

La rappresentazione geologica tridimensionale

Un nuovo strumento per la gestione dei dati territoriali

di M. Pantaloni, C. D'Ambrogi

Le diverse esperienze

Nell'ambito della modellizzazione 3D vengono di seguito illustrate alcune delle attività sino ad ora sviluppate dal Servizio Geologico d'Italia.

Modello geologico 3D di un settore dell'area urbana di Firenze

Grazie alle informazioni di natura geologico-tecnica raccolte da Italferr per la progettazione della stazione ferroviaria sotterranea della città di Firenze e l'integrazione con i dati utilizzati per la costruzione di una nuova linea tramviaria, si sono rese disponibili, in un'area centrale della città di Firenze, un gran numero di stratigrafie di sondaggi. La grande disponibilità di dati nel centro urbano ha reso la città di Firenze zona ideale per la definizione di una metodologia per la costruzione di modelli 3D in aree urbane.

Per poter procedere alla elaborazione

tridimensionale dei dati disponibili è stato necessario codificare, secondo uno schema che mantenesse un elevato livello descrittivo, i principali caratteri geolitologici (litologia, presenza di ghiaie, composizione dei clasti, matrice, colore, resti vegetali) dei corpi sedimentari così come descritti nelle stratigrafie dei sondaggi (figura 1).

Il software di modellizzazione geologica 3D impiegato consente di utilizzare più tipologie di dati (puntuali e lineari) con diversa distribuzione areale e di scegliere, di volta in volta, l'algoritmo di interpolazione migliore. Le superfici ricostruite impiegando differenti algoritmi vengono quindi confrontate al fine di valutare quale tra queste risulti più attendibile e congruente con la situazione geologica al contorno.

Come primo passo verso la costruzione del modello 3D sono state interpolate le principali superfici limite, caratterizzate da maggiore continuità

Il recente sviluppo di software per la modellizzazione geologica in 2 e 3 dimensioni costituisce per il geologo un valido ausilio nell'interpretazione e nella comprensione delle strutture profonde e delle dinamiche crostali (SLAT *et alii*, 1996; DE DONATIS, 2001).

Uno dei principali obiettivi del geologo è, infatti, quello di comprendere la geometria delle strutture in profondità e i rapporti spaziali tra le varie unità stratigrafiche e tettoniche in tre dimensioni.

Questo obiettivo viene generalmente perseguito tramite l'interpretazione di dati geologici e geofisici rappresentati in una e due dimensioni (log di sondaggi, colonne stratigrafiche, sezioni sismiche a riflessione, sezioni geologiche, carte strutturali) e l'applicazione di tecniche di analisi strutturale (cartografia delle linee di *cut-off*, delle *branch lines*, retrodeformazione e bilanciamento di sezioni geologiche).

L'utilizzo di modelli informatizzati, che consentono di rappresentare anche la terza dimensione, permette, rispetto alle metodologie di rappresentazione tradizionali, di integrare agevolmente dati di diversa natura (sezioni geologiche, linee sismiche, log di pozzi e geometrie dei corpi rocciosi) e di ottenere, come risultato, una rappresentazione più completa e coerente della realtà. I modelli geologici informatizzati sono quindi in grado di rispondere ad una crescente domanda di innovazione nella gestione dei dati territoriali ed ambientali.

Il Servizio Geologico d'Italia (APAT - Dipartimento difesa del suolo) da alcuni anni sta sperimentando l'applicazione di uno specifico software (3DMove, prodotto e commercializzato dalla Midland Valley Ltd.) nel campo della modellizzazione e della rappresentazione 3D di corpi geologici a differente grado di complessità.

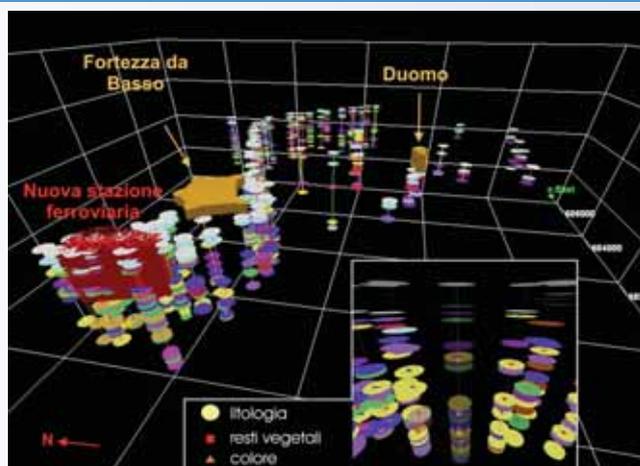


Figura 1 - Rappresentazione e della stratigrafia dei sondaggi: ciascun tipo litologico è rappresentato da cerchi di colore diverso in funzione della granulometria; la presenza di resti vegetali è indicata da quadrati rossi

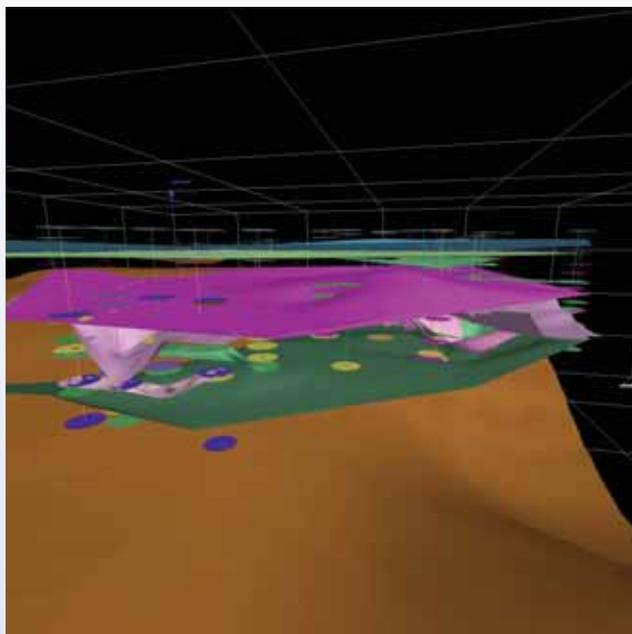


Figura 2 - Modello geologico 3D ottenuto costruendo superfici che interpolano i limiti litologici segnalati nei sondaggi; in blu è rappresentata la base dei depositi antropici, in verde quella dei limi e delle argille, in ocra quella delle sabbie, in viola quella di ghiaie e ciottoli, in marrone il tetto del substrato pre-pliocenico. Si riconoscono canali ghiaiosi entro i depositi limosi

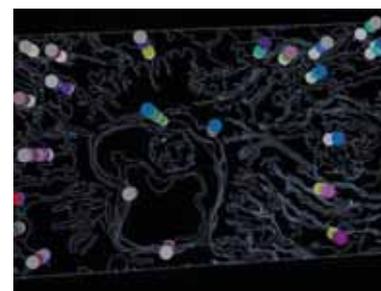


Figura 3 - Vista azimutale dell'area dei Monti Cimini nella quale sono riportate le isoipse principali e l'ubicazione dei sondaggi e la relativa stratigrafia

spaziale, quindi le superfici limite di corpi lenticolari e discontinui.

Partendo da questo insieme di superfici, e approfondendo il grado di dettaglio, è stato possibile creare geometrie 3D di corpi geologici anche molto limitati nello spazio, come le piccole lenti ghiaiose entro i depositi alluvionali limoso-argillosi (figura 2).

Tale metodologia, che permette la costruzione di modelli geologici il cui grado di dettaglio è funzione dei vincoli forniti dai dati di superficie e sottosuolo disponibili, se applicata ad aree interessate dalla realizzazione di opere in sotterraneo, consente di fornire precisi dati di input per modelli di calcolo tridimensionali, impiegati nell'analisi della variazione dello stato tenso-deformativo al contorno dello scavo. È inoltre possibile, quantificando il volume dei diversi materiali coinvolti, valutare il possibile impiego di tali materiali nella realizzazione dell'opera.

Modello 3D a fini idrogeologici: l'area dei monti Cimini

La zona d'indagine di questo lavoro, localizzata nel Lazio settentrionale, copre un areale di circa 370 km².

Il substrato sedimentario è presente in affioramenti isolati nella zona orientale e nella parte SW, limitrofa all'area di studio, mentre la maggior parte dei litotipi presenti è riferibile a depositi vulcanici legati all'attività vicana e cimina (1,35Ma - 90 ka).

L'obiettivo di questa sperimentazione è stato quello di ricostruire un modello geologico tridimensionale a fini idrogeologici, attraverso l'utilizzo di dati superficiali e di perforazione.

Il software utilizzato per la gestione, l'elaborazione e la visualizzazione dei dati nelle tre dimensioni, ha permesso, tramite un particolare espediente grafico, una semplificazione della comprensione del contesto geologico considerato. In tal senso *3DMove* può

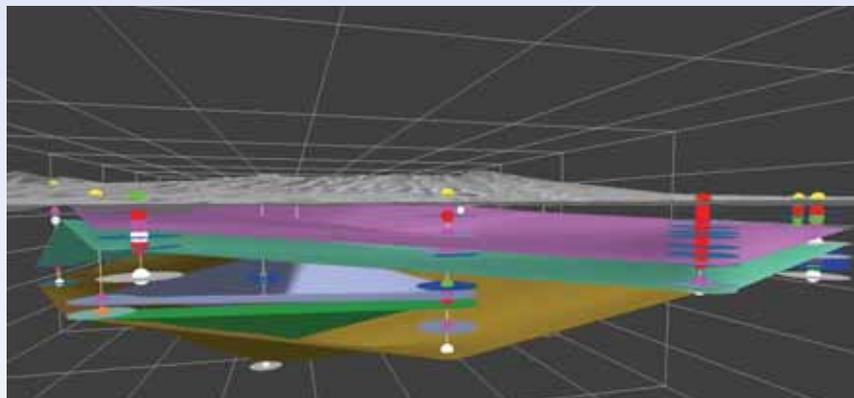


Figura 4 - Ricostruzione 3D delle superfici delimitanti i complessi idrogeologici. I cerchi in diverso colore indicano il differente grado di permeabilità; le sfere sono riferite all'attributo "complesso idrogeologico" in funzione del tipo di deposito incontrato nella stratigrafia dei sondaggi

esser utilizzato non solo come elemento di verifica a complemento delle ipotesi presentate, ma anche come strumento con una buona "comunicabilità", anche in ambiti diversi da quello strettamente geologico. La gestione dei dati a disposizione ha richiesto un intervento di standardizzazione, eseguito partendo dall'impostazione degli standard del *British Geological Survey*, secondo uno schema gerarchico del dettaglio descrittivo e svincolando la terminologia utilizzata dalle fenomenologie di messa in posto del deposito. Il confronto dei dati a disposizione (figura 3) ha permesso la costruzione di una serie di superfici (substrato sedimentario, superficie del livello statico, ecc.), e l'identificazione dei complessi idrogeologici delimitanti volumi di depositi con caratteristiche di permeabilità confrontabili.

La modellizzazione effettuata ha consentito di formulare alcune considerazioni sulle caratteristiche dell'area di studio, che possono costituire un punto di partenza per future elaborazioni. Raffrontando il livello statico, il limite a flusso nullo e il substrato, si nota un andamento simile delle superfici, tranne che in coincidenza dell'attuale lago di Vico, dove il substrato si approfondisce mentre il livello statico si rialza notevolmente; questa anomalia associata all'irregolarità di altri valori, suggerisce una situazione complessa, che non esclude la probabile presenza di più di una falda (falde sospese).

Inoltre l'individuazione di diversi complessi idrogeologici (figura 4), evidenzia in superficie una zona a più bassa permeabilità nel settore orientale rispetto a quello occidentale; questa osservazione potrebbe essere particolarmente indicativa qualora supportata da valori di infiltrazione efficace diversa tra le due zone.

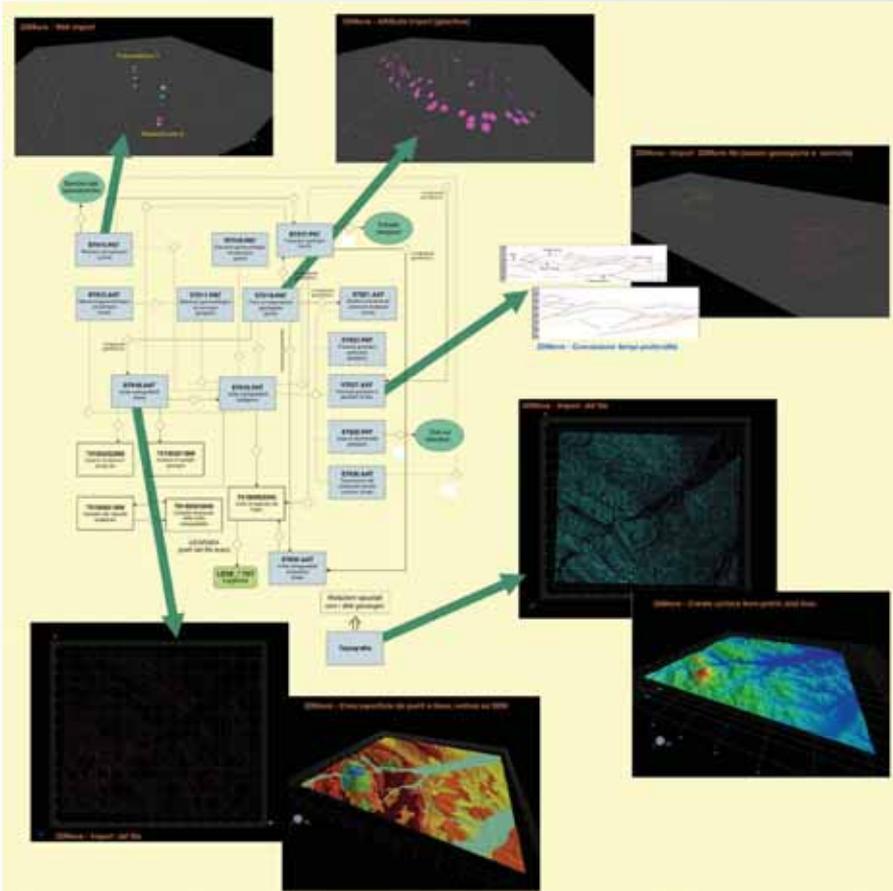


Figura 5 – Schema di collegamento tra gli elementi contenuti nella banca dati del progetto CARG e la loro rappresentazione nei diversi sistemi 2D e 3D. Tutti gli elementi rappresentati concorrono alla costruzione del modello geologico tridimensionale

Il progetto Fossombrone 3D

Una delle attività di modellizzazione più complete sviluppate presso il Servizio Geologico d'Italia è quella relativa alla modellizzazione in 3D dell'intero foglio geologico 280 Fossombrone della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000,

portato avanti con l'intento di sperimentare una procedura applicabile a vari contesti geologici (DE DONATIS *et alii*, 2002).

Scopo di tale lavoro è stato anche quello di sintetizzare in un modello geologico in 3D i dati geologici e geofisici contenuti nel database del

progetto CARG di cartografia geologica nazionale (AA.VV., 1997) (figura 5). La scelta dell'area di studio per questo progetto pilota è stata fatta tenendo conto sia della disponibilità e qualità dei dati di campagna e di sottosuolo, sia della buona conoscenza degli aspetti geologico-strutturali e stratigrafici dell'area sviluppata da parte degli autori.

Il modello è stato costruito in due distinte fasi:

- La prima ha previsto la realizzazione di un modello geologico di superficie in 2,5D per il quale sono stati utilizzati dati topografici (per la creazione del Modello Digitale del Terreno) e informazioni ottenute durante la campagna di rilevamento geologico. Questo tipo di rappresentazione della geologia di un'area mette in maggiore evidenza, rispetto alle tradizionali carte geologiche, le relazioni esistenti tra formazioni affioranti, forme del rilievo topografico e strutture principali.
- Nella seconda fase del lavoro è stato costruito un modello geologico profondo tramite l'integrazione di dati di sottosuolo, quali i numerosi profili sismici a riflessione e i log dei sondaggi profondi che l'ENI – Divisione Agip ha eseguito durante le campagne di esplorazione per ricerca di idrocarburi nell'area, con i dati del recente rilevamento geologico eseguito nell'ambito del Programma CARG.

La sintesi dei modelli profondo e di superficie ha permesso di avere una rappresentazione esaustiva di questo settore dell'Appennino settentrionale (figura 6) e di fare osservazioni ed

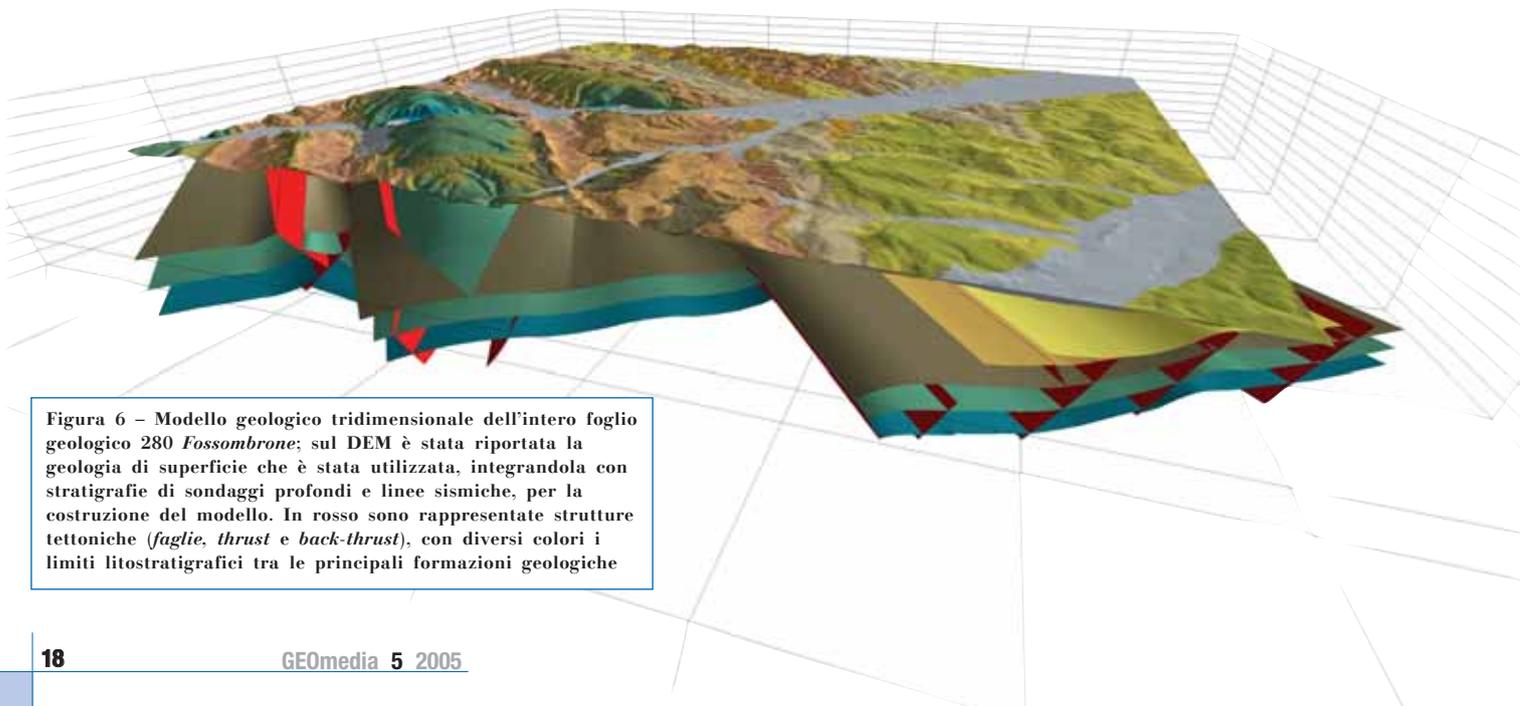


Figura 6 – Modello geologico tridimensionale dell'intero foglio geologico 280 Fossombrone; sul DEM è stata riportata la geologia di superficie che è stata utilizzata, integrandola con stratigrafie di sondaggi profondi e linee sismiche, per la costruzione del modello. In rosso sono rappresentate strutture tettoniche (faglie, thrust e back-thrust), con diversi colori i limiti litostratigrafici tra le principali formazioni geologiche

analisi di vari aspetti geologico-strutturali e geomorfologici quali la caratterizzazione di zone di faglia attraverso le linee di Allan, l'analisi della curvatura delle superfici piegate e l'analisi della cilindricità delle strutture (BORRACCINI *et alii*, 2004).

Conclusioni

Le sperimentazioni condotte in contesti geologici caratterizzati da un differente grado di complessità geologico-strutturale e da diversa disponibilità di dati, hanno consentito di riconoscere la potenzialità della modellizzazione 3D ai fini di una migliore e più ampia comprensione e diffusione dei dati geologici; inoltre i modelli geologici ottenuti mostrano come l'integrazione tra dati nelle 3 dimensioni costituisca il primo passo verso un vero approccio integrato (stratigrafico, strutturale ed applicativo) ai problemi di natura geologica, rendendo la modellizzazione 3D uno strumento, moderno ed efficace, per la gestione dei

dati territoriali ed ambientali.

L'utilizzo delle tecnologie informatiche di ricostruzione tridimensionale, migliorando il contenuto informativo della cartografia tradizionale, ne permette infatti una più facile e immediata fruizione da parte degli utenti chiamati alla pianificazione e gestione territoriale (es. Regioni, Autorità di Bacino, ecc.).

Guardando al futuro, la successiva necessità può essere rappresentata dalla creazione e dal rafforzamento di una rete di competenze scientifico-professionali diffuse sull'intero territorio, sia in ambito pubblico che di impresa.

Ringraziamenti

Si ringraziano, per il contributo fornito alle diverse fasi del progetto: Renato Ventura, esperto informatico del Servizio Geologico d'Italia; il prof. Mauro De Donatis ed il dott. Francesco Borraccini dell'Università di Urbino; la dott.ssa Laura Fantozzi.

Bibliografia

AA.VV. (1997) – *Carta geologica d'Italia 1:50.000 – Banca dati geologici – Linee guida per l'informatizzazione e l'allestimento per la stampa della banca dati*. Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, Serie III, n° 6.

BORRACCINI 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.

DE DONATIS M. (2001) - *Three-dimensional visualisation of the Neogene structures of an external sector of the northern Apennines, Italy*. AAPG Bulletin, **95/3**: 419-431.

DE DONATIS M., JONES S., PANTALONI M., BONORA M., BORRACCINI F. & D'AMBROGI C. (2002) - *A National Project on Three-Dimensional Geology of Italy: Sheet 280 - Fossombrone in 3D*. Episodes, **25/1**: 29-32.

SLATT R.M., THOMASSON M.R., ROMIG P.R., PATERNAK E.S., BOULANGER A., ANDERSON R.N. & NELSON H.R. (1996) – *Visualization technology for the Oil and Gas Industry: Today and Tomorrow*. AAPG Bulletin, **80/4**: 453-459.

Autori

DOTT. MARCO PANTALONI *marco.pantaloni@apat.it*
APAT Dipartimento difesa del suolo – Servizio Geologico d'Italia

DOTT.SSA CHIARA D'AMBROGI *chiara.dambrogi@apat.it*
APAT Dipartimento difesa del suolo – Servizio Geologico d'Italia

MobileMapper™ CE

GIS Estremo: MobileMapper CE Estremamente Mobile



BENEFITS

Sistema operativo WindowsCE.net

Precisione submetrica
in tempo reale

Bluetooth®
e memory card SD removibile

THALES

www.thalesnavigation.com

© 2004 Thales Navigation, Inc. All rights reserved. MobileMapper is a trademark of Thales Navigation. All other product and brand names are trademarks of their respective holders.



CODEVINTEC

20147 MILANO - Via Labus, 13 Tel. 02 4830 2175 Fax 02 4830 2169
e-mail: info@codevintec.it www.codevintec.it