



Aleanna Resources LLC

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

INTEGRAZIONI AL S.I.A.

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

ALLEGATO 7



CAMPO DI GRADIZZA

**Integrazioni alla
valutazione preliminare
della subsidenza**

Febbraio 2016



SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	1
2	MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE.....	2
3	REGIONE EMILIA-ROMAGNA.....	11
4	BIBLIOGRAFIA	13



1 INTRODUZIONE

Il presente documento redatto da DREAM s.r.l. contiene le integrazioni e gli approfondimenti in risposta alle richieste formulate dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Richiesta di integrazione del 22/01/2016, punti 22, 23 e 24) e dalla Regione Emilia Romagna (Richiesta di integrazione del 03/12/2015, punti 17 a, b e c) in merito allo studio precedentemente eseguito da Dream sul campo di Gradizza - Permesso di Ricerca “La Prospera” (Campo di Gradizza - Studio della subsidenza indotta dalla produzione del campo, Luglio, 2015).



2 Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Dal documento "Richiesta chiarimenti – Riguardo alla componente Suolo e sottosuolo" (22/01/2016):

22) Al fine di stimare i possibili effetti sull'abbassamento dei suoli derivanti dalla messa in produzione del giacimento di Gradizza, ritenuto che la caratterizzazione geotecnica inserita nel modello geomeccanico sia insufficiente in quanto a cura del Proponente è stata condotta solo la caratterizzazione fisica dei materiali (Limiti di Atterberg) prelevati mediante carotaggio, mentre i parametri meccanici, "a causa dell'elevato disturbo dei provini", sono stimati in modo empirico o desunti dalla letteratura per formazioni simili o sulla base delle esperienze degli Autori, si chiede di commentare in maniera adeguata i risultati dei log elettrici sia delle prove geofisiche condotte in pozzo accompagnandole eventualmente con figure e tabelle più esplicite e di integrare la caratterizzazione meccanica dettagliando i valori utilizzati e elencati in tab. D1, soprattutto in riferimento a valori tratti dalla letteratura ma di difficile reperibilità e per i quali non si conosce il contesto geologico.

Nello studio eseguito da Dream s.r.l. sul campo di Gradizza (Campo di Gradizza - Studio della subsidenza indotta dalla produzione del campo, Luglio, 2015), i moduli elastici dinamici sono stati stimati dall'interpretazione di log sonici e di densità acquisiti al pozzo Gradizza 1 nel 2013 nell'intervallo [360-998] m TVDSS (fig. 1). L'intervallo analizzato corrisponde alla Formazione Carola. La seguente relazione consente di calcolare il modulo elastico dinamico E_D :

$$E_D = \rho V_s^2 [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)] \quad (1)$$

dove i seguenti parametri sono ottenuti dai log sonici e di densità acquisiti al pozzo:

- ρ : densità della formazione;
- V_p : velocità di propagazione delle onde longitudinali o di compressione;
- V_s : velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio.

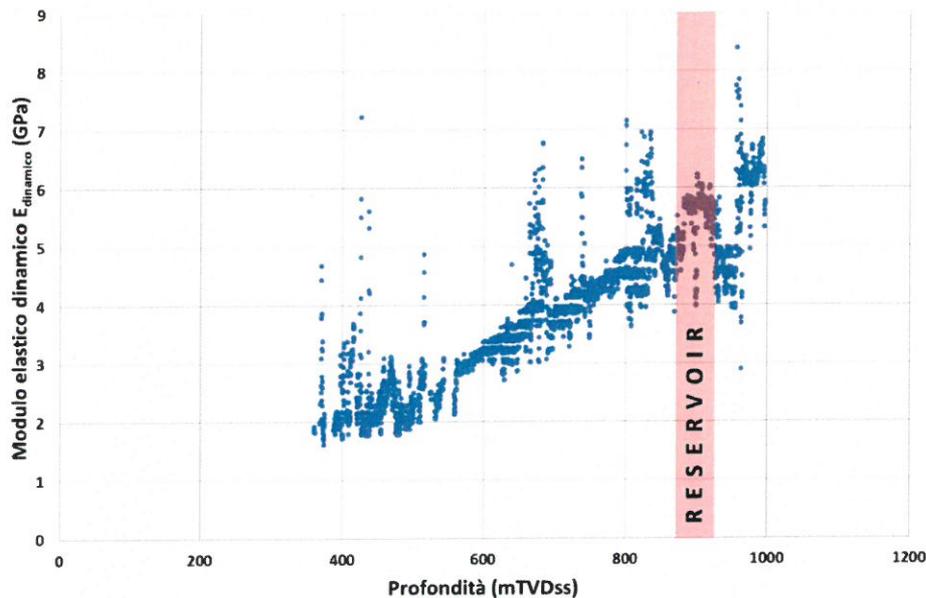


Fig. 1: Andamento del modulo elastico dinamico in funzione della profondità al pozzo Gradizza 1

Per la definizione dei moduli elastici statici è stata adottata una correlazione reperita in letteratura. Tale correlazione deriva dagli studi condotti da Baù et al., 2002; Ferronato et al., 2003a, 2003b; Teatini et al., 2011a, che hanno messo in relazione la compressibilità verticale monoassiale e lo stato tensionale verticale. Sulla base di questa relazione è possibile ottenere la variazione dei moduli elastici statici in funzione della profondità. Questa legge è stata ricavata dall'analisi statistica di numerose misure di deformazione ottenute da marker radioattivi posizionati in pozzi di produzione presenti nel bacino del Po. In particolare la maggior parte delle misure sono state acquisite in giacimenti a gas presenti nel Pliocene e Pleistocene, a cui appartiene anche il giacimento di Gradizza (F.ne Carola). Questa legge, inoltre, è stata adottata per analizzare il comportamento meccanico di numerosi giacimenti a gas presenti nella Pianura Padana (Ferronato et al, 2006; Bagliani et al, 2010; Teatini et al., 2011b; Castelletto et al., 2013; Castelletto et al., 2014; Codegone et al., 2016).

È da notare come i moduli dinamici aumentino con la profondità (fig.1), in sostanziale accordo con la relazione adottata per descrivere i moduli statici (fig. 2). Infatti, in contesti litologici caratterizzati da presenza di componenti arenacee e argillose, l'effetto del litotipo sui valori assunti dai moduli pseudo-elastici è trascurabile se paragonato alla dipendenza di tali moduli dalla profondità a cui si trovano le formazioni in esame.

Il modello geomeccanico è stato quindi popolato con valori di moduli elastici variabili con la profondità, sia nel caso statico sia nel caso dinamico, come riportato in figura 2.

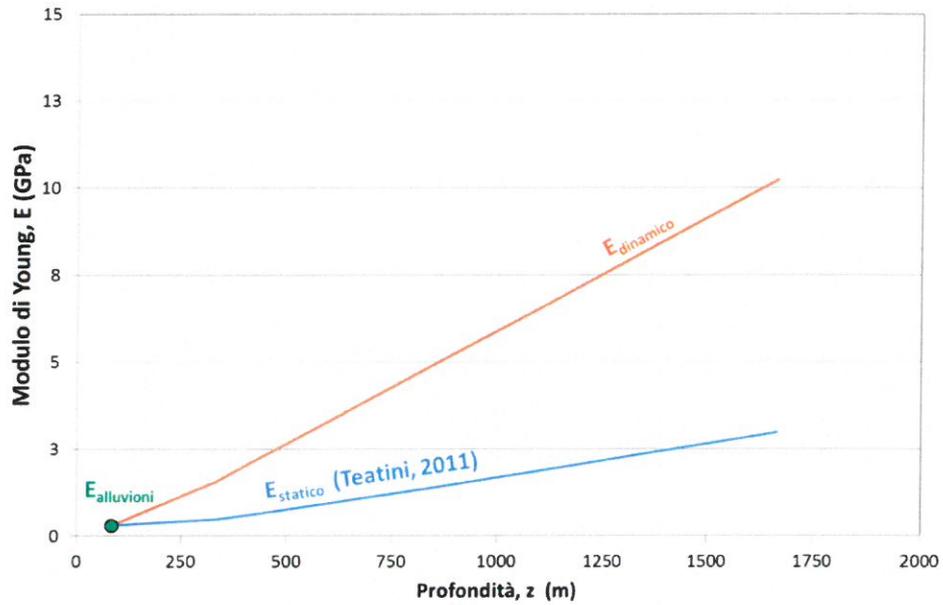


Fig. 2: Relazioni modulo elastico-profondità utilizzate.

La figura 3 riporta i valori medi dei moduli elastici (statici ovvero E_s , e dinamici ovvero E_D) per le differenti classi meccaniche, in corrispondenza dell'asse del pozzo Gradizza 1.

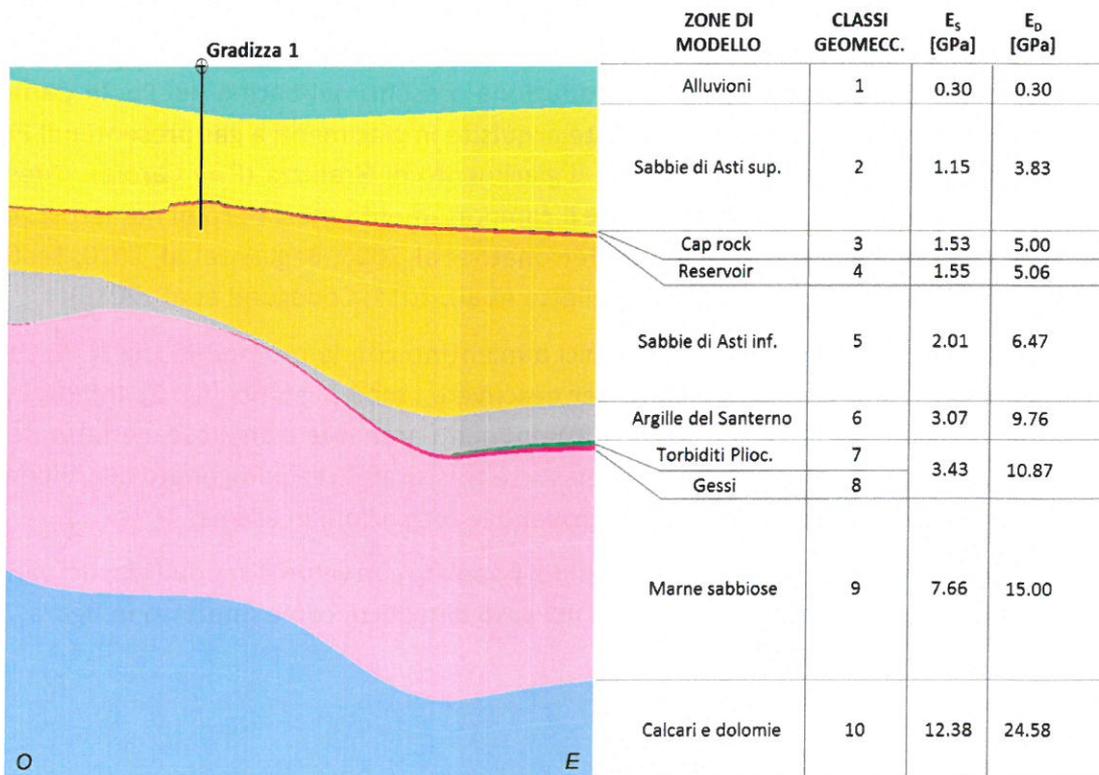


Fig. 3: Moduli elastici medi per le varie classi geomeccaniche



Va rilevato che i parametri deformativi della roccia serbatoio, ovvero i moduli elastici, sono i fattori chiave nell'evoluzione del fenomeno della subsidenza. I risultati della simulazione evidenziano come la produzione di idrocarburi induca deformazioni estremamente ridotte ($\sim 10^{-3}$ m/m) nel giacimento di Gradizza e nelle formazioni circostanti. Pertanto, anche se lo studio del comportamento sforzi-deformazioni è stato svolto adottando una legge elastica perfettamente plastica, l'analisi avrebbe potuto essere condotta anche adottando un legge elastica poiché il comportamento del sistema si mantiene sempre in campo elastico, ampiamente lontano dalla superficie di plasticizzazione descritta dal criterio di resistenza di Mohr-Coulomb. Di conseguenza, i parametri di resistenza (coesione, c , e angolo d'attrito, ϕ) non costituiscono un elemento di criticità per l'analisi della subsidenza.

Per la definizione dei parametri di resistenza delle argille di copertura si è fatto riferimento a due studi a carattere sperimentale svolti presso l'Università degli Studi di Milano - Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, nell'ambito di due progetti di tesi di Laurea Magistrale finalizzati a valutare le caratteristiche geotecniche della Argille del Santerno. In particolare, sono stati analizzati differenti campioni prelevati nella roccia di copertura del giacimento di Sergnano (Pliocene medio-superiore). Le carote si riferiscono ad una profondità compresa tra 1100 e 1300 m e sono costituite da argille. Le analisi di laboratorio hanno permesso di determinare: la caratterizzazione mineralogica (tramite diffrazione a raggi X), i limiti di Atterberg, la densità assoluta (tramite stereopicometro ad Elio su polveri). Inoltre i provini sono stati sottoposti a prove soniche per la determinazione delle velocità V_p e V_s (onde di compressione e di onde di taglio) in condizioni di pressione di confinamento isotropa (P_c) tramite Pressure Vessel e sono stati strumentati con "strain-gauge" per la misura delle deformazioni assiali e longitudinali. I risultati di queste prove, opportunamente interpretati al fine di tener conto dello stato tensionale a cui si trovano le formazioni modellizzate (i.e. profondità delle formazioni), hanno consentito di definire i valori dei parametri geotecnici utilizzati per popolare il modello meccanico di Gradizza.

23) Poiché si ritiene necessario conoscere se oltre al fenomeno della subsidenza dovuto alla estrazione del gas nel pozzo Gradizza 1 ci possa essere interferenza con altri pozzi attualmente in produzione, si richiede di integrare la documentazione con l'indicazione dei pozzi in produzione ricadenti in un'area di alcune decine di chilometri attorno al pozzo in esame e di stimare eventuali interferenze tra i diversi conconi di subsidenza.

La figura 4 riporta l'estensione areale dei permessi di ricerca e delle concessioni di coltivazione e stoccaggio adiacenti al pozzo Gradizza 1 come da sito dell'UNMIG (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it>; ultimo aggiornamento: 31 gennaio 2016), nonché l'estensione del modello geomeccanico realizzato.

Secondo le informazioni disponibili presso il sito dell'UNMIG, la concessione di coltivazione attiva più vicina al pozzo di Gradizza 1 risulta essere quella di Dosso degli Angeli situata al confine con la provincia di Ravenna e distante circa 40 km da Gradizza.

Le concessioni di coltivazione e di stoccaggio che invece ricadono all'interno dell'area del modello di Gradizza (estensione areale: 23x23 km²) sono: concessione di coltivazione Tresigallo (campi: Migliarino, Tresigallo-Vallicella-Vallazzetta) e concessione di stoccaggio Sabbioncello. I dati di produzione relativi alla concessione Tresigallo terminano nel 2002 (fonte: sito dell'UNMIG), quindi non vi è evidenza che attualmente siano in corso una attività estrattiva. La concessione di stoccaggio di Sabbioncello risulta invece attualmente attiva; tuttavia non è possibile effettuare un'analisi di subsidenza che tenga conto della sovrapposizione degli effetti dovuti alle operazioni di stoccaggio, peraltro tipicamente fonte di oscillazioni altimetriche stagionali del piano campagna decisamente limitate, a causa delle riservatezza delle informazioni necessarie allo studio.

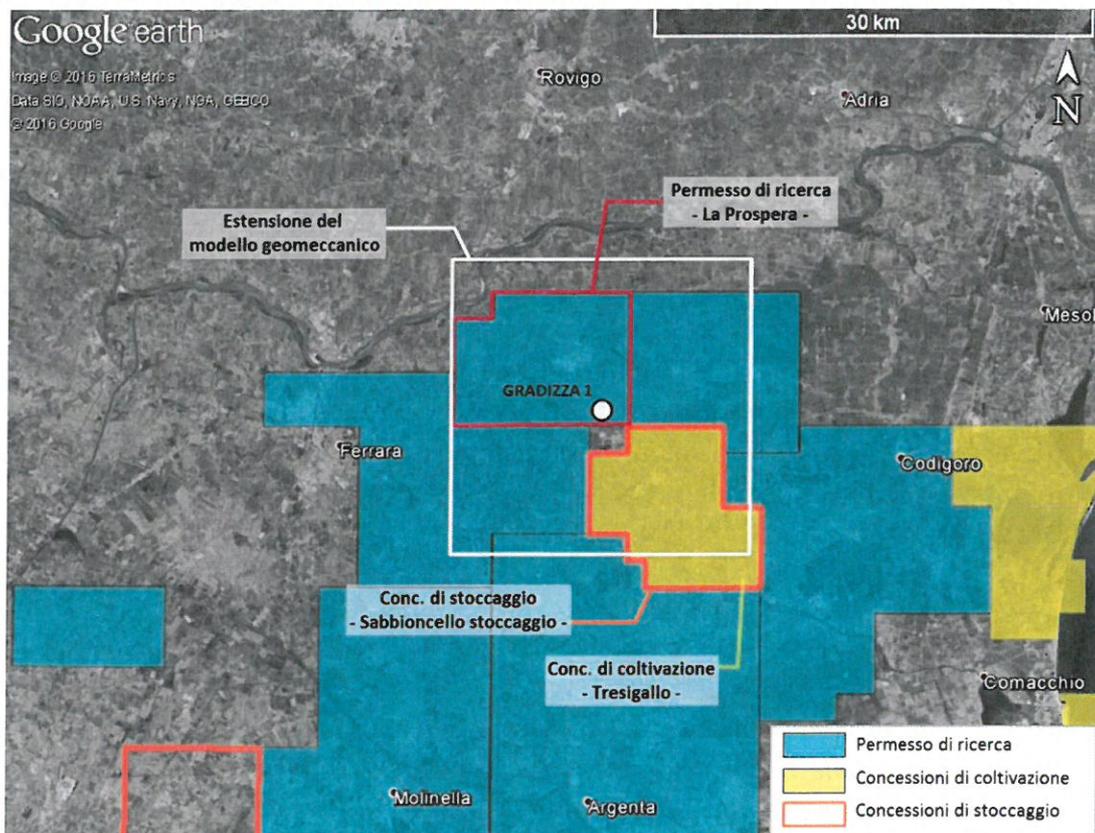


Fig. 4: permessi di prospezione, coltivazione e stoccaggio prospicienti il campo di Gradizza (UNMIG)

24) Dall'analisi della documentazione si osserva che il maggior contributo alla subsidenza si manifesta nei primi 12 anni pertanto si chiede di dettagliare meglio questo intervallo fornendo le mappe delle isocline e i relativi grafici ad intervalli più brevi (3, 6 e 10 anni) dall'inizio della produzione e di evidenziare eventuali impatti attesi sulla rate di smaltimento



delle acque superficiali che si verrebbero a creare nei primi anni di coltivazione. Inoltre, sebbene nel periodo successivo alla produzione i valori massimi stimati di subsidenza al suolo in condizioni statiche aumentino di soli 2 mm, l'area che verrebbe ad essere interessata dal maggior incremento dei cedimenti ricadrebbe in prossimità dell'abitato di Copparo, si chiede di analizzare gli eventuali impatti sullo smaltimento delle acque superficiali che si verrebbero a creare per quest'area.

Vengono di seguito riportati i risultati relativi all'evoluzione del cono di subsidenza a 3, 6 e 10 anni dall'inizio della produzione, considerando moduli elastici sia statici sia dinamici (figure 5, 6, 7). Sulla sinistra di ciascuna figura è visualizzata la mappa con le isocline degli spostamenti verticali in superficie, la proiezione delle discontinuità presenti in giacimento e l'ubicazione del pozzo. Sulla destra di ciascuna figura viene rappresentata una sezione verticale del cono di subsidenza, lungo la traccia AA'.

Non sono riportate le figure relative al cono di subsidenza nei casi in cui la subsidenza massima raggiunta sia minore del millimetro (ovvero: caso statico a 3 anni, e caso dinamico a 3 e 6 anni).

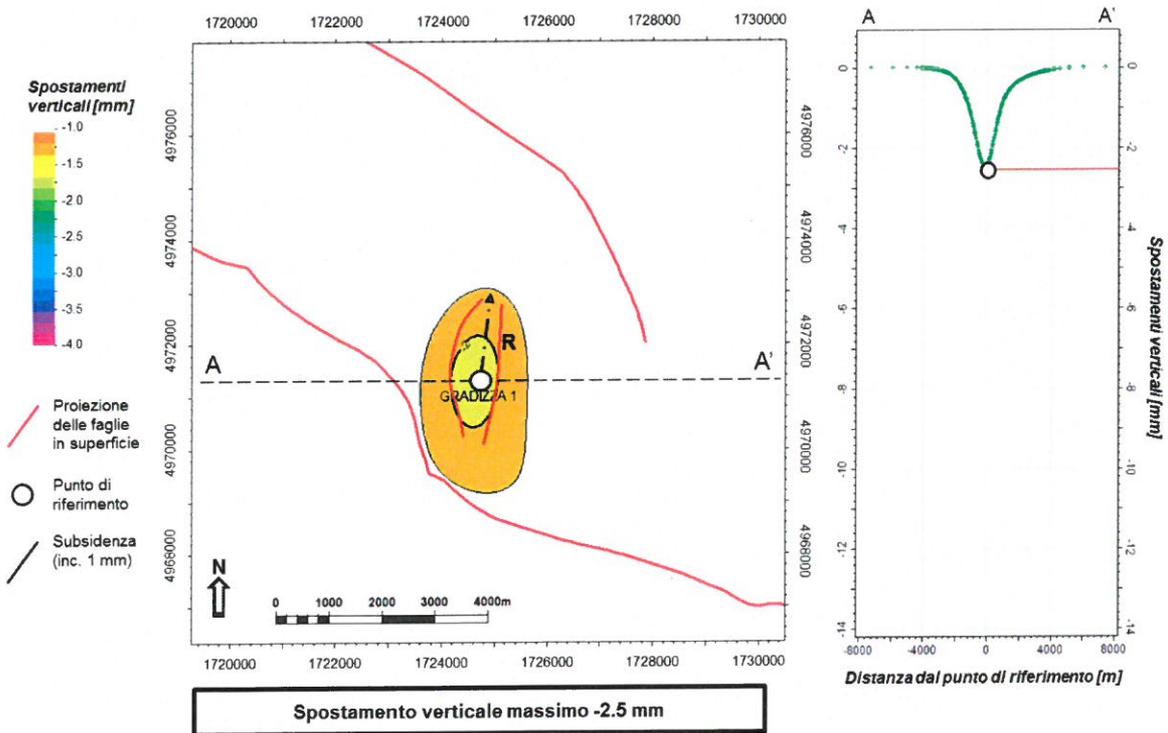


Fig. 5: Caso statico - spostamento verticale indotto sul piano campagna dopo 6 anni di produzione

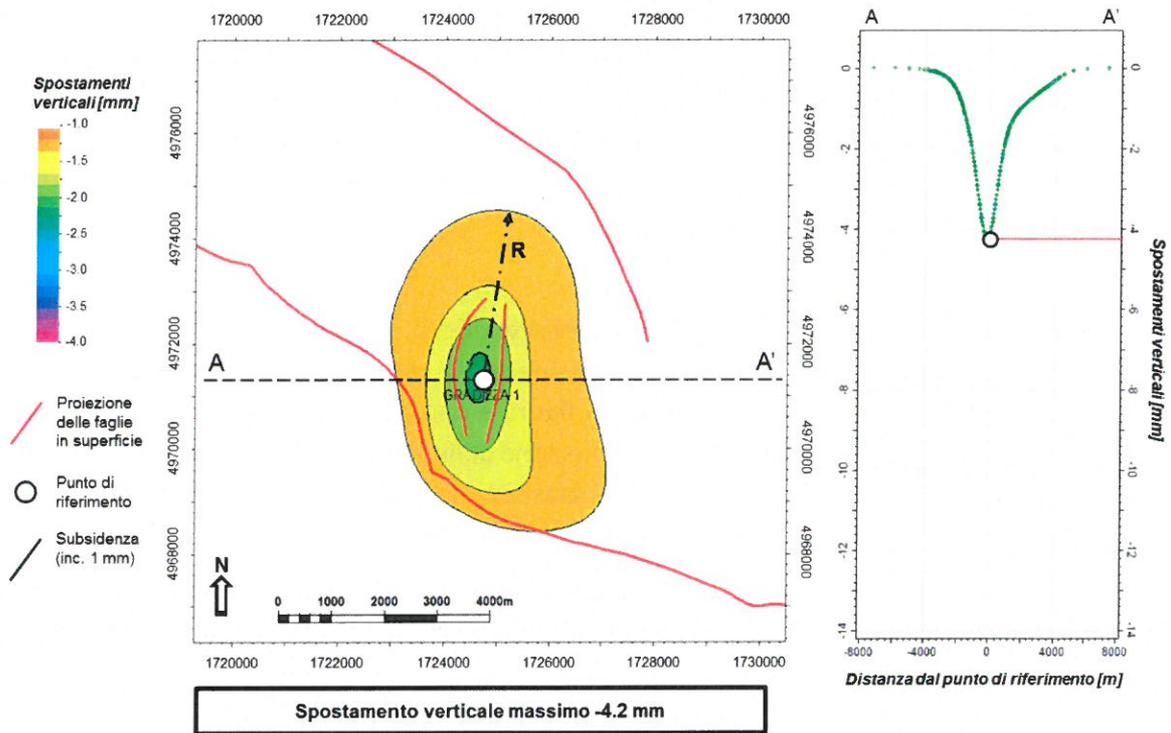


Fig. 6: Caso statico - spostamento verticale indotto sul piano campagna dopo 10 anni di produzione

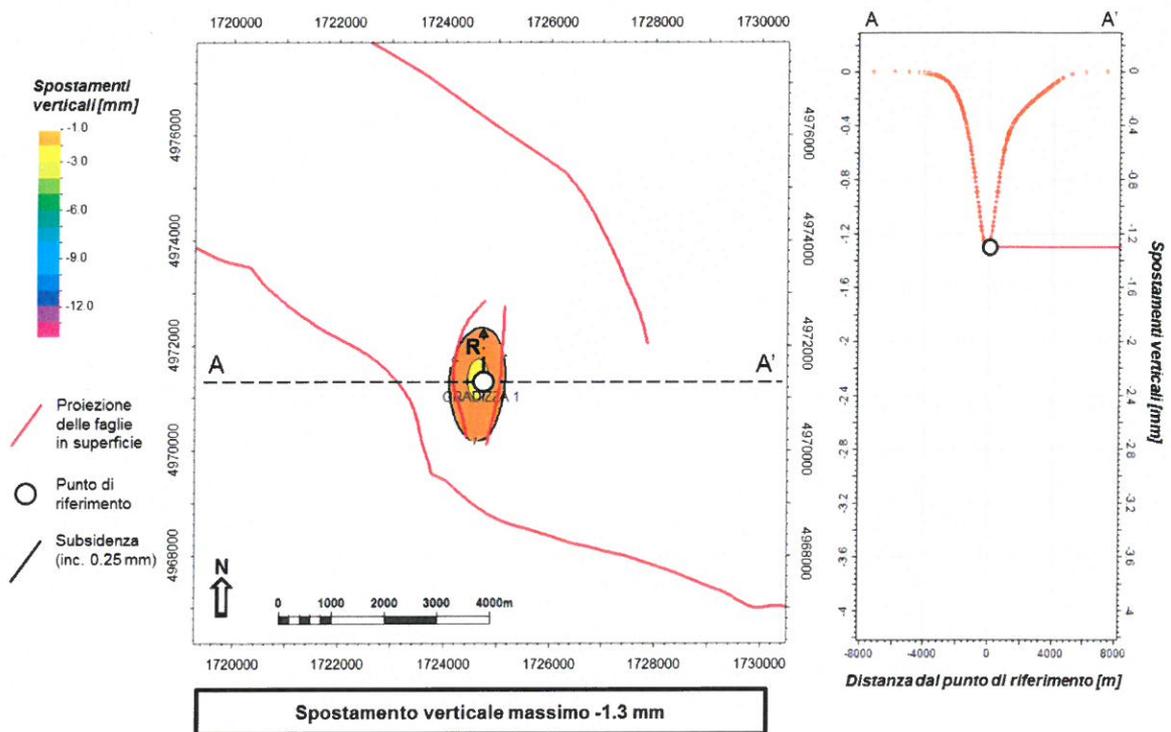


Fig. 7: Caso dinamico - spostamento verticale indotto sul piano campagna dopo 10 anni di produzione



La tabella 2 riassume i valori massimi stimati per lo spostamento verticale e per l'estensione del cono di subsidenza in corrispondenza dei passi temporali di analisi addizionali, nell'ipotesi di parametri sia statici sia dinamici. La superficie del cono di subsidenza corrisponde all'area compresa all'interno dell'iso-subsidenza pari a -1 mm.

Tab. 2: subsidenza massima stimata per i vari casi analizzati.

Tempo (anni)	CASO DINAMICO		CASO STATICO	
	SPOSTAMENTO VERTICALE MAX [mm]	RAGGIO MAX [km]	SPOSTAMENTO VERTICALE MAX [mm]	RAGGIO MAX [km]
3	-0.3	-	-0.9	-
6	-0.8	-	-2.5	1.8
10	-1.3	1	-4.2	3.4

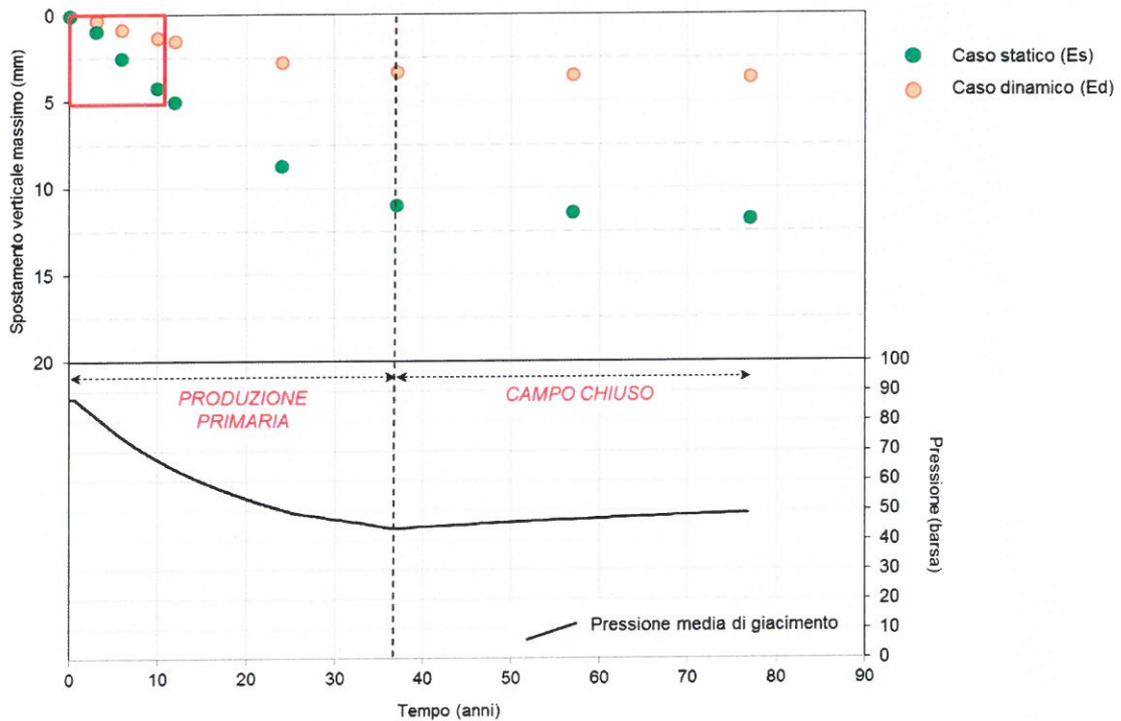


Fig. 8: Evoluzione temporale della pressione media in giacimento e relativi spostamenti verticali indotti sul piano campagna, nel caso statico e nel caso dinamico.



La figura 8 riporta l'evoluzione temporale della pressione media di giacimento e del relativo spostamento verticale indotto sul piano campagna mettendo a confronto i risultati del caso statico e del caso dinamico, per tutti i *time-step* simulati.

Per i primi anni di produzione le analisi effettuate stimano valori di subsidenza massimi minori, o al più uguali, al millimetro: va da sé che tali variazioni altimetriche sono del tutto impercettibili e, a maggior ragione, sono impercettibili gli effetti sulla rete di smaltimento delle acque superficiali. Le stesse considerazioni sono applicabili agli effetti residui (2 mm) che andrebbero ad interessare l'abitato di Copparo. Basti pensare che si tratta di variazioni trascurabili rispetto agli effetti indotti dall'escursione stagionale delle falde idriche superficiali ovvero dall'emungimento delle stesse.



3 Regione Emilia-Romagna

Dal documento "Richiesta chiarimenti" (03/12/2015):

17. ...omissis..

- a) *In relazione ai valori di subsidenza stimati, vengono fatte delle valutazioni per quel che riguarda la stabilità degli edifici, concludendo che gli spostamenti del piano campagna indotti dalle attività di produzione potrebbero causare rotazioni o cedimenti differenziali delle strutture largamente inferiori ai valori limite accettabili, senza creare per tanto alcun genere di problemi, mentre nulle viene detto riguardo gli impatti attesi sul reticolo scolante. Considerando le attuali condizioni di criticità del territorio, si chiede di analizzare i possibili problemi al deflusso del reticolo scolante e sul sistema infrastrutturale presente all'interno del cono di subsidenza valutando, inoltre, l'evoluzione delle possibili aree soggette ad allagamento, in relazione agli abbassamenti del terreno calcolati e sulla scorta delle conoscenze relative ai più recenti fenomeni piovosi particolarmente intensi. Nella valutazione occorrerà considerare gli abbassamenti maggiori tra quelli considerati (corrispondenti al caso statico), avendo cura di individuare le eventuali necessarie mitigazioni...omissis..*

Si rimanda a quando riportato nel paragrafo '1. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare' come risposta al punto 24).

- b) *Nel documento citato le simulazioni e le mappe di subsidenza vengono riportate per il periodo corrispondente alla fine della coltivazione del giacimento (37 anni dopo l'inizio delle attività), e 40 anni dopo la fine della coltivazione. È noto che la diminuzione della pressione nel giacimento a seguito della coltivazione, è massima durante i primi anni della messa in produzione. La subsidenza procede nel medesimo modo, quindi è del tutto prevedibile che i tassi di subsidenza nei primi anni siano decisamente maggiori rispetto a quelli di lungo periodo. Si richiede pertanto di valutare la subsidenza dovuta alla coltivazione del campo di Gradizza anche a 3 e 10 anni dalla messa in produzione, sia in termini numerici, che attraverso mappe sia per il 'caso statico' che per il 'caso dinamico', analogamente a quanto fatto per i due periodi già calcolati*

Si rimanda a quando riportato nel paragrafo '1. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare' come risposta al punto 24).



- c) *Nello stesso documento, nel paragrafo 4.2.4, viene descritto il prelievo, effettuato durante la perforazione del pozzo 'Gradizza 1', di una carota lunga 9 metri, a partire da 848 m di profondità. La carota aveva l'obiettivo di investigare le caratteristiche litologiche e meccaniche del reservoir e delle argille di copertura. Tale carota tuttavia non ha permesso il recupero della formazione di giacimento, a causa di una significativa componente siltoso-argillosa poco addensata. Quindi non è stato possibile utilizzare la carota per determinare i parametri geomeccanici utili per la modellizzazione della subsidenza. Successivamente nello stesso paragrafo viene detto che i terreni posti alla profondità di 800 m hanno caratteristiche meccaniche assimilabili a quelle delle rocce più che a quelle dei terreni sciolti. Si constata che le due affermazioni sopra dette (si osservi la parte sottolineata) sono in contraddizione tra loro, e se ne chiede, pertanto, spiegazione.*

Le due affermazioni citate sono contraddittorie solo in apparenza. Infatti, *in situ* le formazioni sabbioso-argillose presentano generalmente caratteristiche meccaniche assimilabili a quelle delle rocce più che a quelle dei terreni sciolti in virtù dello stato tensionale presente. Le operazioni di prelievo implicano però inevitabili effetti di disturbo, che possono interessare anche campioni di ottima qualità (Lancellotta, 2004); nel caso in esame, i disturbi indotti dal campionamento hanno compromesso sia la possibilità di recuperare una carota integra dal giacimento sia la possibilità di ottenere parametri rappresentativi da prove condotte in laboratorio sul materiale prelevato in corrispondenza della copertura. Cionondimeno le caratteristiche di resistenza e di deformabilità della formazione investigata non possono corrispondere ai valori di terreni sciolti superficiali.



4 BIBLIOGRAFIA

- Bagliani A., Cairo E., Castelletto N., Colombo D., Ferronato M., Ferretti A., Gambolati G., Janna C., Mantica S., Marzorati D. e Teatini P. (2010). *3D geomechanics in UGS projects. A comprehensive study in northern Italy*. Copyright 2010 ARMA, American Rock Mechanics Association. Pubblicazione presentata al 44th US Rock Mechanics Symposium e 5th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium, Salt Lake City, UT 27–30 giugno 2010.
- Baù D., Ferronato M., Gambolati G. e Teatini P. (2002). *Basin-scale compressibility of the Northern Adriatic by the radioactive marker technique*. *Geotechnique*, 52(8), 605–616.
- Castelletto N., Ferronato M., Gambolati G., Janna C., Marzorati D. e Teatini P. (2013). *Can natural fluid pore pressure be safely exceeded in storing gas underground?*. *Engineering Geology* 153 (2013) 35-44
- Castelletto N., Gambolati G. e Teatini P. (2014). *3D geomechanical modeling for CO2 geological storage in faulted formations. A case study in an offshore northern Adriatic reservoir, Italy*. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 22 (2014) 63-76
- Codegone G., Coti C., Rocca V. e Verga F. (2016). *Subsidence Modeling validation through back analysis for an Italian Gas Storage Field*. *Geotech Geol Eng* DOI 10.1007/s10706-016-9986-9, ISSN 0960-3182
- Ferronato M., Gambolati G., Teatini P. e Baù D. (2003a). *Interpretation of radioactive marker measurements in the Northern Adriatic gas fields*. *SPE Reserv. Eval. Eng.*, 6, 401–411.
- Ferronato, M., G. Gambolati, Teatini P. e Baù D. (2003b). *Unloading- reloading uniaxial compressibility of deep reservoirs by marker measurements*. Nei Proceedings del 11th International FIG Symposium on Deformation Measurements, edito da S. C. Stiros and S. Pytharouli, pp. 341–346, *Geod. and Geod. Appl. Lab., Dep. of Civ. Eng., Univ. of Patras, Patras, Greece*.
- Ferronato, M., Gambolati G., Gonella M. e Teatini P. (2006). *Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend*. *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 42, W01406, doi:10.1029/2005WR004242, 2006
- Lancellotta R. (2004) – *Geotecnica*, III edizione, Zanichelli.
- Teatini P., Gambolati G., Ferronato M., Settari A., Walters D. (2011a) – *Land uplift due to subsurface fluid injection*, *Journal of Geodynamics* 51, pp. 1-16.
- Teatini P., Castelletto N., Ferronato M., Gambolati G., Janna C., Cairo E., Marzorati D., Colombo D., Ferretti A., Bagliani A. e Bottazzi F. (2011s). *Geomechanical response to seasonal gas storage in depleted reservoirs: A case study in the Po River basin, Italy*. *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, F02002. Doi: 10.1029/2010JF001793.
- UNMIG (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/>) consultato in Novembre 2015.