

Modellazione geologica 3D: nuovi strumenti di rappresentazione e analisi dei dati e delle strutture geologiche

*3D geological modelling:
new tools to represent and to analyse geological data and structures*

D'AMBROGI C. (*)

ABSTRACT – Since 2000, the Geological Survey of Italy (SGI) has enriched its activities of geological data collection and mapping promoting projects aimed at the use of 3D geological modelling to represent and analyse surface and subsurface data available in its databases.

The first achievement of these projects is the full integration, in a 3D environment, of digital primary geological observations from field survey addressing several of the existing limitations that are inherent in traditional bi-dimensional methods of map production and publishing.

Detailed geological 3D models have been built using surface and subsurface data organized in accordance with the CARG database to test its full applicability for the creation of three dimensional geologically coherent structures. The 3D models correspond to a whole geological sheet (600 km²) or part of it, ranging different geological domains, from the Apenninic fold and thrust belt to the alluvial plain of the Tevere River. Different final applicative purposes characterize each 3D model (ARANEO *et alii*, 2004; BORRACCINI *et alii*, 2004; D'AMBROGI & DOGLIONI, 2008; D'AMBROGI *et alii*, 2006; D'AMBROGI & RICCI, 2008; MARINO *et alii*, 2005).

In the last two years the SGI has increased his effort in 3D modeling and visualization combining different types of multi-scale georeferenced data, available for the entire Italian territory, into a single 3D environment, available also on the WEB (D'AMBROGI *et alii*, 2008).

PAROLE CHIAVE: dati geologici, geometrie del sottosuolo, modellazione tridimensionale.

KEY WORDS: Geological data, subsurface geometry, three-dimensional modelling.

1. – 2D VS. 3D

I dati geologici sono tipicamente qualificati dall'essere tridimensionali, multi-z e multi-scala (JONES *et alii*, 2009).

Queste tre caratteristiche essenziali, anche se non necessariamente coesistenti, costituiscono un punto di forza delle elaborazioni geologiche che dai dati traggono origine; esse dovrebbero essere infatti il risultato della completa integrazione delle diverse componenti spaziali che concorrono alla definizione delle strutture geologiche di un'area.

Al tempo stesso, tuttavia, tali caratteristiche risultano essere un punto di debolezza delle normali elaborazioni geologiche in quanto molti dei più diffusi strumenti di analisi e rappresentazione attualmente in uso riescono a gestire solo parzialmente la terza dimensione, tipica dei dati geologici, determinando di fatto una perdita di informazione.

La carta geologica rappresenta l'esempio più chiaro della coesistenza di queste due componenti: sintesi ideale e potente delle conoscenze geologiche di una determinata area ma, al contempo, strumento limitante alla diffusione dei dati utilizzati per la definizione di quelle conoscenze.

I dati geologici che concorrono alla costruzio-

(*) ISPRA - Servizio Geologico d'Italia/Servizio CARG, Geologia e Geomorfologia

ne di una carta geologica sono tipicamente dati di superficie, derivanti dal rilevamento geologico (limiti stratigrafici, elementi strutturali, giaciture, ecc.), e, generalmente in numero più limitato, dati di sottosuolo (stratigrafie di sondaggio, linee sismiche, prospezioni geofisiche, ecc.).

L'integrazione e l'interpretazione delle informazioni provenienti da questi dati, tridimensionali e multi-z, portano alla definizione di un modello tridimensionale di comprensione della realtà geologica. Tale modello viene forzatamente sintetizzato attraverso la rappresentazione cartografica, per sua natura bidimensionale; solo una parte dei dati raccolti ed elaborati trova uno spazio di rappresentazione esplicito nel campo carta o nelle sezioni a cornice di questa, determinando così una perdita di informazione.

La modellazione geologica tridimensionale rappresenta un mezzo efficace per superare questi limiti e fornisce uno strumento per una gestione integrata di dati multi-z e multi-scala garantendone un ottimale utilizzo. Tale strumento risulta ancora più efficace in un'epoca di crescente diffusione delle banche dati geologici.

2. - MODELLAZIONE 3D

La modellazione geologica 3D costituisce uno strumento di sintesi dei dati e delle conoscenze geologiche in grado di favorire la comprensione della realtà geologica, attraverso una migliore e più efficace rappresentazione delle strutture, nonché di garantire una più completa analisi dei fenomeni. Queste due caratteristiche rendono la modellazione tridimensionale una base di partenza fondamentale per molte delle elaborazioni e delle applicazioni che dai dati geologici traggono origine.

I modelli tridimensionali, ottenuti grazie a specifici *software*, sono il risultato della combinazione di quattro elementi:

- la disponibilità di dati, sia in termini di quantità che di qualità;
- l'interpretazione dei dati, frutto delle conoscenze dello specialista;
- la semplificazione, a partire da una realtà per sua natura complessa;
- i metodi di modellazione, scelti in funzione della tipologia di dati disponibili e dell'utilizzo previsto per il modello.

2.1. - DATI E FASI DI LAVORO

L'utilizzo degli strumenti di modellazione geologica tridimensionale è reso possibile grazie alla

crescente disponibilità di dati geologici informatizzati e organizzati in specifiche banche dati.

Il Servizio Geologico d'Italia, parallelamente alla realizzazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, attua la costruzione della Banca dati CARG alla scala 1:25.000. Tale banca dati contiene elementi indispensabili, soprattutto in termini di vincoli geometrici, per la costruzione di modelli geologici 3D.

Al fine di testare le potenzialità di utilizzo della Banca dati CARG (SGN, 1997) e di sperimentare nuove tecniche di rappresentazione e sfruttamento dei dati (CARTA *et alii*, 2008), è stata avviata dal Servizio Geologico d'Italia, a partire dal 2000, un'attività di ricerca nel campo della modellazione tridimensionale che ha portato alla realizzazione di modelli 3D caratterizzati da: i) disponibilità e utilizzo di diversi tipi di dati geologici, ii) diversa estensione areale e profondità raggiunta, iii) contesti geologici caratterizzati da differente grado di complessità, iv) diversi campi di applicazione (ARANEO *et alii*, 2004; BORRACCINI *et alii*, 2004; D'AMBROGI & DOGLIONI, 2008; D'AMBROGI *et alii*, 2006; D'AMBROGI & RICCI, 2008; MARINO *et alii*, 2005).

2.2. - ESEMPI

In tabella 1 vengono sinteticamente riportati gli elementi caratterizzanti, in termini di "estensione" spaziale e di tipologia di dati utilizzati, i modelli geologici 3D prodotti.

Bisogna sottolineare che, oltre alle applicazioni finali possibili per ciascun modello, l'utilizzo di software di modellazione geologica tridimensionale consente di effettuare, in fase di elaborazione, verifiche di congruenza spaziale e geometrica dei dati (es.: controllo sugli spessori, corrispondenza tra domini di giaciture e andamento dei limiti) nonché di ottimizzare l'utilizzo dei dati di sottosuolo grazie alla possibilità di visualizzare in un unico spazio tridimensionale stratigrafie di sondaggio, sezioni geologiche, isobate e interpretazioni già prodotte in altri ambienti (es.: GIS), o su supporti cartacei.

Tale modalità di lavoro consente di ottenere la massima integrazione tra dati e interpretazioni e la costante verifica, ed eventuale correzione, delle stesse (D'AMBROGI & RICCI, 2008).

Nell'ambito delle attività di sperimentazione sulla modellazione geologica 3D è stato anche avviato un progetto di ricostruzione di superfici geologiche significative a scala nazionale (base dei depositi pliocenici, Moho adriatica, Moho europea-tirrenica, base della litosfera) e di visualizzazione di dati disponibili alla stessa scala

Tab. 1 - Sintesi delle principali caratteristiche dei modelli 3D prodotti.
 - Summary of the main characteristics of the 3D models.

Modelli 3D	Ambiente e/o Dominio geologico	Area (km ²)	Prof. (m)	Dati in input		Finalità e/o utilizzo
				superficie	sottosuolo	
Fossombrone	Appennino settentrionale	600	3500	Dati di terreno (1:10.000)	Sezioni geologiche Sondaggi Profili sismici	Rappresentazione 3D intero Foglio 1:50.000
Firenze	Piana alluvionale	25	100		Sezioni geologiche Sondaggi Isobate del bedrock	Analisi volumi e geometrie
Polino	Appennino centrale	18	400	Dati di terreno (1:10.000)		Evoluzione paleogeografica
Cimini	Area vulcanica	250	3000	Dati di terreno (1:10.000)	Sondaggi L. 464/84 Isobate del bedrock	Analisi complessi idrogeologici
Fiumicino	Piana alluvionale	80	100	Dati di terreno (1:10.000)	Sondaggi	Rappresentazione 3D Foglio di sottosuolo
Vette Feltrine	Sudalpino	300	2500	Dati di terreno (1:10.000) Giaciture	Sezioni geologiche	Rerodeformazione e rappresentazione delle strutture

(Catalogo della Sismicità Italiana CSI 1981-2002, stratigrafie dei sondaggi profondi per la ricerca di idrocarburi, immagini delle linee sismiche del Progetto CROP) (fig. 1).

Dati e elaborazioni sono, parzialmente, disponibili sul Web:

http://serviziogeologico.apat.it/modelli3d/index/3d_web.htm

3. - CONCLUSIONI

L'attività di sperimentazione sulla modellazione geologica 3D ha evidenziato il ruolo di supporto che tale strumento può fornire sia in termini di migliore e più completo utilizzo dei dati, che di possibilità di analisi degli stessi. Gli strumenti di modellazione 3D consentono infatti di: i) otte-

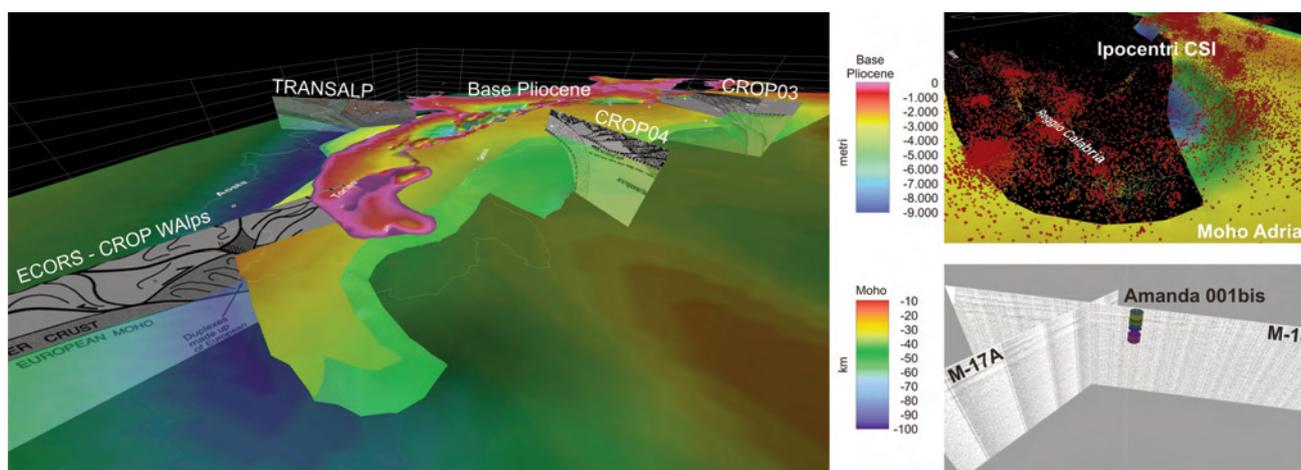


Fig. 1 - Superfici 3D a scala nazionale: a) in colore pieno, dal giallo al verde, superficie Moho adriatica, la superficie a triangoli corrisponde alla Moho europea-tirrenica. Sono visibili sezioni geologiche interpretate dal Progetto CROP; b) superfici rappresentative della Moho e distribuzione degli ipocentri dei terremoti da CSI; c) immagini di linee sismiche del Progetto CROP e stratigrafia di un sondaggio profondo.

- 3D surfaces available for the entire Italian territory: a) the opaque surface from yellow to blue is the Adriatic Moho, the wireframe surface corresponds to European-Tyrrhenian Moho. Three interpreted seismic profiles from CROP Project are partially visible; b) Moho surfaces (Adriatic and European-Tyrrhenian) with distribution of earthquake hypocentres from CSI; c) seismic lines from CROP Project with representation of chronostratigraphic data in Amanda 001 bis deep well.

nere la massima integrazione dei dati, anche attraverso l'osservazione diretta delle loro relazioni spaziali, ii) verificare le interpretazioni, iii) ricostruire corpi geologici e valutarne spessori e volumi, con evidenti e importanti ricadute applicative, iv) modificare velocemente e in modo interattivo le ricostruzioni esistenti a seguito dell'acquisizione di nuovi dati.

BIBLIOGRAFIA

- ARANEO F., COMERCI V., D'AMBROGI C., FANTOZZI L., PANTALONI M., SERVA L., TRAVERSA F. & VITTORI E. (2004) – *3D geological model of the Florence new underground railway station area*. 32nd Int. Geol. Congr., Abs. **1**, abs. 47-16, 234.
- BORRACINI F., DE DONATIS M., D'AMBROGI C. & PANTALONI M. (2004) - *Il Foglio 280 – Fossombrone 3D: un progetto pilota per la cartografia geologica nazionale alla scala 1:50.000 in tre dimensioni*. Boll. Soc. Geol. It., **122**: 319-331.
- CARTA R., D'AMBROGI C. & LETTIERI M. (2008) – *From the C.ARG Project (Geological Map of Italy – 1:50,000 scale) to 3D geological modeling: collection and dissemination of multi-scale geological data in Italy*. EAGE.
- D'AMBROGI C. & DOGLIONI C. (2008) – *Struttura delle Vette Feltrine*. Rendiconti online Soc. Geol. It.
- D'AMBROGI C., PANTALONI M., BORRACINI F. & DE DONATIS M. (2006) - *3D geological model of the sheet 280 Fossombrone (Northern Apennines) - Geological Map of Italy 1:50,000*. In: G. PASQUARÈ, C. VENTURINI & G. GROPELLI (Eds.), Atlas “*Mapping geological in Italy*”. APAT: 193-198, S.EL.CA., Firenze.
- D'AMBROGI C. & RICCI V. (2008) – *Il Foglio 386 Fiumicino (Carta Geologica d'Italia 1:50.000): un esempio di applicazione della modellazione 3D ai fogli di aree di pianura*. Rendiconti online Soc. Geol. It., **3** (1): 284-285.
- JONES R.R., MCCAFFREY K.J.W., CLEGG P., WILSON R.W., HOLLIMAN N.S., HOLDSWORTH R.E., IMBER J. & WAGGOTT S. (2009) - *Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models*. Computers & Geosciences, **35** (1): 4-18.
- MARINO M., PETTI F. M. & D'AMBROGI C. (2005) - *Jurassic evolution and 3D topographic setting of the Polino area (Terni, Central Apennines)*. 5° Forum FIST, September 19/22, Spoleto. Épitome, **1**: 81.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1997) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 – Banca dati geologici – Linee guida per l'informaticizzazione e l'allestimento per la stampa della banca dati*. Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, Serie III, **6**, IPZS, Roma.