

# ASPECTE COMPARATIVE ALE MODELĂRII DATELOR PENTRU PROIECTAREA BAZELOR DE DATE SPAȚIALE

dr. mat. Angela Ioniță

Institutul Național pentru Cercetare-Dezvoltare în Informatică, București  
Laboratorul GeMaSOFT, e-mail: [aionita@td1.ici.ro](mailto:aionita@td1.ici.ro)

**Rezumat:** Din punctul de vedere al structurii creierului uman și al funcționării lui, pot fi determinante argumentele fundamentale pentru viitoarele caracteristici ale unui formalism optimal, pentru modelarea conceptuală de date spațio-temporale. Compararea celor două extreme un formalism "*literal în totalitate*" și un formalism "*în totalitate grafic*" a permis să se evidențieze punctele tari și punctele slabe ale ambelor posibilități, ceea ce a condus la concluzia că un "formalism hibrid" poate să utilizeze efectiv toate capacitățile creierului. Pe baza acestei aprecieri, cele trei formalisme existente ale formei "hibride" au făcut obiectul unui studiu comparativ detaliat, cu privire la eficiența modelării datelor spațio-temporale: Entitate-Relație, TMO și MODUL-R.

**Cuvinte cheie:** componente semantice, reguli structurale, notație formală, referințe temporale, referințe spațiale, baze de date spațio-temporale, entitate-relație, MERISE, tehnici de modelare orientate obiect, TMO, MODUL-R, analiză comparativă.

## 1. Introducere

Un model de date este înainte de toate un *model*, o aproximare a realității în raport cu un scop specific [4], care este complet inteligibil, capabil să memoreze, să comunice și să simuleze. În viața de toate zilele, diverse tipuri de modele au diverse tipuri de aplicații: texte, diagrame, hărți etc. În general, modelele create au fost considerate reprezentative în măsura în care reflectă realitatea ("omomorfism") de când se constituie ca niște canale de comunicație de cunoștințe între diverși interlocutori [25]. Prin urmare, un *model* este construit pentru a fi comunicat, citit, interpretat și al cărui conținut trebuie asimilat. Orice model este dezvoltat, în mod necesar, folosind un *limbaj* sau un *formalism*. Un model de date nu face excepție.

Un formalism sau un limbaj este construit din:

- *componente semantice* (conținut, de exemplu, setul de noțiuni reprezentat de *cuvintele* dintr-un dicționar),
- *reguli structurale* (direcțiile de utilizare, de exemplu, *reguli gramaticale*) și
- *notație formală* (forma, de exemplu, literele și punctuația la reprezentarea conținutului) [10].

Un formalism trebuie să facă posibilă crearea de modele *eficiente*. Această eficiență este dată de o

bogăție de exprimare (înțelegând abilitatea de exprimare ca majoritatea conceptelor realității, necesare pentru a atinge obiectivul) împreună cu capacitatea de lizibilitate și comprehensivitate (limbajul trebuie să fie, pe cât posibil, simplu și intuitiv), calități care, de cele mai multe ori, sunt ele însele în opoziție [10].

În domeniul geomatiei, se găsesc deseori modele de date într-o formă textuală, descrisă într-un dicționar de date sau o procedură manuală.

Se pun două probleme [27]:

1. S-ar putea ca pentru formalismul de modelare de date să fie preferabil unul *grafic* sau unul *literal, în totalitate*?
2. Poate fi îmbunătățită utilizarea de dicționare de date?

## 2. Modele conceptuale de date și dicționare de date

Atunci când se vorbește de modelare *conceptuală*, se face referință la diverse "niveluri" de modelare așa cum se definește, în original, în ANSI/x3/SPARC [1]. Nivelul conceptual constituie, în general, primul nivel în timpul căruia sunt modelate datele, punând accentul mai mult pe realitatea utilizatorului decât pe structura fizică a bazei de date. Aceste modele sunt numite uneori modele informaționale, modele de date organizaționale sau modele semantice și sunt folosite de obicei în tehnologia informației. Ele se folosesc în proiectarea orientată obiect în ciuda existenței diferitelor terminologii. Modelele Conceptuale de Date (MCD) sunt dezvoltate independent de tehnologia care urmează să fie utilizată. Prin urmare, ele sunt translatabile în structuri care sunt implementabile în aceste diferite tehnologii. Dar care este eficiența relativă a unui MCD (de exemplu, modelele Entitate-Relație) în comparație cu un dicționar de date în exprimarea și comunicarea structurilor de date?

Dicționarul de date este prezentat într-o formă textuală și lineară, adică în esență corespunzător unei dimensiuni. Această formă de reprezentare este eficientă în prezentarea de date sub formă de *liste*. Mai mult, o formă literală este eficientă, în

mod special, în exprimarea detaliilor dificil de înțeles sau a conceptelor abstracte.

Pe de altă parte, pentru un MCD construit în conformitate cu o formă "hibridă" devine posibilă reprezentarea grafică a relațiilor între elementele de modelat, relațiile fundamentale cu înțelegerea eficientă a conținutului bazei de date și a implementărilor. În practică, un MCD constituie, mai degrabă, un instrument de "ogîndire" care este mai eficient decât un dicționar de date pentru că pune în lumină corectitudinea structurii de elemente. Această structură este ușor de creat și de comunicat deoarece este sinoptică, o calitate

indispensabilă pentru validarea modelului și pentru înțelegerea de către alți specialiști decât cei care au făcut dezvoltarea (de exemplu: administratori, ingineri sau alți specialiști).

Se poate spune că modelele textual și hibrid se completează reciproc. În timp ce MCD furnizează un punct de vedere sinoptic asupra bazei de date, dicționarul de date conține o cantitate mare de informații suplimentare, indispensabile celor care sunt responsabili de implementarea bazei de date. Acest mod de procesare face posibilă angajarea în totalitate a creierului într-o manieră sinergetică, promovând înțelegerea și comunicarea modelelor.

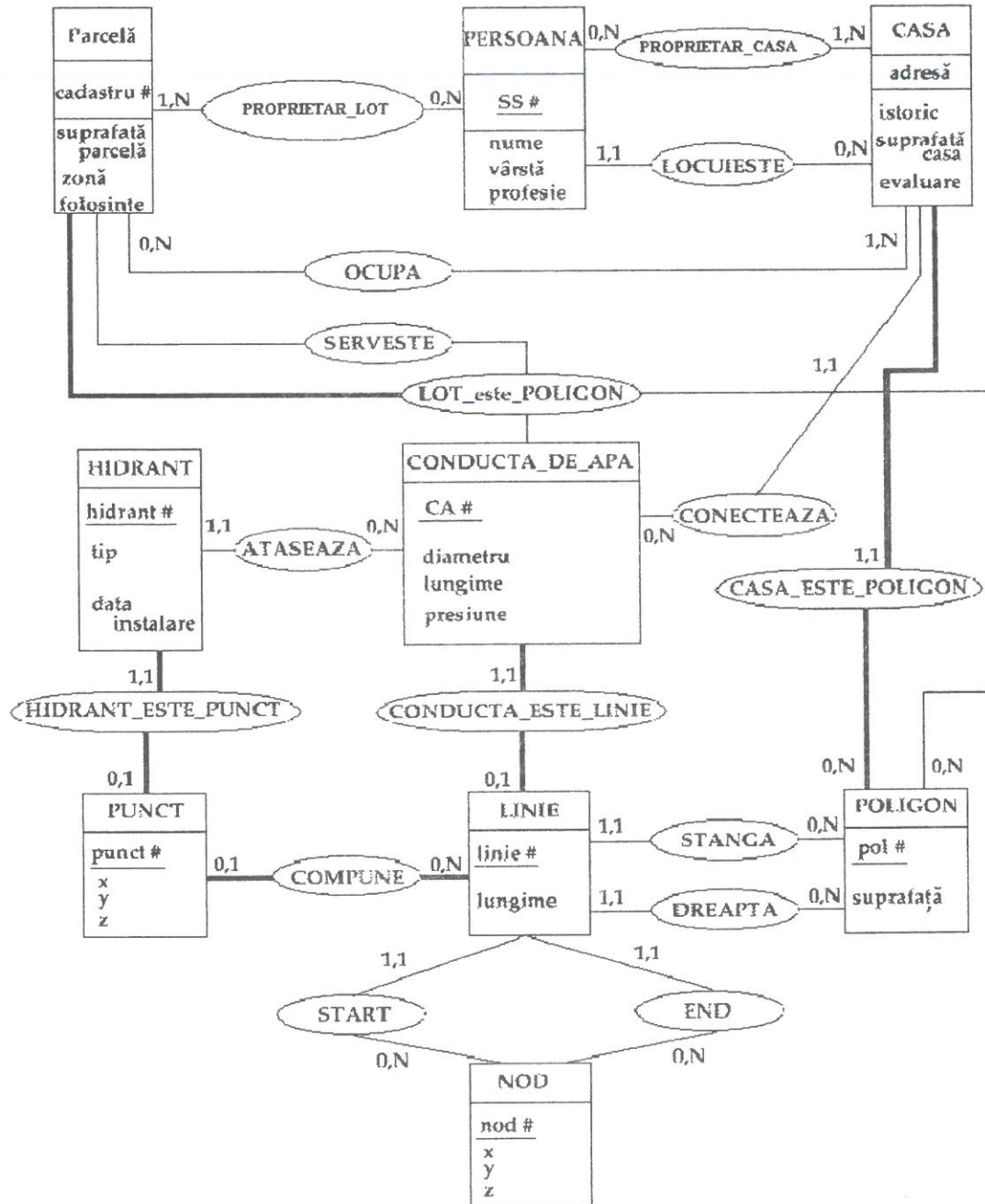


Figura 1. Modelul de date care include entități geometrice

## 2.1. Necesitatea referințelor temporale și spațiale

Pare a fi oportună specificarea *cerințelor particulare* legate de modelarea *spațio-temporală* a datelor pentru a determina care dintre formalismele existente sunt cele mai potrivite pentru proiectarea bazelor de date spațio-temporale.

### 2.1.1. Necesitatea referințelor spațiale

Înainte de a studia problemele referitoare la modelarea referințelor spațiale ale obiectelor sau entităților, este mai important să se specifice ce sunt *referințele spațiale*. Aceasta se poate face printr-un proces gradual, pornind de la o referință spațială foarte concisă (calitativă) către una foarte dezvoltată (cantitativă). O referință spațială minimală dă o oarecare *poziție vagă*, în timp ce o referință spațială completă include *dimensiunea, orientarea și forma detaliată* a obiectelor.

În funcție de necesitatea ca o hartă să conțină unul sau două tipuri de entități, se pot distinge: *entități spațiale* (de exemplu: construcții, trasee de autobuz, hidrante pentru stingerea incendiilor) și *entități nonspațiale sau tradiționale* (de exemplu: oameni, autorizație etc.).

Entitățile spațiale sunt reprezentate cartografic prin *entități geometrice* (de exemplu: punct, linie, suprafață). Prin urmare, necesitatea constă aici în a indica într-un MCD dacă un client dorește sau nu să mapeze o entitate și să aleagă forma geometrică a ei, dacă se poate.

Începând din 1980, metodele și formalismele deja utilizate pentru a dezvolta sisteme informatice tradiționale au fost studiate pentru a evalua adaptarea lor la un context GIS. Slăbiciunile exprimării formalismelor existente în reprezentarea referințelor spațiale și a caracteristicilor asociate au fost identificate [5], [6], [20]. Accentul s-a pus pe faptul că formalismul propus nu are reguli suplimentare pentru modelarea referințelor spațiale [5]. Acum, entitățile geometrice și relațiile între ele sunt reprezentate de un formalism de tip Entitate-Relație (E/R) [11] sau Orientat Obiect.

Figura 1 arată un MCD construit cu formalismul E/R (conform metodologiei MERISE) în care sunt explicit incluse entitățile geometrice și relațiile lor cu entitățile tradiționale.

Acest fel de a modela datele este astăzi destul de obișnuit deși atrage unele dezavantaje care reduc eficiența modelului rezultat [10]:

- *Dimensiunea mare a modelului rezultat. Submodelul entităților geometrice* (partea inferioară a modelului din figura 1) sporește în mod semnificativ întreaga dimensiune a modelului. În contextul bazelor de date spațio-temporale (BDST), dimensiunea este mult sporită prin prezența entităților temporale primitive și prin relațiile către entitățile geometrice [13].
- *Relevanța structurii specifice temporale și geometrice la nivel conceptual.* Se pare că este dificil pentru cei care dezvoltă BDST să stabilească o structură precisă a datelor geometrice și temporale la nivel conceptual, atunci când această structură depinde de tehnologia care se va utiliza, deși este prematur să se facă opțiuni tehnice în această etapă. În timp ce GIS-urile au propria structură internă, a datelor geometrice care sunt adesea puțin documentate, dezvoltatorul de BDST poate doar să *presupună*, cunoscând tipul de sistem ("CAD" sau topologic), care sunt entitățile geometrice de administrat. În orice caz, pare inconsistent să se includă explicit în *aceleași MCD*, entitățile care provin de la realitatea clientului (unitate de evaluare, stradă, ...) și entitățile care nu există în aceeași realitate (punct, linie,...) [10], [26]. Acest argument se păstrează și în cazul în care majoritatea utilizatorilor de tehnologie GIS nu consideră entitățile geometrice ca obiecte reale [20]. În cazul modelării conceptuale, trebuie să se determine formele geometrice necesare pentru a mapa entitățile spațiale, atunci când un model de date este folosit pentru a identifica datele necesare completării bazelor de date. Aceasta se poate face și fără a specifica structura *completă* a entităților geometrice la nivel conceptual. Este posibil să se specifice această structură în cazul translatații modelului conceptual pentru o tehnologie particulară (Arc/Info, MGE, Map Info etc.)
- *Absența informației contextuale.* O altă dificultate care se păstrează în cursul modelării datelor este *specificarea informației contextuale*. Informația contextuală este fabricată, în general, din unele elemente de pe hărțile de bază, care doresc să fie cunoscute pentru a găsi referințele (străzi, arbori etc.), dar ale cărei atribute nu se dorește să fie administrate.
- *Dificultate în specificarea dimensiunilor modelului de date spațiale.* În majoritatea cazurilor, este posibil doar să se exprime dacă se dorește să se specifice în universul spațial 2D sau 3D prin adăugarea valorii "z" la entitatea geometrică. Este destul de dificil să se facă o distincție în ceea ce privește faptul că reprezentarea geometrică a entităților de modelat este bi- sau tridimensională - independent de dimensiunea modului de lucru.

- *Dificultate în specificarea formelor geometrice alternative.* Cu formalismul tradițional este dificil de specificat faptul că o entitate spațială poate fi reprezentată prin numeroase forme geometrice alternative.
- *Dificultate în specificarea formelor geometrice complexe.* Este la fel de dificil să se specifice formele geometrice complexe: de exemplu, entitatea spațială SISTEM\_HIDROLOGIC, ale cărei apariții sunt simultan reprezentate printr-o agregare de forme PUNCT și LINIE.
- *Dificultate în specificarea formelor geometrice.* Reprezentarea într-un model a faptului că o entitate poate fi digitizată în două moduri, și una nu este deductibilă din cealaltă, este extrem de complexă. De exemplu, fiecare entitate spațială MUNICIPALITATE poate fi reprezentată geometric printr-un poligon și un punct în centrul demografic, netezind calea către din ce în ce mai multe posibilități de procesare.

### 2.1.2. Necesitatea referințelor temporale

O dată ce entitățile evoluează în spațiu și timp, trebuie gestionate forma și comportamentul spațial și temporal al entităților. Aspectul spațial și temporal se influențează reciproc, de exemplu reprezentarea geometrică a unui fenomen localizat, poate să evolueze în timp [5]. Tendințele din modelarea datelor spațiale au fost fie să nu se țină cont de aspectul temporal al datelor, fie să se utilizeze soluții parțiale în ceea ce privește structura de date (de exemplu, adăugarea unui atribut DATA sau a unei entități DATA la modelul de date). Tehnicile de reprezentare a datelor temporale într-o bază de date tradițională s-au dovedit a fi ineficiente ca tehnici de reprezentare a datelor geometrice [20]. Ipoteza că referința temporală este similară referinței spațiale este, adesea, folosită ca bază pentru alte studii [12], [14], de unde și ideea de referențial [26].

Necesitatea modelării referințelor temporale este similară cu cea a modelării referințelor spațiale cu excepția faptului că, pentru dimensiunile mediului de lucru, care sunt înlocuite de necesitatea de a defini atât de multe referințe temporale câte obiecte există, evoluțiile atributelor și schimbările geometrice trebuie și ele urmărite. În final, devine posibil să se exprime cererile de management pentru prezența/absența periodică a obiectelor într-un teritoriu și activarea/dezactivarea lor, toate acestea având un impact serios asupra BDST.

În următoarele paragrafe, vor fi prezentate trei tipuri diferite de formalisme folosite pentru modelarea de date: Entitate-Relație, Orientare-

Obiect și un tip dezvoltat special, acordându-se o atenție deosebită modului specific de modelare a datelor spațio-temporale.

### 2.2. Utilizarea formalismelor pentru modelarea spațio-temporală a datelor

În acest paragraf, vor fi prezentate diverse formalisme de modelare de date: formalismul Entitate-Relație, bazat pe metoda MERISE [24]; modelarea orientată obiect, bazată pe metoda Tehnicilor de Modelare orientate Obiect (TMO) [23] și modelarea de date spațio-temporale, bazate pe formalismul MODUL-R [6]. Domeniul de aplicabilitate, ales pentru acest demers, este o parte simplificată a bazei de date de rețele de transport a unei zone geografice. În acest context, un drum este compus din secțiuni de drum și intersecții. Acestea pot include tipuri diferite de structuri printre care poduri și viaducte și pot fi afectate de obstacole. Fiecare secțiune de drum, cel mai mic element administrabil al rețelei de drumuri, poate fi delimitat de o zonă administrativă sau de o intersecție.

Geometria și temporalitatea obiectelor rețelei de drumuri și unele dintre atributele lor sunt identificate pe aceste secțiuni de drum (de exemplu, geometria secțiunii de drum, evoluția tipului de pavaj etc.).

#### 2.2.1. Formalismul E/R (Metoda MERISE)

##### Prezentarea Formalismului

În acest capitol, s-au folosit convențiile de notare de la metoda MERISE în locul celor propuse de Chen [3], în principal, pentru două motive:

1. lipsa complexității regulilor folosite și
2. claritatea și simplitatea modelului produs.

Formalismul Entitate-Relație (E/R) este folosit, de obicei, pentru modelarea datelor conceptuale. El se bazează pe trei concepte: entități, relație și atribut așa cum este prezentat în figura 2. O entitate reprezintă un obiect înzestrat cu propria existență, corespunzător cu opțiunile de management ale organizației ale cărei date trebuie să fie administrate. O relație este reprezentarea asocierilor între entități, corespunzător cu opțiunile manageriale ale organizației. Un atribut conține datele de bază, care fac posibilă descrierea caracteristicilor entităților și a caracteristicilor relațiilor. Toate aceste concepte definite mai sus se pot materializa ca apariții/instanțieri și primesc valori în consecință.

Există trei tipuri de instanțieri:

1. instanțierea unui atribut - una dintre valori poate să fie în domeniul său;
2. instanțierea unei entități - toate instanțierile de atribute (o instanțiere per atribut);
3. instanțierea unei relații care asociază fiecărei entități una și numai o instanțiere și fiecăreia atributele relației.

este compus din DRUM\_SECTIUNE, INTERSECȚIE și IEȘIRE\_AUTOSTRADĂ.

### 2.2.2. Formalismul Orientării Obiect (TMO)

Opțiunea noastră se referă la tehnica modelării obiect (TMO) [23] pentru că formalismul modelului de date este foarte reprezentativ față de

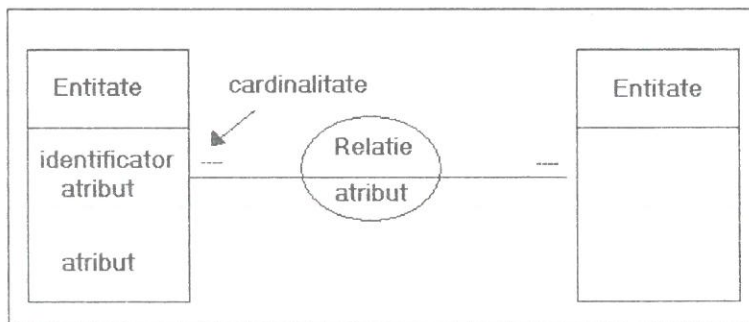


Figura 2. Formalismul E/R - concepte (metoda MERISE)

Formalismul E/R are și alte caracteristici:

1. include conceptul de identificator, care se poate găsi la nivelul entitate pentru a caracteriza fiecare dintre instanțieri într-o manieră unică și la nivelul de relație prin concatenarea identificatorilor de entități pe care le asociază;
2. include apariția unei entități care măsoară numărul minim și maxim al participanților unei entități în fiecare relație;
3. include dimensiunea unei relații care definește numărul de entități care participă în relație.

#### Reprezentarea modelului

Modelul conceptual de date, construit cu formalismul Entitate-Relație, este prezentat în figura 3. Pentru demersul din acest capitol, se disting două tipuri de entități: prima reprezintă aspectul semantic al modelului cu entitățile DRUM\_SECTIUNE, STRUCTURĂ, ZONĂ\_ADMINISTRATIVĂ etc. Al doilea tip reflectă aspectul spațio-temporal al modelului cu entitățile ARC, NOD\_IZOLAT, VECTOR\_TEMPORAL etc. S-a observat că unele entități posedă atributele care au aceeași denumire semantică, de exemplu INTERSECȚIE și IEȘIRE\_AUTOSTRADĂ cu atributele tip-îndepărtare-zăpadă și tip-pavaj. Aceasta se explică prin specializarea relației care există între ele; o IEȘIRE\_AUTOSTRADĂ este un tip special de INTERSECȚIE. Relațiile de compoziție între entități pot fi astfel observate, de exemplu DRUM

formalismul folosit de majoritatea metodelor Orientate Obiect. În plus, cel mai utilizat formalism din Europa și America este TMO. În general, pot fi găsite în metoda orientată obiect [17] două familii diferite de concepte. Ele constau din cele care sunt utilizate, în special, pentru faza de analiză cu clasele de obiecte, obiecte, relații și relații de moștenire și din cele care sunt folosite în faza de implementare cu polimorfism, alocare dinamică și încapsulare.

În acest demers, vom utiliza doar conceptele asociate cu fazele de analiză (nivelul conceptual). În formalismele orientate obiect, unele concepte de bază, folosite în modelul conceptual, sunt similare celor din formalismul E/R. Entitățile și relațiile devin clase și, respectiv, asocieri.

#### Prezentarea formalismului

Tehnica Modelării Obiect (TMO) a fost dezvoltată la General Electric Research & Development Center. Ea se bazează pe trei modele diferite, folosite pentru a descrie problema de soluționat [8]: *modelul obiect*, *modelul dinamic* și *modelul funcțional*. Interesant pentru demersul din acest paragraf este *modelul obiect*. Acest model acoperă cele trei faze de dezvoltare: analiză, proiectare și implementare. În cursul fazei de analiză, nivelul de abstractizare al modelului este foarte ridicat față de al celor din alte faze.

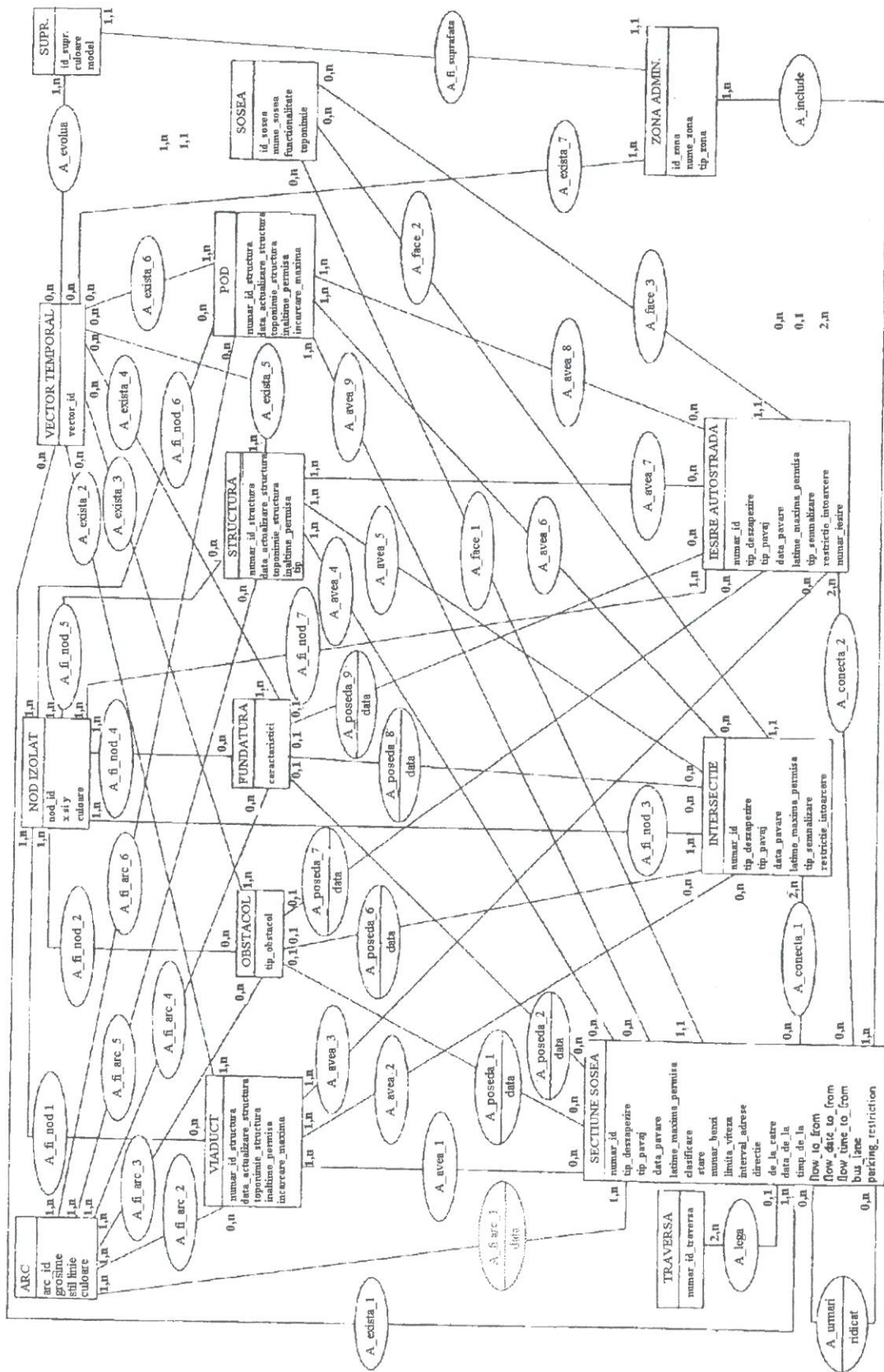


Figura 3. Modelul de date cu formalismul E/R (metoda MERISE)

Modelul obiect descrie structura statică în termeni de obiecte și relațiile care există între ele [15]. Aceasta se reprezintă grafic prin diagrama obiect, folosind conceptele prezentate în figura 4. O

exemplu, PARTE\_DRUM și DRUM. Moștenirea face posibilă definirea de clase noi din atributele și din operațiile altor clase existente.

#### Reprezentarea modelului

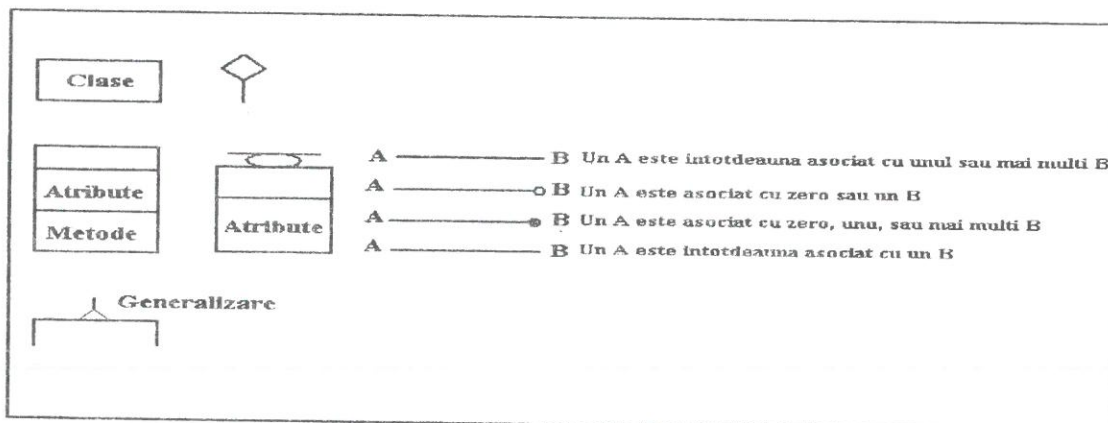


Figura 4. Diagrama obiect pentru structura statică

clasă reprezintă un set de obiecte cu atribute comune. Sunt asociate cu aceste obiecte diverse proceduri, metode sau funcții care definesc operații pentru a se obține un obiect particular. O clasă este identificată de o structură de date (aspect static) și operații (aspect dinamic). Toate obiectele din cadrul unei clase au aceleași caracteristici în raport cu forma lor (atributele) și comportamentul lor (operațiile) și comunică între ele folosind mesaje. În Orientarea Obiect, asocierile permit conexiunea claselor care compun un sistem. Aceste asocieri sunt caracterizate de cardinalitate numită adesea multiplicitate. Este imposibil să se vorbească despre moștenire fără a introduce noțiunea de *ierarhie*. Cele două ierarhii importante ale unui sistem sunt *structura clasa* (ierarhia "kind of" sau "is a"), numite și generalizare sau specializare, de exemplu, STRUCTURA cu POD, VIADUCT și ALTE\_STRUCTURI și *structura obiect* (ierarhia "part of" sau "has") numită și relație de agregare de

Reprezentarea modelului în Orientarea Obiect, care corespunde figurii 5, este o comparație simplă cu cea din modelul E/R. Între schimbările aduse se află și clasa PARTE\_DRUM ceea ce face posibilă sublinierea:

1. relației de agregare cu clasa DRUM;
2. relația de generalizare/specializare cu clasele DRUM\_SECTIUNE și INTERSECȚIE.

Numărul de relații și de atribute înregistrate în model s-a demonetizat ca rezultat al noțiunii de moștenire, care permite unei clase să utilizeze atributele și operațiile unei clase părinte, de exemplu, INTERSECȚIE (clasa părinte) și IEȘIRE\_AUTOSTRADĂ (clasa fiu). Aspectul spațio-temporal este evidențiat de aceleași clase (entități) ca și în modelul E/R.

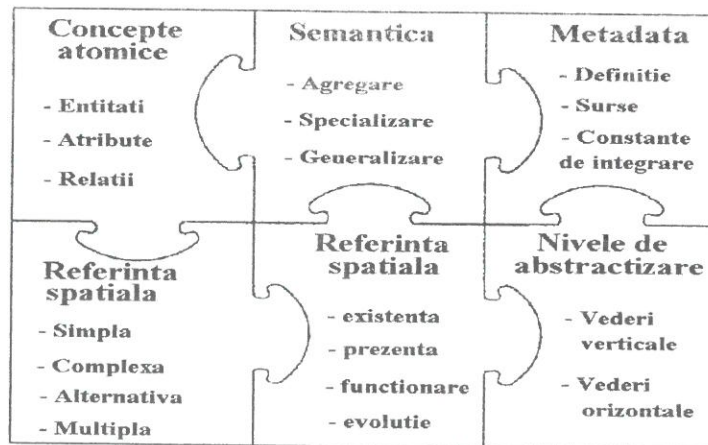


Figura 5. Module de formalism MODUL-R

### 2.2.3. Formalismul MODUL-R

#### Prezentarea formalismului

MODUL-R este un formalism de nivel conceptual, adaptat la bazele de date spațio-temporale. MODUL-R a permis ca noile cerințe din modelarea spațio-temporală să fie reconsiderate prin propunerea de tehnici de reprezentare a caracteristicilor temporale și geometrice ale entităților. Caracteristica principală a formalismului MODUL-R constă în capacitatea de a propune o formă unificată de modelare de referință complexă, temporală și spațială, folosind module destinate fiecărui context de proiectare. Toate aceste module sunt reprezentate în figura 6. Alte cercetări s-au orientat pe crearea de submodule pentru a modela, printre altele, și a administra structura geometrică a datelor [25]. Conceptele atomice ale formalismului modular sunt cele din modelul E/R, numite entități, atribute, relații. Acestor concepte li se adaugă și cardinalitatea și dependențele funcționale. Principiul ierarhic subliniază contribuția abordărilor Orientate Obiect la formalismul MODUL-R prin propunerea de integrare de noi concepte printre care agregarea, specializarea și generalizarea.

Referința spațială explicită permite determinarea de forme geometrice, necesare pentru a reprezenta entitățile spațiale, fără specificarea completă a structurii entităților geometrice la nivel conceptual ci doar a dimensiunii entității spațiale, care este indicată (0-D, 1-D, 2-D, 3-D). Pentru a face acest lucru, entitățile geometrice sunt considerate ca un set de submodule care sunt substituite de *pictograme* [19]. Aceste pictograme de referință spațiale, care apar în entitățile spațiale în stânga numelui de entitate, sunt substituite, la nivel conceptual, pentru una sau mai multe entități geometrice și relații pe entități spațiale/geometrice. Pictogramele spațiale sunt prezentate în figura 7. Referințele spațiale fac posibilă situația în care definirea tipului de geometrie a entităților poate fi modelat, pentru:

1. a statua necesitatea cu privire la cartografia obiectelor;
2. specificarea tipului de informație cartografică și care trebuie digitizată;
3. a facilita trecerea către implementarea pe un GIS.

O entitate semantică se poate caracteriza printr-o combinație de pictograme [14].

Se poate vorbi despre referința spațială:

1. *simplic*, ca entitate doar cu o geometrie per instanțiere, geometrie care este de același tip pentru toate instanțierile;
2. *complex*, o entitate care pune mai multe geometrii simultan pentru fiecare instanțiere (agregare spațială);
3. *alternativ*, o entitate ale cărei instanțieri pot fi reprezentate prin tipuri diferite de geometrie, dar numai unul la un moment dat;
4. *multiplu*, o entitate cu două sau mai multe forme nedeductibile pentru aceeași instanțiere. Ultimele trei combinate sunt reprezentate în figura 8.

Referința temporală funcționează aproape la fel ca referința spațială. Ea definește tipul de management temporal pentru a putea fi înțeles la fel ca formele temporale (0-D sau "instantaneu", 1-D sau "durată"). Există pictograme temporale de existență, prezență și de funcționare pentru entitățile și pictogramele temporale de evoluție pentru atribute. O entitate semantică poate fi caracterizată de o combinație de pictograme, rezultând, în acest caz, o referință temporală complexă, alternativă sau multiplă. Fiecare pictogramă este caracterizată de punctualitate sau durabilitate, așa cum apare în figura 9. Fiecare interpretare de pictogramă este o funcție a graficii înălțate în entitate sau relație (conform figurii 10). Existența pictogramelor face posibilă indicarea faptului că o entitate are o existență de durată sau punctuală. În ciuda acestor concepte de stabilitate și existență, aspectul temporal definește entitățile spațiale în termeni de prezență și de funcție. Aceste două elemente sunt destul de rare. Prezența informează când entitatea este fizic prezentă sau absentă în interiorul administrat (de exemplu, vehicule pentru urgențe), în timp ce funcția spune când o entitate este activă sau inactivă (de exemplu, secțiunea de stradă, rezervată pentru autobuze). Formalismul MODUL-R propune tehnici de specificare pentru a facilita înțelegerea modelului.

Aceste tehnici corespund la:

1. grupări de entități, care permit "n" instanțieri ale entităților componente, care formează o entitate complexă ce poate fi grupată respectând anumite reguli de grupare bine definite [13];
2. nivelurile de abstractizare ale căror componente semantice sunt, legând relații, entități și superentități;
3. generalizări sau specializări: entitățile grupate de generalizare cu caracteristici comune și superentitățile rezultante sunt virtuale, iar specializările ilustrează entitățile specializate, legate la o entitate generală. Superentitatea rezultantă este reală.



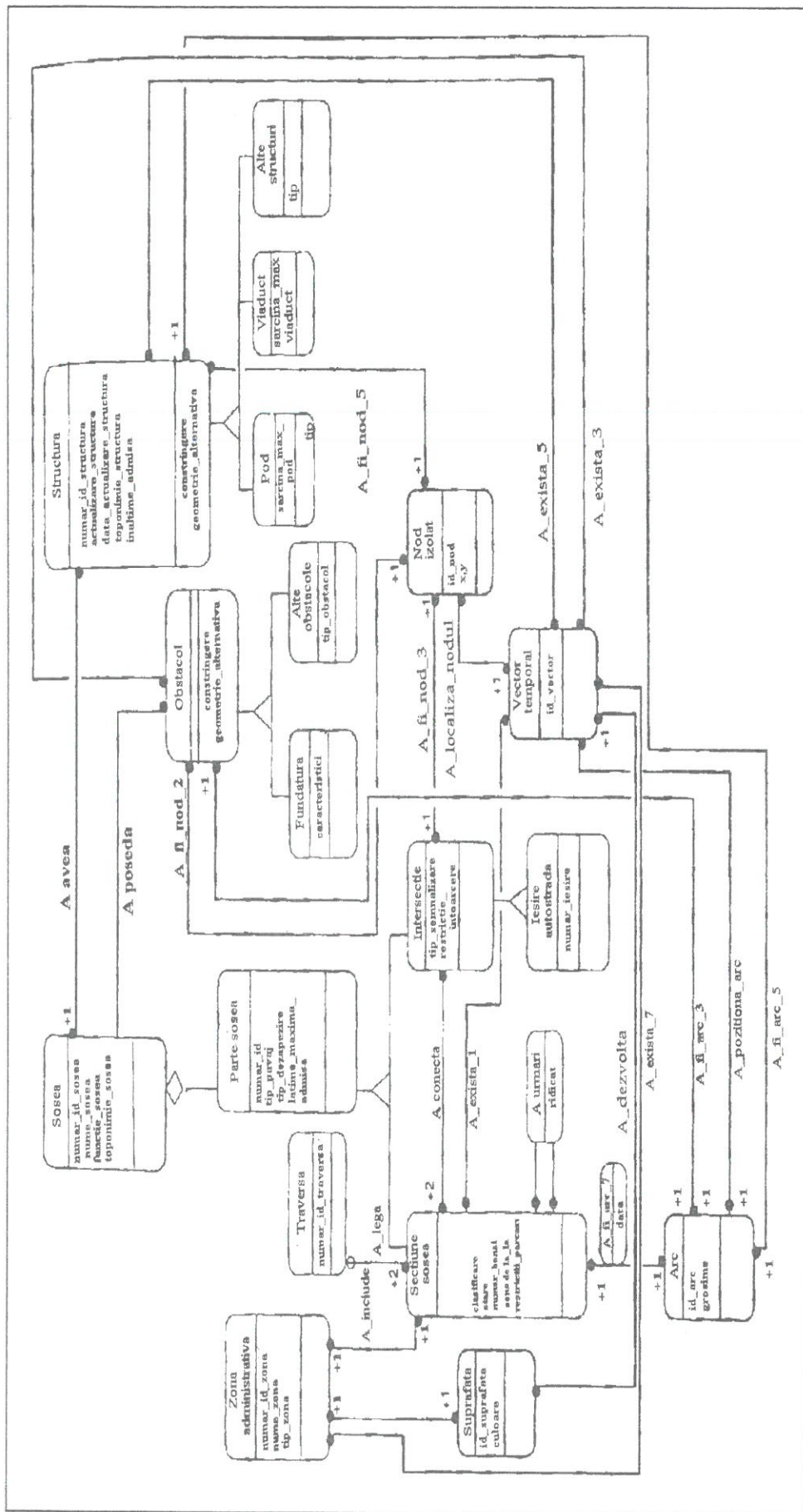


Figura 6. Model de date cu formalism Orientat-Obiect

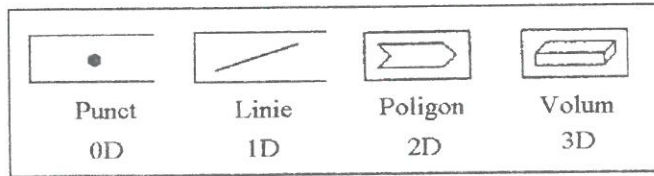


Figura 7. Pictograme Spațiale

Într-un formalism MODUL-R, dicționarul de date, asociat cu modelul de date conceptual, este dezvoltat explicit ca informație suplimentară în care se întâlnesc concepte definite în secțiunea de *modele de date conceptuale și dicționare de date*. Scopul este de a furniza informație completă pentru

- exemplu agregarea, generalizarea/specializarea și instanțierea prin crearea de super-clase și
- înlocuirea submodelului pentru management spațio-temporal prin pictograme.

În acest paragraf, s-au prezentat formalismele de modelare de date. O analiză succintă pune în

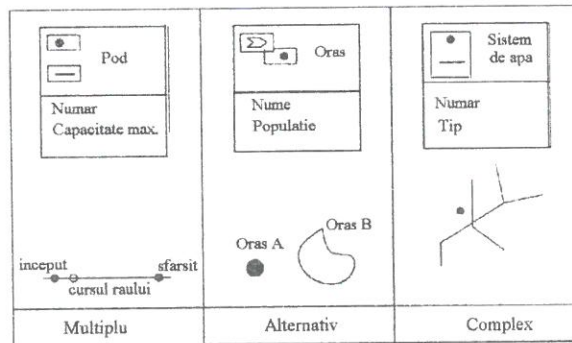


Figura 8. Tipuri de entități și pictogramele asociate

cei care colectează date, pentru a informa utilizatorii viitorului sistem și despre conținut și pentru a descrie anumite reguli legate de activitate ale organizării. Acest aspect explicit de metadata face formalismul MODUL-R mult mai inteligibil și explicit decât orice altă metodă de informare a utilizatorului în ceea ce privește fiecare atribut folosit în timpul dezvoltării sistemului.

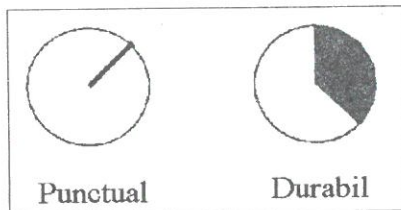


Figura 9. Pictograme temporale

Reprezentarea modelului

Datorită conceptelor propuse de formalismul MODUL-R, modelul reprezentat în figura 5 este mai puțin dens și, în consecință, mai lizibil. Acesta este, în esență, rezultatul a doi factori importanți:

- exploatarea anumitor elemente preluate din formalismul Orientat Obiect cu concepte ca de

evidență că formalismul MODUL-R are mai multe concepte disponibile pentru modelare și propune un model care este mai compact și intuitiv decât alte formalisme. MODUL-R se pare că este cel mai eficient formalism pentru modelarea bazelor de date spațio-temporale. Prima observație este analizată în detaliu în următorul paragraf.

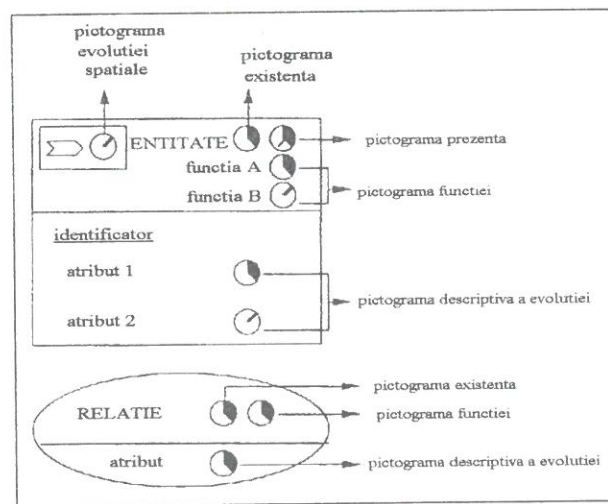


Figura 10. Interpretarea pictogramei corespunzător cu poziția acesteia

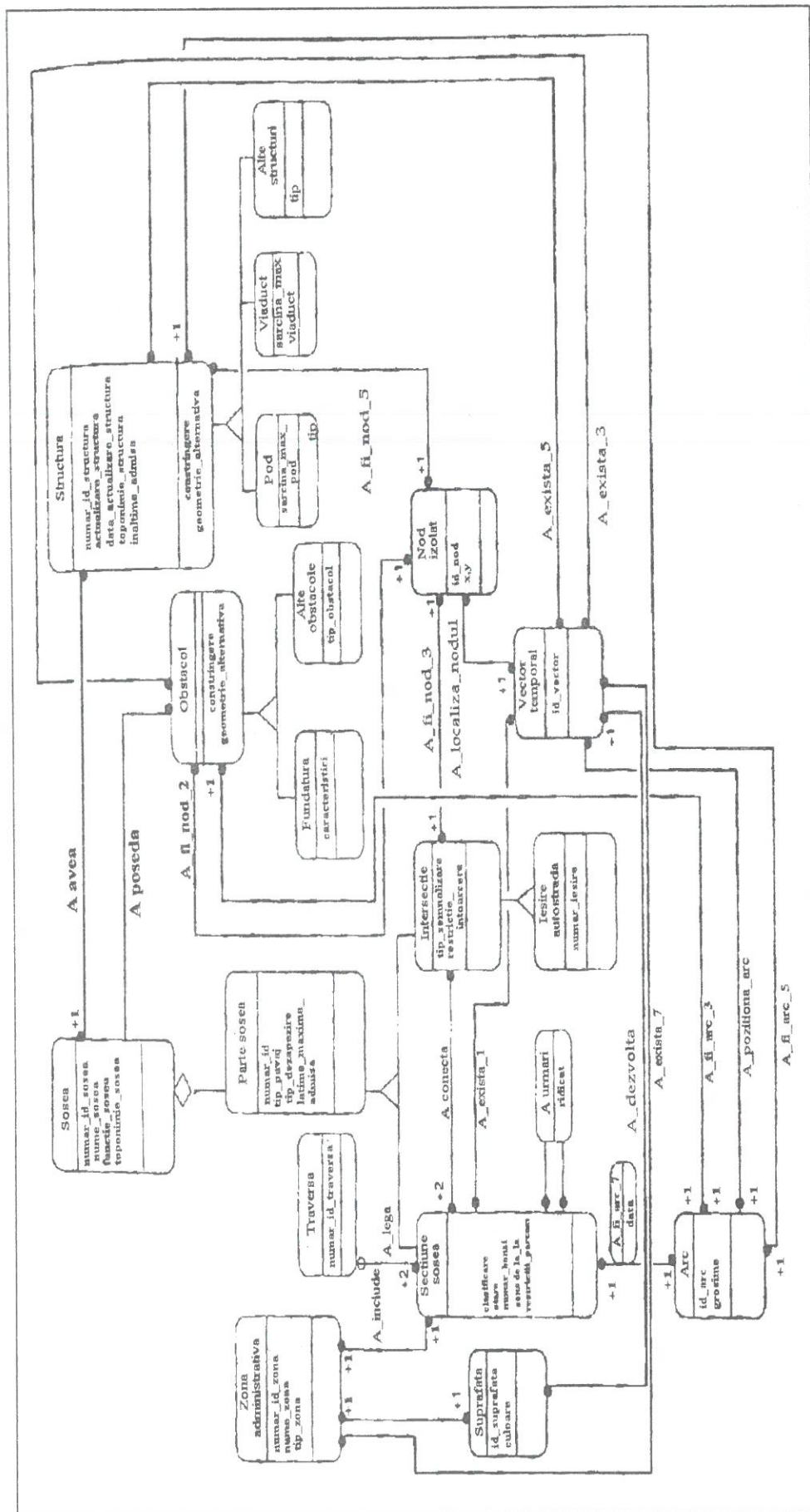


Figura 6. Model de date cu formalism Orientat-Obiect

### 3. Analiză comparativă

Alegerea unui tip de formalism depinde de numeroase criterii, incluzând: gradul de înțelegere pentru utilizator, demonstrarea aptitudinii pentru descrierea structurii, baza de discuție și de comunicație între cei implicați în proiect și simplitatea instrumentelor de proiectare [14].

Obiectivul demersului din acest paragraf este acela de a prezenta rezultatele unei analize comparative între formalismele prezentate, prin accentuarea diferențelor existente în termeni conceptuali, suportați de fiecare formalism, și faptul că ele pot fi ușor create.

Criteriile de comparație sugerate vizează, în principal, conceptele de modelare de date și țin cont de prezența:

- elementelor de modelare conceptuală cu concepte ca: obiect, obiect atribut, relație atribut, cardinalitate, nume de relație semantică, relație de recursivitate și dicționarul ca element semantic;
- elementelor de modelare orientate-obiect cu concepte ca: agregare și subtip;

- elementelor de prezentare spațio-temporală cu dicționar ca informație complementară;
- elementelor de modelare dinamică sau reprezentare de proces;
- elementelor de modelare ierarhică sau prin nivel de abstractizare.

În tabelul următor, se folosește "da" și "ușor" pentru a indica faptul că elementul comparativ, care trebuie considerat, este suportat de formalism sau este parte a conceptelor, în timp ce antonimele sunt indicate prin "nu" și "cu dificultate"; termenul "nu" indică absența elementului, în timp ce termenul "cu dificultate" indică faptul că formalismul se poate adapta pentru a suporta acest element comparativ (aceasta implică adăugări sau modificări inevitabile la conceptele formalismului). Tabelul următor subliniază diferențele care există între formalisme în raport cu conceptele de modelare.

Principalele noastre observații [27] care privesc bogăția de exprimare sunt următoarele:

- noțiunile de bază ca: obiect, obiect atribut, relație atribut, cardinalitate etc. se regăsesc în toate formalismele;
- caracteristicile Orientate - Obiect (moștenire, agregare, generalizare/specializare) se găsesc și în

Tabelul 1: Analiza comparativă în raport cu conceptele de modelare

Elemente de comparare	E/R (MERISE)	Orientare-Obiect (TMO)	MODUL-R
obiect	entitate	clasă	entitate
obiect atribut	atribut	atribut	atribut
relație atribut	atribut	nu	atribut
cardinalitate	da	(folosește clasa)	da
relație semantică	da	da (și/sau simbol)	da
relație recursivă	da	da	da
agregare	nu	da (agregare)	da (agregare)
sub-tip	nu	da (generalizare)	da (generalizare/ specializare)
constrângere de relație și/sau reprezentare spațio-temporală	nu	nu	nu
complement semantic în dicționar	cu dificultate	cu dificultate	ușor
complement spațio-temporal în dicționar	nu (metodă)	nu (metodă)	da
niveluri de abstractizare (vederi verticale)	da (software)	da (software)	da
aspect dinamic (metoda în MCD)	nu	nu	da (standardizate: în rezumat, tematice și în detaliu)
	da (model de proces conceptual)	da (nestandardizate) în module	nu
		da (diagrama obiect/grafic de stare)	

formalismul Orientare Obiect și în formalismul MODUL-R;

- conceptele de modelare spațio-temporală sunt asociate doar cu MODUL-R. În ceea ce privește alte abordări, se pot adăuga extensii similare acestor formalisme;
- spre deosebire de metodele Orientate Obiect, MODUL-R nu propune tehnici de modelare pentru componentele dinamice ale unui sistem (unei procesări); acesta lipsește formalismul particular de o etapă importantă în dezvoltarea sistemului;
- este posibil să se modeleze structura geometrică a obiectelor/entităților în formalismele TMO și MERISE prin adăugarea de obiecte suplimentare, obiecte/entități la model, corepunzătoare primitivelor geometrice (ceea ce face modelul mai dens). Ca și în cazul lui MODUL-R, nu este admisă pentru exprimarea structurii geometrice o structură care nu permite cunoașterea în timp a modelului conceptual creat ci, mai degrabă, pentru exprimarea formelor geometrice ale entităților ce vor fi referite în spațiu; în acest caz, folosirea de pictograme face modelul rezultat mai puțin dens și-l păstrează consistent în termenii obiectivelor;

ușurând sarcina și păstrând mai mult sau mai puțin aceeași dimensiune pentru modelul rezultat;

- pentru a suporta anumite caracteristici esențiale în modelarea spațio-temporală (în particular, constrângeri alternative pe entități, conform paragrafului dedicat formalismului MODUL-R) în metodele Orientate Obiect sunt introduse unele trucuri de modelare. Astfel, constrângerea alternativă este prezentă printr-o metodă asociată cu clasa/obiect (corespunzător entității); de exemplu Clasa: *Obstacol*; metoda: *Constrângere Alternativă\_Geometrie\_Obstacol*.

Dintr-o perspectivă globală, dacă se compară fiecare dintre formalismele studiate în ceea ce privește necesitatea de referințe spațiale și temporale descrise în *Necesități privind referințele spațiale și temporale*, este posibilă accentuarea formalismelor care sunt mult mai abile în a se adapta necesităților. Tabelul următor (tabelul 2) sintetizează rezultatele acestei comparații.

Este relevantă compararea cantitativă a componentelor celor trei modele în raport cu eficiența în crearea și editarea modelelor [27]. Structura spațio-temporală explicită, informația contextuală, dimensiunile mediului de lucru, diferitele forme

Tabelul 2: Analiza comparativă în raport cu necesitățile de referințe spațiale și temporale

	E/R (MERISE)	Orientare-obiect (TMO)	MODUL-R
Dimensiunea modelului rezultat	Mare	Medie	Mică
Specificarea structurii geometrice	Posibil, dar modelul rezultat este greoi	Posibil dar modelul rezultat este greoi	Posibil, cu pictograme
Inconsistențe în modelul țintă	Posibile inconsistente	Posibile inconsistente	Inconsistente eliminate de formalism
Informație contextuală	Neexplicit	Neexplicit	Explicit
Specificarea dimensiunii model (0-D, 1-D, 2-D sau 3-D)	Neexplicit	Neexplicit	Explicit
Exprimarea formelor geometrice alternative	Cu dificultate	Cu dificultate	Ușor
Exprimarea formelor geometrice complexe	Cu dificultate	Cu dificultate	Ușor

- dicționarul de date folosit cu formalismul MODUL-R conține multe *extensii*, în particular unele permit specificarea *informației contextuale*, legate de model precum și dimensiunea spațială a datelor cartografice (0-D, 1-D, 2-D sau 3-D). În final, în ceea ce privește *formele geometrice alternative, complexe și multiple* este posibil ca în formalismele TMO și MERISE să se adauge obiecte/entități suplimentare (care fac modelul greoi). În comparație, formalismul MODUL-R face posibilă combinarea diferitelor pictograme spațiale,

temporale și spațiale și eliminarea inconsistenței sporesc eficiența lui MODUL-R [6] [27].

## 4. Concluzii

Din punctul de vedere al structurii creierului uman și al funcționării lui [22] [7], pot fi determinante argumentele fundamentale pentru viitoarele caracteristici ale unui formalism optimal pentru modelarea conceptuală de date spațio-temporale.

Compararea celor două extreme (un formalism "literal în totalitate" și un formalism "în totalitate grafic") a permis să se evidențieze punctele tari și punctele slabe ale ambelor posibilități, ceea ce a condus la concluzia că un "formalism hibrid" poate să utilizeze efectiv toate capacitățile creierului.

Pe baza acestei aprecieri, cele trei formalisme existente ale formei "hibride" au făcut obiectul unui studiu comparativ detaliat cu privire la eficiența modelării datelor spațio-temporale: Entitate-Relație, TMO și MODUL-R.

Pornind de la această comparație, pare că MODUL-R are unele caracteristici specifice care ușurează, în mare parte, modelarea aspectelor spațio-temporale ale datelor, permițând crearea de modele care sunt mai compacte decât celelalte două formalisme. Prin compararea cu dicționarul de date tradițional, cel folosit cu MODUL-R conține numeroase extensii care permit să se detalieze caracteristicile temporale ale datelor.

Ca formalism Orientat Obiect, TMO, este pe de altă parte, singurul formalism studiat în ideea de a integra tehnicile de modelare pentru componentele dinamice ale unui sistem [2]. Se poate crede că acest aspect dinamic poate fi integrat eventual într-o versiune viitoare al MODUL-R. Accidental, se poate considera că se poate aplica pentru extensiile temporale și spațiale ale MODUL-R care se va integra altor formalisme, printre care unele care au fost studiate.

În final, dacă se adaugă extensiile spațio-temporale la formalisme cum ar fi TMO și E/R sau se adaugă modelarea de proces la MODUL-R, tendința este de a conduce către formalisme cu o mare bogăție de exprimare.

Această bogăție de exprimare este, de cele mai multe ori, în opoziție cu capacitate de a fi ușor de citit și înțeles [18]. Aceste două calități sunt esențiale într-un formalism eficient, care angajează creierul în totalitate. Se știe de mult faptul că este dificil să se schițeze procesul de creație al unui limbaj oarecare [7], [22]. Se va produce o negociere, în esență, care determină ce se găsește în schema de date și ce se găsește în dicționar.

La aceste două calități, mai trebuie adăugată una pentru dezvoltatul bazei de date: ușurința de a crea modele. Această calitate se situează, adesea, în opoziție cu bogăția de exprimare a unui formalism [9], [16], [21].

Există pe piață numeroase tipuri de software care pot să faciliteze crearea și editarea de modele de date.

Aceste instrumente pot fi clasificate în patru categorii:

1. software de trasare vectorială sau matrice (de exemplu: AutoCad, MicroStation, Corel Draw ș.a.)
2. software flowchart (de exemplu, Corel Flow, ABC Flowcharter etc.)
3. instrumente CASE (de exemplu, Silverrun, Designer, System Architect);
4. Meta-CASE (de exemplu, Object Maker, Developer, Paradigm plus).

Fiecare dintre categorii este superioară celei care o precede.

Din fericire, utilizarea instrumentelor computerizate de modelare, printre care se află și instrumente CASE, ușurează crearea de modele de date, păstrând și bogăția de exprimare.

Pentru a fi cu adevărat eficient pentru bazele de date spațio-temporale, din punct de vedere GIS, un instrument GIS trebuie să suporte extensiile necesare identificate în capitolul 3 ("Analiza comparativă") atât pentru formalism, cât și pentru dicționarul datelor computerizate. Trebuie să se ia în considerare aceste facilități în raport cu regulile de validare pentru model și să se ofere o generare automată de cod pentru GIS-uri.

Există instrumente CASE necomerciale, care oferă astfel de posibilități. Dezvoltatorii de baze de date spațio-temporale trebuie să se orienteze către software meta-CASE și să-l adapteze cerințelor lor. Aceasta a fost și soluția adoptată de o echipă de cercetători din Center for Research in Geomatics de la Laval University care a dezvoltat un astfel de instrument (ORION) folosind un instrument meta-CASE (Object-Maker) [4]. Acest prototip funcțional suportă formalismul MODUL-R, inclusiv un dicționar de date pentru referințele spațiale și temporale, și se generează automat cod pentru GIS.

## Bibliografie

1. ANSI/X3/SPARC: Interim report of the study group on database management systems, FDT (ACM SIGMOND Bulletin), 1975.
2. BRUNNSTEIN, K., A. HAUSLEIN, B. PAGE: DYNAMIS: A system for the interactive Support of Simulation Modelling and Experimentation. Proc. 2nd European Simulation Congress, Antwerp, Belgium, 1986.
3. BROOKES, C.H., P.J. GROUSE, D.R. JEFFERY, M.J. LAWRENCE: Information Systems Design, Prentice-Hall of Australia, Sydney, 1982.
4. BEDARD, Y., J.-J. CHEVALLIER: Processus de modélisation dans les systèmes

- d'information à référence spatiale. Internal document, GIS Laboratory, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, 1989.
5. **BOUTIN, G.:** Etude de l'applicabilité d'une méthode traditionnelle de conception des systèmes d'information dans le contexte d'un système d'information à référence spatiale. M.Sc. Thesis, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, April, 1988.
  6. **BEDARD, Y., P.D. GAGNON, D. VALLIERE:** Le formalisme MODUL-R 2.01 et le dictionnaire de données pour la conception des bases de données spatio-temporelles. Research document, Center for Research in Geomatics, Laval University, 1994.
  7. **BUZAN, T.:** Use both sides of your brain. Revised and updated edition. New York: E.P. Dutton Inc., 1983.
  8. **CARMICHAEL, A.:** Object development methods. Advances in Object Technology, New York: SIGS Books Inc., 1994.
  9. **CALVINELLI, D., M. MAIGUENAUD:** CIGALES a visual query language for a geographical information system: The user interface. Journal of Visual Languages and Computing, 5 (June), 1994.
  10. **CARON, C.:** Nouveau formalisme de modélisation conceptuelle adapté aux SIRS. M.Sc. Thesis, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, 1991.
  11. **CHEN, P.P.-S.:** The entity-relationship model: Toward a unified view of data. ACM TODS, 1976.
  12. **DEAN, T.L., D.V. MCDERMOTT, D.V.:** Temporal data base management. Artificial Intelligence, 32(1), 1987.
  13. **GAGNON, P.D.:** Concepts fondamentaux de la gestion du temps dans les SIG. M.Sc. Thesis, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, 1993.
  14. **GAGNON, P.D.:** MODUL-R version 2.0., Internal document - SDIAM Project for Intergraph, Centre for Research in Geomatics, Laval University, September, 1993.
  15. **HARVEY, G., B. MOULIN, B.:** Revue et comparaison de quelques méthodes de conception de systèmes orientés-object. ICO, 5(2), 193.
  16. **LEE, Y.C., F.L. CHIN:** A query language based on a spatially intuitive grammar. Proceedings: Canadian Conference on GIS, March, Canadian Institute of Survey and Mapping, Ottawa, 1991.
  17. **MOULIN, B., C.L. NGUYEN:** La technologie orientée vers objet: Evolution ou révolution? ICO, 5(2), 1993.
  18. **MUCCHIELLI, R.:** Les méthodes actives dans la pédagogie des adultes, Edition ESF, Paris, 1979.
  19. **MACKINLAY, J.:** Automating the design of graphical representation of relational information. ACM Transaction on Graphics, 5(2), 1986.
  20. **PAQUETTE, F.:** Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion et l'aménagement de la forêt Montmorency. M.Sc. Thesis, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, 1990.
  21. **PROULX, M.-J.:** Développement d'un nouveau langage d'interrogation de bases de données spatio-temporelles. M.Sc. Thesis, Department of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, May, 1995.
  22. **RICO, G.L., J.P. TARCHER, J.P.:** Writing the natural way: Using right-brain techniques to release your expressive power, U.S.A, 1983.
  23. **RUMBAUGH, J., M. BLAHA, W. PREMERLANI, F. EDDY, W. LORENSEN:** Object-oriented modeling and design, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
  24. **TARDIEU, H., A. ROCHFELD, R. COLLETTI:** La Méthode Merise, tome 1, principes et outils, Les éditions d'organisation, Paris 1986.
  25. **WEBSTER, C. J., C.N. OMARE:** Structured methods for GIS design - Part 2: An object-oriented system for physical plan monitoring. Computer Environment and Urban Systems, 18(1), 1994.
  26. **BUOGO, A.:** L'intégration de l'information et les systèmes d'information à référence spatiale", M. Sc. Thesis, Dept. of Geomatic Sciences, Faculty of Forestry and Geomatics, Laval University, Quebec, Canada.
  27. **IONIȚĂ, A.:** Sistem suport pentru decizie cu aplicații la sistemele naturale, Teză de Doctorat, UPB-Fac. de Automatică, mai, București, 1998.