

L'utilizzo di sistemi informatici per la gestione di dati geologici in aree urbane. Esempio di applicazione: Campus Universitario di Bari

Giuseppe Baldassarre, Nicola Palumbo

Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari. Email: gbaldassarre@geo.uniba.it; npalumbo@geo.uniba.it

Utilization of informative systems for the management of geologic data in city areas. Example of application: Bari University Campus

ABSTRACT: Today the means that concur to characterize and to estimate the evolutionary tendencies of the urban territory concern mostly on the utilization of informative supports that allow to manage, to analyze and to visualize in real time the geological and geological-technical characteristics of a portion of surface and related underground space through the critical elaboration of an important series of data. In this paper it is proposed the methodology adopted for the construction of a geological database of the University Campus of the city of Bari and its integration in a informative system finalized to underground geological modelling. A particular attention has been placed to problematic relative to the homogenization of data and to the procedures for their digital acquisition, in order to concur to the development of products whose use can be finalized to the location of suitable strategies of participation to the practical problem solving.

Key terms: urban areas geology, Bari, Apulia, informative system, underground geological modelling

Termini chiave: geologia aree urbane, Bari, Puglia, sistemi informatici, modellazione geologica del sottosuolo

Riassunto

I supporti informatici disponibili consentono di gestire, analizzare e visualizzare in tempo reale le caratteristiche geologiche e geologico-tecniche del sottosuolo attraverso l'elaborazione critica di una serie rilevante di dati. In questo lavoro viene descritta la metodologia adottata per la costruzione di una base di dati geologici e la integrazione di tali dati in un sistema informativo per la modellazione del sottosuolo. Particolare attenzione è stata posta alle problematiche relative alla omogeneizzazione dei dati e alle procedure seguite per la loro acquisizione digitale. L'obiettivo è stato quello di realizzare prodotti per la soluzione di problemi pratici.

1. Introduzione

La caratterizzazione geologica e geologico-technica dei terreni in area urbana (Baldassarre et al., 2001) è importante, non solo per la conoscenza e la definizione della natura e dell'assetto del sottosuolo, ma soprattutto per la corretta pianificazione degli interventi di costruzione, manutenzione e risanamento del patrimonio immobiliare. Ai fini di questi interventi, l'ambiente geologico urbano è di difficile rilevamento a causa delle opere realizzate, le quali, in più luoghi, lo hanno profondamente modificato anche nelle sue originarie stratificazioni. La scarsa disponibilità di dati rilevabili tramite la prospezione geologica di superficie ha determinato il crescente sviluppo di indagini geognostiche dirette. Gran parte delle stratigrafie sono

andate via via disperse per assenza di coordinamento tra i diversi Enti, per la variabilità delle fonti e dei formati delle informazioni, e anche per mancanza di supporti tecnologici idonei alla acquisizione, elaborazione e gestione di sempre più numerosi e articolati dati geognostici. La moderna tecnologia informatica permette di superare gli accennati limiti, fornendo un contributo decisivo alle azioni finalizzate alla più precisa definizione dell'assetto geologico delle aree urbane. Questa tecnologia è da riguardare sia sotto l'aspetto delle più elevate capacità degli elaboratori di acquisire e gestire dati, sia, relativamente alla potenzialità dei software, di integrare, elaborare e restituire in tempo reale, in forma numerica o grafica bi e tridimensionale, modelli geologici del sottosuolo.

In questo lavoro vengono sintetizzate le esperienze e le modalità operative adottate nella realizzazione di una base di dati geologici per il Campus Universitario della Città di Bari, finalizzata alla costruzione di un modello geologico tridimensionale (3D) del sottosuolo.

La scelta di questa area è in relazione alla disponibilità di un congruo numero (57) di stratigrafie di perforazioni di sondaggi, effettuate in periodi diversi tra il 1973 e il 2001, che è stato possibile integrare e validare dall'osservazione di affioramenti e scavi eseguiti di recente per lavori di ingegneria. La mancanza di testimonianze dirette dei carotaggi non ha permesso di approfondire, al momento, la caratterizzazione tecnica dei litotipi.

2. Caratteristiche geologiche

L'area di studio (circa 2,4 Km²), ubicata nella zona sud-orientale di Bari (Fig. 1), è caratterizzata dalla presenza di numerose costruzioni sede di Dipartimenti Universitari, intervallati da tratti di viabilità, parcheggi e giardini.

Dal punto di vista morfologico, l'area è compresa

nell'altopiano delle Murge, il quale digrada verso il Mare Adriatico attraverso ampi ripiani, debolmente ondulati e poco inclinati, allungati parallelamente alla linea di costa, e intervallati da solchi erosivi ("lame") a sezione svasata e con fondo piatto; il ripiano su cui si trova l'area di studio si sviluppa a quote comprese tra 10 e 20 m s.l.m.

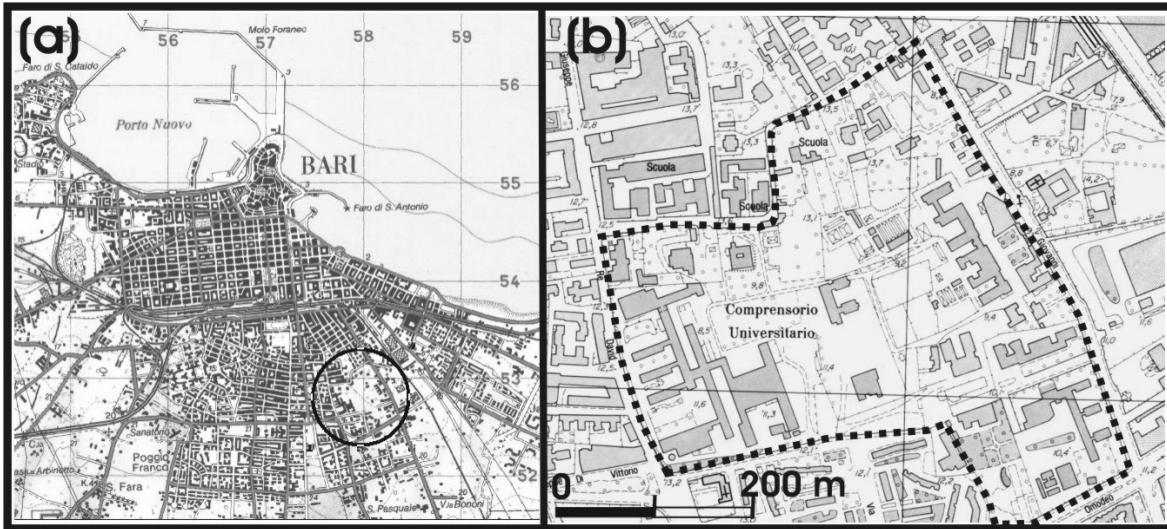


Figura 1. Ubicazione dell'area studiata su cartografia IGMI 1:25.000 (a) e su CTR 1:5.000 (b)
Location of the study area on IGMI cartography in scale 1:25.000 (a) and 1:5.000 (b)

Le rocce di base e cronologicamente più antiche sono quelle carbonatiche cretacee appartenenti alla formazione del "Calcarea di Bari" (Valduga, 1965). Questa formazione, dello spessore ben superiore a 1000 m, localmente è caratterizzata da calcari micritici di colore biancastro o beige, in strati regolari di spessore variabile dai 20 ai 60 centimetri, ai quali si intercalano più o meno frequentemente dolomie grigio scure, a luoghi rossastre e da calcari dolomitici grigi, in strati o in banchi, con diffuse e frequenti carature da dissoluzione carsica (Pieri, 1975). Le fenomenologie carsiche in queste rocce sono molto diffuse, sia in superficie che in profondità, e consistono in cavità, di dimensioni variabili, che si generano fra i giunti di stratificazione oppure in fratture preesistenti, spesso riempite da depositi di terra rossa o sabbia e/o argille. L'assetto giaciturale di queste rocce è grossomodo orizzontale, localmente articolato da sinclinali e anticlinali molto blande, i cui fianchi hanno inclinazione di pochi gradi (6°- 8°).

In trasgressione sulle rocce calcaree poggiano, a luoghi, depositi calcarenitici riferibili alla formazione della "Calcarenite di Gravina" (Azzaroli e Valduga, 1965); sono costituiti da biocalcareni e biocalciruditi con intercalazioni calcilutitiche, con aspetto massiccio o irregolarmente e indistintamente stratificato, con giacitura sub-orizzontale. La formazione, i cui termini sono attribuiti al Pleistocene inferiore, si rinviene in lembi residui discontinui e poco spessi; mostra eterogeneità litologica, soprattutto nei termini

di base, a causa delle irregolarità morfologiche dell'originario substrato deposizionale. Queste irregolarità, interpretabili alla luce della corrispondenza esistente fra assetto paleomorfologico e strutture tettoniche, ha comportato a luoghi la deposizione di alcuni metri di limi-argillosi palustri o lagunari, alla base del ciclo di sedimentazione calcarenitico (Iannone e Pieri, 1979).

Modesti spessori di depositi alluvionali caratterizzano il fondo delle depressioni degli accennati solchi erosivi. Questi depositi sono ciottolosi e/o terrosi, ad elementi esclusivamente di natura calcarea, a spigoli vivi o arrotondati, a luoghi fortemente legati da argille rosse di origine residuale; sono presenti sporadiche intercalazioni di silts argillosi e sabbie limose debolmente argillose (Baldassarre e Francescangeli, 1987).

3. Banca dati geologici

Le attività finalizzate allo studio e successiva modellazione delle caratteristiche geologiche dell'area del Campus sono state precedute dalla ricerca, raccolta e organizzazione dei dati disponibili.

La prima fase ha riguardato la rasterizzazione e georeferenziazione nel sistema di riferimento cartografico "Gauss-Boaga" delle seguenti basi cartografiche: carta topografica IGMI in scala 1:25.000, Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000, planimetria quotata del Campus Universitario in scala 1:1000, ortofoto AIMA in scala

nominale 1:10000 del 1997 e quelle a colori del volo IT-2000.

La seconda fase ha riguardato il reperimento e l'analisi di informazioni geologiche relative all'area: lavori scientifici di carattere geologico e geologico-applicativo, pubblicati ed inediti, e lavori professionali, di carattere geognostico, redatti per progetti di costruzione di edifici all'interno o in aree contermini al Campus Universitario. Nel complesso, sono state reperite ed analizzate 57 stratigrafie di perforazioni di sondaggi a carotaggio

continuo, fino a profondità comprese tra 10 e 30 m dal piano campagna, oltre che numerosi dati di stratigrafie di scavi.

La terza fase è consistita nella ricognizione diretta degli affioramenti su fronti di scavi presenti nell'area, con la ricostruzione di ulteriori stratigrafie e il prelievo di campioni. I dati così raccolti sono stati ordinati e catalogati, quindi integrati all'interno delle basi cartografiche di riferimento dell'area di studio (Fig. 2).

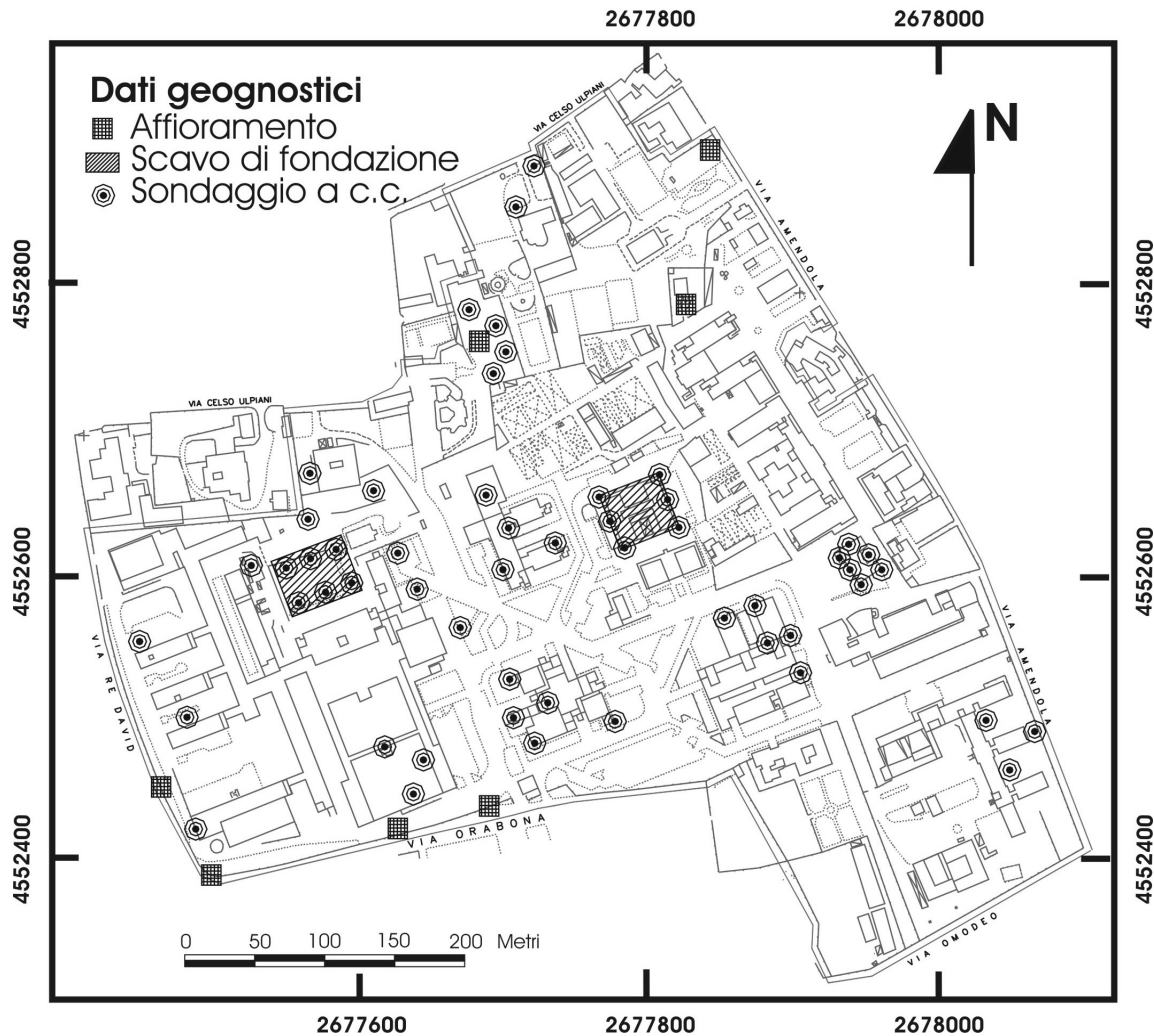


Figura 2. Ubicazione e tipologia dei dati geognostici relativi all'area di studio
Location and typology of geognostic data available for the study area

4. Strutturazione del database e organizzazione dei dati

L'implementazione dei dati geognostici raccolti ha richiesto, prima dell'inserimento degli stessi nel sistema informatico, una fase di organizzazione ed adeguamento degli stessi a standard di riferimento, compatibili con i formati di input del sistema informatico utilizzato. Tale operazione si è resa necessaria alla luce della verificata

disomogeneità dei dati, del formato dei report, delle classi litologiche e stratigrafiche individuate, delle caratteristiche dei riferimenti topografici degli stessi.

Pertanto, è stato costruito un preliminare modello geologico schematico del sottosuolo e un numero finito di classi litologiche e stratigrafiche, alle quali "standardizzare" tutti i dati litologici e stratigrafici desumibili dai report cartacei. Il numero delle classi è stato individuato in modo tale da non trascurare i dettagli di informazione comunque

disponibili nei documenti originali; alla luce di ciò, si è proceduto ad una revisione e formattazione di tutti i log originali ed al conseguente adeguamento degli stessi al modello geologico dell'area individuato.

Complementare alle operazioni di standardizzazione dei dati geognostici è stata la individuazione e la netta distinzione, nell'ambito dei report originali, della cosiddetta "litologia osservata" dalla "stratigrafia interpretata". La "litologia osservata" comprende le informazioni sulle caratteristiche e spessori dei litotipi del sottosuolo indagato, così come deducibili dall'osservazione delle testimonianze di carotaggio; le unità litologiche corrispondono in pratica ai nomi comuni dei tipi rocciosi (calcari, calcareniti, argille, ecc.), che possono ripetersi anche più volte nell'ambito dell'intervallo stratigrafico indagato (ad es. sabbia, argilla, sabbia, argilla), ma per i quali non è sempre possibile stabilire correlazioni univoche. Di contro la "stratigrafia interpretata" comprende la successione delle "formazioni geologiche" attraversate dai sondaggi, che possono essere costituite anche da più tipi di litologie (ad es. la formazione del "Calcere di Bari" è costituita da calcari, calcari dolomitici, dolomie, ecc.). Le unità stratigrafiche individuate sono caratterizzate da un nome formazionale e da un preciso ed univoco ordine di sovrapposizione, costante per l'intera area di indagine, senza possibilità di inversioni o ripetizioni; tale condizione permette la esecuzione di correlazioni tra le diverse unità individuate in differenti sondaggi.

Una ultima operazione, resasi necessaria alla preparazione dei dati geognostici per l'inputazione nel software, è stata quella di garantire comunque la costanza di presenza e sovrapposizione, nei report di input, di tutte le unità stratigrafiche individuate, eliminando le situazioni di lacune ("missing formation"), ad esempio dovuti ad assottigliamenti di unità formazionali nell'ambito della sequenza stratigrafica generale dell'area. In questo caso è stato utilizzato il cosiddetto metodo "zero thickness formation" ("formazione a spessore nullo"), introducendo nel report stratigrafico del sondaggio il nome dell'unità mancante e conferendo al tetto e al letto dell'unità la medesima quota, ossia quella del tetto della formazione sottostante.

In definitiva, sono state individuate dieci unità litologiche: materiale di riporto, depositi alluvionali, calcarenite, depositi limosi, terra rossa, calcare molto carsificato con abbondante terra rossa, calcare da poco a mediamente carsificato con scarsa terra rossa, calcare compatto o solo debolmente carsificato, calcare dolomitico, cavità carsica.

Le unità stratigrafiche individuate sono cinque: materiale di riporto, depositi alluvionali, Calcarenite di Gravina, terra rossa, Calcere di Bari.

I dati lito-stratigrafici ottenuti dalla riorganizzazione ed interpretazione dei dati geognostici sono stati implementati nel software RockWorks 2002 (Rockware TM), costituito da due moduli fondamentali di input ed elaborazione dati: il

"Borehole Data Manager" e il "Geological Utilities" (Rockware Inch., 2001). Il modulo "Borehole Data Manager" è un modulo specifico di gestione dei dati di sondaggi geognostici, in cui le caratteristiche delle basi di dati sono distinte da specifici record e campi. Il modulo "Geological Utilities" costituisce un modulo versatile di elaborazione dei dati geologici di varia natura, spaziali e non, non necessariamente di tipo geognostico, in grado di correlare ed elaborare con numerose e specifiche funzioni i diversi insiemi di informazioni; entrambi i moduli si basano sul concetto di "database relazionale". Formattati i dati geognostici in modo univoco ed omogeneo, si è proceduto alla imputazione degli stessi nel modulo Borehole Data Manager del software, utilizzando un campo del foglio di lavoro, denominato "Lithology keywords", con funzione di collegamento tra il campo dati della litologia osservata e le caratteristiche della stessa precedentemente definite ed imputate (nome litologico completo, densità del materiale, eventuali ulteriore grandezza fisica relativa al litotipo). Le stesse procedure sono state applicate alla definizione degli intervalli stratigrafici, attraverso la funzione "Stratigraphy keyword". Per ottenere automaticamente modelli bidimensionali e tridimensionali delle unità litologiche e stratigrafiche dell'area indagata è stato utilizzato uno specifico algoritmo ("gridding") che ha consentito di attribuire ai dati di input una griglia di nodi regolarmente spaziata. A questi è stato assegnato un valore finito della grandezza Z (quota), così come interpolato a partire da quelli realmente misurati ed inseriti nel foglio di lavoro. Il risultante modello "grid" è risultato strutturato secondo una lista di valori di coordinate spaziali X e Y regolarmente distribuiti nello spazio bidimensionale e dei relativi valori estrapolati di Z, corrispondenti a ciascuno dei nodi della griglia. La Fig. 3 illustra schematicamente la procedura di trasformazione di una superficie reale in un modello grid della stessa, dove il colore delle celle è proporzionale alla quota delle stesse.

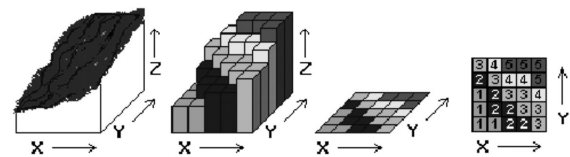


Figura 3. Procedura schematica di "gridding" di una superficie spaziale

Schematic methodology of "gridding" of a surface

Utilizzando lo stesso algoritmo sono state elaborate carte di "pendenza" e di "esposizione" delle superfici e, attraverso la derivata seconda del grid (ossia la derivazione dei valori della carta delle pendenze), le variazioni delle pendenze, che individuano eventuali strutture plicative delle superfici analizzate.

La modellizzazione tridimensionale del sottosuolo è stata assimilata ad un processo di "gridding"

tridimensionale, finalizzato alla discretizzazione dello spazio investigato in singoli elementi di volume regolarmente spazati e caratterizzati da vertici di coordinate note. In particolare, è stato delimitato e diviso il volume di indagine in una griglia di celle tridimensionali (“box” o “voxels”). Ogni voxel è definito dalle coordinate dei suoi spigoli (nodi), di cui sono note le coordinate x , y , e z nel sistema di riferimento prescelto e il valore di una quarta variabile, G , che rappresenta il valore qualitativo o quantitativo di una determinata grandezza fisica assegnata al voxel, sulla base dell’interpolazione dei valori della stessa grandezza noti per gli spigoli. Nel caso specifico le informazioni di partenza per l’elaborazione tridimensionale sono state le terne di coordinate x , y e z relative a ciascuna delle superfici di tetto e di letto di ogni unità litologica e stratigrafica e la grandezza “ G ” relativa al tipo di unità litologica e stratigrafica relativa. Un modello solido è schematizzato (Fig. 4) come una pila di cubi, disposti nelle tre dimensioni dello spazio, e differenziati, in funzione del valore della grandezza “ G ”, ad ognuno di essi associata.

Per realizzare questa interpolazione è stato utilizzato l’algoritmo denominato “lithoblend”, che ha consentito di simulare transizioni litologiche in orizzontale (quali eteropie di facies, corpi litologici a struttura lenticolare, vuoti carsici) non altrimenti ricostruibili in schematizzazioni regolari di una successione rocciosa.

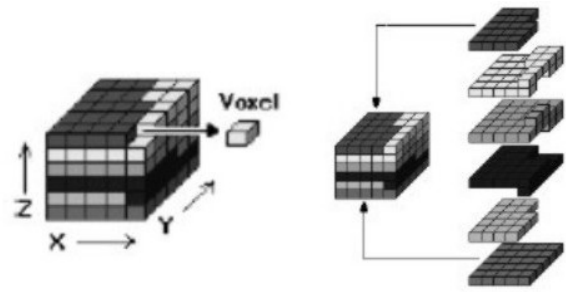


Figura 4. Modello schematico 3D di un volume geologico di sottosuolo

Schematic 3D model of a underground geological volume

Il software, caratterizzato da una elevata versatilità, ha consentito l’estrazione di profili, fence, diagrammi a blocchi, visualizzati in 2D e 3D, relativi a tutto il volume di terreno investigato oppure solo a porzioni di esso, nonché, noti il valore della densità di ogni corpo litologico, le masse e i volumi suddivisi per unità, spessore o per intervalli predefiniti.

Le Figg. 5, 6, 7, 8 e 9, nelle quali per motivi grafici la scala verticale è maggiore di quella orizzontale, rappresentano alcuni risultati delle elaborazioni compiute.

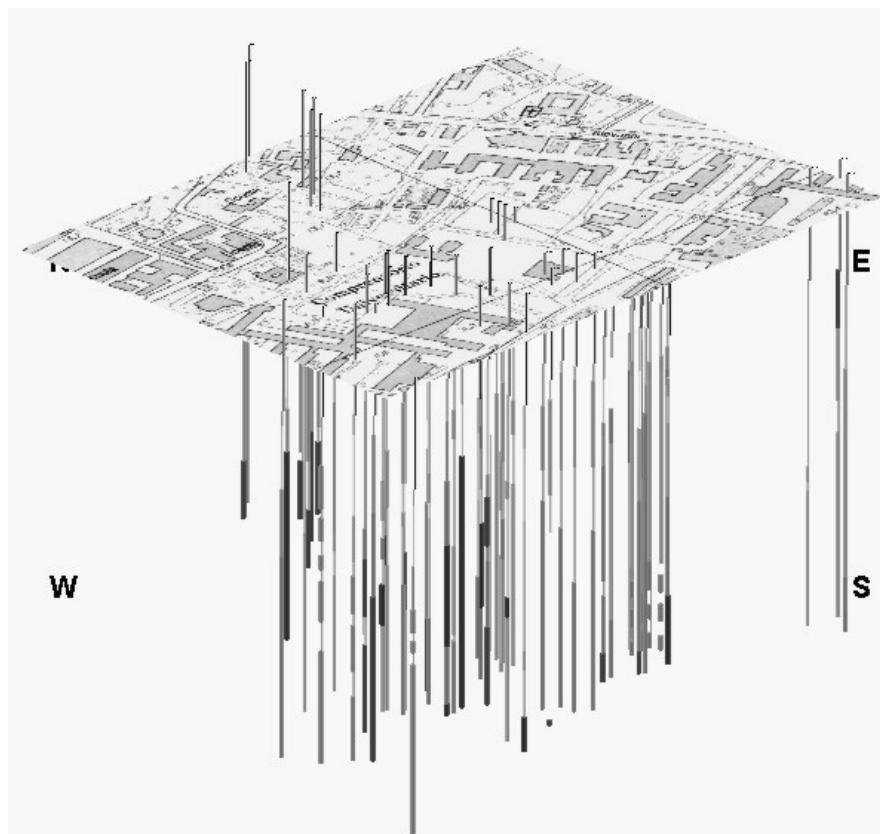


Figure 5. Modello tridimensionale relativo all’ubicazione e profondità dei dati geognostici utilizzati
3D location and deepness model of the borehole data employed

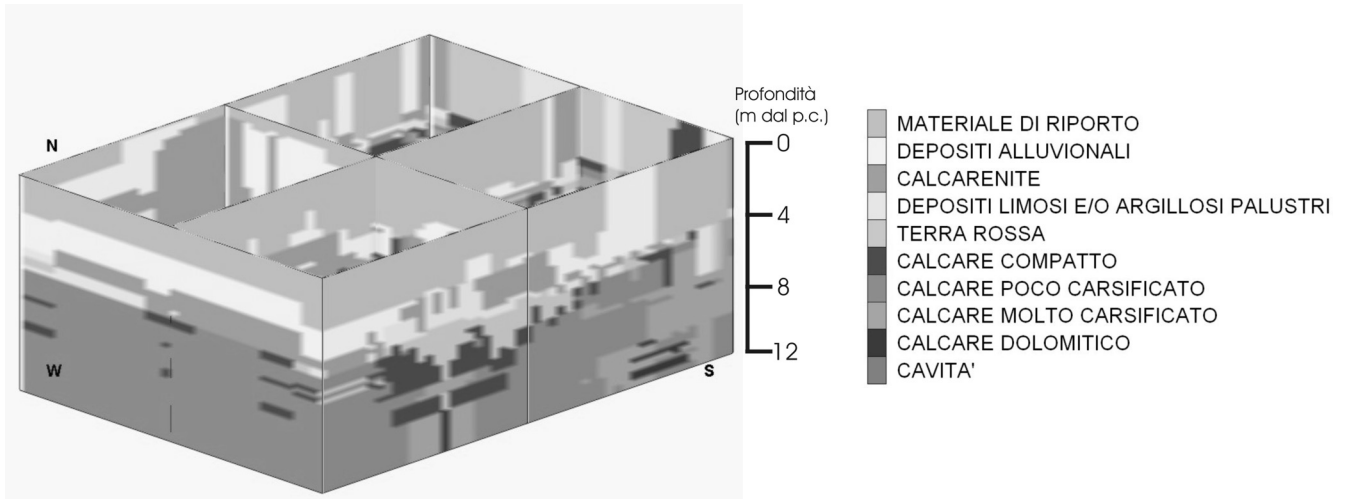


Figura 6. Modello tridimensionale relativo alla distribuzione delle unità litologiche
3D model of vertical and horizontal distribution of lithological unit

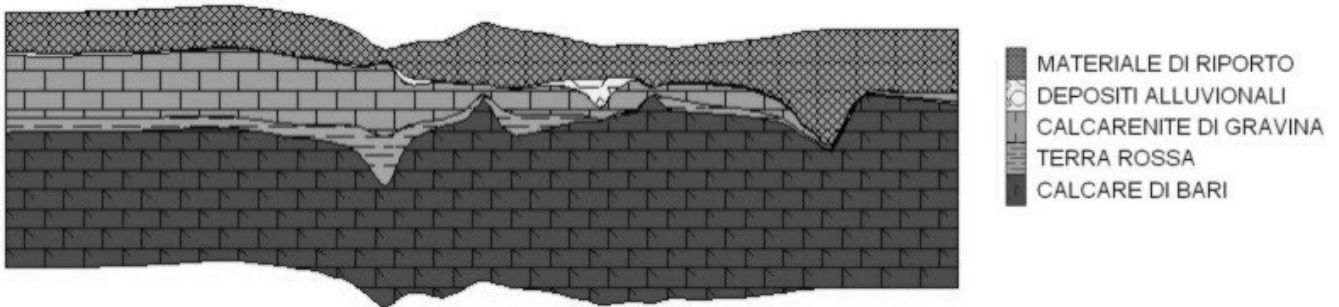


Figura 7. Sezione bidimensionale rappresentativa della successione delle unità stratigrafiche
2D cross-section of stratigraphic units succession and thickness

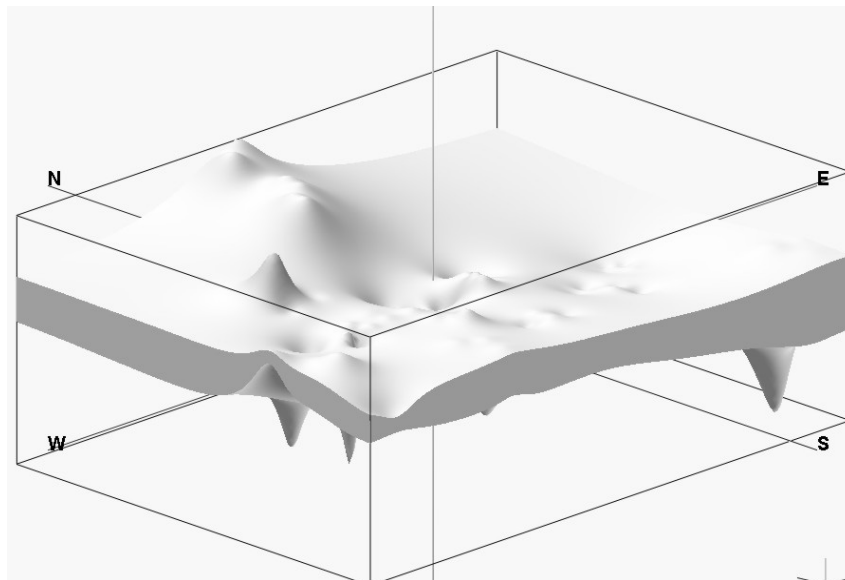


Figura 8. Modello tridimensionale relativo allo spessore dell'unità dei depositi antropici di copertura
3D model of thickness of the anthropic cover deposits unit

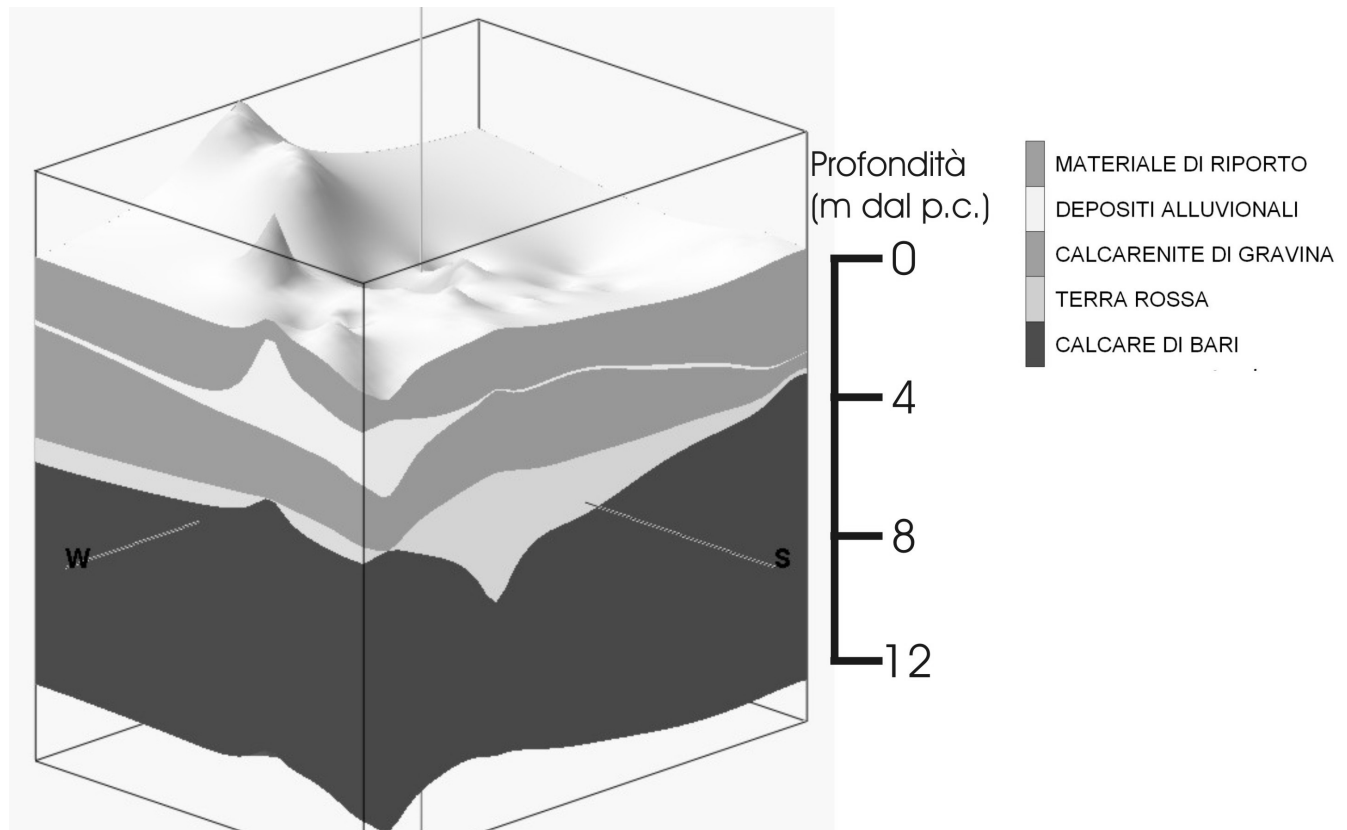


Figura 9. Modello tridimensionale relativo alla successione delle unità stratigrafiche
3D model of stratigraphic units succession and thickness

5. Conclusioni

Per assicurare un adeguato livello di efficienza e funzionalità del patrimonio edilizio occorre assicurare periodici interventi con controlli a tempi predeterminati; ciò comporta, fra l'altro, una rivisitazione dei risultati delle indagini geognostiche eseguite per la loro realizzazione e del processo di analisi della progettazione delle costruzioni.

In relazione a ciò un sistema informativo di gestione, analisi e visualizzazione dei dati collegato ad una banca dati geologica e geologico-tecnica rappresenta un mezzo efficace di rappresentazione delle caratteristiche del sottosuolo dell'ambiente urbano, purché esso sia organizzato e gestito in modo corretto; questa procedura comporta la sovrapposizione di più livelli informativi, procedimento indispensabile per la creazione di carte tematiche e modelli tridimensionali del sottosuolo, strumenti che costituiscono il valore aggiunto in una corretta pianificazione ed esecuzione degli interventi in ambito urbano.

Bibliografia

Azzaroli, A., Valduga, A., 1967. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000, Foglio 177 e 178 "Bari e Mola di Bari". Serv. Geol. It, 26.

Baldassarre, G., Cherubini, C., Giasi, C.I., 2001. Geological and geotechnical properties of carbonatic rocks outcropping in Bari Town. Proceed. "Engineering geological problems of

urban areas". T1-2-8, Ekaterimburg.

Baldassarre, G., Francescangeli, R., 1987. Osservazioni e considerazioni sulla inondazione del 6 novembre 1926 in Bari e su un relativo

Nell'ottica delle finalità ora esposte, il presente lavoro ha voluto sintetizzare le esperienze e le modalità operative adottate nel corso della costruzione di una base di dati geologica e geologico-tecnica inerente il Campus Universitario della Città di Bari, finalizzato alla costruzione di un modello geologico tridimensionale (3D) del "volume significativo" del sottosuolo.

La elevata capacità di modellazione dei dati spaziali del software utilizzato (RockWorks, 2002), accompagnata da un'altrettanto elevata capacità di rappresentazione grafica degli stessi, ha consentito un elevato numero di rappresentazioni planimetriche e volumetriche delle superfici e del sottosuolo dell'area studiata, alcune delle quali evidenziate nel lavoro. L'auspicabile integrazione del sistema informativo con ulteriori dati (ad es. geotecnici, idrogeologici, strutturali), potrà permettere una sempre più precisa e attendibile caratterizzazione e modellazione del sottosuolo ai fini edificatori.

- deposito. Mem. Soc. Geol. It, 37, 7-16.
- Iannone, A., Pieri, P., 1979. Considerazioni critiche sui "Tufi calcarei" delle Murge. Nuovi dati litostratigrafici e paleoambientali Geog. Fis. Dinam. Quat., 2 (2), 173-186.
- Pieri, P., 1975. Geologia della Città di Bari. Mem. Soc. Geol. It, 14, 379-407.
- Rockware Inch., 2001. RockWorks v. 2002, manuale d'uso. Golden, CO, U.S.A.
- Valduga, A., 1965. Contributo alla conoscenza delle Murge baresi. Studi Geol. Morf. Reg. Puglia, 1, 1-15.