VERIFICA DI QUALITÀ DI SCHEMI RELAZIONALI E CENNI ALLA TEORIA DELLA NORMALIZZAZIONE

Slide adattate a partire da quelle associate al testo Atzeni, Ceri, Paraboschi, Torlone: Basi di Dati, McGraw Hill

FORME NORMALI

- Una forma normale è una proprietà di una base di dati relazionale che ne garantisce la “qualità”, cioè l'assenza di determinati difetti

- Quando una relazione non è normalizzata:
  - presenta ridondanze,
  - si presta a comportamenti poco desiderabili durante gli aggiornamenti

Normalizzazione

- Procedura che permette di trasformare schemi non normalizzati in schemi che soddisfano una forma normale

- La normalizzazione va utilizzata come tecnica di verifica dei risultati della progettazione di una base di dati

- Non costituisce una metodologia di progettazione

UNA RELAZIONE CON ANOMALIE

<u>Matricola Studente</u>	NomeStudente	CognomeStudente	AnnoIscr	<u>CodiceCorso</u>	SiglaCorso	NomeCorso	Crediti	Voto
4433038	Mario	Rossi	2	25880	BD	Basi Dati	9	30
4532453	Andrea	Verdi	3	25880	BD	Basi Dati	9	27
4532453	Andrea	Verdi	3	27054	BD2	Basi Dati 2	6	30
4446667	Bianca	Neri	2	80299	IP	Intro …	12	24
4446667	Bianca	Neri	2	25880	BD	Basi Dati	9	27
4446667	Bianca	Neri	2	73026	EML	Elementi …	12	21
4512345	Celeste	Mori	3	27054	BD2	Basi Dati 2	6	28
4512345	Celeste	Mori	3	25880	BD	Basi Dati	9	30
4455667	Viola	Bianchi	1	80299	IP	Intro …	12	25
4455667	Viola	Bianchi	1	73026	EML	Elementi …	12	26

Anomalie

- L'anno di corso di ciascuno studente è ripetuto in tutte le tuple relative
  - ridondanza
- Se l'anno di corso di uno studente varia, è necessario andarne a modificare il valore in diverse tuple
  - anomalia di aggiornamento
- Un nuovo studente che non abbia ancora dato esami non può essere inserito
  - anomalia di inserimento
- Se cancelliamo tutti gli esami registrati per un corso (ad es. perché gli studenti si laureano), perdiamo anche le informazioni sul corso
  - anomalia di cancellazione

Perché questi fenomeni indesiderabili?

- Abbiamo usato un'unica relazione per rappresentare informazioni eterogenee
  - gli studenti con i relativi anni di corso
  - i corsi con i relativi crediti
  - gli esami per i corsi sostenuti dagli studenti con le relative votazioni

Per studiare in maniera sistematica questi aspetti, è necessario introdurre un vincolo di integrità:

la dipendenza funzionale

Proprietà

- Ogni studente ha un unico anno di corso (anche se sostiente più esami)
- Ogni corso ha un certo numero di crediti
- Ogni studente nell'esame di ogni corso prende un unico voto (anche se può prendere voti diversi negli esami di corsi diversi)

Dipendenza funzionale

- relazione r su R(X)
- due sottoinsiemi non vuoti Y e Z di X
- esiste in r una dipendenza funzionale (FD) da Y a Z se, per ogni coppia di tuple t_1 e t_2 di r con gli stessi valori su Y, risulta che t_1 e t_2 hanno gli stessi valori anche su Z

NOTAZIONE

$$X \rightarrow Y$$

- Esempi:

$$\text{MatricolaStudente} \rightarrow \text{NomeStudente}$$
$$\text{MatricolaStudente} \rightarrow \text{CognomeStudente}$$
$$\text{MatricolaStudente} \rightarrow \text{Anno}$$
$$\text{CodiceCorso} \rightarrow \text{SiglaCorso}$$
$$\text{CodiceCorso} \rightarrow \text{NomeCorso}$$
$$\text{CodiceCorso} \rightarrow \text{Crediti}$$
$$\text{MatricolaStudente CodiceCorso} \rightarrow \text{Voto}$$

Altre FD

- MatricolaStudente CodiceCorso → CodiceCorso

- Si tratta però di una FD "banale" (sempre soddisfatta)

- Y → A è non banale se A non appartiene a Y
- Y → Z è non banale se nessun attributo in Z appartiene a Y

Le anomalie sono legate ad alcune FD

- gli studenti sono iscritti ad un certo anno di corso

  MatricolaStudente → Anno

- i corsi hanno un certo numero di crediti

  CodiceCorso → Crediti

Non tutte le FD causano anomalie

- In ciascun corso, ogni studente consegue un'unica votazione

MatricolaStudente CodiceCorso $\rightarrow$ Voto

Una differenza fra FD

$$\text{MatricolaStudente} \rightarrow \text{Anno}$$
$$\text{CodiceCorso} \rightarrow \text{Crediti}$$

- causano anomalie

$$\text{MatricolaStudente CodiceCorso} \rightarrow \text{Voto}$$

- non causa anomalie
- Perché?

FD E ANOMALIE

- La terza FD corrisponde ad una chiave e non causa anomalie
- Le prime due FD non corrispondono a chiavi e causano anomalie

- La relazione contiene alcune informazioni legate alla chiave e altre ad attributi che non formano una chiave

MatricolaStudente $\rightarrow$ Anno

CodiceCorso $\rightarrow$ Crediti

MatricolaStudente CodiceCorso $\rightarrow$ Voto

- MatricolaStudente CodiceCorso è chiave
- MatricolaStudente solo no
- CodiceCorso solo no
- Le anomalie sono causate dalla presenza di concetti eterogenei:
    - proprietà degli studenti (l'anno di corso)
    - proprietà di corsi (i crediti)
    - proprietà della chiave (coppia studente-corso)

Forma normale di Boyce e Codd (BCNF)

- Una relazione r è in forma normale di Boyce e Codd se, per ogni dipendenza funzionale (non banale) $X \rightarrow Y$ definita su di essa, X contiene una chiave K di r

- La forma normale richiede che i concetti in una relazione siano omogenei (solo proprietà direttamente associate alla chiave)

Ma Dipendenze Funzionali e Chiavi sono collegate?

- Ovviamente sì
- Dalla definizione di chiave, una chiave è un insieme K di attributi di una relazione r di schema R(X)
  - Minimale
  - t.c. non esiste in r coppia di tuple t_1 e t_2 di r con gli stessi valori su K
  - Possiamo vederlo come: per ogni coppia di tuple t_1 e t_2 di r con gli stessi valori su K, risulta che t_1 e t_2 hanno gli stessi valori anche su tutti gli attributi in X

Possiamo determinare le chiavi dalle dipendenze funzionali?

- La **chiusura** di un insieme di attributi X rispetto a un insieme di dipendenze funzionali F, indicato come X^+_F, è l'insieme degli attributi che dipendono funzionalmente da X

- Un insieme di attributi K è superchiave (proprietà di unicità se e solo se) K^+_F contiene tutti gli attributi della relazione
  - È chiave se è anche minimale

- Es. MatricolaStudente CodiceCorso determinano tutti gli attributi della nostra relazione

Calcolo della chiusura

```
Begin
    X(0) := X
    Repeat
        U := ⋃_((Y→Z)∈F ∧ Y⊆X(i)) Z
        X(i+1) := X(i) ∪ U
    Until X(i+1) = X(i)
    Return X(i)
End
```

$$\boxed{X(0) := X}$$

$$\boxed{U := \bigcup_{((Y \to Z) \in F \wedge Y \subseteq X(i))} Z}$$

$$\boxed{X(i+1) := X(i) \cup U}$$

Attributes depending on X(i)

Aggiungiamo a X(i) le parti destre delle dipendenze le cui parti sinistre sono incluse in X(i)

Calcolo della chiusura - Esempio

- MatricolaStudente+
- MatricolaStudente(0) = MatricolaStudente
- MatricolaStudente(1) = MatricolaStudente NomeStudente CognomeStudente AnnoIscr
- MatricolaStudente(2) = MatricolaStudente(1)
- È il nostro risultato

Scomposizioni e loro proprietà

Che facciamo se una relazione non soddisfa la BCNF?

- La rimpiazziamo con altre relazioni che soddisfano la BCNF

Come?

- Decomponendo sulla base delle dipendenze funzionali, al fine di separare i concetti

Matricola Studente	NomeStudente	CognomeStudente	AnnoIscr	CodiceCorso	SiglaCorso	NomeCorso	Crediti	Voto
4433038	Mario	Rossi	2	25880	BD	Basi Dati	9	30
4532453	Andrea	Verdi	3	25880	BD	Basi Dati	9	27
4532453	Andrea	Verdi	3	27054	BD2	Basi Dati 2	6	30
4446667	Bianca	Neri	2	80299	IP	Intro …	12	24
4446667	Bianca	Neri	2	25880	BD	Basi Dati	9	27
4446667	Bianca	Neri	2	73026	EML	Elementi …	12	21
4512345	Celeste	Mori	3	27054	BD2	Basi Dati 2	6	28
4512345	Celeste	Mori	3	25880	BD	Basi Dati	9	30
4455667	Viola	Bianchi	1	80299	IP	Intro …	12	25
4455667	Viola	Bianchi	1	73026	EML	Elementi …	12	26

Matricola Studente	CodiceCorso	Voto
4433038	25880	30
4532453	25880	27
4532453	27054	30
4446667	80299	24
4446667	25880	27
4446667	73026	21
4512345	27054	28
4512345	25880	30
4455667	80299	25
4455667	73026	26

Matricola Studente	Nome Studente	Cognome Studente	AnnoIscr
4433038	Mario	Rossi	2
4532453	Andrea	Verdi	3
4446667	Bianca	Neri	2
4512345	Celeste	Mori	3
4455667	Viola	Bianchi	1

CodiceCorso	SiglaCorso	NomeCorso	Crediti	Voto
25880	BD	Basi Dati	9	30
27054	BD2	Basi Dati 2	6	30
73026	EML	Elementi …	12	21
80299	IP	Intro …	12	25

Come Abbiamo Fatto?

- Abbiamo creato una relazione per ogni dipendenza funzionale, contenente gli attributi coinvolti nella dipendenza
- Dopo aver unificato le dipendenze con la stessa parte sinistra

$$\text{MatricolaStudente} \rightarrow \text{NomeStudente CognomeStudente AnnoIscr}$$

$$\text{CodiceCorso} \rightarrow \text{SiglaCorso NomeCorso Crediti}$$

$$\text{MatricolaStudente CodiceCorso} \rightarrow \text{Voto}$$

Funziona Sempre? (1)

- Se nessuna relazione ottenuta contiene la chiave, va aggiunta una lezione corrispondente alla chiave

- Questo serve a permetterci di ricostruire senza perdita il contenuto della relazione originale combinando (join) il contenuto delle relazioni in cui l'abbiamo scomposta

Decomposizione senza perdita

- Una relazione r si decompone senza perdita su X_1 e X_2 se il join delle proiezioni di r su X_1 e X_2 è uguale a r stessa (cioè non contiene tuple spurie)

- Una decomposizione con schemi disgiunti è certamente con perdita
- Avere degli attributi in comune non basta a garantire che la decomposizione sia senza perdita

- La decomposizione senza perdita è garantita se gli attributi comuni contengono una chiave per almeno una delle relazioni decomposte

Esempio

Studente	Corso	Corsodi Studi
Rossi	BD2	Informatica
Verdi	EML	Informatica
Verdi	IP	Informatica
Neri	ALGA	SMID
Neri	SD	SMID

Studente → CorsodiStudi

Corso → CorsodiStudi

Decomponiamo sulla base delle dipendenze

Studente	Corso	Corsodi Studi
Rossi	IP	Informatica
Verdi	EML	Informatica
Verdi	IP	Informatica
Neri	ALGA	SMID
Neri	SD	SMID

Studente	Corsodi Studi
Rossi	Informatica
Verdi	Informatica
Neri	SMID

Corso	Corsodi Studi
IP	Informatica
EML	Informatica
ALGA	SMID
SD	SMID

Proviamo a ricostruire

Studente	Corsodi Studi
Rossi	Informatica
Verdi	Informatica
Neri	SMID

Corso	Corsodi Studi
IP	Informatica
EML	Informatica
ALGA	SMID
SD	SMID

Studente	Corso	Corsodi Studi
Rossi	IP	Informatica
Verdi	EML	Informatica
Verdi	IP	Informatica
Neri	ALGA	SMID
Neri	SD	SMID
Rossi	EML	Informatica

Diversa dalla relazione di partenza!

Proviamo a decomporre senza perdita

Studente	Corso	Corsodi Studi
Rossi	IP	Informatica
Verdi	EML	Informatica
Verdi	IP	Informatica
Neri	ALGA	SMID
Neri	SD	SMID

Studente	Corso
Rossi	IP
Verdi	EML
Verdi	IP
Neri	ALGA
Neri	SD

Studente	Corsodi Studi
Rossi	Informatica
Verdi	Informatica
Neri	SMID

Studente → CorsodiStudi

Corso → CorsodiStudi

Un altro problema

- Supponiamo di voler inserire una nuova tupla che specifica la partecipazione dello studente di Infromatica Rossi al corso di ALGA

Studente	Corso
Rossi	ALGA
Rossi	IP
Verdi	EML
Verdi	IP
Neri	ALGA
Neri	SD

Studente	Corsodi Studi
Rossi	Informatica
Verdi	Informatica
Neri	SMID

Studente → CorsodiStudi
Corso → CorsodiStudi

Studente	Corso	Corsodi Studi
Rossi	IP	Informatica
Verdi	EML	Informatica
Verdi	IP	Informatica
Neri	ALGA	SMID
Neri	SD	SMID
Rossi	ALGA	Informatica

Conservazione delle dipendenze

- Una decomposizione conserva le dipendenze se ciascuna delle dipendenze funzionali dello schema originario coinvolge attributi che compaiono tutti insieme in uno degli schemi decomposti
- Corso → CorsodiStudi non è conservata

Qualità delle decomposizioni

- Una decomposizione dovrebbe sempre soddisfare:
  - la decomposizione senza perdita, che garantisce la ricostruzione delle informazioni originarie
  - la conservazione delle dipendenze, che garantisce il mantenimento dei vincoli di integrità originari

Una relazione non-normalizzata

Città	<u>Via</u>	<u>Cap</u>
Genova	Vernazza	16131
Genova	Sturla	16131
Genova	Garibaldi	16121
Milano	Garibaldi	20121
Milano	Assietta	20161

Via Città $\rightarrow$ Cap
Cap $\rightarrow$ Città

La decomposizione è problematica

- Via Città → Cap coinvolge tutti gli attributi e quindi nessuna decomposizione può preservare tale dipendenza

- quindi in alcuni casi la BCNF non è raggiungibile

Una nuova forma normale

- Una relazione r è in terza forma normale se, per ogni FD (non banale) $X \rightarrow Y$ definita su r, è verificata almeno una delle seguenti condizioni:
  - X contiene una chiave K di r
  - ogni attributo in Y è contenuto in almeno una chiave di r

BCNF E TERZA FORMA NORMALE

- la terza forma normale è meno restrittiva della forma normale di Boyce e Codd (e ammette relazioni con alcune anomalie)

- ha il vantaggio però di essere sempre raggiungibile

Come scomporre?

- L'approccio alla scomposizione visto prima
  - si crea una relazione per ogni gruppo di attributi coinvolti in una dipendenza funzionale
  - si verifica che alla fine una relazione contenga una chiave della relazione originaria
- produce una decomposizione in terza forma normale
- Funziona sempre?
- Dipende dalle dipendenze individuate
- Se le dipendenze sono in forma minimale, sì!

Una possibile strategia

- se la relazione non è normalizzata si decompone in terza forma normale
- alla fine si verifica se lo schema ottenuto è anche in BCNF

- Se una relazione ha una sola chiave allora le due forme normali coincidono

Progettazione e normalizzazione

- la teoria della normalizzazione può essere usata nella progettazione logica per verificare lo schema relazionale finale
- il fatto di utilizzare la metodologia di progetttazione vista aiuta a produrre schemi normalizzati, ma non lo garantisce
- in alcuni casi può essere accettabile utilizzare schemi non normalizzati ma è importante che la scelta sia consapevole e documentata

APPENDICE – PER CHI VOLESSE APPROFONDIRE

- Un insieme F di dipendenze funzionale puo' contenere dipendenze ridondanti, ovvero che possono essere ottenute dalle altre dipendenze di F
  - Esempio: $A \to C$ e' ridondante in $\{A \to B, B \to C, A \to C\}$
- Anche degliattributi di una dipendenza funzionale potrebbero essere ridondanti:
  - A destra: $\{A \to B, B \to C, A \to CD\}$ puo' essere semplificata in $\{A \to B, B \to C, A \to D\}$
  - A sinistra: $\{A \to B, B \to C, AC \to D\}$ puo' essere semplificata in $\{A \to B, B \to C, A \to D\}$
- Intuitivamente, una copertura minimale di F e' un insieme minimale di dipendenze funzionali equivalenti ad F, privo di dipendenze e attributi ridondanti.

Appendice – Insieme di Dipendenze Minimale

Piu' formalmente, un insieme F di dipendenze funzionali e' minimale sse:

1. Ogni dipendenza funzionale in F ha come parte destra un solo attributo
2. Non e' possibile sostituire una dipendenza funzionale $\alpha \rightarrow A$ di F con una dipendenza funzionale $\beta \rightarrow A$ dove $\beta \subset \alpha$, ed avere ancora un insieme di dipendenze funzionali equivalente ad F.
3. Non e' possibile rimuovere una dipendenza funzionale da F e avere ancora un insieme di dipendenze funzionali equivalente ad F.

Una copertura minimale di un insieme di dipendenze funzionali F e' un insieme minimale di dipendenze funzionali E equivalente ad F.

Appendice – Insieme di Dipendenze Minimale

Calcolo di una copertura minimale E per un insieme di DF F.

1. Si imposti $E := F$
2. Si sostituisca ogni DF $X \to A_1 \dots A_n$ in E con le n DF $X \to A_1, \dots, X \to A_n$.
3. Per ogni DF $X \to A$ in E, per ogni attributo B in X:

   Se B e' ridondante nella DF $X \to A$, ovvero se E e' equivalente a $(E \setminus \{X \to A\}) \cup \{(X \setminus \{B\} \to A\}$, allora si sostituisca $X \to A$ con $X \setminus \{B\} \to A$ in E
4. Per ogni DF rimanente $X \to A$: Se $E \setminus \{X \to A\}$ e' equivalente ad E, allora si rimuova $X \to A$ da E.

Appendice – Insieme di Dipendenze Minimale

Come verificare ridondanza attributi?

- Sia F un insieme di DF. Consideriamo la DF $X \to Y$ in F e l'attributo $B \in X$.
- Per verificare se $B \in X$ e' ridondante:
  - Calcoliamo la chiusura $(X \setminus \{B\})^+$ rispetto ad F
  - Verifichiamo se $(X \setminus \{B\})^+$ contiene Y
  - Se si', allora B e' ridondante (e puo' essere eliminato).

Appendice – Insieme di Dipendenze Mininale - Esempio

- $R = (A, B, C)$
- $F = \{A \to BC, B \to C, A \to B, AB \to C\}$
- Dopo l'esecuzione del passo (2) dell'algoritmo si ha:

$$E = \{A \to B, A \to C, B \to C, AB \to C\}$$

- Eseguiamo il passo (3). A e' ridondante in $AB \to C$?
  - Verifichiamo se la chiusura di B rispetto ad E contiene C
    - Si: Infatti $B^+ = \{B, C\}$. Dunque E diventa $E = \{A \to B, A \to C, B \to C\}$
- Eseguiamo il passo (4):
  - $A \to C$ e' implicata logicamente da $A \to B, B \to C$ (per transitivita'). Dunque E diventa $E = \{A \to B, B \to C\}$.
- Una copertura canonica (o minimale) e':

$$E = \{A \to B, B \to C\}$$