

In questo modulo sarà presentata un'introduzione ai concetti teorici di progettazione delle basi di dati spazio – temporali, per la cui applicazione si rimanda alla letteratura corrente.

Basi di dati spazio - temporali

Prof. Michele Tarantino

Tutti i diritti riservati.

Il presente testo può essere utilizzato liberamente per motivi di studio, didattica e attività di ricerca purché sia presente il riferimento bibliografico.



La necessità di conservare grandi quantità di dati e informazioni in modo permanente è un problema rilevante nel mondo moderno. Con il crescere del volume delle informazioni, l'importanza di renderle disponibili in tempi rapidi e la facile reperibilità dei dati ha portato alla realizzazione di applicazioni che sfruttano basi di dati e i sistemi per la loro gestione, denominati *DBMS (DataBase Management System – Sistema di gestione di basi di dati)*.

Una *base di dati* è una collezione di dati correlati, omogenei e logicamente coerenti che rappresentano informazioni del mondo reale, talvolta detto *mini-mondo* o *universo del discorso*. Quindi, i cambiamenti nel *mini-mondo* si riflettono in cambiamenti nella base di dati. Un assortimento casuale di dati non può essere considerato correttamente una base di dati. Per *dati* si intendono fatti noti e conosciuti che hanno un significato intrinseco. Presi singolarmente non hanno alcun significato, mentre presi nel contesto specifico dell'informazione hanno un ruolo ben preciso: la rappresentazione dell'informazione stessa.

Solitamente una base di dati è solo una parte di una struttura più estesa, che viene denominata comunemente *Sistema Informativo*. In senso ampio, con il termine *Sistema Informativo* si intende l'insieme delle procedure e delle infrastrutture che definiscono e supportano il fluire delle informazioni all'interno di una struttura organizzativa, a prescindere dal fatto che questa si appoggi a elaboratori elettronici. Comunemente con l'espressione *sistema informativo* si identifica anche l'infrastruttura elettronica e applicativa utilizzata a supporto dell'attività di un'organizzazione.

Una caratteristica fondamentale di una base di dati è il livello di astrazione dei dati, nascondendo la maggior parte dei dettagli sulla memorizzazione dei dati stessi, non necessaria alla maggioranza degli utenti.

In passato, l'informazione che veniva rappresentata attraverso le basi di dati, era per lo più di tipo alfanumerico, ossia le informazioni venivano rappresentate attraverso caratteri e numeri. Già dagli anni '50 con l'avvento dell'informatica, sono stati sviluppati i primi modelli per l'utilizzo e il mantenimento delle mappe geografiche.

Negli ultimi decenni, la ricerca si è concentrata sugli aspetti temporali delle informazioni, ossia lo studio di metodi per definire proprietà che riguardano i cambiamenti dell'informazione che rappresenta l'*universo del discorso*.

In questo capitolo verranno presentati brevemente la rappresentazione delle informazioni spaziali e la rappresentazione delle informazioni temporali. Nell'ultimo paragrafo verranno descritte le fasi necessarie alla realizzazione di una base di dati spazio-temporale.



Informazioni spaziali

Negli ultimi decenni si sono sviluppati sistemi informativi per il trattamento e il supporto di dati geografici denominati come *Sistemi Informativi Geografici (GIS – Geographic Information System)*. Tali sistemi permettono la memorizzazione (inserimento in un sistema di coordinate) e l'elaborazione di dati spaziali. Un *dato spaziale* rappresenta un oggetto geografico a cui viene associata una descrizione e una componente spaziale che comprende gli aspetti geometrici dell'oggetto (posizione, forma, orientazione e dimensione dell'oggetto) e aspetti topologici (relazioni spaziali tra oggetti) nelle dimensioni \mathbf{R}^2 o \mathbf{R}^3 .

In generale, i sistemi informativi geografici supportano due distinte visioni: la *visione ad oggetti* del dominio di interesse e la *visione a campi*. Le modalità di rappresentazione dei dati spaziali avvengono attraverso il formato *raster*, dove i dati spaziali vengono definiti tramite una matrice regolare di elementi, e il formato *vettoriale*, dove i dati spaziali vengono rappresentati come punti, linee e poligoni in un sistema di coordinate.

Visione ad oggetti

Secondo la visione ad oggetti ogni posizione dello spazio o della superficie può essere occupata da oggetti. Ogni oggetto spaziale (definito come oggetto **georeferenziato**) è un'entità concreta del mondo reale che ha una sua posizione nello spazio (o sulla superficie), una geometria ed eventualmente un orientamento.

La geometria di un'entità georeferenziata è rappresentata dall'insieme di punti dello spazio che l'entità occupa. Quindi, la geometria determina sia la sua posizione, sia la sua forma. I tipi di dato geometrico primitivo per rappresentare una geometria possono essere abbinati a forme, insiemi di punti, insiemi di linee, insiemi di poligoni e collezioni (insiemi generici).

Visione a campi

La visione a campi rappresenta oggetti geografici le cui istanze rappresentano un'area in cui il parametro ha valore uniforme. Esempi di visione a campi sono la temperatura, l'altitudine, ...

Un campo è una funzione da un dominio spaziale definito dal suo campionamento in un insieme di valori. Un campionamento rappresenta il dominio spaziale della funzione che identifica il campo e definisce in che modo saranno organizzati i dati del campo.

I tipi di campionamento possibili sono insiemi regolari o irregolari di punti, insiemi di linee e insiemi di poligoni.



Relazioni spaziali

Le relazioni spaziali possono essere di tre tipi:

- *relazioni metriche*: impongono vincoli specifici tra le due entità georeferenziate e identificano concetti come *vicinanza* o *lontananza*;
- *relazioni direzionali*: confrontano le posizioni relative di due oggetti rispetto ad un sistema di riferimento per la direzione. Sono relazioni booleane che identificano proprietà come *più a Est*, *sopra*, *sotto*, *a sinistra di*,... ;
- *relazioni topologiche*: identificano proprietà topologiche come ad esempio la *connettività*, *l'orientamento*, *l'adiacenza* e il *contenimento*, che sono basate sulla posizione degli oggetti nello spazio.

Le relazioni metriche e le relazioni direzionali necessitano di un'unità di misura o di un sistema di direzioni, e tali relazioni non sono preservate con trasformazioni di scalatura e rotazione. Per questo motivo, tutti i modelli concettuali per la progettazione di basi di dati spaziali mettono a disposizione le relazioni topologiche (disgiunzione, adiacenza, uguaglianza, inclusione, copertura, sovrapposizione).

Informazioni temporali

Una tematica che ha riscosso interesse all'interno della comunità delle basi di dati è lo studio dei metodi per rappresentare ed inferire proprietà relative ai cambiamenti che avvengono durante la vita delle informazioni contenute all'interno di una base di dati. I dati contenuti all'interno di una base di dati possono cambiare nel tempo, in funzione della realtà che rappresentano e modellano. Una base di dati priva di supporto temporale rappresenta un'istantanea della realtà modellata e non permette l'identificazione dell'evolversi nel tempo delle informazioni.

Le basi di dati temporali sono state create per far fronte all'esigenza di rappresentare da un lato l'evolversi dell'oggetto nel dominio del tempo dell'universo modellato, e dall'altro i cambiamenti in funzione del tempo di gestione della base di dati. Per far fronte a tali esigenze sono state introdotte diverse dimensioni temporali, oltre che un insieme di relazioni di sincronizzazione.

Prima di analizzare questi elementi in dettaglio, si fornisce la definizione di *fatto*: un *fatto* è un predicato a cui è possibile assegnare un valore di verità.



Tempo di validità

Il tempo di validità di un *fatto* è l'intervallo di tempo in cui il fatto è vero nella realtà modellata. Il tempo di validità è usualmente inserito dall'utente all'interno della base di dati. Ad esempio, si consideri l'età anagrafica di una persona: viene rappresentata attraverso l'attributo *età* di un'entità *Persona*. "L'età di Mario Rossi è 25" è un predicato (o fatto) che è vero nell'intervallo di tempo per cui *Mario Rossi* ha compiuto 25 anni e rimarrà vero finché non compirà 26 anni.

Tempo di esistenza e lifespan

Il tempo di esistenza di un oggetto definisce l'intervallo di tempo in cui l'oggetto esiste nella realtà modellata. Analogamente, il tempo di esistenza di un oggetto *O* può essere definito come il tempo di validità del fatto "*O esiste*" [Tryfona, Jensen 1998].

Di per sé, il tempo di esistenza non rappresenta aspetti relativi al ciclo di esistenza dell'oggetto in questione. Per questo motivo è stato introdotto il concetto di *Lifespan*, che identifica i possibili stati di esistenza dell'oggetto.

Il lifespan (LS) di un oggetto *x* è una funzione dal dominio del tempo in un insieme $\Sigma_x = \{\sigma_1, K, \sigma_n\}$ di stati. L'insieme Σ_x può essere uno degli insiemi standard forniti dal modello oppure un insieme definito appositamente. Inoltre, possono essere definiti dei vincoli sul passaggio da uno stato σ_n a allo stato σ_{n+1} .

Per la rappresentazione degli stati e dei possibili cambiamenti di stato, viene introdotto il concetto di diagramma di transazione di stato (grafo connesso) che identifica i possibili stati di esistenza in cui l'oggetto si può trovare.

Un diagramma di stato è rappresentato da una tupla $\Delta = (\Sigma, K, \alpha, \epsilon, \Sigma_s, \Sigma_d)$, dove:

Σ è un insieme di stati.

$K \subseteq \Sigma \times \Sigma$ è un insieme di vincoli (coppie di stati).

α è un sottoinsieme non vuoto di Σ che rappresenta gli stati attivi (stati in cui l'oggetto è attivo ed è presente nella base di dati).

ϵ è un sottoinsieme non vuoto di Σ che rappresenta i punti di ingresso al grafo di transizione di stato.

Σ_s è un sottoinsieme non vuoto di Σ che rappresenta gli stati programmati (*scheduled*) e quindi identifica un oggetto che è stato creato nella base di dati ma nel mondo reale non ha ancora fatto la sua comparsa. Sull'insieme Σ_s valgono le seguenti regole:

- Gli stati programmati non possono essere attivi: $\Sigma_s \subseteq \Sigma - \alpha$
- Se uno stato programmato non è raggiungibile da alcuno stato, allora deve essere un punto di ingresso: $\forall \sigma_s \in \Sigma_s (\neg \exists \sigma \mid (\sigma, \sigma_s) \in K \Rightarrow \sigma_s \in \epsilon)$
- Uno stato programmato è raggiungibile esclusivamente da un altro stato programmato: $\forall (\sigma, \sigma_s) \in K (\sigma_s \in \Sigma_s \Rightarrow \sigma \in \Sigma_s)$

Σ_d è un sottoinsieme non vuoto di Σ che rappresenta gli stati morti (*dead*), ossia l'insieme di tutti gli oggetti che sono esistiti nel mondo reale ma non esistono più e non torneranno più ad esistere. Sull'insieme Σ_d valgono le seguenti regole:

- Gli stati morti non possono essere attivi: $\Sigma_d \subseteq \Sigma - \alpha$
- Gli stati morti non possono essere programmati: $\Sigma_d \cap \Sigma_s = \emptyset$
- Da uno stato morto si può raggiungere solo un altro stato morto: $\forall (\sigma_d, \sigma) \in K (\sigma_d \in \Sigma_d \Rightarrow \sigma \in \Sigma_d)$

A titolo di esempio si fornisce un diagramma di transizione di stato per il ciclo di vita di una persona [Burigo 2005, pag. 101]. Il nome del diagramma è espresso in alto. La lettera "s" racchiusa fra parentesi quadre dopo il nome degli stati *Non Nato* e *Concepito* indica che tali stati sono programmati. La lettera "d" racchiusa fra parentesi quadre dopo il nome dello stato *Morto* indica che tale stato è uno stato morto. Il fatto che il nome dello stato *Vivo* sia scritto in grassetto indica che questi è considerato uno stato attivo. Il fatto che i tre stati *Non Nato*, *Concepito*, e *Vivo* abbiano il bordo più spesso indica che tali stati sono dei punti di ingresso al diagramma.

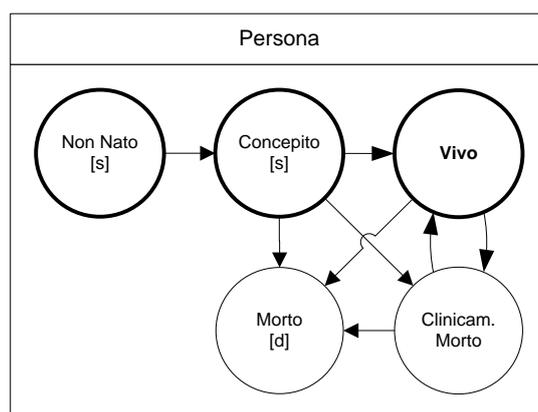


Diagramma di stato per il ciclo di vita di una persona

Tempo dell'evento

Il tempo dell'evento di un fatto è il tempo di occorrenza di un evento del mondo reale che inizia o termina l'intervallo di validità del fatto [Combi, Montanari 2001].



Definisce gli istanti di tempo in cui si verifica l'evento che ha causato l'inizio e la fine dell'intervallo di validità del fatto ed è definito pertanto come una coppia di istanti temporali $\langle ET_i, ET_t \rangle$ che rappresentano rispettivamente l'istante dell'evento che inizia il periodo di validità (tempo dell'evento iniziante) e l'istante dell'evento che determina la fine del periodo di validità (tempo dell'evento terminante). Sia il tempo dell'evento iniziante sia il tempo dell'evento terminante possono essere precedente al periodo di validità (evento *postattivo*), contemporaneo (evento *attivo*) o successivo (evento *retroattivo*).

Tempo di transazione

Il tempo di transazione di un fatto è l'intervallo di tempo in cui il fatto è ritenuto valido nella base di dati e può essere recuperato. Il tempo di transazione è automaticamente generato dal sistema nel momento in cui il dato viene inserito, modificato o cancellato logicamente.

Tempo di disponibilità

Spesso un'informazione o dato contenuto all'interno di una base di dati può non rispecchiare completamente l'oggetto che rappresenta nella realtà modellata; ad esempio, l'oggetto della realtà modellata è stato modificato e l'informazione che lo rappresenta all'interno della base di dati non è stata ancora aggiornata nella base di dati. Il tempo di disponibilità definisce l'intervallo di tempo durante il quale l'informazione è ritenuta corretta dal sistema informativo che utilizza la base di dati in questione. Il tempo di disponibilità può essere visto come il tempo di transazione del sistema informativo.

Questo supporto temporale è fondamentale in processi decisionali cruciali. La conoscenza della correttezza dell'informazione è di vitale importanza per i processi decisionali.

Relazioni di sincronizzazione

Gli oggetti che supportano una dimensione temporale possono essere collegati tra loro attraverso una relazione di sincronizzazione. Le relazioni di sincronizzazione sono delle associazioni binarie che impongono vincoli temporali sulle istanze delle entità coinvolte. Solitamente, le relazioni di sincronizzazione coinvolgono il tempo di esistenza delle entità.

Le relazioni di sincronizzazione utilizzano sette possibili vincoli tra due intervalli, definiti come operatori di *Allen* [Allen 1983]:



- prima: (*relazione asimmetrica*) L'intervallo di esistenza della prima entità finisce prima che inizi l'intervallo di esistenza della seconda entità;
- incontra: (*relazione asimmetrica*) L'intervallo di esistenza della prima entità finisce esattamente quando inizia l'intervallo di esistenza della seconda;
- sovrappone: (*relazione asimmetrica*) L'intervallo di esistenza della prima entità finisce dopo l'inizio dell'intervallo di esistenza della seconda, ma prima che il secondo intervallo termini;
- inizia: (*relazione asimmetrica*) I due intervalli di esistenza iniziano contemporaneamente, ma quello della prima entità termina prima;
- uguaglia: (*relazione simmetrica*) Gli intervalli di esistenza delle due entità coincidono;
- durante: (*relazione asimmetrica*) L'intervallo di esistenza della prima entità è interamente contenuto nell'intervallo di esistenza della seconda;
- finisce: (*relazione asimmetrica*) I due intervalli di esistenza terminano contemporaneamente, ma quello della prima entità inizia dopo.

Progettazione di una base di dati spazio-temporale

La progettazione di una base di dati, indipendentemente dal tipo di dati che si vuole rappresentare, avviene in tre fasi principali.

La prima fase, definita come *progettazione concettuale*, descrivere la struttura di una base di dati (tipi di dato, associazioni, vincoli, ...) e fornisce concetti della realtà che si vuole modellare che sono vicini al modo in cui molti utenti percepiscono i dati. Tale progettazione avviene utilizzando un *modello di dati concettuale* o *ad alto livello* che fornisce l'astrazione necessaria. L'input di tale progettazione è l'analisi dei requisiti funzionali, che determinano la completezza dello schema concettuale.

La seconda fase, definita come *progettazione logica*, definisce la struttura implementativa della base di dati, ossia definisce i dettagli sul modo in cui i dati sono memorizzati e possono essere recuperati. Sostanzialmente, la progettazione logica traduce il modello concettuale proposto nella fase precedente in un modello logico predefinito che può essere utilizzato da un sistema di gestione di basi di dati.

La terza fase, definita come *progettazione fisica*, consiste nella creazione di un modello fisico compatibile con il sistema di gestione di basi di dati che sia in grado di gestire fisicamente i dati. Vengono definiti generalmente la tipologia degli indici da creare, la minima unità di salvataggio su disco, la dimensione iniziale del file, la dimensione delle unità di espansione e molte altre operazioni. Generalmente tali operazioni



sono create direttamente dal sistema, senza intervento umano. Diversi sistemi di gestione di basi dati, utilizzano diversi modelli fisici anche se derivano dallo stesso modello logico.

Dal punto di vista spaziale gli oggetti devono essere rappresentati in termini del modello logico sottostante definito come *modello geografico*, il quale permette di modellare gli aspetti geometrici e topologici nel sistema di gestione della base di dati. Le informazioni spaziali di un oggetto geografico non corrispondono ad alcun tipo di dato standard e quindi occorrono nuovi strumenti per la rappresentazione di tali informazioni, definiti come *modelli concettuali spaziali*.

I modelli concettuali spaziali più diffusi sono ad esempio: il modello Giser (Geografic Information System Entity Relation model), il modello GeoER (Geografic Entity-Relationship), il modello GeoIFO (Geografic IFO), il modello Mgeo e molti altri.

Nelle basi di dati temporali viene definita una terza componente, ossia il *tempo*. Tale componente permette di rappresentare informazioni aggiuntive riguardanti l'esistenza dell'informazione. Le informazioni temporali possono essere rappresentate attraverso dati predefiniti. A livello concettuale vengono rappresentate da *modelli concettuali temporali*.

I modelli concettuali temporali più diffusi sono ad esempio: il modello Rake (Relationship, Attributes, Keys and Entities), il modello Teer, il modello Itdm (Integrated Temporal Data Model), il modello STEER (Semantic Temporal EER), il modello Chrono e molti altri.

Le basi di dati che rappresentano contemporaneamente le informazioni spaziali e supportano dimensioni temporali sono definite come basi di dati spazio-temporali e presentano parte delle caratteristiche delle basi di dati spaziali e delle basi di dati temporali. Tuttavia, in letteratura esistono ancora pochi modelli in grado di rappresentare sia gli aspetti spaziali sia gli aspetti temporali. Tra i più importanti ci sono il modello Ster (Spatio-Temporal Entity Relationship), il modello Mads (Modélisation d'Applications à Données Spatiales – modellazione di dati applicativi con caratteristiche spaziali), il modello Sted (Spatio Temporal Enviroment Data) e il modello St Usm (Spatio-Temporal Unifying Semantic Model).

I modelli concettuali per la progettazione di basi di dati spazio-temporali sono limitati sotto alcuni o più aspetti. L'assenza di un adeguato modello concettuale per la progettazione di basi di dati spazio-temporali di tipo relazionale ha motivato la proposta di un nuovo modello concettuale. Tale modello presentato nel prossimo capitolo è stato denominato *Modello ChronoGeoGraph*.



Resta connesso e informato sui prossimi eventi, corsi e seminari:

Web

www.profmicheletarantino.com

Email

profmicheletarantino@gmail.com

Telefono

349 83 54 521

Facebook

[@micheletarantinodocente](https://www.facebook.com/micheletarantinodocente)

Instagram

[@profmicheletarantino](https://www.instagram.com/profmicheletarantino)

Hai bisogno di un modulo personalizzato? Non esitare a contattarmi!