



Campi di Barbara NW e Fauzia

Modello Elasto-Plastico di Subsidenza

Management Summary

LISTA DI DISTRIBUZIONE:

GEOES/CS

GEOD/CS

AUTORI

A. Corradi	EORG
C. Cannone	EORG

Data: 22 dicembre 2017

0	Rapporto Finale	<i>MCDacome</i> M. C. Dacome	<i>M. Antonelli</i>
		<i>M. De Simoni</i>	<i>A. Tiani</i>
		S. Mantica <i>S. Mantica</i>	
AGGIORNAMENTI		CONTROLLATO DA	APPROVATO DA

Indice

1	Introduzione	3
2	Dati di subsidenza misurati dalle stazioni CGPS.....	5
2.1	Stazione CGPS di Barbara NW	5
2.2	Stazione CGPS di Fauzia	5
3	Modello Geomeccanico agli Elementi Finiti	6
3.1	Approccio metodologico.....	6
3.2	Geometria del modello.....	6
3.3	Proprietà dei materiali	8
3.3.1	Densità della roccia	8
3.3.2	Peso specifico dei fluidi saturanti	8
3.3.3	Comprimibilità uniassiale	8
3.4	Inizializzazione e storia di pressione	17
3.4.1	Stato tensionale iniziale	17
3.4.2	Storia di pressione.....	17
4	Risultati delle analisi eseguite con il modello elasto-plastico.....	19
4.1	Scenario di comprimibilità MNO2	20
4.2	Scenario di comprimibilità M2	24
5	Confronto con i dati delle stazioni CGPS	29
5.1	Stazione CGPS di Barbara NW	29
5.2	Stazione CGPS di Fauzia	30
	Bibliografia	32

1 Introduzione

Il presente rapporto illustra i risultati dello studio geomeccanico relativo ai campi di Barbara NW e Fauzia, effettuato con lo scopo di valutare quantitativamente la subsidenza indotta dalla coltivazione dei giacimenti. I campi di Barbara NW e Fauzia sono situati nell'offshore adriatico a circa 55 km a nord di Ancona (Figura 1). La profondità del fondale marino è di circa 70 m.



Figura 1 – Posizione dei campi di BarbaraNW e Fauzia.

La valutazione della subsidenza per i campi in esame è stata effettuata con un modello geomeccanico 3D ad elementi finiti (FE) costruito utilizzando il codice di calcolo Abaqus [1]; in tale modello le informazioni relative alla geometria dei giacimenti, le proprietà petrofisiche e l'evoluzione delle pressioni sono state ottenute dagli studi fluido-dinamici di giacimento realizzati con il codice di calcolo alle differenze finite (FD) Eclipse [2].

Lo studio geomeccanico FE illustrato nel seguito fornisce una previsione di subsidenza aggiornata rispetto allo studio eseguito nel 2013 [3]; esso si basa infatti su modelli fluido-dinamici Eclipse aggiornati sia del campo di Barbara NW [4] che del campo di Fauzia [5].

La produzione del campo di Barbara NW è iniziata nel settembre 1999. A partire da agosto 2017 (termine della fase di history match) sono stati considerati due differenti scenari di produzione [4]: caso “Do Nothing” e caso “DN + 2 sidetrack (BNW9dirA e BNW5dirB)”. Secondo lo scenario “Do Nothing” è previsto che la produzione termini nel 2030, mentre secondo lo scenario “DN + 2 sidetrack (BNW9dirA e BNW5dirB)” la produzione terminerà nel 2037.

La produzione del campo di Fauzia è iniziata nell'ottobre 2014. A partire da settembre 2017 (termine della fase di history match) sono stati considerati due differenti scenari di produzione [5]: caso "Do Nothing" e caso "DN + Stimolazione acida pozzo Fauzia 3 dir + Apertura completamenti esclusi string Fauzia 2 lunga". Secondo lo scenario "Do Nothing" è previsto che la produzione termini nel 2020, mentre secondo lo scenario "DN + Stimolazione acida pozzo Fauzia 3 dir + Apertura completamenti esclusi string Fauzia 2 lunga" la produzione terminerà nel 2022.

Al termine della fase di history match la produzione cumulativa di gas è pari a $2.0 \times 10^9 \text{ Sm}^3$ per Barbara NW e a $193 \times 10^6 \text{ Sm}^3$ per Fauzia. Lo scenario "Do Nothing" prevede una produzione cumulativa di gas alla chiusura dei campi pari a $2.178 \times 10^9 \text{ Sm}^3$ per Barbara NW (nel 2030) e a $210 \times 10^6 \text{ Sm}^3$ per Fauzia (nel 2020). Lo scenario "DN + 2 sidetrack (BNW9dirA e BNW5dirB)", invece, prevede per Barbara NW una produzione cumulativa di gas alla chiusura del campo (2037) pari a $2.751 \times 10^9 \text{ Sm}^3$. Per Fauzia, invece, lo scenario "DN + Stimolazione acida pozzo Fauzia 3 dir + Apertura completamenti esclusi string Fauzia 2 lunga" prevede di chiudere il campo nel 2022 con una produzione cumulativa di gas pari a $239 \times 10^6 \text{ Sm}^3$.

Per la modellizzazione della subsidenza sono stati, quindi, considerati i due seguenti scenari di produzione:

- "DN": Barbara NW caso "Do Nothing" e Fauzia caso "Do Nothing";
- "SVIL": Barbara NW caso "DN + 2 sidetrack (BNW9dirA e BNW5dirB)" e Fauzia caso "DN + Stimolazione acida pozzo Fauzia 3 dir + Apertura completamenti esclusi string Fauzia 2 lunga".

Allo scopo di tenere conto delle principali incertezze cui sono soggetti i dati utilizzati nelle simulazioni, sono stati presi in considerazione due differenti scenari di caratterizzazione dei materiali, legati a due leggi di variazione della comprimibilità edometrica rispetto allo sforzo efficace:

- comprimibilità media (scenario "MNO2")
- comprimibilità media con fattore 2 per le regioni più superficiali (scenario "M2").

In totale sono stati, pertanto, realizzati 4 scenari del modello geomeccanico:

- "DN_MNO2": scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità MNO2;
- "SVIL_MNO2": scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità MNO2;
- "DN_M2": scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità M2;
- "SVIL_M2": scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità M2.

Per tutti gli scenari dinamici lo studio dell'evoluzione delle pressioni è stato protratto, a pozzi chiusi dalla data di fine produzione dei campi, fino all'1-gen-2068 per considerare l'effetto della redistribuzione delle pressioni nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

2 Dati di subsidenza misurati dalle stazioni CGPS

2.1 Stazione CGPS di Barbara NW

La stazione CGPS è installata sulla piattaforma di Barbara NW in corrispondenza delle coordinate 2411866 m E, 4884875 m N. Il periodo di osservazione in cui sono stati analizzati i dati va dal 30 gennaio 2008 al 4 agosto 2017 (Figura 2).

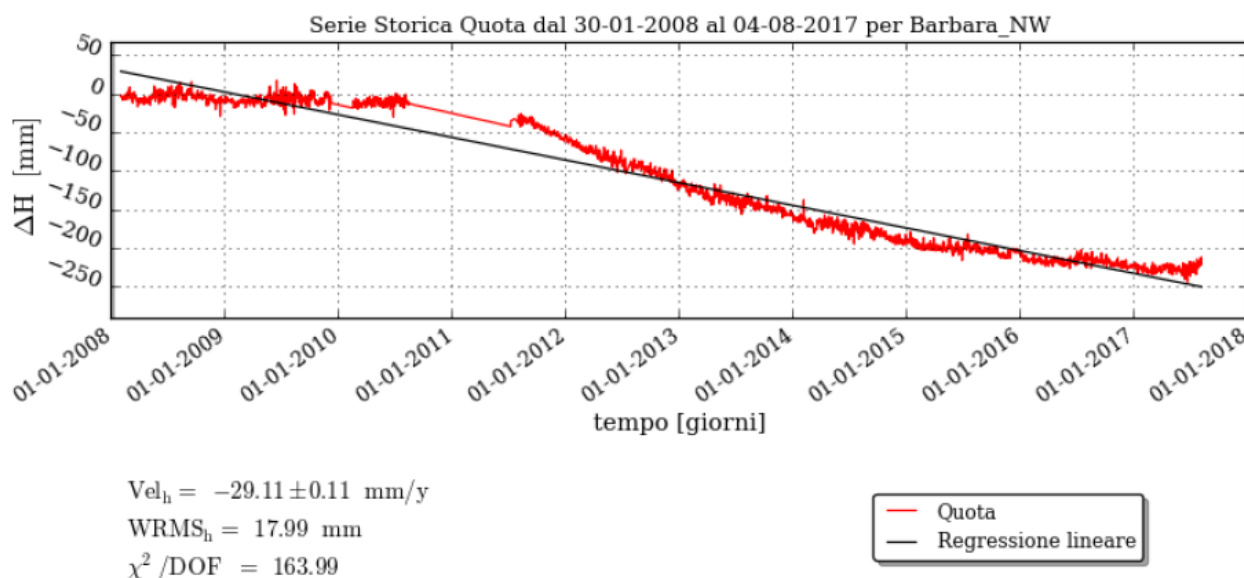


Figura 2 – Misurazioni effettuate dalla stazione CGPS di Barbara NW, aggiornate al 4 agosto 2017.

2.2 Stazione CGPS di Fauzia

La stazione CGPS è installata sulla piattaforma di Fauzia in corrispondenza delle coordinate 2404210 m E, 4879172 m N. Il periodo di osservazione in cui sono stati analizzati i dati va dal 26 settembre 2014 al 21 ottobre 2017 (Figura 3).

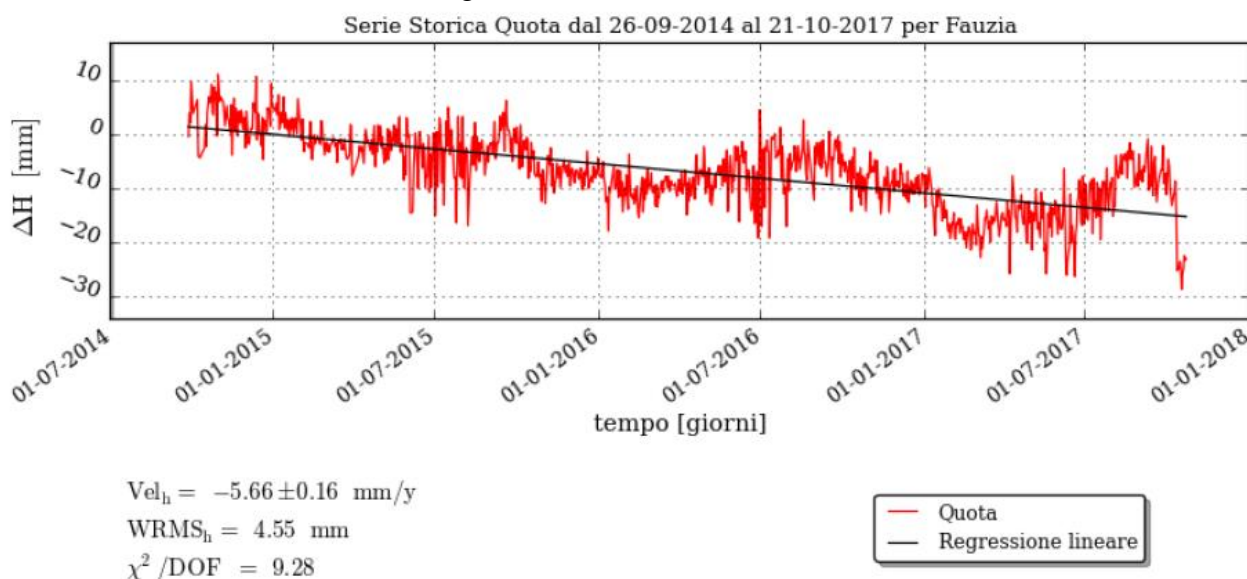


Figura 3 – Misurazioni effettuate dalla stazione CGPS di Fauzia, aggiornate al 21 ottobre 2017.

3 Modello Geomeccanico agli Elementi Finiti

3.1 Approccio metodologico

Lo studio geomeccanico di subsidenza è stato condotto utilizzando il codice FE Abaqus. La costruzione del modello è stata basata sulle seguenti informazioni:

- Mappe geologiche dei livelli interessati dai campi, estese in misura tale da descrivere interamente non solo le zone mineralizzate ma anche gli acquiferi laterali idraulicamente connessi agli strati produttivi;
- Dettagliata descrizione della geometria e geologia dei “livelli mineralizzati + acquiferi connessi”, riprodotta con accuratezza dalla maglia di calcolo numerica;
- Distribuzione di pressione nei “livelli mineralizzati + acquiferi connessi”, calcolata con modelli di flusso 3D Eclipse;
- Proprietà meccaniche della roccia descritte con una legge costitutiva del tipo Cam Clay Modificato, che tiene conto non solo della variazione della comprimibilità uniassiale (c_m) con lo stress efficace, ma modella accuratamente anche gli eventuali fenomeni di espansione dei sedimenti soggetti a ripressurizzazione;
- Calcolo della compattazione dei “livelli mineralizzati + acquiferi connessi” fatto sulla base della più aggiornata stima della comprimibilità uniassiale ottenuta da misure in situ effettuate nei pozzi equipaggiati con markers nell’offshore adriatico.

È da sottolineare che non esiste interferenza idraulica tra i due giacimenti in quanto i livelli mineralizzati a gas metano messi in produzione nel campo di Fauzia sono diversi da quelli mineralizzati e attualmente in produzione nel campo di Barbara NW. La possibile interferenza meccanica, invece, è adeguatamente considerata, poiché è stato costruito un unico modello geomeccanico, discretizzato tramite una griglia ad elementi finiti che comprende entrambi i giacimenti.

3.2 Geometria del modello

Il modello Eclipse di Barbara NW è composto da 289x235x210 celle nelle direzioni I, J e K rispettivamente, per un totale di oltre 14 milioni di celle, delle quali oltre 6 milioni sono attive. Il modello di Fauzia è composto da 124x77x94 celle, per un totale di 900000 celle, di cui oltre 200000 attive.

Considerato che il modello FE deve essere ulteriormente esteso, è stato necessario effettuare un processo di *upscaling* per limitare il numero dei gradi di libertà. Per quanto riguarda Fauzia, la struttura verticale del modello Abaqus è stata mantenuta pressoché identica al modello dinamico, accorpendo tra loro solo livelli inattivi o non in produzione. Per quanto riguarda Barbara NW, invece, in cui si è reso necessario un *upscaling* maggiore: il modello Abaqus è stato ottenuto accorpendo nella direzione verticale livelli produttivi che presentavano analoghe caratteristiche meccaniche e simili storie di pressione. Un analogo processo di *upscaling* è stato attuato anche in

direzione orizzontale, unendo tra loro un differente numero di celle a seconda della distanza dal centro del giacimento e delle dimensioni delle celle.

Il modello fluido-dinamico di Barbara NW interessa un'area di circa 64x55 km², mentre quello di Fauzia un'area di 19x12 km². A partire dalle geometrie dei singoli modelli fluido-dinamici sono state create due griglie FE che, per non risentire dell'influenza delle condizioni al contorno imposte ai bordi, sono state estese (sideburden) fino a ricoprire un'area di circa 73x65 km². Le due griglie sono state quindi costruite con la stessa estensione areale e con un'interfaccia comune (un piano inclinato di profondità compresa tra 1784 m e 1960 m, che costituisce il bottom della griglia di Barbara NW ed il top della griglia di Fauzia).

Le griglie così ricavate a partire dai singoli modelli fluido-dinamici sono state infine unite tra loro in un unico modello geomeccanico che, pertanto, considera in maniera ottimale le interazioni meccaniche tra i due giacimenti (Figura 4).

Il modello complessivo risulta suddiviso in 184 layer, dal fondo mare fino ad una profondità di 5000 m, per un totale di 903947 elementi, 937431 nodi e 3444799 variabili.

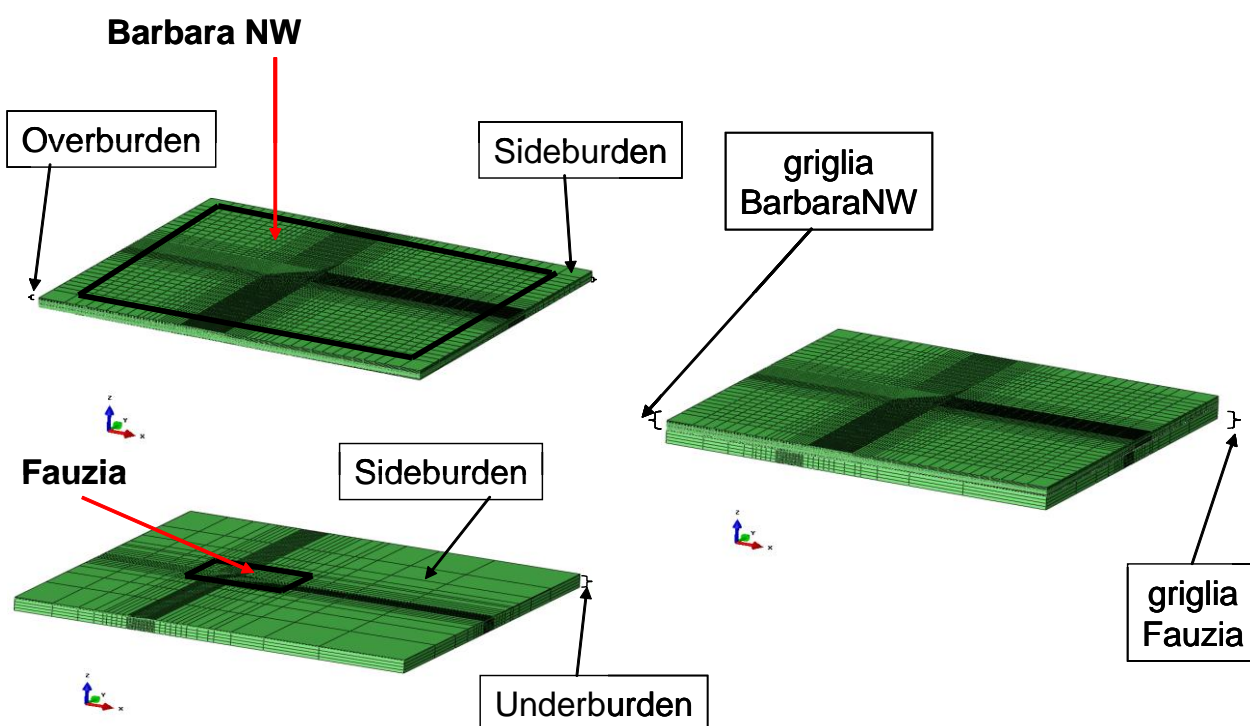


Figura 4 – A sinistra il confronto tra l'estensione del modello geomeccanico e dei modelli dinamici (riquadri neri). A destra la griglia complessiva.

Le condizioni al contorno assegnate al modello sono di spostamento nullo alla base della griglia e spostamento orizzontale impedito sui lati del modello.

3.3 Proprietà dei materiali

3.3.1 Densità della roccia

Partendo da density log misurati su pozzi dei campi in esame (Barbara C_20, D_40, E_48, H_101, Barbara NW da 2 a 7, Fauzia 1) è stato possibile calcolare un profilo di densità definito attraverso le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\rho(z) &= 0.1996(z - z_{fm}) + 1991.43 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{per Barbara NW,} \\ \rho(z) &= 0.1810(z - z_{fm}) + 2001.63 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{per Fauzia,}\end{aligned} \tag{1}$$

dove le profondità (z) sono misurate in metri TVDSS (*True Vertical Depth Sub Sea*) ed è stata considerata una profondità del fondale marino z_{fm} pari a 70 m, al di sopra della quale la densità è stata assunta pari a 1025 kg/m³.

Nelle regioni non porose la densità della roccia è stata fornita in forma tabulare come funzione della profondità secondo la precedente relazione. Nelle regioni porose deve essere invece fornito il valore della densità secca (*dry*) ρ_d calcolata attraverso la formula:

$$\rho_d = \rho - \frac{\phi \cdot \gamma_f}{g}$$

dove ϕ è la porosità, g l'accelerazione di gravità e γ_f il peso specifico del fluido saturante (§3.3.2). Per ciascuna regione porosa la densità secca viene fornita in forma tabulare in funzione della profondità usando i valori di ϕ e γ_f definiti per quelle regioni.

3.3.2 Peso specifico dei fluidi saturanti

Viene fornito al modello FE il valore del peso specifico γ_f dei fluidi saturanti. Per ciascuna regione idro-meccanica il valore di γ_f (relativo al gas o all'acqua) è stato considerato costante. Per ciascuno dei due campi, esso è stato determinato partendo dalla profondità del contatto gas-acqua e dalla distribuzione iniziale delle pressioni calcolata dai modelli Eclipse.

3.3.3 Comprimità uniassiale

Il parametro geomeccanico chiave nelle simulazioni di subsidenza è la comprimità uniassiale c_m del materiale. È oggi comunemente accettato [6] che i valori più attendibili di questo parametro, generalmente funzione non lineare dello stress efficace, siano quelli ottenuti dalle misure in situ tramite markers.

In assenza di dati specifici da marker sui campi di Barbara NW e Fauzia si è utilizzata per la stima della comprimità una correlazione regionale basata sul più ampio dataset possibile e relativa alle

stesse formazioni del Nord Adriatico. Tale correlazione tra c_m e tensione verticale efficace σ'_v è stata proposta da Hueckel *et al.* [7] ed è riportata in Figura 5:

– relazione media, stima ottimale:

$$c_m = 0.01367 \cdot (\sigma'_v)^{-1.16434} \quad (2)$$

dove σ'_v è la tensione efficace verticale espressa in bar e c_m è il coefficiente di comprimibilità edometrica espresso in bar^{-1} .

La tensione verticale efficace σ'_v è stata calcolata tramite:

$$\sigma'_v = \sigma_v - p \quad (3)$$

dove σ_v è la tensione verticale totale e p la pressione dei pori. Quest'ultima è stata estratta dagli studi fluido-dinamici alla profondità di riferimento, mentre la tensione verticale totale σ_v è stata calcolata a partire dalla densità del materiale come riportato nel paragrafo 3.3.1.

In Figura 5 è inoltre messa a confronto la relazione di Hueckel *et al.* [7] con quella di Baù *et al.* [6]; si può osservare come le due risultino analoghe.

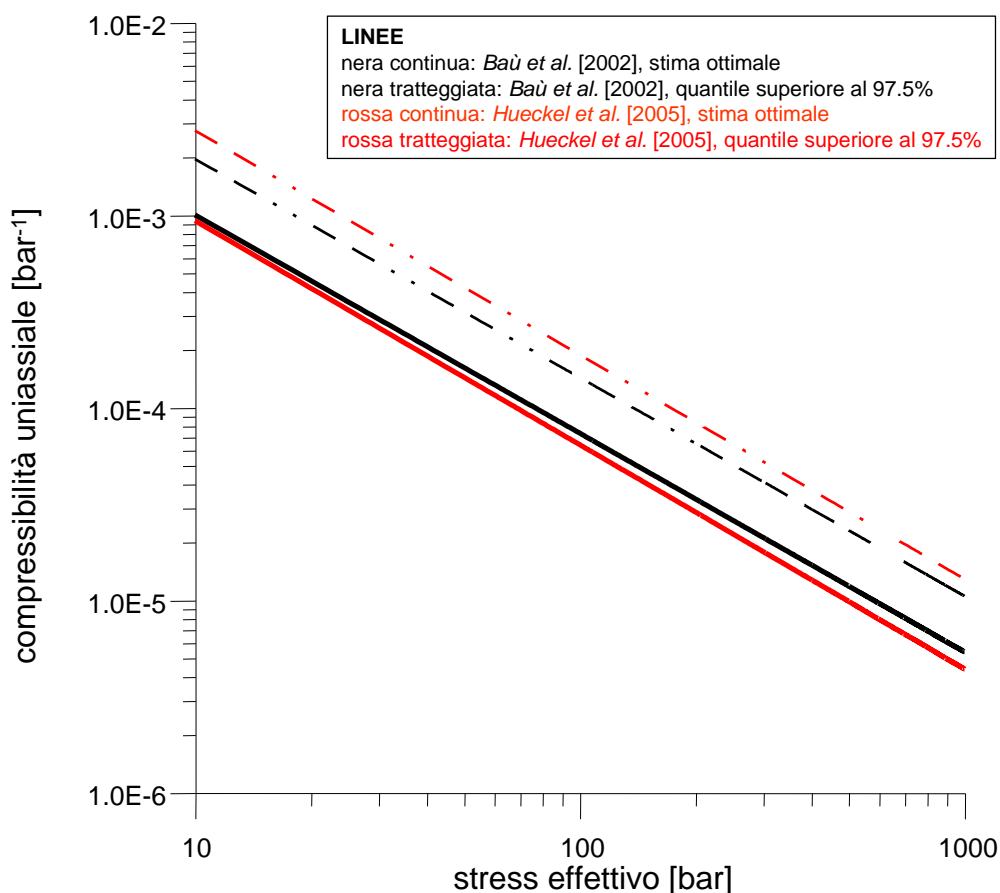


Figura 5 – Correlazione tra la comprimibilità uniassiale c_m e lo stress efficace in situ, derivata da misure su marker nei campi a gas del bacino nord adriatico (da [7]).

Si segnala che studi recenti [8] hanno evidenziato come la correlazione di Baù *et al.* [6], e quindi anche quella di Hueckel *et al.* [7], tenda a sottostimare la comprimibilità uniassiale dei sedimenti posti a meno di 1500 m di profondità. Per tener conto di ciò, ovvero per profondità inferiori a 1500 m, Ferronato *et al.* [8] hanno proposto che, in via cautelativa, il valore di c_m ottenuto dalle precedenti correlazioni sia moltiplicato per 2. Si ottiene così la seconda legge impiegata per definire la comprimibilità uniassiale nel presente studio:

– relazione media, con fattore 2:

$$c_m = \begin{cases} 2 \cdot 0.01367 \cdot (\sigma'_v)^{-1.16434} & z < 1500m \\ 0.01367 \cdot (\sigma'_v)^{-1.16434} & z \geq 1500m \end{cases} \quad (4)$$

dove z è la profondità misurata in metri TVDSS (*True Vertical Depth Sub-Sea Level*) e la tensione verticale efficace σ'_v .

Lo scenario di comprimibilità basato sulla relazione media verrà indicato nel seguito come scenario “MNO2”, mentre lo scenario di comprimibilità basato sulla relazione media con fattore 2 verrà indicato come scenario “M2”.

Si sottolinea che i valori di comprimibilità dei pori utilizzati nei modelli Eclipse sono coerenti con i valori di comprimibilità edometrica del modello geomeccanico.

Dalla Tabella 1 alla Tabella 3 sono riportati i valori di comprimibilità uniassiale (c_m), coefficiente di Poisson (ν), modulo di Young (E), pendenza della retta di normal-compressione (λ) e di scarico-ricarico (κ) nel piano $e:lnp'$ (dove e è l'indice dei vuoti e p' è la tensione efficace media) assegnati ai vari livelli per i modelli di Barbara NW e Fauzia negli scenari analizzati. Per ogni layer sono anche indicati i valori di profondità media, tensione verticale totale, pressione dei pori e tensione verticale efficace.

Tabella 1 – Modello Barbara NW: proprietà assegnate, regione per regione, per lo scenario di comprimibilità MNO2.

Layer	z media [m]	σ_v [bar]	p [bar]	σ'_v [bar]	c_m [bar ⁻¹]	ν -	E [bar]	λ -	κ -
Overburden 1	194	31.4	19.5	11.9	7.64E-04	0.26	1.07E+03	-	-
Overburden 2	318	56.1	32.0	24.1	3.36E-04	0.26	2.43E+03	-	-
Overburden 3	442	81.0	44.4	36.6	2.07E-04	0.26	3.96E+03	-	-
Reservoir 1	566	106.3	57.5	48.8	1.48E-04	0.26	5.53E+03	-	-
Reservoir 2	609	115.1	60.5	54.6	1.30E-04	0.26	6.31E+03	-	-
Reservoir 3	651	123.8	66.4	57.4	1.22E-04	0.26	6.68E+03	-	-
Reservoir 4	693	132.5	68.7	63.8	1.08E-04	0.26	7.55E+03	-	-
Reservoir 5	732	140.6	74.3	66.3	1.03E-04	0.26	7.90E+03	-	-
Reservoir 6	762	146.9	77	69.9	9.74E-05	0.26	8.39E+03	-	-
Reservoir 7	817	158.4	82	76.4	8.78E-05	0.26	9.31E+03	-	-
Reservoir 8	847	164.7	84.5	80.2	8.29E-05	0.26	9.86E+03	-	-
Reservoir 9	885	172.7	89.5	83.2	7.94E-05	0.26	1.03E+04	9.72E-03	3.21E-03
Reservoir 10	885	172.7	89.5	83.2	7.94E-05	0.26	1.03E+04	-	-
Reservoir 11	885	172.7	89.5	83.2	7.94E-05	0.26	1.03E+04	-	-
Reservoir 12	929	182	92.7	89.3	7.31E-05	0.26	1.12E+04	-	-
Reservoir 13	977	192.2	99.6	92.6	7.01E-05	0.26	1.17E+04	9.28E-03	3.06E-03



Reservoir 14	977	192.2	99.6	92.6	7.01E-05	0.26	1.17E+04	9.28E-03	3.06E-03
Reservoir 15	1002	197.6	98.2	99.4	6.46E-05	0.26	1.26E+04	-	-
Reservoir 16	1009	199.1	102.7	96.4	6.70E-05	0.26	1.22E+04	9.30E-03	3.07E-03
Reservoir 17	1009	199.1	102.7	96.4	6.70E-05	0.26	1.22E+04	-	-
Reservoir 18	1009	199.1	102.7	96.4	6.70E-05	0.26	1.22E+04	9.30E-03	3.07E-03
Reservoir 19	1053	208.5	107.2	101.3	6.32E-05	0.26	1.29E+04	-	-
Reservoir 20	1062	210.4	107	103.4	6.17E-05	0.26	1.33E+04	9.26E-03	3.05E-03
Reservoir 21	1069	211.9	107.7	104.2	6.11E-05	0.26	1.34E+04	-	-
Reservoir 22	1076	213.4	109.7	103.7	6.15E-05	0.26	1.33E+04	9.02E-03	2.98E-03
Reservoir 23	1076	213.4	109.7	103.7	6.15E-05	0.26	1.33E+04	-	-
Reservoir 24	1080	214.3	108.3	106	5.99E-05	0.26	1.36E+04	8.95E-03	2.95E-03
Reservoir 25	1080	214.3	108.3	106	5.99E-05	0.26	1.36E+04	-	-
Reservoir 26	1096	217.7	111.3	106.4	5.97E-05	0.26	1.37E+04	-	-
Reservoir 27	1105	219.7	112.2	107.5	5.90E-05	0.26	1.39E+04	8.98E-03	2.96E-03
Reservoir 28	1105	219.7	112.2	107.5	5.90E-05	0.26	1.39E+04	-	-
Reservoir 29	1114	221.6	113	108.6	5.83E-05	0.26	1.40E+04	8.79E-03	2.90E-03
Reservoir 30	1114	221.6	113	108.6	5.83E-05	0.26	1.40E+04	-	-
Reservoir 31	1124	223.8	114.6	109.2	5.79E-05	0.26	1.41E+04	8.95E-03	2.95E-03
Reservoir 32	1124	223.8	114.6	109.2	5.79E-05	0.26	1.41E+04	-	-
Reservoir 33	1135	226.1	113.7	112.4	5.60E-05	0.26	1.46E+04	8.84E-03	2.92E-03
Reservoir 34	1135	226.1	113.7	112.4	5.60E-05	0.26	1.46E+04	-	-
Reservoir 35	1139	227	114.2	112.8	5.57E-05	0.26	1.47E+04	8.67E-03	2.86E-03
Reservoir 36	1139	227	114.2	112.8	5.57E-05	0.26	1.47E+04	-	-
Reservoir 37	1142	227.6	115.5	112.1	5.61E-05	0.26	1.46E+04	8.69E-03	2.87E-03
Reservoir 38	1142	227.6	115.5	112.1	5.61E-05	0.26	1.46E+04	-	-
Reservoir 39	1148	228.9	116	112.9	5.57E-05	0.26	1.47E+04	8.54E-03	2.82E-03
Reservoir 40	1148	228.9	116	112.9	5.57E-05	0.26	1.47E+04	-	-
Reservoir 41	1153	230	118.5	111.5	5.65E-05	0.26	1.45E+04	8.84E-03	2.92E-03
Reservoir 42	1153	230	118.5	111.5	5.65E-05	0.26	1.45E+04	-	-
Reservoir 43	1155	230.5	118.8	111.7	5.64E-05	0.26	1.45E+04	8.86E-03	2.92E-03
Reservoir 44	1155	230.5	118.8	111.7	5.64E-05	0.26	1.45E+04	-	-
Reservoir 45	1161	231.8	119.1	112.7	5.58E-05	0.26	1.46E+04	8.81E-03	2.91E-03
Reservoir 46	1161	231.8	119.1	112.7	5.58E-05	0.26	1.46E+04	-	-
Reservoir 47	1165	232.6	119.5	113.1	5.56E-05	0.26	1.47E+04	8.74E-03	2.88E-03
Reservoir 48	1165	232.6	119.5	113.1	5.56E-05	0.26	1.47E+04	-	-
Reservoir 49	1169	233.5	119.8	113.7	5.52E-05	0.26	1.48E+04	8.61E-03	2.84E-03
Reservoir 50	1169	233.5	119.8	113.7	5.52E-05	0.26	1.48E+04	-	-
Reservoir 51	1173	234.4	120	114.4	5.49E-05	0.26	1.49E+04	8.56E-03	2.82E-03
Reservoir 52	1173	234.4	120	114.4	5.49E-05	0.26	1.49E+04	-	-
Reservoir 53	1176	235	120.6	114.4	5.48E-05	0.26	1.49E+04	8.74E-03	2.88E-03
Reservoir 54	1176	235	120.6	114.4	5.48E-05	0.26	1.49E+04	-	-
Reservoir 55	1180	235.9	120.6	115.3	5.44E-05	0.26	1.50E+04	8.69E-03	2.87E-03
Reservoir 56	1189	237.8	121.46	116.4	5.38E-05	0.26	1.52E+04	-	-
Reservoir 57	1200	240.2	123.1	117.1	5.34E-05	0.26	1.53E+04	8.63E-03	2.85E-03
Reservoir 58	1200	240.2	123.1	117.1	5.34E-05	0.26	1.53E+04	-	-
Reservoir 59	1205	241.3	123.4	117.9	5.29E-05	0.26	1.54E+04	8.55E-03	2.82E-03
Reservoir 60	1205	241.3	123.4	117.9	5.29E-05	0.26	1.54E+04	-	-
Reservoir 61	1208	242	123.8	118.2	5.28E-05	0.26	1.55E+04	8.65E-03	2.86E-03
Reservoir 62	1208	242	123.8	118.2	5.28E-05	0.26	1.55E+04	-	-
Reservoir 63	1199	240	124	116	5.40E-05	0.26	1.51E+04	8.30E-03	2.74E-03
Reservoir 64	1199	240	124	116	5.40E-05	0.26	1.51E+04	-	-
Reservoir 65	1211	242.6	124.7	117.9	5.29E-05	0.26	1.54E+04	8.29E-03	2.74E-03
Reservoir 66	1222	245	126.8	118.2	5.28E-05	0.26	1.55E+04	-	-
Reservoir 67	1250	251.1	128.7	122.4	5.07E-05	0.26	1.61E+04	8.27E-03	2.73E-03



Reservoir 68	1250	251.1	128.7	122.4	5.07E-05	0.26	1.61E+04	-	-
Reservoir 69	1263	254	131.9	122.1	5.09E-05	0.26	1.61E+04	8.12E-03	2.68E-03
Reservoir 70	1292	260.3	137	123.3	5.03E-05	0.26	1.63E+04	-	-
Reservoir 71	1311	264.5	141	123.5	5.02E-05	0.26	1.63E+04	-	-
Reservoir 72	1337	270.2	144.06	126.1	4.89E-05	0.26	1.67E+04	8.03E-03	2.65E-03
Reservoir 73	1337	270.2	144.06	126.1	4.89E-05	0.26	1.67E+04	-	-
Reservoir 74	1345	272	144.9	127.1	4.85E-05	0.26	1.68E+04	7.98E-03	2.63E-03
Reservoir 75	1345	272	144.9	127.1	4.85E-05	0.26	1.68E+04	-	-
Reservoir 76	1351	273.3	145.4	127.9	4.82E-05	0.26	1.70E+04	7.96E-03	2.63E-03
Reservoir 77	1362	275.7	149.4	126.3	4.89E-05	0.26	1.67E+04	-	-
Reservoir 78	1379	279.5	152.4	127.1	4.85E-05	0.26	1.68E+04	7.83E-03	2.59E-03
Reservoir 79	1379	279.5	152.4	127.1	4.85E-05	0.26	1.68E+04	-	-
Reservoir 80	1381	279.9	152.6	127.3	4.84E-05	0.26	1.69E+04	7.97E-03	2.63E-03
Reservoir 81	1381	279.9	152.6	127.3	4.84E-05	0.26	1.69E+04	-	-
Reservoir 82	1384	280.6	152.8	127.8	4.82E-05	0.26	1.69E+04	8.21E-03	2.71E-03
Reservoir 83	1384	280.6	152.8	127.8	4.82E-05	0.26	1.69E+04	-	-
Reservoir 84	1389	281.7	153.1	128.6	4.79E-05	0.26	1.71E+04	8.18E-03	2.70E-03
Reservoir 85	1389	281.7	153.1	128.6	4.79E-05	0.26	1.71E+04	-	-
Reservoir 86	1395	283	153.7	129.3	4.76E-05	0.26	1.72E+04	8.05E-03	2.66E-03
Reservoir 87	1395	283	153.7	129.3	4.76E-05	0.26	1.72E+04	-	-
Reservoir 88	1399	283.9	154.2	129.7	4.74E-05	0.26	1.72E+04	8.09E-03	2.67E-03
Reservoir 89	1399	283.9	154.2	129.7	4.74E-05	0.26	1.72E+04	-	-
Reservoir 90	1402	284.5	154.4	130.1	4.72E-05	0.26	1.73E+04	8.08E-03	2.67E-03
Reservoir 91	1402	284.5	154.4	130.1	4.72E-05	0.26	1.73E+04	-	-
Reservoir 92	1411	286.5	154.9	131.6	4.66E-05	0.26	1.75E+04	7.89E-03	2.60E-03
Reservoir 93	1411	286.5	154.9	131.6	4.66E-05	0.26	1.75E+04	-	-
Reservoir 94	1422	289	159	130	4.73E-05	0.26	1.73E+04	8.01E-03	2.64E-03
Reservoir 95	1422	289	159	130	4.73E-05	0.26	1.73E+04	-	-
Reservoir 96	1432	291.2	160	131.2	4.68E-05	0.26	1.75E+04	8.16E-03	2.69E-03
Reservoir 97	1432	291.2	160	131.2	4.68E-05	0.26	1.75E+04	-	-
Reservoir 98	1443	293.6	161	132.6	4.62E-05	0.26	1.77E+04	8.12E-03	2.68E-03
Reservoir 99	1443	293.6	161	132.6	4.62E-05	0.26	1.77E+04	-	-
Reservoir 100	1457	296.7	162	134.7	4.53E-05	0.26	1.80E+04	7.88E-03	2.60E-03
Reservoir 101	1457	296.7	162	134.7	4.53E-05	0.26	1.80E+04	-	-
Reservoir 102	1467	299	165	134	4.56E-05	0.26	1.79E+04	8.00E-03	2.64E-03
Reservoir 103	1467	299	165	134	4.56E-05	0.26	1.79E+04	-	-
Reservoir 104	1473	300.3	165.5	134.8	4.53E-05	0.26	1.80E+04	8.03E-03	2.65E-03
Reservoir 105	1473	300.3	165.5	134.8	4.53E-05	0.26	1.80E+04	-	-
Reservoir 106	1478	301.4	166.1	135.3	4.51E-05	0.26	1.81E+04	8.03E-03	2.65E-03
Reservoir 107	1478	301.4	166.1	135.3	4.51E-05	0.26	1.81E+04	-	-
Reservoir 108	1485	303	166.6	136.4	4.47E-05	0.26	1.83E+04	8.02E-03	2.65E-03
Reservoir 109	1485	303	166.6	136.4	4.47E-05	0.26	1.83E+04	-	-
Reservoir 110	1495	305.2	167.5	137.7	4.42E-05	0.26	1.85E+04	7.80E-03	2.57E-03
Reservoir 111	1495	305.2	167.5	137.7	4.42E-05	0.26	1.85E+04	-	-
Reservoir 112	1510	308.6	168	140.6	4.31E-05	0.26	1.89E+04	7.81E-03	2.58E-03
Reservoir 113	1510	308.6	168	140.6	4.31E-05	0.26	1.89E+04	-	-
Reservoir 114	1518	310.3	168.4	141.9	4.27E-05	0.26	1.92E+04	7.86E-03	2.59E-03
Reservoir 115	1518	310.3	168.4	141.9	4.27E-05	0.26	1.92E+04	-	-
Reservoir 116	1530	313	173.7	139.3	4.36E-05	0.26	1.88E+04	8.55E-03	2.82E-03
Reservoir 117	1541	315.5	175	140.5	4.32E-05	0.26	1.89E+04	-	-
Reservoir 118	1618	332.8	187.6	145.2	4.15E-05	0.26	1.97E+04	-	-
Reservoir 119	1656	341.4	192	149.4	4.02E-05	0.26	2.03E+04	7.45E-03	2.46E-03
Reservoir 120	1656	341.4	192	149.4	4.02E-05	0.26	2.03E+04	-	-
Reservoir 121	1681	347.1	196.9	150.2	3.99E-05	0.26	2.05E+04	7.43E-03	2.45E-03

Reservoir 122	1681	347.1	196.9	150.2	3.99E-05	0.26	2.05E+04	-	-
Reservoir 123	1705	352.5	204	148.5	4.05E-05	0.26	2.02E+04	8.17E-03	2.69E-03
Reservoir 124	1705	352.5	204	148.5	4.05E-05	0.26	2.02E+04	-	-
Reservoir 125	1709.8	353.6	204.4	149.2	4.02E-05	0.26	2.03E+04	7.83E-03	2.58E-03
Reservoir 126	1709.8	353.6	204.4	149.2	4.02E-05	0.26	2.03E+04	-	-
Reservoir 127	1710.1	353.7	206.1	147.6	4.08E-05	0.26	2.00E+04	8.12E-03	2.68E-03
Reservoir 128	1719	355.7	209	146.7	4.11E-05	0.26	1.99E+04	-	-
Reservoir 129	1723	356.6	209.35	147.3	4.09E-05	0.26	2.00E+04	7.33E-03	2.42E-03
Reservoir 130	1723	356.6	209.35	147.3	4.09E-05	0.26	2.00E+04	-	-
Reservoir 131	1726	357.3	209.6	147.7	4.07E-05	0.26	2.01E+04	7.19E-03	2.37E-03
Reservoir 132	1726	357.3	209.6	147.7	4.07E-05	0.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 133	1727	357.5	209.7	147.8	4.07E-05	0.26	2.01E+04	7.12E-03	2.35E-03
Reservoir 134	1727	357.5	209.7	147.8	4.07E-05	0.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 135	1727.5	357.6	209.9	147.7	4.07E-05	0.26	2.01E+04	7.33E-03	2.42E-03
Reservoir 136	1727.5	357.6	209.9	147.7	4.07E-05	0.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 137	1731.9	358.6	212.4	146.2	4.12E-05	0.26	1.98E+04	-	-
Reservoir 138	1741	360.7	213.2	147.5	4.08E-05	0.26	2.00E+04	6.84E-03	2.26E-03
Reservoir 139	1741	360.7	213.2	147.5	4.08E-05	0.26	2.00E+04	-	-
Underburden 1	1806	375.6	181.6	194.0	2.96E-05	0.26	2.76E+04	-	-

Tabella 2 – Modello Barbara NW: proprietà assegnate, regione per regione, per lo scenario di comprimibilità M2.

Layer	z media [m]	σ_v [bar]	p [bar]	σ'_v [bar]	c_m [bar ⁻¹]	ν -	E [bar]	λ -	κ -
Overburden 1	194	31.4	19.5	11.9	1.53E-03	0.26	5.35E+02	-	-
Overburden 2	318	56.1	32.0	24.1	6.72E-04	0.26	1.22E+03	-	-
Overburden 3	442	81.0	44.4	36.6	4.13E-04	0.26	1.98E+03	-	-
Reservoir 1	566	106.3	57.5	48.8	2.96E-04	0.26	2.76E+03	-	-
Reservoir 2	609	115.1	60.5	54.6	2.59E-04	0.26	3.16E+03	-	-
Reservoir 3	651	123.8	66.4	57.4	2.45E-04	0.26	3.34E+03	-	-
Reservoir 4	693	132.5	68.7	63.8	2.16E-04	0.26	3.78E+03	-	-
Reservoir 5	732	140.6	74.3	66.3	2.07E-04	0.26	3.95E+03	-	-
Reservoir 6	762	146.9	77	69.9	1.95E-04	0.26	4.19E+03	-	-
Reservoir 7	817	158.4	82	76.4	1.76E-04	0.26	4.64E+03	-	-
Reservoir 8	847	164.7	84.5	80.2	1.66E-04	0.26	4.92E+03	-	-
Reservoir 9	885	172.7	89.5	83.2	1.59E-04	0.26	5.14E+03	1.94E-02	6.40E-03
Reservoir 10	885	172.7	89.5	83.2	1.59E-04	0.26	5.14E+03	-	-
Reservoir 11	885	172.7	89.5	83.2	1.59E-04	0.26	5.14E+03	-	-
Reservoir 12	929	182	92.7	89.3	1.46E-04	0.26	5.60E+03	-	-
Reservoir 13	977	192.2	99.6	92.6	1.40E-04	0.26	5.84E+03	1.86E-02	6.14E-03
Reservoir 14	977	192.2	99.6	92.6	1.40E-04	0.26	5.84E+03	1.86E-02	6.14E-03
Reservoir 15	1002	197.6	98.2	99.4	1.29E-04	0.26	6.34E+03	-	-
Reservoir 16	1009	199.1	102.7	96.4	1.34E-04	0.26	6.10E+03	1.86E-02	6.14E-03
Reservoir 17	1009	199.1	102.7	96.4	1.34E-04	0.26	6.10E+03	-	-
Reservoir 18	1009	199.1	102.7	96.4	1.34E-04	0.26	6.10E+03	1.86E-02	6.14E-03
Reservoir 19	1053	208.5	107.2	101.3	1.26E-04	0.26	6.49E+03	-	-
Reservoir 20	1062	210.4	107	103.4	1.23E-04	0.26	6.64E+03	1.85E-02	6.11E-03
Reservoir 21	1069	211.9	107.7	104.2	1.22E-04	0.26	6.70E+03	-	-
Reservoir 22	1076	213.4	109.7	103.7	1.23E-04	0.26	6.64E+03	1.80E-02	5.94E-03
Reservoir 23	1076	213.4	109.7	103.7	1.23E-04	0.26	6.64E+03	-	-
Reservoir 24	1080	214.3	108.3	106	1.20E-04	0.26	6.81E+03	1.79E-02	5.91E-03
Reservoir 25	1080	214.3	108.3	106	1.20E-04	0.26	6.81E+03	-	-



Reservoir 26	1096	217.7	111.3	106.4	1.19E-04	0.26	6.87E+03	-	-
Reservoir 27	1105	219.7	112.2	107.5	1.18E-04	0.26	6.93E+03	1.80E-02	5.94E-03
Reservoir 28	1105	219.7	112.2	107.5	1.18E-04	0.26	6.93E+03	-	-
Reservoir 29	1114	221.6	113	108.6	1.17E-04	0.26	6.99E+03	1.76E-02	5.81E-03
Reservoir 30	1114	221.6	113	108.6	1.17E-04	0.26	6.99E+03	-	-
Reservoir 31	1124	223.8	114.6	109.2	1.16E-04	0.26	7.05E+03	1.79E-02	5.91E-03
Reservoir 32	1124	223.8	114.6	109.2	1.16E-04	0.26	7.05E+03	-	-
Reservoir 33	1135	226.1	113.7	112.4	1.12E-04	0.26	7.30E+03	1.77E-02	5.84E-03
Reservoir 34	1135	226.1	113.7	112.4	1.12E-04	0.26	7.30E+03	-	-
Reservoir 35	1139	227	114.2	112.8	1.11E-04	0.26	7.36E+03	1.73E-02	5.71E-03
Reservoir 36	1139	227	114.2	112.8	1.11E-04	0.26	7.36E+03	-	-
Reservoir 37	1142	227.6	115.5	112.1	1.12E-04	0.26	7.30E+03	1.74E-02	5.74E-03
Reservoir 38	1142	227.6	115.5	112.1	1.12E-04	0.26	7.30E+03	-	-
Reservoir 39	1148	228.9	116	112.9	1.11E-04	0.26	7.36E+03	1.71E-02	5.64E-03
Reservoir 40	1148	228.9	116	112.9	1.11E-04	0.26	7.36E+03	-	-
Reservoir 41	1153	230	118.5	111.5	1.13E-04	0.26	7.23E+03	1.77E-02	5.84E-03
Reservoir 42	1153	230	118.5	111.5	1.13E-04	0.26	7.23E+03	-	-
Reservoir 43	1155	230.5	118.8	111.7	1.13E-04	0.26	7.23E+03	1.77E-02	5.84E-03
Reservoir 44	1155	230.5	118.8	111.7	1.13E-04	0.26	7.23E+03	-	-
Reservoir 45	1161	231.8	119.1	112.7	1.12E-04	0.26	7.30E+03	1.76E-02	5.81E-03
Reservoir 46	1161	231.8	119.1	112.7	1.12E-04	0.26	7.30E+03	-	-
Reservoir 47	1165	232.6	119.5	113.1	1.11E-04	0.26	7.36E+03	1.75E-02	5.78E-03
Reservoir 48	1165	232.6	119.5	113.1	1.11E-04	0.26	7.36E+03	-	-
Reservoir 49	1169	233.5	119.8	113.7	1.10E-04	0.26	7.43E+03	1.72E-02	5.68E-03
Reservoir 50	1169	233.5	119.8	113.7	1.10E-04	0.26	7.43E+03	-	-
Reservoir 51	1173	234.4	120	114.4	1.10E-04	0.26	7.43E+03	1.71E-02	5.64E-03
Reservoir 52	1173	234.4	120	114.4	1.10E-04	0.26	7.43E+03	-	-
Reservoir 53	1176	235	120.6	114.4	1.10E-04	0.26	7.43E+03	1.75E-02	5.78E-03
Reservoir 54	1176	235	120.6	114.4	1.10E-04	0.26	7.43E+03	-	-
Reservoir 55	1180	235.9	120.6	115.3	1.09E-04	0.26	7.50E+03	1.74E-02	5.74E-03
Reservoir 56	1189	237.8	121.46	116.4	1.08E-04	0.26	7.57E+03	-	-
Reservoir 57	1200	240.2	123.1	117.1	1.07E-04	0.26	7.64E+03	1.73E-02	5.71E-03
Reservoir 58	1200	240.2	123.1	117.1	1.07E-04	0.26	7.64E+03	-	-
Reservoir 59	1205	241.3	123.4	117.9	1.06E-04	0.26	7.71E+03	1.71E-02	5.64E-03
Reservoir 60	1205	241.3	123.4	117.9	1.06E-04	0.26	7.71E+03	-	-
Reservoir 61	1208	242	123.8	118.2	1.06E-04	0.26	7.71E+03	1.73E-02	5.71E-03
Reservoir 62	1208	242	123.8	118.2	1.06E-04	0.26	7.71E+03	-	-
Reservoir 63	1199	240	124	116	1.08E-04	0.26	7.57E+03	1.66E-02	5.48E-03
Reservoir 64	1199	240	124	116	1.08E-04	0.26	7.57E+03	-	-
Reservoir 65	1211	242.6	124.7	117.9	1.06E-04	0.26	7.71E+03	1.66E-02	5.48E-03
Reservoir 66	1222	245	126.8	118.2	1.06E-04	0.26	7.71E+03	-	-
Reservoir 67	1250	251.1	128.7	122.4	1.01E-04	0.26	8.09E+03	1.65E-02	5.45E-03
Reservoir 68	1250	251.1	128.7	122.4	1.01E-04	0.26	8.09E+03	-	-
Reservoir 69	1263	254	131.9	122.1	1.02E-04	0.26	8.01E+03	1.62E-02	5.35E-03
Reservoir 70	1292	260.3	137	123.3	1.01E-04	0.26	8.09E+03	-	-
Reservoir 71	1311	264.5	141	123.5	1.00E-04	0.26	8.17E+03	-	-
Reservoir 72	1337	270.2	144.06	126.1	9.79E-05	0.26	8.35E+03	1.61E-02	5.31E-03
Reservoir 73	1337	270.2	144.06	126.1	9.79E-05	0.26	8.35E+03	-	-
Reservoir 74	1345	272	144.9	127.1	9.71E-05	0.26	8.42E+03	1.60E-02	5.28E-03
Reservoir 75	1345	272	144.9	127.1	9.71E-05	0.26	8.42E+03	-	-
Reservoir 76	1351	273.3	145.4	127.9	9.63E-05	0.26	8.49E+03	1.59E-02	5.25E-03
Reservoir 77	1362	275.7	149.4	126.3	9.77E-05	0.26	8.37E+03	-	-
Reservoir 78	1379	279.5	152.4	127.1	9.71E-05	0.26	8.42E+03	1.57E-02	5.18E-03
Reservoir 79	1379	279.5	152.4	127.1	9.71E-05	0.26	8.42E+03	-	-



Reservoir 80	1381	279.9	152.6	127.3	9.68E-05	0.26	8.44E+03	1.59E-02	5.25E-03
Reservoir 81	1381	279.9	152.6	127.3	9.68E-05	0.26	8.44E+03	-	-
Reservoir 82	1384	280.6	152.8	127.8	9.64E-05	0.26	8.48E+03	1.64E-02	5.41E-03
Reservoir 83	1384	280.6	152.8	127.8	9.64E-05	0.26	8.48E+03	-	-
Reservoir 84	1389	281.7	153.1	128.6	9.57E-05	0.26	8.54E+03	1.64E-02	5.41E-03
Reservoir 85	1389	281.7	153.1	128.6	9.57E-05	0.26	8.54E+03	-	-
Reservoir 86	1395	283	153.7	129.3	9.51E-05	1.26	8.59E+03	1.61E-02	5.31E-03
Reservoir 87	1395	283	153.7	129.3	9.51E-05	2.26	8.59E+03	-	-
Reservoir 88	1399	283.9	154.2	129.7	9.48E-05	3.26	8.62E+03	1.62E-02	5.35E-03
Reservoir 89	1399	283.9	154.2	129.7	9.48E-05	4.26	8.62E+03	-	-
Reservoir 90	1402	284.5	154.4	130.1	9.44E-05	5.26	8.66E+03	1.62E-02	5.35E-03
Reservoir 91	1402	284.5	154.4	130.1	9.44E-05	6.26	8.66E+03	-	-
Reservoir 92	1411	286.5	154.9	131.6	9.31E-05	7.26	8.78E+03	1.58E-02	5.21E-03
Reservoir 93	1411	286.5	154.9	131.6	9.31E-05	8.26	8.78E+03	-	-
Reservoir 94	1422	289	159	130	9.45E-05	9.26	8.65E+03	1.60E-02	5.28E-03
Reservoir 95	1422	289	159	130	9.45E-05	10.26	8.65E+03	-	-
Reservoir 96	1432	291.2	160	131.2	9.35E-05	11.26	8.74E+03	1.63E-02	5.38E-03
Reservoir 97	1432	291.2	160	131.2	9.35E-05	12.26	8.74E+03	-	-
Reservoir 98	1443	293.6	161	132.6	9.23E-05	13.26	8.85E+03	1.62E-02	5.35E-03
Reservoir 99	1443	293.6	161	132.6	9.23E-05	14.26	8.85E+03	-	-
Reservoir 100	1457	296.7	162	134.7	9.06E-05	15.26	9.02E+03	1.58E-02	5.21E-03
Reservoir 101	1457	296.7	162	134.7	9.06E-05	16.26	9.02E+03	-	-
Reservoir 102	1467	299	165	134	9.13E-05	17.26	8.95E+03	1.60E-02	5.28E-03
Reservoir 103	1467	299	165	134	9.13E-05	18.26	8.95E+03	-	-
Reservoir 104	1473	300.3	165.5	134.8	9.06E-05	19.26	9.02E+03	1.61E-02	5.31E-03
Reservoir 105	1473	300.3	165.5	134.8	9.06E-05	20.26	9.02E+03	-	-
Reservoir 106	1478	301.4	166.1	135.3	9.02E-05	21.26	9.06E+03	1.61E-02	5.31E-03
Reservoir 107	1478	301.4	166.1	135.3	9.02E-05	22.26	9.06E+03	-	-
Reservoir 108	1485	303	166.6	136.4	8.94E-05	23.26	9.14E+03	1.60E-02	5.28E-03
Reservoir 109	1485	303	166.6	136.4	8.94E-05	24.26	9.14E+03	-	-
Reservoir 110	1495	305.2	167.5	137.7	8.84E-05	25.26	9.25E+03	1.56E-02	5.15E-03
Reservoir 111	1495	305.2	167.5	137.7	8.84E-05	26.26	9.25E+03	-	-
Reservoir 112	1510	308.6	168	140.6	4.31E-05	27.26	1.90E+04	7.80E-03	2.57E-03
Reservoir 113	1510	308.6	168	140.6	4.31E-05	28.26	1.90E+04	-	-
Reservoir 114	1518	310.3	168.4	141.9	4.27E-05	29.26	1.91E+04	7.90E-03	2.61E-03
Reservoir 115	1518	310.3	168.4	141.9	4.27E-05	30.26	1.91E+04	-	-
Reservoir 116	1530	313	173.7	139.3	4.36E-05	31.26	1.87E+04	8.50E-03	2.81E-03
Reservoir 117	1541	315.5	175	140.5	4.32E-05	32.26	1.89E+04	-	-
Reservoir 118	1618	332.8	187.6	145.2	4.15E-05	33.26	1.97E+04	-	-
Reservoir 119	1656	341.4	192	149.4	4.02E-05	34.26	2.03E+04	7.40E-03	2.44E-03
Reservoir 120	1656	341.4	192	149.4	4.02E-05	35.26	2.03E+04	-	-
Reservoir 121	1681	347.1	196.9	150.2	3.99E-05	36.26	2.05E+04	7.40E-03	2.44E-03
Reservoir 122	1681	347.1	196.9	150.2	3.99E-05	37.26	2.05E+04	-	-
Reservoir 123	1705	352.5	204	148.5	4.05E-05	38.26	2.02E+04	8.20E-03	2.71E-03
Reservoir 124	1705	352.5	204	148.5	4.05E-05	39.26	2.02E+04	-	-
Reservoir 125	1709.8	353.6	204.4	149.2	4.02E-05	40.26	2.03E+04	7.80E-03	2.57E-03
Reservoir 126	1709.8	353.6	204.4	149.2	4.02E-05	41.26	2.03E+04	-	-
Reservoir 127	1710.1	353.7	206.1	147.6	4.08E-05	42.26	2.00E+04	8.10E-03	2.67E-03
Reservoir 128	1719	355.7	209	146.7	4.11E-05	43.26	1.99E+04	-	-
Reservoir 129	1723	356.6	209.35	147.3	4.09E-05	44.26	2.00E+04	7.30E-03	2.41E-03
Reservoir 130	1723	356.6	209.35	147.3	4.09E-05	45.26	2.00E+04	-	-
Reservoir 131	1726	357.3	209.6	147.7	4.07E-05	46.26	2.01E+04	7.20E-03	2.38E-03
Reservoir 132	1726	357.3	209.6	147.7	4.07E-05	47.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 133	1727	357.5	209.7	147.8	4.07E-05	48.26	2.01E+04	7.10E-03	2.34E-03

Reservoir 134	1727	357.5	209.7	147.8	4.07E-05	49.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 135	1727.5	357.6	209.9	147.7	4.07E-05	50.26	2.01E+04	7.30E-03	2.41E-03
Reservoir 136	1727.5	357.6	209.9	147.7	4.07E-05	51.26	2.01E+04	-	-
Reservoir 137	1731.9	358.6	212.4	146.2	4.12E-05	52.26	1.98E+04	-	-
Reservoir 138	1741	360.7	213.2	147.5	4.08E-05	53.26	2.00E+04	6.80E-03	2.24E-03
Reservoir 139	1741	360.7	213.2	147.5	4.08E-05	54.26	2.00E+04	-	-
Underburden 1	1806	375.6	181.6	194.0	2.96E-05	0.26	2.76E+04	-	-

Tabella 3 – Modello Fauzia: proprietà assegnate, regione per regione.

Layer	z media [m]	σ_v [bar]	p [bar]	σ'_v [bar]	c_m [bar ⁻¹]	ν -	E [bar]	λ -	κ -
Overburden 1	1927.5	402.6	194.7	207.9	2.74E-05	0.26	2.99E+04	-	-
Reservoir 1	-	-	-	177.6	3.29E-05	0.26	2.49E+04	-	-
Reservoir 2	1984	415.6	238.0	177.6	3.29E-05	0.26	2.49E+04	7.78E-03	2.57E-03
Reservoir 3	-	-	-	179.1	3.25E-05	0.26	2.51E+04	-	-
Reservoir 4	2002.8	419.9	239.3	180.6	3.22E-05	0.26	2.54E+04	8.17E-03	2.70E-03
Reservoir 5	-	-	-	181.1	3.21E-05	0.26	2.54E+04	-	-
Reservoir 6	2016.1	423.0	241.3	181.6	3.20E-05	0.26	2.55E+04	8.22E-03	2.71E-03
Reservoir 7	-	-	-	184.8	3.14E-05	0.26	2.61E+04	-	-
Reservoir 8	2052.3	431.3	243.3	188.1	3.07E-05	0.26	2.66E+04	7.75E-03	2.56E-03
Reservoir 9	-	-	-	188.1	3.07E-05	0.26	2.66E+04	-	-
Reservoir 10	2055.5	432.1	243.9	188.2	3.07E-05	0.26	2.66E+04	7.76E-03	2.56E-03
Reservoir 11	-	-	-	189.6	3.04E-05	0.26	2.68E+04	-	-
Reservoir 12	2077.1	437.1	246.1	191.0	3.02E-05	0.26	2.71E+04	7.66E-03	2.53E-03
Reservoir 13	-	-	-	191.2	3.01E-05	0.26	2.71E+04	-	-
Reservoir 14	2080.7	437.9	246.4	191.5	3.01E-05	0.26	2.72E+04	7.53E-03	2.49E-03
Reservoir 15	-	-	-	193.3	2.98E-05	0.26	2.74E+04	-	-
Reservoir 16	2107.8	444.2	249.1	195.1	2.95E-05	0.26	2.77E+04	7.84E-03	2.59E-03
Reservoir 17	-	-	-	197.1	2.91E-05	0.26	2.81E+04	-	-
Reservoir 18	2126.1	448.5	249.4	199.1	2.88E-05	0.26	2.84E+04	7.73E-03	2.55E-03
Reservoir 19	-	-	-	200.1	2.86E-05	0.26	2.86E+04	-	-
Reservoir 20	2146.8	453.3	252.1	201.2	2.84E-05	0.26	2.88E+04	7.66E-03	2.53E-03
Reservoir 21	-	-	-	201.4	2.84E-05	0.26	2.88E+04	-	-
Reservoir 22	2149.9	454.0	252.4	201.6	2.83E-05	0.26	2.88E+04	7.61E-03	2.51E-03
Reservoir 23	-	-	-	202.0	2.83E-05	0.26	2.89E+04	-	-
Reservoir 24	2153.4	454.8	252.5	202.3	2.82E-05	0.26	2.90E+04	7.76E-03	2.56E-03
Reservoir 25	-	-	-	202.5	2.82E-05	0.26	2.90E+04	-	-
Reservoir 26	2159.4	456.2	253.5	202.7	2.82E-05	0.26	2.90E+04	7.98E-03	2.63E-03
Reservoir 27	-	-	-	203.9	2.80E-05	0.26	2.92E+04	-	-
Reservoir 28	2171.4	459.0	253.9	205.1	2.78E-05	0.26	2.94E+04	7.42E-03	2.45E-03
Reservoir 29	-	-	-	205.2	2.78E-05	0.26	2.94E+04	-	-
Reservoir 30	2173.9	459.6	254.3	205.4	2.77E-05	0.26	2.95E+04	7.42E-03	2.45E-03
Reservoir 31	-	-	-	205.6	2.77E-05	0.26	2.95E+04	-	-
Reservoir 32	2176.3	460.2	254.5	205.7	2.77E-05	0.26	2.95E+04	7.74E-03	2.55E-03
Reservoir 33	2177.9	460.6	254.8	205.8	2.77E-05	0.26	2.95E+04	7.27E-03	2.40E-03
Reservoir 34	-	-	-	206.0	2.76E-05	0.26	2.96E+04	-	-
Reservoir 35	2181.7	461.4	255.2	206.2	2.76E-05	0.26	2.96E+04	7.55E-03	2.49E-03
Reservoir 36	-	-	-	206.5	2.76E-05	0.26	2.96E+04	-	-
Reservoir 37	2185.3	462.3	255.5	206.8	2.75E-05	0.26	2.97E+04	7.83E-03	2.58E-03
Reservoir 38	-	-	-	207.4	2.74E-05	0.26	2.98E+04	-	-
Reservoir 39	2191.6	463.8	255.8	208.0	2.73E-05	0.26	2.99E+04	7.54E-03	2.49E-03
Reservoir 40	-	-	-	208.5	2.73E-05	0.26	3.00E+04	-	-
Reservoir 41	2201.1	466.0	256.9	209.1	2.72E-05	0.26	3.01E+04	7.70E-03	2.54E-03

Reservoir 42	-	-	-	209.3	2.71E-05	0.26	3.01E+04	-	-
Reservoir 43	2208.2	467.6	258.1	209.6	2.71E-05	0.26	3.02E+04	7.38E-03	2.43E-03
Reservoir 44	2210.7	468.2	258.6	209.7	2.71E-05	0.26	3.02E+04	7.38E-03	2.43E-03
Reservoir 45	-	-	-	209.7	2.71E-05	0.26	3.02E+04	-	-
Underburden 1	2772.8	602.8	280.1	322.7	1.64E-05	0.26	4.98E+04	-	-
Underburden 2	3329.6	741.5	336.3	405.2	1.26E-05	0.26	6.50E+04	-	-
Underburden 3	3886.4	885.8	392.6	493.2	1.00E-05	0.26	8.17E+04	-	-
Underburden 4	4443.2	1035.6	448.8	586.8	8.17E-06	0.26	1.00E+05	-	-

3.4 Inizializzazione e storia di pressione

3.4.1 Stato tensionale iniziale

Per i campi di Barbara NW e Fauzia lo sforzo totale verticale è stato calcolato dal gradiente di overburden definito a partire dai density log come descritto nel paragrafo 3.3.1.

L'andamento dello sforzo totale verticale in funzione della profondità è stato determinato, per Barbara NW, grazie all'integrazione numerica di un profilo medio di densità ottenuto da log su pozzi di Barbara e Barbara NW (Barbara C_20, D_40, E_48, H_101, Barbara NW_6) ricondotta poi alla seguente funzione polinomiale di secondo grado:

$$\sigma_v(z_{rvdss}) = 9.786 \cdot 10^{-6} (z_{rvdss} - z_{fm})^2 + 0.1953 (z_{rvdss} - z_{fm}) + 10^{-5} \rho_w g z_{fm} \quad (5)$$

dove σ_v è lo sforzo totale verticale (in bar), z_{rvdss} è la profondità (in metri) riferita al livello medio del mare, z_{fm} è la profondità (in metri) del fondo mare pari, in questo caso, a 70 m, ρ_w è la densità dell'acqua assunta pari a 1025 kg/m³ e g è l'accelerazione di gravità.

Per il campo di Fauzia è stato determinato l'andamento dello sforzo verticale totale con analogo procedimento (e con lo stesso significato dei simboli), partendo da density log misurati su pozzi di Barbara NW e Fauzia (Barbara NW da 2 a 7, Fauzia 1):

$$\sigma_v(z_{rvdss}) = 8.875 \cdot 10^{-6} (z_{rvdss} - z_{fm})^2 + 0.1963 (z_{rvdss} - z_{fm}) + 10^{-5} \rho_w g z_{fm} \quad (6)$$

Lo sforzo orizzontale σ'_h è stato inizializzato partendo da condizioni di tipo edometrico definite come:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v \quad (7)$$

dove K_0 rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che è stato posto pari a 0.54 [9].

3.4.2 Storia di pressione

La distribuzione tridimensionale di pressione e la sua evoluzione temporale, così come calcolata dal modello fluido-dinamico Eclipse, è stata importata nel modello ad elementi finiti. Le pressioni sono



state importate in 28 step temporali per Barbara NW e 19 per Fauzia. Gli step temporali sono stati selezionati in modo che non si verificassero eccessive variazioni di pressione tra due intervalli successivi.

4 Risultati delle analisi eseguite con il modello elasto-plastico

In questo paragrafo vengono riportati i risultati, in termini di subsidenza, per gli scenari considerati e per diversi step temporali durante e dopo la vita produttiva dei campi. Gli studi, infatti, sono stati protratti fino al 2068 (a pozzi chiusi) in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

In Tabella 4 e Tabella 5 sono riportati i valori massimi di subsidenza e l'estensione del fenomeno, calcolata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea dei 2 cm.

In particolare per i casi "DN", le previsioni di subsidenza sono riportate alle seguenti date:

- 1-gen-2017;
- 1-gen-2023: data di massima subsidenza prevista;
- 1-gen-2031: fine della produzione;
- 1-gen-2068: fine della simulazione.

Per i casi "SVIL" sono invece riportate le previsioni di subsidenza alle seguenti date:

- 1-gen-2017;
- 1-gen-2029: data di massima subsidenza prevista;
- 1-gen-2038: fine della produzione;
- 1-gen-2068: fine della simulazione.

Tabella 4 – Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per gli scenari "DN".

	1-gen-2017		1-gen-2023		1-gen-2031		1-gen-2068	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
DN_MNO2	34	7	36	11	35	12	33	13
DN_M2	57	7	60	12	59	12	55	13

Tabella 5 – Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per gli scenari "SVIL".

	1-gen-2017		1-gen-2029		1-gen-2038		1-gen-2068	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
SVIL_MNO2	34	7	44	12	44	12	41	13
SVIL_M2	57	7	73	12	71	12	67	13

4.1 Scenario di comprimibilità MNO2

L'analisi dei risultati consente di osservare che, per lo scenario di comprimibilità MNO2:

- nel caso DN_MNO2:
 - il valore massimo di subsidenza, in corrispondenza del campo di Barbara NW, risulta pari a 36 cm. Tale valore è raggiunto nel 2023 e si riduce a 33 cm alla fine della simulazione. La subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è pari a 4 cm ed è raggiunta alla fine della simulazione (Figura 6);
 - alla fine della produzione (1-gen-2031) la massima estensione della linea di iso-subsidenza dei 2 cm, calcolata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea dei 2 cm, è pari a 12 km (Figura 7). Tale distanza si assesta sui 13 km alla fine della simulazione (Figura 8);
 - il fenomeno si esaurisce a circa 43 km dalla linea di costa, come è mostrato in Figura 9, in cui è riportato l'andamento nel tempo della linea di iso-subsidenza dei 2 cm.
- nel caso SVIL_MNO2:
 - il valore massimo di subsidenza, in corrispondenza del campo di Barbara NW, risulta pari a 44 cm. Tale valore è raggiunto nel 2029 e si riduce a 41 cm alla fine della simulazione. La subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è pari a 5 cm ed è raggiunta alla fine della simulazione (Figura 6);
 - alla fine della produzione (1-gen-2038) la massima estensione della linea di iso-subsidenza dei 2 cm, calcolata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea dei 2 cm, è pari a 12 km (Figura 10). Tale distanza si assesta sui 13 km alla fine della simulazione (Figura 11);
 - il fenomeno si esaurisce a circa 42 km dalla linea di costa, come è mostrato in Figura 12, in cui è riportato l'andamento nel tempo della linea di iso-subsidenza dei 2 cm.

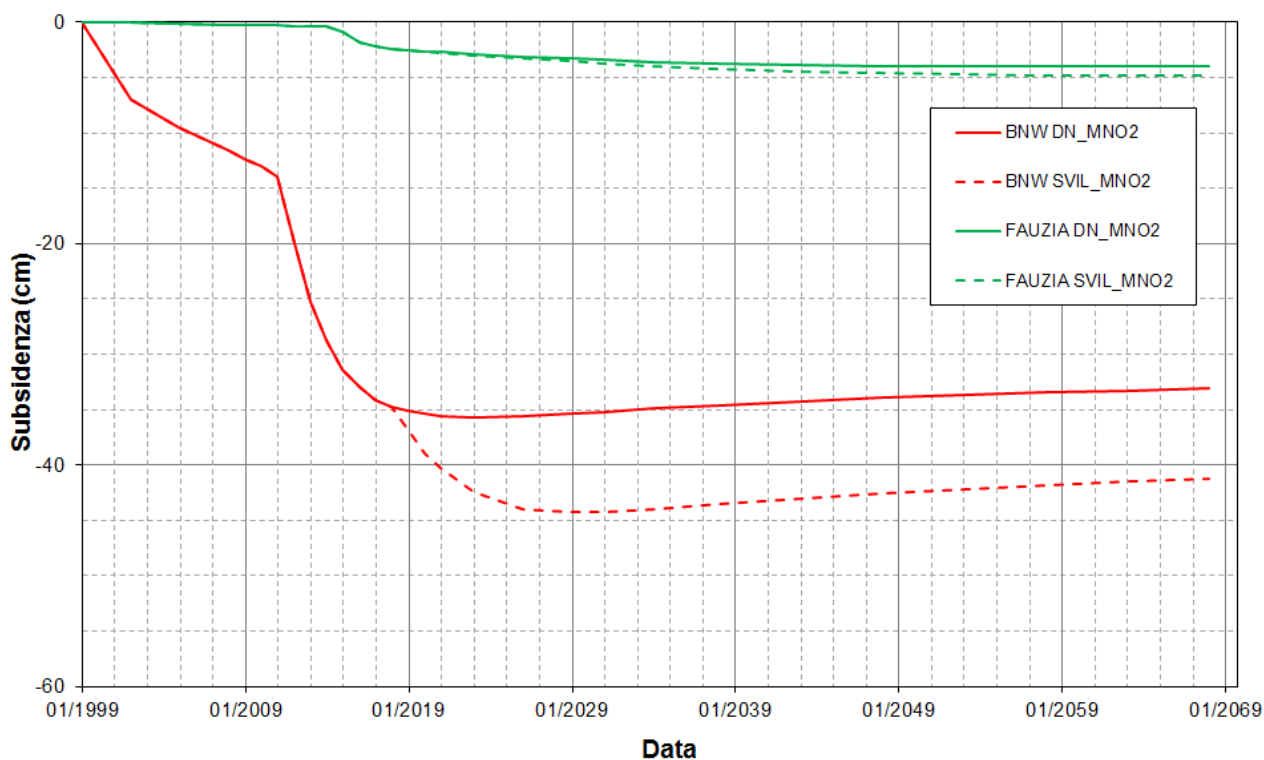


Figura 6 – Scenario di comprimibilità MNO2: evoluzione nel tempo del valore di subsidenza nel punto di massimo, in corrispondenza del campo di Barbara NW (linea blu, punto di coordinate 2412119 m E, 4884383 m N) e del campo di Fauzia (linea rossa, punto di coordinate 2404102 m E, 4878733 m N).

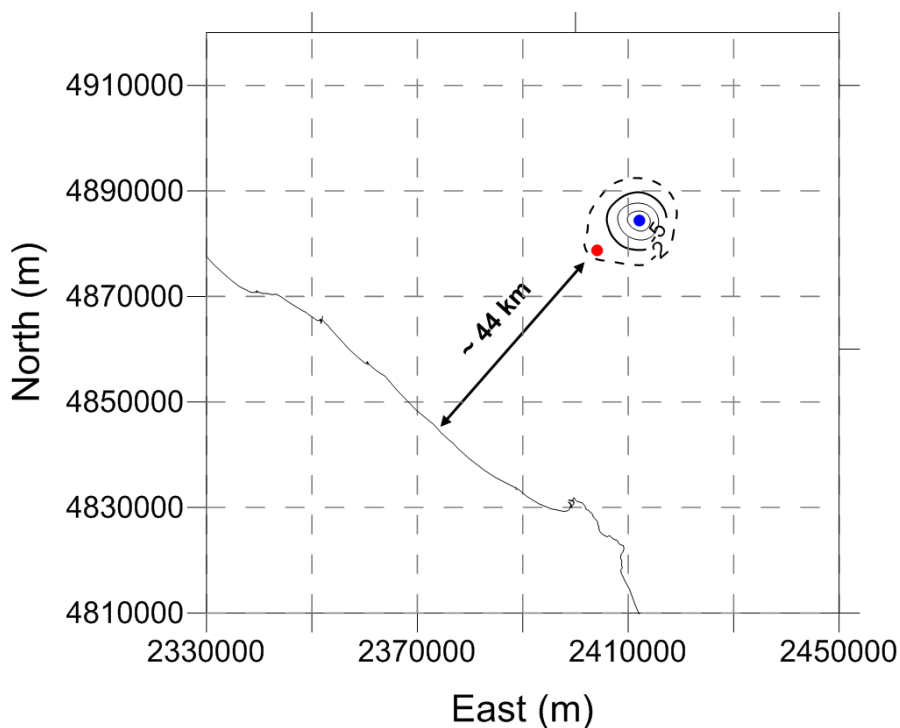


Figura 7 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario DN_MNO2 a fine produzione (2031). Sono anche indicati i punti di massimo in corrispondenza del campo di Barbara NW (in blu) e di Fauzia (in rosso).

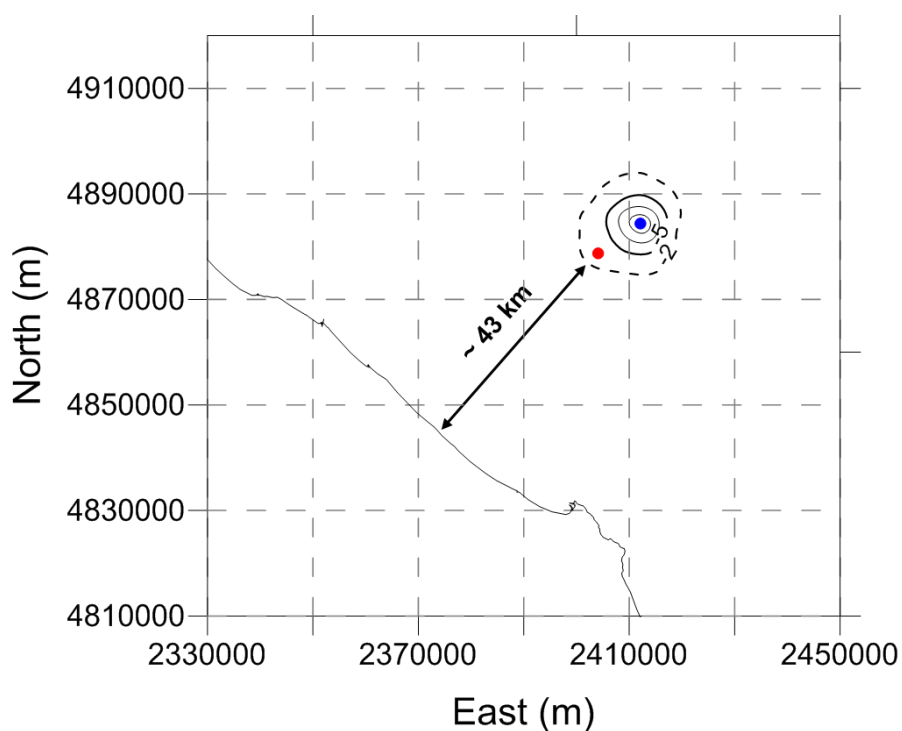


Figura 8 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario DN_MNO2 a fine simulazione (2068).

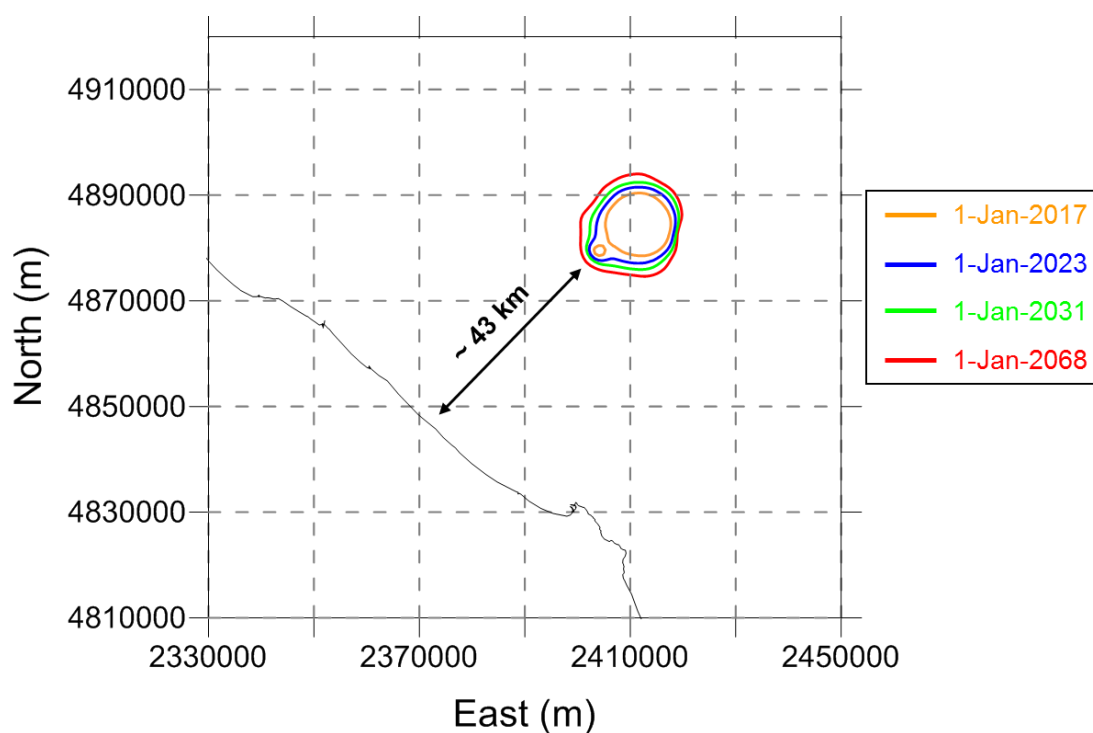


Figura 9 – Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario DN_MNO2.

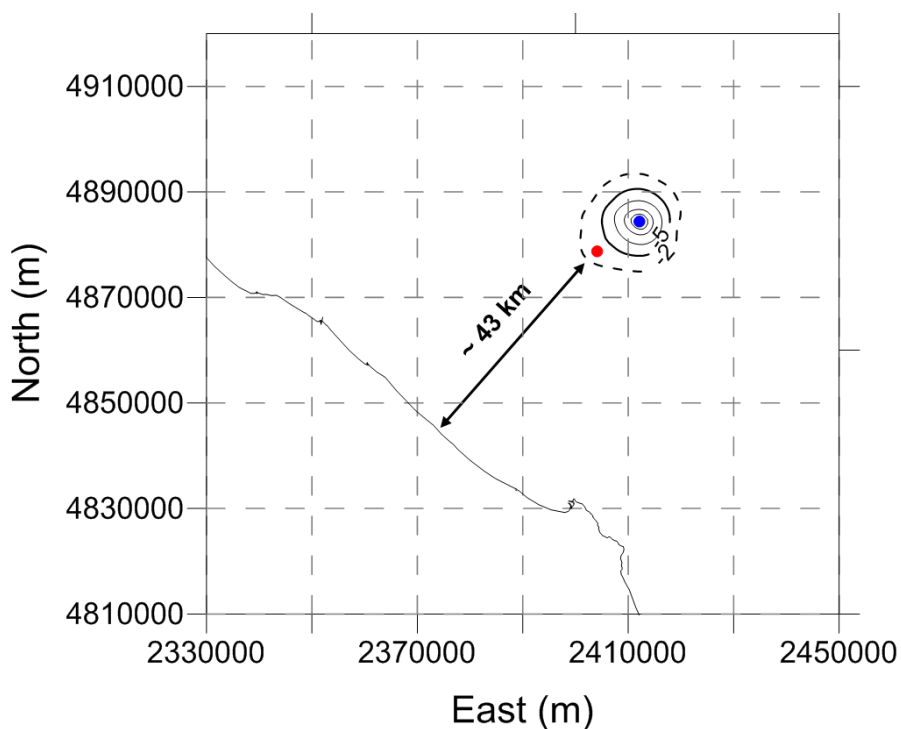


Figura 10 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario SVIL_MNO2 a fine produzione (2038).

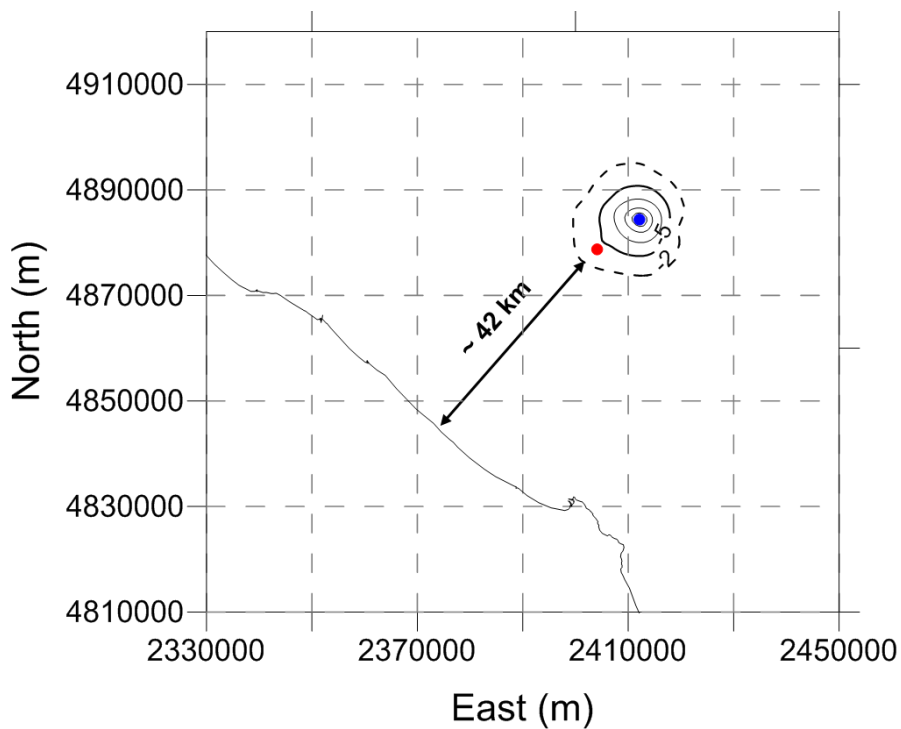


Figura 11 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario SVIL_MNO2 a fine simulazione (2068).

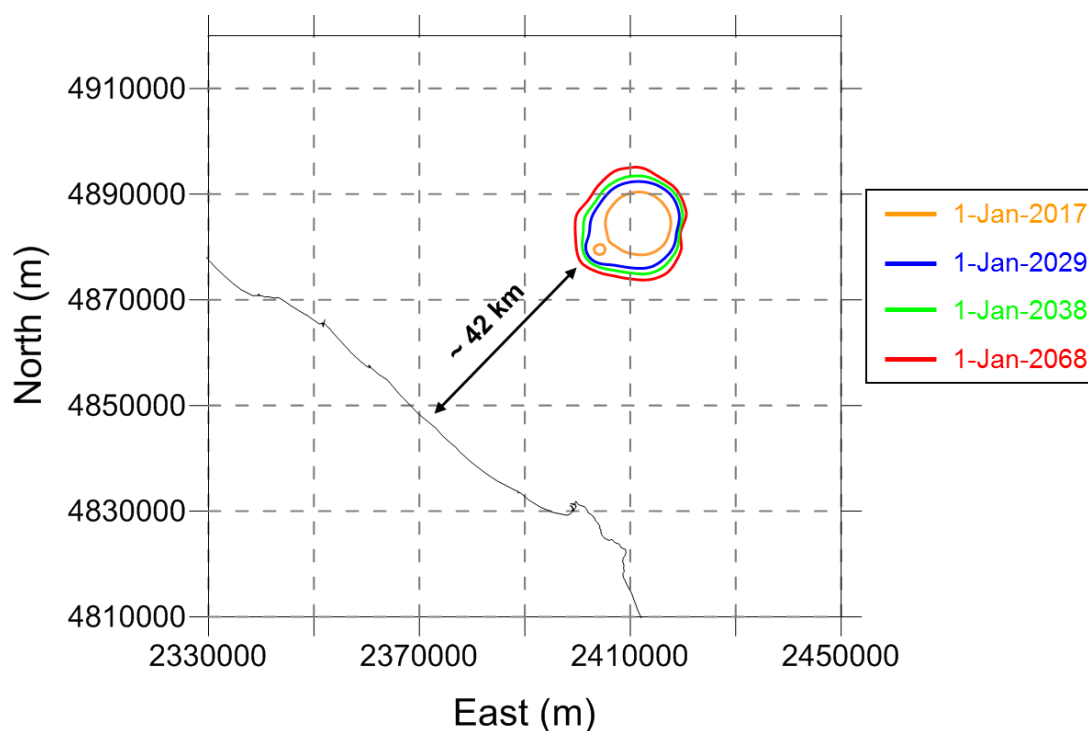


Figura 12 – Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL_MNO2.

4.2 Scenario di comprimibilità M2

L'analisi dei risultati consente di osservare che, per lo scenario di comprimibilità M2:

- nel caso DN_M2:
 - il valore massimo di subsidenza, in corrispondenza del campo di Barbara NW, risulta pari a 60 cm. Tale valore è raggiunto nel 2023 e si riduce a 55 cm alla fine della simulazione. La subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è pari a 4 cm ed è raggiunta alla fine della simulazione (Figura 13);
 - alla fine della produzione (1-gen-2031) la massima estensione della linea di iso-subsidenza dei 2 cm, calcolata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea dei 2 cm, è pari a 12 km (Figura 14). Tale distanza si assesta sui 13 km alla fine della simulazione (Figura 15);
 - il fenomeno si esaurisce a circa 43 km dalla linea di costa, come è mostrato in Figura 16, in cui è riportato l'andamento nel tempo della linea di iso-subsidenza dei 2 cm.
- nel caso SVIL_M2:
 - il valore massimo di subsidenza, in corrispondenza del campo di Barbara NW, risulta pari a 73 cm. Tale valore è raggiunto nel 2029 e si riduce a 67 cm alla fine della simulazione. La subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è pari a 5 cm ed è raggiunta alla fine della simulazione (Figura 13);

- alla fine della produzione (1-gen-2038) la massima estensione della linea di iso-subsidenza dei 2 cm, calcolata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea dei 2 cm, è pari a 12 km (Figura 17). Tale distanza si assesta sui 13 km alla fine della simulazione (Figura 18);
- il fenomeno si esaurisce a circa 42 km dalla linea di costa, come è mostrato in Figura 19, in cui è riportato l'andamento nel tempo della linea di iso-subsidenza dei 2 cm.

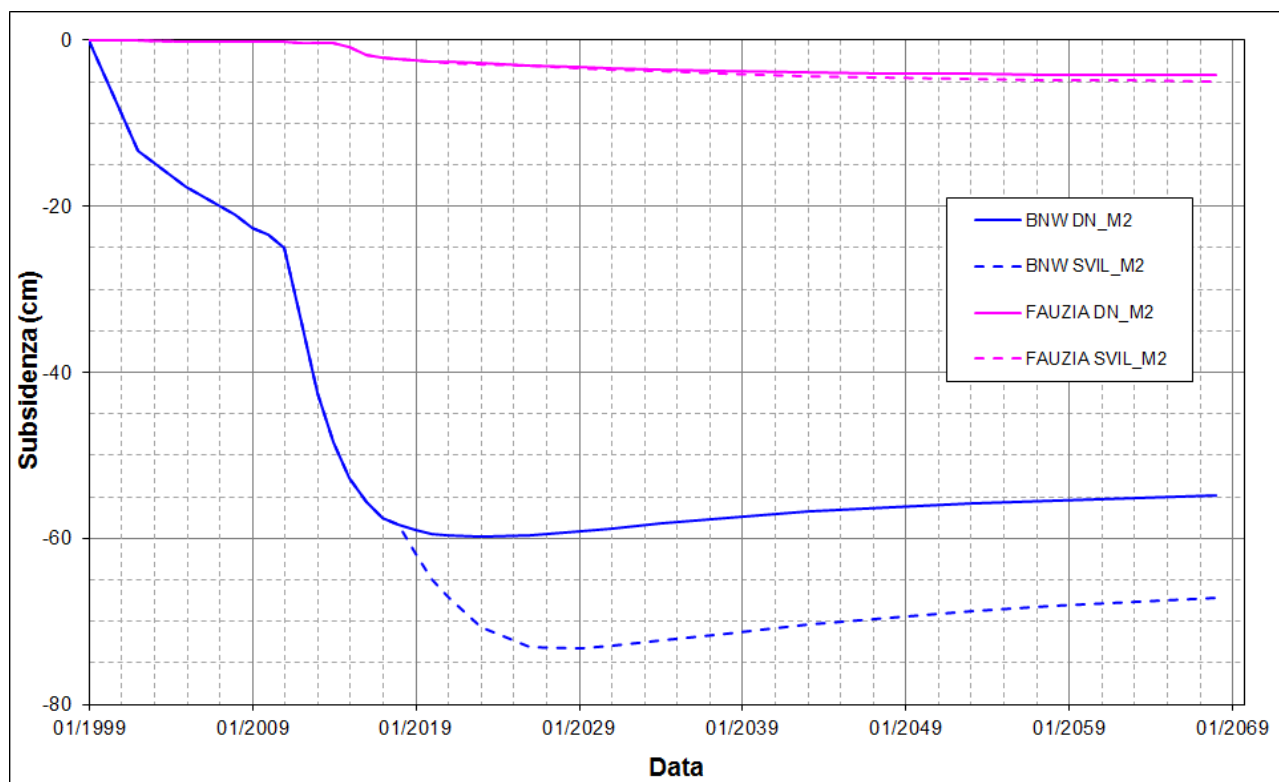


Figura 13 – Scenario di comprimibilità M2: evoluzione nel tempo del valore di subsidenza nel punto di massimo, in corrispondenza del campo di Barbara NW (linea blu, punto di coordinate 2412119 m E, 4884383 m N) e del campo di Fauzia (linea rossa, punto di coordinate 2404102 m E, 4878733 m N).

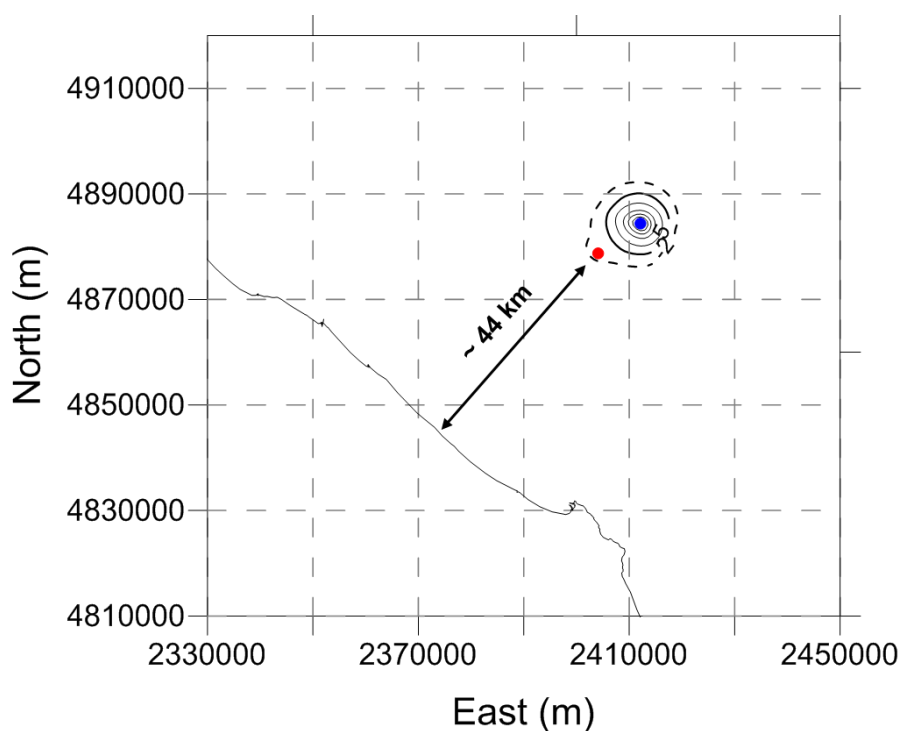


Figura 14 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario DN_M2 a fine produzione (2031).

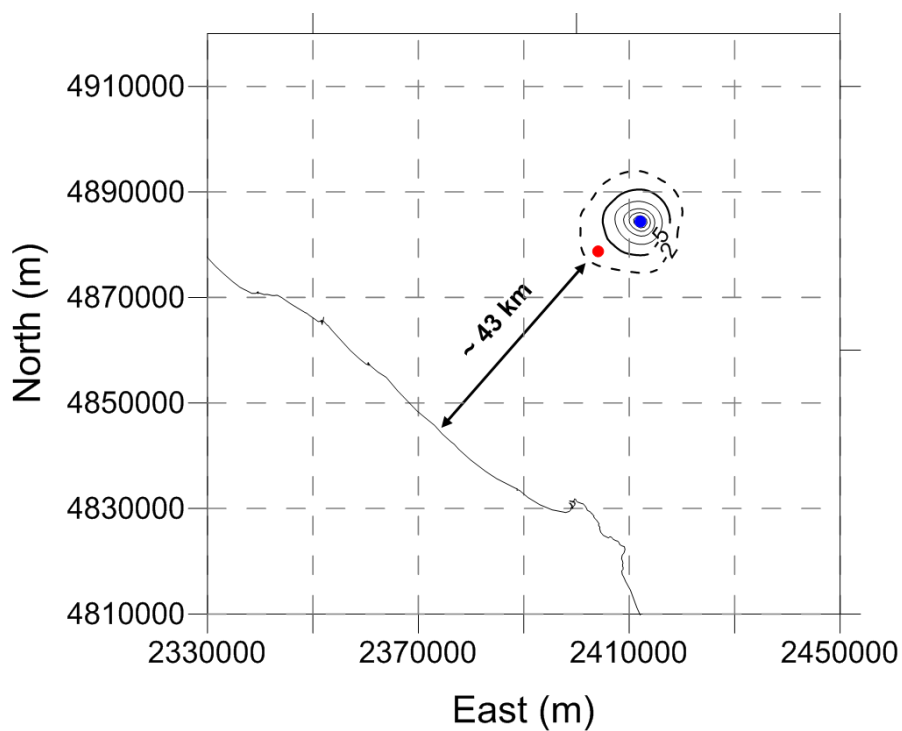


Figura 15 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario DN_M2 a fine simulazione (2068).

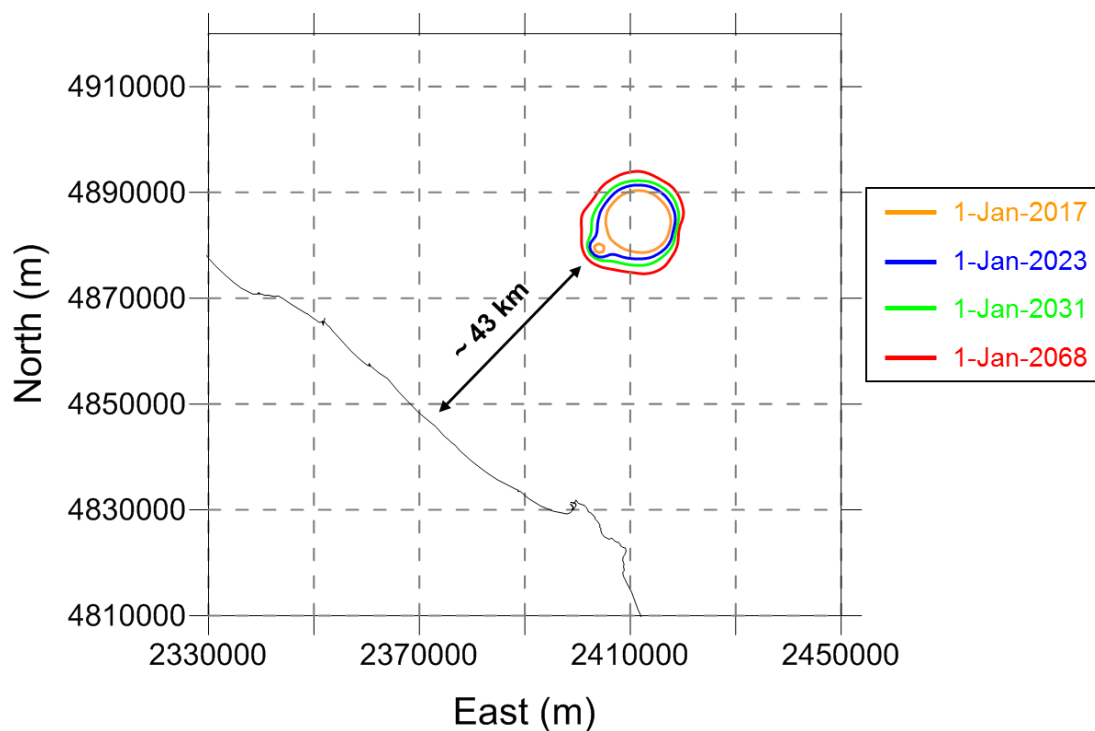


Figura 16 – Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario DN_M2.

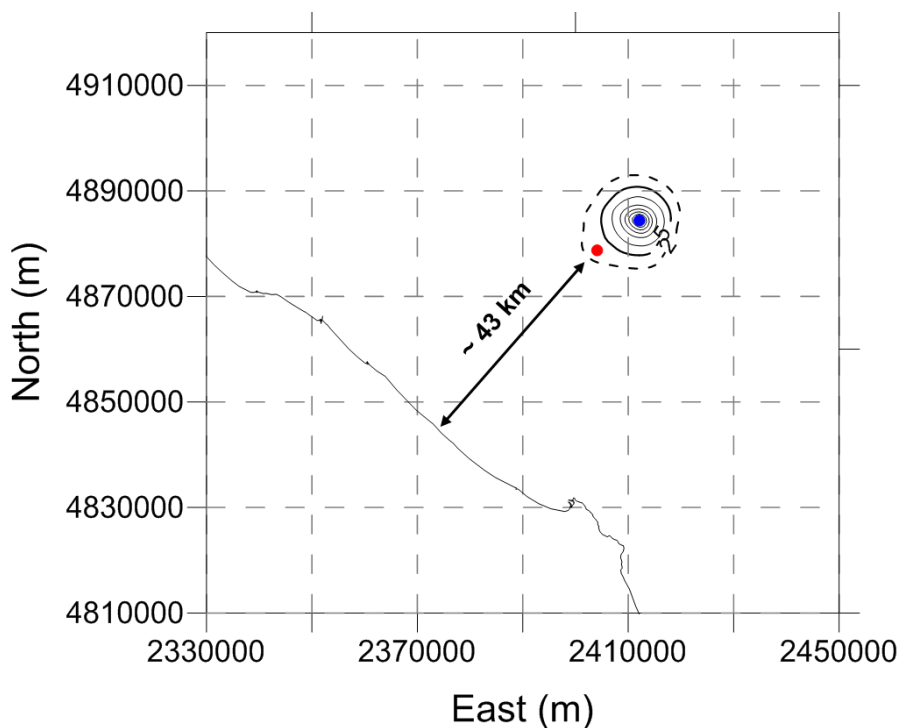


Figura 17 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario SVIL_M2 a fine produzione (2038).

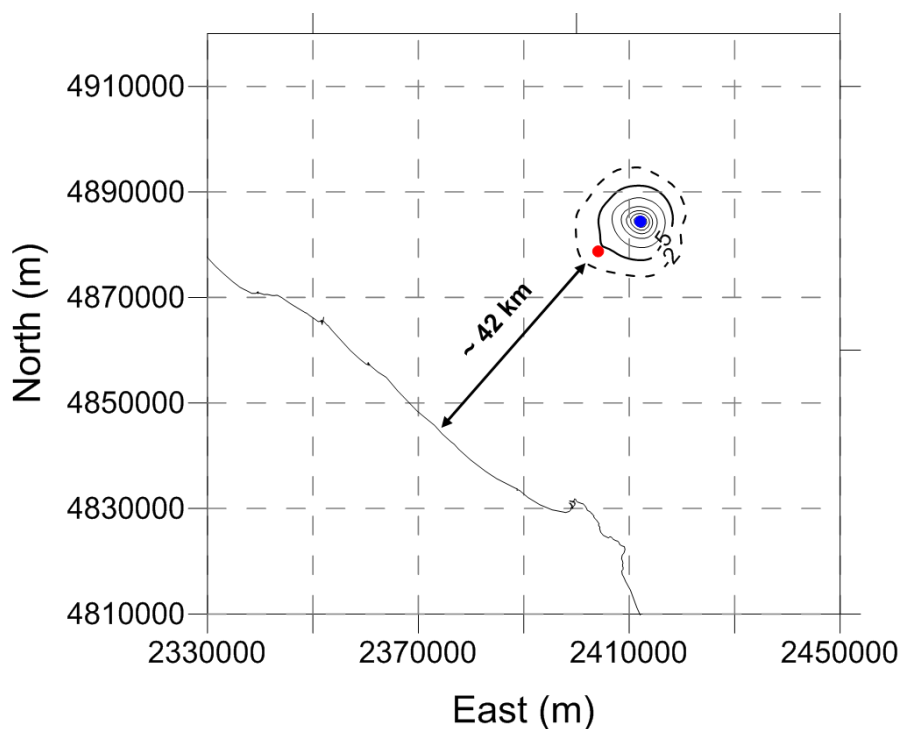


Figura 18 – Curve di iso-subsidenza per lo scenario SVIL_M2 a fine simulazione (2068).

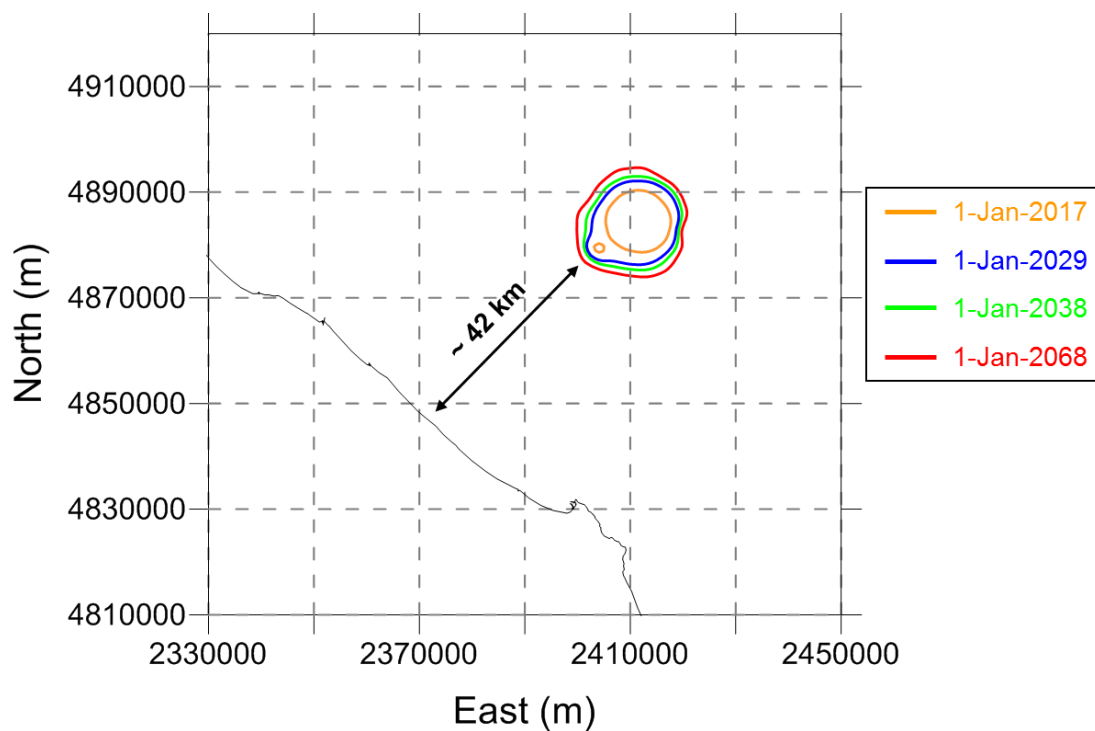


Figura 19 – Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL_M2.

5 Confronto con i dati delle stazioni CGPS

I valori di subsidenza calcolati dal modello numerico sono stati confrontati con quelli misurati dalle stazioni CGPS installate sulle piattaforme di produzione di Barbara NW e di Fauzia.

5.1 Stazione CGPS di Barbara NW

Dall'osservazione della serie storica delle variazioni altimetriche, misurate dalla stazione CGPS di Barbara NW, mostrata in Figura 2, è evidente che non è possibile analizzare il fenomeno mediando l'andamento dello spostamento verticale su tutto il periodo di osservazione, ma occorre determinare differenti valori di velocità distinguendo specifici intervalli temporali, individuati da eventi che si sono verificati nel periodo di misurazione. In particolare, un intervento di workover, che ha previsto l'appoggio dell'impianto sulla piattaforma, è stato effettuato dal 13 agosto 2010 al 6 luglio 2011. Sono stati analizzati, quindi, separatamente i dati dei periodi pre-workover (30/01/2008 – 14/08/2010) e post-workover (dal 06/07/2011 – 31/12/2016), come riportato in [10].

A partire dalla serie storica misurata dalla stazione CGPS di Barbara NW, è stato elaborato un modello, illustrato in [10], che fornisce un valore medio di velocità di subsidenza di 4.6 mm/anno per il periodo pre-workover e di 34.7 mm/anno per il periodo post-workover. Tali valori sono riportati in Tabella 6 insieme ai risultati, in termini di velocità di subsidenza, ottenuti negli stessi periodi con il modello geomeccanico per i due scenari di comprimibilità MNO2 e M2 (gli scenari di produzione DN e SVIL coincidono nell'intervallo temporale coperto dalle misurazioni CGPS).

Tabella 6 – Velocità di subsidenza da modello geomeccanico e da modello empirico basato sulle misure CGPS per Barbara NW.

Periodo Osservazione	Velocità di Subsidenza (mm/anno)		
	Scenario MNO2	Scenario M2	Modello empirico
Pre-workover: 30/01/2008 – 14/08/2010	7.3	11.9	4.6
Post-workover: 06/07/2011 – 31/12/2016	29.3	46.6	34.7

Il confronto tra i valori predetti dalle simulazioni geomeccaniche e la serie storica misurata con il CGPS è mostrato in Figura 20. Si può osservare come lo scenario MNO2 riproduca bene l'andamento delle misure, mentre lo scenario M2 fornisce risultati cautelativi in termini di subsidenza prevista.

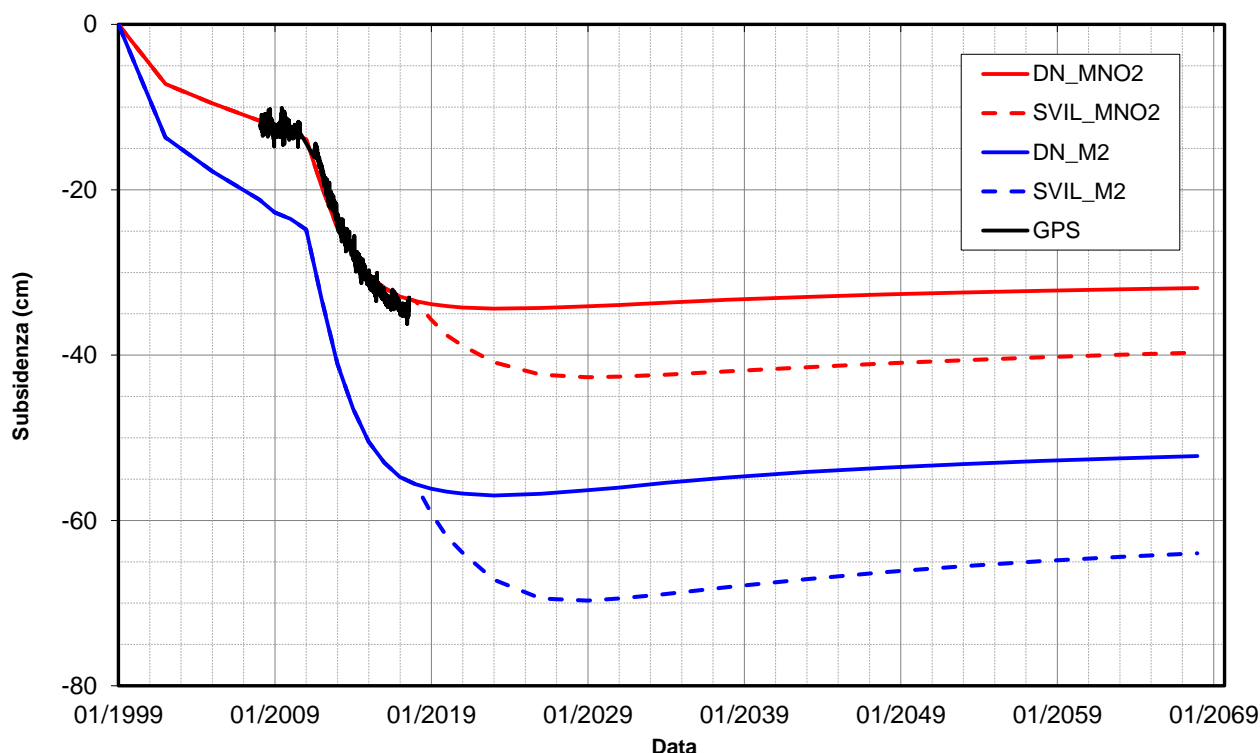


Figura 20 – Spostamento misurato e calcolato in corrispondenza della stazione CGPS di Barbara NW.

5.2 Stazione CGPS di Fauzia

A partire dalla serie storica misurata dalla stazione CGPS di Fauzia, mostrata in Figura 3, è stato elaborato un modello empirico, illustrato in [11], che fornisce un valore medio di velocità di subsidenza di 5.5 mm/anno. Tale valore è riportato in Tabella 7 insieme ai risultati, in termini di velocità di subsidenza, ottenuti nello stesso periodo con il modello geomeccanico per i due scenari di comprimibilità MNO2 e M2.

Tabella 7 – Velocità di subsidenza da modello geomeccanico e da modello empirico basato sulle misure CGPS per Fauzia.

Periodo Osservazione	Velocità di Subsidenza (mm/anno)		
	Scenario MNO2	Scenario M2	Modello empirico
26/09/2014– 31/12/2016	6.8	6.9	5.5

Si sottolinea che, come indicato dall'ente certificatore dei dati (Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Fisica), serie storiche di durata inferiore a 36 mesi non possono essere considerate sufficientemente attendibili al fine di una verifica del modello previsionale di subsidenza, ma possono, in alcuni casi come quello in esame, dare indicazioni sulla tendenza del fenomeno.

Nonostante le misure attualmente disponibili non siano ancora certificate e non possano quindi essere utilizzate se non a livello indicativo, il confronto tra i valori predetti dalle simulazioni e la serie storica misurata con il CGPS mostra come i risultati delle simulazioni siano in buon accordo con le misure CGPS (Figura 21).

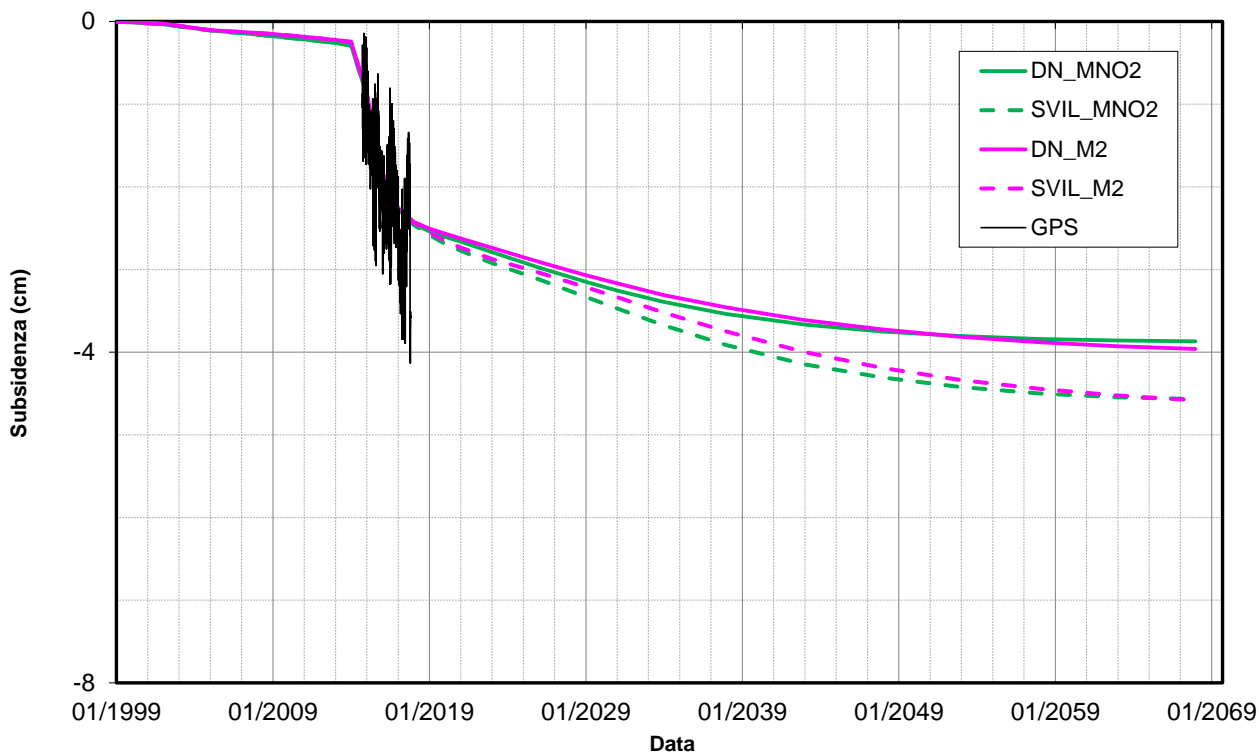


Figura 21 – Spostamento misurato e calcolato in corrispondenza della stazione CGPS di Fauzia.

Bibliografia

1. AbaqusTM, Simulia, versione 3DEXPERIENCE R2016x HotFix 4.
2. EclipseTM, Schlumberger, versione 2016.2.
3. Campo di Barbara NW e Fauzia – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary. Relazione Eni/TERA 04/2013. Aprile 2013.
4. Campo di Barbara NW - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico, Scheda riassuntiva. Relazione Eni/GISE 09/2017. Settembre 2017.
5. Campo di Fauzia – Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico. Scheda riassuntiva. Relazione Eni/GISE 08/2017. Agosto 2017.
6. D. Baù, M. Ferronato, G. Gambolati and P. Teatini: *Basin-scale compressibility of the northern Adriatic by the radioactive marker technique*. Géotechnique 52, No. 8, 605–616, 2002.
7. T. Hueckel, G. Cassiani, J.H. Prévost and D.A. Walters: *Field Derived Compressibility of Deep Sediments of the Northern Adriatic*. *Land Subsidence*, Special Volume, Proc. 7th Int. Symp. on Land Subsidence, Shanghai, 2005.
8. M. Ferronato, G. Gambolati, P. Teatini and D. Baù: *Interpretation of Radioactive Marker Measurements To Evaluate Compaction in the Northern Adriatic Gas Field*, SPE Evaluation & Engineering, December 2003.
9. F.J. Santarelli, M. Brignoli, A. Pellegrino: *La scelta del coefficiente di Poisson per formazioni a grande scala - 04/1996*.
10. FEED-PP- Analisi cinematica delle serie storiche degli spostamenti altimetrici aggiornata al 31.12.2016 di alcune stazione CGPS della rete Eni Div.E&P – Allegato E – Barbara NW – Rapporto e-GEOS spa, 6/4/2017.
11. FEED-PP- Analisi cinematica delle serie storiche degli spostamenti altimetrici aggiornata al 31.12.2016 di alcune stazione CGPS della rete Eni Div.E&P – Allegato S – Fauzia – Rapporto e-GEOS spa, 6/4/2017.