferi possono produrre, in alcuni casi, una sismicità indotta o innescata;
- La maggior parte dei casi documentati in cui una attività sismica è stata associata a operazioni di sfruttamento di idrocarburi è relativa a processi estrattivi da serbatoi molto grandi o a iniezione di acqua in situazioni in cui la pressione del fluido non è bilanciata;
- Il numero di casi documentati di sismicità di magnitudo medio-alta associabile a iniezione di acqua nello stesso serbatoio da cui ha avuto luogo l'estrazione di idrocarburi è una piccola percentuale del numero totale;
- La sismicità indotta e, ancor più, quella innescata da operazioni di estrazione ed iniezione sono fenomeni complessi e variabili da caso a caso, e la correlazione con i parametri di processo è ben lontana dall'essere compresa appieno;
- La magnitudo dei terremoti innescati dipende più dalle dimensioni della faglia e dalla resistenza della roccia che dalle caratteristiche della iniezione;
- Ricerche recenti sulla diffusione dello sforzo suggeriscono che la faglia attivata potrebbe trovarsi anche a qualche decina di chilometri di distanza e a qualche kilometro più in profondità del punto di iniezione o estrazione, e che l'attivazione possa avvenire anche diversi anni dopo l'inizio dell'attività antropica;
- La maggiore profondità focale di alcuni terremoti rispetto all'attività di estrazione associata è stata interpretata come una evidenza diretta del fatto che l'estrazione o l'iniezione di grandi volumi di fluidi può indurre deformazioni e sismicità a scala crostale;
- Esistono numerosi casi di sismicità indotta da operazioni di sfruttamento dell'energia geotermica. La maggior parte di essi è legata allo sviluppo di *Enhanced Geothermal Systems*, nei quali vengono provocate fratture in rocce ignee impermeabili per produrre delle zone permeabili. Esistono anche diversi casi di terremoti associati all'utilizzazione tradizionale dell'energia

geotermica. I terremoti prodotti sono di magnitudo medio-bassa e a distanze non più grandi di alcuni chilometri dai pozzi di estrazione o iniezione.

- L'esame di tutta la letteratura esistente mostra che la discriminazione tra la sismicità indotta o innescata e quella naturale è un problema difficile, e attualmente non sono disponibili soluzioni affidabili da poter essere utilizzate in pratica.

Partendo da questo stato delle conoscenze, la Commissione ha cercato di stabilire l'eventuale nesso esistente tra le operazioni di iniezioni/estrazione e stoccaggio di fluidi e l'attività sismica nell'area dell'Emilia Romagna colpita dalla crisi sismica del maggio-giugno 2012.

L'area colpita dalla sequenza sismica in questione ha forma di una ellisse lunga circa 30 km e larga circa 10 km, che si estende in direzione est-ovest sopra l'anticlinale di Cavone-Mirandola. La Commissione ha definito, su basi sismo-tettoniche, una area di interesse di circa 4000 km² che include la zona dell'attività sismica del 2012. Nell'area sono presenti tre concessioni di sfruttamento per idrocarburi, Mirandola (con incluso il campo di Cavone), Spilamberto e Recovato, nonché il campo geotermico di Casaglia (Ferrara) e il giacimento di stoccaggio di gas naturale di Minerbio situato al margine sud-est dell'area.

Nella zona è inoltre inclusa l'area del progetto Rivara per un sito di stoccaggio di gas naturale in acquifero, cui si riferisce il primo quesito posto alla Commissione. Dopo aver analizzato la documentazione fornita dalla Compagnia Independent Gas management e preso visione della dichiarazione del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), il quale ha certificato che non era stata concessa alcuna autorizzazione per attività minerarie e che non risulta sia stata effettuata alcuna attività di esplorazione mineraria negli ultimi 30 anni, la Commissione ritiene che la risposta al primo quesito sia NO.

Per la risposta al secondo quesito, dopo aver considerato le informazioni disponibili sia sull'attività sismica che sulle operazioni relative allo sfruttamento e allo stoccaggio nelle concessioni nell'area, la Commissione ha deciso, per le ragioni di seguito esposte, di concentrare la sua attenzione sui campi più vicini all'attività sismica del 2012, e cioè:

La concessione di coltivazione di Mirandola e

Il campo geotermico di Casaglia.

Il giacimento di idrocarburi di Cavone, è situato nella concessione di Mirandola, si trova circa 20 km a ovest della scossa principale del 20 maggio 2012, è molto vicino agli epicentri degli eventi di magnitudo maggiore di 5 del 29 Maggio e del 3 Giugno. Gli epicentri di altre due scosse di magnitudo superiore a 5, verificatesi il 20 maggio, sono spostati verso il campo geotermico di Casaglia, che si trova 15-20 km a nord-est dell'epicentro della scossa principale del 20 maggio.

Sebbene l'attività estrattiva sia proceduta con continuità fino ai giorni del terremoto sia a Cavone che a Spilamberto e Recovato, il pozzo Cavone-14 era l'unico attivo nel re-iniettare l'acqua di processo prima e durante la sequenza sismica del 2012. Inoltre, mentre il serbatoio di Cavone è situato nelle rocce carbonatiche Mesozoiche e potrebbe essere connesso idraulicamente con le faglie di sovrascorrimento sottostanti, gli altri serbatoi sono situati in formazioni Plio - Pleistoceniche al disopra di livelli di rocce altamente impermeabili. Ciò rende altamente improbabile un contatto diretto con le faglie sismogeniche.

Allo scopo di avere un quadro quanto più omogeneo possibile sulle caratteristiche dell'attività sismica, sulle conoscenze geologiche e sulle operazioni di iniezione ed estrazione di fluidi, la Commissione ha ritenuto opportuno procedere ad una rielaborazione dei dati esistenti più rilevanti. In particolare a:

- Rianalizzare i profili di sismica a riflessione e le informazioni fornite dai log dei pozzi di perforazione per verificare il modello tettonico dell'area e costruire un modello 3D di velocità delle

onde sismiche da usare per la ri-localizzazione dell'attività sismica. L'utilizzazione di un modello 3D è opportuna data la forte asimmetria in direzione nord-sud delle strutture geologiche superficiali.

- Ricalcolare i parametri classici (coordinate geografiche, profondità, meccanismi focali) dell'attività sismica, con epicentro nella zona in esame, registrata dalla rete sismica INGV a partire dal 2005 quando il catalogo strumentale INGV ha raggiunto la configurazione attuale.

- Stimare il trasferimento di sforzo di Coulomb prodotto dalle scosse principali del 20 maggio allo scopo di verificare se esse possano aver contribuito a portare più vicino al punto di rottura la faglia degli eventi dal 29 maggio al 3 giugno.

- Effettuare un'analisi statistica dell'attività sismica nell'area di interesse a partire dal 2005, inclusa la sequenza del maggio 2012, cercando possibili deviazioni dall'andamento tipico della sismicità naturale e possibili correlazioni con le variazioni dell'attività di estrazione/iniezione.

- Studiare il modello fisico di serbatoio disponibile, in particolare verificando se vi erano evidenze di forti variazioni di permeabilità.

La produzione nel campo di Cavone è iniziata nel 1980, attingendo da un serbatoio di 400-700 m di spessore il cui tetto si trova ad una profondità minima di 2.500 m, situato nei carbonati mesozoici in una struttura anticlinale. Il campo è diviso in 5 blocchi segmentati da faglie, ma connessi tra di loro, che si estendono in direzione est-ovest, e da un compartimento separato, il serbatoio di San Giacomo, che è stato inattivo dal dicembre 2010 all'aprile 2011, ed è stato riattivato in quest'ultima data. Queste strutture, in totale, coprono un'area di circa 15 km². Le riserve recuperabili furono originariamente stimate in circa 3 Mm³ da un volume totale di 15 Mm³; nel 2012, dopo aver estratto 3,06 Mm³, è presente una riserva residua di circa 0.16 Mm³.

Dal 1993 l'acqua estratta insieme agli idrocarburi viene re-iniettata attraverso il pozzo Cavone-14 a circa 3350 m di profondità nello stesso serbatoio dal quale avviene l'estrazione; dal 2005 nello stesso pozzo viene anche re-iniettata l'acqua estratta dal serbatoio di San Giacomo. La pressione di fluido nel serbatoio sembra essere sostenuta dalla falda acquifera confinante, con il contributo dell'acqua re-iniettata. Il volume complessivo di acqua re-iniettata è ad oggi pari a 2,6 Mm³ (di questi 0,07 Mm³, pari a circa il 2,5% del volume totale, vengono da San Giacomo). Il volume iniettato ha raggiunto un massimo di circa 200.000 m³ annui nel 2004, un minimo di circa 100.000 m³ nel 2010 per poi risalire a circa 130.000 m³ annui nel 2011. La pressione effettiva media mensile di re-iniezione a bocca pozzo è aumentata da 18 MPa nel 2005 a 21 MPa nel 2008, per poi diminuire a 13.8 MPa nel periodo 2009-2010 e infine aumentare di nuovo a 19 MPa nel maggio 2012. Il volume di acqua re-iniettata ha permesso di non avere grandi variazioni del volume di fluido nel serbatoio. La differenza di volume durante tutto il periodo di sfruttamento del serbatoio è di circa -21%. La presenza di diverse formazioni altamente impermeabili nella sequenza stratigrafica probabilmente impedisce una diretta connessione idraulica tra il serbatoio di Cavone e la zona sismogenica. Ciò non precluderebbe una connessione attraverso le faglie di sovrascorrimento che limitano le falde sovrascorse, ma l'alta permeabilità rende difficile la persistenza di pressioni differenziali. Di fatto le variazioni di salinità riscontrate durante tutto il periodo della produzione, testimoniano l'arrivo di flussi di acqua più salata dall'esterno.

Considerando l'attività nei campi di Cavone e Casaglia, le caratteristiche geologico-strutturali e la storia sismica della zona, la Commissione ritiene che sia molto improbabile che la sequenza sismica dell'Emilia possa essere stata indotta (cioè provocata completamente dalle attività antropiche).

Di conseguenza la Commissione ha concentrato la sua attenzione sulla possibilità che le scosse principali del 20 e del 29 maggio e la sequenza sismica connessa fossero state innescate, cioè che l'attività umana possa aver fornito un contributo allo sforzo tettonico che già agiva sul sistema di faglie.

La Commissione ha considerato la possibilità che l'innescò possa essere dovuto a variazioni di carico conseguenti alle operazioni di estrazione e /o iniezione di fluidi.

La variazione dello sforzo di Coulomb dovuta allo svuotamento del serbatoio ha valori negativi nella zona della scossa del 20 maggio e quindi avrebbe avuto l'effetto di inibirla, mentre le scosse del 29 maggio sono ubicate in una zona dove la variazione di sforzo di Coulomb è positiva ed è minore dei valori spesso assunti in letteratura come necessari per attivare una faglia. Tuttavia ricerche recenti suggeriscono che terremoti possano essere innescati per valori molto diversi delle variazioni di sforzo, a seconda delle caratteristiche del sistema di faglie e della natura del processo di innescò.

Ricerche recenti indicano inoltre che fluttuazioni nelle iniezioni di fluidi potrebbero indurre variazioni di sforzo positive dovute a variazioni a largo raggio della pressione di poro. Tuttavia nel caso in esame non è possibile valutare questo effetto con i dati disponibili.

L'area colpita dalla sequenza sismica del maggio 2012 è una regione ellittica lunga circa 30 km e larga circa 10 km che segue la cresta dell'anticlinale sepolta di Cavone-Mirandola. Le strutture geologiche identificate come responsabili dell'attività sismica sono le faglie di sovrascorrimento che delimitano il margine esterno dell'Appennino settentrionale.

Secondo la letteratura geologica corrente, il regime tettonico compressivo attivo nella regione è stata associato alla convergenza Europa-Africa oppure all'arretramento flessurale del margine sud-occidentale del blocco di Adria in sprofondamento passivo al di sotto degli Appennini. Il quadro cinematico deducibile dalle informazioni geofisiche, geologiche e geodetiche si accorda bene con le caratteristiche della sismicità attuale dell'Italia settentrionale.

In base alla sismicità storica della zona si può ritenere molto probabile che il campo di sforzi su alcuni segmenti del sistema di faglie nel 2012 fosse ormai prossimo alle condizioni necessarie per generare un terremoto di magnitudo locale (M_L) intorno a 6.

La scossa del 20 maggio 2012 caratterizzata da una magnitudo momento (M_w) stimata tra 5.63 e 6.11, è avvenuta a una profondità di 5.3 (± 1.0) km e a una distanza di circa 20 km dalla concessione di Mirandola, mentre quella del 29 (M_w 5.44-5.96) è avvenuta ad una profondità di 9.2 (± 0.9) km e in prossimità della concessione. Segnalazioni di terremoti innescati a distanze di questo ordine dal sito di estrazione e/o re-iniezione non sono frequenti ma esistono alcuni casi riportati in letteratura. La conversione tempo-profondità dei profili sismici interpretati mostrano che la faglia si trova tra 4000 e 4500 metri di profondità e, in accordo con i dati strumentali, essa potrebbe essere la sorgente del terremoto del 20 maggio. I terremoti del 29 maggio sono invece su una diversa struttura, per i quali la interpretazione dei profili sismici mostra che questa struttura giace ad una profondità compresa tra 10.000 e 11.500 metri, in discreto accordo con le determinazioni strumentali.

I meccanismi focali dei terremoti della sequenza sono prevalentemente di faglia inversa, e concordano con lo stile tettonico di sovrascorrimento dovuto al movimento in direzione ONO-ESE del margine esterno dell' Appennino settentrionale, al di sotto della pianura padana. L'attivazione di diversi segmenti di questo sistema ha prodotto la sequenza sismica del 2012. Questo sistema di faglie era stato identificato come struttura attiva prima del terremoto del maggio 2012, ed è riportato, seppure in modo non dettagliato, nel Database italiano delle Sorgenti Sismogeniche Individuali (INGV).

Un'attività sismica di intensità medio-bassa (per lo più tra 1.5 e 3 M_L , ma che ha raggiunto i 4 M_L poche ore prima della scossa principale del 20 maggio) si è verificata nel periodo studiato prima del maggio 2012. Alcuni di questi eventi sono ubicati vicino all'epicentro della scossa principale del 20 maggio, a circa 20 km di distanza dal pozzo di re-iniezione. L'analisi di alcune caratteristiche dell'attività sismica (andamento non poissoniano della distribuzione degli eventi nel tempo, variazione della distribuzione della magnitudo) hanno evidenziato un comportamento diverso rispetto a quello generalmente presentato dalla sismicità di fondo. Il risultato dell'analisi di

clustering spazio-temporale è che almeno a partire dalla metà del 2008, una parte dell'attività sismica è connessa alla sequenza sismica del maggio 2012.

Un'analisi dettagliata dei dati di produzione ed iniezione relativi alla concessione di Mirandola per il periodo temporale 2005-2012 mostra un andamento fluttuante. In particolare per due volte i volumi di fluido estratto e iniettato e la pressione a bocca pozzo sono variati simultaneamente passando da un andamento crescente nel tempo a un andamento decrescente. Ciò si è verificato tra il 09/2008 e l' 11/2008 e nel novembre 2010. Queste variazioni non sono correlate a variazioni nell'attività sismica. Nell'aprile-maggio 2011 c'è stata una repentina variazione di tendenza, da decrescente a crescente, di tutti i parametri di produzione, che risulta correlata statisticamente con un aumento della sismicità, sia in numero di eventi che in energia. L'ordine di grandezza delle variazioni dei parametri di produzione nel periodo da Aprile/Maggio 2011 a Maggio 2012 è di qualche MPa per la pressione effettiva a bocca pozzo, di centinaia di m³/mese per i volumi di olio e di acqua re-iniettata. Per confronto si ricorda che le variazioni dei volumi di acqua di processo re-iniettata dei serbatoi sono circa dieci volte più grandi nei casi riportati in letteratura, quali quelli di Huangjiachang e Rongchang in Cina.

Queste valutazioni indicano che l'attività sismica immediatamente precedente il 20 maggio e l'evento principale del 20 maggio sono statisticamente correlati con l'aumento dell'attività di estrazione e re-iniezione di Cavone.

Il problema successivo è stato di capire se per le scosse successive al 20 maggio, in particolare gli eventi del 29, sia possibile ipotizzare un contributo non tettonico.

L'analisi con il metodo ETAS di 31 giorni di attività sismica successiva alla scossa principale del 20 maggio indica che si tratta di una tipica sequenza mainshock-aftershock e non vi sono indicazioni di un contributo non tettonico.

Generalmente un terremoto produce nelle rocce circostanti una variazione di sforzo di due tipi: statico e dinamico. La variazione di sforzo statico associato a terremoti di elevata magnitudo può attivare faglie adiacenti generando quindi nuovi terremoti. La stima del trasferimento di sforzo statico per la sequenza emiliana del 2012, considerando le incertezze in gioco sui parametri che descrivono le faglie sorgenti e riceventi, indica che la scossa del 20 maggio ha prodotto un trasferimento di sforzo positivo sulla faglia che ha generato i terremoti del 29 maggio (con un livello di significatività dell'80%). La variazione di sforzo dinamico è legata ad effetti transienti provocati dal passaggio delle onde sismiche che possono attivare una faglia già matura. Per la sequenza emiliana, la stima della variazione di sforzo dinamico dovuto al passaggio delle onde sismiche e prodotto da eventi consecutivi nella sequenza è disponibile nella letteratura. E' stato calcolato che lo sforzo dinamico è maggiore di quello statico ed è sufficiente a innescare l'attività sismica del 29 maggio.

Per quanto riguarda il sistema geotermico di Ferrara, il fluido geotermico viene prodotto dai pozzi "Casaglia 2" (open-hole dagli 890 ai 1950 metri) e "Casaglia 3" (open-hole dagli 890 ai 1950 metri). Dopo l'estrazione, il fluido geotermico circola in uno scambiatore di calore, viene filtrato e re-iniettato nel pozzo "Casaglia 1" (open hole da 1119 metri a 1950 metri) ad una distanza di 1 km dai pozzi produttori. Il serbatoio da cui il fluido viene estratto è un acquifero confinato in calcari Mesozoici fratturati facenti parte di un alto strutturale molto esteso. Dall'inizio della produzione nel 1990 ad oggi, la temperatura del fluido prodotto e le pressioni di produzione/re-iniezione non hanno presentato variazioni significative; è possibile quindi assumere che i confini del serbatoio siano a distanze molto maggiori dai pozzi rispetto alla distanza tra i pozzi stessi. Lo schema di funzionamento dei pozzi mostra che la re-iniezione e la produzione avvengono nelle stesse rocce, che possono essere identificate con il serbatoio geotermico.

Considerando che:

(a) l'acqua viene estratta ad una temperatura di circa 100°C e re-iniettata completamente a circa 70°C;

(b) effetti geo-meccanici dovuti alle variazioni termiche sono stati osservati in altri casi quando la differenza tra le temperature di iniezione ed estrazione è di almeno 80°

(c) dal 1995 al 2012 sono stati estratti ed iniettati in totale 36 Mm³ di acqua a pressione costante

La possibilità che l'attività sismica sia stata in qualche modo provocata dall'impianto geotermico risulta estremamente improbabile almeno per 3 motivi:

1) la differenza di temperatura tra iniezione ed estrazione è di 30° e la subsidenza osservata non sembra essere influenzata dal campo geotermico essendo confrontabile con quella regionale della Pianura Padana, (< 2,5 mm/anno).

2) l'impianto funziona con un bilanciamento di volume in campo lontano, cioè il volume è bilanciato complessivamente, ma può non esserlo solo in vicinanza del punto di iniezione;

3) l'attività sismica registrata in casi di questo tipo è generalmente localizzata in prossimità della sezione del pozzo di iniezione. Questo non sembra essere il caso di Ferrara dove la sismicità è stata minima.

In conclusione, è molto improbabile che le operazioni effettuate nel campo geotermico di Casaglia possano avere influenzato l'attività sismica del 2012.

I valori bassi e negativi della variazione di sforzo generato dal graduale svuotamento del giacimento di Cavone porterebbero argomenti a favore di una origine tettonica dell'intera sequenza sismica. Il piccolo, ma positivo, valore dello sforzo co-sismico trasferito dal terremoto del 20 maggio sulla faglia che ha generato gli eventi del 29 maggio può spiegare la seconda fase di sismicità. Comunque, esiste una correlazione statistica tra l'aumento della sismicità prima del 20 maggio 2012 e l'aumento dei parametri di produzione da aprile/maggio 2011. Quindi non può essere escluso che le azioni combinate di estrazione ed iniezione di fluidi in una regione tettonicamente attiva possano aver contribuito, aggiungendo un piccolissimo carico, alla attivazione di un sistema di faglie che aveva già accumulato un sensibile carico tettonico e che stava per raggiungere le condizioni necessarie a produrre un terremoto.

La Commissione ritiene altamente improbabile che le attività di sfruttamento di idrocarburi a Mirandola e di fluidi geotermici a Casaglia possano aver prodotto una variazione di sforzo sufficiente a generare un evento sismico "indotto". L'attuale stato delle conoscenze e l'interpretazione di tutte le informazioni raccolte ed elaborate non permettono di escludere, ma neanche di provare, la possibilità che le azioni inerenti lo sfruttamento di idrocarburi nella concessione di Mirandola possano aver contribuito a "innescare" l'attività sismica del 2012 in Emilia.

Pertanto sarebbe necessario avere almeno un quadro più completo possibile della dinamica dei fluidi nel serbatoio e nelle rocce circostanti al fine di costruire un modello fisico di supporto all'analisi statistica.

La predizione dei terremoti è come la ricerca del Santo Graal alla quale si sono dedicate generazioni di studiosi, e mentre si sono fatti significativi progressi nel campo della previsione probabilistica, al momento non è possibile predire in modo deterministico e affidabile quando e dove ci sarà un terremoto e quale sarà la sua intensità. Un terremoto innescato è un particolare tipo di terremoto tettonico, nel quale piccoli effetti prodotti da attività umane hanno anticipato il momento in cui il terremoto sarebbe avvenuto e pertanto è ancora più difficile da trattare. Più semplice è il caso della sismicità indotta, in quanto le azioni umane hanno una influenza significativa; pertanto possono essere studiate variazioni nelle metodologie operative utilizzabili per abbassare significativamente la probabilità di questi eventi. Sistemi di monitoraggio con livelli crescenti di allarme (i cosiddetti sistemi a semaforo) sono in effetti stati sviluppati e applicati solo per casi di sismicità indotta.

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 abbiano avuto potuto contribuire a innescare la sequenza.

Va comunque considerato che tutto l'orogene appenninico sottostante la pianura padana è sismicamente attivo ed è quindi essenziale che alle attività produttive vengano associate azioni appropriate che contribuiscano a gestire il rischio sismico inerente queste attività.

A tal fine la Commissione ha formulato le seguenti raccomandazioni.

La sismicità indotta e innescata dalle attività umane è un campo di studio in rapido sviluppo, ma lo stato attuale delle conoscenze, e in particolare la mancanza di esperienza in Italia, non premette la elaborazione di protocolli di azione che possano essere di uso immediato per la gestione del rischio sismico. Ha quindi carattere prioritario lo sviluppo delle conoscenze attraverso l'acquisizione di dati dettagliati, alcuni dei quali devono essere forniti dagli operatori, e attraverso una ricerca che possa migliorare la conoscenza delle relazioni tra operazioni tecnologiche e sismicità innescata. Potrebbero essere studiati casi di sismicità nelle immediate vicinanze di campi di sfruttamento di idrocarburi, quali ad esempio quello di Caviaga (1951) e di Correggio (1987-2000) e probabilmente anche altri, eventualmente utilizzando le metodologie applicate in questo rapporto dalla Commissione. Sarebbe necessario analizzare in dettaglio sia la sismicità che i parametri di produzione, ed è essenziale avere informazioni su più di un caso per poter sviluppare strumenti utili alla gestione del rischio, quale ad esempio i "sistemi a semaforo".

Nuove attività di esplorazione per idrocarburi o fluidi geotermici devono essere precedute da uno studi teorici preliminari e di acquisizione di dati su terreno basati su dettagliati rilievi 3D geofisici e geologici. Ciò deve essere volto alla determinazione dei principali sistemi di faglie con indizi di attività e delle loro caratteristiche sismogeniche (lunghezza della faglia, variazione dell'attività sismica nel tempo, ecc.). I periodi di ritorno dei terremoti principali ($>5 M_L$) devono essere considerati attentamente per avere indicazioni sul grado di "maturità" dei principali sistemi di faglia.

Le attività di sfruttamento di idrocarburi e dell'energia geotermica, sia in atto che di nuova programmazione, devono essere accompagnate da reti di monitoraggio ad alta tecnologia finalizzate a seguire l'evoluzione nel tempo dei tre aspetti fondamentali: l'attività microsismica, le deformazioni del suolo e la pressione di poro. Queste reti dovrebbero essere messe in funzione al più presto, già quando si attende la concessione, in modo da raccogliere informazioni sulla sismicità ambientale precedente all'attività per il più lungo tempo possibile. Il monitoraggio micro-sismico può fornire indicazioni sulla attività delle faglie e sui meccanismi di sorgente che possono essere utili alla caratterizzazione delle zone sismogeniche.

Il monitoraggio sismico dovrebbe essere effettuato con una rete locale dedicata capace di rilevare e caratterizzare tutti i terremoti di magnitudo almeno $0,5 M_L$.

Le deformazioni del suolo devono essere rilevate principalmente con metodi satellitari. Dovrebbero essere utilizzate tecnologie interferometriche (INSAR) e GPS che permettono di identificare processi di subsidenza con una risoluzione di alcuni millimetri all'anno.

La pressione dei fluidi nei serbatoi e nei pori delle rocce deve essere misurata al fondo dei pozzi e nelle rocce circostanti con frequenza giornaliera.

Infine, utilizzando l'esperienza di altri casi simili nel mondo e le caratteristiche geologiche e sismotettoniche dell'area in studio, deve essere generato un sistema operativo "a semaforo", e devono essere stabilite le soglie tra i diversi livelli di allarme.

È consigliabile che tutti i dati sismici vengano continuamente analizzati con metodologie statistiche per evidenziare variazioni dagli andamenti tipici della sismicità di fondo, quali variazioni dell'intervallo di tempo tra eventi, variazioni nel valore di b della distribuzione della magnitudo, clustering spaziali o/e temporali, comportamenti non-poissoniani. L'utilizzo di metodologie ETAS e di eventuali altre nuove metodologie va incoraggiato.

È necessario che i dati rilevanti per il conseguimento di quanto sin qui indicato e in possesso delle compagnie siano da esse messi a disposizione degli enti responsabili per il controllo.

Infine, l'implementazione di un Programma di Interazione e Comunicazione con la popolazione e gli amministratori locali ha una importanza critica perché venga acquisita fiducia nella gestione ottimale delle operazioni.

Appendice 3 – Monitoraggi microsismici e delle deformazioni del suolo storici e in corso in impianti di produzione di idrocarburi e stoccaggio di gas naturale realizzati e gestiti dalle società ENI, Edison Stoccaggio e STOGIT

Monitoraggi microsismici

Concessioni di stoccaggio STOGIT - monitoraggio microsismico in atto:

- Bordolano stoccaggio, rete di superficie attiva dal 2013
- Cortemaggiore stoccaggio, rete di superficie attiva dal 2010
- Fiume Treste stoccaggio, rete di superficie attiva dal 2013 e sismometri in pozzo attivi dal 2011 (attualmente in manutenzione)
- Minerbio stoccaggio, rete di superficie attiva dal 1979
- Sabbioncello stoccaggio, sismometri in pozzo attivi dal febbraio 2013
- Sergnano stoccaggio, sismometri in pozzo attivi dal febbraio 2014
- Settala stoccaggio, sismometri in pozzo attivi dal 2011

Reti microsismiche storiche e attualmente attive ENI (impianti di produzione e stoccaggio):

- Mofete/S. Vito (1978-1986)
- Sergnano stoccaggio (1979-1981)
- Cavone (1982 -)
- Malossa (1984-1992)
- Metanopoli (1986-1988)
- Correggio (1991 - 2010)
- Val d'Agri (2001 -)
- Crotone (2003 -)

Monitoraggi deformazioni del suolo storiche e in atto

ENI

- Progetto Adriatico - estensione dell'area indagata: circa 14.600 km² lungo la costa adriatica (marzo 2003 – settembre 2013)
- Progetto costa calabra - estensione dell'area indagata: circa 2.750 km² (marzo 2003 – settembre 2013)
- Progetto Alto Adriatico - estensione dell'area indagata: circa 1.400 km² (marzo 2003 – settembre 2013)
- Progetto Val d'Agri - estensione dell'area indagata: circa 1.500 km² (marzo 2003 – agosto 2013)
- Progetto costa sicula - estensione dell'area indagata: circa 3.100 km² (marzo 2003 – novembre 2013)
- Progetto ravennate x-band (Dosso degli Angeli e Fiumi Uniti) - estensione dell'area indagata: circa 1.256 km² (febbraio 2012 – ottobre 2013)
- Progetto crotonese x-band (Capo Colonna) - estensione dell'area indagata: circa 1.256 km² (aprile 2008 – ottobre 2010, ottobre 2013 – ottobre 2014)
- Progetto pianura Emilia Romagna - estensione dell'area indagata: circa 6.000 km² (marzo 2003 – maggio 2012)

Edison Stoccaggio

- Collalto stoccaggio (giugno 2011 -)
- Cellino stoccaggio (febbraio 2008 -)

Appendice 4 – Incontri e dibattiti pubblici

OGS

- Incontro pubblico su “Monitoraggio sismico dello stoccaggio gas a Collalto”. Colfosco di Susegana, 28/11/2012
- Convegno risorse energetiche. 2 interventi su “Sismicità indotta” (Mucciarelli) e “Rete sismica di Collalto” (Priolo). Potenza, 30/11-2/12/2012
- Prima riunione Gruppo di Lavoro istituito dall’Ordine dei Geologi su “Sismicità indotta ...” (Farabollini, Albarello, Censini, Mucciarelli, Panei, Priolo). Roma, 19/2/2013
- Workshop su Sismicità Indotta. 2 interventi su “Sismicità indotta” (Mucciarelli) e “Rete sismica di Collalto” (Priolo). Marsico Nuovo (PZ), 15/3/2013
- Partecipazione a conferenza dei servizi Regione ER su pericolosità sismica e monitoraggio sismicità per il progetto di raddoppio impianto geotermico ad uso teleriscaldamento Ferrara Est (Mucciarelli e Priolo). Ferrara, 12/3/2013
- Partecipazione a Consiglio Comunale allargato su pericolosità sismica e monitoraggio sismicità per il progetto di raddoppio impianto geotermico ad uso teleriscaldamento Ferrara Est (Mucciarelli e Priolo). Ferrara, 21/3/2013
- Partecipazione ad assemblea pubblica per raddoppio impianto geotermico ad uso teleriscaldamento Ferrara Est (Priolo). Ferrara, 4/4/2013
- Partecipazione ad assemblea pubblica x progetto di aumento capacità di stoccaggio gas presso la concessione di Sergnano (Mucciarelli e Priolo). Pianengo (CR), 23/4/2013
- Giornata di seminari scientifici sul tema: Sismicità Indotta. Presentazione: Rete di Collalto: esperienza nel monitoraggio sismico di un deposito naturale utilizzato per lo stoccaggio di gas naturale. (Mucciarelli e Priolo). Roma INGV, 8/5/2013
- Partecipazione a incontro pubblico per il progetto di raddoppio impianto geotermico ad uso teleriscaldamento Ferrara Est, sul tema pericolosità sismica e monitoraggio sismicità (Priolo). Ferrara, 05/6/2013
- Partecipazione a incontro pubblico per il progetto di un nuovo impianto di stoccaggio del gas, sul tema pericolosità sismica e monitoraggio sismicità (Mucciarelli). Lugo di Romagna (RA), 09/5/2013
- Incontro pubblico organizzato dall’Ordine dei Geologi, sul tema sfruttamento degli idrocarburi, stoccaggi, pericolosità sismica e monitoraggio sismicità (Mucciarelli). Bologna, 27/5/2013
- Partecipazione ad assemblea pubblica per progetto di aumento capacità di stoccaggio gas presso la concessione di Sergnano (Priolo). Pianengo (CR), 07/6/2013
- Audizione alla Commissione VIA presso il Ministero dell’Ambiente, del Territorio e del Mare, per discutere delle problematiche emerse nell’ambito del monitoraggio sismico dell’impianto di stoccaggio del gas di Collalto (TV) al termine del primo ciclo di iniezione-estrazione (Mucciarelli e Priolo). Roma, 20/6/2013
- Intervista a Radio3 Scienza sul tema della sismicità indotta da reiniezione di reflui del fracking (Mucciarelli). 27/06/2013
- Partecipazione a incontro pubblico per il progetto di raddoppio impianto geotermico ad uso teleriscaldamento Ferrara Est, sul tema pericolosità sismica e monitoraggio sismicità (Priolo). Ferrara, 25/7/2013
- Conferenza pubblica sul tema della sismicità indotta (Mucciarelli). Arcidosso (SI) 17/09/2013
- Sessione su “Sismicità Indotta” al Convegno GeoItalia 2013, Pisa. 18/9/2013
- Conferenza pubblica sul tema della sismicità indotta (Mucciarelli). Medolla (MO), 04/10/2013
- Conferenza pubblica sul tema della sismicità indotta (Mucciarelli). Bolsena (VT) 26/11/2013
- Conferenza pubblica sul tema della sismicità indotta nell’ambito dell’iniziativa “I Caffè della Scienza” (Mucciarelli). Trieste, 12/12/2013
- Conferenza pubblica presso la Sala della Mercedes alla Camera dei Deputati sul tema della sismicità indotta (Mucciarelli). Roma, 05/04/2014

- Conferenza pubblica sul tema della sismicità indotta (Mucciarelli). Casole Val D'Elsa (SI) 07/04/2014
- Conferenza pubblica “Strizzare dalle rocce l’ultima goccia di petrolio? ovvero: la Leggenda della Fine del Petrolio, il Fracking ed i terremoti ” nell’ambito dell’iniziativa “I Caffè della Scienza” (Vesnaver). Trieste, 17/10/2013
- Conferenza pubblica presso Circolo Culturale Astronomico “L’ultima goccia di petrolio ed altre leggende” (Vesnaver). Farra d’Isonzo, 26/03/2014
- Conferenza pubblica “Anidride Carbonica: dal cielo alla terra” (Donda) nell’ambito dell’iniziativa “I Caffè della Scienza”. Trieste, 10/04/2014

CNR

- Workshop su Sismicità Indotta. Osservatorio Ambientale della Val d’Agri. “Sismicità storica e recente in Val d’Agri” (Stabile), “Giacimenti di idrocarburi e sismicità indotta” (Scrocca). Marsico Nuovo (PZ), 15/3/2013
- Convegno “La Geologia per l’esplorazione petrolifera in Italia”. Giacimenti di idrocarburi e sismicità stimolata: una revisione (Italia centro-settentrionale) (Scrocca). Roma, Società Geologica Italiana, 6/12/2013

INGV

- Workshop su Sismicità Indotta. Osservatorio Ambientale della Val d’Agri. “Analisi della sismicità naturale ed indotta registrata in Val d’Agri da una rete sismica temporanea ad alta densità” (Improta e Valoroso). Marsico Nuovo (PZ), 15/3/2013
- Workshop su Sismicità Indotta. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. "Analisi della sismicità naturale ed indotta da un invaso e da re-iniezione di fluidi in Val d’Agri", (Valoroso e Improta), INGV, Roma, 8/5/2013

Appendice 5 – Confinamento geologico della CO₂ e sismicità indotta/innescata: un contributo sullo stato delle conoscenze

ISPRA – Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia (a cura di F. Ferri)

Il Rapporto del National Research Council (NRC) U.S.A.

Il NRC, struttura accademica indipendente di supporto al governo degli Stati Uniti, ha prodotto nel 2012 il rapporto “Induced Seismicity Potential in Energy Technologies” che tratta anche dello stoccaggio geologico di CO₂. Il rapporto evidenzia i seguenti elementi:

- La tecnologia CCS si differenzia dalle altre tecnologie in quanto comporta un'iniezione continua a tassi elevati, sotto pressione e per lunghi periodi di tempo, di CO₂ allo stato liquido (supercritico) nel sottosuolo.
- Dato che la potenziale magnitudo di un evento sismico è strettamente correlata con la superficie di rottura della faglia causativa, superficie che è a sua volta legata all'entità della variazione di pressione dei pori ed al volume di roccia interessato, il NRC ritiene che il CCS a grande scala (iniezioni di un elevato volume di fluido) può avere il potenziale per causare una sismicità indotta significativa. Va considerato che, in base ai dati disponibili, i volumi annuali di fluido iniettati sono più elevati per i progetti CCS proposti (es. 13.000.000 m³) rispetto ai volumi annuali previsti per le altre tecnologie investigate (geotermia EGS, produzione convenzionale e EOR (enhanced oil recovery) di gas e petrolio, shale gas, iniezione di acque legate all'attività di estrazione).
- In tutto il mondo l'unico progetto di stoccaggio di CO₂ a carattere commerciale relativamente a lungo termine (1996) è quello presso il campo Sleipner nel Mare di Norvegia. Il monitoraggio sismico non ha indicato alcuna significativa sismicità indotta. Esso va però considerato come un progetto a piccola scala (~ 1 milione di tonnellate di CO₂ stoccate all'anno) rispetto ai progetti commerciali proposti ad es. negli Stati Uniti. Non c'è quindi esperienza con i volumi proposti di iniezione di CO₂ liquida in progetti di sequestro su larga scala (> 1 milione di tonnellate all'anno).
- Se i reservoir si comportano in modo simile a quelli di petrolio e gas, questi grandi volumi hanno il potenziale di aumentare la pressione dei pori su grandi aree e possono potenzialmente causare significativi eventi sismici.
- La CO₂ può reagire chimicamente con la roccia ospitante (reservoir) e/o confinante e causare precipitazione o dissoluzione minerale. Gli effetti di queste reazioni su potenziali eventi sismici non sono ancora ben compresi.

Linee Guida della Commissione Europea

Le Linee Guida sono state pubblicate nel 2011 per l'implementazione della Direttiva 2009/31/CE:

- La *Guidance Document 1 “CO₂ Storage Life Cycle Risk Management Framework”* identifica la sismicità indotta come uno degli elementi causativi di situazioni di rischio.
- La *Guidance Document 2 “Characterisation of the Storage Complex, CO₂ Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures”* ricorda come sia disponibile una considerevole conoscenza pratica e tecnica dell'impatto della sismicità indotta, causata da l'iniezione di fluidi e dalle variazioni di pressione della roccia di copertura e del serbatoio, per poter supportare la valutazione del probabile rischio da sismicità indotta di complessi di stoccaggio. Studi recenti hanno mostrato come i potenziali di indurre sismicità per l'immissione di acqua e di CO₂ supercritica siano simili. Il potenziale incremento della sismicità va incluso tra gli obiettivi della modellazione dinamica del sito di stoccaggio così come del monitoraggio delle operazioni di iniezione e dei sistemi presenti di faglie e fratture.

IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) è un organismo scientifico sotto l'egida delle Nazioni Unite (ONU). Pubblicato nel 2005, il rapporto evidenzia i seguenti elementi:

- Esistono metodi facilmente applicabili per poter stimare e verificare la fatturazione indotta o l'attivazione di faglie, causata dall'iniezione di CO₂. Questi metodi richiedono la conoscenza dello stato di stress attivo, la geometria delle faglie, le caratteristiche geomeccaniche delle rocce presenti.
- Il monitoraggio della microsismicità può altresì indicare se la pressione dei fluidi nei pori abbia localmente superato il valore di rottura per faglie, fratture e roccia intatta.
- L'attivazione di faglie dipende principalmente dall'estensione e grandezza delle perturbazioni della pressione dei fluidi nei pori ed è determinata quindi più dalla quantità e regime dell'iniezione che dal tipo di fluido iniettato.
- L'esperienza di EOR (Enhanced Oil Recovery) tramite immissione di CO₂ (al 2005 circa 30 Mt di CO₂ /anno nel mondo) non ha rivelato la presenza di effetti sismici rilevanti, sebbene sia da tener presente che la pressione di iniezione per la tecnologia EOR con CO₂ può essere minore di quella in uso per lo stoccaggio definitivo.
- La mole di dati derivanti dal EOR con CO₂ suggerisce che il rischio di sismicità indotta rilevante sia basso, inoltre le normative di sicurezza più recenti assicureranno che le pressioni di utilizzo non comportino sismicità significativa. Una valutazione completa del rischio di microsismicità potrà comunque derivare dall'esperienza derivante da progetti CCS a scala industriale.

Induced Seismicity and its Implications for CO₂ Storage Risk Report (IEAGHG)

La IEA GreenHouse Gas R & D è un programma internazionale di ricerca fondato nel 1991 come accordo di attuazione nell'ambito dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA). Il relativo report, pubblicato nel 2013, è probabilmente tra i documenti più completi disponibili su questa specifica tematica. Si evidenziano nel seguito alcuni punti di particolare rilevanza:

- La sismicità indotta riportata finora per siti di CCS generalmente è poco diffusa (<100 eventi /anno) e di bassa magnitudo (M tra -2 e 1). Presso i siti di stoccaggio di CO₂, in base ai dati disponibili, non si è verificato nessun evento indotto con M > 1. Lo scarso numero di eventi può essere in parte dovuto al fatto che sono pochi i siti di stoccaggio di CO₂ operativi e la maggior parte di essi è stata monitorata da un numero limitato di geofoni in pozzo (ad es. < 10). Inoltre le configurazioni di sensori adottate non sono generalmente ottimali per ottenere una localizzazione accurata degli eventi (i.e. +- 50 m) e per poter discriminare tra rumore ambientale ed evento indotto di bassa M (M tra -2 e 0).
- Una vasta casistica indica come la massima magnitudo degli eventi sismici indotti sia in genere funzione del volume totale di fluido iniettato/estratto e delle pressioni di iniezione. Inoltre la magnitudo appare aumentare con il diminuire della permeabilità della roccia serbatoio (reservoir).
- Nonostante ci siano differenze di densità e compressibilità tra CO₂ supercritica ed acqua, entrambe appaiono produrre una sismicità indotta comparabile. Si ritiene quindi valido l'utilizzo dei dati di sismicità indotta per iniezione di H₂O per stimare la possibile sismicità indotta presso siti di stoccaggio di CO₂ futuri.
- Va considerato come attualmente i volumi di CO₂ iniettata siano bassi rispetto a quelli richiesti da stoccaggi a scala commerciale. L'iniezione di volumi elevati (i.e. milioni di tonnellate) ha il potenziale di produrre sismicità indotta a bassa profondità (< 5 km) che potrebbe avere serie conseguenze per il successo di progetti di CCS.
- La sismicità indotta dall'iniezione di fluidi viene studiata tramite modellazione statistica e/o fisica. L'utilità di questi modelli è strettamente dipendente dalla qualità ed accuratezza dei dati di input, che dovranno riguardare: l'orientazione ed intensità del campo di stress locale, la conoscenza del sistema locale di faglie (comprese quelle che possono essere interessate dal fronte di pressione), le proprietà idrauliche ed elastiche del mezzo poroso, la mineralogia della roccia serbatoio e la geochimica dei fluidi in situ.
- I fattori di rischio associati alla sismicità indotta possono includere: perdita del consenso

pubblico a causa di eventi percepiti o potenziali, danni a proprietà o persone a causa delle oscillazioni sismiche del suolo, perdita dell'integrità della formazione serbatoio (reservoir) a causa della fratturazione del caprock (roccia di copertura) o del reservoir stesso.

- La conoscenza approfondita dei processi in atto nello stoccaggio di CO₂ può minimizzare il rischio dei progetti CCS attraverso un scrupoloso piano strutturato di gestione.

Lo stoccaggio in acquiferi salini

(tratto da Sminchak J., Gupta N., 2001)

- Generalmente la CO₂ è immessa in fase supercritica a pressioni superiori a 6.9 MPa per poter minimizzare il volume di iniezione. In tale stato la CO₂ è meno viscosa delle acque saline ed ha una densità di circa 0.6 – 0.75 g/cm³ mentre la densità dei fluidi salini delle formazioni geologiche interessate varia di solito tra 1.0 e 1.2 g/cm³. Dato il grande volume di CO₂ fluida immessa, questo contrasto di densità potrebbe produrre un flusso di migrazione verso l'alto. Raggiunto il caprock (formazione impermeabile di contenimento della roccia serbatoio) la forza verso l'alto esercitata dal fluido immesso potrebbe indebolire il caprock o trasferire le condizioni di stress a sistemi di faglie sovrastanti. Da tenere presente che la maggior parte del fluido di CO₂ si mischierà e dissolverà nelle acque di formazione per cui il flusso causato dalla densità dovrà essere studiato tramite modelli multifase ed esperimenti chimici specifici.
- La CO₂ supercritica ha il potenziale di dissolvere, indebolire o trasformare i minerali della formazione ospitante. Se la formazione rocciosa è indebolita, può aumentare la possibilità di fratturazione idraulica. La dissoluzione di minerali precipitati lungo una faglia aumenta infatti la possibilità di scorrimento lungo il piano di faglia e quindi di sismicità. Inoltre la possibile precipitazione di minerali dovuta al fluido iniettato può diminuire la porosità e permeabilità della formazione ospitante, con conseguenza di imprevisti aumenti della pressione e/o di fratturazione.
- E' importante considerare realisticamente il raggio di influenza di un pozzo di iniezione. Considerando un esempio realistico con l'immissione di 200 milioni di tonnellate di CO₂ in una formazione con spessore di 20 m e porosità del 15%, ed una efficienza di immagazzinamento del 6%, questo comporterà un raggio di influenza di circa 22 km. Quindi andrà dimostrato che entro tale distanza dal pozzo di immissione non ci siano faglie e fratture con potenziale sismicità.

BIBLIOGRAFIA

Induced Seismicity Potential in Energy Technologies National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.

Guidance Document 1 "CO₂ Storage Life Cycle Risk Management Framework

Guidance Document 2 "Characterisation of the Storage Complex, CO₂ Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures

http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs/implementation/documentation_en.htm

IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp. IPCC, 2005

Induced Seismicity and its Implications for CO₂ Storage Risk IEAGHG Technical Report 2013-09

Issues related to seismic activity induced by the injection of CO₂ in deep saline aquifers, Joel Sminchak, Neeraj Gupta, Journal of Energy & Environmental Research, Vol. 2, No. 1, 2001

Modeling of induced seismicity and ground vibrations associated with geologic CO₂ storage, and assessing their effects on surface structures and human perception Jonny Rutqvist, Frédéric Cappa, Antonio P. Rinaldi, Maxime Godano, International Journal of Greenhouse Gas Control 24 (2014) 64–77

- Investigating stress path hysteresis in a CO₂ injection scenario using coupled geomechanical-fluid flow modelling* Tom Lyncha, Quentin Fisher, Doug Angus, Piroska Lorinczi, Energy Procedia 00 (2013)
- Estimating maximum sustainable injection pressure during geological sequestration of CO₂ using coupled fluid flow and geomechanical fault-slip analysis* J. Rutqvist, J. Birkholzer, F. Cappa, C.F. Tsang, Energy Conversion and Management 48 (2007) 1798–1807
- Effects of fault-zone architecture on earthquake magnitude and gas leakage related to CO₂ injection in a multi-layered sedimentary system* Antonio P. Rinaldi, Pierre Jeanne and Jonny Rutqvist, Frédéric Cappa, Yves Guglielmi, Greenhouse Gas Sci Technol. 4:99–120 (2014)
- Seismic rupture and ground accelerations induced by CO₂ injection in the shallow crust* Frederic Cappa, Jonny Rutqvist, Geophys. J. Int. (2012)
- Comparison of geomechanical deformation induced by megatonne-scale CO₂ storage at Sleipner, Weyburn, and In Salah* James P. Verdon,1, J.-Michael Kendall, Anna L. Stork, R. Andy Chadwick, Don J. White, and Rob C. Bissell, Proc Natl Acad Sci U S A. 2013 Jul 23;110(30):E2762-71
- Geological CO₂ sequestration in multi-compartment reservoirs: Geomechanical challenges* N. Castelletto, G. Gambolati and P. Teatini, Journal of Geophysical Research: Solid Earth Volume 118, Issue 5, pages 2417–2428, May 2013
- Impact of CO₂ geological sequestration on the nucleation of earthquakes* Frédéric Cappa and Jonny Rutqvist, Geophysical Research Letters Volume 38, Issue 17, September 2011
- 3D geomechanics in UGS projects. A comprehensive study in northern Italy* Castelletto N., Ferronato M., Gambolati G., Janna C., Teatini P., Marzorati D., Cairo E., Colombo D., Ferretti A., Bagliani A., and Mantica S. 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th U.S.- Canada Rock Mechanics Symposium, 2010
- Gas injection may have triggered earthquakes in the Cogdell oil field, Texas.* Gan W., Frohlich C. Proc Natl Acad Sci U S A. 2013 Nov 19;110(47):18786-91.
- Induced seismicity within geological carbon sequestration projects: Maximum earthquake magnitude and leakage potential from undetected faults* Alberto Mazzoldi, Antonio P. Rinaldi, Andrea Borgia, Jonny Rutqvist, International Journal of Greenhouse Gas Control 10 (2012) 434–442
- Elements of a best practices approach to induced seismicity in geologic storage* Larry R. Myer, Thomas M. Daley, Energy Procedia 4 (2011) 3707–3713
- Earthquake hazard associated with deep well injection : a report to the U.S.Environmental Protection Agency* Craig Nicholson, Robert L.Wesson. U.S. Geological Survey bulletin n. 1951, 1990
- The Italian present-day stress map.* P. Montone, M.T. Mariucci and S. Pierdominici. Geophys. J. Int. (2012) 189, 705–716