

2. - LA MODELLAZIONE CONCETTUALE: STRUMENTO DI ORGANIZZAZIONE DELLA CONOSCENZA GEOLOGICA

Flavio BONFATTI, Paola D. MONARI

La modellazione concettuale (o *intensionale*) è la fase iniziale del procedimento che porta alla realizzazione di un sistema informativo. A partire dalle specifiche, spesso ambigue e incomplete, che descrivono il contesto e gli obiettivi del sistema, la modellazione concettuale fornisce una rappresentazione coerente e possibilmente formalizzata del dominio applicativo. Nel settore geografico, le specifiche iniziali comprendono l'indicazione generica delle esigenze informative da soddisfare, delle diverse figure di utente, dei tematismi da rilevare, del territorio di interesse, dei vincoli (di competenza, di risoluzione, temporali, economici, eccetera) ai quali il progetto deve sottostare. Il risultato della modellazione concettuale è l'individuazione e la descrizione accurata dei dati da trattare, delle elaborazioni da eseguire, della forma delle restituzioni.

Per sua natura, la modellazione concettuale è un'attività al tempo stesso creativa e ad alta criticità. E' creativa poiché il passaggio dalla conoscenza parziale e superficiale del problema alla sua rappresentazione chiara e formale richiede un grande sforzo interpretativo ed un notevole arricchimento semantico. E' critica per il peso che i risultati prodotti avranno nelle successive fasi del procedimento progettuale e quindi per la particolare abilità che richiede: in effetti, chi esegue la modellazione, oltre a possedere solide competenze nello specifico dominio applicativo, deve avere dimestichezza con gli strumenti di rappresentazione della conoscenza. Tutto ciò assume grande rilevanza nel caso di sistemi informativi complessi; i sistemi informativi geografici sono, da questo punto di vista, fra i più difficili da disegnare.

Nel caso di applicazioni di tipo tradizionale, gli strumenti modellistici e metodologici messi a punto nei campi dell'ingegneria del software e delle basi di dati, pur non essendo ancora del tutto soddisfacenti, costituiscono un valido aiuto per il progettista. Non sono invece

in grado di supportare efficacemente il progetto di sistemi informativi geografici. Le ragioni per le quali non è ancora stato adeguatamente affrontato il problema della rappresentazione completa della semantica del territorio sono ascrivibili ai seguenti punti:

- (i) Solo recentemente il settore geografico ha conosciuto una crescita significativa in termini di numero e varietà di applicazioni, soprattutto grazie allo sviluppo tecnologico che ha reso disponibili calcolatori e periferiche di notevole potenza a costo contenuto. E' quindi recente l'esigenza di modelli evoluti per la rappresentazione della conoscenza geografica.
- (ii) La natura dei dati geografici, con la rilevante componente geometrica e con i problemi derivanti dalla rappresentazione di complesse relazioni spazio-temporali, costituisce un ostacolo oggettivo alla definizione di strumenti semplici ed efficaci per la modellazione concettuale. In altre parole, si è di fronte all'alternativa fra immediatezza del modello e accuratezza della rappresentazione risultante.
- (iii) L'attenzione si è in questi anni concentrata maggiormente sui problemi di acquisizione e di codifica dei dati geografici piuttosto che sui problemi legati alla loro elaborazione; questa situazione è destinata a protrarsi finchè il patrimonio di conoscenza rappresentato sulle carte geografiche non sarà stato completamente trasferito nei sistemi informativi geografici. Il punto di vista applicativo si orienta con lentezza verso i bisogni dell'utente finale e cioè verso l'informazione che si può trarre dalla conoscenza acquisita.
- (iv) La necessità di nuovi modelli avanzati non è molto sentita anche perché i geografi dispongono già di un modello ben collaudato e diffuso, per quanto limitato come capacità espressiva, e cioè l'insieme di regole e di convenzioni che stanno alla base della rappresentazione cartografica del territorio. Il passaggio ad una rappresentazione più ricca richiede la garanzia di conservare tutti i numerosi vantaggi offerti dall'approccio cartografico.
- (v) Un ostacolo alla definizione di adeguati modelli concettuali è la separazione che si è creata storicamente fra i settori che trattano i diversi aspetti di interesse del territorio: informazioni descrittive e quantitative, informazioni geografiche, informazioni di carattere statistico, leggi dei fenomeni naturali, norme per la regolamentazione dell'uso del territorio, eccetera. Il modello deve essere all'altezza della natura intrinsecamente interdisciplinare del problema.

La geologia risente più di ogni altro settore queste difficoltà. La grande quantità di informazioni raccolta nel corso degli anni è disponibile in un'ampia varietà di forme, dalle carte ai manuali e alle pubblicazioni e, in parte non trascurabile, è presente solo come cultura e conoscenza diffusa dei geologi. Allo scopo di risultare completamente e facilmente accessibile, questa conoscenza richiede di essere adeguatamente organizzata e strutturata. La disponibilità di una documentazione chiara e fruibile costituisce un obiettivo di enorme rilevanza, a prescindere dalla eventuale gestione informatizzata dei dati. Riteniamo che l'analisi e la modellazione concettuale della conoscenza geologica, svolte secondo metodologie e con strumenti adeguati, siano un approccio promettente al raggiungimento di questo obiettivo.

Nel seguito vengono richiamati gli elementi di conoscenza che costituiscono la semantica del territorio, evidenziando le peculiari esigenze di rappresentazione della conoscenza geologica, allo scopo di stabilire i requisiti che un modello avanzato di rappresentazione *intensionale* deve soddisfare. Vengono poi sinteticamente esaminati e valutati le soluzioni attualmente in uso per la modellazione di applicazioni geografiche. Infine viene presentato un approccio formalizzato alla modellazione concettuale dell'informazione geologica, basato sul modello GEO-MDT che è stato espressamente concepito per trattare

entità e valori complessi, e per esprimere relazioni e vincoli in forma dichiarativa. Questo approccio è attualmente impiegato dal Servizio Geologico Nazionale per trattare la classificazione delle unità geologiche e la rappresentazione delle legende.

2.1. - LA SEMANTICA DEL TERRITORIO

La modellazione concettuale ha come obiettivo la raccolta e la sistemazione di tutti gli elementi di conoscenza, indipendenti dal sistema di calcolo, che impattano sul disegno della base di dati e dei programmi applicativi. Parlando del territorio, è necessario comprendere quali siano gli aspetti che sarebbe importante rappresentare nella fase di modellazione concettuale. In questo paragrafo si richiameranno sinteticamente le esigenze di modellazione che contraddistinguono le applicazioni geografiche, con particolare attenzione agli elementi di differenziazione rispetto alle applicazioni tradizionali.

Aspetti descrittivi

Il territorio è punteggiato di entità che ci sono note attraverso le loro proprietà. Da un punto di vista *intensionale*, quando parliamo di pozzi, strati o particelle catastali ci riferiamo a classi (tipi) di entità che condividono proprietà e comportamenti. E' compito dell'osservatore incaricato della modellazione concettuale di individuare e scegliere le proprietà che meglio descrivono i diversi tipi di entità e di associare a ciascuna di esse il dominio dei valori significativi. Molte proprietà sono indipendenti dalla disposizione spaziale della singola unità e possono essere definite senza che ne sia stata rappresentata la forma geografica: esse costituiscono la componente descrittiva dello schema concettuale.

In molte applicazioni territoriali gli aspetti descrittivi sono almeno tanto rilevanti quanto gli aspetti geografici; è il caso dei sistemi informativi urbani e di gestione di reti tecnologiche, ma è ancora più il caso della geologia dove la descrizione delle unità censite è un elemento portante della conoscenza rappresentata. Anche le relazioni che non dipendono dalla reciproca collocazione geografica delle entità coinvolte rientrano fra gli aspetti descrittivi: ad esempio, un edificio ed un appezzamento di terreno possono essere collegati dal semplice fatto di avere lo stesso proprietario.

Aspetti geografici

Un diverso modo di identificare le entità di interesse dell'applicazione territoriale, consiste nell'esaminare le caratteristiche dei punti in cui il territorio può essere immaginato suddiviso. I punti che condividono una data proprietà possono essere raggruppati a formare una struttura geografica: la geografia risulta così espressa come un insieme di proprietà a ciascuna delle quali è associato il luogo dei punti in cui essa è osservata. La descrizione delle forme di tali strutture geografiche è una esigenza primaria del sistema informativo.

Sul piano concettuale è necessario poter modellare le caratteristiche generali della componente geografica, indicando se una data forma è assimilabile ad un punto, ad una linea, ad un insieme di linee con particolari requisiti, ad un poligono semplicemente connesso, e così via. Problemi particolarmente complessi nascono quando le entità da rappresentare hanno una natura intrinsecamente tridimensionale, come nel caso della geologia. E' inoltre necessario descrivere le relazioni topologiche che esistono fra le entità geografiche in ragione della loro rispettiva disposizione sul territorio. Gran parte della conoscenza *intensionale* che l'osservatore raccoglie nella fase di disegno concettuale del sistema informativo riguarda, in qualche modo, gli aspetti geografici delle entità territoriali.

Collegamento fra aspetti descrittivi e aspetti geografici

La rappresentazione completa del territorio richiede che la componente descrittiva e la componente geografica siano poste in relazione. Tradizionalmente, l'analisi del territorio avviene separando l'esame degli aspetti geografici, in vista del loro trattamento con software specialistico, da quello degli aspetti descrittivi, che saranno normalmente trattati con sistemi per la gestione di basi di dati. Anche le connessioni fra le due componenti sono limitate dalle possibilità di interazione previste fra gli strumenti offerti dalla tecnologia GIS ed i DBMS. In altri termini, la modellazione del territorio è condizionata, già in partenza, dallo stato corrente della tecnologia, con evidente pregiudizio per l'indipendenza e la completezza dell'analisi.

Questa separazione, giustificata solo sul piano storico, va superata con l'introduzione di un approccio unitario che subisca il più tardi possibile i condizionamenti della tecnologia. Mentre la realizzazione materiale del sistema informativo non può ignorare i limiti degli strumenti a disposizione, la fase della modellazione concettuale deve potersi svolgere avendo in mente solamente le esigenze informative che il sistema deve soddisfare: così si potrà essere certi che le conclusioni raggiunte continueranno a valere nel tempo, venendo comunque ottimizzate dallo sviluppo tecnologico.

Risolvere i problemi di collegamento significa consentire la più ampia navigazione fra le entità del territorio, utilizzando e combinando nel modo più conveniente le loro proprietà geografiche e descrittive. Significa, fra l'altro, trattare ad un livello astratto anche le rappresentazioni cartografiche giudicate utili all'applicazione: la scelta delle entità che vi devono apparire e delle proprietà da restituire è una esigenza informativa al pari di altre, e contribuisce a costruire un'immagine completa e generale del territorio in studio.

Vincoli di correttezza

Lo stato di ogni entità geografica rispetta precisi limiti per quanto riguarda i valori che le proprietà descrittive e geografiche che lo formano possono assumere. I limiti dipendono dalla natura stessa dell'entità: i rami di un fiume sono connessi a formare una struttura ad albero, un edificio non può crescere in mezzo ad un lago, una colata non può contenere uno strato. Gran parte della conoscenza sul territorio e sulle entità che lo popolano è contenuta in questi tipi di regole; rinunciare ad essa nella fase di modellazione concettuale significa ottenere una rappresentazione del territorio estremamente povera e di scarsa utilità per l'organizzazione della conoscenza.

Le condizioni osservate sullo stato e sul comportamento delle entità geografiche diventano vincoli che il sistema informativo contribuisce a far rispettare. Ogni volta che lo stato di un'entità cambia per effetto di un fenomeno fisico o dell'approfondimento della sua conoscenza, la sua rappresentazione nel sistema informativo viene aggiornata; il nuovo stato deve rispettare i vincoli espressi in modo che il sistema informativo possa contare su dati coerenti e corretti. Gran parte dei programmi applicativi di cui il sistema viene dotato hanno appunto lo scopo di eseguire operazioni di aggiornamento della base di dati geografici nel rispetto di queste regole: la descrizione delle regole in sede di modellazione concettuale è stata considerata una condizione importante per la corretta progettazione del software.

Fra i vincoli che è opportuno rilevare, sono di notevole interesse quelli che riguardano le interdipendenze fra le rappresentazioni geografiche della stessa entità a scale diverse. Questo problema, normalmente ignorato durante l'attività di modellazione concettuale, viene demandato a programmi di controllo della base di dati o di derivazione di carte semplificate a piccole scale (generalizzazione) a partire da carte più dettagliate.

2.2. - PECULIARITÀ DELLA CONOSCENZA GEOLOGICA

La rappresentazione della conoscenza geologica presenta problemi particolari che nascono dalla necessità di descrivere e datare strutture che si sovrappongono lungo la terza dimensione, di modellare situazioni intricate e classificabili con difficoltà, di interpolare una conoscenza acquisita prevalentemente in modo campionato. Abbiamo già accennato al notevole ruolo della componente descrittiva, alla problematica tridimensionale; possiamo citare, in aggiunta, le difficoltà di modellazione del numero altissimo di casi e di eccezioni e di trattamento di informazioni vaghe e soggette a ricorrente revisione. Per mettere ordine in questo enorme patrimonio conoscitivo, il Servizio Geologico ricorre a metodi ritagliati sulle sue specifiche esigenze.

Allo scopo di evidenziare i requisiti di un modello concettuale per la geologia, esaminiamo alcuni dei problemi tipici di questa modellazione:

- (i) E' indubbio che una completa descrizione del territorio comprenda la disposizione tridimensionale delle unità geologiche. Sulle carte questo si ottiene con opportuni simboli che codificano inclinazioni e giaciture e rappresentando le unità cartografate in successione stratigrafica. Il modello, essendo svincolato dai limiti della rappresentazione su carta, dovrebbe consentire di esprimere tutte le proprietà e le relazioni spaziali delle unità (o spazio-temporali, per riferimento all'estensione stratigrafica).
- (ii) La indeterminatezza di molte informazioni geologiche, ad esempio delle superfici di contatto fra unità geologiche adiacenti, introduce un altro, affascinante, problema modellistico. Sul piano geometrico, si tratta di descrivere la forma e la disposizione di oggetti tridimensionali dei cui contorni sono noti solo alcuni punti, quelli campionati. Sul piano semantico, la progressiva acquisizione di conoscenza porta a rivedere e a specializzare la classificazione dell'entità geologica.
- (iii) Un altro requisito del modello è quello di rendere confrontabili informazioni raccolte in tempi diversi, da soggetti diversi e secondo criteri non omogenei. A tale scopo, i metodi di rilevamento possono essere modellati come qualsiasi altra conoscenza e posti in relazione l'uno con l'altro, ciascun dato può essere collegato al metodo e alle circostanze (luogo e tempo) dell'acquisizione, criteri di conversione dei dati possono essere individuati e codificati.
- (iv) Qualcosa di simile riguarda la terminologia in uso. Poiché essa può dipendere dalla diversa teoria interpretativa applicata, occorre isolare e rendere indipendente la semantica dei termini e poi stabilire le relazioni esistenti fra significati e terminologie. Anche questo contribuisce ad aumentare la quantità di conoscenza che il modello riesce a catturare e ad organizzare.

Tutto ciò premesso, riteniamo necessario mettere a punto e utilizzare un modello concettuale di nuovo tipo, specificamente concepito per trattare i problemi della geologia e capace di catturare e formalizzare quanta più conoscenza possibile del dominio applicativo. Poiché questa conoscenza è intrinsecamente statica e vede una prevalenza di regole e vincoli, il modello deve offrire i costrutti adatti ad esprimere direttamente questi aspetti. Come vedremo nel prossimo paragrafo, i modelli correnti (da quello cartografico all'Entity/Relationship e sue estensioni, fino ai più recenti tentativi Object-Oriented) sono insoddisfacenti per il basso grado di formalizzazione o per la trattazione insufficiente dei vincoli.

Naturalmente, gran parte dei vantaggi di un modello che soddisfi i requisiti esposti andrebbero perduti se il suo impiego risultasse proibitivo per il geologo: particolare attenzione è stata quindi dedicata alla sintassi dei costrutti la quale, pur nel suo rigore, è stata resa sufficientemente chiara e naturale. Altri modelli formali, di impostazione algebrica, sono stati

proposti in letteratura: il loro impiego su applicazioni pratiche di un certo livello di complessità è stato valutato estremamente arduo.

2.3. - APPROCCI CORRENTI: CARTOGRAFICO, E/R ESTESO, OBJECT-ORIENTED

Nel recente passato sono stati fatti diversi tentativi di applicare i modelli e le metodologie nati per applicazioni tradizionali alla progettazione concettuale di sistemi informativi geografici. Pur avendo avuto il merito di individuare aspetti importanti della semantica del territorio e di spingere verso una sua rappresentazione più completa, queste esperienze non hanno soddisfatto completamente le esigenze del progettista.

Sono sostanzialmente due gli approcci oggi seguiti per la individuazione delle entità del territorio e per la loro caratterizzazione in termini di proprietà descrittive e proprietà geografiche: quello che adotta come modello del territorio le regole e le convenzioni della rappresentazione su carta (modello cartografico), e quello che si basa sull'applicazione del modello Entity/Relationship e delle sue estensioni geografiche.

L'approccio cartografico porta l'osservatore ad analizzare il territorio attraverso l'esame delle carte che lo descrivono: i segni (punti, linee, poligoni) ed i simboli grafici costituiscono gli elementi di partenza per la codifica delle entità geografiche. L'enfasi è posta, naturalmente, sulla componente geometrica che viene progressivamente aggregata per modellare entità sempre più complesse, mentre alla componente descrittiva è lasciato il solo ruolo di identificazione e di classificazione. In questo modo, molta conoscenza non è disponibile nella fase critica della progettazione e ciò porta a ben noti problemi di insoddisfazione dell'utente e di lievitazione dei costi per modifiche ed estensioni delle funzionalità del sistema.

La popolarità del modello cartografico deriva dal grande patrimonio di conoscenza tuttora disponibile in forma di carte geografiche, che rende la digitalizzazione delle carte stesse più urgente dell'analisi del territorio. Per la stessa ragione, i più noti sistemi GIS propongono un modello dei dati che si adatta perfettamente a questo approccio, fornendo come *primitive* proprio gli elementi grafici e gli operatori di aggregazione. Tutto ciò ha spesso portato a concepire il sistema informativo geografico come deposito della cartografia numerica anziché come strumento di lavoro autonomo. Va detto che in questo modo è stato possibile, sfruttando i forti investimenti in cartografia, favorire l'avvicinamento di cartografi e geografi alla tecnologia GIS.

I principali limiti di questo approccio sono: la sostanziale incapacità di esprimere aspetti descrittivi, che vanno quindi trattati separatamente; la scarsa predisposizione per la codifica dei vincoli, che restano in buona parte inespressi; la dipendenza diretta dalla scala della cartografia di partenza. Un ultimo inconveniente è dato dalla funzione di filtro svolta dalla cartografia: con l'approccio cartografico non è possibile modellare entità che non siano rappresentate sulle carte, e ciò è estremamente limitativo se si considera che le carte sono nate con obiettivi di rappresentazione diversi da quelli dei sistemi informativi geografici.

Con l'approccio *Entity/Relationship* si impiegano modelli derivati dal settore delle basi di dati, estesi per includere concetti come entità geografica e relazione topologica. Anziché essere basati sugli elementi geometrici, questi modelli partono dalla identificazione degli oggetti da rappresentare e considerano la componente geometrica una proprietà come le altre. In questo modo si riesce a superare la concezione cartografica e a puntare al vero soggetto della rappresentazione: il territorio con le entità che lo punteggiano. Si tratta di un punto di vista di recente introduzione maggiormente orientato alla utilizzazione della base di dati geografici che alla sua costituzione.

La modellazione concettuale della componente descrittiva non è il problema principale della rappresentazione del territorio. Presa a se stante, e quindi prescindendo dai collegamenti con gli aspetti geografici, essa è trattabile con i modelli e le metodologie delle applicazioni

tradizionali. Restano i problemi derivanti dalla separazione fra il trattamento di informazioni descrittive e quantitative ed il trattamento degli altri tipi di conoscenza. Anche se arricchiti di costrutti per descrivere entità geografiche e relazioni topologiche, i modelli di questo tipo risultano insufficienti per rappresentare la ricchezza di proprietà della componente geografica e mantengono i limiti di rappresentazione dei vincoli.

Nell'ottica del superamento di questi inconvenienti, aveva suscitato notevoli aspettative l'introduzione del paradigma ad oggetti con la sua capacità di modellare autonomamente ciascun tipo di entità e di esprimere le relazioni fra entità in forma di scambi di messaggi. Ad un esame più attento, i concetti di base dell'approccio ad oggetti non offrono ancora una risposta convincente ai problemi di modellazione concettuale di cui stiamo parlando.

Le variabili d'istanza ed i metodi sono i soli strumenti messi a disposizione dal modello ad oggetti classico per trattare (e nemmeno in modo esplicito) la complessità e i vincoli degli oggetti. Ogni oggetto che presenti variabili d'istanza che referenziano (puntano ad) altri oggetti può essere considerato un oggetto complesso, ed i suoi componenti sono gli oggetti puntati. Inoltre, l'insieme dei metodi (operatori) definiti su un oggetto esprime le sue interazioni con gli altri oggetti, ma in una forma procedurale che richiede capacità di programmazione.

In termini modellistici i limiti di questa impostazione sono numerosi, in particolare: non è data nessuna metodologia per guidare l'osservatore nella traduzione della sua percezione della realtà in oggetti e in riferimenti fra oggetti; per la stessa ragione, non è possibile ricavare alcuna chiara interpretazione semantica dall'esame degli oggetti modellati e dei riferimenti che sono stabiliti fra di essi; la codifica dei metodi, oltre ad essere procedurale, è fortemente influenzata da come le relazioni fra oggetti sono state tradotte in riferimenti incrociati.

2.4. - L'APPROCCIO GEO-MDT

Il modello GEO-MDT, messo a punto specificamente per la geologia, abbina alla semplicità di impiego un sostanziale rigore formale, esprimendo nel contempo la conoscenza *intensionale* dell'applicazione.

Completezza e semplicità sono spesso caratteristiche contrastanti: accade in pratica che si debba scegliere fra modelli grossolani (semi-formali) ma di impatto immediato e modelli più raffinati (formali) ma di non facile utilizzazione. Il modello GEO-MDT, essendo stato messo a punto specificamente per la geologia, riesce ad essere di non difficile impiego pur garantendo un sostanziale rigore formale.

Il modello GEO-MDT trae i suoi fondamenti dal modello sviluppato nell'ambito della linea di ricerca Multidata del Progetto Finalizzato Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo, sottoprogetto Sistemi Evoluti per Basi di Dati, del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Esso adotta i principi di base del paradigma ad oggetti ma introduce alcune nuove primitive per rappresentare esplicitamente domini di valori, relazioni e vincoli. Questa scelta è giustificata da considerazioni ontologiche che richiamiamo brevemente.

L'approccio ad oggetti rappresenta ogni entità del mondo reale come un oggetto con identità e stato. L'identità esprime l'essenza dell'entità e la sua unicità; lo stato descrive le proprietà dell'entità in forma di attributi dell'oggetto. Oggetti dello stesso tipo sono raggruppati in classi. Gli stati degli oggetti di una classe presentano regolarità che vanno interpretate e tradotte in leggi. Le leggi che rileviamo osservando il territorio diventano vincoli che ne governano la rappresentazione.

L'attributo di un oggetto è una funzione definita fra la classe di appartenenza ed un dominio di valori. Un dominio è una collezione di valori omogenei. La maggiore differenza fra una classe di oggetti ed un dominio di valori consiste nella diversa natura delle rispettive istanze: mentre di un oggetto è possibile distinguere identità e stato, ciò non vale per un valore. Infatti, se consideriamo un intero o un poligono ed immaginiamo di cambiare il valore del primo o un vertice del secondo, otteniamo un nuovo numero e un nuovo poligono. Assumiamo

pertanto che i valori non vengano modellati per sè ma solo allo scopo di esprimere proprietà di oggetti.

Il modello GEO-MDT fornisce tre primitive per rappresentare valori (*value*, *complex value*, *relation value*) e cinque primitive per rappresentare gli oggetti (*object*, *complex object*, *context object*, *virtual object*, *view object*):

Value. Sono detti valori semplici quelli primitivi (esempio: integer, real, string), quelli espressi per restrizione dei tipi primitivi (esempio: 10..20), quelli dati per enumerazione (esempio: arenite, rudite, pelite).

Complex value. Sono detti valori complessi quelli ottenuti componendo valori semplici o altri valori complessi mediante tre tipi di costruttori: n-pla, insieme, lista. Un esempio di valore complesso è il segmento, definito dai suoi punti estremi.

Relation value. Due o più valori possono essere messi in relazione per esprimere vincoli generali che li legano. Ad esempio, una relazione tra un segmento e una retta può essere definita per esprimere l'appartenenza, l'intersezione, la perpendicolarità.

Object. Sono detti *oggetti semplici* quelli che rappresentano entità caratterizzate solo da attributi, e cioè senza componenti. Un esempio di oggetto semplice è l'unità geologica, con gli attributi nome, codice e tipo. Tutti i tipi di oggetto, inclusi quelli non semplici, possono essere definiti per specializzazione di oggetti più generici. Così, l'unità stratigrafica è una specializzazione dell'unità geologica. Il tipo specializzato eredita le proprietà dell'oggetto da cui discende, a parte quelle ridefinite o aggiunte.

Complex object. Gli *oggetti complessi* modellano la relazione di composizione che aggrega oggetti più semplici; gli oggetti aggregati svolgono il ruolo di componenti dell'oggetto complesso. L'identità di un oggetto complesso è indipendente da quella dei suoi componenti, nel senso che questi possono cambiare durante l'esistenza dell'oggetto complesso. Esempio di oggetto complesso è l'insieme di campioni ottenuti dal rilevamento di una sezione stratigrafica.

Context object. Tutti i tipi di relazione, ad eccezione di quella di composizione, sono rappresentati da *oggetti contesto*, anch'essi dotati sia di attributi che di componenti. Al contrario degli oggetti complessi, l'identità di un oggetto contesto è univocamente determinata da quella dei suoi componenti, cioè degli oggetti che partecipano alla relazione: se uno di questi cambia, l'oggetto contesto non esiste più e al suo posto ne viene creato uno nuovo. Le relazioni esistenti tra strati e membri, e fra membri e formazioni, costituiscono situazioni modellabili come oggetti contesto.

Virtual object. Allo scopo di esprimere condizioni generali che legano due o più tipi di oggetti, si definiscono gli *oggetti virtuali*. Le condizioni sono generali nel senso che valgono in ogni situazione in cui quei tipi sono presenti. Gli oggetti virtuali sono pertanto introdotti per esprimere vincoli liberi da contesto. Un oggetto virtuale è quello che definisce i criteri generali per stabilire la coerenza dei dati campionati con le caratteristiche litologiche dell'unità a cui si riferiscono.

View object. Gli *oggetti vista* forniscono rappresentazioni delle relazioni fra oggetti, aggiuntive rispetto a quelle già date e desumibili dalle medesime. Essi non introducono nuova conoscenza ma percorsi alternativi per interpretare la conoscenza già modellata. Un oggetto vista può essere definito per ricavare, dall'oggetto contesto che associa ciascuno strato ad un membro, l'insieme degli strati del membro.

I vincoli sulla legalità dei diversi tipi di valori e di oggetti introdotti con le precedenti primitive sono espressi attraverso leggi. Per leggi intendiamo formule del calcolo dei predicati applicate allo stato dell'oggetto (o del valore) e a quello dei suoi componenti. La congiunzione di tutte le leggi di un oggetto (o di un valore) fornisce la sua invariante, e cioè la condizione che deve essere sempre soddisfatta affinché la definizione sia corretta. Gran parte della conoscenza risultante dalla modellizzazione concettuale è contenuta nelle leggi; grazie alla loro forma logica è possibile impostare controlli di correttezza, coerenza e completezza da affidare ad algoritmi automatici.

Sulla base di quanto detto, la modellizzazione della tassonomia dei termini geologici e degli aspetti geografici delle unità rientra nel campo della rappresentazione di valori; invece, la descrizione delle entità geologiche e delle relazioni che le legano si ottiene attraverso la modellizzazione di oggetti. Si noti come l'approccio GEO-MTD fornisca un insieme di primitive ispirate ad un unico paradigma, superando così le tradizionali differenze fra modellazione dei valori e della geometria e modellazione delle entità. Il fine ultimo è quello di esprimere gli aspetti geometrici, topologici e semantici con lo stesso grado di espressività.

2.5. - CONCLUSIONI

Il modello GEO-MDT è attualmente utilizzato dal Servizio Geologico Nazionale per avviare un processo di sistemazione e di organizzazione della grande mole di dati e di conoscenze rilevate nella realizzazione delle carte geologiche, delle legende associate e delle note illustrative. Una prima ricaduta riguarda il progetto della base di dati e del segmento geologico del SIU e la relativa redazione di manuali, note tecniche e normative. I risultati finora ottenuti appaiono estremamente promettenti anche se è probabile che molto lavoro sia ancora richiesto per sfruttare appieno i vantaggi offerti da questo approccio.