

Basi di Dati

Luca Seggiani

16 maggio 2024

1 Introduzione alla base di dati relazionale

Una base di dati (in inglese "database") è una mole di dati organizzata in modo da favorirne la consultazione attraverso determinate interrogazioni ("query"). Formalmente, una base di dati è un archivio di dati contenente informazioni ben strutturate organizzate secondo un modello logico (nel caso di MySQL un modello relazionale).

L'elemento fondamentale di una base di dati fondata sul modello relazionale è la **Tabella**, formata da colonne (associate a determinati attributi), e righe (che rappresentano record dei suddetti attributi). Una colonna particolare, che deve differire per ogni record della tabella, viene detta chiave primaria e serve a distinguere tra di loro record (che potrebbero essere altrimenti stati tra di loro identici!).

L'interrogazione della base di dati si effettua attraverso le cosiddette query, ovvero richieste compilate in linguaggio SQL (Structured Query Language), un linguaggio dichiarativo sviluppato appositamente per questo scopo. La query più semplice si basa su tre istruzioni: SELECT, FROM e WHERE. Prendiamo l'esempio in lingua naturale di un'interrogazione a una base di dati contenente dati su diverse persone (nello specifico, nome, cognome, età e codice fiscale come chiave.):

Riportare nomi e cognomi di tutte le persone con età maggiore di 40 anni.

In questo caso gli attributi di interesse sono i nomi e cognomi (in quest'ordine) delle persone valide, e la condizione è un'età maggiore di 40 anni. Di fronte a questa richiesta, la base di dati risponderà fornendo un insieme risultato (result set) contenente una tabella formata esattamente dalle informazioni richieste. In SQL potremmo definire tale query come segue:

```
1 SELECT Cognome , Nome
2 FROM Persona
3 WHERE Eta > 40
```

in questo caso, cognome e nome sono gli attributi di interesse che verranno inseriti nel nostro insieme risultato (attraverso un processo chiamato proiezione). La tabella persona sarà la fonte dei nostri dati, e età > 40 la nostra condizione.

Le condizioni in SQL supportano anche i classici operatori logici (AND, OR, ecc...). Un operatore degno di nota, applicabile ai soli dato di tipo numerico o su cui è comunque stabilita una relazione d'ordine, è il BETWEEN, che permette di selezionare (estremi inclusi) tutti i valori in un dato range.

Duplicati

2 righe risultano uguali se tutti gli attributi del record hanno valori identici. Non si possono avere righe uguali in tabelle SQL (la chiave distingue), ma è possibile avere duplicati tra gli attributi non chiave, con quindi risultanti problemi dati dalla proiezione di tali attributi su insiemi risultato privi di attributo chiave. Nel caso si rendesse necessario eliminare i duplicati da una data query, l'SQL offre il costrutto SELECT DISTINCT. Si nota che il costo per l'eliminazione dei duplicaty è computazionalmente $O(n^2)$, e quindi da evitare quando possibile.

Valori NULL

I valori NULL corrispondono solitamente a informazioni mancanti, non disponibili o comunque sconosciute. Qualsiasi condizione che coinvolge valori NULL è sempre falsa, compreso il confronto fra stessi NULL. È possibile utilizzare i valori NULL assegnandoli un valore semanticamente definito (e.g. una data non definita perchè non ancora determinata, ecc...). In questo caso, l'SQL offre i costrutti IS NOT NULL e IS NULL, che restituiscono rispettivamente falso e vero posti accanto ad un valore NULL. Si nota inoltre che la chiave di un record non può essere NULL.

Gestione delle date in SQL

Come per tutti i sistemi UNIX, le date in SQL vengono rappresentate come una distanza in secondi dalla mezzanotte del primo gennaio 1970 (il cosiddetto tempo di riferimento EPOCH, *EPOCH reference*).

Formato di data Esistono 2 tipi di dato data in SQL: DATE (formato YYYY-MM-DD) e TIMESTAMP (formato YYYY-MM-DD HH:MM:SS). La manipolazione di date è possibile attraverso la funzione DATE_FORMAT, che consente di cambiare il formato o effettuare manipolazioni d'utilità. Ad esempio potrò avere:

```
1 SELECT Matricola, DATE_FORMAT(DataLaurea, '%d|m|Y, %w')
2 FROM Studente
3 WHERE DataLaurea > 12-7-2004
```

che prende tutti gli studenti laureati dopo il 12 luglio 2004 e ne riporta il nome di matricola e la data formattata come DD-MM-YYYY + settimana. ancora, per includere ad esempio gli studenti laureati di mercoledì:

```
1 SELECT Matricola
2 FROM Studente
3 WHERE DATE_FORMAT(DataLaurea, '%w') = 3
```

dove il '%w' restituisce il giorno della settimana di DataLaurea. Qualsiasi ulteriore informazione sui formati delle date può essere trovata al link:

https://www.w3schools.com/sql/func_mysql_date_format.asp

Poniamoci adesso il problema di restituire i cognomi di tutti gli studenti laureati 5 anni fa, ovvero con un offset di 5 anni rispetto alla data attuale. Servirà chiaramente un qualche riferimento alla data di oggi, che l'SQL fornisce con la parola chiave CURRENT_DATE. Potrò quindi avere:

```
1 SELECT DISTINCT Cognome
2 FROM Studente
3 WHERE DataLaurea IS NOT NULL
4 AND YEAR(DataLaurea) = YEAR(CURRENT_DATE) - 5
```

si noti che abbiamo usato l'operatore "-": l'SQL fornisce anche la funzione DATEDIFF(dataRecente, dataRemota), che restituisce il numero di giorni che separano due date. Nota bene: somme e sottrazioni di date non hanno senso: tutto quello che possiamo fare è sommare i singoli valori (anno, giorno, ecc...) di date diverse. Per qualsiasi altro caso occorre usare DATEDIFF(). Possiamo avere ad esempio:

```
1 SELECT Matricola, DATEDIFF('2005-07-15', DataIscrizione)
2 FROM Studente
3 WHERE DataIscrizione < '2005-07-15'
4 AND DataLaurea > '2005-07-15'
```

che restituirà la matricola e giorni da quando si erano iscritti degli studenti ad oggi laureati e che non si erano ancora laureati il 15 Luglio 2005.

Inoltre, per sommare e sottrarre lassi di tempo a date possiamo usare le funzioni DATE_ADD e DATE_SUB. I suddetti lassi andranno espressi con la parola chiave INTERVAL:

```
1 INTERVAL NumeroIntero [YEAR|MONTH|DAY]
```

riportiamo ad esempio matricola e mese di iscrizione degli studenti che si sono laureati dopo cinque anni esatti dal giorno dell'iscrizione:

```
1 SELECT Matricola, MONTH(DataIscrizione)
2 FROM Studente
3 WHERE DataLaurea = DATE_ADD(DataIscrizione, INTERVAL 5 YEAR)
```

quando la somma è definita fra date e intervalli, possiamo usare anche solo l'operatore "+":

```
1 AND DataLaurea = DataIscrizione + INTERVAL 5 YEAR
```

esistono poi diverse altre funzioni di utilità sulle date, che possono essere trovate nel sito precedentemente citato.

Operatori di aggregazione

Gli operatori di aggregazione permettono di fare determinati calcoli i cui operandi sono i valori assunti da un attributo in un insieme di record (ovvero conteggio, somma, minimo / massimo, media), e di collassarli in un unico attributo numerico. Gli operatori di aggregazione sono disponibili solamente nel SELECT, in quanto il WHERE non ha alcuna visibilità a livello globale della tabella su cui lavora, ma solo a livello di record.

Conteggio

Iniziamo col contare il numero di righe di una tabella o di un suo sottoinsieme. Definita la tabella di una semplice realtà medica, abbiamo:

```
1 SELECT COUNT(*) AS VisitePrimoMarzo
2 FROM Visita
3 WHERE Data = '2013-03-01'
```

per trovare il numero di visite effettuate in data 1 marzo 2013. La parola chiave AS serve solamente per rinominare la tabella generata dalla funzione COUNT(). Possiamo effettuare anche, anziché il conteggio delle righe, il conteggio dei valori diversi assunti da un attributo. Ad esempio, se cercassimo il numero di pazienti visitati nel mese di marzo 2013, visto che lo stesso paziente potrà essere stato visitato più volte in un solo mese, dovremmo fare:

```
1 SELECT COUNT(DISTINCT Paziente) as PazientiMarzo
2 FROM Visita
3 WHERE MONTH(Data) = '03'
4 AND YEAR(Data) = '2013'
```

Somma

Posso sommare i valori numerici di degli attributi di più record usando SUM(). Supponiamo di voler calcolare, data una tabella del reddito di più persone, il reddito totale di una sola famiglia:

```
1 SELECT SUM(Reddito) AS RedditoTotale
2 FROM Paziente
3 WHERE Cognome = 'Lepre'
```

Media

Allo stesso modo, potrò calcolare il reddito medio:

```

1 SELECT AVG(Reddito) AS RedditoMedio
2 FROM Paziente
3 WHERE Cognome = 'Lepre'

```

Minimo / Massimo

Potrò inoltre calcolare valori massimi e minimi:

```

1 SELECT MIN(Reddito)
2 FROM Paziente
3
4 SELECT MAX(Reddito)
5 FROM Paziente

```

A questo punto, se volessimo cercare il reddito massimo, e il nome e cognome di chi lo detiene, incontreremmo un'ostacolo: non si può infatti ottenere un qualsiasi altro attributo da un insieme risultato ormai collassato ad un solo valore numerico. Non otterremmo nulla dal codice:

```

1 SELECT MAX(Reddito), Nome, Cognome
2 FROM Paziente

```

Riassumendo: non si possono affiancare agli operatori di aggregazione i nomi di attributi ormai collassati.

Query su più tabelle

In un database le informazioni sono spesso frammentate su più tabelle. Questo aiuta a evitare ridondanze, anomalie, ed a vere la possibilità di distribuire i dati. Ad esempio, immaginiamo il database di una clinica medica, che dovrà quindi immagazzinare i dati di pazienti, dottori, visite mediche ecc... Potremo allora definire più tabelle separate per ciascuna di queste categorie di dati, ognuna con i propri specifici attributi. A questo punto, ogni tabella potrà contenere come attributi altre tabelle, o meglio record provenienti da altre tabelle in qualche modo "collassati" nel singolo attributo della tabella. Questo meccanismo si concretizza immagazzinando nella tabella l'informazione minimale per ritrovare il record desiderato nella tabella d'appartenenza, ovvero riportandone soltanto la chiave (che sappiamo essere diversa per ogni record archiviato). La successiva esplosione della chiave fino al record completo nella tabella d'appartenenza viene effettuato in SQL attraverso le operazioni di unione (join).

Inner join

L'inner join trova il record nella tabella d'appartenenza che corrisponde alla chiave nella tabella su cui lavoriamo, e semplicemente lo affianca. Ad esempio, magari vogliamo indicare nome e cognome dei medici che hanno effettuato, nella nostra clinica, almeno una visita. Dovremmo allora prendere la nostra tabella visita, che conterrà la chiave di un medico nella tabella medico, che

andremo quindi a sostituire con il record completo del medico corrispondente. In codice:

```
1 SELECT DISTINCT M.Nome , M.Cognome
2 FROM Visita V
3 INNER JOIN
4 Medico M ON V.MEDICO = M.Matricola
```

Riprendiamo la trattazione delle operazioni che permettono l'unione (join) di più tabelle.

Natural join

Il join naturale combina i record della prima tabella con i record della seconda tabella aventi valori uguali su tutti gli attributi omonimi. Ad esempio, in pseudocodice, ammettendo che la tabella visita abbia un attributo omonimo ad un'altro attributo sulla tabella medico:

```
1 SELECT M.Nome , M.Cognome
2 FROM Visita V
3 NATURAL JOIN
4 Medico M
```

Nota bene: **tutti** gli attributi omonimi dovranno avere valori identici, ed a quel punto il record della tabella di provenienza verrà unito alla tabella su cui lavoriamo una sola volta.

External join

Il join esterno combina tutti i record della prima tabella con tutti i record della seconda che soddisfano una condizione, mantenendo tutti i record in una delle tabelle, a differenza del join esterno che invece scarterebbe i record non appaiati con nessuno dei record della tabella madre. Il join esterno può essere pensato come una sorta di prodotto cartesiano fra tabelle. I record spaati che verranno uniti avranno tutti valori NULL sugli attributi della tabella di provenienza (inesistenti). Poniamo ad esempio di voler indicare le visite effettuate da medici che non lavorano più presso la clinica. Supponiamo quindi che loro anagrafica sia stata quindi eliminata dal database.

```
1 SELECT V.*
2 FROM Visita V
3 LEFT OUTER JOIN
4 Medico M ON V.Medico = M.Matricola
5 WHERE M.Matricola IS NULL;
```

Così facendo potremo unire tutti i record di tutti i medici, anche quelli che non lavorano più nella mia clinica. Controllando a questo punto chi di questi medici ha elemento chiave (si controlla, per convenzione, proprio l'elemento chiave) NULL, otterremo le visite svolte dai suddetti. Notiamo infine la differenza fra join esterno destro e join esterno sinistro: il join esterno sinistro mantiene tutti i record della tabella di sinistra mettendo NULL a destra

per i record non appaiati. Il join esterno destro fa la cosa opposta, quindi mantenendo i record a destra e inserendo NULL a sinistra.

Query con join e condizioni sui record

Possiamo a questo punto combinare il FROM con istruzione di join allo WHERE con condizioni di selezione dei record d'interesse applicate alla tabella *dopo* il join. Ad esempio, se voglio ottenere matricola, cognome e specializzazione dei medici che hanno visitato almeno un paziente il giorno 1 Marzo 2013

```
1 SELECT DISTINCT M.Matricola, M.Cognome, M.Specializzazione
2 FROM Medico M
3 INNER JOIN
4 Visita V ON M.Matricola = V.Medico
5 WHERE V.Data = '2013-01-03'
```

Unioni multiple

Il join multiplo può essere effettuato su più di 2 tabelle. Diciamo che oltre al medico, la nostra tabella visita contiene un'attributo corrispondente al paziente visitato. Vogliamo allora ottenere nomi e cognomi di tutti i pazienti visitati da un certo medico. Notiamo che il nome del medico sta nella sottotabella corrispondente al medico, e il nome del paziente sta nella sottotabella corrispondente al paziente, ovvero dovremmo unire non una ma due tabelle alla nostra tabella madre. In codice:

```
1 SELECT DISTINCT P.Nome, P.Cognome
2 FROM Paziente P
3 INNER JOIN
4 Visita V ON P.CodFiscale = V.Paziente
5 INNER JOIN
6 Medico M ON V.Medico = M.Matricola
7 WHERE M.Nome = 'Rino'
8 AND M.Cognome = 'Neri';
```

notiamo che in questo caso, per assicurare la sicurezza dell'operazione, nome e cognome del medico dovrebbero essere una cosiddetta *chiave candidata*, ovvero un insieme di attributi sempre diversi in tutti i record (come la chiave primaria ma senza lo status di chiave primaria).

Si noti inoltre di come gli alias (P V e M) nell'esempio precedente hanno il compito di evitare ambiguità su attributi con lo stesso nome ma appartenenti a tabelle diverse. Ulteriore esempio, supponiamo di voler indicare nome e cognome dei pazienti visitati nel mese di dicembre 2013, e il nome e cognome dei medici che li hanno visitati:

```
1 SELECT DISTINCT P.Nome AS NomePaziente, P.Cognome AS
   CognomePaziente
2 M.Nome AS NomeMedico, M.Cognome AS
   CognomeMedico
```

```

3 FROM Paziente P
4   INNER JOIN
5   Visita V ON P.CodFiscale = V.Paziente
6   INNER JOIN
7   Medico M ON V.Medico = M.Matricola
8 WHERE YEAR(V.Data) = 2013
9   AND MONTH(V.Data) = 12

```

Self join

Il self join combina le righe di una tabella con righe della stessa tabella. Più propriamente, non esiste una keyword SELF JOIN, ma possiamo sfruttare le possibilità dell'INNER JOIN. Diciamo ad esempio di volere il codice fiscale dei pazienti che sono stati visitati più di una volta da uno stesso medico della clinica, nel mese corrente:

```

1 SELECT DISTINCT V1.Paziente
2 FROM Visita V1
3   INNER JOIN
4   Visita v2 ON (
5               V2.Medico = V1.Medico
6               AND V2.Paziente = V1.Paziente
7               AND V2.Data <> V1.Data
8               )
9 WHERE MONTH(V1.Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
10    AND YEAR(V1.Data) = YEAR(CURRENT_DATE)
11    AND MONTH(V2.Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
12    AND YEAR(V2.Data) = YEAR(CURRENT_DATE);

```

qui unisco alla mia tabella visita un record proveniente dalla stessa tabella quando medico, paziente corrispondono e la data differisce. A questo punto seleziono soltanto i record della nuova tabella creata che hanno date diverse fra le due visite. Si noti che per n visite, il paziente comparirà nel result set n - 1 volte (da cui il DISTINCT), ovvero il join accade in una sola direzione.

Common Table Expression

Le common table expression (CTE) sono result set dotati di identificatori che possono essere usati prima di una query per costruire risultati intermedi. Si scrivono, separate da virgole, prima della query che li usa, tramite la parola chiave WITH e separati da virgole. Sono parti di codice i cui risultati vengono stoccati e poi restituiti alle query che nli usano. Ad esempio:

```

1 WITH
2   name1 AS (query1)
3   name2 AS (query2)
4   ...
5   nameN AS (queryN)
6 query finale;

```


Diciamo per esempio, di volere indicare il numero di pazienti di Siena mai visitati da ortopedici. Avrò allora la CTE che trova tutti gli ortopedici:

```
1 WITH ortopedici AS
2 (
3     SELECT M.Matricola AS Medico
4     FROM Medico M
5     WHERE M.Specializzazione = 'Ortopedia'
6 )
```

poi la CTE che trova tutti i pazienti visitati da tali ortopedici:

```
1 paz_visitati_ortopedici AS
2 (
3     SELECT V.Paziente AS CodFiscale
4     FROM Visita V NATURAL JOIN Ortopedici O
5 )
```

infine ottengo, usando le CTE precedenti, tutti i pazienti senesi:

```
1 SELECT COUNT(*)
2 FROM Paziente P
3     NATURAL LEFT OUTER JOIN
4     paz_visitati_ortopedici PVO
5 WHERE Città = 'Siena'
6     AND PVO.Matricola IS NULL
```

2 Subquery

Le subquery (query annidate) permettono di incapsulare query in altre query, in modo correlato o non correlato. Presentano un modo alternativo di risolvere i problemi su cui normalmente si userebbe il join: infatti per ogni problema che si può risolvere usando il join esiste sempre un corrispettivo che usa le subquery. Chiamiamo outer query la query più esterna, cioè quella che incapsula, e inner query la subquery incapsulata.

Subquery non correlate

Le subquery non correlate (*noncorrelated*) sono incapsulate nel WHERE, e permettono di ottenere un certo result set intermedio, che verrà poi usato dall'outer query per calcolare il result set finale. Il result set della subquery non correlata non dipende dall'outer query. Poniamo ad esempio di voler indicare nome, cognome e parcella degli ortopedici che hanno effettuato almeno una visita nell'anno 2013. Definiremo allora la subquery:

```
1 SELECT V.Medico
2 FROM Visita V
3 WHERE YEAR(V.Data) = 2013
```

che innesteremo poi in:

```
1 SELECT M.Nome , M.Cognome , M.Parcella
2 FROM Medico M
3 WHERE M.Specializzazione = 'Ortopedia'
4      AND M.Matricola IN (
5                          SELECT V.Medico
6                          FROM Visita V
7                          WHERE YEAR(V.Data) = 2013
8                          );
```

La parola chiave IN permette di controllare la presenza dell'attributo M.Matricola nel result set della subquery. La subquery calcolerà quindi un result set composto da tutte le visite fatte nel 2013. L'outer query userà la subquery, confrontandola con tutti i medici specializzati in ortopedia la cui matricola trova un riscontro nel result set calcolato dalla subquery. A questo punto si restituiscono gli attributi richiesti. Il meccanismo è del tutto analogo a quello di un join naturale fra le tabelle "Medico" e "Visita". Notiamo che non è necessario alcuna istruzione DISTINCT, in quanto ogni record della tabella Medico viene considerato comunque una volta sola, e cercato nel result set delle visite.

Avremmo potuto porre la stessa query usando un comune join, ad esempio come:

```
1 SELECT M.Nome , M.Cognome , M.Parcella
2 FROM Medico M
3      INNER JOIN Visita V ON V.Medico = M.Matricola
4 WHERE YEAR(V.Data) = 2013
5      AND Medico.Specializzazione = 'Ortopedico';
```

Si può anche usare la negazione di quanto appena fatto, usando la parola chiave NOT IN. Ad esempio, se vogliamo indicare i cognomi dei pazienti che non appartengono anche a un medico, abbiamo la subquery:

```
1 SELECT M.Cognome
2 FROM Medico M
```

innestata in:

```
1 SELECT DISTINCT P.Cognome
2 FROM Paziente P
3 WHERE P.Cognome NOT IN (
4                          SELECT M.Cognome
5                          FROM Medico M
6                          );
```

Analogamente a prima, esisterà una versione che usa il join:

```
1 SELECT DISTINCT P.Cognome
2 FROM Paziente P
```

```
3 LEFT OUTER JOIN Medico M ON
4 M.Cognome = P.Cognome
5 WHERE M.Cognome IS NULL;
```

Annidamento multiplo

Non c'è teoricamente limite al numero di subquery che si possono innestare l'una dentro l'altra. A volte può infatti tornare utile avere innesti multipli (e frontali!). Vediamo come ottenere il numero di tutti i pazienti di Siena mai visitati da pazienti. Innanzitutto si trovano i medici specializzati in ortopedia:

```
1 SELECT M.Matricola
2 FROM Medico M
3 WHERE M.Specializzazione = 'Ortopedia'
```

poi i pazienti visitati da suddetti medici:

```
1 SELECT V.Paziente
2 FROM Visita V
3 WHERE V.Medico IN (...)
```

e si rimuovono da una tabella dei soli pazienti senesi:

```
1 SELECT COUNT(*)
2 FROM Paziente P
3 WHERE P.Citta = 'Siena'
4 AND P.CodFiscale NOT IN (
5     SELECT V.Paziente
6     FROM Visita V
7     WHERE V.Medico IN (
8         SELECT M.Matricola
9         FROM Medico M
10        WHERE M.Specializzazione = 'Ortopedia'
11    )
12 );
```

Subquery scalari

Una subquery scalare produce, invece che un insieme di record che poi verrà controllato con IN e NOT IN, un singolo record di un singolo attributo, come ad esempio farebbe la funzione COUNT(). A questo punto, il valore scalare prodotto può essere controllato con i vari operatori di confronto. Vogliamo ad esempio indicare il numero degli otorini aventi parcella più alta della media delle parcella della loro specializzazione. Troviamo innanzitutto il la parcella media degli otorini (un valore scalare):

```
1 SELECT AVG(Medico.Parcella)
2 FROM Medico M
3 WHERE M.Specializzazione = 'Otorinolaringoiatria'
```

e la useremo in un'outer query:

```
1 SELECT COUNT(*)
2 FROM Medico M1
3 WHERE M1.Parcella > (
4     SELECT AVG(Medico.Parcella)
5     FROM Medico M
6     WHERE M.Specializzazione = 'Otorinolaringoiatria'
7 );
```

Un caso interessante: mettiamo di voler trovare le entrate complessive generate dai cardiologi della clinica negli ultimi 2 anni. Ciò risulta semplice con un join:

```
1 SELECT SUM(M.Parcella) AS IncassoTotale
2 FROM Visita V
```

```

3 INNER JOIN Medico M ON V.Medico = M.Matricola
4 WHERE V.Data > CURRENT_DATE - INTERVAL 12 YEAR
5 AND M.Specializzazione = 'Cardiologia'

```

La versione con subquery è invece più complessa, richiedendo una subquery nel SELECT:

```

1 SELECT SUM((
2     SELECT M.Parcella
3     FROM Medico M
4     WHERE M.Matricola = V.Medico
5           AND M.Specializzazione = 'Cardiologia'
6 )) AS IncassoTotale
7 FROM Visita V
8 WHERE V.Data > CURRENT_DATE - INTERVAL 12 YEAR

```

Notiamo che la subquery è correlata, come vedremo nella prossima lezione.

3 Raggruppamento

Il raggruppamento (o aggregazione) divide in gruppi i record risultanti dalle clausole FROM e WHERE (detti record target), sulla base di un certo attributo particolare in comune, che resta quindi costante in un determinato gruppo. Poniamo di voler calcolare, nello schema clinica, per ogni specializzazione, la parcella media dei medici:

```

1 SELECT Specializzazione, AVG(Parcella) AS ParcellaMedia
2 FROM Medico
3 GROUP BY Specializzazione;

```

Dove il select di Specializzazione e AVG(Parcella) ha senso solo a seguito del GROUP BY, con Specializzazione proprio come attributo di raggruppamento (!).

Condizioni sui gruppi

Le condizioni sui gruppi sono controllate gruppo per gruppo (non record per record) e permettono di scartarne alcuni. Si applicano attraverso l'operatore HAVING. Poniamo di voler indicare le specializzazioni della clinica con più di due medici:

```

1 SELECT Specializzazione
2 FROM Medico
3 GROUP BY Specializzazione
4 HAVING COUNT(*) > 2

```

Si nota che il DISTINCT non è necessario: ogni specializzazione viene presa comunque una volta sola. Vediamo adesso un caso un attimo più complesso: ottenere le specializzazioni con la più alta parcella media. Dovremo allora

calcolare tutte le medie delle parcelle dei medici di ciascuna specializzazione, calcolare tra queste la più alta, e selezionare quindi le specializzazioni la cui media corrisponde a questa media massima.

Il massimo si troverà con:

```
1 SELECT MAX(D.MediaParcelle)
2 FROM (
3     SELECT M2.Specializzazione, AVG(M2.Parcella) AS
4         MediaParcella
5     FROM Medico M2
6     GROUP BY M2.Specializzazione
7 ) AS D;
```

e la query completa sarà:

```
1 SELECT M.Specializzazione
2 FROM Medico M
3 GROUP BY Specializzazione
4 HAVING AVG(Parcella) =
5 (
6     SELECT MAX(D.MediaParcelle)
7     FROM (
8         SELECT M2.Specializzazione, AVG(M2.Parcella) AS
9             MediaParcella
10        FROM Medico M2
11        GROUP BY M2.Specializzazione
12    )
13 ) AS D;
```

4 Subquery correlate

Abbiamo già visto le subquery non correlate (*non-correlated*): il result set di tali subquery viene calcolato una sola volta ed è indipendente dalle specifiche della query esterna (*outer query*). Nelle subquery correlate invece il result set dipende da ciascuna tupla della tupla esterna. L'ordine di esecuzione è: prima si esegue il WHERE della query esterna, e poi la subquery. Poniamo ad esempio di voler indicare matricola e parcella dei medici che hanno visitato per la prima volta almeno un paziente nel mese di ottobre 2013. Avremo bisogno di selezionare pazienti che non erano mai stati visitati da un determinato medico prima di ottobre:

```
1 SELECT DISTINCT V1.Medico
2 FROM Visita V1
3 WHERE YEAR(V1.Data) = 2013
4     AND MONTH (V1.Data) = 10
5     AND V1.Paziente NOT IN (
6
7         SELECT V2.Paziente
8         FROM Visita V2
```

```

8             WHERE V2.Medico = V1.Medico
9             AND V2.Data < V1.Data
10         )

```

Notiamo la particolarità della subquery correlata: la relazione V1, appartenente alla query esterna, viene usata nella clausola WHERE della correlata. Ricordiamo che una subquery correlata viene eseguita nuovamente per ogni tupla, ed è quindi particolarmente inefficiente dal punto di vista della complessità. Notiamo inoltre che una subquery può essere usata anche nella clausola SELECT della query, per calcolare velocemente un valore da inserire nel risultato. Ad esempio, vogliamo trovare tutti i pazienti di sesso maschile, indicandone nome e numero di visite effettuate. Quest'ultima informazione non sarà un dato da proiettare (nel WHERE), ma da calcolare nel SELECT.

```

1 SELECT Nome, (
2     SELECT COUNT(*)
3     FROM Visite V
4     WHERE V.Paziente = P.CodFiscale
5 ) AS NumeroVisite
6 FROM Paziente P
7 WHERE P.Sesso = 'M'

```

Correlated subquery nel SELECT

L'inserimento di subquery correlate all'interno del SELECT permette di calcolare valori da inserire in un attributo dell'insieme risultato. Proprio per questo motivo le subquery di questo tipo dovranno obbligatoriamente essere scalari. Poniamo ad esempio di voler considerare il nome e il numero di visite effettuate da tutti i pazienti di sesso maschile. Attraverso il raggruppamento, si potrà semplicemente dire:

```

1 SELECT P.Nome, COUNT(*) AS NumeroVisite
2 FROM Visita V INNER JOIN Paziente P ON V.Paziente = P.
3     CodFiscale
4 WHERE P.Sesso = "M"
5 GROUP BY P.CodFiscale

```

Lo stesso comportamento può essere ottenuto attraverso le subquery correlate, ad esempio con:

```

1 SELECT P.Nome, (
2     SELECT COUNT(*)
3     FROM Visite V
4     WHERE V.Paziente = P.CodFiscale
5 ) AS NumeroVisite
6 FROM Paziente P
7 WHERE P.Sesso = "M"

```


Si può assumere che il modulo del DBMS detto *query optimizer*, che ha il compito di ottimizzare le query, tradurrà una query simile nell'equivalente che utilizza il raggruppamento.

5 Costrutto EXISTS

Il costrutto EXISTS ci permette di verificare che il result set di una subquery correlata contenga almeno un record. La sua negazione controlla che il result set sia vuoto. Poniamo ad esempio di voler trovare medico, paziente e data delle visite di controllo del mese di gennaio 2016. Definiamo una visita di controllo come una visita in cui un medico visita un paziente già visitato precedentemente almeno una volta.

```
1 SELECT V_1.Medico, V_1.Paziente, V_1.Data
2 FROM Visita V_1
3 WHERE MONTH(V_1.Data) == 1 AND YEAR(V_1.Data) = 2016
4     AND EXISTS
5     (
6         SELECT *
7         FROM Visita V_2
8         WHERE V_2.Paziente = V_1.Paziente
9             AND V_2.Medico = V_1.Medico
10            AND V_2.Data < V_1.Data
11     )
```

Diciamo invece di voler indicare le matricole dei medici che hanno visitato per la prima volta almeno un paziente nel mese di ottobre 2013.

```
1 SELECT DISTINCT V_1.Medico
2 FROM Visita V_1
3 WHERE MONTH(V_1.Data) = 10 AND YEAR(V_1.Data) = 2013
4     AND NOT EXISTS
5     (
6         SELECT *
7         FROM Visita V_2
8         WHERE V_2.Paziente = V_1.Paziente
9             AND V_2.Medico = V_1.Medico
10            AND V_1.Data < V_2.Data
11     )
```

6 Divisione insiemistica

L'operatore di divisione insiemistica permette di trovare tutti i record che rispettano condizioni esaustive. Ad esempio, possiamo usarlo per indicare i

pazienti visitati da tutti i medici. L'SQL non fornisce un'operatore di divisione insiemistica di per sé, ma possiamo crearne uno attraverso altri costrutti. Esistono due metodi:

- Possiamo usare il costrutto EXISTS e le subquery correlate per ottenere la seguente query:

```
1  SELECT P.CodFiscale
2  FROM Paziente P
3  WHERE NOT EXISTS
4  (
5      SELECT *
6      FROM Medico M
7      WHERE NOT EXISTS
8      (
9          SELECT *
10         FROM Visita V
11         WHERE V.Medico = M.Matricola
12              AND V.Paziente = P.CodFiscale
13     )
14 )
15
```

La query si traduce pressapoco con "un paziente è stato visitato da tutti i medici se non esiste un medico per cui non esiste una visita di quel medico con quel paziente".

- Possiamo usare il raggruppamento e una subquery non correlata:

```
1  SELECT V.Paziente
2  FROM Visita V
3  GROUP BY V.Paziente
4  HAVING COUNT(DISTINCT V.Medico) = (SELECT COUNT(*)
5                                     FROM Medico)
6
```

Che è considerevolmente più semplice.

7 SQL Procedurale

Introduciamo adesso il PL/SQL, un linguaggio di programmazione procedurale che estende l'SQL.

Stored procedure

Le stored procedure (procedure "stoccate") sono dei programmi dichiarativo-procedurali che possono essere memorizzati nel DBMS e invocati proprio come funzioni nei linguaggi di programmazione tradizionali, restituendo valori.

Procedure possono essere dichiarate e poi chiamate all'interno di query, o altre procedure.

Interfacce con stored procedure

Il meccanismo delle stored procedure può essere usato per implementare delle interfacce: all'utente non si mette a disposizione l'SQL, ma soltanto le procedure definite su quel DBMS. In questo modo l'utente non ha mai effettivamente accesso al database stesso, ma può comunque interagirci con procedure già definite. Questo sistema assicura il mascheramento dei dati e del codice, aumentando la sicurezza e la protezione da eventuali attacchi. Meccanismi di questo tipo sono alla base di architetture **multilivello** (*multi-tier*) usati ad esempio nei siti internet: l'uso di procedure predefinite per l'interazione fra server e database, e quindi fra utente e server, permette di aumentare la sicurezza del sistema. L'invocazione di procedure richiede, da parte del chiamante, il possesso di un particolare **grant** ("permesso"), che garantisce l'accesso del suddetto a tali procedure. E' ad esempio possibile che un'applicazione abbia accesso alle procedure ma non alle tabelle del database. Vediamo un'esempio. Vogliamo scrivere una stored procedure che restituisca tutte le specializzazioni mediche offerte dalla clinica. Dovremo usare la seguente sintassi:

```
1 DROP PROCEDURE IF EXISTS mostra_specializzazioni
2 DELIMITER $$
3 CREATE PROCEDURE mostra_specializzazioni()
4 BEGIN
5     SELECT DISTINCT Specializzazione
6     FROM Medico
7 END $$
8 DELIMITER;
```

Il pasticcio di delimitatori serve a far ignorare all'SQL l'uso del ; all'interno della procedura, che altrimenti significherebbe "compila quanto hai letto fino ad ora". Alla fine della dichiarazione reimpostiamo il delimitatore a quello di default.

Potremo adesso chiamare la procedure con:

```
1 CALL mostra_specializzazioni();
```

Variabili locali

All'interno delle stored procedure è possibile memorizzare informazioni intermedie di ausilio, attraverso variabili locali. La dichiarazione di variabili locali va fatta contestualmente alla dichiarazione della procedura (cioè subito) con la sintassi:

```
1 DECLARE nome_variabile tipo(size) DEFAULT valore_default;
```

La tipizzazione è forte, e sono presenti i classici tipi (int, double, char, date...). Il valore size rappresenta la dimensione della variabile: ad esempio, per il tipo char, potremo specificare char(50) per indicare una stringa di 50 caratteri. Il tipo varchar è un tipo particolare che può variare la sua dimensione, occupando *al massimo* il valore fornito alla dichiarazione. Si può fare assegnamento sulle variabili attraverso la parola chiave SET:

```
1 DECLARE min_visite_mensili INT DEFAULT 0;
2
3 % il corpo della procedura...
4
5 SET min_visite_mensili = 20;
```

Facciamo un'esempio: supponiamo di essere nel body di una stored procedure e creare una variabile contenente il numero minimo di visite effettuate questo mese, avremo:

```
1 DECLARE visite_mese_attuale INT DEFAULT 0;
2
3 % il corpo della procedura...
4
5 SET visite_mese_attuale = (
6     SELECT COUNT(*)
7     FROM Visita V
8     WHERE MONTH(V.Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
9           AND YEAR(V.Data) = YEAR(CURRENT_DATE)
10 )
```

oppure, analogamente:

```
1 DECLARE visite_mese_attuale INT DEFAULT 0;
2
3 % il corpo della procedura...
4
5 SELECT COUNT(*)
6 FROM Visita V
7 WHERE MONTH(V.Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
8       AND YEAR(V.Data) = YEAR(CURRENT_DATE)
9 INTO visite_mese_attuale
```

Notiamo l'errore (di impedenza) in cui potremmo incorrere facendo qualcosa del tipo:

```
1 DECLARE visite_mese_attuale VARCHAR(255)
2 SELECT * INTO visite_mese_attuale
3 FROM Visita V
4 WHERE MONTH(V.Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
5       AND YEAR(V.Data) = YEAR(CURRENT_DATE)
```

Non possiamo infatti immagazzinare (anzi, "collassare") un'intero record in una sola variabile di tipo VARCHAR.

Variabili user-defined

Le variabili user-defined sono variabili definite dall'utente senza necessità di dichiarazione, che hanno tempo di vita uguale alla durata della connessione dell'utente al server. A differenza delle variabili locali, le variabili user-defined hanno tipizzazione debole e dinamica: potremo memorizzarvi qualsiasi tipo di valore, e anche valori di tipi diversi in momenti diversi. Non possono contenere result set, ma solo valori scalari. Si dichiarano con @.

Parametri di una stored procedure

Una stored procedure MySQL accetta parametri di tipo:

- **Ingresso**

Un parametro di ingresso può essere letto, ma non modificato. Equivale al passaggio per valore del C++. Si dichiara con la parola chiave IN. Ad esempio, poniamo di voler scrivere una stored procedure che stampi la parcella media di una specializzazione specificata come parametro:

```
1 DROP PROCEDURE IF EXISTS parcella_media_spec;
2 DELIMITER $$
3 CREATE PROCEDURE parcella_media_spec(IN _specializzazione
4   VARCHAR(100))
5 % resto del codice...
6 DELIMITER;
```

a questo punto potremo chiamare la procedura con:

```
1 CALL parcella_media_spec('Ortopedia');
```

- **Uscita**

Un parametro di uscita può essere modificato dalla procedura, e viene fornito in fase di chiamata dal chiamante. Nella chiamata si possono usare, nei parametri di uscita, variabili user defined (@variabile).

Facciamo un'esempio: vogliamo scrivere una stored procedure che restituisca *come parametro di uscita* il numero di pazienti visitati da medici di una data specializzazione, ricevuta come parametro di ingresso:

```
1 DROP PROCEDURE IF EXISTS parcella_media_spec;
2 DELIMITER $$
3 CREATE PROCEDURE parcella_media_spec(IN _specializzazione
4   VARCHAR(100), OUT totale_pazienti INT)
5 % resto del codice...
6 DELIMITER;
```

come prima, potremo adesso chiamare la procedura con la sintassi:

```
1 CALL tot_pazienti_visitati_spec('Neurologia',
2   @quantiPazienti);
3 SELECT @quantiPazienti
```

dove @quantipazienti è una variabile user-defined.

Si noti che si possono avere più parametri di uscita in una procedura SQL.

- **Ingresso-uscita**

Non vengono trattate da questo corso. In altre parole t'attacchi.

Istruzioni condizionali

Le espressioni condizionali permettono di esprimere condizioni, modificando il flusso di esecuzioni. Possono contenere letterali, variabili e funzioni. Nell'SQL si riducono alle due parole chiave: IF e CASE.

- **Istruzione IF**

L'IF è analogo a quello di altri linguaggi, con l'inclusione del THEN:

```
1 IF if_condition THEN
2   -- blocco di istruzioni
3 ELSEIF elseif_1_condition THEN
4   ...
5 ELSEIF elseif_N_condition THEN
6 ELSE
7   -- blocco di else
8 END IF;
```

- **Istruzione CASE**

Vediamo il CASE:

```
1 CASE
2 WHEN condition_1 THEN
3   -- blocco 1
4   ...
5 WHEN condition_n THEN
6   --blocco n
7 END CASE
```

Istruzioni iterative

Le istruzioni iterative permettono di ripetere blocchi di codice. L'SQL fornisce il WHILE, il REPEAT, e il LOOP.

- **Istruzione WHILE**

Corrisponde al semplice while.

```
1 WHILE condition DO
2   -- blocco istruzioni
3 END WHILE
```

- **Istruzione REPEAT**

```
1 REPEAT
2   -- blocco istruzioni
3 UNTIL condition
4 END REPEAT
```

- **Istruzione LOOP**

Definisce un LOOP, che andrà chiuso con un'istruzione LEAVE.

```
1 loop_label: LOOP
2   -- blocco di istruzioni, check di condizioni
3 END LOOP
```

Istruzioni di salto

Le istruzioni di salto permettono di interrompere cicli o passare a iterazioni successive. Nell'SQL sono rispettivamente la LEAVE e ITERATE.

Cursore

Un cursore scorre i record su un result set, solo in avanti, per effettuare delle azioni all'interno di istruzioni iterative. Vediamo la sintesi:

```
1 DECLARE NomeCursore CURSOR FOR
2 SQL query;
```

I cursori si possono dichiarare immediatamente dopo la dichiarazione di tutte le variabili, contestualmente alla dichiarazione della procedura. Su un cursore valgono le seguenti operazioni:

```
1 OPEN NomeCursore;
2 FETCH NomeCursore INTO ListaVariabili;
3 CLOSE NomeCursore;
```

La prima e l'ultima operazione sono banali. Il FETCH si limita a restituire il prossimo record e avanzare il cursore.

Handler

Gli handler sono gestori di situazioni, utili per eseguire codice quando l'istruzione fetch porta il cursore in fondo alla tabella. Possono essere definiti dopo le dichiarazioni di variabili e cursori, sempre contestualmente alla dichiarazione della procedura. Ad esempio, esiste il NOT FOUND HANDLER:

```
1 DECLARE CONTINUE HANDLER FOR NOT FOUND
2 SET finito = 1;
```

Questo handler viene eseguito quando si arriva a "fine corsa", ovvero in fondo alla tabella che si stava scorrendo. La parola chiave CONTINUE rappresenta

il fatto che l'handler non interrompe l'esecuzione, a differenza di un handler EXIT.

Ciclo di fetch

Il meccanismo del FETCH e degli HANDLER ci permette di stabilire un ciclo di fetch:

```
1 DECLARE cur CURSOR FOR tabella
2 DECLARE CONTINUE HANDLER FOR NOT FOUND
3 SET finito = 1;
4
5 scan: LOOP
6 FETCH cur -- prelieva il record
7 IF finito = 0
8     -- processo il record
9 ELSE LEAVE scan
10 END LOOP scan;
```

8 Manipolazione dei dati

Vediamo adesso i costrutti della parte **DML** (*Data Manipulation Language*), dell'SQL.

Inserimento

L'inserimento consiste nel, considerata una nuova tabella, inserire un nuovo record i cui valori degli attributi possono essere sia statici che ricavati. Inseriamo un nuovo paziente nel database, notiamo i dati (statici):

- Nome: Elvira
- Cognome: Passerotti
- Sesso: F
- Data di nascita: 27 Ottobre 1964
- Città: Pisa
- Reddito: 1500 Euro
- Codice Fiscale: PSSLVR65R67G702U

```
1 INSERT INTO Paziente
2 VALUES ('PSSLVR65R67G702U', 'Passerotti', 'Elvira', 'F', '
    1965-10-27', 'Pisa', 1500);
```


Dove è importante rispettare l'ordine di definizione degli attributi della tabella. Facciamo un'altro esempio: vogliamo inserire il paziente Edoardo Lepre, visitato tre giorni fa, di codice fiscale "slq6". Poniamo però di non sapere se la visita era stata mutuata o meno:

```
1 INSERT INTO Visita(Medico, Paziente, Data)
2 VALUES (010, 'slq_6', CURRENT_DATE - INTERVAL 3 DAY);
```

Questo mi permette di specificare solo alcuni valori, lasciando gli altri a NULL o al loro valore di default. Notiamo che, in generale, la sintassi:

```
1 INSERT INTO Tabella [(Attributo_1, Attributo_2, ...)]
2 VALUES (Valore_1, Valore_2, ...);
```

Ci permette di definire qualsiasi attributo in qualsiasi ordine, anche diverso da quello di definizione.

Inserimento con valori ricavati

E' possibile definire un'inserimento del tipo:

```
1 INSERT INTO Tabella [(Attributo_1, Attributo_2, ...,
   Attributo_N)]
2 Query_di_selezione;
```

Attraverso una query "Query_di_selezione" arbitraria che restituisca valori per tutti gli attributi. Poniamo di voler archiviare tutte i record delle visite effettuate prima di due anni fa in una nuova tabella, VisitaVecchia(CognomePaziente, CognomeMedico, DataVisita, Specializzazione):

```
1 INSERT INTO VisitaVecchia
2 SELECT P.Cognome AS CognomePaziente,
3        M.Cognome AS CognomeMedico,
4        V.Data AS DataVisita,
5        M.Specializzazione
6 FROM Visita V INNER JOIN Medico M ON M.Matricola = V.Medico
7        INNER JOIN Paziente P ON P.CodFiscale = V.Paziente
8 WHERE YEAR(V.Data) <= YAER(CURRENT_DATE) - 2;
```

Come vediamo, basterà definire una query che restituisce tutti i record da inserire nella tabella nell'ordine di definizione (dato nel SELECT).

Aggiornamento

Possiamo anche aggiornare record già definiti. Dovremo però usare una clausola WHERE per specificare quali record aggiornare:

```
1 UPDATE Tabella
2 SET Attributo_i = Valore_i, ecc...
3 WHERE Condizione
```

Mutuiamo tutte le visite del mese corrente effettuate da pazienti nati prima del 1925:

```

1 UPDATE Visita
2 SET Mutuata = 1
3 WHERE MONTH(Data) = MONTH(CURRENT_DATE)
4     AND YEAR(Data) = YEAR(CURRENT_DATE)
5     AND Paziente IN (
6         SELECT CodFiscale
7         FROM Paziente
8         WHERE YEAR(DataNascita) < 1925
9     );

```

Cancellazione

Vediamo come cancellare record dalla tabella. La sintassi è analoga a quella dell'aggiornamento:

```

1 DELETE FROM Tabella
2 WHERE Condizione

```

Poniamo di voler licenziare tutti i medici di Pisa che non hanno effettuato visite mutate il mese scorso. Scriviamo la query:

```

1 DELETE FROM Medico
2 WHERE Matricola IN (
3     SELECT M_1.Matricola
4     FROM Medico M_1 LEFT OUTER JOIN (
5         SELECT V_2.Medico AS MedicoMutuato
6         FROM Visita V_2 INNER JOIN Medico M_2 ON M_2.Matricola =
7         V_2.Medico
8         WHERE M_2.Citta = 'Pisa'
9         AND V_2.Mutuata = TRUE
10        AND V_2.Data > CURRENT_DATE - INTERVAL 1 MONTH
11    ) AS D
12    ON M_1.Matricola = D.MedicoMutuato
13    WHERE D.MedicoMutuato IS NULL
14 );

```

Il DBMS riceve la query e restituisce un errore. Questo perchè, nel momento in cui dichiariamo l'operazione di cancellazione con DELETE FROM Medico; stiamo effettivamente bloccando la tabella. Non possiamo quindi definire una query che legga tale tabella: il DBMS ce lo impedirà in quanto potremmo generare loop infiniti. Possiamo risolvere questa situazione in più modi.

- Trasformare la query in una derived table:

```

1 DELETE FROM Medico
2 WHERE Matricola IN (
3     SELECT * FROM (
4         SELECT M_1.Matricola
5         FROM Medico M_1 LEFT OUTER JOIN (
6             SELECT V_2.Medico AS MedicoMutuato

```

```

7      FROM Visita V_2 INNER JOIN Medico M_2 ON M_2.
      Matricola = V_2.Medico
8      WHERE M_2.Citta = 'Pisa'
9      AND V_2.Mutuata = TRUE
10     AND V_2.Data > CURRENT_DATE - INTERVAL 1 MONTH
11    ) AS D
12    ON M_1.Matricola = D.MedicoMutuato
13    WHERE D.MedicoMutuato IS NULL
14  ) AS D_2
15 );

```

Questo assicura che il valore della derived table venga calcolato prima dell'operazione di cancellazione, eludendo quindi il blocco imposto dal DBMS. La stessa cosa potrà essere fatta, anziché con una derived table, usando una CTE.

- Un'altro approccio, meno intuitivo, è quello di usare un join:

```

1 DELETE M_1.*
2 FROM Medico M_1 LEFT OUTER JOIN (
3     SELECT V_2.Medico AS MedicoMutuato
4     FROM Visita V_2 INNER JOIN Medico M_2 ON M_2.Matricola
      = V_2.Medico
5     WHERE M_2.Citta = 'Pisa'
6     AND V_2.Mutuata = TRUE
7     AND V_2.Data > CURRENT_DATE - INTERVAL 1 MONTH
8 ) AS D
9 ON M_1.Matricola = D.MedicoMutuato
10 WHERE D.MedicoMutuato IS NULL;

```

9 Database attivi

Abbiamo visto finora le metodistiche dall'SQL procedurale, che permette di implementare funzionalità in linguaggio, appunto, procedurale, sebbene il paradigma dell'SQL sia in teoria dichiarativo. Adesso vedremo alcune caratteristiche dell'SQL che permettono di implementare comportamenti "attivi" del database: per la precisione, **trigger** e **event**.

Trigger

Un trigger è una procedura che viene eseguita sulla base di eventi di istruzione DML (*data manipulation language*). Un trigger è fornito di una **parte reattiva** che reagisce a eventi DML, o a determinati istanti temporali, che causa l'esecuzione di un'azione (operazione) sui dati. Gli eventi DML scatenanti possono ad esempio essere modifiche, cancellazioni, inserzioni, timer ecc...

La **condizione** è un predicato booleano che viene valutato dopo l'evento. Un risultato positivo della condizione comporta l'esecuzione dell'azione. Abbiamo quindi:

1. Evento;
2. Condizione;
3. Azione.

Facciamo un'esempio: vogliamo gestire un'attributo ridondante nella tabella Paziente contenente la data nella quale un paziente è stato visitato l'ultima volta. Sarà un'attributo ridondante perché lo potremo già trovare nella tabella Visita. D'altronde, ad ogni successiva visita, l'attributo sulla tabella paziente andrà aggiornato. In ogni caso, il comportamento che vogliamo è che, all'inserzione dell'ultima visita nella tabella visita da parte di un'operatore, il database possa automaticamente (*database attivo*) inserire l'informazione necessaria nella tabella paziente attraverso un trigger.

Individuiamo evento, condizione ed azione:

- **Evento:** l'evento sarà l'inserimento di una nuova visita nella tabella Visita;
- **Condizione:** qui la condizione non c'è: ogni nuova visita è un'ultima visita.
- **Azione:** rintraccia il paziente della visita, e aggiorna la sua ultima visita.

in SQL, la sintassi di un trigger sarà:

```
1 DROP TRIGGER IF EXISTS nome_trigger
2 CREATE TRIGGER nome_trigger
3 [BEFORE | AFTER][INSERT | UPDATE | DELETE] ON target
4 FOR EACH ROW blocco_istruzioni
```

Vediamo i dettagli. Con BEFORE si indica un'azione di *preprocessing* quindi di esecuzione prima dell'evento, mentre con AFTER si indica un'azione *a posteriori*, o "collaterale", che viene eseguita dopo l'evento. La sintassi che vorremo nell'esempio appena sopra sarà quindi:

```
1 DROP TRIGGER IF EXISTS aggiorna_ultima_visita;
2 CREATE TRIGGER aggiorna_ultima_visita
3 AFTER INSERT ON Visita FOR EACH ROW
4   UPDATE Paziente
5   SET UltimaVisita = CURRENT_DATE
6   WHERE CodFiscale = NEW.Paziente
```

dove NEW indica il record che è stato già inserito (in un trigger AFTER; in un trigger BEFORE sarebbe stato quello che sta per essere inserito)..

Trigger multi-statement

Un trigger *multi-statement* ("multi-blocco") è formato da più blocchi separati da punti e virgola. Si rende quindi necessario, come avevamo già visto, l'uso di un delimitatore ausiliario:

```
1 DROP TRIGGER IF EXISTS nome_trigger;  
2 DELIMITER $$  
3 CREATE TRIGGER nome_trigger  
4 BEFORE ... ON ...  
5 FOR EACH ROW  
6  
7 BEGIN  
8 -- blocchi di istruzioni  
9 END $$  
10 DELIMITER ;
```

10 Introduzione alla teoria delle basi di dati

Che cos'è l'informatica?

- L'informatica è la scienza del trattamento razionale, spesso attraverso macchine automatiche, dell'informazione.

possiamo fare una distinzione fra:

- metodologica
- tecnologica

11 Sistema informativo

- Il sistema organizzativo è costituito da risorse e regole per lo svolgimento coordinato di attività di una certa organizzazione (azienda, ente, ecc...) Noi ci concentreremo sul
- Sistema informativo, ovvero la parte del sistema organizzativo che acquisisce, conserva, elabora e produce informazioni d'interesse per l'organizzazione. Inoltre esegue e gestisce i processi informativi (che coinvolgono informazioni).

possiamo analizzare più nel dettaglio i tipo di attività svolte dal sistema informativo:

- Raccolta e acquisizione di informazioni
- Archiviazione e conservazione di suddette informazioni
- Elaborazione, trasformazione e ancora produzione di nuove informazioni sulla base di quelle ottenute
- Distribuzione e comunicazione delle informazioni così elaborate.

Occorre fare attenzione: il sistema informativo non è di per se in alcun modo legato all'informatica (esistono sistemi informativi, si pensi ai servizi anagrafici o alle banche, che non usano alcuna automatizzazione).

La parte del sistema informativo che usa la tecnologia informatica è il sistema informativo automatizzato, o semplicemente **sistema informatico**.

Ricapitolando, possiamo stabilire la seguente relazione:

Azienda → Sistema organizzativo → Sistema informativo → sistema informatico

12 Gestione delle informazioni

L'informazione può essere gestita secondo modalità diverse, e su supporti diversi. Ad esempio, abbiamo:

- Idee informali
- Linguaggio naturale
- Disegni, schemi, grafici
- Numeri e codici

su vari supporti:

- Mente umana
- Carta
- Dispositivi elettronici (e.g. hard disk, ecc...)

Definiamo ora la differenza fra informazioni e dati:

- **Informazione**

Notizia, dato o elemento che consente di avere una conoscenza dei fatti, situazioni o modi di essere.

- **Dato**

Ciò che è immediatamente presente alla conoscenza prima dell'elaborazione. In informatica, elementi di informazione costituiti da *simboli* che devono essere elaborati.

I dati sono spesso codifiche particolari di informazioni, che vanno quindi da essi estrapolate. Ad esempio, il codice fiscale, i cartelli stradali, ecc...

13 La base di dati

Il cuore di un sistema informativo automatizzato è la base di dati (database), cioè un insieme organizzato di dati rappresentanti informazioni di interesse. Nelle due accezioni (metodologica e tecnologica), possiamo dire:

- Metodologica: insieme organizzato di dati utilizzati come supporto per lo svolgimento di attività
- Tecnologica: insieme di dati gestito da un DBMS (Database Management System)

Le basi di dati hanno solitamente:

- Dimensioni molto maggiori della memoria centrale dei sistemi di calcolo utilizzati
- Tempo di vita indipendente dalle singole istanze dei programmi che li utilizzano (persistenza dei dati)
- Supporto per gestione di collezioni di dati condivise fra più dispositivi
- Capacità di garantire privacy, affidabilità, efficienza ed efficacia

Vediamo nel dettaglio dell'aspetto di condivisione:

- Ogni organizzazione è divisa in settori o almeno svolge disparate attività
- Ciascun settore potrebbe essere fornito di un sottosistema informativo, magari disgiunto a quello principale.

Questo può chiaramente portare a problemi di:

- **Ridondanza:** ripetizione dell'informazione
- **Incoerenza:** più versioni dell'informazione che non coincidono.

Nota: perchè non usare un semplice archivio di file invece che di un database?

Un archivio non fornisce alcuna gestione dell'interdipendenza fra informazioni, ed è quindi poco portato agli eventuali controlli sulla coerenza e la correttezza dell'informazione. Inoltre, in un comune filesystem abbiamo a disposizione solamente le operazioni rudimentali di scrittura/lettura, senza particolari controlli su concorrenza o funzionalità particolari.

Per ovviare a tutta questa serie di problemi, introduciamo:

- **Autorizzazione:** gestione dell'accesso a date risorse
- **Concorrenza:** gestione dell'accesso *simultaneo* (!) a date risorse
- **Affidabilità:** resistenza a malfunzionamenti hardware e software. Una tecnica fondamentale in questo campo è la corretta gestione delle **transazioni**
- **Efficienza:** gestione ottimale delle risorse in termini di memoria e tempo
- **Efficacia:** offerta di funzionalità articolate, potenti e flessibili.

Vediamo un'attimo nel dettaglio l'aspetto delle transazioni:

Transazioni

Una transazione è un insieme di operazioni da considerare indivisibili ("*atomiche*"), corretto anche in presenza di concorrenza, e con effetti definitivi a fine esecuzione. Una transazione deve essere eseguita *per intero* o *per niente*. La corretta gestione della concorrenza deve invece assicurarsi che transazioni concorrenti vengano gestite correttamente (o in serie, e. g. transazioni bancarie, o in maniera mutualmente esclusiva, e. g. prenotazione biglietto aereo). La transazione dovrà poi essere permanente, ovvero la conclusione positiva di una transazione corrisponde ad un impegno (commit) a mantenere traccia della versione ormai aggiornata dei dati a seguito della stessa.

Descrizione dei dati

Nei programmi tradizionali che accedono a file, ogni programma contiene una descrizione della struttura del file stesso, con i conseguenti rischi di incoerenza fra informazioni e file stessa. Ecco perchè nei DBMS è opportuno dedicare una porzione della base di dati alla descrizione centralizzata dei dati. Introduciamo il concetto di **modello dei dati**: un insieme di costrutti utilizzati per organizzare i dati di interesse e descriverne le varie dinamiche, fornendoci quindi una vista astratta dei suddetti. Occorre quindi definire la differenza fra:

- **Schema:** descrizione della struttura della dei dati, solitamente invariante nel tempo (attributi)
- **Istanza:** i valori attuali immagazzinati nella base di dati, che variano nel tempo (record).

introduciamo l'elemento fondamentale della base di dati: la **tabella**. Una comune tabella di una base di dati contiene come intestazioni delle sue colonne gli attributi (schema) dei dati immagazzinati, mentre le successive righe presentano vari record (istanze) dei dati definiti dalle colonne.

14 Modelli dei Dati

Modelli logici

Adottati nei DBMS esistenti per l'organizzazione dei dati, indipendenti dalle strutture fisiche. Esempi: relazionale, reticolare, gerarchico, a oggetti, basato su XML.

Modelli concettuali

Permettono di rappresentare i dati in modo indipendente da ogni sistema, cercando di descrivere i concetti del mondo reale. Sono utilizzati nelle fasi preliminari di progettazione.

Esempio: Entity-Relationship (ER).

Possiamo dire che l'utente si interfaccia con lo schema logico di un database, dettato dal modello logico adottato. A livello fisico accade quanto definito nello schema interno, ovvero la parte di effettiva implementazione del DBMS.

Schema logico

Lo schema logico è la descrizione della base di dati nel modello logico, quindi la struttura di tabelle, ecc... L'utente che sviluppa il database si interfaccia con lo schema logico, usufruendo delle sue astrazioni.

Schema interno

Lo schema interno è l'implementazione dello schema logico, ed è noto solo a chi implementa il DBMS.

15 Linguaggi per Basi di Dati

I DBMS dispongono di vari linguaggi e interfacce per la definizione di schemi, modifica e lettura dei dati, e formulazione di query. Possiamo avere:

- Linguaggi testuali interattivi (SQL)

- Comandi (SQL) immersi in un linguaggio ospite (Java, C++, ...)
- Interfacce grafiche (Access)

Si può fare l'ulteriore distinzione:

- **Data definition language** (DDL): per la definizione di schemi (logici e fisici)
- **Data manipulation language** (DML): per l'interrogazione e l'aggiornamento di istanze di basi di dati.

16 Architettura a tre livelli per DBMS

Possiamo complicare le cose introducendo, oltre allo schema interno e lo schema logico, un'ulteriore schema, lo schema esterno, attraverso cui permetteremo agli utenti di interfacciarsi con la base di dati a livello ancora più alto (astratto).

Lo schema esterno implementa fundamentalmente viste parziali (magari solo alcune tabelle) di database. Sarà in ogni caso importante stabilire:

- Indipendenza fisica: il livello logico e quello esterno sono indipendenti da quello fisico, come nel paradigma dell'astrazione procedurale, la realizzazione dello schema fisico può variare senza che debbano essere attuate modifiche dello schema logico.
- Indipendenza logica: il livello esterno è poi indipendente da quello logico, aggiunte o modifiche alle viste non richiedono modifiche al livello logico, e viceversa le modifiche dello schema logico lasciano inalterato lo schema esterno.

17 Attori

Possiamo adesso stabilire quali sono gli "attori" che implementeranno, lavoreranno su ed interagiranno con il DBMS:

- Progettisti e realizzatori di DBMS
- Progettisti della base di dati e suoi amministratori
- Progettisti e programmatori di applicazioni
- Utenti:

- Utenti finali: eseguono applicazioni predefinite:
- Utenti casuali: eseguono operazioni non previste a priori, usando linguaggi interattivi (SQL)

18 Modello relazionale

Vale la pena riportare i 3 modelli logici storici, tra cui figura il modello relazionale che andremo a studiare:

gerarchico, reticolare, relazionale

Più recentemente si è poi diffuso il paradigma ad oggetti, basato su XML, anche detto NoSQL (viene principalmente usato su database di dimensioni particolarmente grandi).

I modelli gerarchici e reticolari non sono molto utilizzati per un particolare difetto: la gestione di relazioni fra dati non viene gestita in maniera efficiente (si usa il meccanismo dei riferimenti, che sono però fin troppo dipendenti dalla struttura fisica adottata). Nel modello relazionale, invece, tutto è basato sui valori, completamente slegati alle specificità della struttura fisica. Gli stessi riferimenti, o più propriamente relazioni, sono basati su valori condivisi fra più tabelle.

Tabelle

La tabella è l'entità fondamentale di un database relazionale. Come già visto prima, una tabella contiene righe (record) e colonne (attributi), che rappresentano in un qualsiasi momento un'istanza dello schema logico adottato.

Relazioni

Le relazioni del database relazionale si basano sul concetto matematico di relazione. Poniamo ad esempio due insiemi:

$$D_1 = (a, b)$$

$$D_2 = (x, y, z)$$

e il loro prodotto cartesiano:

$$D_1 \times D_2 = ((a, x), (a, y), (a, z), (b, x), \dots)$$

una certa relazione R è:

$$R \subseteq D_1 \times D_2$$

sottoinsieme del loro prodotto cartesiano. Formalmente:

Dati n insiemi (anche non distinti) D_1, D_2, \dots, D_n , e definito su di essi un

prodotto cartesiano $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$, ovvero l'insieme di n-uple ordinate (d_1, d_2, \dots, d_n) con $d_1 \in D_1, d_2 \in D_2, \dots, d_n \in D_n$, una relazione è un sottoinsieme del prodotto cartesiano fra gli insiemi.

Non esiste ordinamento fra le n-uple, e non esistono n-uple uguali. Gli insiemi D_1, D_2, \dots, D_n sono detti domini della relazione.

Struttura non posizionale

Dando un certo nome ai domini della relazione, possiamo passare da quella che è effettivamente una struttura posizionale (le n-uple sono ordinate), ad una struttura dove le posizioni dei domini (attributi) non sono più rilevanti.

Riferimenti fra relazioni

I riferimenti fra relazioni diverse sono rappresentati da valori dei domini che compaiono nelle n-uple.

Definizioni formali

Abbiamo adesso tutti gli strumenti necessari a definire formalmente il modello relazionale:

- **Schema di relazione:** simbolo R detto nome della relazione e un insieme di attributi $X = (A_1, \dots, A_n)$ solitamente indicato con $R(X)$. A ciascun attributo X è associato un dominio. Gli attributi non possono essere relazioni.
- **Schema di base di dati:** un insieme di schemi di relazione con nomi diversi, solitamente indicato come $R = (R_1(X_1), \dots, R_n(X_n))$.

N-uple

Una n-upla o tupla su insieme di attributi X è una funzione che associa a ciascun attributo $A \in X$ un elemento, o valore, nel dominio di A . Il simbolo $t[A]$ denota il valore della n-upla t sull'attributo A . Il simbolo $t[Y]$, con $Y \subseteq X$, denota il valore della n-upla t sull'insieme di attributi Y . N.B.: le n-uple non sono ordinate!

Definiamo allora le istanze di relazioni (e quindi di database):

- **Istanza di relazione:** su uno schema $R(X)$, un insieme r di n-uple su X
- **Istanza di base di dati:** su uno schema $R = (R_1(X_1), \dots, R_n(X_n))$, un insieme di relazioni $r = (r_1, \dots, r_n)$ dove ogni r_i è una relazione sullo schema $R_i(X_i)$

Graficamente, una n-upla è una riga della tabella, e un'istanza l'insieme di tutte le sue righe.

Informazione incompleta

Il modello relazionale impone ai dati una struttura rigida, ma non è detto che i dati del mondo reale aderiscano sempre a questa struttura. Si introduce allora la parola chiave NULL, per evitare di usare valori particolari del dominio (0, ecc...), che potrebbero diventare significativi, o la cui gestione è comunque abbastanza complicata. Il valore di un certo attributo A , ovvero $t[A]$, potrà quindi appartenere al dominio D_A oppure essere il valore NULL. Si possono inoltre imporre determinate restrizioni sulla presenza dei valori nulli in una data relazione. Un valore NULL può modellizzare almeno 3 casi differenti:

- valore sconosciuto
- valore inesistente
- valore senza informazione

N.B.: Il DBMS non fa alcuna distinzione fra valori NULL!

La limitazione sui valori che possono o non possono essere NULL torna utile ad esempio nel caso della definizione di chiavi primarie di record, che devono essere fra di loro diverse ma comunque mai nulle.

19 Correttezza di basi di dati

Una base di dati può essere scorretta, ovvero immagazzinare dati incompatibili con la realtà dei fatti. Ad esempio, sarebbe impensabile avere una base di dati contenente voti relativi ad esami universitari, e trovare in tale base di dati la valutazione "27 e lode". La correttezza dei dati può essere assicurata grazie al sistema dei vincoli:

20 Vincoli di integrità

I vincoli di integrità sono sostanzialmente funzioni booleane (predicati) che associano alla istanza completa di basi dati un valore vero o falso. Se il vincolo di una base di dati restituisce vero, significa che le sue proprietà sono soddisfatte. Possiamo distinguere i vincoli in:

- **Vincoli intra-relazionali:** i vincoli intra-relazionali sono definiti rispetto ad una singola relazione. Possiamo portare gli esempi:
 - Vincolo di n-upla: può essere valutata su ciascuna n-upla indipendentemente dalle altre

- Vincolo di dominio: vincolo di n-upla che coinvolge un solo attributo.
- **Vincoli inter-relazionali:** i vincoli inter-relazionali sono definiti rispetto a più relazioni diverse fra loro.

21 Chiavi

Una chiave è un insieme di attributi che identifica univocamente le n-uple. Formalmente: una **superchiave** è un insieme K di attributi di un insieme r se r non contiene due n-uple distinte t_1 e t_2 tali che $t_1[K] = t_2[K]$. Una chiave K è tale per un insieme r se è una superchiave minimale in R (cioè non contiene un'altra superchiave). N.B.: non per forza una chiave è unica.

Qualsiasi relazione ammette sempre almeno una chiave, in quanto una relazione contiene n-uple tutte diverse fra loro, ergo tutto l'insieme degli attributi forma sempre una chiave.

L'esistenza di una chiave garantisce l'accessibilità a ciascun dato della base di dati, e permette di correlare fra loro dati in relazioni diverse. Le chiavi formano inoltre un vincolo di integrità, detto appunto vincolo di chiave.

Nel caso una relazione abbia più di una chiave, ne scegliamo una in particolare, la chiave primaria (*primary key*). Le altre chiavi verranno allora dette chiavi candidate.

Chiavi e valori nulli

La presenza di valori nulli nelle chiavi può rappresentare un grande problema: rende impossibile il riferimento da parte di altre relazioni e non permette l'identificazione univoca di ogni record. Va dunque evitato quando possibile.

Dipendenze Funzionali

I vincoli di chiave sono particolari tipo di vincoli, che fanno parte di una categoria più vasta: le **dipendenze funzionali**. Formalmente: dati due insiemi di attributi X e Y sulla relazione R , si dice che X determina Y , e si scrive $X \rightarrow Y$, se e solo se per ogni coppia di n-uple distinte t_1 e t_2 , se $t_1[X] = t_2[X]$, allora $t_1[Y] = t_2[Y]$.

22 Integrità referenziali

Informazioni in relazioni diverse possono essere correlate attraverso valori comuni. Definiamo allora il concetto di chiave esterna (*foreign key*), ovvero un'insieme di attributi di una relazione che corrispondono ad una chiave di un'altra relazione.

Vincolo di integrità referenziale

Un vincolo di integrità referenziale fra gli attributi X di una relazione R_1 (chiave esterna di R_1) e un'altra relazione R_2 impone ai valori su X di R_1 di comparire come valori della chiave primaria di R_2 . N.B.: in questo caso l'ordine dei valori è significativo.

Integrità referenziale e valori nulli

In presenza di valori nulli i vincoli possono essere resi meno restrittivi: scegliamo da R_1 solamente i valori di X diversi da NULL.

23 Operazioni di aggiornamento

Le operazioni di aggiornamento di una relazione consistono in sostanza di:

- Operazioni di inserimento, può violare:
 - vincoli intra-relazionali
 - integrità referenziale
- Operazione di cancellazione, può violare:
 - integrità referenziale
- Operazione di modifica (cancellazione + inserimento), di norma non viola nulla.

La correttezza di queste operazioni è assicurata dal DMBS, che reagirà alle violazioni dei vincoli attraverso azioni compensative.

Azioni compensative Nel caso si provi ad eliminare una n-upla causando violazioni del vincolo di chiave, il comportamento standard potrebbe essere quello del rifiuto dell'operazione. Si potrebbero sennò adottare altre azioni compensative, come ad esempio:

- Eliminazione in cascata
- Introduzione di valori nulli

24 Linguaggi per basi di dati

I linguaggi per basi di dati appartengono a 2 categorie distinte:

- Operazioni sullo schema: **Data Definition Language (DDL)**;

- Operazioni sui dati: **Data Manipulation Lanaguage (DML)**
 - Interrogazione (query)
 - Aggiornamento (update).

Interrogazioni di basi di dati

Un operazione di interrogazione è un operazione di lettura che richiede l'accesso a una o più tabelle. Per specificare interrogazioni si possono seguire due formalismi:

- **Modo dichiarativo:** si specificano le proprietà del risultato (che cosa)
- **Modo procedurale:** si specificano le modalità di generazione del risultato (come).

L'**algebra relazionale** permette di specificare delle interrogazioni secondo il modello procedurale: cioè elencando i passi "primitivi" necessari alla generazione di una risposta. Il **calcolo relazionale** invece ci permette di definire in modo dichiarativo quello che sarà il risultato dell'interrogazione. Come vedremo, sarà il calcolo relazionale a definire la semantica del linguaggio relazionale, perchè permette di fornire un'implementazione slegata dai dettagli procedurali.

25 Algebra relazionale

Un'algebra è una struttura matematica dotata di un'insieme di dati e una serie di operatori che manipolano suddetti dati. Nell'algebra relazionale abbiamo che:

- **Dati:** relazioni
- **Operatori:**
 - su relazioni
 - che producono relazioni
 - che possono essere composti.

essi sono divisi fra:

- **Operatori su insiemi:**
unione, intersezione, differenza

- **Operatori su relazioni:**
ridenominazione, selezione, proiezione,
join:
* naturale, prodotto cartesiano, theta

Notazione dell'algebra relazionale

Specifichiamo adesso la notazione usata:

- R, R_1, \dots indicano nomi di relazioni
- $A, B, C, A_1 \dots$ indicano nomi di attributo
- XY è un'abbreviazione di $X \cup Y$
- Una relazione con n-uple t_1, t_2, \dots è indicata con l'insieme $\{t_1, t_2, \dots\}$
- $t_j[A_j]$ indica il valore della n-upla t_j sull'attributo A_j
- $t[X]$ indica l'n-upla ottenuta da considerando solo gli elementi di X .

Operatori su insiemi

Le relazioni sono insiemi di tuple, e non possono avere elementi duplicati (sarebbero altrimenti multiinsiemi). I risultati di operazioni fra relazioni sono a loro volta relazioni, ovvero insiemi di tuple. Gli operatori fra relazioni possono applicarsi solo e soltanto fra relazioni definite sullo stesso insieme di attributi X , e il risultato sarà a sua volta definito sullo stesso insieme di attributi X .

Unione

L'operatore di unione fra due relazioni sull'insieme di attributi X comporta la formazione di una nuova relazione che ha tutte le n-uple delle relazioni unite. Eventuali n-uple identiche fra le relazioni appariranno nel risultato una volta sola. Il suo simbolo è \cup .

Intersezione

L'operatore di intersezione fra due relazioni sull'insieme di attributi X restituisce una nuova relazione che contiene soltanto gli elementi appartenenti sia alla prima che alla seconda relazione. Il suo simbolo è \cap .

Differenza

L'operatore di differenza fra due relazioni sull'insieme di attributi X restituisce una nuova relazione contenente tutte le n-uple che appartengono alla prima relazione ma non alla seconda. L'operatore di differenza è l'unico fra gli operatori insiemistici a non essere commutativo. Il suo simbolo è il meno $(-)$, o più propriamente \setminus .

Notiamo che l'unione è l'unico operatore in grado di creare relazioni con un numero di elementi maggiore di quello degli operandi. Questa caratteristica tornerà poi utile nel calcolo relazionale.

Descriviamo adesso gli operatori non insiemistici (sulle relazioni):

Ridenominazione

L'operatore di ridenominazione è un'operatore monadico che modifica lo schema dell'operando, lasciando inalterata l'istanza. Si scrive, data una relazione R , come:

$$\rho_{B_1 B_2 \dots} \leftarrow_{A_1 A_2 \dots} (R)$$

I pedici a sinistra e a destra della freccia sono insiemi di attributi. Avremo che:

- L'attributo A_1 viene sostituito dall'attributo B_1
- L'attributo A_2 viene sostituito dall'attributo B_2
- ecc...

Selezione

L'operatore di selezione è un operatore monadico che produce un risultato con lo stesso schema dell'operando, e un sottoinsieme di n-uple che rispettano una determinata condizione. Si scrive come:

$$\sigma_F(R)$$

sulla relazione R , dove F è un'espressione Booleana (predicato) ottenuta componendo con gli operatori logici AND, OR e NOT le condizioni atomiche:

- $A \star B$, dove A e B sono attributi di X con domini compatibili e \star un operatore di confronto.
- $A \star k$, dove A è un attributo di X e k una costante con dominio compatibile con A e \star sempre un operatore di confronto.

Notiamo che la condizione atomica è vera solo per valori non nulli in ogni attributo.

Selezione valori NULL

Per riferirsi ai valori NULL occorre usare le apposite condizioni: IS NULL e IS NOT NULL.

Proiezione

La proiezione è un'operatore monadico che produce un sottoinsieme degli attributi dell'operando contenente tutte le sue n-uple ristrette soltanto ad

alcuni attributi. Si scrive, data una relazione $R(X)$ e un insieme di attributi $Y \subseteq X$, come:

$$\pi_Y(R)$$

Il risultato è una relazione su Y che contiene l'insieme delle n-uple di R ristrette ai soli attributi di Y . Notare che, di nuovo, non possono esserci righe ripetute. Ogni n-upla ripetuta nell'insieme risultato verrà inserita una volta sola.

Cardinalità di proiezioni

Una proiezione contiene al massimo tante n-uple quante ne contiene l'operando. Inoltre, se l'insieme di attributi X è superchiave della relazione R , allora la proiezione $\pi_X(R)$ avrà tante n-uple quante ne ha l'operando.

Join

Non possiamo, usando gli operatori di selezione e proiezione, estrarre e combinare informazioni da più relazioni diverse fra loro, e non possiamo nemmeno combinare informazioni presenti in n-uple diverse di una stessa relazione. Avremo allora bisogno di un'ulteriore serie di operazioni, le cosiddette operazioni di join. I join ci permettono di unire sulla stessa riga più righe di relazioni diverse. Vediamo nel dettaglio:

Join naturale

Il join naturale è un operatore con due operandi (generalizzabile), che produce come risultato l'unione degli attributi degli operandi, contenente le n-uple costruite ciascuna a partire da un n-upla di ognuno degli operandi. Formalmente: Date due relazioni R_1X_1 e R_2X_2 , il loro join naturale si scrive come:

$$R_1 \bowtie R_2$$

Il risultato è una relazione $R(X_1 \cup X_2)$ definita come:

$$R(X_1 \cup X_2) = R_1(X_1) \bowtie R_2(X_2) = \{t \mid \exists t_1 \in R_1, \quad t_2 \in R_2 \\ \text{con } t[X_1] = t_1, \quad t[X_2] = t_2\}$$

N.B.: è perfettamente plausibile voler fare il join naturale tra due relazioni senza attributi in comune, e in questo caso si ottiene il prodotto cartesiano fra le due.

Cardinalità del join

Il join di due relazioni R_1 e R_2 contiene un numero di n-uple compreso fra 0 e il prodotto di $|R_1|$ e $|R_2|$. Se il join coinvolge una chiave di R_2 allora il numero di n-uple è compreso fra 0 e $|R_1|$. Se il join coinvolge una chiave di R_2 e un vincolo di integrità referenziale allora il numero di n-uple è uguale a

$|R_1|$. Più formalmente:

Il join di $R_1(A, B)$ e $R_2(B, C)$ contiene un un numero di n-uple:

$$0 \leq |R_1 \bowtie R_2| \leq |R_1| \times |R_2|$$

Se B è una chiava di R_2 allora il numero di n-uple è

$$0 \leq |R_1 \bowtie R_2| \leq |R_1|$$

Se B è una chiave di R_2 ed esiste un vincolo di integrità referenziale fra B (in R_1) e R_2 allora il numero delle n-uple è:

$$|R_1 \bowtie R_2| = |R_1|$$

Una problematica del join è il fatto che le n-uple che non contribuiscono al risultato ("che non fanno join") restano tagliate fuori. Introduciamo allora altri tipi di operatori di join, i cosiddetti:

Join esterno

Il join esterno estende, con valori NULL, le n-uple che verrebbero altrimenti scartate dal join (interno). Ne esistono tre versioni:

- **Sinistro:** mantiene tutte le n-uple del primo operando (\bowtie_{LEFT});
- **Destro:** mantiene tutte le n-uple del secondo operando (\bowtie_{DESTRO});
- **Completo:** mantiene tutte le n-uple di entrambi gli operandi (\bowtie_{FULL}).

Join e proiezioni

Date due relazioni $R_1(X_1)$ e $R_2(X_2)$:

$$\pi_{X_1}(R_1 \bowtie R_2) \subseteq R_1$$

Date una relazione $R(X)$ con $X = X_1 \cup X_2$

$$(\pi_{X_1}(R) \bowtie \pi_{X_2}(R)) \supseteq R$$

Prodotto cartesiano

Come detto prima, date due relazioni $R_1(X_1)$ e $R_2(X_2)$, senza attributi in comune, cioè con $X_1 \cap X_2 = 0$, la definizione di join naturale e comunque senso e restituisce il prodotto cartesiano delle due relazioni:

$$R = R_1 \bowtie R_2 = R_1 \times R_2$$

la cardinalità del prodotto cartesiano è uguale al prodotto delle cardinalità delle due relazioni.

Theta join

Nella pratica, il prodotto cartesiano ha senso quasi solamente se seguito da una selezione $\sigma_F(R_1 \times R_2)$. Questa combinazione prende il nome di theta join (è un operatore derivato) ed è indicato come:

$$R_1 \bowtie_F R_2$$

dove F è un certo rpedicato. Spesso F è una congiunzione di atomi di confronto $A_1 \sigma A_2$ dove σ è un operatore di confronto (\leq , $<$, $=$, ecc...) e A_1 e A_2 attributi di relazioni diverse. Quando l'operatore di confronto è l'uguaglianza parliamo di equi-join.

Tutti gli operatori visti finora, ovvero gli operatori insiemistici e quelli relazionali, bastano a realizzare qualsiasi possibile interrogazione. Ogni altro operatore sarà un' operatore derivato dei 5 operatori relazionali e i 3 poeratori insiemistici. Un particolare operatore derivato è:

26 Divisione

Dati due insiemi di attributi disgiunti X_1 e X_2 , una relazione r sulla loro unione e una relazione r_2 su X_2 , la divisione $r \div r_2$ è una relazione su X_1 che contiene le n-uple ottenute come "proiezione" di n-uple di r che si combinano con tutte le n-uple di r_2 per formare n-uple di r , in una sorta di prodotto cartesiano inverso. In simboli:

$$r \div r_2 = \{t_1[X_1] \mid \forall t_2 \in r_2 \exists t \in r : t[X_1] = t_1, \quad t[X_2] = t_2\}$$

possiamo dimostrare che è un operatore derivato definendolo come composizione di operatori fondamentali, in questo modo:

$$r \div r_2 = \pi_{X_1}(r) - \pi_{X_1}((\pi_{X_1}(r) \times r_2) - r)$$

Ovvero:

- $\pi_{X_1}(r) \times r_2$ contiene tutte le n-uple di $\pi_{X_1}(r)$ "estese" con tutti i possibili valori di r_2 .
- $(\pi_{X_1}(r) \times r_2) - r$ contiene le "estensioni" di $\pi_{X_1}(r)$ che non compaiono in r .
- $\pi_{X_1}((\pi_{X_1}(r) \times r_2) - r)$ contiene le n-uple di $\pi_{X_1}(r)$ per le quali un qualche completamento con r_2 non compare in r .
- Togliendo queste ultime n-uple a $\pi_{X_1}(r)$ otteniamo tutte le n-uple di $\pi_{X_1}(r)$ che si combinano con tutte le n-uple di r_2 .

27 Chiusura transitiva

Poniamoci il problema di dover trovare, in un'opportuna tabella supervisione formata da matricole di impiegati e supervisor di tali impiegati, le matricole di tutti i supervisor di un dato impiegato (ammettendo che i supervisor siano impiegati e possano a loro volta avere supervisor). Tale richiesta sarebbe perfettamente valida, ma impossibile da esprimere attraverso gli operatori dell'algebra relazionale.

Nell'algebra relazionale non esiste la possibilità di esprimere interrogazioni che calcolino la chiusura transitiva di una relazione arbitraria. Tale operazione potrebbe infatti richiedere un numero infinito di join (join illimitato).

28 Espressioni equivalenti

Due espressioni sono equivalenti se producono lo stesso risultato qualunque sia l'istanza fornitagli. In questo caso, sarà opportuno scegliere espressioni di costo minore, dove il loro "costo" è determinato dalle dimensioni delle istanze intermedie che la loro esecuzione genera. Vediamo alcune equivalenze fondamentali:

- **Atomizzazione delle selezioni:** una congiunzione di selezioni può essere sostituita da una sequenza di selezioni atomiche:

$$\sigma_{F_1 \wedge F_2}(E) = \sigma_{F_1}(\sigma_{F_2}(E))$$

- **Idempotenza delle proiezioni:** una proiezione può essere trasformata in una sequenza di proiezioni:

$$\pi_X(E) = \pi_X(\pi_{XY}(E))$$

- **Push selections down:** se una condizione F coinvolge solo attributi dell'espressione E_2 :

$$\sigma_F(E_1 \bowtie E_2) = E_1 \bowtie \sigma_F(E_2)$$

- **Push projections down:** se un'espressione E_1 ha attributi X_1 , un'espressione E_2 ha attributi X_2 , $Y_2 \subseteq X_2$ e gli attributi $X_2 - Y_2$ non sono coinvolti nel join ($X_1 \cap X_2 \subseteq Y_2$):

$$\pi_{X_1 Y_2}(E_1 \bowtie E_2) = E_1 \bowtie \pi_{Y_2}(E_2)$$

29 Ottimizzazione delle interrogazioni

Un modulo presente nel DBMS è il **query processor** (od ottimizzatore). L'ottimizzatore si occupa di scegliere la strategia realizzativa a partire dall'istruzione in linguaggio dichiarativo di alto livello, tenendo conto del costo di implementazioni diverse. Le fasi di esecuzione di una query saranno:

- Analisi lessicale, sintattica e semantica della query in linguaggio di alto livello (SQL). Al termine di questa analisi, la query verrà tradotta in un'espressione dell'algebra relazionale.
- Ottimizzazione algebrica: a questo punto verranno calcolate una o più nuove espressioni algebriche equivalenti a quella di partenza, sfruttando le equivalenze sopra descritte.
- Ottimizzazione basata sui costi: fra le alternative calcolate prima, viene selezionata la più efficiente, che viene poi utilizzata per effettuare l'interrogazione effettiva sulla base di dati.

Nella prima e l'ultima di queste fasi, il DBMS interagisce con un componente detto catalogo, che contiene informazioni sugli schemi contenuti nel database, la cardinalità delle loro istanze, ecc..

Profili delle relazioni

Tra le informazioni quantitative memorizzate nel catalogo troviamo:

- Cardinalità di ciascuna relazione;
- Dimensioni delle n-uple;
- Dimensioni dei valori;
- Numero di valori distinti degli attributi;
- Valore minimo e massimo degli attributi.

Queste informazioni vengono usate nella fase di ottimizzazione basata sui costi per stimare le dimensioni dei risultati intermedi di più espressioni algebriche alternative generate dall'ottimizzazione algebrica.

Ottimizzazione algebrica

In verità, il termine ottimizzazione non è completamente accurato: il processo utilizza infatti delle euristiche per trovare risultati migliori. Si basa sul concetto di equivalenza per trovare query che restituiscono lo stesso risultato generando dimensioni d'istanza intermedie minori. Ad esempio, un'ottimizzazione tipica è quella di eseguire selezioni e proiezioni il più presto possibile, ovvero le cosiddette "push selections down" e "push projections down".

30 Grafi

Un grafo $G = (V, E)$ consiste in un insieme V di vertici (o nodi) e un insieme E di coppie di vertici, detti archi. Ogni arco ovviamente connetter fra loro due vertici. Possiamo allora distinguere:

- **Grafi orientati:** detti anche grafi diretti, dove ogni arco è orientato e rappresenta relazioni ordinate fra oggetti;
- **Grafi non orientati:** detti anche grafi indiretti, dove ogni arco non è orientato e rappresenta relazioni simmetriche fra oggetti.

Sui grafi si possono definire **cammini** da un vertice x ad un vertice y . Formalmente, un cammino è:

$$(v_0, \dots, v_k) \text{ di } V, \quad v_0 = x, \quad v_k = y \quad | \quad 1 \leq i \leq k : (v_{i-1}, v_i) \in E$$

Un cammino che torna da dove parte, ovvero dove $(v_0, \dots, v_k) : v_0 = v_k$, è detto ciclico. Si dice che un grafo diretto privo di cicli è **aciclico**.

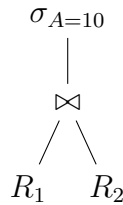
Alberi

Un grafo non orientato si dice connesso se esiste un cammino fra ogni coppia di vertici. Un'albero è un grafo non orientato nel quale due vertici qualsiasi sono connessi da uno e un solo cammino.

Un'interrogazione può essere rappresentata da un'albero, dove le foglie (i nodi finali) sono dati (relazioni, file, ecc...), e i nodi intermedi sono operatori (operatori algebrici, poi effettivi operatori di accesso ai dati). Ad esempio, l'albero corrispondente all'espressione:

$$\sigma_{A=10}(R_1 \bowtie R_2)$$

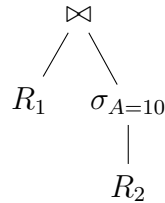
sarà:



La stessa interrogazione dopo il push down della selezione $\sigma_{A=10}$ sarà allora:

$$R_1 \bowtie \sigma A = 10(R_2)$$

con relativo albero:



Procedura euristica di ottimizzazione

La procedura di ottimizzazione consiste quindi nel:

- Decomporre le selezioni congiuntive in successive selezioni atomiche;
- Anticipare il più possibile le selezioni;
- In una sequenza di selezioni, anticipare le più selettive;
- Combinare prodotti cartesiani e selezioni per formare join;
- Anticipare il più possibile le proiezioni.

31 Relazioni Derivate

Una **relazione di base** è una relazione il cui contenuto è autonomo. Una **relazione derivata** è una relazione il cui contenuto è funzione di altre relazioni. Si possono così avere rappresentazioni diverse per gli stessi dati, definite mediante interrogazioni, che possono rivolgersi a relazioni di base come ad altre relazioni derivate. Esistono due tipi di relazioni derivate:

- **Viste materializzate**, dove i risultati sono precalcolati;
- **Viste virtuali**, o più semplicemente viste. Sono le più comuni.

Viste materializzate

Sono relazioni derivate memorizzate nella base di dati. Il loro vantaggio è che sono precalcolate, e quindi immediatamente disponibili. I loro svantaggi sono che:

- Sono ridondanti;
- Appesantiscono gli aggiornamenti;
- Sono raramente supportate dai DBMS.

Viste virtuali

Relazioni derivate non memorizzate nella base di dati, e quindi ricalcolate ad ogni accesso. Sono supportate da tutti i DBMS.

Interrogazioni su viste

Le interrogazioni su viste sono eseguite sostituendo alla vista la sua definizione. Le viste possono semplificare la scrittura di interrogazioni, espressioni complesse, e sotto-espressioni ripetute. L'uso delle viste virtuali inoltre non influisce sull'efficienza delle interrogazioni. Ad esempio, supponiamo di avere le seguenti relazioni:

$$R_1(ABC), R_2(DEF), R_3(GH)$$

e di definire una vista R :

$$R = \sigma_{A>D}(R_1 \bowtie R_2)$$

Un'interrogazione potrà a questo punto essere definita:

- Senza vista:

$$\sigma_{B=G}(\sigma_{A>D}(R_1 \bowtie R_2) \bowtie R_3)$$

item Con vista:

$$\sigma_{B=G}(R \bowtie R_3)$$

Viste e aggiornamenti

Aggiornare una vista significa modificare le relazioni di base in modo che la vista ricalcolata rispecchi l'aggiornamento. L'aggiornamento sulle relazioni di base dovrebbe essere associato univocamente a quello specificato sulla vista, ma questo non è sempre vero. Per questo motivo ben pochi aggiornamenti sono ammissibili sulle viste.

32 Calcolo relazionale

Il calcolo relazionale è una famiglia di linguaggi dichiarativi basati sul calcolo dei predicati del primo ordine. Ne esistono diverse versioni:

- Calcolo relazionale sui domini, in breve calcolo dei domini;
- Calcolo su n-uple con dichiarazione di range, in breve calcolo delle tuple, usato in SQL.

Assunzioni

I simboli di predicato corrispondono alle relazioni presenti nelle basi di dati, più alcuni predicati standard come l'uguaglianza e la disuguaglianza. Non compaiono simboli di funzione. Nel calcolo relazionale vengono utilizzate prevalentemente formule aperte, cioè formule con variabili libere, il cui valore di verità dipende dai valori assegnati alle variabili libere. Il risultato di un'interrogazione (formula aperta) è costituito da tutte le tuple di valori che sostituiti alle variabili libere, la rendono vera. In coerenza con quanto fatto in algebra relazionale, useremo una notazione non posizionale (attributi con nome, etichettati).

Calcolo dei domini

Vediamo innanzitutto la sintassi: nel calcolo dei domini un'espressione ha forma:

$$\{A_1 : x_1, \dots, A_k : x_k \mid f\}$$

dove:

- A_1, \dots, A_k sono attributi distinti (che possono anche non comparire nello schema della base di dati).
- x_1, \dots, x_K sono variabili (che assumiamo essere distinte, non è necessario).
- $A_1 : x_1, \dots, A_k : x_k$ è la *target list* (lista degli obiettivi) e descrive il risultato.
- f è una formula costruita a partire da formule atomiche utilizzando eventualmente i connettivi booleani e i quantificatori logici $\forall x, \exists x$, con x variabile (logica del primo ordine).

Il risultato di un'espressione nel calcolo dei domini è una relazione su A_1, \dots, A_k , contenente n-uple in x_1, \dots, x_2 che rendono vera la formula f sull'istanza di basi di dati considerata. F rispetto all'istanza

Formule atomiche del calcolo dei domini

Il predicato f è costituito da formule atomiche. Una formula atomica è definita come una delle tre forme:

- **Schemi di relazione**

$$R(A_1 : x_1, \dots, A_p : x_p)$$

dove $R(A_1, \dots, A_p)$ è uno schema di relazione.

- **Operatori fra variabili**

$$x_i \text{ OP } x_j$$

dove x e y sono variabili e OP è un operatore di confronto (uguale, non uguale, maggiore, minore e varianti strette).

- **Operatori fra variabili e costanti**

$$x_i \text{ OP } c, \quad c \text{ OP } x_i$$

dove c è una costante nel dominio A_i di x_i .

Definiamo allora alcune proprietà delle formule:

- Le formule atomiche sono formule.
- Se f è una formula, allora anche $\neg f$ è una formula.
- Se f_1 e f_2 sono formule, allora anche $f_1 \wedge f_2$ e $f_1 \vee f_2$ sono formule.
- Se f è una formula e x una variabile, allora anche $\exists x(f)$ e $\forall x(f)$ sono formule, dove \exists and \forall sono qualificatori (rispettivamente esistenziale e universale).
- Per convenienza, si raggruppano le variabili usate da quantificatori simili: ad esempio, $\exists x(\exists y(f))$ si può scrivere come $\exists x, y(f)$.

Valore di verità

L'inclusione di una data n-upla o meno da un'espressione è determinato dal valore di verità della sua formula. Il valore di verità di una formula è così definito (sulle formule atomiche):

- Una formula atomica $R(A_1 : x_1, \dots, A_p : x_p)$ è vera sui valori x_1, \dots, x_p che costituiscono una n-upla valida di R .
- Una formula atomica $x \theta y$ o $x \theta c$ (con c costante) è vera sui valori x, y che soddisfano la condizione θ .
- Il valore di verità degli operatori logici (congiunzione \wedge , disgiunzione \vee , negazione \neg) è definito nel modo usuale.
- Una formula della forma $\exists x(f)$ è vera se esiste almeno un elemento del dominio di x che rende vera f . Analogamente, una formula della forma $\forall x(f)$ è vera se tutti gli elementi del dominio di x rendono f .

Interpretazione logica del calcolo dei domini

Un'espressione del calcolo sui domini $\{A_1 : x_1, \dots, A_k : x_k | f\}$ può essere sostanzialmente interpretata come una formula logica del tipo:

$$\{x_1, \dots, x_k | f(x_1, \dots, x_l)\}$$

dove x_1, \dots, x_k sono variabili o costanti, e $f(x_1, \dots, x_k)$ è un predicato (vero o falso) che determina l'appartenenza o meno della n-upla di variabili al risultato dell'espressione.

Vantaggi e svantaggi del calcolo dei domini

Il vantaggio principale del calcolo dei domini è la dichiaratività: si *dichiarano* le proprietà del risultato desiderato, senza specificare i passaggi necessari a calcolarli. I difetti stanno invece nella grande verbosità (non è permesso fare proiezioni su stadi intermedi, ergo siamo costretti a portarci dietro tutti gli attributi nell'enunciato della formula). Inoltre, il calcolo dei domini è dipendente dal dominio (ovvero non tutte le espressioni sintatticamente valide nel calcolo dei domini sono indipendenti dal dominio):

Indipendenza dal dominio

Si dice che un'espressione di un linguaggio d'interrogazione è indipendente dal dominio quando il suo risultato non varia al variare del dominio rispetto alla quale l'espressione su cui viene valutata, salvo ovviamente i valori presenti nell'istanza e nell'espressione. A questo punto un linguaggio si dice indipendente dal dominio se tutte le sue espressioni sono tali. L'algebra relazionale è indipendente dal dominio: i risultati vengono costruiti sulla base di operazioni svolte sulle relazioni presenti nella base di dati senza mai fare riferimento ai domini dei valori che compongono le n-uple delle istanze. In altre parole, tutti i valori compaiono in istanze effettive di relazioni della base di dati o nella formulazione dell'espressione. Il calcolo dei domini, al contrario, è dipendente dal dominio. Si può ad esempio scrivere, senza violare nessuna regola sintattica:

$$\{A : x, B : y | R(A : x) \wedge y = y\}$$

nel risultato, il valore x dell'attributo A è legato alla relazione R , mentre il valore y può essere qualsiasi valore del dominio dell'attributo B , in quanto $\forall B : y | y = y$. Al variare del dominio di B , il risultato dell'espressione cambia (l'espressione è dipendente dal dominio!). Fosse stato B infinito, l'espressione avrebbe restituito un insieme infinito. Un'altro esempio può essere:

$$\{A : x | \neg R(A : x)\}$$

Tale espressione ottiene esattamente il complemento dei valori x sull'attributo A contenuti nella relazione R , ovvero tutti i valori del dominio di A meno

quelli in R .

Per ovviare ai problemi di dipendenza dal dominio presentati dal calcolo dei domini è stato introdotto il calcolo delle tuple.

Calcolo delle tuple

Il calcolo delle tuple risolve i problemi di verbosità del calcolo dei domini, utilizzando variabili per denotare tuple anzichè singoli valori legati ad attributi. Ogni relazione coinvolta presenta quindi una variabile, che rappresenta ogni possibile tupla di quella relazione. Per accedere ai singoli attributi di una tupla occorre quindi associare una struttura ad ogni variabile. Le espressioni nel calcolo delle tuple hanno forma:

$$\{T|L|f\}$$

dove:

- T è una **target list** (obiettivi dell'interrogazione);
- L è una **range list**;
- f è una formula.

Target list

Stabiliamo che:

- x è una variabile;
- X è un insieme di attributi di una relazione;
- Y e Z sono sottoinsiemi di attributi di X di pari lunghezza.

A questo punto, possiamo dire che T è una lista di elementi del tipo:

- $Y : x.Z$, Denotiamo con Y solo gli attributi Z della variabile (tupla) x , che assumerà valori definiti in L (*range list*).
- $x.Z \equiv Z : x.Z$ vogliamo solo gli attributi Z della variabile x , che assumerà valori definiti in L , ma non li ridenominiamo.
- $x.* \equiv X : x.X$ Prendiamo tutti gli attributi della variabile x , che assumerà valori definiti in L .

Range list

La *range list* L è una lista che contiene, senza ripetizioni, tutte le variabili della *target list*, con associata la relazione da cui viene prelevata ogni variabile:

$$L \equiv x_1(R_1), \dots, x_k(R_k)$$

dove x_i è una variabile e R_i è una relazione. L è una dichiarazione di range, ovvero specifica l'insieme dei valori che possono essere assegnati alle variabili. Non occorrono, come occorre nel calcolo dei domini, condizioni atomiche che vincolano una tupla ad appartenere ad una relazione ($A_1 : x_1, \dots, A_n : x_n$).

Formule atomiche del calcolo delle tuple

Possiamo definire, come avevamo fatto per il calcolo dei domini, 2 formule atomiche (manca la condizione di vincolo d'appartenenza alla relazione):

- **Operatori fra variabili**

$$x_i.A_1 \text{ OP } x_j.A_j$$

dove x e y sono variabili, A_1 e A_j attributi di tali variabili, e OP è un operatore di confronto (uguale, non uguale, maggiore, minore e varianti strette).

- **Operatori fra variabili e costanti**

$$x_i.A_i \text{ OP } c, \quad c \text{ OP } x_i.A_i$$

dove c è una costante nel dominio dell'attributo A_i di x_i .

Possiamo quindi definire alcune proprietà delle formule, quasi del tutto analoghe a quelle definite per il calcolo dei domini:

- Le formule atomiche sono formule.
- Se f è una formula, allora anche $\neg f$ è una formula.
- Se f_1 e f_2 sono formule, allora anche $f_1 \wedge f_2$ e $f_1 \vee f_2$ sono formule.
- Se f è una formula e x una variabile che indica una n-upla sulla relazione R , allora anche $\exists x R(f)$ e $\forall x R(f)$ sono formule, dove \exists and \forall sono qualificatori (rispettivamente esistenziale e universale). Notiamo che anche i quantificatori contengono adesso delle dichiarazioni di range (*range list*). La notazione $\exists(R)(f)$ significa "esiste nella relazione R una n-upla x che soddisfa la formula f ".

Vantaggi e svantaggi del calcolo delle tuple Il vantaggio principale del calcolo delle tuple è la minore verbosità rispetto al calcolo dei domini. Svantaggiosa è invece l'effettiva impossibilità di esprimere alcune interrogazioni, in particolare l'unione:

$$R_1(AB) \cup R_2(AB)$$

Questo perchè ogni variabile nel risultato ha un solo range, mentre l'unione comporta la derivazione di n-uple da più relazioni distinte. Per questo motivo linguaggi quali l'SQL, definiscono un operatore esplicito di unione (l'UNION). Intersezione e differenza sono invece esprimibili.

Calcolo e algebra

Calcolo e algebra sono sostanzialmente equivalenti, ovvero ogni espressione dell'algebra (indipendente dal domino!) ha un equivalente nel calcolo e viceversa. Esistono però alcune interrogazioni non esprimibili:

- **Calcolo dei valori derivati:** abbiamo la possibilità di estrarre valori, mai di generarne di nuovi.
- **Ricorsività:** le interrogazioni non hanno la possibilità di esprimere ricorsività, come avevamo visto nell'esempio della chiusura transitiva (riguardante riferimenti potenzialmente infiniti fra relazioni).

33 Modellazione e progettazione concettuale

La definizione di schemi adeguati per le basi di dati richiede metodologie precise per la modellazione accurata della realtà che ci interessa. Bisogna tenere a mente che:

- Non conviene concentrarsi subito sui dettagli;
- Conviene invece stabilire subito interdipendenze fra relazioni;
- Il modello relazionale sarà rigido una volta ultimato.

In generale si può dire che esiste sempre (e spesso è unico) uno schema che modella accuratamente e nel modo più semplice possibile una certa realtà di interesse. La progettazione di basi di dati è solo una fase dello sviluppo di un sistema informativo (vedere a riguardo le prime lezioni di teoria). Bisogna quindi tenere conto di:

- **Ciclo di vita** (*lifecycle*) del sistema informativo, ovvero l'insieme delle attività svolte da analisti, progettisti e utenti nello sviluppo e nell'uso del sistema informativo. Questa attività è iterativa, e quindi ciclica.

I passi ciclo di vita dovranno essere ben definiti attraverso linguaggi e modelli prestabiliti. Per le basi di dati, in particolare, conviene adottare modelli di facile utilizzo, che consentano la decomposizione delle attività in fasi (e/o livelli) distinti, e di utilizzare strategie e criteri di scelta nei vari passaggi.

Modello a cascata

Il modello a cascata (*waterfall model*) le fasi sono sequenzialmente ordinate, etichettate, e non ripetibili. In ordine, esse sono le seguenti:

1. **Studio di fattibilità:** definizione di costi e priorità della produzione;
2. **Raccolta e analisi dei requisiti:** studio delle proprietà del sistema che andranno implementate;
3. **Progettazione:** progettazione di strutture dati e funzioni;
4. **Realizzazione:** implementazione effettiva del codice;
5. **Validazione e collaudo:** sperimentazione del prodotto;
6. **Funzionamento:** il sistema diventa operativo in produzione (*shipping*).

Vediamo alcune fasi nel dettaglio.

34 Raccolta e analisi dei requisiti

Questa fase può essere, a sua volta, divisa in due sotto-fasi:

- **Acquisizione dei requisiti:** il reperimento dei requisiti è un'attività non standardizzata. Esistono più modalità:
 - Direttamente dagli utenti:
 - * Interviste, focus group, recensioni, ecc...
 - * Documentazioni apposite;
 - Attraverso documentazioni preesistenti:
 - * Normative (legislazioni, regolamenti di settore);
 - * Regolamenti interni, procedure aziendali;
 - * Realizzazioni preesistenti.

Esistono linguaggi per definire requisiti (*UML*).

- **Analisi dei requisiti:** si analizzano i requisiti raccolti, spesso nella prospettiva di successive acquisizioni.

Interazione con gli utenti

Le problematiche dell'interazione con gli utenti possono essere:

- Utenti diversi danno risposte diverse;
- Utenti a livello più alto hanno spesso una visione più ampia ma meno dettagliata;
- Spesso l'acquisizione di requisiti avviene per raffinazione.

Conviene quindi:

- Effettuare spesso verifiche di comprensione e coerenza;
- Verificare anche attraverso esempi (soprattutto nei casi limite);
- Richiedere definizioni e classificazioni chiare e specifiche;
- Separare gli aspetti essenziali da quelli marginali (*ranking*).

Interazione con gli utenti tramite documentazione

E' opportuno seguire alcune linee guide generali, assicurando:

- Standardizzazione della struttura delle frasi;
- Separazione delle frasi riguardanti dati da quelle riguardanti funzioni;
- Organizzazione di termini e concetti:
 - Unificazione di termini (eliminazione di sinonimi);
 - Esplicitazione del riferimento fra termini;
- Organizzazione delle frasi per concetti.

35 Progettazione

La progettazione è una fase del ciclo di vita. Per un sistema software la progettazione si divide effettivamente in:

- Progettazione dei dati;
- Progettazione delle applicazioni.

Progettazione per astrazione

Come in tutte le applicazioni informatiche, abbiamo visto che è necessario progettare per livelli successivi di astrazione:

- **Livello concettuale:** esprime i requisiti di un sistema in una descrizione adatta all'analisi da punti di vista esterni
- **Livello logico:** evidenzia l'organizzazione dei dati dal punto di vista del loro contenuto informativo, descrivendo la struttura dei record e le loro interdipendenze.
- **Livello fisico:** si concentra sulla base di dati vista come un insieme di blocchi fisici sul disco, e riguarda quindi l'allocazione dei dati e le modalità di memorizzazione.

Con riferimento a quanto detto sugli schemi logici avremo quindi che la progettazione si divide in:

- **Progettazione concettuale**, parte dai requisiti individuati della base e produce uno schema concettuale;
- **Progettazione logica**, parte dallo schema concettuale e produce uno schema logico;
- **Progettazione fisica**, parte dallo schema logico e produce lo schema fisico finale.

Come lo era stato il modello a cascata, la progettazione per astrazione è composta da fasi sequenzialmente ordinate che vanno eseguite strettamente in ordine.

Modello dei dati

Il modello dei dati è l'insieme dei costrutti utilizzati per organizzare i dati di interesse e definirne la dinamica. Componente fondamentale del modello sono i meccanismi di strutturazione (costruttori di tipi). Come per i linguaggi di programmazione comuni, esistono meccanismi che permettono di definire nuovi tipi. Ogni modello dei dati prevede alcuni costruttori: ad esempio il modello relazionale prevede un costruttore relazionale che permette di definire insiemi di record omogenei. Per riassumere in breve, in ogni base di dati si ha:

- Lo **schema**, invariante nel tempo, che ne descrive la struttura. Si notino inoltre le **intestazioni** delle tabelle (previste nel modello relazionale).
- L'**istanza**, i valori effettivi assunti dalla base di dati in un dato momento. Nel modello relazionale rappresenta il **corpo** di ciascuna tabella.

36 Modello concettuale Entity-Relationship

Il modello concettuale che utilizzeremo sarà quello **Entity-Relationship (ER)**. Si noti che la parola *relationship*, sebbene abbia lo stesso significato in lingua inglese, non si riferisce al concetto matematico di relazione che sta alla base del modello relazionale. Per questo motivo useremo sempre il termine inglese per descrivere le relazioni del modello entity-relationship, in modo da distinguerle dalle relazioni del modello relazionale. Il modello entity-relationship viene sviluppato da P.P. Chen nel 1976, ed è oggi una delle metodologie più affermate nel campo della progettazione dei sistemi informatici, anche se in un'accezione leggermente diversa da quella in cui era stato concepito inizialmente.

I suoi costrutti base sono:

- Entità
- Relationship
- Attributi

Entità

Un'entità è una classe di oggetti dell'applicazione d'interesse con proprietà comuni e esistenza autonoma. Un'occorrenza (o istanza) di entità è un elemento della classe (un'elemento, non i dati ad esso legati!). Ogni entità deve avere un nome che la identifica univocamente nello schema. Graficamente è rappresentato da una scatola.

Relationship

Una relationship è un legame logico fra due o più entità, rilevante nell'applicazione d'interesse. Può essere chiamata anche relazione (vedi sopra), correlazione o associazione. Ogni relationship, come per le entità, ha un nome che la identifica univocamente nello schema. Graficamente è rappresentata da una losanga.

Vediamo allora di definire il concetto di occorrenza di relationship, più complesso di quello di occorrenza di entità:

- Un'occorrenza di **relationship binaria** è una coppia di occorrenza di entità, una per ciascuna entità coinvolta.
- Una occorrenza di una **relationship n-aria** è una n-upla di occorrenze di entità, una per ciascuna delle n entità coinvolte.

Nell'ambito di una relationship non ci possono essere occorrenze (né coppie né n-uple) ripetute.

Attributo

L'attributo è una proprietà elementare di un'entità o di una relationship, che ci interessa ai fini dell'applicazione d'interesse. Associa a ogni occorrenza di entità o relationship un valore appartenente ad un dominio, il cosiddetto dominio dell'attributo.

Attributo composito

Gli attributi compositi raggruppano attributi di una medesima entità o relationship che presentano affinità nel loro significato o uso (e.g. giorno, mese, anno si compone in data, via, numero civico, CAP in indirizzo, ecc...).

37 Concetti inesprimibili nel modello ER

Alcuni concetti sono inesprimibili attraverso il modello ER tradizionale, e bisognano quindi di costrutti particolari:

- **Cardinalità**

- di relationship;
- di attributo;

- **Identificatore**

- interno;
- esterno;

- **Generalizzazione**

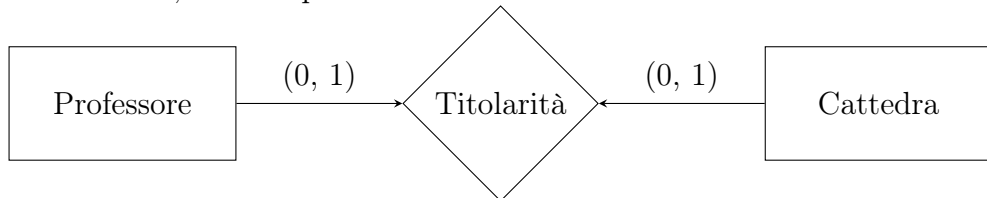
Cardinalità di relationship

Una cardinalità di relationship è rappresentata da una coppia di valori associati ad ogni entità che partecipa alla relationship. Questi specificano il numero minimo e massimo di occorrenze della relationship a cui ciascuna occorrenza di entità può partecipare. I simboli usati saranno:

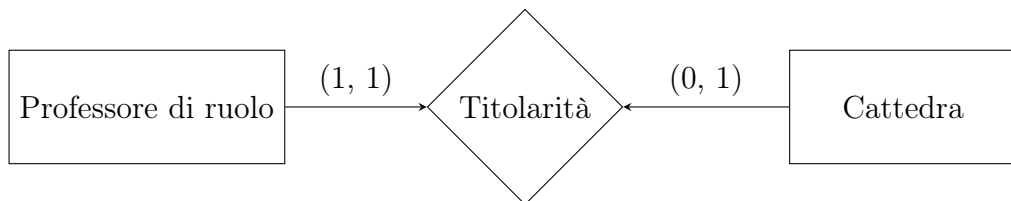
- Per la minima:
 - 0 \rightarrow partecipazione opzionale
 - 1 \rightarrow partecipazione obbligatoria
- Per la massima:
 - 1 \rightarrow partecipazione opzionale
 - N \rightarrow non pone alcun limite

Con riferimento alle cardinalità massime, abbiamo relationship:

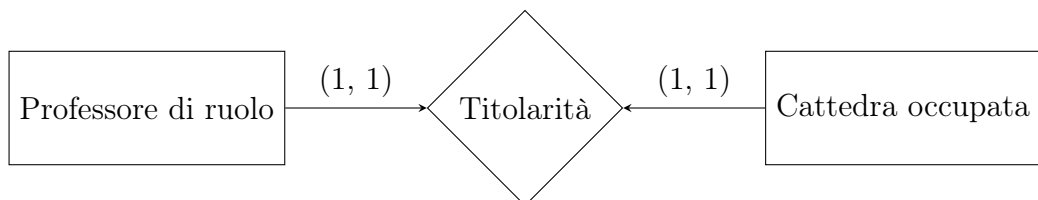
- **Uno a uno**, ad esempio:



Un professore può essere tale senza essere titolare di alcuna cattedra, e una cattedra può restare vuota.

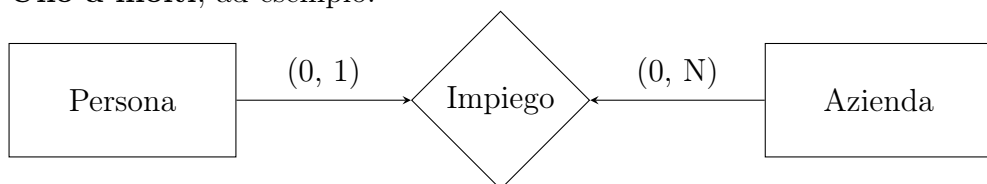


Un professore di ruolo dovrà ovviamente essere titolare di almeno una cattedra, ma questo non significa comunque che tutte le cattedre siano occupate.

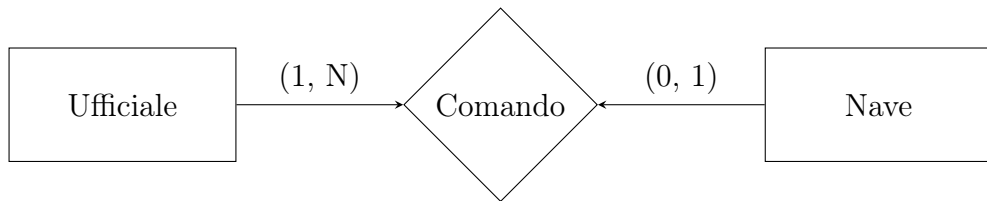


E' una forzatura? Sì. Serve a spiegare il concetto? Sempre sì.

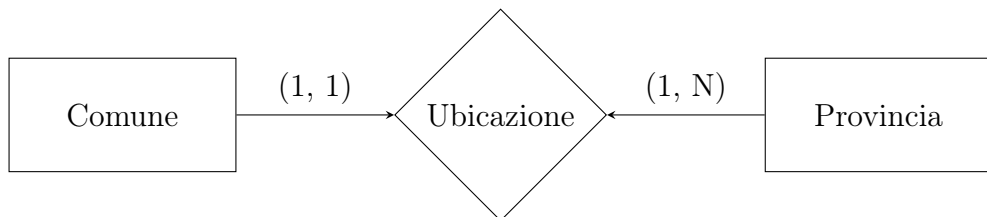
- **Uno a molti**, ad esempio:



Una persona può essere o non essere assunta, ma al massimo da una azienda. Al contrario, un'azienda avrà probabilmente più di un'impiegato.

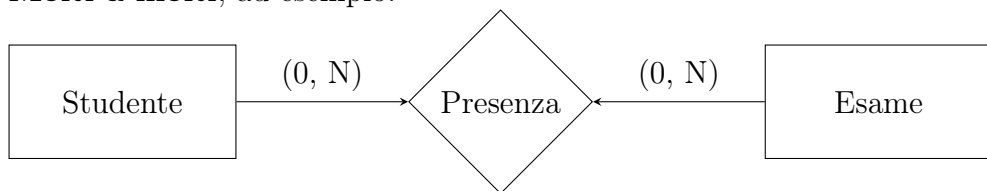


Un ufficiale per considerarsi tale deve comandare almeno una nave, ma non è detto che tutte le navi abbiano un comandante. Alcune sono navi fantasma come nei Pirati dei caraibi.

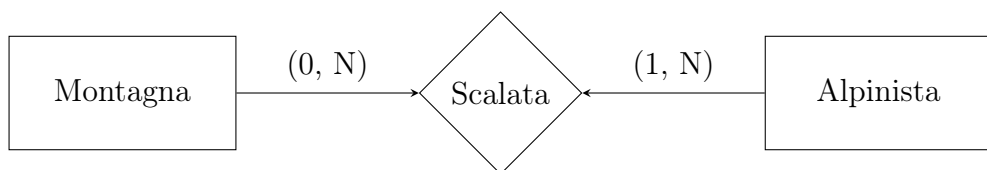


Ogni comune è ubicato in una e una sola provincia, mentre ogni provincia è l'ubicazione di più comuni.

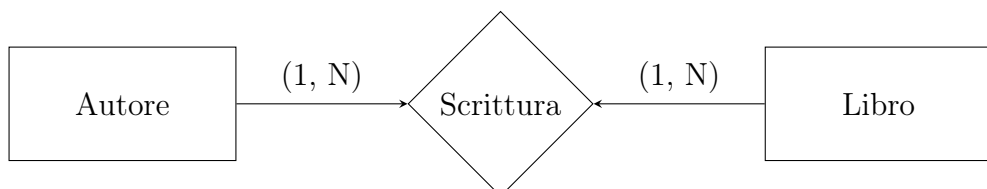
- **Molti a molti**, ad esempio:



Non è detto che ogni studente abbia sostenuto un'esame, come non è detto che ogni esame sia stato sostenuto da almeno uno studente.



Per potersi considerare alpinisti occorre aver scalato almeno una montagna, ma non è detto che tutte le montagne siano state scalate.

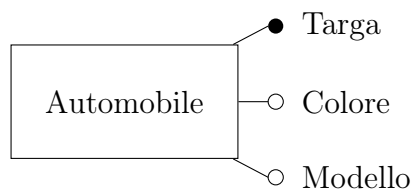


Ogni autore ha scritto almeno un libro per considerarsi tale, e ogni libro deve essere stato scritto da almeno un autore. Questo però non pregiudica che un autore non possa scrivere più libri o un libro non possa essere scritto da più autori.

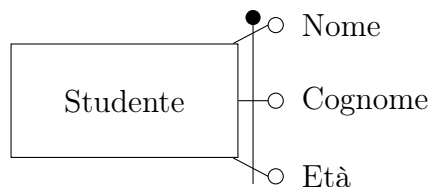
Identificatore di entità

L'identificatore di entità è uno strumento per l'identificazione univoca delle occorrenze di un'entità.

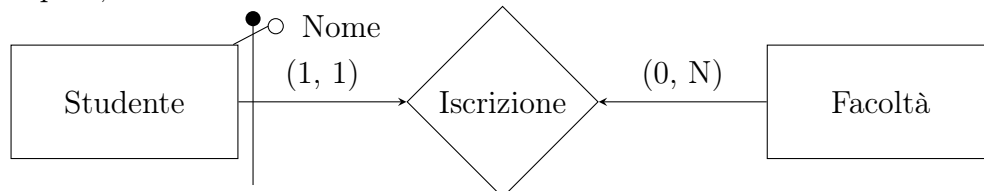
- Gli attributi dell'entità possono formare l'**identificatore interno** (o chiave). Per capirsi, un'identificatore interno è una chiave primaria o comunque una chiave candidata.



Come vediamo dalla figura, targa è la chiave primaria, ovvero l'identificatore. Nel caso un'insieme di attributi sia una chiave, adottiamo la rappresentazione seguente:



- Gli attributi dell'entità e l'identificatore interno di entità esterne raggiunte attraverso relationship formano un'**identificatore esterno**. un'identificazione esterna può essere possibile solo nel caso esista una relationship in cui l'entità da identificare abbia cardinalità (1,1). Per capirsi, un identificatore è una chiave contenente una chiave esterna.

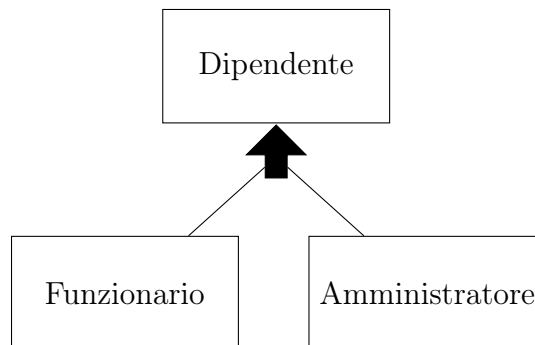


Dalla figura si capisce che il nome dello studente e la sua iscrizione a una certa facoltà formano il suo identificatore esterno.

Ogni entità deve possedere almeno un identificatore, ma può averne in generale più di uno.

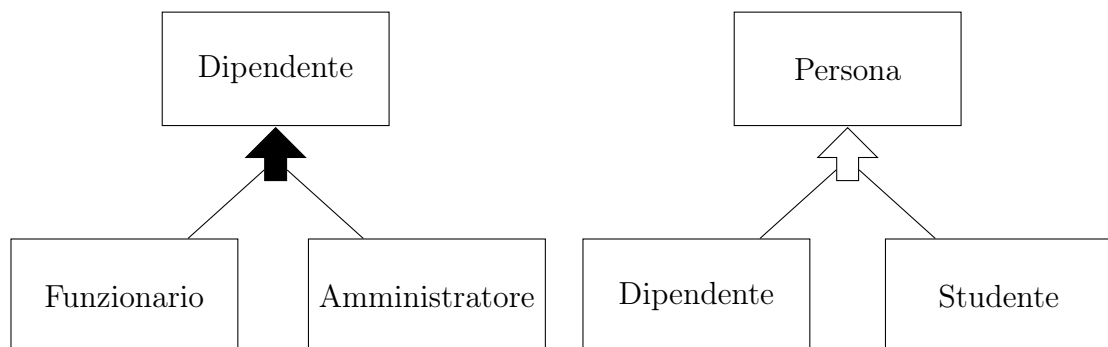
Generalizzazione

La generalizzazione mette in relazione una o più entità E_1, E_2, \dots, E_n con una singola entità E che le comprende come casi particolari. Si dice che E è una generalizzazione (oppure entità genitrice, madre) di E_1, E_2, \dots, E_n (dette specializzazioni, sottotipi o entità figlie).



Le caratteristiche delle generalizzazioni sono:

- **Ereditarietà:** tutte le proprietà dell'entità genitore vengono ereditate dalle figlie e non rappresentate esplicitamente.
- **Generalizzazione totale:** se ogni occorrenza dell'entità genitore è rimpiazzata da almeno un'occorrenza delle entità figlie, altrimenti si parla di **generalizzazione parziale**. Di norma le generalizzazioni parziali si indicano con una freccia vuota, mentre quelle totali con una freccia piena.



- **Generalizzazione esclusiva:** se ogni occorrenza dell'entità genitrice è occorrenza di al massimo una delle entità figlie, altrimenti si parla di **generalizzazione sovrapposta**.

- Possono esistere **gerarchie a più livelli** e multiple generalizzazioni allo stesso livello.
- Un'entità può essere inclusa in più gerarchie, sia come genitore che come figlia, se non entrambe.
- Se una generalizzazione ha solo un'entità figlia si dice **sottoinsieme**.
- Il genitore di una generalizzazione totale può non avere identificatore (**anonimato**) purché siano identificate le figlie.

38 Progettazione concettuale

Vediamo adesso la progettazione concettuale nel dettaglio. Il modello ER sarà lo strumento fondamentale nel corso di questa fase: dovremo innanzitutto decidere, per una qualsiasi specifica fornitaci, quale sia il costrutto ER più adeguato da utilizzare. Per fare questo ci basiamo sulle definizioni dei costrutti del modello ER:

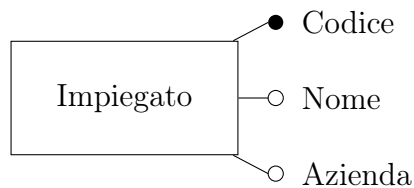
- **Entità**, se un oggetto ha proprietà significative e descrive oggetti con esistenza autonoma;
- **Attributo**, se un'oggetto è semplice e non ha proprietà specifiche;
- **Relationship**, se un concetto correla più oggetti;
- **Generalizzazione**, se un concetto è caso particolare di un altro.

Design pattern

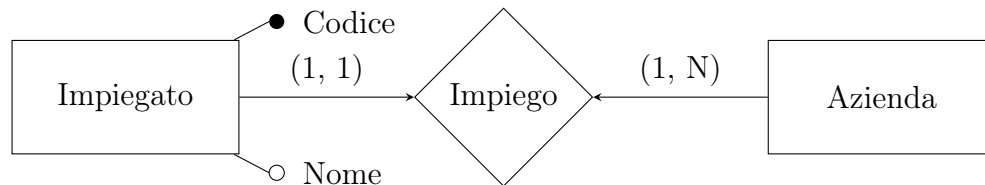
I design pattern sono soluzioni progettuali a problemi comuni. Sono largamente usati nell'ingegneria del software, e ne esistono alcuni comuni nella progettazione delle basi di dati.

- **Reificazione di attributo di entità**

La reificazione di un attributo di un'entità è la promozione di tale attributo ad un'entità a sé stante, con ovvia creazione di una relationship che esprima il rapporto fra l'entità di partenza e l'attributo che abbiamo trasformato in entità. Supponiamo di avere il modello ER:



L'attributo azienda potrebbe essere trasformato in un'entità a sé, per poter includere maggiori informazioni rispetto all'azienda stessa:



- **Reificazione di relationship in entità**

La reificazione di una relationship in entità è la promozione di una relationship in un'entità a sé stante, che sarà opportunamente collegata alle entità che metteva prima in relazione fra di loro attraverso altre relationship ausiliarie. Nello specifico, vediamo come usare la reificazione di relationship in entità per reificare relationship binarie e ternarie:

- **Reificazione di relationship binarie**

Diciamo di avere un modello abbastanza semplice, contenente due entità con identificatore interno legate da una relationship: Magari la relationship potrebbe avere bisogno di più informazioni specifiche: potremo allora usare più approcci alternativi. Il primo sarà di creare un'entità corrispondente alla relationship, e di rendere poi gli attributi di quell'entità e le relazioni con le entità di partenza identificatore esterno. Un'altro approccio sarà quello di assegnare semplicemente alla nuova entità un identificatore univoco.

- **Reificazione di relationship ternarie**

Un problema più sostanziale può essere rappresentato da una relationship ternaria. In questo caso si può adottare un approccio analogo al precedente, trasformando la relationship in un'entità contenente tutte le informazioni necessario e legata alle entità di partenza con 3 distinte relationship, che potranno anche formare l'identificatore esterno della nuova entità.

- **Reificazione di attributo di relationship**

Nel modello ER, nessuno ci impedisce di assegnare attributi alle relationship. Questo però andrà molto probabilmente tradotto in un'entità a sé stante, che sarà legata attraverso le metodologie che abbiamo appena visto alle entità che legava in partenza.

- **"Parte di"**

Il pattern parte di permette di definire concetti che sono parte di altri

concetti, come ad esempio un cinema con le sue sale. Viene rappresentato da una relazione "composizione", uno a molti, dove l'oggetto che è parte dell'altro ha identificatore esterno nel primo.

- **"Istanza di"**

Il pattern istanza di permette di definire concetti che sono istanze di altri concetti generali, come ad esempio un torneo e le sue edizioni. In questo caso si usa sempre una relazione, "occorrenza", uno a molti, dove l'oggetto occorrenza ha identificatore esterno nell'oggetto generale.

- **Caso particolare di entità**

Il pattern caso particolare di entità permette definire casi particolari di determinate entità, attraverso la generalizzazione totale di un'entità specializzata su un'entità generale. L'entità specializzata sarà il caso particolare.

Grafici di modelli ER per i pattern riportati si possono trovare al link: <https://github.com/Guray00/IngegneriaInformatica/blob/master/PRIMO%20ANNO/II%20SEMESTRE/Basi%20di%20dati/Diapositive/Slides%20Tonellotto/A.A.%2022-23/%5B06%5D%20Progettazione%20Concettuale%20e%20Logica.pdf>

Documentazione associata agli schemi concettuali

Il modello ER non basta mai da solo a descrivere l'interezza della realtà che vogliamo modellare. Esistono infatti, nonostante tutte le aggiunte che abbiamo apportato al modello ER, vincoli inesprimibili, che dovranno essere espressi dalla documentazione di supporto. Serviranno quindi:

- Un **dizionario dei dati**, ovvero una tabella che contenga informazioni riguardo alle entità e alle relationship che dovranno essere modellizzate dal nostro database.
- **Regole aziendali**: ovvero informazioni riguardo ai vincoli di integrità necessarie, nonché possibili derivazioni specifiche ai tipi di dati che staremo trattando (formule particolari per il calcolo di indici, medie...).

39 Strategie di progetto

Possiamo definire alcuni tipi di strategie di progetto:

- **Top-down**

Si parte da uno schema iniziale e generale (top) che viene poi definito nei dettagli fino allo schema definitivo (down), muovendosi così,

figurativamente, dall'alto verso il basso (zip!). La raffinazione dettagli avviene attraverso l'applicazione di primitive:

Primitive di raffinamento

- Da entità a associazione tra entità;
- Da entità a generalizzazione;
- Da associazione a insiemi di associazioni;
- Da associazione a entità con associazioni;
- Introduzione di attributi su entità e associazioni.

Dove associazione è sinonimo di relationship.

- **Bottom-up**

Si parte dalle specifiche delle componenti minime dello schema: queste specifiche vengono poi integrate fra di loro a formare lo schema completo. Come prima, figurativamente, dal basso verso l'alto. Questa integrazione avviene attraverso le primitive di trasformazione (o generalizzazione).

Primitive di trasformazione

- Generazione di entità;
- Generazione di associazione;
- Generazione di generalizzazione.

Come sopra.

- **Inside-out**

La progettazione inside-out è sostanzialmente una generalizzazione della bottom-down, dove si parte da strutture atomiche di complessità minore fino a schemi più complessi e sempre più vicini al risultato finale.

Nella pratica, una strategia non è mai puramente top-down o bottom-up, ma è più una **strategia mista**, che può essere sintetizzata come:

- Individuazione dei concetti principali e realizzazione di uno schema scheletro (un semplice schema concettuale che racchiude i dettagli più importanti della realtà da modellare);
- Decomposizione dello schema scheletro;

- Raffinazione, espansione e integrazione delle componenti dello schema.

Possiamo definire questa metodologia nei dettagli.

- **Analisi dei requisiti**

- Analisi dei requisiti ed eliminazione delle ambiguità;
- Costruzione di un glossario di termini;
- Raggruppamento dei requisiti in insiemi omogenei.

- **Passo base**

- Definizione uno schema scheletro con i concetti più rilevanti.

- **Passo iterativo**

- Raffinazione dei concetti presenti sulla base delle loro specifiche;
- Aggiunta di concetti necessari a descrivere specifiche non implementate.

- **Analisi di qualità**

- Verifica della qualità dello schema e seguente modifica se necessaria. La qualità di uno schema concettuale può essere riassunta nella sua:
 - * **Correttezza**
 - * **Completezza**
 - * **Leggibilità**
 - * **Minimalità**

40 Progettazione logica

Giungiamo adesso alla progettazione logica del nostro schema. L'obiettivo della progettazione logica è quello di tradurre lo schema concettuale in uno schema logico che rappresenti i dati in modo corretto ed efficiente. Prendiamo quindi in ingresso lo schema concettuale, il modello logico usato e una serie di informazioni sul **carico applicativo**, ovvero lo sforzo a cui sarà sottoposto il sistema; in uscita avremo uno schema logico ben definito con relativa documentazione.

Valutazione delle prestazioni

La valutazione delle prestazioni può essere effettuata attraverso determinati indicatori, ovvero parametri che caratterizzano le prestazioni. I più importanti sono

- **Spazio:** numero di occorrenze previste;
- **Tempo:** numero di occorrenze (o relationship) visitate per portare a termine un'operazione.

Il calcolo degli indicatori di tempo può essere effettuato attraverso una tavola degli accessi: la tavola degli accessi relativa a una data operazione si ricava dallo schema di navigazione, costruito sul diagramma ER.

Ristrutturazione dello schema ER

A volte potrebbe essere necessario ristrutturare lo schema ER: ciò permette di semplificarne la traduzione e ottimizzare le prestazioni del sistema. Notiamo che uno schema ER ristrutturato non è più uno schema concettuale nel senso stretto del termine. La ristrutturazione si effettua attraverso i seguenti passaggi:

- **Analisi delle ridondanze**

Una ridondanza in uno schema ER è un'informazione significativa ma derivabile da altre. Nella fase di progettazione logica si decide se eliminare le ridondanze eventualmente presenti nello schema oppure mantenerle (se non addirittura introdurne di nuove). Il vantaggio delle ridondanze è la semplificazione delle interrogazioni; gli svantaggi sono il maggiore spazio richiesto e l'appesantimento delle operazioni di aggiornamento. Le principali forme di ridondanza in uno schema ER sono:

- **Attributi derivabili**

Attributi che si possono derivare da attributi o della stessa entità o di entità diverse (o relationship).

- **Relationship derivabili**

Relationship che si possono derivare dalla composizione di altre relationship (e.g. cicli).

- **Eliminazione delle generalizzazioni**

Il modello relazionale non può rappresentare direttamente le generalizzazioni: dispone solamente di entità (relazioni) e relationship (dipendenza). Per questo motivo è necessario eliminare le gerarchie, sostituendole a loro volta con entità e relationship. Le metodologie possibili sono:

- **Accorpamento delle figlie** della generalizzazione nel genitore, ovvero l'eliminazione della generalizzazione figlia, che verrà trasformata in una relationship ad entità la cui esistenza o non è

segnalata da un certo attributo ("tipo"). Si noti che l'entità di partenza mantiene i suoi attributi;

- **Accorpamento del genitore** della generalizzazione sulle figlie, ovvero un processo simile al precedente in cui si trasforma la gerarchia in una serie di relationship. In questo caso gli attributi vanno a ricadere sulle figlie (si "accorpa" sulle figlie), e il genitore può essere eliminato direttamente;
- **Sostituzione** della generalizzazione con relationship, ovvero la trasformazione diretta in relationship, dove gli attributi dell'entità genitrici e generalizzate restano alle loro entità d'appartenenza, e la loro gerarchia viene trasformata in relationship con cardinalità $(0,1) \rightarrow (1,1)$.

La scelta fra le alternative possibili di eliminazione di generalizzazione può essere fatta sulla base della tabella degli accessi, seguendo alcune linee guida generali:

- L'accorpamento delle figlie conviene se gli accessi al padre e alle figlie sono contestuali;
- L'accorpamento del genitore conviene se gli accessi al padre e alle figlie sono differenti;
- La sostituzione conviene se gli accessi alle entità figlie sono separati da quelli al padre.

Notiamo poi che non sono escluse soluzioni ibride, soprattutto nel caso di gerarchie a più livelli.

• **Partizionamento/accorpamento di entità e relationship**

Passiamo adesso alle ristrutturazioni fatte per rendere più efficienti le operazioni in base al principio di riduzione degli accessi. Questo si può ottenere:

- **Separando gli attributi** di un concetto a cui si accede separatamente;
- **Raggruppando attributi** di concetti diversi a cui si accede insieme.

Considereremo, per semplicità, che ad ogni accesso si legge sempre l'intera informazione. Le casistiche principali saranno:

- **Partizionamento verticale** di entità: il partizionamento verticale consiste nel dividere una data entità in due (sotto)entità, con un'opportuna relationship fra di esse. Ognuna delle due entità è in corrispondenza biunivoca con l'altra (cardinalità (1,1)) con chiave esterna corrispondente alla relationship per l'entità che non si prende la chiave interna.
- **Partizionamento orizzontale** di relationship: il partizionamento orizzontale consiste nel dividere una data relationship dotata di attributi in più relationship corrispondenti a diversi valori di un attributo. Ad esempio, la divisione di una relationship d'appartenenza a due relationship di "appartenza corrente" e "appartenenza passata" in termini temporali.
- **Eliminazione di attributi multivalore**: l'eliminazione di attributi multivalore viene incontro all'impossibilità di rappresentare attributi multivalore nel modello relazionale. Si trasformano quindi dati attributi in un'entità a sé stante che sarà collegata all'entità di partenza con una relazione di cardinalità $(1,N) \rightarrow (1,1)$ (o $(1,N)?$).
- **Accorpamento di entità e relationship**: l'accorpamento di entità e relationship è l'esatto opposto del partizionamento verticale: due entità collegate da una relationship di cardinalità $(1,1) \rightarrow (0,1)$ potranno tranquillamente essere accorpate in un'unica entità con attributi a cardinalità $(0,1)$ corrispondenti agli ex attributi della seconda entità.
- **Scelta di identificatori primari** La scelta degli identificatori primari è indispensabile alla traduzione nel modello relazionale, dove esiste il concetto di chiave. I criteri da adottare sono:
 - L'assenza di opzionalità;
 - La semplicità;
 - Utilizzo nelle operazioni più frequenti o importanti

Nel caso nessuno degli identificatori soddisfi i requisiti necessari può essere necessario, sebbene sia poco elegante, introdurre nuovi attributi (codici) generati appositamente, magari in maniera incrementale.

Traduzione verso il modello relazionale

Approcciando la traduzione nel modello relazionale dello schema logico, dovremmo pensare di trasformare entità in relazioni sugli stessi attributi, e relationship in relazioni sugli identificatori delle entità coinvolte.

41 Dipendenze funzionali

Definiamo un metodo per valutare formalmente la qualità della progettazione degli schemi relazionali, ovvero misurare se un raggruppamento di attributi è migliore o peggiore di un altro, senza doversi affidare al buon senso del progettista dello schema o del modello ER. Seguiamo l'approccio top-down: iniziamo dall'individuare raggruppamenti più generali di attributi, ed effettuiamo poi decomposizioni successive per raffinare tali raggruppamenti generali. Gli obiettivi che abbiamo durante lo sviluppo del processo logico sono:

- **Conservazione dell'informazione**, ovvero il mantenimento delle informazioni che ci interessano della realtà in analisi.
- **Minimizzazione della ridondanza**, ovvero la riduzione al minimo della memorizzazione ripetuta della stessa informazione.

Possiamo ricavare da questo alcune linee guida:

- **Linea guida 1: semplice è bello**
Uno schema di relazione deve essere progettato in modo da essere semplice da capire. Non si devono raggruppare attributi da più tipi di entità in un'unica relazione. Intuitivamente, anzi, dovremmo far corrispondere ad ogni schema di relazione una sola entità o una sola relationship, in modo da evitare **ambiguità semantiche**.
- **Linea guida 2: no alle anomalie**
Gli schemi di basi di dati vanno progettati in modo che non si possano presentare anomalie in fase di definizione dei dati. La mancanza di anomalie va certificata attraverso una descrizione fondamentale della semantica dei fatti descritti della realtà di interesse. Se si possono presentare anomalie, esse vanno rilevate e si deve assicurare che i programmi che aggiornano la base operino correttamente e in sicurezza.
- **Linea guida 3: evitare valori NULL**
Conviene evitare il più possibile i valori NULL, in quanto riempiono lo schema di informazioni inutili. I valori NULL possono rivelarsi necessari solamente nei casi eccezionali rispetto alla cardinalità di una relazione.

Dipendenza Funzionale

Una dipendenza funzionale (*functional dependency*, *FD*) esprime un legame semantico tra due gruppi di attributi di uno schema di relazione R . Una FD è una proprietà di R , non un suo particolare stato valido r di R . Una FD

non può quindi essere dedotta da uno stato valido r , ma deve essere definita esplicitamente sulla base della semantica degli attributi di R .

Forma normale

Una forma normale è una proprietà di una base di dati relazionale che ne garantisce la qualità, ovvero l'assenza di determinati difetti (quelli di cui si parla nelle linee guida). Una relazione non normalizzata presenta:

- **Ridondanze**;
- **Comportamenti anomali** in fase di aggiornamento.

La normalizzazione è solitamente definita sui modelli relazionali, ma ha senso in altri contesti, ad esempio il modello ER.

Normalizzazione

La procedura di normalizzazione (che è un vero e proprio algoritmo) serve a trasformare schemi non normalizzati in schemi che godono della forma normale. La normalizzazione va utilizzata come tecnica di verifica di una base di dati, e non costituisce una metodologia di progettazione. Cercare di progettare uno schema di relazione attraverso la normalizzazione sarebbe infatti troppo complesso per rappresentare un'opzione viabile.

Definizione (pseudo)formale di dipendenza funzionale

Data una relazione r su $R(X)$, e due sottoinsiemi non vuoti Y e Z di x . Esiste una dipendenza funzionale in r da Y a Z se, per ogni coppia di n -uple t_1 e t_2 di r con gli stessi valori di Y , risulta che t_1 e t_2 hanno gli stessi valori anche su Z . Come avevamo già visto, la notazione è:

$$Y \rightarrow Z$$

Notiamo poi che $Y \rightarrow Z$ non implica $Z \rightarrow Y$. Una dipendenza funzionale è detta **completa** quando $Y \rightarrow Z$ e per ogni $W \subset Y$, non vale $W \rightarrow Z$. Se Y è una superchiave di $R(X)$, allora Y determina ogni altro attributo della relazione, ergo $Y \rightarrow X$. A questo punto, se Y è una chiave (ovvero superchiave minimale), si ha che $Y \rightarrow X$ dalla chiave a $R(X)$ è completa. Una dipendenza funzionale si dice **banale** se è sempre soddisfatta:

- $Y \rightarrow Y$ è banale;
- $Y \rightarrow A$ se $A \notin Y$ non è banale;
- $Y \rightarrow Z$ non è banale se nessun attributo di Z appartiene a Y (è una condizione più generale della precedente).

Legami fra dipendenze funzionali e anomalie

Le dipendenze funzionali possono essere usate per verificare l'eventuale presenza di anomalie in un progetto. Tornano utili anche nella normalizzazione di schemi. Data la loro importanza, indicheremo con $R(X, F)$ uno schema di relazione $R(X)$ che rispetta un'insieme di dipendenze funzionali F .

Implicazione

Sia F un insieme di dipendenze funzionali definite su $R(Z)$, e sia $X \rightarrow Y$. Si dice che F implica (logicamente) $X \rightarrow Y$ se, per ogni possibile istanza r di R che verifica tutte le dipendenze funzionali di F , risulta verificata anche la dipendenza funzionale $X \rightarrow Y$. In simboli, $F \models X \rightarrow Y$. La definizione di implicazione non è direttamente utilizzabile nella pratica. Essa prevede una quantificazione universale sulle istanze della base di dati, e non disponiamo di un'algoritmo per calcolare tutte le dipendenze funzionali implicate da un'insieme F .

Regole di inferenza di Armstrong

Armstrong (1974) fornisce delle regole di inferenza che permettono di derivare costruttivamente tutte le dipendenze funzionali che sono implicate da un insieme di dipendenze iniziale. Esse sono:

- **Riflessività:**

$$Y \subseteq X \models X \rightarrow Y$$

- **Additività** (o arricchimento):

$$X \rightarrow Y \models XZ \rightarrow YZ \quad \forall Z$$

- **Transitività:**

$$X \rightarrow Y \wedge Y \rightarrow Z \models X \rightarrow Z$$

Derivazione

Le regole di inferenza di Armstrong permettono di definire derivazioni. Dato un insieme di regole di inferenza RI , un insieme di dipendenze funzionali F , e una dipendenza funzionale f , una derivazione di f da F è una sequenza finita f_1, \dots, f_n tale che:

- $f_n = f$
- ogni f_i è un elemento di F o è ottenuta dalle precedenti dipendenze f_1, \dots, f_{n-1} attraverso una regola di inferenza RI .

Indichiamo con $F \vdash X \rightarrow Y$ il fatto che la dipendenza funzionale $X \rightarrow Y$ sia derivabile da F usando RI . Le regole di derivazione comunemente usate sono, a partire dalle regole di inferenza di Armstrong:

- **Unione:**

$$\{X \rightarrow Y, X \rightarrow Z\} \vdash X \rightarrow YZ$$

Dimostrazione:

1. $X \rightarrow Z$ da ipotesi;
2. $X(X) \rightarrow ZX$ da additività di (1);
3. $X \rightarrow Y$ da ipotesi;
4. $ZX \rightarrow YZ$ da additività di (3);
5. $X \rightarrow ZX, ZX \rightarrow YZ \Rightarrow X \rightarrow YZ$ dalla transitività di (2) e (4).

- **Decomposizione:**

$$\{X \rightarrow YZ\} \vdash X \rightarrow Y$$

Dimostrazione:

1. $X \rightarrow YZ$ da ipotesi;
2. $YZ \rightarrow Y$ da riflessività;
3. $X \rightarrow YZ, YZ \rightarrow Y \Rightarrow X \rightarrow Y$ dalla transitività di (1) e (2).

- **Indebolimento:**

$$\{X \rightarrow Y\} \vdash XZ \rightarrow Y$$

1. $XZ \rightarrow X$ per riflessività;
2. $X \rightarrow Y$ da ipotesi;
3. $XZ \rightarrow X, X \rightarrow Y \Rightarrow XZ \rightarrow Y$ dalla transitività di (1) e (2).

- **Identità:**

$$\{\} \vdash X \rightarrow X$$

Chiusura di un insieme di attributi

Dato uno schema $R(T, F)$ con $X \subseteq T$, la chiusura di X rispetto a F , indicata col simbolo R_F^+ , è definita come:

$$X_F^* = \{A \subset T \mid F \vdash X \rightarrow A\}$$

Se non vi sono ambiguità si può semplicemente scrivere X^+ .

Teorema di chiusura degli attributi

Se è possibile, usando le regole di inferenza, scrivere, partendo da F , che $X \rightarrow Y$, allora Y è contenuto nella chiusura di X e viceversa. In simboli:

$$F \vdash X \rightarrow Y \Leftrightarrow Y \subseteq X^+$$

Correttezza e completezza

Dato un qualche insieme di regole di inferenza RI e un insieme di dipendenze funzionali F , RI è corretto se:

$$F \vdash X \rightarrow Y \Rightarrow F \models X \rightarrow Y$$

Ovvero applicando RI ad un insieme F di dipendenze funzionali, si ottengono solo dipendenze logicamente implicate da F . Inoltre RI è completo se:

$$F \models X \rightarrow Y \Rightarrow F \vdash X \rightarrow Y$$

Ovvero applicando RI a un insieme F di dipendenze funzionali si ottengono tutte le dipendenze logicamente implicate da F . A questo punto si può enunciare:

Teorema fondamentale della correttezza e completezza

Le regole di inferenza di Armstrong sono corrette e complete. Questo teorema ci permette di scambiare i simboli \models e \vdash . In particolare questo si applica alla definizione di chiusura di attributi, cioè:

$$X_F^+ = \{A \subset T \mid F \models X \rightarrow A\}$$

Si può dimostrare che le regole di inferenza di Armstrong sono minimali, ovvero che non se ne può ignorare anche soltanto una senza privarle della completezza. Esistono però altri insieme di regole di inferenza completi che non coincidono con le regole di inferenza di Armstrong.

Chiusura di un'insieme di dipendenze funzionali

Sia F un insieme di dipendenze funzionali definite su $R(Z)$. Allora la chiusura di F è l'insieme F^+ di tutte e sole le dipendenze funzionali implicate da F :

$$F^+ = \{X \rightarrow Y \mid F \models X \rightarrow Y\}$$

Dato un'insieme di dipendenze funzionali F definite su $R(Z)$, un'istanza r di R che soddisfa F soddisfa anche le dipendenze funzionali di F^+ .

Algoritmo per il calcolo di F^+

Riportiamo adesso un'algoritmo per il calcolo della chiusura di un insieme di dipendenze funzionali F^+ a partire da F , usando le regole di inferenza di Armstrong:

- Input: $R(T, F)$;
- Output: F^+ *chiusura*.

```

1 metti F in F+
2 while (F+ non cambia) do
3   foreach f in F+ do
4     #applica riflessivita' e addittivita' a f e aggiungi le
      dipendenze ottenute a F+
5   foreach f_1, f_2 in F+ do
6     #se possibile, applica la transitivita' a f_1 e f_2 e
      aggiungi a F+ la dipendenza ottenuta
7 return F+

```

Calcolare F^+ è molto costoso: l'algoritmo è a complessità esponenziale. Spesso però, quello che ci interessa veramente è verificare se F^+ contiene una certa dipendenza e non generare l'intera lista di chiusura. Per fare ciò basta calcolare X^+ per il teorema di chiusura degli attributi:

$$F \vdash X \rightarrow Y \Leftrightarrow Y \subseteq X^+$$

Algoritmo per il calcolo di X^+

Vediamo quindi come calcolare la chiusura X^+ :

- Input: $R(T, F)$, $X \subseteq T$;
- Output: X^+ *chiusura*.

```

1 metti X in X+
2 while (X+ non cambia) do
3   foreach W -> V in F do
4     if W in X+ and V not in X+ then
5       metti V in X+
6 return X+

```

Chiavi

Dato uno schema $R(T, F)$, un'insieme di attributi $K \subseteq T$ si dice **superchiave** di R se la dipendenza funzionale $K \rightarrow T$ è implicata da F , ovvero se $K \rightarrow T \in F^+$. Un'insieme di attributi $K \subseteq T$ si dice a questo punto **chiave** di R se K è una superchiave di R e non esiste alcun sottoinsieme proprio di K che sia superchiave di R . Dato che in uno schema possono esserci più chiavi, di solito si identifica una chiave primaria che possa fare da identificatore per tutte le n-uple dello schema. Tutte le altre chiavi si dicono chiavi candidate.

Algoritmo per tutte le chiavi

Il problema di trovare tutte le chiavi di una relazione $R(Z)$ ha complessità esponenziale nel caso peggiore:

- Gli attributi che stanno solo a sinistra sono in tutte le chiavi. Si chiami N questo insieme;

- Gli attributi che stanno solo a destra non sono in nessuna chiave. Si chiami M questo insieme;
- Si aggiunge a N un'attributo alla volta tra quelli che non sono né in N né in M , poi una coppia di attributi, e così via. Chiamiamo X_i questo sottoinsieme di attributi: ad ogni aggiunta controlleremo se la dipendenza $N \cup X_i \rightarrow Z$ esiste.

Verifica di una chiave

Spesso è molto più conveniente verificare se una chiave è tale, piuttosto che trovare ogni possibile chiave. Per fare ciò, possiamo usare l'algoritmo per il calcolo della chiusura di un'insieme di attributi:

- $X \subseteq T$ è superchiave di $R(T, F)$ se e solo se $X \rightarrow T \in F^+$, ovvero $T \subseteq X^+$
- $X \subseteq T$ è chiave di $R(T, F)$ se e solo se $T \subseteq X^+$, e non esiste $Y \subset X$ tale che $T \subseteq Y^+$.

Equivalenza

Due insiemi di dipendenze funzionali F e G sugli attributi T di una relazione $R(T)$ sono equivalenti, in simboli $T \equiv G$, se e solo se $F^+ = G^+$. La relazione di equivalenza permette di stabilire se due insiemi di dipendenza rappresentano gli stessi fatti. Per verificare l'equivalenza è sufficiente che:

- Tutte le dipendenze di F appartengano a G^+ ;
- Tutte le dipendenze di G appartengano a F^+ .

Ridondanza

Sia F un insieme di dipendenze funzionali. Data $X \rightarrow Y \in F$, X contiene un **attributo estraneo** se e solo se:

$$(F - \{X \rightarrow Y\}) \cup (X - \{A \rightarrow\}Y) \equiv F$$

ovvero $X - \{A\} \rightarrow Y \in F^+$

$X \rightarrow Y$ è una **dipendenza ridondante** se e solo se $(F - \{X \rightarrow Y\}) \equiv F$, ovvero $X \rightarrow Y \in (F - \{X \rightarrow Y\})^+$. Le dipendenze che non contengono attributi estranei e la cui parte destra è un unico attributo sono dette **dipendenze elementari**.

Copertura minimale

Sia F un'insieme di dipendenze funzionali. F è una **copertura minimale** (detta anche *insieme minimale* e *copertura canonica*) se e solo se:

- Ogni parte destra di una dipendenza ha un unico attributo;
- Le dipendenze non contengono attributi estranei;
- Non esistono dipendenze ridondanti;

In soldoni, la copertura minimale rappresenta l'insieme di dipendenze funzionali F' più piccolo che implica tutte le dipendenze di F .

Algoritmo per il calcolo della copertura minimale

- Input: F ;
- Output G *copertura minimale*:

```

1 metti F in G
2 for each X -> G do
3   metti X in Z
4   for each A in X Do
5     if Y in (Z - {A})+_F then
6       metti Z - {A} in Z
7     metti (G - {X -> Y}) U (Z -> Y) in G
8 foreach F in G do
9   if f in (G-{f})+ then
10    metti G - {f} in G
11 return G

```

Teorema della copertura minimale

Il precedente algoritmo dimostra il fatto che per ogni insieme di dipendenze funzionali F esiste una copertura minimale. Si noti che questo non afferma che la copertura minimale è unica: possono tranquillamente esistere coperture minimali equivalenti.

42 Normalizzazione

Eliminare le anomalie

La teoria che abbiamo sviluppato finora viene usata per identificare le anomalie in uno schema mal definito. Definiamo quindi il concetto di **forma normale**: una forma normale è una proprietà che deve essere soddisfatta dalla dipendenza fra attributi di schemi "ben fatti". Noi vedremo due esempi: la **forma normale di Boyce-Codd**, e un suo miglioramento, la **terza forma normale**.

Forma normale di Boyce-Codd

Uno schema $R(T, F)$ è in forma normale di Boyce-Codd (BCNF) se e solo se

per ogni dipendenza funzionale non banale $X \rightarrow Y \in F^+$, X è superchiave di R . Per definizione, il fatto che uno schema sia o meno in BCNF dipende dalla chiusura F^+ , non dalla specifica copertura F . Calcolare F^+ , come abbiamo visto, ha complessità esponenziale: fortunatamente esiste un'algoritmo di complessità polinomiale per valutare se uno schema è in forma BCNF. Si usa il corollario: uno schema $R(T, F)$ con F copertura minimale è in BCNF se e solo se per ogni dipendenza funzionale elementare $X \rightarrow A \in F$, X è superchiave.

- Input: $R(T, F)$;
- Output true se R è in BCNF, false altrimenti.

```

1 for each  $X \rightarrow Y$  in  $F$  do
2   if  $Y$  not in  $X$  and  $T$  not in  $X^+$  then
3     return false
4 return true

```

Decomposizione di schemi

Dato uno schema $R(T)$, l'insieme di schemi $\rho = \{R_1(T_1), \dots, R_k(T_k)\}$ è una **decomposizione** di R solo se $\cup_i T_i = T$ (l'unione degli schemi dà lo schema di partenza). Si noti che questo non richiede che gli schemi R_i siano disgiunti. Una decomposizione equivale allo schema di partenza in quanto

- Preserva i dati;
- Preserva le dipendenze funzionali.

Teorema della perdita di dati

Si ha che se $\rho = \{R_1(T_1), \dots, R_k(T_k)\}$ è una decomposizione di $R(T, F)$, allora per ogni relazione r che soddisfa $R(T, F)$:

$$r \subseteq \pi_{T_1}(r) \bowtie \dots \bowtie \pi_{T_k}(r)$$

Ciò significa che una decomposizione ha perdita di dati quando, ricostruendo una relazione, otteniamo più n-uple della relazione originaria.

Decomposizioni che preservano i dati

Dato uno schema $R(T, F)$ e una decomposizione $\rho\{R_1(T_1), \dots, R_k(T_k)\}$, ρ preserva i dati se e solo se, per ogni relazione r che soddisfa $R(T, F)$ si ha:

$$r = \pi_{T_1}(r) \bowtie \dots \bowtie \pi_{T_k}(r)$$

Ciò significa che, per una decomposizione che preserva i dati, ogni istanza valida r della relazione di partenza deve essere identica al join naturale delle

sue proiezioni sui T_1 (cioè ricostruendo la relazione si ottiene la relazione di partenza e nulla di più).

Teorema di preservazione dei dati

Sia $\rho = \{R_1(T_1), R_2(T_2)\}$ una decomposizione di $R(T, F)$. Essa preserva i dati se e solo se $T_1 \cap T_2 \rightarrow T_1 \in F^+$ oppure $T_1 \cap T_2 \rightarrow T_2 \in F^+$. In altre parole, gli attributi comuni alle due relazioni devono essere chiave in una delle due tabelle (relazioni).

Proiezione di un insieme di dipendenze

Dato $R(T, F)$ e $T_1 \subseteq T$, la proiezione dell'insieme di dipendenze F sull'insieme di attributi T_i è:

$$\pi_{T_i} = \{X \rightarrow Y \in F^+ | X, Y \subseteq T_i\}$$

Nota bene che la proiezione si costruisce sulle dipendenze di F^+ , non di F soltanto.

Algoritmo per il calcolo di $\pi_{T_i}(F)$

Si presenta un'algoritmo per il calcolo della proiezione dell'insieme di dipendenze appena definita.

- Input: $R(T, F)$ e $T_i \subseteq T$
- Output: $\pi_{T_i}(F)$

```

1 Z vuoto
2 for each Y in T do
3   metti Y - Y in W
4   metti Z unito (Y -> (W intersecato T_i)) in Z
5 return Z

```

Questo algoritmo ha, nel caso pessimo, complessità esponenziale.

Decomposizioni che preservano le dipendenze

Dato uno schema $R(T, F)$, e una decomposizione $\rho = \{R_1(T_1), \dots, R_k(T_k)\}$, ρ è una decomposizione di $R(T, F)$ che preserva le dipendenze se e solo se $\cup_i \pi_{T_i}(F) \equiv F$. In altre parole, la decomposizione di $R(T, F)$ in due relazioni con attributi X e Y preserva le dipendenze se $\pi_X(F) \cup \pi_Y(F) \equiv F$, cioè se $(\pi_X(F) \cup \pi_Y(F)) = F^+$. Dovremo verificare quest'ultima uguaglianza per dimostrare che una decomposizione di $R(T, F)$ preserva le dipendenze. Fare ciò significa:

- Calcolare la proiezione di un insieme di dipendenze funzionali su un insieme di attributi, cosa che richiede un algoritmo a complessità esponenziale;

- Determinare l'equivalenza di due insiemi di dipendenze funzionali X e G , cosa che richiede un'algoritmo a complessità polinomiale:
 - Per ogni $X \rightarrow Y \in F$, calcoliamo X_G^+ e verifichiamo se $Y \in X_G^+$;
 - Per ogni $X \rightarrow Y \in G$, calcoliamo X_F^+ e verifichiamo se $Y \in X_F^+$;

Algoritmo per la decomposizione in BCNF

Possiamo adesso vedere un'algoritmo che decompone uno schema $R(T, F)$ nella sua forma normale di Boyce-Codd:

- Input: $R(T, F)$ con F in forma $X \rightarrow A$, non normalizzata
- Output: ρ che preserva i dati

```

1 metti R(T,F) in P
2 while esiste R_i(T_i, F_i) in P che non e in BCNF do
3   for each X -> A in F_i do
4     if A not in X and T_i not in X+ then
5       metti R_i(T_i - A, proiezione su T_i - A di F_i) in R_1
6       #questi sono tutti gli attributi di R - A
7       metti R_i(X + A, proiezione su X + A di F_i) in R_2 #
8       questi sono tutti gli attributi della dipendenza
9       funzionale in esame
10      metti P = (R_i unito a {R_1, R_2}) in P
11      break
12 return P

```

Questo algoritmo termina e produce una decomposizione della relazione tale che:

- La decomposizione prodotta è in BCNF;
- La decomposizione prodotta preserva i dati.

Non è detto che la decomposizione preservi le dipendenze!

Qualità delle decomposizioni

Una decomposizione dovrebbe sempre garantire:

- Di essere in BCNF;
- Di non presentare perdite di dati, in modo da permettere la ricostruzione dell'informazione originale attraverso join naturali;
- Di conservare le dipendenze funzionali, in modo da mantenere i vincoli di integrità originari.

Quando non si riesce a raggiungere una forma normale di Boyce-Codd, probabilmente c'è stato un cattivo processo di progettazione prima della normalizzazione. In ogni caso, esiste una forma normale alternativa (e meno restrittiva) alla Boyce-Codd:

Terza forma normale

Una relazione $R(T, F)$ è in terza forma normale (3NF) se e solo se, per ogni dipendenza funzionale non banale $X \rightarrow A \in F^+$, è verificata almeno una delle due condizioni:

- X è una superchiave di R (come nella Boyce-Codd);
- A è contenuto in almeno una chiave di R (si dice che A è un attributo primo).

Vediamo che la BCNF implica la 3NF: uno schema in BCNF è automaticamente in 3NF, ma non tutti gli schemi in 3NF sono in BCNF. Il problema della 3NF è la sua **verifica**: il problema di decisione è NP-completo. Il miglior algoritmo deterministico di risoluzione ha complessità esponenziale nel caso peggiore. Questo è dato dalla ricerca degli attributi primi, cioè le chiavi, che ha complessità esponenziale. Tuttavia, si può sempre ottenere una decomposizione in 3NF che preserva dati e dipendenze funzionali.

Algoritmo per la decomposizione in 3NF

Ci basiamo su un'intuizione: dato un insieme di attributi T e una copertura minimale G , si divide G in gruppi G_i in modo che tutte le dipendenze funzionali di ogni gruppo G_i abbiano la stessa parte sinistra. Da ogni gruppo G_i si definisce uno schema di relazione composto da tutti gli attributi che appaiono in G_i , la cui chiave (detta **chiave sintetizzata**) è la parte sinistra comune. L'algoritmo risulta quindi:

- Input: $R(T, F)$
- Output: ρ che preserva dati, dipendenze ed è in 3NF

```

1 metti la copertura minimale di F in G
2 poni P vuoto
3 #sostituisci ogni insieme di dipendenze {X -> A_1, ..., X ->
  A_h} con X -> A_1, ..., A_h
4 for each X -> Y in G do
5   #crea uno schema con attributi XY in P
6   #elimina da P ogni schema che sia contenuto in un'altro
   schema di P
7   #se P non contiene nessuno schema i cui attributi
   costituiscono una superchiave di R, aggiungere a P uno
   schema con attributi W, dove W e' una chiave di R

```

L'esecuzione dell'algoritmo termina e produce una decomposizione tale che:

- La decomposizione prodotta è in 3NF;
- La decomposizione prodotta preserva i dati e le dipendenze funzionali.

Questo algoritmo ha complessità polinomiale: paradossalmente, trovare una soluzione è polinomiale, ma verificarla è esponenziale