

1 Introduzione	1
Parte Prima Basi di dati relazionali: modello e linguaggi	
2 Il modello relazionale	17
3 Algebra e calcolo relazionale	47
4 SQL: concetti base	95
5 SQL: caratteristiche evolute	157
6 SQL per le applicazioni	179
Parte Seconda Progettazione di basi di dati	
7 Metodologie e modelli per il progetto	207
8 La progettazione concettuale	251
9 La progettazione logica	293
10 La progettazione fisica	339
11 La normalizzazione	361
A Microsoft Access	393
B DB2 Universal Database	415
C DBMS open source: Postgres	437

<i>Prefazione</i>	<i>xiii</i>
<i>Ringraziamenti dell'Editore</i>	<i>xvii</i>
1 Introduzione	1
1.1 Sistemi informativi, informazioni e dati	1
1.2 Basi di dati e sistemi di gestione di basi di dati	3
1.3 Modelli dei dati	6
1.3.1 Schemi e istanze	8
1.3.2 Livelli di astrazione nei DBMS	8
1.3.3 Indipendenza dei dati	9
1.4 Linguaggi e utenti delle basi di dati	10
1.4.1 Linguaggi per basi di dati	10
1.4.2 Utenti e progettisti	11
1.5 Vantaggi e svantaggi dei DBMS	13
<i>Note bibliografiche</i>	14
Parte prima Basi di dati relazionali: modello e linguaggi	15
2 Il modello relazionale	17
2.1 Il modello relazionale: strutture	17
2.1.1 Modelli logici nei sistemi di basi di dati	17
2.1.2 Relazioni e tabelle	18
2.1.3 Relazioni con attributi	20
2.1.4 Relazioni e basi di dati	23
2.1.5 Informazione incompleta e valori nulli	28
2.2 Vincoli di integrità	31
2.2.1 Vincoli di tupla	33
2.2.2 Chiavi	33
2.2.3 Chiavi e valori nulli	36
2.2.4 Vincoli di integrità referenziale	37
2.3 Conclusioni	41
<i>Note bibliografiche</i>	42
<i>Esercizi</i>	42

3 Algebra e calcolo relazionale	47
3.1 Algebra relazionale	48
3.1.1 Unione, intersezione, differenza	48
3.1.2 Ridenominazione	49
3.1.3 Selezione	51
3.1.4 Proiezione	53
3.1.5 Join	55
3.1.6 Interrogazioni in algebra relazionale	63
3.1.7 Equivalenza di espressioni algebriche	67
3.1.8 Algebra con valori nulli	70
3.1.9 Viste	72
3.2 Calcolo relazionale	74
3.2.1 Calcolo relazionale su domini	75
3.2.2 Pregi e difetti del calcolo su domini	80
3.2.3 Calcolo su tuple con dichiarazioni di range	82
3.3 Datalog	85
<i>Note bibliografiche</i>	89
<i>Esercizi</i>	89
4 SQL: concetti base	95
4.1 Il linguaggio SQL e gli standard	95
4.2 Definizione dei dati in SQL	98
4.2.1 I domini elementari	98
4.2.2 Definizione di schema	101
4.2.3 Definizione delle tabelle	102
4.2.4 Definizione dei domini	103
4.2.5 Specifica di valori di default	103
4.2.6 Vincoli intrarelazionali	104
4.2.7 Vincoli interrelazionali	106
4.2.8 Modifica degli schemi	108
4.2.9 Cataloghi relazionali	110
4.3 Interrogazioni in SQL	112
4.3.1 Dichiaratività di SQL	112
4.3.2 Interrogazioni semplici	113
4.3.3 Operatori aggregati	127
4.3.4 Interrogazioni con raggruppamento	130
4.3.5 Interrogazioni di tipo insiemistico	134
4.3.6 Interrogazioni nidificate	137
4.4 Modifica dei dati in SQL	144
4.4.1 Inserimento	144
4.4.2 Cancellazione	145
4.4.3 Modifica	147
4.5 Esempi riepilogativi	148
<i>Note bibliografiche</i>	151
<i>Esercizi</i>	151

5 SQL: caratteristiche evolute	157
5.1 Caratteristiche evolute di definizione dei dati	157
5.1.1 Vincoli di integrità generici	157
5.1.2 Asserzioni	158
5.1.3 Viste	160
5.1.4 Le viste per la scrittura di interrogazioni	161
5.1.5 Esempi riepilogativi d'uso delle viste	163
5.1.6 Viste ricorsive in SQL-3	164
5.2 Funzioni scalari	165
5.2.1 Famiglie di funzioni	165
5.2.2 Funzioni condizionali	166
5.3 Controllo dell'accesso	168
5.3.1 Risorse e privilegi	169
5.3.2 Comandi per concedere e revocare privilegi	170
5.3.3 I ruoli in SQL-3	171
5.4 Transazioni	172
<i>Note bibliografiche</i>	174
<i>Esercizi</i>	175
6 SQL per le applicazioni	179
6.1 Procedure	180
6.2 Trigger	182
6.3 SQL Embedded	184
6.3.1 Cursori	187
6.3.2 SQL dinamico	190
6.4 Call Level Interface (CLI)	192
6.4.1 ODBC e soluzioni proprietarie Microsoft	194
6.4.2 Java Database Connectivity (JDBC)	198
<i>Note bibliografiche</i>	201
<i>Esercizi</i>	202
Parte seconda Progettazione di basi di dati	205
7 Metodologie e modelli per il progetto	207
7.1 Introduzione alla progettazione	207
7.1.1 Il ciclo di vita dei sistemi informativi	207
7.1.2 Metodologie di progettazione e basi di dati	209
7.2 Il modello Entità-Relazione	212
7.2.1 I costrutti principali del modello	214
7.2.2 Altri costrutti del modello	220
7.2.3 Panoramica finale sul Modello E-R	228
7.3 Documentazione di schemi E-R	230
7.3.1 Regole aziendali	230
7.3.2 Tecniche di documentazione	232
7.4 Modellazione dei dati in UML	234

7.4.1	Panoramica su UML	235
7.4.2	Rappresentazione di dati con i diagrammi delle classi	236
	<i>Note bibliografiche</i>	244
	<i>Esercizi</i>	245
8	La progettazione concettuale	251
8.1	La raccolta e l'analisi dei requisiti	251
8.2	Rappresentazione concettuale di dati	257
8.2.1	Criteri generali di rappresentazione	257
8.2.2	Pattern di progetto	258
8.3	Strategie di progetto	267
8.3.1	Strategia top-down	267
8.3.2	Strategia bottom-up	268
8.3.3	Strategia inside-out	270
8.3.4	Strategia mista	271
8.4	Qualità di uno schema concettuale	272
8.5	Una metodologia generale	273
8.6	Un esempio di progettazione concettuale	275
8.7	Strumenti CASE per la progettazione di basi di dati	279
	<i>Note bibliografiche</i>	281
	<i>Esercizi</i>	282
9	La progettazione logica	293
9.1	Fasi della progettazione logica	293
9.2	Analisi delle prestazioni su schemi E-R	295
9.3	Ristrutturazione di schemi E-R	298
9.3.1	Analisi delle ridondanze	299
9.3.2	Eliminazione delle generalizzazioni	302
9.3.3	Partizionamento/accorpamento di concetti	306
9.3.4	Scelta degli identificatori principali	310
9.4	Traduzione verso il modello relazionale	311
9.4.1	Entità e associazioni molti a molti	311
9.4.2	Associazioni uno a molti	314
9.4.3	Entità con identificatore esterno	315
9.4.4	Associazioni uno a uno	316
9.4.5	Traduzioni di schemi complessi	317
9.4.6	Tabelle riassuntive	319
9.4.7	Documentazione di schemi logici	319
9.5	Un esempio di progettazione logica	323
9.5.1	Fase di ristrutturazione	324
9.5.2	Traduzione verso il relazionale	328
9.6	Progettazione logica con gli strumenti CASE	329
	<i>Note bibliografiche</i>	331
	<i>Esercizi</i>	331

10 La progettazione fisica	339
10.1 Organizzazione fisica nei DBMS relazionali	339
10.1.1 Caratteristiche della memoria secondaria	340
10.1.2 Organizzazione fisica delle relazioni	342
10.1.3 Indici relazionali	345
10.2 Progettazione fisica di una base di dati	352
<i>Note bibliografiche</i>	357
<i>Esercizi</i>	357
11 La normalizzazione	361
11.1 Ridondanze e anomalie	361
11.2 Dipendenze funzionali	363
11.3 Forma normale di Boyce e Codd	365
11.3.1 Definizione di forma normale di Boyce e Codd	365
11.3.2 Decomposizione in forma normale di Boyce e Codd	366
11.4 Proprietà delle decomposizioni	367
11.4.1 Decomposizione senza perdita	367
11.4.2 Conservazione delle dipendenze	370
11.4.3 Qualità delle decomposizioni	371
11.5 Terza forma normale	372
11.5.1 Limitazioni della forma normale di Boyce e Codd	372
11.5.2 Definizione di terza forma normale	372
11.5.3 Decomposizione in terza forma normale	373
11.5.4 Altre forme normali	374
11.5.5 Normalizzazione e scelta degli attributi	375
11.6 Teoria delle dipendenze e normalizzazione	377
11.6.1 Implicazione di dipendenze funzionali	377
11.6.2 Coperture di insiemi di dipendenze funzionali	379
11.6.3 Sintesi di schemi in terza forma normale	380
11.7 Progettazione di basi di dati e normalizzazione	382
11.7.1 Verifiche di normalizzazione su entità	383
11.7.2 Verifiche di normalizzazione su associazioni	385
11.7.3 Ulteriori decomposizioni di associazioni	386
11.7.4 Ulteriori decomposizioni di schemi concettuali	388
<i>Note bibliografiche</i>	389
<i>Esercizi</i>	389
A Microsoft Access	393
A.1 Caratteristiche del sistema	393
A.2 La definizione delle tabelle	394
A.2.1 Specifica dei cammini di join	399
A.2.2 Popolamento delle tabelle	401
A.3 La definizione di query	402
A.3.1 Query By Example	403
A.3.2 L'interprete SQL	409
A.4 Maschere e report	411

Introduzione

Le attività di raccolta, organizzazione e conservazione dei dati costituiscono uno dei principali compiti dei sistemi informatici. Gli elenchi di utenze telefoniche, le quotazioni delle azioni nei mercati telematici internazionali, i saldi dei conti correnti bancari o le disponibilità di spesa associate alle carte di credito, l'elenco degli iscritti a una facoltà universitaria e gli esiti dei loro esami sono esempi di dati indispensabili a gestire alcune attività umane. I sistemi informatici garantiscono che questi dati vengano conservati in modo permanente su dispositivi per la loro memorizzazione, aggiornati per riflettere rapidamente le loro variazioni e resi accessibili alle interrogazioni degli utenti, talvolta distribuiti in modo capillare sul territorio. Si pensi, per esempio, all'interrogazione sulla disponibilità di spesa sulle carte di credito, effettuata tramite semplici dispositivi disponibili presso milioni di esercizi commerciali (quali alberghi, negozi o agenzie), che consente di addebitare sulle carte di credito spese effettuate in ogni parte del mondo.

Questo libro è dedicato alla gestione dei dati tramite sistemi informatici; descrive perciò i concetti necessari per rappresentare i dati su un calcolatore, i linguaggi che consentono il loro aggiornamento e ritrovamento, e le architetture informatiche specializzate nella gestione dei dati. In questo primo capitolo vengono introdotti i concetti di sistema informativo e di base di dati, per poi soffermarsi sulle principali caratteristiche dei sistemi informatici per gestire basi di dati.

1.1 Sistemi informativi, informazioni e dati

Nello svolgimento di ogni attività, sia a livello individuale sia in organizzazioni di ogni dimensione, sono essenziali la disponibilità di informazioni e la capacità di gestirle in modo efficace; ogni organizzazione è dotata di un *sistema informativo*, che organizza e gestisce le informazioni necessarie per perseguire gli scopi dell'organizzazione stessa.

L'esistenza del sistema informativo è in parte indipendente dalla sua automatizzazione. A sostegno di questa affermazione possiamo ricordare che i sistemi informativi esistono da molto prima dell'invenzione e della diffusione dei calcolatori elettronici; per esempio, gli archivi delle banche o dei servizi anagrafici sono istituiti da vari secoli. Per indicare la porzione automatizzata del sistema informativo viene di solito utilizzato il termine *sistema informatico*. La diffusione capillare dell'informatica a quasi tutte le attività umane, che ha caratterizzato gli ultimi vent'anni, fa sì che gran parte dei sistemi informativi siano anche, in buona misura, sistemi informatici.

Nelle attività umane più semplici, le informazioni vengono rappresentate e scambiate secondo le tecniche naturali tipiche delle attività stesse: la lingua, scritta o parlata, disegni, figure, numeri. In alcune attività, può addirittura non esistere una rappresentazione esplicita dell'informazione, che viene ricordata a memoria, in maniera più o meno precisa. In ogni caso, possiamo dire che, a mano a mano che le attività si sono andate sistematizzando, sono state individuate opportune forme di organizzazione e codifica delle informazioni.

Nei sistemi informatici, per ragioni che in parte sono tecnologiche e in parte sono legate alla semplicità dei meccanismi di gestione, il concetto di rappresentazione e codifica viene portato all'estremo: le informazioni vengono rappresentate per mezzo di *dati*, che hanno bisogno di essere interpretati per fornire informazioni. Come per molti termini fondamentali, è difficile dare una definizione precisa del concetto di dato e soprattutto delle differenze fra *dato* e *informazione*: in modo approssimativo possiamo dire che i dati da soli non hanno alcun significato, ma, una volta interpretati e correlati opportunamente, essi forniscono informazioni, che consentono di arricchire la nostra conoscenza del mondo. Come ulteriore contributo riportiamo le definizioni dei due termini contenute in un recente dizionario [69]:

informazione: notizia, dato o elemento che consente di avere conoscenza più o meno esatta di fatti, situazioni, modi di essere;

dato: ciò che è immediatamente presente alla conoscenza, prima di ogni elaborazione; (in informatica) elementi di informazione costituiti da simboli che devono essere elaborati.

Per esempio, la stringa *Ferrari* e il numero 8, scritti su un foglio di carta, sono due dati e da soli non significano niente. Se il foglio di carta è relativo alle ordinazioni presso il ristorante di un albergo la notte di Capodanno e sono note le regole che camerieri e cassiere devono seguire, allora si può dedurre che è stata ordinata una bottiglia di spumante della marca 'Ferrari', che va addebitata sul conto della camera numero 8: con le indicazioni aggiuntive, i dati diventano informazione e arricchiscono la conoscenza. Chiaramente, un foglietto con gli stessi dati sul taccuino di un radiocronista sportivo avrebbe un significato molto diverso.

Introdotto così il concetto di dato, possiamo passare a quello di base di dati, oggetto principale di questo testo. Varie accezioni sono possibili per questo termine; secondo la più generale di esse, una *base di dati* è una collezione di dati, utilizzati per rappresentare le informazioni di interesse per un sistema informativo. In questo libro, considereremo una accezione molto più specifica del termine. A tale scopo è dedicato il Paragrafo 1.2.

Concludiamo invece questo paragrafo con una osservazione. In molte applicazioni, i dati hanno caratteristiche più stabili rispetto a quelle delle procedure (manuali o automatizzate) che operano su di essi. Riferendoci a un esempio già citato, possiamo osservare che i dati relativi alle applicazioni bancarie hanno una struttura sostanzialmente invariata da decenni, mentre le procedure che agiscono su di essi variano con una certa frequenza, come ogni cliente può facilmente verificare. Tra l'altro, quando una procedura sostituisce un'altra, la nuova procedura

“eredita” i dati della vecchia, con opportune trasformazioni, più o meno semplici. Questa caratteristica di stabilità porta ad affermare che i dati costituiscono una “risorsa” per l’organizzazione che li gestisce, un patrimonio significativo da sfruttare e proteggere.

1.2 Basi di dati e sistemi di gestione di basi di dati

L’attenzione ai dati ha caratterizzato le applicazioni dell’informatica fin dalle sue origini, ma sistemi software specificamente dedicati alla gestione dei dati sono stati realizzati solo a partire dalla fine degli anni Sessanta del secolo scorso, e tuttora alcune applicazioni non ne fanno uso. In assenza di un software specifico, la gestione dei dati è affidata ai linguaggi di programmazione tradizionali, per esempio C e Fortran, oppure, in tempi più recenti, ai linguaggi a oggetti, tra cui C++ e Java. Esistono ancora diverse applicazioni scritte in COBOL, un linguaggio di programmazione degli anni Sessanta, che può ritenersi ormai superato.

L’approccio “convenzionale” alla gestione dei dati sfrutta la presenza di archivi o *file* per memorizzare i dati in modo persistente sulla memoria di massa. Un file consente di memorizzare e ricercare dati, ma fornisce solo semplici meccanismi di accesso e di condivisione. Secondo questo approccio, le procedure scritte in un linguaggio di programmazione sono completamente autonome; ciascuna di esse definisce e utilizza uno o più file “privati”. Eventuali dati di interesse per più programmi sono replicati tante volte quanti sono i programmi che li utilizzano, con evidente ridondanza e possibilità di incoerenza.

Illustriamo questo concetto con riferimento a una situazione reale, di media complessità. In un’università, le informazioni relative ai docenti possono essere utilizzate in vario modo e da diverse persone o uffici; per esempio, potremmo avere le seguenti situazioni (alcune delle quali sono state semplificate o adattate a fini di presentazione):

- l’ufficio del personale è di solito responsabile delle informazioni relative alla “carriera” (per esempio, alla distinzione fra ricercatore, professore associato e professore ordinario e alla anzianità);
- le presidenze delle facoltà (sulla base delle delibere dei consigli delle facoltà stesse) mantengono le informazioni sugli incarichi di insegnamento dei docenti;
- l’ufficio Web di Ateneo, interessato a pubblicare le informazioni sui corsi e i relativi docenti, utilizza parte di quelle illustrate ai punti precedenti, ma necessita anche di altre, per esempio i recapiti dei docenti e i programmi dei corsi;
- l’ufficio stipendi (quasi sempre diverso dall’ufficio del personale) utilizza le informazioni sulla carriera e quelle sugli incarichi didattici per calcolare le retribuzioni, sulla base delle regole fissate dalla legge e delle eventuali integrazioni locali.

Se ciascuno di questi soggetti gestisse separatamente le informazioni di proprio interesse, avremmo molte duplicazioni e, come spesso succede in presenza di duplicazioni, a lungo andare ci sarebbero molti dati con le varie copie non aggiorna-

te nello stesso modo. Per esempio, potremmo trovare sul sito Web una qualifica diversa da quella corretta, riportata nell'archivio dell'ufficio del personale.

Le basi di dati sono state concepite in buona misura per superare questo tipo di inconvenienti, gestendo in modo integrato e flessibile le informazioni di interesse per diversi soggetti, limitando i rischi di ridondanza e incoerenza. In generale, potremmo dire che una base di dati è semplicemente una collezione di dati, di interesse per una qualche applicazione. Preferiamo però dare una definizione che abbia un contenuto anche tecnologico.

Un *sistema di gestione di basi di dati* (in inglese *Data Base Management System*, abbreviato con DBMS) è un sistema software in grado di gestire collezioni di dati che siano *grandi, condivise e persistenti*, assicurando la loro *affidabilità e privatezza*. Come ogni prodotto informatico, un DBMS deve essere *efficiente ed efficace*. Una *base di dati* è una collezione di dati gestita da un DBMS.

Precisiamo le caratteristiche dei DBMS e delle basi di dati su cui si fondano le definizioni date in precedenza.

- Le basi di dati sono *grandi*, nel senso che possono avere anche dimensioni enormi e comunque in generale molto maggiori della memoria centrale disponibile. Alla data di redazione di questo testo, le più grandi basi di dati hanno dimensioni dell'ordine delle centinaia (o forse migliaia) di terabyte e contengono migliaia di miliardi di record. Di conseguenza, i DBMS devono prevedere una gestione dei dati in memoria secondaria. Ovviamente, possono esistere anche basi di dati "piccole", ma i sistemi devono poter gestire i dati senza porre limiti alle dimensioni, a parte quelle fisiche dei dispositivi.
- Le basi di dati sono *condivise*, nel senso che applicazioni e utenti diversi devono poter accedere, secondo opportune modalità, a dati comuni. È importante notare che in questo modo si riduce la *ridondanza* dei dati, poiché si evitano ripetizioni, e conseguentemente si riduce anche la possibilità di *inconsistenze*: se esistono varie copie degli stessi dati, è possibile che esse, in qualche momento, non siano uguali; viceversa, se ogni dato è memorizzato sul calcolatore in modo univoco, non è possibile incorrere in disallineamenti. Per garantire l'accesso condiviso ai dati da parte di molti utenti che operano contemporaneamente, il DBMS dispone di un meccanismo apposito, detto *controllo di concorrenza*. Esistono al giorno d'oggi basi di dati che devono gestire più di dieci milioni di operazioni (per esempio, lettura o scrittura di record) al secondo.
- Le basi di dati sono *persistenti*, cioè hanno un tempo di vita che non è limitato a quello delle singole esecuzioni dei programmi che le utilizzano. In contrasto, ricordiamo che i dati gestiti da un programma in memoria centrale hanno una vita che inizia e termina con l'esecuzione del programma; tali dati, quindi, non sono persistenti.
- I DBMS garantiscono la *affidabilità*, cioè la capacità del sistema di conservare sostanzialmente intatto il contenuto della base di dati (o almeno di permettere la ricostruzione) in caso di malfunzionamenti hardware e software. Questo aspetto è essenziale se si pensa che in molte applicazioni (per esempio quelle finanziarie) ogni dato ha un valore enorme, che deve essere preservato nel tempo e a fronte di qualsiasi guasto del sistema, errore umano, o anche evento

catastrofico. A questo scopo i DBMS forniscono specifiche funzionalità di *savaggio e ripristino* (*backup e recovery*). In alcuni casi, i DBMS gestiscono, in modo controllato, versioni replicate dei dati, collocate su dispositivi fisici diversi e talvolta su server che sono disposti a distanza, così da garantire maggiore affidabilità complessiva.

- I DBMS garantiscono la *privacy* dei dati. Ciascun utente, riconosciuto in base a un nome d'utente che è specificato all'atto di interagire con il DBMS, viene abilitato a svolgere solo determinate azioni sui dati, attraverso meccanismi di *autorizzazione*.
- I DBMS sono *efficienti*, cioè capaci di svolgere le operazioni utilizzando un insieme di risorse (tempo e spazio) che sia accettabile per gli utenti. Questa caratteristica dipende dalle tecniche utilizzate nell'implementazione del DBMS e dalla bontà della realizzazione della base di dati da parte dei suoi progettisti. Va sottolineato che i DBMS forniscono un insieme piuttosto ampio di funzionalità che richiedono molte risorse, e quindi possono garantire efficienza solo a condizione che il sistema informatico su cui sono installati sia adeguatamente dimensionato.
- I DBMS sono *efficaci* in quanto sono capaci di rendere produttive, in ogni senso, le attività dei loro utenti. Questa definizione è chiaramente generica e non corrisponde a un aspetto specifico. L'attività di progettazione della base di dati e delle applicazioni che la utilizzano mira essenzialmente a garantire una buona efficacia complessiva del sistema.

È importante sottolineare che la gestione di collezioni di dati grandi e persistenti è possibile anche per mezzo di strumenti meno sofisticati dei DBMS, a cominciare dai file già citati, presenti in tutti i sistemi operativi. I file sono stati introdotti per gestire insiemi di dati "localmente" a una specifica procedura o applicazione. I DBMS sono stati concepiti e realizzati per estendere le funzioni dei file system, fornendo la possibilità di accesso condiviso agli stessi dati da parte di più utenti e applicazioni, e garantendo anche molti altri servizi in maniera integrata. Precisiamo inoltre che i DBMS, a loro volta, utilizzano file per la memorizzazione dei dati; i file gestiti dal DBMS ammettono però organizzazioni dei dati più sofisticate.

Ritornando all'esempio brevemente illustrato all'inizio di questo paragrafo, possiamo dire che un modello ideale che adotti fino in fondo le idee appena discusse dovrebbe prevedere l'utilizzo di una sola base di dati, con tutte le informazioni di interesse (e quindi non solo quelle sui docenti, ma per esempio anche quelle sui corsi e sulle varie strutture dell'università, e cioè facoltà, dipartimenti e corsi di laurea, nonché sugli aspetti contabili e amministrativi e tanti altri che non abbiamo per niente citato). Tale base di dati verrebbe poi a essere utilizzata dai vari uffici (e persone), ciascuno per le proprie competenze, attraverso programmi diversi. In effetti, in molti casi, non è possibile o non è conveniente, per varie ragioni, avere un'unica base di dati, ma è importante avere presente che l'obiettivo della integrazione e condivisione è comunque importante, e che i flussi di informazione devono essere coordinati e governati: nell'esempio, l'utilizzo della stessa base di dati da parte dell'ufficio stipendi e dell'ufficio del personale è senz'altro un obiettivo importante. Viceversa, può essere più difficile integrare i dati di questa

base di dati con quelli del sito Web, in quanto quest'ultimo deve essere sempre disponibile per la consultazione, oltre che accessibile dall'esterno, mentre buona parte dei dati sul personale, non rilevanti per il sito, sono riservati e delicati. È quindi ragionevole pensare a soluzioni che prevedano l'uso di una base di dati per mantenere i dati di interesse per il sito Web, diversa da quella relativa a personale e stipendi. È però opportuno pensare che la base di dati per il sito Web sia periodicamente aggiornata, in modo predefinito e automatico, con le informazioni sulle carriere dei docenti, al fine di evitare incoerenze.

Più in generale, possiamo pensare che una organizzazione complessa (azienda o ente pubblico) utilizzi un insieme di basi dati, che siano ciascuna dedicata a un insieme di applicazioni strettamente correlate (quindi con un certo grado di integrazione e condivisione) e che siano al tempo stesso coinvolte in operazioni di interscambio di informazioni finalizzate a evitare duplicazioni di dati e ripetizioni di attività.

Abbiamo detto che un DBMS mette a disposizione una base di dati in genere a più utenti e ai loro programmi. Torneremo presto, nel Paragrafo 1.4, a commentare le caratteristiche dei programmi (e linguaggi utilizzati per scriverli) e degli utenti. Qui invece facciamo un'altra osservazione, relativa peraltro a un argomento che non viene sviluppato in questo volume, ma nel secondo [5]. Esistono varie organizzazioni architettoniche per l'accesso a basi di dati: per esempio, i programmi possono essere eseguiti sullo stesso calcolatore che gestisce i dati oppure su un altro; gli utenti possono utilizzare i cosiddetti "terminali stupidi", cioè privi di capacità elaborativa, oppure personal computer che svolgono parte delle attività, in una architettura di tipo "client/server". Negli ultimi anni, si è poi molto diffuso l'accesso a basi di dati attraverso il World Wide Web: in effetti, la maggior parte dei siti Web contengono pagine che sono generate dinamicamente (cioè al momento della richiesta) a partire da dati contenuti in basi di dati.

1.3 Modelli dei dati

Un *modello dei dati* è un insieme di concetti utilizzati per organizzare i dati di interesse e descriverne la struttura in modo che essa risulti comprensibile a un elaboratore. Ogni modello dei dati fornisce *meccanismi di strutturazione*, analoghi ai costruttori di tipo dei linguaggi di programmazione, che permettono di definire nuovi tipi sulla base di tipi predefiniti (elementari) e costruttori di tipo. Per esempio, il C permette di costruire tipi per mezzo dei costruttori struct, union, enum, * (pointer).

Il *modello relazionale* dei dati, attualmente il più diffuso, permette di definire tipi per mezzo del costruttore *relazione*, che consente di organizzare i dati in insiemi di record a struttura fissa. Una relazione viene spesso rappresentata per mezzo di una tabella, le cui righe rappresentano specifici record e le cui colonne corrispondono ai campi del record; l'ordine delle righe e delle colonne è sostanzialmente irrilevante. Per esempio, i dati relativi ai corsi universitari e ai loro docenti e all'inserimento dei corsi nel manifesto degli studi dei vari corsi di laurea possono essere organizzati per mezzo di due relazioni, DOCENZA e MA-

DOCENZA		MANIFESTO		
Corso	NomeDocente	CdL	Materia	Anno
Basi di dati	Rossi	IngInf	Basi di dati	2
Reti	Neri	IngInf	Reti	3
Linguaggi	Verdi	IngInf	Linguaggi	2
		IngEl	Basi di dati	3
		IngEl	Reti	3

Figura 1.1 Esempio di base di dati relazionale

NIFESTO, rappresentabili con le tabelle in Figura 1.1. Come si vede nella figura, in una base di dati relazionale ci sono in generale più relazioni.

Il modello relazionale, definito formalmente agli inizi degli anni Settanta del secolo scorso, ma affermatosi nel decennio successivo, è, come abbiamo detto, il più diffuso e viene utilizzato in questo libro come modello di riferimento. Oltre al modello relazionale sono stati definiti altri quattro tipi di modelli:

- il *modello gerarchico*, basato sull'uso di strutture ad albero (e quindi gerarchie, da cui il nome), definito durante la prima fase di sviluppo dei DBMS (anni Sessanta), ma tuttora ampiamente utilizzato;
- il *modello reticolare* (detto anche modello CODASYL, dal comitato di standardizzazione che lo definì con precisione), basato sull'uso di grafi, sviluppato successivamente al modello gerarchico (inizio anni Settanta);
- il *modello a oggetti*, sviluppato negli anni Ottanta come evoluzione del modello relazionale, che estende alle basi di dati il paradigma di programmazione a oggetti; al modello a oggetti è dedicato un capitolo nel secondo volume [5];
- il *modello XML*, sviluppato negli anni Novanta come rivisitazione del modello gerarchico, in cui però i dati vengono presentati assieme alla loro descrizione e non devono sottostare rigidamente a un'unica struttura logica (tenuto conto di queste due caratteristiche, si dice che il modello XML è auto-descrittivo e semi-strutturato); anche questo modello è approfondito nel secondo volume [5].

I modelli dei dati precedentemente elencati sono effettivamente disponibili su DBMS commerciali; essi vengono detti *logici*, per sottolineare il fatto che le strutture utilizzate da questi modelli, pur essendo astratte, riflettono una particolare organizzazione (ad alberi, a grafi, a tabelle o a oggetti). Più recentemente, sono stati introdotti altri modelli dei dati, detti *concettuali*, utilizzati per descrivere i dati in maniera completamente indipendente dalla scelta del modello logico. Questi modelli non sono disponibili su DBMS commerciali. Il loro nome deriva dal fatto che essi tendono a descrivere i *concetti* del mondo reale, piuttosto che i dati utili a rappresentarli. Essi vengono utilizzati nella fase preliminare del processo di progettazione di basi di dati, per analizzare nel modo migliore la realtà di interesse, senza "contaminazioni" di tipo realizzativo. Nella Parte Seconda di que-

sto libro, dedicata al progetto delle basi di dati, vedremo in dettaglio un modello concettuale, il modello *Entità-Relazione*.

1.3.1 Schemi e istanze

Nelle basi di dati esiste una parte sostanzialmente invariante nel tempo, detta *schemma* della base di dati, costituita dalle caratteristiche dei dati, e una parte variabile nel tempo, detta *istanza* o *stato* della base di dati, costituita dai valori effettivi. Nell'esempio della Figura 1.1, le relazioni hanno una struttura fissa: la relazione DOCENZA ha due colonne (dette *attributi*), che si riferiscono rispettivamente a corsi e docenti. Lo *schema di una relazione* è costituito dalla sua intestazione, cioè dal nome della relazione seguito dai nomi dei suoi attributi; per esempio:

DOCENZA(Corso, NomeDocente)

Viceversa, le righe della tabella variano nel tempo, e corrispondono ai corsi attualmente offerti e ai relativi docenti. Durante la vita della base di dati, docenti e corsi vengono aggiunti, tolti o modificati; in modo analogo, il manifesto degli studi viene modificato di anno in anno. L'*istanza di una relazione* è costituita dall'insieme, variante nel tempo, delle sue righe; nell'esempio abbiamo le tre coppie:

Basi di dati	Rossi
Reti	Neri
Linguaggi	Verdi

Si dice anche che lo schema è la componente *intensionale* della base di dati e l'istanza la componente *estensionale*. Queste definizioni verranno riprese e sviluppate ulteriormente nel Capitolo 2.

1.3.2 Livelli di astrazione nei DBMS

La nozione di modello e di schema descritta in precedenza può essere ulteriormente sviluppata tenendo presenti altre dimensioni nella descrizione dei dati. In particolare, esiste una proposta di architettura standardizzata per DBMS articolata su tre livelli, detti rispettivamente *esterno*, *logico*¹ e *interno*; per ciascun livello esiste uno schema.

- Lo *schema logico* costituisce una descrizione dell'intera base di dati per mezzo del modello logico adottato dal DBMS (cioè tramite uno dei modelli descritti in precedenza: relazionale, gerarchico, reticolare o a oggetti).

¹ Questo livello viene da alcuni autori chiamato *concettuale*, seguendo la terminologia utilizzata originariamente nella proposta. Noi preferiamo il termine "logico", in quanto, come abbiamo visto, usiamo il termine "concettuale" per altri scopi.

ELETTRONICA	CdL	Materia	Anno
IngEl		Basi di dati	3
IngEl		Reti	3

Figura 1.2 Una "vista" relazionale

- Lo *schema interno* costituisce la rappresentazione dello schema logico per mezzo di strutture fisiche di memorizzazione. Per esempio, una relazione può essere realizzata fisicamente per mezzo di un file sequenziale, o di un file hash, o di un file sequenziale con uno o più indici.
- Uno *schema esterno* costituisce la descrizione di una porzione della base di dati di interesse, per mezzo del modello logico. Uno schema esterno può prevedere organizzazioni dei dati diverse rispetto a quelle utilizzate nello schema logico, che riflettono il punto di vista di un particolare utente o insieme di utenti. Pertanto, è possibile associare a uno schema logico vari schemi esterni.

Nei sistemi più moderni il livello esterno non è esplicitamente presente, ma è possibile definire relazioni derivate (o *viste*, dall'inglese *views*). Per esempio, relativamente alla base di dati di Figura 1.1, uno studente del corso di laurea in Ingegneria Elettronica (IngEl) potrebbe essere interessato solo ai corsi offerti dal manifesto del suo corso di laurea; questa informazione è presente nella relazione ELETTRONICA, mostrata in Figura 1.2, ottenuta come vista a partire dalla relazione MANIFESTO. Inoltre, tramite il meccanismo delle *autorizzazioni di accesso*, è possibile disciplinare gli accessi degli utenti alla base di dati.

1.3.3 Indipendenza dei dati

L'architettura a livelli così definita garantisce l'*indipendenza dei dati*, la principale proprietà dei DBMS. In generale, questa proprietà permette a utenti e programmi applicativi che utilizzano una base di dati di interagire a un elevato livello di astrazione, che prescinde dai dettagli realizzativi utilizzati nella costruzione della base di dati. In particolare, l'indipendenza dei dati può essere caratterizzata ulteriormente come indipendenza fisica e logica.

- L'*indipendenza fisica* consente di interagire con il DBMS in modo indipendente dalla struttura fisica dei dati. In base a questa proprietà è possibile modificare le strutture fisiche (per esempio le modalità di organizzazione dei file gestiti dal DBMS o la allocazione fisica dei file sui dispositivi di memorizzazione) senza influire sulle descrizioni dei dati ad alto livello e quindi sui programmi che utilizzano i dati stessi.
- L'*indipendenza logica* consente di interagire con il livello esterno della base di dati in modo indipendente dal livello logico. Per esempio, è possibile aggiungere uno schema esterno in base alle esigenze di un nuovo utente oppure modificare uno schema esterno senza dover modificare lo schema logico e perciò

la sottostante organizzazione fisica dei dati. Dualmente, è possibile modificare il livello logico, mantenendo inalterate le strutture esterne (modificandone ovviamente la definizione in termini delle strutture logiche) di interesse per l'utente.

È importante sottolineare che gli accessi alla base di dati avvengono solo attraverso il livello esterno (che può coincidere con quello logico); è il DBMS che traduce le operazioni in termini dei livelli sottostanti. L'architettura a livelli è quindi il meccanismo fondamentale attraverso cui i DBMS realizzano l'indipendenza dei dati.

1.4 Linguaggi e utenti delle basi di dati

I DBMS sono caratterizzati, da un lato, dalla presenza di molteplici linguaggi per la gestione dei dati; dall'altro, dalla presenza di molteplici tipologie di utenti.

1.4.1 Linguaggi per basi di dati

Su un DBMS è possibile specificare operazioni di vario tipo, in particolare quelle relative agli schemi e alle istanze. Al riguardo, i linguaggi per basi di dati si distinguono in due categorie:

- *linguaggi di definizione dei dati* o *Data Definition Language* (abbreviato con DDL), utilizzati per definire gli schemi logici, esterni e fisici e le autorizzazioni per l'accesso;
- *linguaggi di manipolazione dei dati* o *Data Manipulation Language* (abbreviato con DML), utilizzati per l'interrogazione e l'aggiornamento delle istanze di basi di dati.

Va sottolineato che alcuni linguaggi, come per esempio il linguaggio SQL, che vedremo approfonditamente nei Capitoli 4 e 5, presentano in forma integrata le funzionalità di entrambe le categorie.

L'accesso ai dati può essere effettuato con varie modalità:

- tramite linguaggi testuali interattivi, soprattutto il linguaggio SQL, nelle sue varie versioni; per esempio, possiamo definire la struttura della relazione DOCENZA, già mostrata in Figura 1.1, sottponendo a un interprete SQL (disponibile in tutti i DBMS) la seguente istruzione² (che appartiene quindi al DDL):

```
create table Docenza(
    Corso      character(20),
    NomeDocente character(30)
)
```

²Per non appesantire, mostriamo una istruzione che, pur formalmente corretta, è incompleta, in quanto, come vedremo più avanti, non contiene la specifica della chiave primaria.

La seguente istruzione, invece, permette di visualizzare, sempre in un ambiente interattivo, i corsi di ingegneria informatica del secondo anno con i relativi docenti:

```
select Corso, NomeDocente  
from Docenza, Manifesto  
where Corso=Materia  
and Anno=2  
and CdL='IngInf'
```

- tramite comandi simili a quelli interattivi immersi in linguaggi di programmazione, quali C, C++, Java, COBOL, come vedremo nel Capitolo 6. Questi linguaggi di programmazione si dicono *linguaggi ospite* perché “ospitano” comandi scritti nel linguaggio per basi di dati. Una caratteristica importante di questo approccio è la possibilità di realizzare applicazioni parametriche e di farle eseguire anche a un utente che non conosca SQL: con riferimento al semplice esempio precedente, si potrà scrivere un programma che permette di ricercare corsi e docenti per un certo corso di laurea e un certo anno, specificati dall’utente solo al momento dell’esecuzione del programma (ma non noti al momento della scrittura dello stesso);
- tramite comandi simili a quelli interattivi immersi in linguaggi di sviluppo *ad hoc*, spesso con funzionalità specifiche (per esempio per la generazione di grafici, di stampe complesse, oppure di maschere su video). Questi linguaggi variano purtroppo molto da sistema a sistema e potremo quindi solo accennare ad alcuni aspetti nelle appendici, che sono appunto dedicate a specifici sistemi;
- tramite interfacce amichevoli che permettono di sintetizzare interrogazioni senza usare un linguaggio testuale. Anche queste interfacce differiscono molto le une dalle altre e sono in continua evoluzione. Pure per esse, accenneremo nelle appendici agli aspetti più semplici e importanti. Vediamo per ora un esempio, relativo alla stessa interrogazione vista sopra in SQL: la Figura 1.3 mostra la sua realizzazione in Access, il sistema più diffuso per la gestione di basi di dati in ambiente individuale.

Una gran parte dei programmi per la immissione dei dati, la loro gestione e la stampa hanno una struttura regolare; conseguentemente, la presenza di linguaggi di sviluppo e di interfacce amichevoli può semplificare significativamente la produzione di applicazioni, facilitando il compito del programmatore e riducendo i tempi e i costi di sviluppo.

1.4.2 Utenti e progettisti

Varie categorie di persone possono interagire con una base di dati o con un DBMS. Descriviamo brevemente le più importanti.

- L’*amministratore della base di dati* (o *Database Administrator*, abbreviato con DBA) è la persona (o gruppo di persone) responsabile della progettazione, controllo e amministrazione della base di dati. Il DBA ha il compito di mediare le

Riquadro di spostamento

Esempio

Docenza

* Corso
NomeDocente

Manifesto

* CdL
Materia
Anno

Campo: Corso Tabella: Docenza Ordinamento:

Mostra: Criteri: "Rossi" Oppure:

Pronto

Esempio

Corso: Rossi NomeDocente: Verdi

Basi di dati: Rossi Linguaggi: Verdi

Record: 1 di 2 Nessun filtro Cerca

Pronto

Figura 1.3 Un'interrogazione formulata in Access e il suo risultato

varie esigenze espresse dagli utenti, in genere contrastanti fra loro, garantendo un controllo centralizzato sui dati. L'amministratore delle basi di dati è responsabile, in particolare, di garantire sufficienti prestazioni, di assicurare l'affidabilità del sistema, e di gestire le autorizzazioni di accesso ai dati. Al progetto delle basi di dati è dedicata la Parte Seconda del libro.

- I *progettisti e programmatore di applicazioni* definiscono e realizzano i programmi che accedono alla base di dati. Essi utilizzano il linguaggio di manipolazione dei dati (DML) oppure i vari strumenti di supporto alla generazione di interfacce verso la base di dati descritti in precedenza. Alla programmazione di applicazioni sulle basi di dati sono dedicati i capitoli relativi al linguaggio SQL, nella Parte Prima del testo.
- Gli *utenti* utilizzano la base di dati per le proprie attività. Essi possono a loro volta essere divisi in due categorie:
 - *utenti finali* (o *terminalisti*), che utilizzano *transazioni*, cioè programmi che realizzano attività predefinite e di frequenza elevata, con poche eccezioni previste a priori;
 - *utenti casuali*, in grado di impiegare i linguaggi interattivi per l'accesso alla

base di dati, formulando interrogazioni (o aggiornamenti) di tipo vario. Essi possono essere specializzati (rispetto al linguaggio che utilizzano) e interagire frequentemente con la base di dati. Si noti che il termine "casuale" sta a indicare il fatto che le interrogazioni specificate da utenti casuali non sono predefinite.

1.5 Vantaggi e svantaggi dei DBMS

Concludiamo questo capitolo riassumendo le caratteristiche essenziali delle basi di dati e dei DBMS, e i relativi vantaggi e svantaggi. Possiamo elencare i seguenti vantaggi.

- I DBMS permettono di considerare i dati come una risorsa comune di una organizzazione, a disposizione (con opportune forme di controllo) di tutte le sue componenti.
- La base di dati fornisce un modello unificato e preciso della parte del mondo reale di interesse per l'organizzazione, utilizzabile nelle applicazioni attuali e, con possibili estensioni, in applicazioni future.
- Con l'uso di un DBMS è possibile un controllo centralizzato dei dati, che può essere arricchito da forme di standardizzazione e beneficiare di "economie di scala".
- La condivisione permette di ridurre ridondanze e inconsistenze.
- L'indipendenza dei dati, caratteristica fondamentale dei DBMS, favorisce lo sviluppo di applicazioni più flessibili e facilmente modificabili.

L'uso dei DBMS comporta anche alcuni aspetti negativi, o almeno delicati, fra i quali i seguenti.

- I DBMS sono prodotti costosi, complessi e abbastanza diversi da molti altri strumenti informatici. La loro introduzione comporta quindi notevoli investimenti, diretti (acquisto del prodotto) e indiretti (acquisizione delle risorse hardware e software necessarie, conversione delle applicazioni, formazione del personale).
- I DBMS forniscono, in forma integrata, una serie di servizi, che sono necessariamente associati a un costo. Nei casi in cui alcuni di questi servizi non siano necessari, è difficile scorporare quelli effettivamente richiesti dagli altri, e ciò può comportare una riduzione di prestazioni.

Concludendo, possiamo dire che si incontrano situazioni nelle quali l'adozione di un DBMS può risultare sconveniente: applicazioni con uno o pochi utenti, senza necessità di accessi concorrenti e relativamente stabili nel tempo possono essere realizzate più proficuamente con file ordinari piuttosto che con DBMS. Tuttavia, la tecnologia dei DBMS si è notevolmente evoluta negli ultimi anni, traducendosi in sistemi sempre più efficienti e affidabili su architetture sempre più diffuse e poco costose, aumentando la convenienza di sviluppare applicazioni con un DBMS.

Note bibliografiche

Esistono molti testi di tipo generale sulle basi di dati, quasi tutti in lingua inglese ma poi tradotti in italiano: segnaliamo in particolare quelli di ElMasri e Navathe [32], Silberschatz, Korth e Sudarshan [59], Ramakrishnan e Gehrke [54] e Garcia-Molina, Ullman e Widom [36], che coprono in modo equilibrato gli aspetti metodologici e quelli tecnologici. Il testo di Date [29], molto diffuso e ormai alla ottava edizione, presenta in modo semplice molti aspetti importanti. Quello di Ullman [67] tratta in modo integrato tecnologia esistente e aspetti di natura teorica. Per dettagli relativi ai singoli aspetti citati in questo capitolo, rimandiamo ai capitoli successivi, in cui verranno approfonditi, e alle relative note bibliografiche.

Parte prima

Basi di dati relazionali: modello e linguaggi

Il primo capitolo della parte prima illustra il modello relazionale, che è stato definito come uno dei più importanti modelli di dati esistenti. Il modello relazionale è un modo per organizzare i dati in una struttura significativa, che può essere utilizzata per rappresentare informazioni, spesso di significato diverso, in modo che siano facilmente comprensibili. Infine, si illustrano i primi prototipi di sistemi relationali, che sono stati sviluppati negli anni Sessanta. I primi sistemi relationali furono creati nel momento nel quale erano ancora una frattina significativa solo a livello di ricerca.

L'illustrazione del modello relazionale è articolata in cinque capitoli: questo è il primo di essi. Nell'ultimo capitolo sono illustrate le caratteristiche strutturali del modello, cioè le regole che consentono di organizzare i dati in una struttura efficace sui vari livelli logici. Si mette in evidenza come il concetto di relazione possa essere l'elemento della teoria degli insiemi e utilizzato con alcune modifiche, per rappresentare le informazioni di interesse in una base di dati. Viene inoltre approfondito il punto delle corrispondenze fra dati in strutture diverse e nei relativi modelli per misurare dati. Poi, dopo una breve discussione delle relazioni per la co-misurazione di informazioni incomplete, l'attenzione viene rivolta all'insieme di integrità, cioè dell'insieme di specifiche di operazioni aggiuntive che sono necessarie per mantenere dati validi.

La presentazione del modello relazionale è completata nel quinto capitolo sulla query, il primo esempio di applicazione del modello relazionale di interrogazione di basi di dati relazionali. Gli altri due linguaggi SQL, cioè le DBMS oggi esistenti, permettono di creare, aggiornare e interrogare basi di dati.

1.1 Il modello relazionale: strutture

1.1.1 Modelli degli dati nei sistemi di basi di dati

Il modello relazionale è uno dei pochi modelli di dati che non è ancora diventato standard del campo dell'informatica. La relazione proviene dalla matematica pura come entità degli insiemi, mentre il concetto di tabella proviene dalla statistica. La parola "relazione" nasce da questi due concetti. È uno degli elementi fondamentali del pensiero matematico, insieme al concetto di funzione. Infatti, la parola "relazione" è molto usata anche nel più grande



Il modello relazionale

La maggior parte dei sistemi di basi di dati oggi sul mercato si fonda sul modello relazionale, che fu proposto in una pubblicazione scientifica (di E.F. Codd [24]), nel 1970, al fine di superare le limitazioni dei modelli all'epoca utilizzati a livello logico, che non permettevano di realizzare efficacemente la proprietà di indipendenza dei dati, già riconosciuta fondamentale. L'affermazione del modello relazionale è stata abbastanza lenta, a causa proprio dell'alto livello di astrazione: non è stato immediato individuare realizzazioni efficienti per strutture significativamente diverse da quelle utilizzate allora. Infatti, nonostante i primi prototipi di sistemi relazionali siano stati realizzati già nei primi anni Settanta, i primi sistemi relazionali sono apparsi sul mercato nel 1981, acquisendone una frazione significativa solo a metà degli anni Ottanta.

La presentazione del modello relazionale è articolata in cinque capitoli, questo e i quattro successivi. Nel presente capitolo sono illustrate le caratteristiche strutturali del modello, cioè le modalità secondo cui esso permette di organizzare i dati. Dopo una breve discussione sui vari modelli logici, si mostra come il concetto di relazione possa essere mutuato dalla teoria degli insiemi e utilizzato, con alcune varianti, per rappresentare le informazioni di interesse in una base di dati. Viene in particolare approfondito il fatto che le corrispondenze fra dati in strutture diverse sono rappresentate per mezzo dei dati stessi. Poi, dopo una breve discussione delle modalità per la rappresentazione di informazione incompleta, l'attenzione viene volta ai vincoli di integrità, che permettono di specificare proprietà aggiuntive che devono essere soddisfatte dalle basi di dati.

La presentazione del modello relazionale è completata nei quattro capitoli successivi, il primo dedicato alla specifica delle operazioni di interrogazione di basi di dati relazionali e gli altri al linguaggio SQL, che, nei DBMS oggi esistenti, permette di definire, aggiornare e interrogare basi di dati.

2.1 Il modello relazionale: strutture

2.1.1 Modelli logici nei sistemi di basi di dati

Il *modello relazionale* si basa su due concetti, *relazione* e *tabella*, di natura diversa ma facilmente riconducibili l'uno all'altro. La nozione di *relazione* proviene dalla matematica, in particolare dalla teoria degli insiemi, mentre il concetto di *tabella* è semplice e intuitivo. La presenza contemporanea di questi due concetti, l'uno formale e l'altro intuitivo, è responsabile del grande successo ottenuto dal modello relazionale. Infatti, le tabelle risultano naturali e comprensibili anche per gli utenti

finali (che spesso le utilizzano in tanti contesti per scopi diversi, senza riferimento alle basi di dati). D'altra parte, la disponibilità di una formalizzazione semplice e precisa ha permesso anche uno sviluppo teorico a supporto del modello con risultati di interesse concreto.

Il modello relazionale risponde al requisito dell'indipendenza dei dati, che, come abbiamo visto nel Capitolo 1, prevede una distinzione, nella descrizione dei dati, fra il livello *fisico* e il livello *logico*; gli utenti che accedono ai dati e i programmati che sviluppano le applicazioni fanno riferimento solo al livello logico; i dati descritti al livello logico sono poi realizzati per mezzo di opportune strutture fisiche, ma per accedere ai dati non è necessario conoscere le strutture fisiche stesse. Al contrario, i modelli proposti precedentemente al modello relazionale, quello reticolare e quello gerarchico, includevano esplicativi riferimenti alla sottostante struttura realizzativa, attraverso l'uso di puntatori e l'ordinamento fisico dei dati.

Una precisazione è utile prima di passare all'introduzione del modello relazionale. Il termine *relazione* viene utilizzato in questo testo (e in generale con riferimento alle basi di dati) in tre accezioni che, nei dettagli, differiscono in modo importante:

- *relazione matematica*, secondo la definizione normalmente data nella teoria degli insiemi elementare. Da questa nozione, che verrà richiamata nel prossimo paragrafo, derivano le altre due;
- *relazione* secondo la definizione del modello relazionale che, come vedremo nel Paragrafo 2.1.3, presenta alcune differenze rispetto a quella della teoria degli insiemi;
- *relazione*, come traduzione di *relationship*,¹ costrutto del modello concettuale *Entità-Relazione* (in inglese *Entity-Relationship*) utilizzato, come vedremo nel Capitolo 7, per descrivere legami tra entità del mondo reale.

2.1.2 Relazioni e tabelle

Ricordiamo che, in matematica, dati due insiemi D_1 e D_2 , si chiama *prodotto cartesiano* di D_1 e D_2 , in simboli $D_1 \times D_2$, l'insieme delle coppie ordinate (v_1, v_2) , tali che v_1 è un elemento di D_1 e v_2 è un elemento di D_2 . Per esempio, dati gli insiemi $A = \{1, 2, 4\}$ e $B = \{a, b\}$, il prodotto cartesiano $A \times B$ è costituito dall'insieme di tutte le possibili coppie in cui il primo elemento appartiene ad A e il secondo a B . Poiché A ha tre elementi e B due, si tratta quindi di sei coppie:

$$\{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b), (4, a), (4, b)\}$$

¹Nei due casi precedenti si usa in inglese il termine *relation*, che quindi non è ambiguo rispetto a *relationship*. Talvolta sono usate altre traduzioni per *relationship*, come *associazione* o *correlazione*.

Una *relazione matematica* sugli insiemi D_1 e D_2 (chiamati *domini* della relazione) è un sottoinsieme di $D_1 \times D_2$. Dati gli insiemi A e B di cui sopra, una possibile relazione matematica su A e B è costituita dall'insieme di coppie $\{(1, a), (1, b), (4, b)\}$.

Le relazioni possono essere rappresentate graficamente, in maniera utilmente espressiva, sotto forma tabellare. Le due tabelle riportate nella Figura 2.1 descrivono il prodotto cartesiano $A \times B$ e la relazione matematica su A e B sopra discusse.

Vale la pena fare una annotazione, importante dal punto di vista formale (anche se pressoché ovvia da quello pratico). Finora non abbiamo detto niente riguardo alla finitezza degli insiemi che consideriamo, e abbiamo quindi implicitamente ammesso la possibilità di insiemi infiniti (e perciò di relazioni infinite). In pratica, poiché le nostre basi di dati devono essere memorizzate in sistemi di calcolo di dimensione finita, le relazioni sono necessariamente finite. Peraltro, in talune trattazioni teoriche, che comunque esulano dagli interessi di questo testo, vengono talvolta ammesse relazioni infinite. Al tempo stesso, è comodo a volte che i domini abbiano dimensione infinita (in modo che sia sempre possibile assumere l'esistenza di un valore non presente nella base di dati). Pertanto, assumeremo ove necessario che le nostre basi di dati siano costituite da relazioni finite su domini eventualmente infiniti.

Le definizioni precedenti di prodotto cartesiano e relazione matematica fanno riferimento a due insiemi, ma possono essere generalizzate rispetto al numero di insiemi. Dati $n > 0$ insiemi D_1, D_2, \dots, D_n , non necessariamente distinti, il prodotto cartesiano di D_1, D_2, \dots, D_n , indicato con $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$, è costituito dall'insieme delle n -uple (v_1, v_2, \dots, v_n) tali che v_i appartiene a D_i , per $1 \leq i \leq n$. Una relazione matematica sui domini D_1, D_2, \dots, D_n è un sottoinsieme del prodotto cartesiano $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$. Il numero n delle componenti del prodotto cartesiano (e quindi di ogni n -upla) viene detto *grado* del prodotto cartesiano e della relazione. Il numero di elementi (cioè di n -upla) della relazione viene chiamato, come di solito nella teoria degli insiemi, *cardinalità* della relazione. Nella Figura 2.2 sono mostrate le rappresentazioni tabellari del prodotto cartesiano e di una relazione di grado tre sui domini $C = \{x, y\}$, $D = \{a, b, c\}$ ed $E = \{3, 5\}$. La relazione ha cardinalità pari a sei.

1	a
1	b
2	a
2	b
4	a
4	b

1	a
1	b
4	b

Figura 2.1 Rappresentazione tabellare di un prodotto cartesiano e di una relazione

x	a	3
x	a	5
x	b	3
x	b	5
x	c	3
x	c	5
y	a	3
y	a	5
y	b	3
y	b	5
y	c	3
y	c	5

x	a	3
x	a	5
x	c	5
y	a	3
y	c	3
y	c	5

Figura 2.2 Rappresentazione tabellare di un prodotto cartesiano e di una relazione ternari

Le relazioni (e le corrispondenti tabelle) possono essere utilizzate per rappresentare i dati di interesse per qualche applicazione. Per esempio, la relazione nella Figura 2.3 contiene i dati relativi ai risultati di un insieme di partite di calcio.

Essa è definita con riferimento a due domini *intero* e *stringa*, ognuno dei quali compare due volte. La relazione è infatti un sottoinsieme del prodotto cartesiano:

$$\text{Stringa} \times \text{Stringa} \times \text{Intero} \times \text{Intero}$$

2.1.3 Relazioni con attributi

Sulle relazioni e sulle loro rappresentazioni tabellari possiamo fare varie osservazioni. In base alla definizione, una relazione matematica è un *insieme* di n -uple *ordinate* (v_1, v_2, \dots, v_n) , con $v_1 \in D_1, v_2 \in D_2, \dots, v_n \in D_n$. Con riferimento all'uso che facciamo delle relazioni per organizzare i dati nelle nostre basi di dati, possiamo dire che ciascuna n -upla contiene dati fra loro collegati, anzi stabilisce un legame fra loro: per esempio la prima n -upla della relazione nella Figura 2.3 stabilisce un legame fra i valori “Juventus,” “Lazio,” “3,” “1”, a indicare che il risultato della partita fra Juventus e Lazio è 3 a 1. Possiamo poi ricordare che una relazione è un *insieme*, quindi:

Juventus	Lazio	3	1
Lazio	Milan	2	0
Juventus	Roma	1	2
Roma	Milan	0	1

Figura 2.3 Una relazione con i risultati di partite di calcio

- non è definito alcun ordinamento fra le n -uple; nelle tabelle che le rappresentano c'è, per necessità, un ordine, ma è “occasionale”: due tabelle con le stesse righe, ma in ordine diverso, rappresentano la stessa relazione;
- le n -uple di una relazione sono distinte l'una dall'altra, in quanto tra gli elementi di un insieme non possono essere presenti due elementi uguali; quindi una tabella rappresenta una relazione solo se le sue righe sono l'una diversa dall'altra.

Al tempo stesso, ciascuna n -upla è, al proprio interno, *ordinata*: l' i -esimo valore di ciascuna proviene dall' i -esimo dominio. È cioè definito un ordinamento fra i domini, che è significativo ai fini dell'interpretazione dei dati nelle relazioni: se, nella relazione nella Figura 2.3, scambiassimo il terzo dominio con il quarto, cambieremmo completamente il significato della nostra relazione, in quanto i risultati delle partite verrebbero invertiti. In effetti, questo accade perché nella relazione ciascuno dei due domini *intero* e *stringa* compare due volte, e le due occorrenze sono distinte attraverso la posizione: la prima occorrenza del dominio *stringa* fa riferimento alla squadra di casa e la seconda a quella ospitata; analogamente le due occorrenze del dominio *intero*.

L'ordinamento che abbiamo appena evidenziato fra i domini di una relazione corrisponde in effetti a una caratteristica insoddisfacente del concetto di relazione matematica rispetto alla possibilità di organizzare e utilizzare i dati. Infatti, in vari contesti dell'informatica si tende a privilegiare notazioni *non posizionali* (quali quelle che permettono, in un linguaggio ad alto livello, di far riferimento ai campi di un record per mezzo di nomi simbolici) rispetto a quelle posizionali (utilizzate per esempio negli array per indicare il primo elemento, il secondo e così via): si tende a utilizzare le notazioni posizionali solo quando l'ordinamento corrisponde a una esigenza intrinseca, come accade per esempio nei problemi di natura matematica, in cui gli array permettono di rappresentare vettori e matrici in modo ovvio e diretto. Risulta evidente come le informazioni che siamo interessati a organizzare nelle relazioni delle nostre basi di dati abbiano una struttura che si può naturalmente ricondurre a quella dei record: una relazione è sostanzialmente un insieme di record omogenei, cioè definiti sugli stessi campi. Nel caso dei record, a ogni campo è associato un nome: associamo a ciascuna occorrenza di dominio nella relazione un nome, detto *attributo*, che descrive il “ruolo” giocato dal dominio stesso. Per esempio, per la relazione relativa alle partite, possiamo usare nomi quali *SquadraDiCasa*, *SquadraOspitata*, *RetiCasa*, *RetiOspitata*; nella rappresentazione tabellare, utilizziamo gli attributi come intestazioni per le colonne (Figura 2.4); sottolineiamo che, dovendo identificare univocamente le componenti, gli attributi di una relazione (e quindi le intestazioni delle colonne delle tabelle) devono essere diversi l'uno dall'altro.

Modificando la definizione di relazione con l'introduzione degli attributi, e prima ancora di dare la definizione formale, possiamo vedere che l'ordinamento degli attributi (e delle colonne nella rappresentazione tabellare) risulta irrilevante: non è più necessario parlare di primo dominio, secondo dominio e così via, è sufficiente far riferimento agli attributi. La Figura 2.5 mostra un'altra rappresentazione tabellare della relazione nella Figura 2.4, con gli attributi (e quindi le colonne) in

SquadraDiCasa	SquadraOspitata	RetiCasa	RetiOspitata
Juventus	Lazio	3	1
Lazio	Milan	2	0
Juventus	Roma	1	2
Roma	Milan	0	1

Figura 2.4 Una relazione con attributi

ordine diverso (secondo lo stile americano in cui la squadra di casa viene indicata dopo quella ospitata).

Per formalizzare i concetti, indichiamo con \mathcal{D} l'insieme dei domini e specifichiamo la corrispondenza fra attributi e domini, nell'ambito di una relazione, per mezzo di una funzione $dom : X \rightarrow \mathcal{D}$, che associa a ciascun attributo $A \in X$ un dominio $dom(A) \in \mathcal{D}$. Poi, diciamo che una *tupla*² su un insieme di attributi X è una funzione t che associa a ciascun attributo $A \in X$ un valore del dominio $dom(A)$. Possiamo quindi dare la nuova definizione di relazione: una *relazione* su X è un insieme di tuple su X . La differenza fra questa definizione e quella tradizionale di relazione matematica risiede solo nella definizione di tupla: nella relazione matematica abbiamo n -uple i cui elementi sono individuati per posizione, mentre nelle tuple della nuova definizione gli elementi sono individuati per mezzo degli attributi, cioè con una tecnica non posizionale.

Introduciamo una notazione che utilizzeremo molto in seguito. Se t è una tupla su X e $A \in X$, allora $t[A]$ (o $t.A$) indica il valore di t su A . Per esempio, se t è la prima tupla della relazione³ nella Figura 2.5, possiamo dire che

$$t[\text{SquadraOspitata}] = \text{Lazio}$$

SquadraOspitata	SquadraDiCasa	RetiOspitata	RetiCasa
Lazio	Juventus	1	3
Milan	Lazio	0	2
Roma	Juventus	2	1
Milan	Roma	1	0

Figura 2.5 Un'altra rappresentazione per la relazione nella Figura 2.4

²Traslitterazione dell'inglese *tuple*. In italiano sarebbe forse più corretto usare il termine *enupla*, ma è ormai diffuso il termine *tupla*, che permette di sottolineare la differenza con l'usuale concetto di n -upla ordinata visto in precedenza.

³Più precisamente, dovremmo dire “la tupla rappresentata dalla prima riga della tabella...”, ma sarebbe un inutile appesantimento.

La notazione si usa anche per insiemi di attributi, nel qual caso denota tuple:

$$t[\text{SquadraOspitata}, \text{RetiOspitata}]$$

è una tupla su due attributi.

2.1.4 Relazioni e basi di dati

Come già notato, una relazione può essere utilizzata per organizzare dati rilevanti nell'ambito di una applicazione di interesse. Peraltro, di solito non è sufficiente allo scopo una singola relazione: una base di dati è in generale costituita da più relazioni, le cui tuple contengono valori comuni, ove necessario per stabilire corrispondenze. Approfondiamo questo concetto commentando la base di dati nella Figura 2.6:

- la prima relazione contiene informazioni relative a un insieme di studenti, con numero di matricola, cognome, nome e data di nascita;
- la terza relazione contiene informazioni su alcuni corsi, con codice, titolo e docente;
- la seconda relazione contiene informazioni relative a esami: il numero di matricola dello studente, il codice del corso e il voto; questa relazione fa riferimento ai dati contenuti nelle altre due: agli studenti, attraverso i numeri di matricola, e ai corsi, attraverso i relativi codici.

STUDENTI	Matricola	Cognome	Nome	Data di nascita
	276545	Rossi	Maria	25/11/1981
	485745	Neri	Anna	23/04/1982
	200768	Verdi	Fabio	12/02/1982
	587614	Rossi	Luca	10/10/1981
	937653	Bruni	Mario	01/12/1981

ESAMI	Studente	Voto	Corso
	276545	28	01
	276545	27	04
	937653	25	01
	200768	24	04

CORSI	Codice	Titolo	Docente
	01	Analisi	Giani
	03	Chimica	Melli
	04	Chimica	Belli

Figura 2.6 Una base di dati relazionale

La base di dati nella Figura 2.6 mostra una delle caratteristiche fondamentali del modello relazionale, che viene spesso indicata dicendo che esso è “basato su valori”: i riferimenti fra dati in relazioni diverse sono rappresentati per mezzo di valori dei domini che compaiono nelle tuple. Va notato che gli altri modelli logici, reticolare e gerarchico (definiti prima del modello relazionale ma tuttora in uso), realizzano le corrispondenze in modo esplicito attraverso puntatori e vengono pertanto detti modelli “basati su record e puntatori”. In questo testo non presentiamo in modo articolato tali modelli, ma vogliamo qui brevemente evidenziare la caratteristica fondamentale di un modello ideale basato su record e puntatori. La Figura 2.7 rappresenta la stessa base di dati nella Figura 2.6 con puntatori al posto dei riferimenti realizzati tramite valori (i numeri di matricola degli studenti e i codici dei corsi).

Rispetto a un modello basato su record e puntatori, il modello relazionale, basato su valori, presenta diversi vantaggi:

- esso richiede di rappresentare solo ciò che è rilevante dal punto di vista dell'applicazione (e quindi dell'utente); i puntatori sono qualcosa di aggiuntivo, legato ad aspetti realizzativi; nei modelli con puntatori, il programmatore delle applicazioni fa riferimento a dati che non sono significativi per l'applicazione;
- la rappresentazione logica dei dati (costituita dai soli valori) non fa alcun riferimento a quella fisica, che può anche cambiare nel tempo: il modello relazionale permette quindi di ottenere l'indipendenza fisica dei dati;

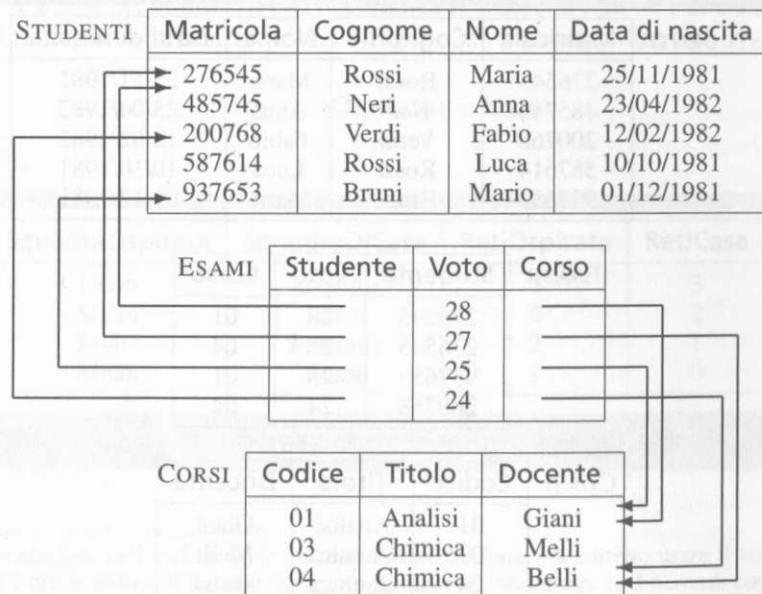


Figura 2.7 Una base di dati con puntatori

- essendo tutta l'informazione contenuta nei valori, è relativamente semplice trasferire i dati da un contesto a un altro (per esempio se si deve trasferire una base di dati da un calcolatore a un altro); in presenza di puntatori, l'operazione è più complessa, perché i puntatori hanno un significato locale al singolo sistema, che non sempre è immediato esportare.

A titolo di inciso, vale la pena notare che anche in una base di dati relazionale, a livello fisico, i dati possono essere rappresentati secondo modalità che prevedono l'uso di puntatori. La differenza, rispetto ai modelli basati su puntatore, è nel fatto che qui i puntatori non sono visibili a livello logico. Inoltre, sottolineiamo come nei sistemi di basi di dati a oggetti, che rappresentano una delle direzioni di evoluzione delle basi di dati (come discusso nel secondo volume [5]), vengano introdotti gli identificatori di oggetto, che, pur a un livello di astrazione più alto, presentano alcune delle caratteristiche dei puntatori.

Possiamo a questo punto riassumere le definizioni relative al modello relazionale, con un po' di precisione, distinguendo il livello degli schemi da quello delle istanze.

- Uno *schema di relazione* è costituito da un simbolo R , detto *nome della relazione*, e da un insieme di (nomi di) *attributi* $X = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, il tutto di solito indicato con $R(X)$. A ciascun attributo è associato un dominio, come visto in precedenza.
- Uno *schema di base di dati* è un insieme di schemi di relazione con nomi diversi:

$$\mathbf{R} = \{R_1(X_1), R_2(X_2), \dots, R_n(X_n)\}$$

I nomi di relazione hanno come scopo principale quello di distinguere le varie relazioni nella base di dati.

- Una *istanza di relazione* (o semplicemente *relazione*) su uno schema $R(X)$ è un insieme r di tuple su X .
- Una *istanza di base di dati* (o semplicemente *base di dati*) su uno schema $\mathbf{R} = \{R_1(X_1), R_2(X_2), \dots, R_n(X_n)\}$ è un insieme di relazioni $\mathbf{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, dove ogni r_i , per $1 \leq i \leq n$, è una relazione sullo schema $R_i(X_i)$.

Per esemplificare, possiamo dire che lo schema della base di dati nella Figura 2.6 è così definito (con opportune definizioni per i domini):

$$\begin{aligned}\mathbf{R} = \{ & \text{STUDENTI (Matricola, Cognome, Nome, Data di nascita),} \\ & \text{ESAMI (Studente, Voto, Corso),} \\ & \text{CORSI (Codice, Titolo, Docente)} \}\end{aligned}$$

Per comodità, accenniamo brevemente alle convenzioni che adotteremo nel seguito (e che abbiamo già usato nelle definizioni e negli esempi), allo scopo di favorire la sinteticità della notazione senza compromettere la comprensione:

- gli attributi (quando non si utilizzeranno nomi significativi dal punto di vista dell'applicazione) verranno indicati con lettere iniziali dell'alfabeto, maiuscole, eventualmente con indici e/o pedici: A, B, C, A', A_1, \dots

- insiemi di attributi verranno indicati con lettere finali dell'alfabeto, maiuscole: X, Y, Z, X', X_1, \dots ; un insieme in cui si vogliano evidenziare gli attributi componenti verrà denotato dalla giustapposizione dei nomi degli attributi stessi: scriveremo cioè $X = ABC$ anziché $X = \{A, B, C\}$; analogamente, l'unione di insiemi verrà denotata dalla giustapposizione dei relativi nomi: scriveremo XY anziché $X \cup Y$; riunendo le due convenzioni, scriveremo XA anziché $X \cup \{A\}$;
- per i nomi di relazione (sempre nel caso in cui si possa o debba fare a meno di nomi significativi) utilizzeremo la R e le lettere contigue, maiuscole: R_1, S, S', \dots ; per le relazioni, gli stessi simboli dei corrispondenti nomi di relazione, ma in lettere minuscole.

Per approfondire ancora i concetti fondamentali del modello relazionale, discutiamo un altro paio di esempi.

In primo luogo notiamo come, secondo la definizione, siano ammissibili relazioni su un solo attributo. Ciò può avere senso in particolare in basi di dati su più relazioni, in cui la relazione su singolo attributo contiene valori che appaiono come valori di un attributo di un'altra relazione. Per esempio, in una base di dati in cui sia presente la relazione STUDENTI della Figura 2.6, si può utilizzare (Figura 2.8) un'altra relazione sul solo attributo Matricola per indicare gli studenti lavoratori (attraverso i relativi numeri di matricola, che devono apparire nella relazione STUDENTI).

Discutiamo ora un esempio un po' più complesso, che mostra come, sia pur indirettamente, il modello relazionale permetta di rappresentare informazione strutturata in modo articolato. Nella Figura 2.9 sono schematizzate tre ricevute fiscali emesse da un ristorante. Esse hanno una struttura che prevede (a parte le frasi prestampate che abbiamo riportato in grassetto) alcune informazioni fisse (numero, data e totale) e un numero di righe variabile, ognuna relativa a un insieme di portate omogenee (con quantità, descrizione e importo complessivo). Poiché le nostre relazioni hanno una struttura fissa, non è possibile rappresentare l'insieme delle ricevute con un'unica relazione (non sarebbe possibile rappresentare le righe in numero non predeterminato).

Possiamo però rappresentare le relative informazioni per mezzo di due relazioni, come mostrato nella Figura 2.10: la relazione RICEVUTE contiene i dati

STUDENTI

Matr.	Cognome	Nome	Data di nascita
276545	Rossi	Maria	25/11/1981
485745	Neri	Anna	23/04/1982
200768	Verdi	Fabio	12/02/1982
587614	Rossi	Luca	10/10/1981
937653	Bruni	Mario	01/12/1981

LAVORATORI

Matr.
276545
485745
937653

Figura 2.8 Una relazione su un solo attributo

"DA MARIO"		
Ricevuta n. 1357		
del 5/5/08		
3	coperti	6,00
2	antipasti	12,00
3	primi	27,00
2	bistecche	36,00
Totale		81,00

"DA MARIO"		
Ricevuta n. 2334		
del 4/7/08		
2	coperti	4,00
1	antipasti	6,00
2	primi	15,00
2	orate	50,00
2	caffè	3,00
Totale		78,00

"DA MARIO"		
Ricevuta n. 3002		
del 4/8/08		
3	coperti	6,00
2	antipasti	14,00
3	primi	20,00
1	orate	25,00
1	caprese	8,00
2	caffè	3,00
Totale		76,00

Figura 2.9 Alcune ricevute fiscali

presenti una sola volta in ciascuna ricevuta (numero, data e totale) e la relazione DETTAGLIO contiene le varie righe di ciascuna ricevuta (con quantità, descrizione e importo complessivo), associate alla ricevuta stessa tramite il relativo numero.

È opportuno notare che la base di dati nella Figura 2.10 rappresenta correttamente le ricevute solo se sono vere le due condizioni seguenti:

DETTOGLIO			
Num	Q.tà	Descr	Costo
1357	3	coperti	6,00
1357	2	antipasti	12,00
1357	3	primi	27,00
1357	2	bistecche	36,00
2334	2	coperti	4,00
2334	1	antipasti	6,00
2334	2	primi	15,00
2334	2	orate	50,00
2334	2	caffé	3,00
3002	3	coperti	6,00
3002	2	antipasti	14,00
3002	3	primi	20,00
3002	1	orate	25,00
3002	1	caprese	8,00
3002	2	caffé	3,00

RICEVUTE		
Num	Data	Totale
1357	5/5/08	81,00
2334	4/7/08	78,00
3002	4/8/08	76,00

Figura 2.10 Una base di dati per le ricevute fiscali nella Figura 2.9

RICEVUTE

Num	Data	Totale
1357	5/5/08	81,00
2334	4/7/08	78,00
3002	4/8/08	76,00

DETTAGLIO

Num	Riga	Q.tà	Descr	Costo
1357	1	3	coperti	6,00
1357	2	2	antipasti	12,00
1357	3	3	primi	27,00
1357	4	2	bistecche	36,00
2334	1	2	coperti	4,00
2334	2	1	antipasti	6,00
2334	3	2	primi	15,00
2334	4	2	orate	50,00
2334	5	2	caffè	3,00
3002	1	3	coperti	6,00
3002	2	2	antipasti	14,00
3002	3	3	primi	20,00
3002	4	1	orate	25,00
3002	5	1	caprese	8,00
3002	6	2	caffè	3,00

Figura 2.11 Un'altra base di dati per le ricevute fiscali

- non interessa mantenere traccia dell'ordine con cui le righe compaiono in ciascuna ricevuta: infatti, poiché nessun ordinamento è definito fra le tuple di una relazione, le tuple di DETTAGLIO non sono in alcun modo ordinate;
- in una ricevuta non compaiono due righe uguali (il che potrebbe accadere in presenza di ordinazioni diverse relative alle stesse pietanze con le stesse quantità).

Altrimenti, si può risolvere il problema aggiungendo un attributo, che indica la posizione della riga sulla ricevuta (Figura 2.11): in questo modo è sempre possibile ricostruire perfettamente il contenuto di tutte le ricevute. In generale, possiamo dire che la soluzione di Figura 2.10 è da preferirsi quando le informazioni sulla ricevuta interessano solo in quanto tali (e nelle ricevute non vi sono righe ripetute), mentre quella di Figura 2.11 permette di tenere traccia dell'effettiva impaginazione di ciascuna ricevuta. L'esempio ci permette quindi di notare che, anche in una stessa situazione, i dati da rappresentare nella base di dati possono essere diversi a seconda degli specifici obiettivi che ci si prefigge.

2.1.5 Informazione incompleta e valori nulli

La struttura del modello relazionale, come discussa nei paragrafi precedenti, è indubbiamente molto semplice e potente. Al tempo stesso, essa impone però un certo grado di rigidità, in quanto le informazioni devono essere rappresentate per mezzo di tuple di dati omogenee: in particolare, in ogni relazione possiamo rappresentare solo tuple corrispondenti allo schema della relazione stessa. In effetti,

in molti casi, i dati disponibili possono non corrispondere esattamente al formato previsto. Per esempio, in una relazione sullo schema:

PERSONE(Cognome, Nome, Indirizzo, Telefono)

il valore dell'attributo **Telefono** potrebbe non essere disponibile per tutte le tuple. Vale la pena notare che non sarebbe corretto utilizzare un valore del dominio per rappresentare l'assenza di informazione, in quanto si potrebbe in tal modo generare confusione. In questo caso, supponendo i numeri telefonici rappresentati per mezzo di interi, potremmo per esempio utilizzare lo zero per indicare l'assenza di un valore significativo. In generale, però, questa scelta non risulta soddisfacente, per due motivi. In primo luogo, essa richiede l'esistenza di un valore del dominio mai utilizzato per valori significativi: nel caso dei numeri di telefono, lo zero è chiaramente distinguibile, ma in altri casi non esiste un valore disponibile allo scopo; per esempio, in un attributo che rappresenti la data di nascita e che utilizzi come dominio un tipo **Data** correttamente definito, non esistono elementi "non utilizzati" per valori significativi e quindi utilizzabili per denotare assenza di informazione. In secondo luogo, l'uso di valori del dominio può generare confusione: la distinzione fra valori "veri" e valori fintizi è nascosta, e quindi i programmi che accedono alla base di dati devono tenerne conto, distinguendo opportunamente (e tenendo conto di quali sono, in ciascun caso, i valori fintizi).

Per rappresentare in modo semplice, ma al tempo stesso comodo, la non disponibilità di valori, il concetto di relazione viene di solito esteso prevedendo che una tupla possa assumere, su ciascun attributo, o un valore del dominio, come visto finora, oppure un valore speciale, detto *valore nullo*, che denota appunto l'assenza di informazione, ma è un valore aggiuntivo rispetto a quelli del dominio, e ben distinto da essi. Nelle rappresentazioni tabellari, utilizzeremo per il valore nullo il simbolo **NULL**, come nella Figura 2.12. Con riferimento alla tabella in figura, possiamo notare come in effetti i tre valori nulli che compaiono in essa siano dovuti a motivazioni diverse, come segue.

- Firenze è capoluogo di provincia e quindi ha certamente una prefettura. Al momento, non disponiamo del suo indirizzo. Il valore nullo sostituisce un valore ordinario, non noto alla base di dati: per questo diciamo che si tratta di un valore *sconosciuto*.
- Tivoli non è capoluogo di provincia e perciò non ha una prefettura. Quindi l'attributo **IndirizzoPrefettura** non può avere un valore per questa tupla. Il valore

Città	IndirizzoPrefettura
Roma	Via Quattro Novembre
Firenze	NULL
Tivoli	NULL
Olbia-Tempio	NULL

Figura 2.12 Una relazione con valori nulli

nullo denota l'inapplicabilità dell'attributo o l'inesistenza del valore: il valore è *inesistente*.

- La provincia di Olbia-Tempio, nel momento in cui scriviamo, è da poco stata istituita e non sappiamo se la prefettura sia già stata costituita, né conosciamo il suo indirizzo (già operativo o previsto). In sostanza, non sappiamo se il valore esista e, in caso affermativo, non lo conosciamo. Sostanzialmente, ci troviamo in una situazione che corrisponde alla disgiunzione logica (l'“or”) delle due precedenti: il valore è inesistente oppure sconosciuto. Questo tipo di valore nullo viene di solito chiamato *senza informazione*, perché non ci dice assolutamente niente: il valore può esistere o non esistere, e se esiste non sappiamo quale sia.

Nei sistemi di basi di dati relazionali, è di solito prevista una gestione molto semplice, ma tutto sommato efficace, del valore nullo, sul quale non viene fatta alcuna ipotesi e quindi in pratica ci si trova nell'ultimo caso, quello del valore senza informazione.

Per una ulteriore riflessione sui valori nulli, consideriamo la base di dati nella Figura 2.13, che è definita sullo stesso schema della base di dati di Figura 2.6.

Il valore nullo sulla data di nascita nella prima tupla della relazione STUDENTI è tutto sommato ammissibile, perché si può pensare che l'informazione non sia in questo contesto essenziale. Viceversa, un valore nullo sul numero di matricola o sul codice di un corso genera problemi maggiori, in quanto questi valori, come abbiamo discusso con riferimento alla Figura 2.6, sono utilizzati per stabilire correlazioni fra tuple di relazioni diverse. Poi, la presenza di valori nulli nella relazione ESAMI rende addirittura inutilizzabili le informazioni: per esempio, la seconda tupla, con il solo voto e due valori nulli, non fornisce alcuna informazione utile. Infine, la presenza di molteplici valori nulli in una relazione può addirittura generare dubbi sull'effettiva significatività e identità delle tuple: le ultime due tuple della relazione CORSI possono essere diverse o addirittura coincidere! È eviden-

STUDENTI

Matricola	Cognome	Nome	Data di nascita
276545	Rossi	Maria	NULL
NULL	Neri	Anna	23/04/1982
NULL	Verdi	Fabio	12/02/1982

ESAMI

Studente	Voto	Corso
276545	28	01
NULL	27	NULL
200768	24	NULL

CORSI

Codice	Titolo	Docente
01	Analisi	Giani
03	Chimica	NULL
NULL	Chimica	Belli

Figura 2.13 Una base di dati con molti valori nulli

te quindi come sia necessario controllare opportunamente la presenza dei valori nulli nelle nostre relazioni: solo alcune configurazioni devono essere ammesse. In genere, quando si definisce una relazione, è possibile specificare che i nulli sono ammessi solo su alcuni attributi e non su altri. Alla fine del Paragrafo 2.2 vedremo quale possa essere un criterio fondamentale per individuare alcuni attributi su cui è essenziale evitare la presenza di valori nulli.

2.2 Vincoli di integrità

Le strutture del modello relazionale ci permettono di organizzare le informazioni di interesse per le nostre applicazioni. In molti casi, però, non è vero che qualsiasi insieme di tuple sullo schema rappresenti informazioni corrette per l'applicazione. Abbiamo già discusso in breve il problema relativamente alla presenza di valori nulli. Ora, approfondiamo il problema con riferimento anche a relazioni prive di valori nulli. Consideriamo per esempio la base di dati nella Figura 2.14 e notiamo in essa varie situazioni che in pratica non si dovrebbero presentare.

- Nella prima tupla della relazione ESAMI abbiamo un voto pari a 36 che, nel sistema italiano, non è ammissibile, in quanto i voti devono essere compresi fra 0 e 30 (o, con riferimento al superamento dell'esame, fra 18 e 30).

STUDENTI			
Matricola	Cognome	Nome	Data di nascita
200768	Verdi	Fabio	12/02/1982
937653	Rossi	Luca	10/10/1981
937653	Bruni	Mario	01/12/1981

ESAMI			
Studente	Voto	Lode	Corso
200768	36		05
937653	28	lode	01
937653	30	lode	04
276545	25		01

CORSI		
Codice	Titolo	Docente
01	Analisi	Giani
03	Chimica	Melli
04	Chimica	Belli

Figura 2.14 Una base di dati con informazioni scorrette

- Nella seconda tupla ancora della relazione ESAMI viene indicato che è stata attribuita la lode in un esame in cui il voto è 28, il che è impossibile: la lode può essere attribuita solo se il voto è 30.
- Le ultime due tuple della relazione STUDENTI contengono informazioni su due studenti diversi con lo stesso numero di matricola: ancora una situazione impossibile, in quanto il numero di matricola serve appunto a identificare univocamente gli studenti.
- La quarta tupla della relazione ESAMI presenta, per l'attributo Studente, un valore che non compare fra i numeri di matricola nella relazione STUDENTI: anche questa è una situazione indesiderabile, poiché i numeri di matricola ci forniscono informazioni solo come tramite verso le corrispondenti tuple della relazione STUDENTI. Analogamente, la prima tupla presenta un codice di corso che non compare nella relazione CORSI.

In una base di dati, è opportuno evitare situazioni come quelle appena descritte. Allo scopo, è stato introdotto il concetto di *vincolo di integrità*, come proprietà che deve essere soddisfatta dalle istanze che rappresentano informazioni corrette per l'applicazione. Ogni vincolo può essere visto come un *predicato* che associa a ogni istanza il valore *vero* o *falso*. Se il predicato assume il valore *vero* diciamo che l'istanza *soddisfa* il vincolo. In generale, a uno schema di base di dati associamo un insieme di vincoli e consideriamo *corrette* (o *lecite*, o *ammissibili*) le istanze che soddisfano tutti i vincoli. In ciascuno dei quattro casi sopra discussi potrebbe essere introdotto un vincolo che vietи la situazione indesiderata.

È possibile classificare i vincoli a seconda degli elementi di una base di dati che ne sono coinvolti. Distinguiamo due categorie, la prima delle quali ha alcuni casi particolari.

- Un vincolo è *intrarelazionale* se il suo soddisfacimento è definito rispetto a singole relazioni della base di dati; i primi tre casi sopra discussi corrispondono a vincoli intrarelazionali; talvolta, il coinvolgimento riguarda le tuple (o addirittura i valori) separatamente le une dalle altre:
 - un *vincolo di tupla* è un vincolo che può essere valutato su ciascuna tupla indipendentemente dalle altre: i vincoli relativi ai primi due casi rientrano in questa categoria;
 - come caso ancora più specifico, un vincolo definito con riferimento a singoli valori (è il caso del primo esempio, in cui sono ammessi solo valori dell'attributo Voto compresi fra 18 e 30) viene detto *vincolo su valori* o *vincolo di dominio*, in quanto impone una restrizione sul dominio dell'attributo.
- Un vincolo è *interrelazionale* se coinvolge più relazioni; è questo il caso del quarto esempio, in cui la situazione indesiderata può essere vietata richiedendo che un numero di matricola compaia nella relazione ESAMI solo se compare nella relazione STUDENTI.

Nei paragrafi seguenti esamineremo con un certo dettaglio tre classi di vincoli molto importanti:

- una classe interessante di vincoli di tupla;
- i vincoli di chiave, che sono i più importanti vincoli intrarelazionali;
- i vincoli di integrità referenziale, che sono i vincoli interrelazionali di maggiore interesse.

2.2.1 Vincoli di tupla

Come abbiamo detto, i vincoli di tupla esprimono condizioni sui valori di ciascuna tupla, indipendentemente dalle altre tuple.

Una possibile sintassi per esprimere vincoli di questo tipo è quella che permette di definire espressioni booleane (cioè con connettivi AND, OR e NOT) con atomi che confrontano (con gli operatori di uguaglianza, disuguaglianza e ordinamento) valori di attributo o espressioni aritmetiche su valori di attributo. I vincoli violati individuati nei primi due esempi della lista del Paragrafo 2.2 potrebbero essere descritti con le seguenti espressioni:

$$(\text{Voto} \geq 18) \text{ AND } (\text{Voto} \leq 30)$$

$$(\text{NOT } (\text{Lode} = \text{'lode'})) \text{ OR } (\text{Voto} = 30)$$

In particolare, il secondo vincolo indica che è ammesso la lode solo se il voto è pari a 30 (dicendo che o non c'è la lode, oppure il voto è pari a 30). Il primo vincolo è in effetti un vincolo di dominio in quanto coinvolge un solo attributo.

La definizione che abbiamo dato ammette anche espressioni più complesse, purché definite sui valori delle singole tuple. Per esempio, su una relazione sullo schema:

$$\text{PAGAMENTI}(\text{Data}, \text{Importo}, \text{Ritenute}, \text{Netto})$$

è possibile definire il vincolo che impone, come naturale, che il netto sia pari alla differenza fra l'importo originario e le ritenute, nel modo seguente:

$$\text{Netto} = \text{Importo} - \text{Ritenute}$$

2.2.2 Chiavi

In questo paragrafo discutiamo i vincoli di chiave, che sono senz'altro i più importanti del modello relazionale; potremmo addirittura affermare che senza di essi il modello stesso non avrebbe senso. Cominciamo con un esempio. Nella relazione della Figura 2.15 possiamo notare che i valori delle varie tuple sull'attributo Matricola sono tutti diversi l'uno dall'altro: come già notato più volte, ribadiamo che il valore della matricola *identifica univocamente* gli studenti; a suo tempo il concetto stesso di numero di matricola fu introdotto nelle università proprio per avere uno strumento semplice ed efficace per far riferimento agli studenti in modo non ambiguo. Analogamente, possiamo notare che nella relazione non vi sono coppie di tuple con gli stessi valori su ciascuno dei tre attributi Cognome, Nome

Matricola	Cognome	Nome	Nascita	Corso
4328	Rossi	Luigi	29/04/84	Ing. Informatica
6328	Rossi	Dario	29/04/84	Ing. Informatica
4766	Rossi	Luca	01/05/86	Ing. Civile
4856	Neri	Luca	01/05/86	Ing. Meccanica
5536	Neri	Luca	05/03/83	Ing. Meccanica

Figura 2.15 Una relazione per la discussione delle chiavi

e Nascita: anche i dati anagrafici identificano univocamente le persone.⁴ Anche altri insiemi di attributi identificano univocamente le tuple della relazione nella Figura 2.15: per esempio, Matricola e Corso, come è in effetti ovvio, visto che Matricola è da solo sufficiente.

Intuitivamente, una chiave è un insieme di attributi utilizzato per identificare univocamente le tuple di una relazione. Per formalizzare la definizione, procediamo in due passi:

- un insieme K di attributi è *superchiave* di una relazione r se r non contiene due tuple distinte t_1 e t_2 con $t_1[K] = t_2[K]$;
- K è *chiave* di r se è una superchiave minimale di r (cioè non esiste un'altra superchiave K' di r che sia contenuta in K come sottoinsieme proprio).

Nell'esempio:

- l'insieme {Matricola} è superchiave; è anche una superchiave minimale, in quanto contiene un solo attributo (l'insieme vuoto non è in grado di identificare tuple), quindi {Matricola} è una chiave;
- l'insieme {Cognome, Nome, Nascita} è superchiave; inoltre, nessuno dei suoi sottoinsiemi è superchiave: infatti esistono due tuple (la prima e la seconda) uguali su Cognome e Nascita, due (le ultime) uguali su Cognome e Nome e due (la terza e la quarta) uguali su Nome e Nascita; quindi {Cognome, Nome, Nascita} è un'altra chiave;
- l'insieme {Matricola, Corso} è superchiave, come già discusso, ma non è una superchiave minimale, perché esiste un suo sottoinsieme proprio, {Matricola}, esso stesso superchiave minimale e quindi {Matricola, Corso} non è una chiave;
- l'insieme {Nome, Corso} non è superchiave, perché nella relazione compaiono due tuple, le ultime due, fra loro uguali sia su Nome sia su Corso.

Per approfondire la discussione, esaminiamo un'altra relazione, quella nella Figura 2.16. Essa non contiene tuple fra loro uguali sia su Cognome sia su Corso.

⁴Per non appesantire l'esempio, assumiamo qui che cognome, nome e data di nascita siano sufficienti a identificare univocamente le persone, il che in generale non è vero.

Matricola	Cognome	Nome	Nascita	Corso
6328	Rossi	Dario	29/04/84	Ing. Informatica
4766	Rossi	Luca	01/05/86	Ing. Civile
4856	Neri	Luca	01/05/86	Ing. Meccanica
5536	Neri	Luca	05/03/83	Ing. Civile

Figura 2.16 Un'altra relazione per la discussione delle chiavi

Quindi, per questa relazione, l'insieme {Cognome, Corso} è superchiave. Poiché vi sono tuple uguali su Cognome (le prime due) e su Corso (la seconda e la quarta), tale insieme è superchiave minimale e cioè chiave. Ora, in questa relazione, Cognome e Corso identificano univocamente le tuple; ma possiamo dire che questo è vero in generale? Certamente no, in quanto possono benissimo esistere studenti con uguale cognome iscritti allo stesso corso di studio.

In un certo senso, possiamo quindi dire che {Cognome, Corso} è “casualmente” una chiave per la relazione nella Figura 2.16, mentre a noi interessano le chiavi corrispondenti a vincoli di integrità, soddisfatti da tutte le relazioni lecite su un certo schema. In effetti, definendo uno schema, noi associamo a esso i vincoli di interesse, corrispondenti a proprietà del mondo reale le cui informazioni vengono rappresentate per mezzo della nostra base di dati. I vincoli sono cioè definiti a livello di schema, con riferimento a tutte le istanze: consideriamo corrette solo le istanze che soddisfano tutti i vincoli. Un'istanza corretta può poi soddisfare altri vincoli oltre a quelli definiti sullo schema. Per esempio, a uno schema:

STUDENTI(Matricola,Cognome,Nome,Nascita,Corso)

vanno associati i vincoli che impongono come chiavi i due insiemi di attributi sopra discussi:

{Matricola}
 {Cognome, Nome, Nascita}

Entrambe le relazioni nelle Figure 2.15 e 2.16 soddisfano tutti e due i vincoli; la seconda soddisfa anche (“per caso,” come abbiamo detto) il vincolo secondo cui {Cognome, Corso} è un’altra chiave.

Possiamo ora fare alcune riflessioni sul concetto di chiave, che giustificano l’importanza a esso attribuita. In primo luogo, possiamo notare come ciascuna relazione e ciascuno schema di relazione abbiano sempre una chiave. Una relazione è un insieme, quindi, come più volte ribadito, è costituita di elementi fra loro diversi; di conseguenza, per ogni relazione $r(X)$, l’insieme X di tutti gli attributi su cui è definita è senz’altro una superchiave per essa. Ora, i casi sono due: o tale insieme è anche chiave, nel qual caso confermiamo l’esistenza della chiave stessa, oppure non è chiave, perché esiste un’altra superchiave in esso contenuta; allora possiamo procedere ricorsivamente, ripetendo il ragionamento su quest’ultimo insieme, e così via; poiché l’insieme di attributi su cui è definita una relazione è

finito, il processo termina in un numero finito di passi con una superchiave minima. Quindi, possiamo affermare con certezza che ogni relazione ha una chiave. Lo stesso ragionamento può essere svolto a livello di schema di relazione: l'insieme di tutti gli attributi è superchiave per ciascuna relazione, quindi lo è per ciascuna relazione lecita; la ricerca di superchiavi minimali procede poi come sopra.

Il fatto che su ciascuno schema di relazione possa essere definita almeno una chiave garantisce l'accessibilità a tutti i valori di una base di dati e la loro univoca identificabilità. Inoltre, permette di stabilire efficacemente quelle corrispondenze fra dati contenuti in relazioni diverse che caratterizzano il modello relazionale come "modello basato su valori." Riconsideriamo l'esempio nella Figura 2.6. Nella relazione ESAMI, si fa riferimento agli studenti attraverso i numeri di matricola e ai corsi attraverso i relativi codici: in effetti, **Matricola** è la chiave della relazione STUDENTI e **Codice** è la chiave della relazione CORSI. I valori attraverso cui vengono stabilite le corrispondenze fra tuple di relazioni diverse sono valori delle chiavi delle relazioni cui si fa riferimento dall'esterno.

2.2.3 Chiavi e valori nulli

Possiamo ora riprendere il discorso avviato alla fine del Paragrafo 2.1.5 sulla necessità di evitare la proliferazione di valori nulli nelle nostre relazioni. In particolare, notiamo che in presenza di valori nulli non è più vero che, come abbiamo invece affermato più volte, i valori delle chiavi permettono di identificare univocamente le tuple delle relazioni e di stabilire riferimenti fra tuple di relazioni diverse. Esaminando allo scopo la relazione nella Figura 2.17, definita sullo stesso schema della relazione nella Figura 2.16 (quindi con due chiavi, una composta dal solo attributo Matricola e l'altra dagli attributi Cognome, Nome e Nascita), notiamo problemi di due tipi. La prima tupla ha valori nulli su Matricola e Nascita e perciò su almeno un attributo di ciascuna chiave: questa tupla non è identificabile in alcun modo; se vogliamo inserire nella base di dati un'altra tupla relativa a uno studente di nome Mario Rossi, non possiamo sapere se ci stiamo in effetti riferendo allo stesso studente oppure a un altro. Inoltre, non è possibile, in altre relazioni della base di dati, fare riferimento a questa tupla, visto che ciò andrebbe fatto attraverso il valore di una chiave. Anche le ultime due tuple nella figura presentano un problema: nonostante ciascuna abbia una chiave completamente specificata

Matricola	Cognome	Nome	Nascita	Corso
NULL	Rossi	Mario	NULL	Ing. Informatica
4766	Rossi	Luca	01/05/86	Ing. Civile
4856	Neri	Luca	NULL	NULL
NULL	Neri	Luca	05/03/83	Ing. Civile

Figura 2.17 Una relazione con valori nulli su tutte le chiavi

Matricola	Cognome	Nome	Nascita	Corso
3976	Rossi	Mario	NULL	Ing. Informatica
4766	Rossi	Luca	01/05/86	Ing. Civile
4856	Neri	Luca	NULL	NULL
5591	Neri	Luca	05/03/83	Ing. Civile

Figura 2.18 Una relazione con chiave primaria

(grazie al valore su **Matricola** nella terza tupla e ai valori su **Cognome**, **Nome** e **Nascita** nell'ultima), la presenza di valori nulli rende impossibile capire se le due tuple facciano riferimento allo stesso studente Luca Neri oppure a due studenti omonimi.

L'esempio ci suggerisce quindi la necessità di porre dei limiti alla presenza di valori nulli nelle chiavi delle relazioni. In pratica, si adotta una soluzione semplice, che permette di garantire l'identificazione univoca di tutte le tuple e la possibilità di far riferimento a esse da parte di altre relazioni: su una delle chiavi (detta la *chiave primaria*) si vieta la presenza di valori nulli; sulle altre, i valori nulli sono in genere (salvo necessità specifiche) ammessi. Gli attributi che costituiscono la chiave primaria vengono spesso evidenziati attraverso la sottolineatura, come mostrato nella Figura 2.18 con la sottolineatura dell'attributo **Matricola**. La maggior parte dei riferimenti tra relazioni vengono realizzati attraverso i valori della chiave primaria.

È opportuno notare che in quasi tutti i casi reali è possibile trovare attributi i cui valori sono identificanti e sempre disponibili. Quando ciò non accada, è necessario introdurre un attributo aggiuntivo, un codice, probabilmente non significativo dal punto di vista dell'applicazione, che viene in qualche modo generato e attribuito a ciascuna tupla all'atto dell'inserimento. Tra l'altro, si può dire che molti codici identificativi (quali per esempio il numero di matricola, il codice fiscale, il numero di targa) siano stati introdotti in passato, prima dell'invenzione o della diffusione delle basi di dati, proprio per garantire l'identificazione univoca dei soggetti di un dominio (rispettivamente gli studenti, i contribuenti, le automobili) e per favorire il riferimento a essi: esattamente gli obiettivi delle chiavi.

2.2.4 Vincoli di integrità referenziale

Per discutere la più importante classe di vincoli interrelazionali, consideriamo la base di dati in Figura 2.19. In essa, la prima relazione contiene informazioni relative a un insieme di infrazioni al codice della strada, la seconda agli agenti di polizia che le hanno rilevate e la terza a un insieme di autoveicoli.⁵ Le informazioni della relazione INFRAZIONI sono rese significative e complete attraverso il

⁵ Utilizziamo la vecchia struttura delle targhe automobilistiche, con la sigla della provincia, perché ci permette di svolgere considerazioni interessanti sulle chiavi composte da più attributi.

INFRAZIONI	<u>Codice</u>	<u>Data</u>	<u>Agente</u>	<u>Articolo</u>	<u>Prov</u>	<u>Numero</u>
	143256	25/10/08	567	44	RM	4E5432
	987554	26/10/08	456	34	RM	4E5432
	987557	26/10/08	456	34	RM	2F7643
	630876	15/10/08	456	53	MI	2F7643
	539856	12/10/08	567	44	MI	2F7643
AGENTI	<u>Matricola</u>	<u>CF</u>	<u>Cognome</u>	<u>Nome</u>		
	567	RSSM...	Rossi	Mario		
	456	NREL...	Neri	Luigi		
	638	NREP...	Neri	Piero		
AUTO	<u>Prov</u>	<u>Numero</u>	<u>Proprietario</u>	<u>Indirizzo</u>		
	RM	2F7643	Verdi Piero	Via Tigli		
	RM	1A2396	Verdi Piero	Via Tigli		
	RM	4E5432	Bini Luca	Via Aceri		
	MI	2F7643	Luci Gino	Via Aceri		

Figura 2.19 Una base di dati con vincoli di integrità referenziale

riferimento alle altre due relazioni: alla relazione AGENTI, per il tramite dell'attributo Agente, che contiene numeri di matricola di agenti corrispondenti alla chiave primaria della relazione AGENTI, e alla relazione AUTO, per mezzo degli attributi Prov e Numero, che contengono valori degli omonimi attributi che formano la chiave primaria della relazione AUTO. I riferimenti sono significativi in quanto i valori nella relazione INFRAZIONI sono uguali a valori effettivamente presenti nelle altre due: se un valore di Agente in INFRAZIONI non compare come valore della chiave di AGENTI, allora il riferimento non è efficace. Nell'esempio, tutti i riferimenti sono in effetti utilizzabili.

Un *vincolo di integrità referenziale* (chiamato nella letteratura in inglese *foreign key* o *referential integrity constraint*) fra un insieme di attributi X di una relazione R_1 e un'altra relazione R_2 è soddisfatto se i valori su X di ciascuna tupla dell'istanza di R_1 compaiono come valori della chiave (primaria) dell'istanza di R_2 . La definizione precisa richiede un po' di attenzione, in particolare nel caso in cui la chiave della relazione riferita sia composta di più attributi e nel caso in cui vi siano più chiavi. Procediamo gradualmente, vedendo prima il caso in cui la chiave di R_2 è unica e composta di un solo attributo B (e quindi l'insieme X è a sua volta costituito da un solo attributo A): allora, il vincolo di integrità referenziale fra l'attributo A di R_1 e la relazione R_2 è soddisfatto se, per ogni tupla t_1 in R_1 per cui $t_1[A]$ non è nullo, esiste una tupla t_2 in R_2 tale che $t_1[A] = t_2[B]$. Nel caso più generale, dobbiamo fare attenzione al fatto che ciascuno degli attributi in X deve corrispondere a un preciso attributo della chiave primaria K di R_2 . Allo

scopo, è necessario specificare un ordinamento sia nell'insieme X sia in K . Indicando gli attributi in ordine, $X = A_1A_2\dots A_p$ e $K = B_1B_2\dots B_p$, il vincolo è soddisfatto se per ogni tupla t_1 in R_1 senza nulli su X esiste una tupla t_2 in R_2 con $t_1[A_i] = t_2[B_i]$, per ogni i compreso fra 1 e p .

Sullo schema della base di dati nella Figura 2.19 ha senso definire i vincoli di integrità referenziale:

- fra l'attributo **Agente** della relazione INFRAZIONI e la relazione AGENTI;
- fra gli attributi **Prov** e **Numero** di INFRAZIONI e la relazione AUTO, in cui l'ordine degli attributi nella chiave preveda prima **Prov** e poi **Numero**.

La base di dati nella Figura 2.19 soddisfa entrambi i vincoli, mentre la base di dati nella Figura 2.20 li viola entrambi: il primo perché AGENTI non contiene nessuna tupla con valore di **Matricola** pari a 456, e il secondo perché AUTO non contiene nessuna tupla con valore 'RM' su **Prov** e '2F7643' su **Numero** (notiamo che esistono una tupla con valore 'RM' su **Prov** e un'altra con valore '2F7643' su **Numero**, ma questo non è sufficiente, perché è richiesto che ci sia una tupla con entrambi i valori: solo in questo modo, infatti, i due valori possono far riferimento a una tupla della relazione AUTO).

Relativamente al secondo vincolo, notiamo come il ragionamento sull'ordine degli attributi possa apparire pesante, visto che la corrispondenza può, almeno in questo caso, essere realizzata per mezzo dei nomi degli attributi stessi. In generale, però, questo può non accadere, quindi l'ordinamento è essenziale. Consideriamo per esempio una base di dati contenente informazioni sui veicoli coinvolti in incidenti stradali. In particolare, supponiamo di voler includere in una relazione,

INFRAZIONI	Codice	Data	Agente	Articolo	Prov	Numero
	987554	26/10/08	456	34	RM	2F7643
	630876	15/10/08	456	53	FI	4E5432

AGENTI	Matricola	CF	Cognome	Nome
	567	RSSM...	Rossi	Mario
	638	NREP...	Neri	Piero

AUTO	Prov	Numero	Proprietario	Indirizzo
	RM	1A2396	Verdi Piero	Via Tigli
	FI	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
	MI	2F7643	Luci Gino	Via Noci

Figura 2.20 Una base di dati che viola vincoli di integrità referenziale

INCIDENTI	<u>Codice</u>	Prov1	Numero1	Prov2	Numero2	...
	6207	RM	2F7643	FI	T39275	...
	6974	FI	4E5432	FI	T39275	...

AUTO	<u>Prov</u>	<u>Numero</u>	<u>Proprietario</u>	<u>Indirizzo</u>
	RM	1A2396	Verdi Piero	Via Tigli
	FI	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
	FI	T39275	Bitti Piero	Via Pini
	RM	2F7643	Luci Gino	Via Noci

Figura 2.21 Una base di dati con due vincoli di integrità referenziale simili

insieme ad altre informazioni, i numeri di targa dei due veicoli coinvolti.⁶ Ovviamen-
te, dovremo avere due coppie di attributi, che non potranno avere gli stessi
nomi. Per esempio, lo schema potrebbe essere:

INCIDENTI(Codice, Prov1, Numero1, Prov2, Numero2, ...)

In questo caso, non sarà ovviamente possibile stabilire la corrispondenza nel vin-
colo di integrità referenziale verso la relazione AUTO per mezzo dei nomi degli
attributi, in quanto essi sono diversi da quelli della chiave primaria di AUTO. Solo
attraverso l'ordinamento diventa possibile specificare che il riferimento associa
Prov1 (attributo di INCIDENTI) a Prov (attributo nella chiave di AUTO) e Num-
ero1 a Numero e, analogamente, Prov2 a Prov e Numero2 a Numero. La base di
dati in Figura 2.21 soddisfa i due vincoli in questione, mentre quella in Figura 2.22
soddisfa quello relativo a Prov1 e Numero1 e viola l'altro, perché nella relazione
AUTO non c'è nessun veicolo targato FI T39275.

INCIDENTI	<u>Codice</u>	Prov1	Numero1	Prov2	Numero2	...
	6207	RM	2F7643	FI	T39275	...
	6974	FI	4E5432	FI	T39275	...

AUTO	<u>Prov</u>	<u>Numero</u>	<u>Proprietario</u>	<u>Indirizzo</u>
	RM	1A2396	Verdi Piero	Via Tigli
	FI	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
	RM	2F7643	Luci Gino	Via Noci

Figura 2.22 Una base di dati che viola un vincolo di integrità referenziale

⁶Supponiamo per semplicità che i veicoli coinvolti siano solo due.

Un'ultima considerazione può essere utile riguardo a relazioni con più chiavi. In questo caso, come abbiamo detto, è opportuno che una delle chiavi sia evidenziata come primaria, ed è ragionevole che i riferimenti siano diretti verso di essa: per questo motivo, nella specifica dei vincoli di integrità referenziale, abbiamo potuto omettere la citazione esplicita degli attributi che compongono la chiave primaria. Peraltro, va notato che non tutti i sistemi di gestione di basi di dati oggi sul mercato permettono di indicare esplicitamente la chiave primaria: alcuni permettono anche di specificare più chiavi, ma non di evidenziarne una come primaria. In questi casi, il vincolo di integrità referenziale deve indicare esplicitamente gli attributi che compongono la chiave cui si fa riferimento. Per esempio, consideriamo una base di dati sullo schema

IMPIEGATI(Matricola,Cognome,Nome,Dipartimento)
DIPARTIMENTI(Codice,Nome,Sede)

in cui la relazione DIPARTIMENTI sia identificata dall'attributo Codice e, separatamente, dall'attributo Nome (non esistono due dipartimenti con lo stesso codice e non esistono due dipartimenti con lo stesso nome). Metodologicamente, abbiamo detto che è opportuno che una delle due chiavi, per esempio Codice, sia individuata come primaria e utilizzata per stabilire i riferimenti. Se però il sistema non prevede il concetto di chiave primaria, il vincolo deve essere espresso indicando esplicitamente gli attributi; dovremo quindi dire che esiste un vincolo di integrità referenziale fra l'attributo Dipartimento della relazione IMPIEGATI e la chiave Codice della relazione DIPARTIMENTI.

Questo è il motivo per cui, come vedremo nel Capitolo 4, nei sistemi relazionali è prevista una specifica più articolata per i vincoli di integrità referenziale.

2.3 Conclusioni

Abbiamo visto in questo capitolo la definizione delle strutture e dei vincoli del modello relazionale. Abbiamo in primo luogo discusso il concetto di relazione, con gli adattamenti necessari per meglio sfruttare i concetti della teoria degli insiemi nel contesto delle basi di dati. Poi, abbiamo mostrato come le relazioni possano essere utilizzate per organizzare insiemi di dati anche complessi, utilizzando i dati stessi per realizzare riferimenti fra le diverse componenti (senza alcun utilizzo di puntatori esplicativi). Quindi, dopo aver brevemente accennato alla necessità di utilizzare valori nulli per denotare l'assenza di informazioni, abbiamo discusso il concetto di vincolo di integrità, attraverso tre classi fondamentali: i vincoli di tupla, le chiavi e i vincoli di integrità referenziale.

Nei prossimi capitoli completeremo la presentazione del modello relazionale da due punti di vista:

- nel Capitolo 3 illustreremo i principi su cui si basano le operazioni di interrogazione di una base di dati;

- nel Capitolo 4 mostreremo come tutti i concetti, quelli relativi alle strutture e ai vincoli, discussi in questo capitolo, e quelli relativi alle operazioni (Capitolo 3), siano effettivamente realizzati nei DBMS reali, attraverso il linguaggio SQL, la cui presentazione sarà poi approfondita nei Capitoli 5 e 6.

Note bibliografiche

Presentazioni del modello relazionale analoghe a quella di questo capitolo sono reperibili su tutti i moderni testi sulle basi di dati, a cominciare da quelli di Elmasri e Navathe [32], Silberschatz, Korth e Sudarshan [59] e Ramakrishnan e Gehrke [54], nonché quello di Garcia-Molina, Ullman, e Widom [36]. Formalizzazioni ulteriori e approfondimenti teorici (molto più dettagliati di quelli che presenteremo nei prossimi capitoli) si trovano nei libri di teoria delle basi di dati, in italiano quello di Atzeni, Batini e De Antonellis [4] e in inglese quelli di Ullman [67], Maier [44], Atzeni e De Antonellis [6], Abiteboul, Hull e Vianu [1]. Può essere interessante consultare l'articolo di Codd [24] che contiene la proposta originaria del modello, per constatarne tuttora l'attualità.

Soluzioni sul sito <http://www.ateneonline.it/atzeni>

Esercizi

- 2.1 Considerare le informazioni per la gestione dei prestiti di una biblioteca personale. Il proprietario presta libri ai propri amici, che indica semplicemente attraverso i rispettivi nomi o soprannomi (così da evitare omonimie) e fa riferimento ai libri attraverso i titoli (non possiede due libri con lo stesso titolo). Quando presta un libro, prende nota della data prevista di restituzione. Definire uno schema di relazione per rappresentare queste informazioni, individuando opportuni domini per i vari attributi e mostrarne un'istanza in forma tabellare. Indicare la chiave (o le chiavi) della relazione.
- 2.2 Rappresentare per mezzo di una o più relazioni le informazioni contenute nell'orario delle partenze da una stazione ferroviaria: numero, orario, destinazione finale, categoria, fermate intermedie, di tutti i treni in partenza.
- 2.3 Definire uno schema di base di dati per organizzare le informazioni di un'azienda che ha impiegati (ognuno con codice fiscale, cognome, nome e data di nascita), filiali (con codice, sede e direttore, che è un impiegato). Ogni impiegato lavora presso una filiale. Indicare le chiavi e i vincoli di integrità referenziale dello schema. Mostrare un'istanza della base di dati e verificare che soddisfi i vincoli.
- 2.4 Un albero genealogico rappresenta, in forma grafica, la struttura di una famiglia (o più famiglie, quando è ben articolato). Mostrare come si possa rappresentare, in una base di dati relazionale, un albero genealogico, cominciando eventualmente da una struttura semplificata, in cui si rappresentano solo le discendenze in linea maschile (cioè i figli vengono rappresentati solo per i componenti di sesso maschile) oppure solo quelle in linea femminile.

PAZIENTI

Cod.	Cognome	Nome
A102	Necchi	Luca
B372	Rossini	Piero
B543	Missoni	Nadia
B444	Missoni	Luigi
S555	Rossetti	Gino

RICOVERI

Paz.	Inizio	Fine	Rep.
A102	2/05/94	9/05/94	A
A102	2/12/94	2/01/95	A
S555	5/10/94	3/12/94	B
B444	1/12/94	2/01/95	B
S555	5/10/94	1/11/94	A

MEDICI

Matr.	Cogn.	Nome	Rep.
203	Neri	Piero	A
574	Bisi	Mario	B
461	Bargio	Sergio	B
530	Belli	Nicola	C
405	Mizzi	Nicola	A
501	Monti	Mario	A

REPARTI

Cod.	Nome	Primario
A	Chirurgia	203
B	Pediatria	574
C	Medicina	530

Figura 2.23 Una base di dati per l'Esercizio 2.6 e 2.7

- 2.5 Per ciascuno degli Esercizi 2.1-2.4, valutare le eventuali esigenze di rappresentazione di valori nulli, con i benefici e le difficoltà connesse.
- 2.6 Descrivere in linguaggio naturale le informazioni organizzate nella base di dati in Figura 2.23.
- 2.7 Individuare le chiavi e i vincoli di integrità referenziale che sussistono nella base di dati di Figura 2.23 e che è ragionevole assumere siano soddisfatti da tutte le basi di dati sullo stesso schema. Individuare anche gli attributi sui quali possa essere sensato ammettere valori nulli.
- 2.8 Definire uno schema di base di dati che organizzi i dati necessari a generare la pagina dei programmi radiofonici di un quotidiano, con stazioni, ore e titoli dei programmi; per ogni stazione sono memorizzati, oltre al nome, anche la frequenza di trasmissione e la sede.
- 2.9 Indicare quali tra le seguenti affermazioni sono vere in una definizione rigorosa del modello relazionale:
1. ogni relazione ha almeno una chiave;
 2. ogni relazione ha esattamente una chiave;
 3. ogni attributo appartiene al massimo a una chiave;
 4. possono esistere attributi che non appartengono a nessuna chiave;
 5. una chiave può essere sottoinsieme di un'altra chiave;
 6. può esistere una chiave che coinvolge tutti gli attributi;
 7. può succedere che esistano più chiavi e che una di esse coinvolga tutti gli attributi;
 8. ogni relazione ha almeno una superchiave;
 9. ogni relazione ha esattamente una superchiave;
 10. può succedere che esistano più superchiavi e che una di esse coinvolga tutti gli attributi.

IMPIEGATI

Matricola	Cognome	Nome	Età
101	Rossi	Mario	35
102	Rossi	Anna	42
103	Gialli	Mario	34
104	Neri	Gino	45

PROGETTI

ID	Titolo	Costo
A	Luna	70
B	Marte	60
C	Giove	90

PARTECIPAZIONE

Impiegato	Progetto
101	A
101	B
103	A
102	B

Figura 2.24 Una base di dati per l'Esercizio 2.10

2.10 Considerare la base di dati relazionale in Figura 2.24, relativa a impiegati, progetti e partecipazioni di impiegati a progetti.

Indicare quali possano essere, per questa base di dati, ragionevoli chiavi primarie e vincoli di integrità referenziale. Giustificare brevemente la risposta, con riferimento alla realtà di interesse (cioè perché si può immaginare che tali vincoli sussistano) e all'istanza mostrata (verificando che sono soddisfatti).

2.11 Si supponga di voler rappresentare in una base di dati relazionale le informazioni relative al calendario d'esami di una facoltà universitaria, che vengono pubblicate con avvisi con la struttura mostrata in Figura 2.25. Mostrare gli schemi delle relazioni da utilizzare (con attributi e vincoli di chiave e di integrità referenziale) e l'istanza corrispondente ai dati sopra mostrati.

2.12 Si considerino le seguenti relazioni utilizzate per tenere traccia degli studenti di un'università, dei loro esami superati e verbalizzati attraverso gli esoneri e dei loro esami superati e verbalizzati attraverso i comuni appelli.

Calendario esami

Codice	Titolo	Prof	Appello	Data
1	Fisica	Neri	1	01/06/2006
			2	05/07/2006
			3	04/09/2006
			4	30/09/2006
2	Chimica	Rossi	1	06/06/2006
			2	05/07/2006
3	Algebra	Bruni		da definire

Figura 2.25 Un avviso con il calendario d'esami (Esercizio 2.11)

- ESAMIESONERI(Studente, Materia, VotoEson1, VotoEson2, VotoFinale)
- ESAMIAPPELLI(Studente, Materia, Voto)
- STUDENTI(Matricola, Nome, Cognome)

Indicare i vincoli di integrità che è ragionevole pensare debbano essere soddisfatti da tutte le basi di dati definite su questo schema.

Sicché le basi di dati vengono utilizzate per rappresentare le informazioni disponibili per gli studenti che frequentano la facoltà e per le specifiche domande dei docenti (di inserimento e cancellazione di dati, cioè con le stesse azioni con le quali una compagnia gestisce i dati di tutti i suoi clienti) e non solo per fornire dati esatti. Un esempio chiaro è quello della funzione che associa un insieme di dati (una base di dati) a una base di dati sullo stesso schema. Un'altra funzione, invece, è quella che associa dati di base di dati di tipo diversi, precisamente dati relativi a studi. Questi, infatti, sono dati che riguardano le loro carriere e soprattutto, che consentono agli esperti di raccomandare scelte di studio al sistema di apprendimento. Quindi si tratta di dati in particolare, relativi alla scuola, che vengono inseriti nel database, per poi essere considerati come dati relativi alle persone che frequentano la scuola di apprendimento.

Ovvero quando escludiamo i dati relativi alla scuola di apprendimento, siamo di fatto di fronte ad un insieme di dati relativi a studi che riguardano i risultati delle persone che frequentano la scuola di apprendimento. In questo caso il problema da risolvere per ottimizzare la scuola di apprendimento è sia quello di leggere come il modo migliore di espressione di una scuola di apprendimento. Anche se non è sempre così, siamo in grado di fare confronti con i risultati di altre scuole di apprendimento, che hanno un loro criterio di valutazione dei risultati, secondo le quali possono essere definite relazioni fra i dati. Alcune scuole di apprendimento usano

per presentarne gli studenti il criterio di classe, altri preferiscono usare la media, altri ancora usano le rappresentazioni di dati in propri modelli. Per questo è possibile una scuola di apprendimento, e questa è la sua grande differenza da un'altra scuola di apprendimento, che cerca di sommare allo stesso criterio di valutazione dei risultati, ma con un criterio di valutazione del risultato diverso. E' infatti questo criterio di valutazione che determina le classificazioni degli studenti, e quindi il loro successo o meno. E' questo criterio di valutazione che determina anche la possibilità di accedere a certi corsi, come ad esempio la laurea in medicina. Per esempio, la laurea in medicina richiede una media di 180 punti, mentre la laurea in architettura richiede 160 punti. Vedremo come queste differenze si spieghino nei due casi, e come queste differenze possano essere utilizzate per migliorare il funzionamento della scuola di apprendimento.

Algebra e calcolo relazionale

Poiché le basi di dati vengono utilizzate per rappresentare le informazioni di interesse per applicazioni che gestiscono dati, è evidente che i linguaggi per la specifica delle operazioni (di interrogazione e aggiornamento) sui dati stessi costituiscono a loro volta una componente essenziale delle basi di dati e quindi di ciascun modello dei dati. Un aggiornamento può essere visto come una funzione che, data un'istanza di base di dati, produce un'altra istanza di base di dati, sullo stesso schema. Un'interrogazione, invece, è essenzialmente una funzione che, data un'istanza di base di dati, produce una relazione, su un dato schema. Quindi, esistono aspetti comuni a interrogazioni e aggiornamenti, che consistono nell'esigenza di esprimere funzioni definite sull'insieme delle istanze di una base di dati. In particolare, risulta utile studiare i fondamenti dei linguaggi di interrogazione, per poi vedere come i concetti stessi sono realizzati in pratica nei sistemi relazionali e introdurre infine le operazioni di aggiornamento, che mutuano alcuni concetti delle operazioni di interrogazione.

Questo capitolo è appunto dedicato alla presentazione di linguaggi che, pur essendo diversi da quelli utilizzati dagli utenti nei sistemi, permettono però di esaminare varie questioni interessanti. In particolare, dedicheremo dapprima molto spazio all'algebra relazionale, un linguaggio *procedurale* (in cui cioè le operazioni complesse vengono specificate descrivendo il procedimento da seguire per ottenere la soluzione), illustrando i vari operatori, le espressioni e il modo in cui le espressioni possano essere trasformate per migliorarne l'efficienza. Accenneremo brevemente, sempre con riferimento all'algebra, a due argomenti: l'influenza che i valori nulli hanno sui linguaggi di interrogazione e le modalità secondo le quali possono essere definite relazioni virtuali (dette anche *viste*), non memorizzate nella base di dati.

Poi, presenteremo più sinteticamente il calcolo relazionale, che è viceversa un linguaggio *dichiarativo*, in cui le espressioni descrivono le proprietà del risultato, piuttosto che la procedura per ottenerlo. Questo linguaggio è basato sul calcolo dei predicati del primo ordine e ne presenteremo due versioni, la prima derivata direttamente dal calcolo dei predicati e la seconda che cerca di superare alcune limitazioni della prima. Concluderemo il capitolo con la breve trattazione del linguaggio Datalog, un interessante contributo della ricerca recente, che permette di formulare interrogazioni non esprimibili negli altri linguaggi. I paragrafi relativi al calcolo e al Datalog possono essere tralasciati senza alcun pregiudizio per la comprensione dei capitoli successivi del testo.

Nel Capitolo 4, dedicato all'SQL, vedremo come, dal punto di vista pratico, possa risultare utile combinare gli aspetti dichiarativi del calcolo e quelli procedurali dell'algebra. Vedremo anche come, in pratica, le operazioni di aggiornamento utilizzino gli stessi principi di quelle di interrogazione.

3.1 Algebra relazionale

Come abbiamo detto, l'algebra relazionale è un linguaggio procedurale, basato su concetti di tipo algebrico. Sostanzialmente, esso è costituito da un insieme di operatori, definiti su relazioni e che producono ancora relazioni come risultati. In questo modo, è possibile costruire espressioni che coinvolgono più operatori, allo scopo di formulare interrogazioni anche complesse. Esaminiamo nei prossimi paragrafi i vari operatori:

- prima quelli insiemistici tradizionali, *unione*, *intersezione*, *differenza*, che, con piccole avvertenze, possono essere definiti anche sulle relazioni;
- poi quelli più specifici, *ridenominazione*, *selezione*, *proiezione*;
- infine il più importante, quello di *join*, in varie forme, *join naturale*, *prodotto cartesiano* e *theta-join*.

3.1.1 Unione, intersezione, differenza

Per iniziare, notiamo che le relazioni sono insiemi, e quindi ha senso definire su di esse gli operatori insiemistici tradizionali di unione, differenza e intersezione (peraltro quest'ultima esprimibile per mezzo della differenza, in quanto è sempre vero che $r \cap s = r - (r - s)$). Però, dobbiamo prestare attenzione al fatto che una relazione non è genericamente un insieme di tuple, ma un insieme di tuple *omogenee*, cioè definite sugli stessi attributi. Pertanto, pur potendo, in linea di principio, definire gli operatori in questione su qualunque coppia di relazioni, non ha senso, dal punto di vista del modello relazionale, definirli con riferimento a relazioni su attributi diversi. Per esempio, l'unione di due relazioni su schemi diversi sarebbe un insieme di tuple disomogenee, alcune definite sugli attributi della prima e le altre sugli altri. Ciò risulta insoddisfacente, perché un insieme di tuple disomogenee non è una relazione e noi, al fine di combinare gli operatori per formare espressioni complesse, vogliamo che i risultati siano relazioni. Pertanto, consideriamo ammissibili, nell'algebra relazionale, solo applicazioni degli operatori di unione, intersezione e differenza a coppie di operandi definite sugli stessi attributi. La Figura 3.1 mostra esempi di applicazioni dei tre operatori, che confermano le usuali definizioni, adattate al nostro contesto:

- l'*unione* di due relazioni r_1 e r_2 definite sullo stesso insieme di attributi X è indicata con $r_1 \cup r_2$ ed è una relazione ancora su X contenente le tuple che appartengono a r_1 oppure a r_2 , oppure a entrambe;
- l'*intersezione* di $r_1(X)$ e $r_2(X)$ è indicata con $r_1 \cap r_2$ ed è una relazione su X contenente le tuple che appartengono sia a r_1 sia a r_2 ;
- la *differenza* di $r_1(X)$ e $r_2(X)$ è indicata con $r_1 - r_2$ ed è una relazione su X contenente le tuple che appartengono a r_1 e non appartengono a r_2 .

LAUREATI

Matricola	Cognome	Età
7274	Rossi	37
7432	Neri	39
9824	Verdi	38

DIRIGENTI

Matricola	Cognome	Età
9297	Neri	56
7432	Neri	39
9824	Verdi	38

LAUREATI \cup DIRIGENTI

Matricola	Cognome	Età
7274	Rossi	37
7432	Neri	39
9824	Verdi	38
9297	Neri	56

LAUREATI \cap DIRIGENTI

Matricola	Cognome	Età
7432	Neri	39
9824	Verdi	38

LAUREATI — DIRIGENTI

Matricola	Cognome	Età
7274	Rossi	37

Figura 3.1 Operazioni di unione, intersezione e differenza

3.1.2 Ridenominazione

La limitazione che abbiamo dovuto imporre agli operatori insiemistici, pur giustificata, risulta però particolarmente pesante. Consideriamo per esempio le due relazioni nella Figura 3.2: sarebbe sensato eseguire su di esse una sorta di unione, al fine di ottenere tutte le coppie “genitore-figlio” note alla base di dati, ma ciò non

PATERNITÀ

Padre	Figlio
Adamo	Caino
Adamo	Abele
Abramo	Isacco
Abramo	Ismaele

MATERNITÀ

Madre	Figlio
Eva	Caino
Eva	Set
Sara	Isacco
Agar	Ismaele

PATERNITÀ \cup MATERNITÀ ??

Figura 3.2 Un'unione sensata ma scorretta

PATERNITÀ

Padre	Figlio
Adamò	Caino
Adamò	Abele
Abramo	Isacco
Isacco	Giacobbe

 $\rho_{\text{Genitore} \leftarrow \text{Padre}}(\text{PATERNITÀ})$

Genitore	Figlio
Adamò	Caino
Adamò	Abele
Abramo	Isacco
Isacco	Giacobbe

Figura 3.3 Una ridenominazione

è possibile, perché l'attributo che intuitivamente abbiamo indicato con **Genitore** si chiama in effetti **Padre** in una relazione e **Madre** nell'altra.

Per risolvere il problema, introduciamo uno specifico operatore, che ha come unico obiettivo proprio quello di adeguare i nomi degli attributi, a seconda delle necessità, in particolare al fine di facilitare le operazioni insiemistiche. L'operatore è detto di *ridenominazione*, perché appunto “cambia il nome degli attributi”, lasciando inalterato il contenuto delle relazioni. Consideriamo un esempio nella Figura 3.3: nella rappresentazione tabellare vediamo bene come, fra operando e risultato cambi solo l'intestazione, mentre il corpo rimane invariato. Infatti, la ridenominazione agisce solo sullo schema, nell'esempio cambiando il nome dell'attributo **Padre** in **Genitore**, come indicato dalla notazione $\text{Genitore} \leftarrow \text{Padre}$ posta a pedice del simbolo ρ che denota l'operatore di ridenominazione. La Figura 3.4 mostra l'applicazione dell'unione al risultato di due ridenominazioni sulle relazioni della Figura 3.2.

Definiamo l'operatore di ridenominazione in forma generale. Sia r una relazione definita sull'insieme di attributi X e sia Y un (altro) insieme di attributi con la stessa cardinalità. Inoltre, siano $A_1 A_2 \dots A_k$ e $B_1 B_2 \dots B_k$ rispettivamente un ordinamento per gli attributi in X e un ordinamento per quelli in Y . Allora la

 $\rho_{\text{Genitore} \leftarrow \text{Padre}}(\text{PATERNITÀ}) \cup \rho_{\text{Genitore} \leftarrow \text{Madre}}(\text{MATERNITÀ})$

Genitore	Figlio
Adamò	Caino
Adamò	Abele
Abramo	Isacco
Abramo	Ismaele
Eva	Caino
Eva	Set
Sara	Isacco
Agar	Ismaele

Figura 3.4 Un'unione preceduta da due ridenominazioni

IMPIEGATI

Cognome	Agenzia	Stipendio
Rossi	Roma	45
Neri	Milano	53

OPERAI

Cognome	Fabbrica	Salario
Verdi	Latina	33
Bruni	Monza	32

$$\rho_{\text{Sede}, \text{Retribuzione} \leftarrow \text{Agenzia}, \text{Stipendio}}(\text{IMPIEGATI}) \cup \\ \rho_{\text{Sede}, \text{Retribuzione} \leftarrow \text{Fabbrica}, \text{Salario}}(\text{OPERAI})$$

Cognome	Sede	Retribuzione
Rossi	Roma	45
Neri	Milano	53
Verdi	Latina	33
Bruni	Monza	32

Figura 3.5 Un'altra unione preceduta da ridefinizioni

ridefinizione

$$\rho_{B_1 B_2 \dots B_k \leftarrow A_1 A_2 \dots A_k}(r)$$

contiene una tupla t' per ciascuna tupla t in r , definita come segue: t' è una tupla su Y e $t'[B_i] = t[A_i]$, per $i = 1, \dots, k$. La definizione conferma che ciò che cambia sono i nomi degli attributi, mentre i valori rimangono inalterati e vengono associati ai nuovi attributi. In pratica, nelle due liste $A_1 A_2 \dots A_k$ e $B_1 B_2 \dots B_k$ noi indicheremo solo gli attributi che vengono ridefiniti (cioè quelli per cui $A_i \neq B_i$). Questo è il motivo per cui nell'esempio della Figura 3.3 abbiamo scritto

$$\rho_{\text{Genitore} \leftarrow \text{Padre}}(\text{PATERNITÀ})$$

e non

$$\rho_{\text{Genitore}, \text{Figlio} \leftarrow \text{Padre}, \text{Figlio}}(\text{PATERNITÀ})$$

La Figura 3.5 mostra un altro esempio di unione preceduta da ridefinizioni. In questo caso, in ciascuna relazione sono due gli attributi che vengono ridefiniti, quindi l'ordinamento delle coppie (**Sede**, **Retribuzione** e così via) è significativo.

3.1.3 Selezione

Passiamo ora a esaminare gli operatori più tipici dell'algebra relazionale, che permettono effettivamente di manipolare le relazioni. Si tratta di tre operatori: selezione, proiezione e join (quest'ultimo con diverse varianti). Prima di entrare

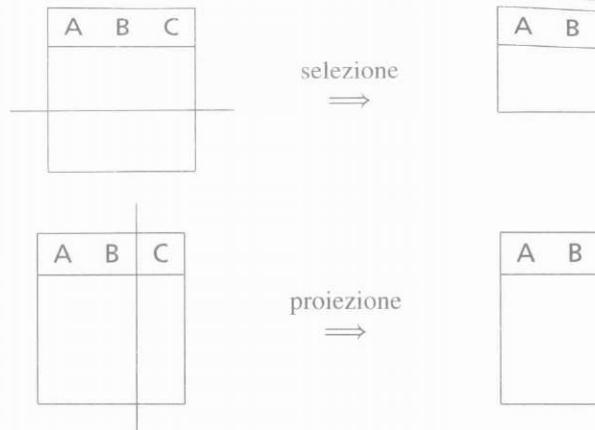


Figura 3.6 Una schematizzazione degli operatori di selezione e proiezione

nel dettaglio, facciamo una considerazione sui primi due: selezione e proiezione svolgono funzioni che potremmo definire complementari (od ortogonali). Sono entrambe definite su un operando e producono come risultato una porzione dell'operando. Più precisamente, la selezione produce un sottoinsieme delle tuple, su tutti gli attributi, mentre la proiezione dà un risultato cui contribuiscono tutte le tuple, ma su un sottoinsieme degli attributi. Pertanto, come schematizzato nella Figura 3.6, possiamo dire che la selezione genera “decomposizioni orizzontali” e la proiezione “decomposizioni verticali”.

Le Figure 3.7 e 3.8 mostrano due esempi di selezioni, che illustrano le caratteristiche fondamentali dell'operatore, che è denotato dal simbolo σ a pedice del

IMPIEGATI

Cognome	Nome	Età	Stipendio
Rossi	Mario	25	2.000,00
Neri	Luca	40	3.000,00
Verdi	Nico	36	4.500,00
Rossi	Marco	40	3.900,00

$$\sigma_{\text{Età} > 30 \wedge \text{Stipendio} > 4.000,00}(\text{IMPIEGATI})$$

Cognome	Nome	Età	Stipendio
Verdi	Nico	36	4.500,00

Figura 3.7 Una selezione

CITTADINI

Cognome	Nome	CittàDiNascita	Residenza
Rossi	Mario	Roma	Milano
Neri	Luca	Roma	Roma
Verdi	Nico	Firenze	Firenze
Rossi	Marco	Napoli	Firenze

$$\sigma_{\text{CittàDiNascita}=\text{Residenza}}(\text{CITTADINI})$$

Cognome	Nome	CittàDiNascita	Residenza
Neri	Luca	Roma	Roma
Verdi	Nico	Firenze	Firenze

Figura 3.8 Un'altra selezione

quale viene indicata la “condizione di selezione” opportuna. Il risultato contiene le tuple dell’operando che soddisfano la condizione di selezione. Come mostrato dagli esempi, le condizioni di selezione possono prevedere confronti fra attributi e confronti fra attributi e costanti, e possono essere complesse, ottenute combinando condizioni semplici con i connettivi logici \vee (*or*), \wedge (*and*) e \neg (*not*).

In termini più precisi, data una relazione $r(X)$, una *formula proposizionale* F su X è una formula ottenuta combinando, con i connettivi \vee , \wedge e \neg , condizioni atomiche del tipo $A\theta B$ o $A\theta c$, dove

- θ è un operatore di confronto ($=$, \neq , $>$, $<$, \geq , \leq);
- A e B sono attributi in X sui cui valori il confronto θ abbia senso;
- c è una costante “compatibile” con il dominio di A (cioè tale che il confronto θ sia definito).

Date una formula F e una tupla t , è definito un valore di verità per F su t :

- $A\theta B$ è vera su t se e solo se $t[A]$ è in relazione θ con $t[B]$ (per esempio, $A = B$ è vera su t se $t[A] = t[B]$);
- $A\theta c$ è vera su t se e solo se $t[A]$ è in relazione θ con c ;
- $F_1 \vee F_2$, $F_1 \wedge F_2$ e $\neg F_1$ hanno l’usuale significato.

Possiamo a questo punto completare la definizione:

la *selezione* $\sigma_F(r)$ produce una relazione sugli stessi attributi di r che contiene le tuple di r su cui F è vera.

3.1.4 Proiezione

La definizione dell’operatore di proiezione è ancora più semplice: dati una relazione $r(X)$ e un sottoinsieme Y di X , la *proiezione* di r su Y (indicata con $\pi_Y(r)$)

IMPIEGATI

Cognome	Nome	Reparto	Capo
Rossi	Mario	Vendite	Gatti
Neri	Luca	Vendite	Gatti
Verdi	Mario	Personale	Lupi
Rossi	Marco	Personale	Lupi

 $\pi_{\text{Cognome}, \text{Nome}}(\text{IMPIEGATI})$

Cognome	Nome
Rossi	Mario
Neri	Luca
Verdi	Mario
Rossi	Marco

Figura 3.9 Una proiezione

è l'insieme di tuple su Y ottenute dalle tuple di r considerando solo i valori su Y :

$$\pi_Y(r) = \{ t[Y] \mid t \in r \}$$

La Figura 3.9 mostra un primo esempio di proiezione, che illustra chiaramente il concetto già citato secondo il quale la proiezione permette di decomporre verticalmente le relazioni: il risultato della proiezione contiene in questo caso tante tuple quante l'operando, definite però solo su parte degli attributi.

La Figura 3.10 mostra un'altra proiezione, in cui si nota una situazione diversa: il risultato contiene un numero di tuple inferiore rispetto a quelle dell'operando, perché alcune tuple, avendo uguali valori su tutti gli attributi della proiezione, danno lo stesso contributo alla proiezione stessa. Essendo le relazioni definite come insiemi, non possono in esse comparire più tuple uguali fra loro: i contributi uguali “collassano” in una sola tupla.

In generale, possiamo dire che il risultato di una proiezione contiene al più tante tuple quante l'operando, ma può contenerne di meno, come mostrato nella Figura 3.10. Notiamo anche che esiste un legame fra i vincoli di chiave e le proiezioni, relativamente a questo problema: $\pi_Y(r)$ contiene lo stesso numero di tuple di r se e solo se Y è superchiave per r . Infatti:

- se Y è superchiave, allora r non contiene tuple uguali su Y , quindi ogni tupla dà un contributo diverso alla proiezione;
- se la proiezione ha tante tuple quante l'operando, allora ciascuna tupla di r

IMPIEGATI

Cognome	Nome	Reparto	Capo
Rossi	Mario	Vendite	Gatti
Neri	Luca	Vendite	Gatti
Verdi	Mario	Personale	Lupi
Rossi	Marco	Personale	Lupi

 $\pi_{\text{Reparto}, \text{Capo}}(\text{IMPIEGATI})$

Reparto	Capo
Vendite	Gatti
Personale	Lupi

Figura 3.10 Una proiezione con meno tuple dell'operando

contribuisce alla proiezione con valori diversi, quindi r non contiene coppie di tuple uguali su Y : ma questa è proprio la definizione di superchiave.

Per la relazione IMPIEGATI nelle Figure 3.9 e 3.10, gli attributi Cognome e Nome formano una chiave (e perciò una superchiave), mentre Reparto e Capo non formano una superchiave: questo giustifica il comportamento riguardo al numero delle tuple. Come inciso, notiamo che una proiezione può produrre un numero di tuple pari a quelle dell'operando anche se gli attributi coinvolti non sono definiti come superchiave (nello schema). Per esempio, se riconsideriamo le relazioni discusse nel Capitolo 2 sullo schema

STUDENTI(Matricola,Cognome,Nome,Nascita,Corso)

possiamo dire che, per tutte le relazioni, la proiezione su Matricola e quella su Cognome, Nome e Nascita hanno lo stesso numero di tuple dell'operando. Al contrario, una proiezione su Cognome e Corso può avere meno tuple; però, nel caso particolare (come per esempio nella Figura 2.16) in cui non vi siano studenti diversi con lo stesso cognome iscritti allo stesso corso di laurea, allora anche la proiezione su Cognome e Corso ha lo stesso numero di tuple dell'operando.

3.1.5 Join

Passiamo ora a esaminare l'operatore di join¹ che è il più caratteristico dell'algebra relazionale, in quanto è l'operatore che permette di correlare dati contenuti in relazioni diverse, confrontando i valori contenuti in esse e utilizzando quindi la caratteristica fondamentale del modello, quella di essere basato su valori. Esistono, a parte alcune varianti, due versioni dell'operatore, comunque riconducibili l'una all'altra: la prima (il join naturale) utile per riflessioni di tipo astratto e la seconda (il theta-join) più rilevante dal punto di vista pratico.

Join naturale Il *join naturale* è un operatore (lo definiamo inizialmente in versione binaria, cioè con due operandi, per poi generalizzare) che correla dati in relazioni diverse, sulla base di valori uguali in attributi con lo stesso nome. Vediamo un esempio nella Figura 3.11, in cui l'operatore è denotato, come sarà sempre nel seguito, con il simbolo \bowtie . Il risultato del join è costituito da una relazione sull'unione degli insiemi di attributi degli operandi e le sue tuple sono ottenute combinando le tuple degli operandi con valori uguali sugli attributi comuni (in questo caso l'attributo Reparto): per esempio, la prima tupla del join deriva dalla combinazione della prima tupla della relazione r_1 e della seconda tupla della relazione r_2 .

¹ Utilizziamo per questo operatore il termine in lingua inglese, perché in effetti la sua traduzione (“giunzione” o “congiunzione”) non viene mai usata in questo contesto.

r_1	Impiegato	Reparto	r_2	Reparto	Capo
	Rossi	vendite		produzione	Mori
	Neri	produzione		vendite	Bruni
	Bianchi	produzione			
$r_1 \bowtie r_2$	Impiegato	Reparto		Capo	
	Rossi	vendite		Bruni	
	Neri	produzione		Mori	
	Bianchi	produzione		Mori	

Figura 3.11 Un join naturale

In generale, il *join naturale* $r_1 \bowtie r_2$ di $r_1(X_1)$ e $r_2(X_2)$ è una relazione definita su $X_1 X_2$ (cioè sull'unione degli insiemi X_1 e X_2), come segue:

$$r_1 \bowtie r_2 = \{ t \text{ su } X_1 X_2 \mid \begin{array}{l} \text{esistono } t_1 \in r_1 \text{ e } t_2 \in r_2 \\ \text{con } t[X_1] = t_1 \text{ e } t[X_2] = t_2 \end{array}\}$$

Più sinteticamente, ma in modo equivalente, possiamo scrivere:

$$r_1 \bowtie r_2 = \{ t \text{ su } X_1 X_2 \mid t[X_1] \in r_1 \text{ e } t[X_2] \in r_2\}$$

La definizione conferma che le tuple del risultato sono ottenute combinando tuple degli operandi con valori uguali sugli attributi comuni. Infatti, se indichiamo con $X_{1,2}$ gli attributi comuni (cioè $X_{1,2} = X_1 \cap X_2$), le due condizioni $t[X_1] = t_1$ e $t[X_2] = t_2$ implicano (poiché $X_{1,2} \subseteq X_1$ e $X_{1,2} \subseteq X_2$) che $t[X_{1,2}] = t_1[X_{1,2}]$ e $t[X_{1,2}] = t_2[X_{1,2}]$, quindi $t_1[X_{1,2}] = t_2[X_{1,2}]$. Il grado della relazione ottenuta come risultato di un join è minore o uguale della somma dei gradi dei due operandi, perché gli attributi omonimi degli operandi compaiono una sola volta nel risultato.

È opportuno notare che è molto frequente eseguire join sulla base di valori della chiave di una delle relazioni coinvolte, esplicitando i riferimenti fra tuple che, come abbiamo più volte ripetuto, sono realizzati per mezzo di valori, soprattutto valori di chiavi. In molti di questi casi, è anche definito, fra gli attributi coinvolti, un vincolo di integrità referenziale. RiconSIDERIAMO per esempio le relazioni INFRAZIONI e AUTO nella base di dati nella Figura 2.19, ripetute per comodità nella Figura 3.12 insieme al join di esse. Notiamo che ciascuna delle tuple di INFRAZIONI è stata combinata con una e una sola delle tuple di AUTO: (i) una sola perché Prov e Numero formano una chiave di AUTO (ii) almeno una perché è definito il vincolo di integrità referenziale fra Prov e Numero in INFRAZIONI e (la chiave primaria di) AUTO. Il join, quindi, ha esattamente tante tuple quante la relazione INFRAZIONI.

INFRAZIONI	<u>Codice</u>	Data	Ag	Art	Prov	Numero
	143256	25/10/08	567	44	RM	4E5432
	987554	26/10/08	456	34	RM	4E5432
	987557	26/10/08	456	34	RM	2F7643
	630876	15/10/08	456	53	MI	2F7643
	539856	12/10/08	567	44	MI	2F7643

AUTO	<u>Prov</u>	<u>Numero</u>	Proprietario	Indirizzo
	RM	2F7643	Verdi Piero	Via Tigli
	RM	1A2396	Verdi Piero	Via Tigli
	RM	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
	MI	2F7643	Luci Gino	Via Aceri

INFRAZIONI \bowtie AUTO

Codice	Data	Ag	Art	Prov	Numero	Proprietario	Indirizzo
143256	25/10/08	567	44	RM	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
987554	26/10/08	456	34	RM	4E5432	Bini Luca	Via Aceri
987557	26/10/08	456	34	RM	2F7643	Verdi Piero	Via Tigli
630876	15/10/08	456	53	MI	2F7643	Luci Gino	Via Aceri
539856	12/10/08	567	44	MI	2F7643	Luci Gino	Via Aceri

Figura 3.12 Le relazioni INFRAZIONI e AUTO e il loro join

La Figura 3.13 mostra un altro esempio di join, sulle stesse relazioni riguardo alle quali abbiamo già visto (Figura 3.4) una unione preceduta da ridenominazione: qui combiniamo i dati nelle due relazioni sulla base del valore del figlio, ottenendo la coppia di genitori, per ogni persona per cui entrambi siano indicati nella base di dati. I due esempi considerati insieme ci mostrano quindi come i vari operatori dell’algebra relazionale permettano di combinare e correlare in vario modo, a seconda delle necessità, i dati contenuti in una base di dati.

Join completi e incompleti Discutiamo ora diversi esempi di join, per svolgere alcune importanti considerazioni, con riferimento alla dimensione del risultato e al contributo a esso portato dalle tuple degli operandi. Nell’esempio nella Figura 3.11, possiamo dire che ciascuna tupla di ciascuno degli operandi contribuisce ad almeno una tupla del risultato (il join si dice in questo caso *completo*): per ogni tupla t_1 di r_1 , esiste una tupla t in $r_1 \bowtie r_2$ tale che $t[X_1] = t_1$ (e analogamente per r_2). Questa proprietà non è sempre verificata, perché richiede una corrispondenza fra le tuple delle due relazioni. La Figura 3.14 mostra un join in cui alcune tuple degli operandi (in particolare la prima di r_1 e la seconda di r_2) non contribuiscono al risultato, perché l’altra relazione non contiene tuple con gli

PATERNITÀ	Padre	Figlio	MATERNITÀ	Madre	Figlio
	Adamo	Caino		Eva	Caino
	Adamo	Abele		Eva	Set
	Abramo	Isacco		Sara	Isacco
	Abramo	Ismaele		Agar	Ismaele

PATERNITÀ \bowtie MATERNITÀ

Padre	Figlio	Madre
Adamo	Caino	Eva
Abramo	Isacco	Sara
Abramo	Ismaele	Agar

Figura 3.13 Figli con entrambi i genitori

stessi valori sull'attributo comune. In inglese tali tuple vengono chiamate *dangling* (cioè “dondolanti”). l’Espresso!dangling

Come caso limite, è ovviamente possibile che nessuna delle tuple degli operandi sia combinabile, e allora il risultato del join è la relazione vuota (Figura 3.15).

All'estremo opposto, è possibile che ciascuna delle tuple di ciascuno degli operandi sia combinabile con tutte le tuple dell'altro, come mostrato nella Figura 3.16. In tal caso, il risultato contiene un numero di tuple pari al prodotto delle cardinalità degli operandi e cioè $|r_1| \times |r_2|$ tuple (dove $|r|$ indica la cardinalità della relazione r).

Ricapitolando, possiamo dire che il join di r_1 e r_2 contiene un numero di tuple compreso fra 0 e $|r_1| \times |r_2|$. Inoltre:

- se il join di r_1 e r_2 è completo, allora contiene almeno un numero di tuple pari al massimo fra $|r_1|$ e $|r_2|$;

r_1	Impiegato	Reparto	r_2	Reparto	Capo
	Rossi	vendite		produzione	Mori
	Neri	produzione		acquisti	Bruni
	Bianchi	produzione			

$r_1 \bowtie r_2$	Impiegato	Reparto	Capo
	Neri	produzione	Mori
	Bianchi	produzione	Mori

Figura 3.14 Un join con tuple *dangling*

r_1	Impiegato	Reparto	r_2	Reparto	Capo
	Rossi	vendite		concorsi	Mori
	Neri	produzione		acquisti	Bruni
	Bianchi	produzione			
$r_1 \bowtie r_2$		Impiegato	Reparto	Capo	

Figura 3.15 Un join vuoto

- se $X_1 \cap X_2$ contiene una chiave per r_2 , allora il join di $r_1(X_1)$ e $r_2(X_2)$ contiene al più $|r_1|$ tuple;
- se $X_1 \cap X_2$ coincide con una chiave per r_2 e sussiste il vincolo di riferimento fra $X_1 \cap X_2$ in r_1 e la chiave di r_2 , allora il join di $r_1(X_1)$ e $r_2(X_2)$ contiene esattamente $|r_1|$ tuple.

Join esterni La caratteristica dell'operatore di join di “tralasciare” le tuple di una relazione senza controparte nell'altra è utile in molti casi ma potenzialmente pericolosa in altri, in quanto può portare a omettere informazioni rilevanti. Consideriamo per esempio il join in Figura 3.14, supponendo di essere interessati a tutti gli impiegati, con l'indicazione del capo se noto. Allo scopo, è stata proposta (e recepita nelle ultime versioni dell'SQL, e la approfondiremo quindi nel Paragrafo 4.3.2) una variante dell'operatore di join chiamata *join esterno* (in inglese *outer join*), che prevede che tutte le tuple diano un contributo al risultato, eventual-

r_1	Impiegato	Progetto	r_2	Progetto	Capo
	Rossi	A		A	Mori
	Neri	A		A	Bruni
	Bianchi	A			
$r_1 \bowtie r_2$		Impiegato	Reparto	Capo	
	Rossi		A	Mori	
	Neri		A	Mori	
	Bianchi		A	Mori	
	Rossi		A	Bruni	
	Neri		A	Bruni	
	Bianchi		A	Bruni	

Figura 3.16 Un join con $|r_1| \times |r_2|$ tuple

r_1	Impiegato	Reparto	r_2	Reparto	Capo
	Rossi	vendite		produzione	Mori
	Neri	produzione		acquisti	Bruni
	Bianchi	produzione			

$r_1 \bowtie_{LEFT} r_2$	Impiegato	Reparto	Capo
	Rossi	vendite	NULL
	Neri	produzione	Mori
	Bianchi	produzione	Mori
		acquisti	Bruni

$r_1 \bowtie_{RIGHT} r_2$	Impiegato	Reparto	Capo
	Neri	produzione	Mori
	Bianchi	produzione	Mori
	NULL	acquisti	Bruni

$r_1 \bowtie_{FULL} r_2$	Impiegato	Reparto	Capo
	Rossi	vendite	NULL
	Neri	produzione	Mori
	Bianchi	produzione	Mori
	NULL	acquisti	Bruni

Figura 3.17 Alcuni join esterni

mente estese con valori nulli ove non vi siano controparti opportune. Esistono tre varianti per l'operatore: il join esterno *sinistro*, che estende solo le tuple del primo operando, quello *destro*, che estende solo le tuple del secondo operando, e quello *completo*, che le estende tutte. Mostriamo in Figura 3.17 esempi di join esterno sulle relazioni già mostrate nella Figura 3.14, con una sintassi autoesplicativa.

Join n-ario, intersezione e prodotto cartesiano Vediamo alcune proprietà dell'operatore di join naturale.² In primo luogo, osserviamo che esso è commutativo, poiché $r_1 \bowtie r_2$ è sempre uguale a $r_2 \bowtie r_1$, e associativo, in quanto $r_1 \bowtie (r_2 \bowtie r_3)$ è uguale a $(r_1 \bowtie r_2) \bowtie r_3$. Pertanto, potremo scrivere, ove necessario, sequenze di join senza parentesi:

$$r_1 \bowtie r_2 \bowtie \dots \bowtie r_n \quad \text{oppure} \quad \bowtie_{i=1}^n r_i$$

Notiamo poi che non abbiamo fatto alcuna ipotesi specifica sugli insiemi di attributi X_1 e X_2 su cui sono definiti gli operandi. Di conseguenza, ha senso considerare

²Ci riferiamo qui al join naturale come tale, non al join esterno, per il quale alcune delle proprietà non valgono.

rare anche i casi estremi, quello in cui sono uguali e quello in cui sono disgiunti. In entrambi i casi, si applica la definizione generale vista sopra, ma è opportuno fare alcune osservazioni. Se $X_1 = X_2$, allora il join coincide in effetti con l'intersezione:

$$r_1(X_1) \bowtie r_2(X_1) = r_1(X_1) \cap r_2(X_1)$$

in quanto, nella definizione, si richiede che il risultato sia definito sull'unione dei due insiemi di attributi, e che contenga le tuple t tali che $t[X_1] \in r_1$ e $t[X_2] \in r_2$; se $X_1 = X_2$, allora l'unione di X_1 e X_2 è ancora pari a X_1 , quindi t è definita su X_1 : la definizione richiede pertanto che $t \in r_1$ e $t \in r_2$ e coincide perciò con la definizione di intersezione.

Il caso in cui i due insiemi di attributi sono disgiunti merita maggiore attenzione. Il risultato è sempre definito sull'unione $X_1 X_2$, e ciascuna tupla deriva sempre da due tuple, una per ciascuno degli operandi, ma, in effetti, poiché tali tuple non hanno attributi in comune, non viene richiesta a esse nessuna condizione per partecipare insieme al join: la condizione che informalmente abbiamo prima discusso, e cioè che le due tuple devono avere gli stessi valori sugli attributi comuni, degenera in una condizione sempre verificata. Quindi, il risultato del join contiene le tuple ottenute combinando, in tutti i modi possibili, le tuple degli operandi. In questo caso particolare, si dice spesso che il join diventa un *prodotto cartesiano*. Potremmo dire che il prodotto cartesiano è un operatore definito (con la stessa definizione data sopra per il join naturale) su relazioni che non hanno attributi in comune. L'uso del termine è in effetti improprio, in quanto non si tratta di un prodotto cartesiano fra insiemi: il prodotto cartesiano di due insiemi è un insieme di coppie (con il primo elemento dal primo insieme e il secondo dal secondo), mentre qui abbiamo tuple, ottenute concatenando tuple della prima relazione e tuple della seconda. La Figura 3.18 mostra un esempio di prodotto cartesiano, confermando come il risultato contenga un numero di tuple pari al prodotto delle cardinalità degli operandi.

Theta-join ed equi-join Osservando la Figura 3.18 possiamo anche notare che un prodotto cartesiano ha di solito ben poca utilità, in quanto concatena tuple non necessariamente correlate dal punto di vista semantico. In effetti, il prodotto cartesiano viene spesso seguito da una selezione, che centra l'attenzione su tuple correlate secondo le esigenze. Per esempio, sulle relazioni IMPiegati e PROGETTI ha senso definire un prodotto cartesiano seguito dalla selezione che mantiene solo le tuple con valori uguali sull'attributo Progetto di IMPiegati e su Codice di PROGETTI (Figura 3.19).

Per questa ragione, viene spesso definito un operatore derivato (cioè esprimibile per mezzo di altri operatori), il *theta-join*, come prodotto cartesiano seguito da una selezione, nel modo seguente (dove F è una formula proposizionale utilizzabile in una selezione e le relazioni r_1 e r_2 non hanno attributi in comune):

$$r_1 \bowtie_F r_2 = \sigma_F(r_1 \bowtie r_2)$$

La relazione nella Figura 3.19 può quindi essere ottenuta per mezzo del theta-join:

IMPIEGATI

Impiegato	Progetto
Rossi	A
Neri	A
Neri	B

PROGETTI

Codice	Nome
A	Venere
B	Marte

IMPIEGATI \bowtie PROGETTI

Impiegato	Progetto	Codice	Nome
Rossi	A	A	Venere
Neri	A	A	Venere
Neri	B	A	Venere
Rossi	A	B	Marte
Neri	A	B	Marte
Neri	B	B	Marte

Figura 3.18 Un prodotto cartesiano

IMPIEGATI $\bowtie_{\text{Progetto}=\text{Codice}}$ PROGETTI

Un theta-join in cui la condizione di selezione F sia una congiunzione di atomi di uguaglianza, con un attributo della prima relazione e uno della seconda, viene chiamato *equi-join*. Quindi la relazione nella Figura 3.19 è ottenuta per mezzo di un equi-join.

Dal punto di vista pratico il theta-join e ancor più l'equi-join hanno una grande importanza, in quanto la maggior parte dei sistemi di basi di dati effettivamente

IMPIEGATI

Impiegato	Progetto
Rossi	A
Neri	A
Neri	B

PROGETTI

Codice	Nome
A	Venere
B	Marte

 $\sigma_{\text{Progetto}=\text{Codice}}(\text{IMPIEGATI} \bowtie \text{PROGETTI})$

Impiegato	Progetto	Codice	Nome
Rossi	A	A	Venere
Neri	A	A	Venere
Neri	B	B	Marte

Figura 3.19 Un prodotto cartesiano seguito da una selezione

esistenti non utilizzano i nomi di attributo per correlare relazioni, e pertanto non utilizzano il join naturale ma l'equi-join e il theta-join. Approfondiremo questa osservazione quando discuteremo la specifica delle interrogazioni nel linguaggio SQL nel Capitolo 4. Peraltro, sottolineiamo che il join naturale, reso disponibile in pratica solo nelle ultime versioni dell'SQL, permette di elaborare in modo semplice riflessioni che sono poi estendibili all'equi-join. Notiamo tra l'altro come il join naturale possa essere simulato per mezzo della ridenominazione, dell'equi-join e della proiezione. Senza scendere nel dettaglio, mostriamo un esempio. Date due relazioni $r_1(ABC)$ e $r_2(BCD)$, il join naturale di r_1 e r_2 può essere espresso per mezzo degli altri operatori, in tre passi:

- ridenominando gli attributi in modo di ottenere relazioni su schemi disgiunti: $\rho_{B'C' \leftarrow BC}(r_2)$;
- effettuando l'equi-join, con condizioni di uguaglianza sugli attributi corrispondenti: $r_1 \bowtie_{B=B' \wedge C=C'} \rho_{B'C' \leftarrow BC}(r_2)$;
- concludendo con una proiezione che elimina gli attributi "doppioni," che presentano valori identici a quelli di altri attributi:

$$\pi_{ABCD}(r_1 \bowtie_{B=B' \wedge C=C'} \rho_{B'C' \leftarrow BC}(r_2))$$

3.1.6 Interrogazioni in algebra relazionale

In generale, un'interrogazione può essere definita come una funzione che, applicata a istanze di basi di dati, produce relazioni. Più precisamente, dato uno schema **R** di base di dati, un'interrogazione è una funzione che, per ogni istanza **r** di **R**, produce una relazione su un dato insieme di attributi *X*. Le espressioni dei vari linguaggi di interrogazione (per esempio dell'algebra relazionale) "rappresentano" o "realizzano" interrogazioni: ogni espressione definisce una funzione. Indichiamo con $E(\mathbf{r})$ il *risultato* dell'applicazione dell'espressione E alla base di dati **r**.

In algebra relazionale, le interrogazioni su uno schema di base di dati **R** vengono formulate con espressioni i cui atomi sono (nomi di) relazioni in **R** (le "variabili"). Concludiamo la presentazione dell'algebra relazionale mostrando la formulazione di alcune interrogazioni di crescente complessità, che fanno riferimento allo schema contenente le due relazioni:

$$\begin{aligned} &\text{IMPIEGATI}(\underline{\text{Matr}}, \underline{\text{Nome}}, \underline{\text{Età}}, \underline{\text{Stipendio}}) \\ &\text{SUPERVISIONE}(\underline{\text{Capo}}, \underline{\text{Impiegato}}) \end{aligned}$$

Una base di dati su tale schema è mostrata nella Figura 3.20.

La prima interrogazione che consideriamo è molto semplice, in quanto coinvolge una sola relazione: *trovare matricola, nome ed età degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*. In questo caso, con una selezione possiamo porre l'attenzione sulle sole tuple che soddisfano la condizione (stipendio maggiore di 40 mila euro) e con una proiezione eliminiamo gli attributi non richiesti:

$$\pi_{\text{Matr}, \text{Nome}, \text{Età}}(\sigma_{\text{Stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI})) \quad (3.1)$$

IMPIEGATI

Matr	Nome	Età	Stipendio
101	Mario Rossi	34	40
103	Mario Bianchi	23	35
104	Luigi Neri	38	61
105	Nico Bini	44	38
210	Marco Celli	49	60
231	Siro Bisi	50	60
252	Nico Bini	44	70
301	Sergio Rossi	34	70
375	Mario Rossi	50	65

SUPERVISIONE

Capo	Impiegato
210	101
210	103
210	104
231	105
301	210
301	231
375	252

Figura 3.20 Una base di dati per gli esempi di espressioni

Il risultato di questa espressione, applicata alla base di dati nella Figura 3.20, è mostrato nella Figura 3.21.

La seconda interrogazione coinvolge entrambe le relazioni, in modo molto naturale, *trovare le matricole dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*:

$$\pi_{\text{Capo}}(\text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Impiegato}=\text{Matr}} \sigma_{\text{Stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI})) \quad (3.2)$$

Matr	Nome	Età
104	Luigi Neri	38
210	Marco Celli	49
231	Siro Bisi	50
252	Nico Bini	44
301	Sergio Rossi	34
375	Mario Rossi	50

Figura 3.21 Il risultato dell'applicazione dell'Espressione 3.1 alla base di dati nella Figura 3.20

Capo
210
301
375

Figura 3.22 Il risultato dell'applicazione dell'Espressione 3.2 alla base di dati nella Figura 3.20

Nella Figura 3.22 è mostrato il risultato, sempre con riferimento alla base di dati nella Figura 3.20.

Passiamo a esempi un po' più complessi, in cui il coinvolgimento delle due relazioni è più articolato. Cominciamo aggiungendo solo un piccolo elemento all'interrogazione precedente: *trovare nome e stipendio dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*. In questo caso, possiamo ovviamente far uso dell'espressione precedente, ma dobbiamo poi produrre, per ciascuna tupla del risultato, le informazioni richieste sul capo, che vanno estratte dalla relazione IMPIEGATI. È evidente, quindi, che ogni tupla del risultato è costruita a partire da tre tuple, la prima di IMPIEGATI, relativa a un impiegato che guadagna più di 40 mila euro, la seconda di SUPERVISIONE, che indica la matricola del capo dell'impiegato in questione, e la terza di nuovo di IMPIEGATI, con le informazioni relative al capo. Intuitivamente, la soluzione prevede il join della relazione IMPIEGATI con il risultato dell'espressione precedente, ma con una avvertenza: in generale, il capo e l'impiegato differiscono, quindi le due tuple di IMPIEGATI che contribuiscono a una tupla del join sono diverse. Il join deve quindi essere preceduto da una ridenominazione che "cambi" tutti i nomi degli attributi. Una possibile espressione allo scopo è la seguente (in cui alcuni nomi di attributo sono stati abbreviati per ragioni di spazio):

$$\begin{aligned} \pi_{\text{NomeC}, \text{StipC}} &(\rho_{\text{MatrC}, \text{NomeC}, \text{StipC}, \text{EtàC} \leftarrow \text{Matr}, \text{Nome}, \text{Stip}, \text{Età}}(\text{IMPIEGATI}) \\ &\bowtie_{\text{MatrC} = \text{Capo}} \\ &\text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Imp} = \text{Matr}} \sigma_{\text{Stip} > 40}(\text{IMPIEGATI})) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Nella Figura 3.23 è mostrato il risultato, sempre con riferimento alla base di dati nella Figura 3.20.

NomeC	StipC
Marco Celli	60
Sergio Rossi	70
Mario Rossi	65

Figura 3.23 Il risultato dell'applicazione dell'Espressione 3.3 alla base di dati nella Figura 3.20

Matr	Nome	Stip	MatrC	NomeC	StipC
104	Luigi Neri	61	210	Marco Celli	60
252	Nico Bini	70	375	Mario Rossi	65

Figura 3.24 Il risultato dell'applicazione dell'Espressione 3.4 alla base di dati nella Figura 3.20

Il prossimo esempio è una variante del precedente, in quanto richiede il confronto di due valori dello stesso attributo, di tuple diverse: *trovare gli impiegati che guadagnano più del rispettivo capo, mostrando matricola, nome e stipendio di ciascuno di essi e del capo*. L'espressione è simile a quella precedente, e si nota ancora di più la necessità delle ridenominazioni (il risultato è nella Figura 3.24):

$$\begin{aligned} & \pi_{\text{Matr}, \text{Nome}, \text{Stip}, \text{MatrC}, \text{NomeC}, \text{StipC}} \\ & (\sigma_{\text{Stip} > \text{StipC}} (\rho_{\text{MatrC}, \text{NomeC}, \text{StipC}, \text{EtàC} \leftarrow \text{Matr}, \text{Nome}, \text{Stip}, \text{Età}} (\text{IMPIEGATI}) \\ & \bowtie_{\text{MatrC} = \text{Capo}} \text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Imp} = \text{Matr}} \text{IMPIEGATI))) \quad (3.4) \end{aligned}$$

L'ultimo esempio richiede ancora più attenzione: *trovare matricola e nome dei capi i cui impiegati guadagnano tutti più di 40 mila euro*. L'interrogazione include una sorta di quantificazione universale, ma l'algebra relazionale non contiene alcun costrutto direttamente utile allo scopo. Però, possiamo procedere con una doppia negazione, cercando i capi per i quali non vi sia alcun impiegato con stipendio non superiore a 40 mila euro. Questa interrogazione, pur contorta, può essere realizzata in algebra relazionale per mezzo dell'operatore di differenza: prendiamo tutti i capi meno quelli che hanno un impiegato che guadagna non più di 40 mila euro. L'espressione è la seguente:

$$\begin{aligned} & \pi_{\text{Matr}, \text{Nome}} (\text{IMPIEGATI} \bowtie_{\text{Matr} = \text{Capo}} \\ & (\pi_{\text{Capo}} (\text{SUPERVISIONE}) - \\ & \pi_{\text{Capo}} (\text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Imp} = \text{Matr}} \sigma_{\text{Stip} \leq 40} (\text{IMPIEGATI)))) \quad (3.5) \end{aligned}$$

Il risultato di questa espressione sulla base di dati nella Figura 3.20 è mostrato nella Figura 3.25.

Matr	Nome
301	Sergio Rossi
375	Mario Rossi

Figura 3.25 Il risultato dell'Espressione 3.5 sulla base di dati nella Figura 3.20

3.1.7 Equivalenza di espressioni algebriche

L'algebra relazionale, come molti altri strumenti formali in contesti diversi, permette di formulare espressioni fra loro *equivalenti*, cioè che producono lo stesso risultato. Per esempio, con riferimento ai numeri reali e agli operatori di addizione e moltiplicazione, vale l'equivalenza:

$$x \times (y + z) \equiv x \times y + x \times z$$

nel senso che, per ogni valore sostituito alle tre variabili, i due membri risultano uguali. Nell'algebra relazionale possiamo dare una definizione analoga, facendo attenzione al fatto che l'equivalenza può dipendere dallo schema, oppure essere assoluta:

- $E_1 \equiv_{\mathbf{R}} E_2$ se $E_1(\mathbf{r}) = E_2(\mathbf{r})$, per ogni istanza \mathbf{r} di \mathbf{R} ;
- $E_1 \equiv E_2$ se $E_1 \equiv_{\mathbf{R}} E_2$ per ogni schema \mathbf{R} .

La distinzione fra i due casi è dovuta al fatto che gli schemi degli operandi non vengono esplicitati nelle espressioni (in particolare nelle operazioni di join naturale), e il comportamento può variare a seconda degli attributi nei vari schemi di relazione. Un esempio di equivalenza assoluta è:

$$\pi_{AB}(\sigma_{A>0}(R)) \equiv \sigma_{A>0}(\pi_{AB}(R))$$

mentre la seguente equivalenza:

$$\pi_{AB}(R_1) \bowtie \pi_{AC}(R_2) \equiv_{\mathbf{R}} \pi_{ABC}(R_1 \bowtie R_2)$$

sussiste se e solo se nello schema \mathbf{R} l'intersezione fra gli insiemi di attributi di R_1 e R_2 è pari ad A . Infatti, se ci fossero anche altri attributi, il join opererebbe solo su A nella prima espressione e su A e tali altri attributi nella seconda, con risultati in generale diversi.

L'equivalenza di espressioni dell'algebra risulta particolarmente importante dal punto di vista applicativo, nella fase di esecuzione delle interrogazioni. Infatti, le interrogazioni, specificate in linguaggio SQL (Capitolo 4), vengono tradotte in algebra relazionale e, appunto con riferimento all'algebra, viene valutato il costo, sostanzialmente in termini di dimensioni dei risultati intermedi. In presenza di varie alternative equivalenti, viene scelta quella con costo minore. In questo contesto, vengono spesso utilizzate *trasformazioni di equivalenza*, cioè operazioni che sostituiscono un'espressione con un'altra a essa equivalente. In particolare, risultano interessanti le trasformazioni che riducono le dimensioni dei risultati intermedi e quelle che preparano un'espressione all'applicazione di una trasformazione che riduce le dimensioni dei risultati intermedi. Vediamo un primo insieme di trasformazioni interessanti.

1. Atomizzazione delle selezioni: una selezione congiuntiva può essere sostituita da una cascata di selezioni atomiche:

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

dove E è una qualunque espressione. Questa trasformazione permette di applicare successive trasformazioni che operano su selezioni con condizioni atomiche.

2. Idempotenza delle proiezioni: una proiezione può essere trasformata in una cascata di proiezioni che “eliminano” i vari attributi in fasi diverse:

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

se E è definita su un insieme di attributi che contiene Y (oltre a X). Anche questa è una trasformazione preliminare ad altre.

3. Anticipazione della selezione rispetto al join (descritta spesso in inglese con *pushing selections down*):

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

se la condizione F fa riferimento solo ad attributi nella sottoespressione E_2 .

4. Anticipazione della proiezione rispetto al join (*pushing projections down*): siano E_1 ed E_2 definite rispettivamente su X_1 e X_2 ; se $Y_2 \subseteq X_2$ e $Y_2 \supseteq (X_1 \cap X_2)$ (cioè gli attributi in $X_2 - Y_2$ non sono coinvolti nel join) allora vale l’equivalenza:

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

Combinando questa regola con quella della idempotenza delle proiezioni, possiamo ottenere la seguente equivalenza:

$$\pi_Y(E_1 \bowtie_F E_2) \equiv \pi_Y(\pi_{Y_1}(E_1) \bowtie_F \pi_{Y_2}(E_2))$$

dove, indicando con X_1 e X_2 gli attributi di E_1 ed E_2 rispettivamente e con J_1 e J_2 i rispettivi sottoinsiemi coinvolti nella condizione F di join:

$$Y_1 = (X_1 \cap Y) \cup J_1$$

$$Y_2 = (X_2 \cap Y) \cup J_2$$

In sostanza, possiamo eliminare subito da ciascuna relazione gli attributi che non compaiono nel risultato finale e non sono coinvolti nel join.

5. Inglobamento di una selezione in un prodotto cartesiano a formare un join:

$$\sigma_F(E_1 \bowtie E_2) \equiv E_1 \bowtie_F E_2$$

con $E_1 \cap E_2 = \emptyset$.

Vediamo un esempio che chiarisce l’uso delle trasformazioni preparatorie e l’importante regola di anticipazione delle selezioni. Supponiamo di voler trovare, con riferimento alla base di dati di Figura 3.20, i numeri di matricola dei capi di impiegati con meno di trenta anni. Una prima espressione utile allo scopo potrebbe specificare il prodotto cartesiano delle due relazioni seguito da una selezione congiuntiva e poi da una proiezione:

$$\pi_{\text{Capo}}(\sigma_{\text{Matr}=\text{Imp} \wedge \text{Età} < 30}(\text{IMPIEGATI} \bowtie \text{SUPERVISIONE}))$$

Con le regole precedenti, possiamo pensare di migliorare significativamente la qualità dell'espressione, che è in effetti molto bassa, perché, per calcolare pochi valori (nel caso specifico, uno), effettua un prodotto cartesiano (che ha cardinalità pari al prodotto delle cardinalità degli operandi). Con la regola 1, spezziamo la selezione:

$$\pi_{\text{Capo}}(\sigma_{\text{Matr}=\text{Imp}}(\sigma_{\text{Età} < 30}(\text{IMPIEGATI} \bowtie \text{SUPERVISIONE})))$$

Possiamo poi fondere la prima selezione con il prodotto cartesiano, e formare un join (regola 5) e anticipare la seconda selezione rispetto al join (regola 3), ottenendo:

$$\pi_{\text{Capo}}(\sigma_{\text{Età} < 30}(\text{IMPIEGATI}) \bowtie_{\text{Matr}=\text{Imp}} \text{SUPERVISIONE})$$

Infine, possiamo eliminare dal primo argomento del join (con una proiezione) gli attributi non necessari, utilizzando la regola 4:

$$\pi_{\text{Capo}}(\pi_{\text{Matr}}(\sigma_{\text{Età} < 30}(\text{IMPIEGATI})) \bowtie_{\text{Matr}=\text{Imp}} \text{SUPERVISIONE})$$

Altre trasformazioni possono risultare utili, in primo luogo ulteriori anticipazioni di selezioni e proiezioni.

6. Distributività della selezione rispetto all'unione:

$$\sigma_F(E_1 \cup E_2) \equiv \sigma_F(E_1) \cup \sigma_F(E_2)$$

7. Distributività della selezione rispetto alla differenza:

$$\sigma_F(E_1 - E_2) \equiv \sigma_F(E_1) - \sigma_F(E_2)$$

8. Distributività della proiezione rispetto all'unione:

$$\pi_X(E_1 \cup E_2) \equiv \pi_X(E_1) \cup \pi_X(E_2)$$

Vale la pena notare che la proiezione non è distributiva rispetto alla differenza, come si può verificare applicando le espressioni

$$\pi_A(R_1 - R_2) \quad \text{e} \quad \pi_A(R_1) - \pi_A(R_2)$$

a due relazioni su AB che contengano tuple uguali su A e diverse su B .

Altre trasformazioni interessanti sono quelle che si basano sulla corrispondenza fra gli operatori insiemistici e le selezioni complesse:

$$9. \sigma_{F_1 \vee F_2}(R) \equiv \sigma_{F_1}(R) \cup \sigma_{F_2}(R)$$

$$10. \sigma_{F_1 \wedge F_2}(R) \equiv \sigma_{F_1}(R) \cap \sigma_{F_2}(R) \equiv \sigma_{F_1}(R) \bowtie \sigma_{F_2}(R)$$

$$11. \sigma_{F_1 \wedge \neg(F_2)}(R) \equiv \sigma_{F_1}(R) - \sigma_{F_2}(R)$$

Abbiamo poi la proprietà commutativa e associativa di tutti gli operatori binari, esclusa la differenza, e la proprietà distributiva del join rispetto all'unione:

$$12. E \bowtie (E_1 \cup E_2) \equiv (E \bowtie E_1) \cup (E \bowtie E_2)$$

Infine, vale la pena segnalare che la presenza di risultati intermedi vuoti (relazioni con zero tuple) permette di semplificare le espressioni, in modo abbastanza naturale. Lasciando per esercizio i dettagli, notiamo che un join (o anche un prodotto cartesiano) in cui uno degli operandi sia la relazione vuota produce un risultato vuoto, perché non è possibile concatenare con alcuna tupla le tuple dell'altra relazione.

3.1.8 Algebra con valori nulli

Nella discussione dei paragrafi precedenti, abbiamo sempre supposto, per gradualità di presentazione, che le espressioni dell'algebra venissero applicate a relazioni prive di valori nulli. Avendo viceversa sottolineato, nel Paragrafo 2.1.5, l'importanza dei valori nulli nelle applicazioni reali, dobbiamo almeno accennare all'impatto che essi hanno sui linguaggi trattati in questo capitolo. La discussione sarà breve, e volta prevalentemente a presentare i problemi; sarà ripresa nel Capitolo 4 dedicato al linguaggio SQL.

Consideriamo la relazione nella Figura 3.26 e la seguente selezione:

$$\sigma_{\text{Età} > 30}(\text{PERSONE})$$

Ora, è indiscutibile che la prima tupla della relazione debba far parte del risultato e che la seconda invece no. Ma che cosa possiamo dire della terza? Intuitivamente, il valore di Età è un nullo di tipo sconosciuto, in quanto per ogni persona il valore esiste; tutt'al più, come in questo caso, può non essere noto. A proposito di queste interrogazioni, è stato proposto di utilizzare una logica a tre valori, in cui un predicato può essere vero, falso, o assumere un terzo nuovo valore di verità che chiamiamo *unknown* (sconosciuto) e rappresentiamo con il simbolo *U*. Un predicato assume questo valore quando almeno uno dei termini del confronto assume il valore nullo. Quindi, con riferimento al caso in discussione, la prima tupla certamente appartiene al risultato (appartenenza *vera*), la seconda certamente non

PERSONE

Nome	Età	Reddito
Aldo	35	15
Andrea	27	21
Maria	NULL	42

Figura 3.26 Una relazione con valori nulli

appartiene (appartenenza *falsa*) e la terza forse appartiene e forse no (appartenenza *sconosciuta*). Le tabelle di verità dei connettivi logici *not*, *and* e *or*, per tenere conto del nuovo valore logico, si estendono nel modo seguente:

<i>not</i>		<i>and</i>			<i>or</i>		
		V	U	F	V	V	F
F	V	V	U	F	V	V	V
U	U	U	U	F	U	V	U
V	F	F	F	F	F	V	F

Una selezione su relazioni con valori nulli produce come risultato le tuple per cui il predicato risulta vero. Il valore *unknown* rappresenta un valore di verità intermedio tra vero e falso, e il significato dei tre connettivi in questo contesto diventa il seguente: il *not* è vero solo se il valore di partenza è falso, l'*and* è vero solo se tutti i termini sono veri, e l'*or* è vero se almeno uno dei termini è vero.

Vale la pena sottolineare che la logica a tre valori risulta effettivamente significativa solo nel caso di espressioni complesse, in cui il risultato presenta comunque proprietà poco soddisfacenti. Per esempio, consideriamo l'espressione dell'algebra:

$$\sigma_{\text{Età} > 30}(\text{PERSONE}) \cup \sigma_{\text{Età} \leq 30}(\text{PERSONE})$$

Logica vorrebbe che questa espressione restituisse esattamente la relazione PERSONE, in quanto il valore dell'età o è maggiore di 30 (prima sottoespressione) oppure è non maggiore di 30 (seconda sottoespressione). D'altra parte, se le due sottoespressioni sono valutate separatamente, la terza tupla dell'esempio (così come ogni altra tupla con valore nullo per l'età) ha un'appartenenza sconosciuta a ciascuna sottoespressione e perciò all'unione. Solo attraverso una valutazione globale dell'espressione (cosa impraticabile per espressioni complesse) si arriva alla conclusione che tale tupla deve certamente apparire nel risultato. Stesso discorso potremmo fare per l'espressione

$$\sigma_{\text{Età} > 30 \vee \text{Età} \leq 30}(\text{PERSONE})$$

in cui la disgiunzione viene valutata secondo la logica a tre valori.

Il metodo migliore per superare in pratica gli inconvenienti appena discussi consiste nel trattare i valori nulli da un punto di vista meramente sintattico (rinunciando quindi a ragionare sui valori che essi potrebbero rappresentare) e può essere utilizzato sostanzialmente nello stesso modo sia con una logica a due valori sia con una a tre valori. Si introducono due nuove forme di condizioni atomiche di selezione, con lo scopo di verificare se un valore è specificato oppure nullo:

- A IS NULL assume valore vero su una tupla t se il valore di t su A è nullo e falso se esso è specificato;
- A IS NOT NULL assume valore vero su una tupla t se il valore di t su A è specificato e falso se il valore è nullo.

In questo contesto, l'espressione

$$\sigma_{\text{Età} > 30}(\text{PERSONE})$$

restituisce le persone la cui età è nota e maggiore di 30, mentre per ottenere quelle che hanno o potrebbero avere più di trent'anni (cioè quelle per cui l'età è nota e maggiore di 30 oppure non nota), possiamo utilizzare l'espressione:

$$\sigma_{\text{Età} > 30 \vee \text{Età IS NULL}}(\text{PERSONE})$$

Analogamente, le espressioni

$$\sigma_{\text{Età} > 30}(\text{PERSONE}) \cup \sigma_{\text{Età} \leq 30}(\text{PERSONE})$$

$$\sigma_{\text{Età} > 30 \vee \text{Età} \leq 30}(\text{PERSONE})$$

non restituiscono l'intera relazione, ma solo le tuple che hanno un valore non nullo per Età. Se volessimo l'intera relazione come risultato, allora dovremmo includere una condizione IS NULL:

$$\sigma_{\text{Età} > 30 \vee \text{Età} \leq 30 \vee \text{Età IS NULL}}(\text{PERSONE})$$

Questo approccio, come vedremo nel Capitolo 4, è utilizzato (e consigliabile) nella versione attuale di SQL, che prevede la gestione di una logica a tre valori, ed era utilizzabile in precedenti versioni, che adottavano una logica a due valori.

3.1.9 Viste

Abbiamo osservato nel Capitolo 1 che può risultare utile mettere a disposizione degli utenti rappresentazioni diverse per gli stessi dati. Nel modello relazionale, la tecnica prevista a questo scopo è quella delle *relazioni derivate*, relazioni il cui contenuto è funzione del contenuto di altre relazioni. In una base di dati relazionale possono quindi esistere relazioni *di base*, il cui contenuto è autonomo, e relazioni derivate, il cui contenuto è funzione di quello di altre relazioni. È possibile che una relazione derivata sia funzione di altre relazioni derivate, a condizione che esista un ordinamento fra le relazioni derivate tale che ogni relazione sia definita solo in termini di relazioni di base e di relazioni derivate che la precedono nell'ordinamento.³

In linea di principio, possono esistere due tipi di relazioni derivate:

- *viste materializzate*: relazioni derivate effettivamente memorizzate nella base di dati;
- *relazioni virtuali* (chiamate anche *viste*, senza ulteriori specificazioni): relazioni definite per mezzo di funzioni (espressioni del linguaggio di interrogazione), non memorizzate nella base di dati, ma utilizzabili nelle interrogazioni come se lo fossero.

³Questa condizione viene rilasciata nelle recenti proposte di basi di dati deduttive, che permettono di definire *viste ricorsive*. Accenderemo all'argomento nel Paragrafo 3.3.

Le viste materializzate hanno il vantaggio di essere immediatamente disponibili per le interrogazioni, ma è spesso oneroso mantenere il loro contenuto allineato con quello delle relazioni da cui derivano. Le relazioni virtuali devono essere ricalcolate per ogni interrogazione ma non presentano problemi di allineamento. Le viste materializzate risultano quindi convenienti quando gli aggiornamenti sono rari rispetto alle interrogazioni e il calcolo della vista è complesso. È comunque difficile fornire tecniche generalizzate per mantenere l'allineamento. Per questo motivo, i sistemi attuali forniscono quasi solo meccanismi per la gestione di relazioni virtuali, che nel seguito, non essendoci rischio di ambiguità, chiameremo semplicemente *viste*.

Le viste vengono definite nei sistemi relazionali per mezzo di espressioni del linguaggio di interrogazione. Eventuali interrogazioni che si riferiscono alle viste vengono risolte sostituendo alla vista la sua definizione, componendo cioè le due interrogazioni. Di solito, i sistemi relazionali stabiliscono la strategia di esecuzione delle interrogazioni dopo aver sostituito alla vista la sua definizione. Per esempio, supponiamo di avere una base di dati sulle relazioni

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

con una vista definita per mezzo di un prodotto cartesiano seguito da una selezione:

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

Su questo schema, l'interrogazione

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

viene eseguita sostituendo a R la sua definizione

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

L'uso delle viste può risultare vantaggioso per diversi ordini di motivi:

- Un utente interessato solo a una porzione di una base di dati può evitare di considerare le componenti non rilevanti. Per esempio, in una base di dati con due relazioni sugli schemi

AFFERENZA(Impiegato,Dipartimento)
DIREZIONE(Dipartimento,Direttore)

un utente interessato solo agli impiegati e ai relativi direttori potrebbe trarre vantaggio da una vista definita come

$$\pi_{\text{Impiegato}, \text{Direttore}}(\text{AFFERENZA} \bowtie \text{DIREZIONE})$$

- Espressioni molto complesse possono essere definite tramite viste, con vantaggi rilevanti soprattutto nel caso di presenza di sottoespressioni ripetute.
- Attraverso la definizione di autorizzazioni di accesso rispetto alle viste, è possibile introdurre meccanismi di protezione della privacy.

- In occasione di ristrutturazioni di una base di dati, può risultare conveniente definire viste che corrispondano a relazioni sostituite da altre e perciò non più presenti dopo la ristrutturazione stessa, ma ricavabili dalle nuove relazioni. In questo modo, le applicazioni scritte con riferimento alla versione precedente dello schema possono essere utilizzate sul nuovo senza bisogno di modifiche. Per esempio, se uno schema $R(ABC)$ viene sostituito dagli schemi $R_1(AB)$, $R_2(BC)$, è possibile definire una vista $R = R_1 \bowtie R_2$ e mantenere inalterate le applicazioni che fanno riferimento a R . I risultati che vedremo nel capitolo sulla normalizzazione (Capitolo 11) confermano che, se B è una chiave per R_2 , allora la presenza della vista è trasparente.

Mentre per quanto riguarda le interrogazioni le viste possono essere trattate come le relazioni di base, lo stesso non si può dire per le operazioni di aggiornamento. Infatti, in molti casi non è possibile stabilire facilmente una semantica degli aggiornamenti sulle viste: dato un aggiornamento su una vista, in generale non esiste uno e un solo aggiornamento delle relazioni di base (che sono le uniche effettivamente memorizzate) che porti a un'istanza della base di dati cui corrisponda un'istanza della vista che sia il risultato effettivo dell'aggiornamento specificato sulla vista. Per esempio, consideriamo ancora la vista sopra discussa:

$$\pi_{\text{Impiegato}, \text{Direttore}}(\text{AFFERENZA} \bowtie \text{DIREZIONE})$$

L'inserimento di una tupla nella vista non corrisponde univocamente a un insieme di aggiornamenti sulle relazioni di base, in quanto non risulta disponibile alcun valore per l'attributo **Dipartimento**, che stabilisce la corrispondenza fra le due relazioni. Per questo motivo, molti sistemi pongono forti limitazioni riguardo alla possibilità di specificare aggiornamenti sulle viste.

Riprenderemo la discussione sulle viste e presenteremo ulteriori esempi nel Capitolo 5, in cui mostreremo come le viste vengono definite e utilizzate in SQL.

3.2 Calcolo relazionale

Con il termine *calcolo relazionale* si fa riferimento a una famiglia di linguaggi di interrogazione, basati sul calcolo dei predicati del primo ordine, che hanno la caratteristica di essere *dichiarativi*, cioè di specificare le proprietà del risultato delle interrogazioni, anziché la procedura seguita per generarlo. In contrasto, come abbiamo già visto, l'algebra relazionale è un linguaggio *procedurale*, in quanto le sue espressioni specificano passo passo (attraverso le singole applicazioni degli operatori) la costruzione del risultato.

Come abbiamo già accennato, esistono diverse versioni del calcolo relazionale e non è certamente possibile (né sarebbe sensato) in questa sede presentarle tutte. Illustreremo per prima la versione forse più vicina al calcolo dei predicati (il *calcolo relazionale su domini*), che presenta in modo naturale le caratteristiche originali di questi linguaggi, per poi discuterne le limitazioni e le modifiche che possono portare a linguaggi di interesse pratico. Presenteremo quindi il *calcolo*

su tuple con dichiarazioni di range, che costituisce la base per molti dei costrutti disponibili per le interrogazioni nel linguaggio SQL, che vedremo nel Capitolo 4.

Il presente paragrafo non ha alcun requisito di conoscenza pregressa del calcolo dei predicati del primo ordine. Concludiamo però l'introduzione al paragrafo con alcuni commenti che (potendo essere ignorati senza pregiudicare la comprensione dei concetti successivi) permettono a chi viceversa abbia già familiarità con tale formalismo di notare subito le differenze principali.

Rispetto alla usuale definizione del calcolo dei predicati del primo ordine, nel calcolo relazionale vi sono alcune semplificazioni e modifiche. In primo luogo, mentre nel calcolo dei predicati abbiamo in generale simboli di predicato (interpretati come relazioni su un universo fissato) e simboli di funzione (interpretati come funzioni), nel calcolo relazionale i simboli di predicato corrispondono alle relazioni nelle basi di dati (oltre ad altri predicati standard come uguaglianza e disuguaglianza) e non compaiono simboli di funzione perché non necessari (grazie alla struttura piatta delle relazioni).

Poi, nel calcolo dei predicati interessano di solito sia formule aperte (cioè con variabili libere), sia formule chiuse (con tutte variabili legate e nessuna libera). Le seconde hanno un valore di verità che, rispetto a una interpretazione, è fissato, mentre le prime hanno un valore che dipende dai valori associati alle variabili libere. Nel calcolo relazionale interessano prevalentemente formule aperte: un'interrogazione è definita per mezzo di una formula del calcolo e il risultato è costituito dalle tuple di valori che, sostituiti alle variabili libere, rendono vera la formula stessa.

Infine, per coerenza con gli argomenti già discussi riguardo al modello relazionale, utilizziamo nel calcolo relazionale una notazione non posizionale.

Segnaliamo ancora che, come detto nell'introduzione al capitolo, questo paragrafo e il successivo possono essere tralasciati senza pregiudicare la comprensione dei capitoli successivi.

3.2.1 Calcolo relazionale su domini

Le espressioni del calcolo relazionale su domini hanno la 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 rispetto a cui viene formulata l'interrogazione);
- x_1, \dots, x_k sono *variabili* (che per comodità supponiamo distinte, anche se non sarebbe strettamente necessario);
- f è una formula, secondo le seguenti regole:
 - Vi sono formule *atomiche*, di due tipi:
 - $R(A_1 : x_1, \dots, A_p : x_p)$, dove $R(A_1 \dots A_p)$ è uno schema di relazione e x_1, \dots, x_p sono variabili.

- $x\theta y$ o $x\theta c$, con x e y variabili, c costante e θ operatore di confronto ($=, \neq, \leq, \geq, >, <$).
- Se f_1 e f_2 sono formule, allora $f_1 \vee f_2$, $f_1 \wedge f_2$ e $\neg f_1$ sono formule; ove necessario, per disambiguare le precedenze, si possono usare le parentesi.
- Se f è una formula e x una variabile (che di solito compare in f , anche se non è strettamente necessario), allora $\exists x(f)$ e $\forall x(f)$ sono formule (\exists e \forall sono rispettivamente il quantificatore esistenziale e il quantificatore universale).

La lista di coppie $A_1 : x_1, \dots, A_k : x_k$ viene chiamata *target list* (cioè lista degli obiettivi) in quanto definisce la struttura del risultato, che è costituito dalla relazione su A_1, \dots, A_k che contiene le tuple i cui valori sostituiti a x_1, \dots, x_k rendono vera la formula rispetto a un'istanza di base di dati a cui l'espressione viene applicata. La definizione precisa del concetto di *valore di verità* di una formula va oltre gli obiettivi di questo testo, ma esso può essere illustrato informalmente. Seguiamo allo scopo la struttura sintattica delle formule (con “valore” intendiamo “elemento del dominio”, assumendo per semplicità che tutti gli attributi abbiano lo stesso dominio):

- una formula atomica $R(A_1 : x_1, \dots, A_p : x_p)$ è vera sui valori di x_1, \dots, x_p che formano una tupla della relazione r sullo schema R , nell'istanza di base di dati a cui l'espressione viene applicata;
- una formula atomica $x\theta y$ (per esempio $x > y$) è vera sui valori a_1 e a_2 se il confronto $a_1\theta a_2$ è soddisfatto (nell'esempio, se $a_1 > a_2$); analogamente per $x\theta c$;
- per congiunzione, disgiunzione e negazione valgono le usuali definizioni;
- per le formule con i quantificatori:
 - $\exists x(f)$ è vera se esiste almeno un valore a che, sostituito alla variabile x , rende vera f ;
 - $\forall x(f)$ è vera se, per ogni possibile valore a per la variabile x , la formula f risulta vera.

Mostriamo le espressioni del calcolo che realizzano le stesse interrogazioni che abbiamo già formulato in algebra relazionale nel Paragrafo 3.1.6, con riferimento allo schema di basi di dati sulle relazioni:

IMPIEGATI(Matricola, Nome, Età, Stipendio)
SUPERVISIONE(Capo, Impiegato)

Cominciamo in effetti con una interrogazione ancora più semplice di quelle già viste: *trovare matricola, nome, età e stipendio degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*, che formuleremmo in algebra con una selezione:

$\sigma_{\text{Stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI})$

Nel calcolo relazionale su domini abbiamo una formulazione altrettanto semplice, con l'espressione:

$$\{\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge s > 40\} \quad (3.6)$$

Notiamo la presenza di due condizioni nella formula (connesse dall'operatore logico di *and*, indicato con \wedge):

- la prima, $\text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s)$, richiede che i valori rispettivamente sostituiti alle variabili m, n, e, s costituiscano una tupla della relazione IMPIEGATI ;
- la seconda richiede che il valore della variabile s sia maggiore di 40.

Stante il significato dell'operatore di *and*, il risultato è costituito dai valori sulle quattro variabili che provengono dalle tuple di IMPIEGATI per le quali il valore dello stipendio sia maggiore di 40.

L'interrogazione appena più complessa che richiede solo alcuni degli attributi: *trovare matricola, nome ed età degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*, e che quindi in algebra abbiamo formulato con una proiezione (Espressione 3.1):

$$\pi_{\text{Matr}, \text{Nome}, \text{Età}}(\sigma_{\text{Stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI}))$$

può essere formulata in vari modi. Il più diretto, anche se non il più semplice, è basato sull'osservazione che ciò che ci interessa sono i valori di matricola, nome ed età che partecipano a tuple per le quali lo stipendio è maggiore di 40, cioè per i quali esiste un valore dello stipendio, maggiore di 40, che permetta di completare una tupla della relazione IMPIEGATI . Possiamo quindi usare un quantificatore esistenziale:

$$\{\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e \mid \\ \exists s (\text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge s > 40)\} \quad (3.7)$$

In effetti, l'uso del quantificatore non è necessario, poiché scrivendo semplicemente

$$\{\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge s > 40\} \quad (3.8)$$

otteniamo lo stesso risultato: le tuple con valori m, n, e che soddisfano la formula, cioè per le quali esiste un valore di s che permette di completare la tupla di IMPIEGATI e soddisfa la condizione $s > 40$.

La stessa struttura si estende a interrogazioni più complesse, che in algebra relazionale abbiamo formulato per mezzo dell'operatore di join: avremo bisogno di più condizioni atomiche, una per ciascuna relazione coinvolta, e possiamo utilizzare variabili ripetute per indicare le condizioni di join. Per esempio, l'interrogazione che vuole trovare le matricole dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro, formulata in algebra con l'Espressione 3.2:

$$\pi_{\text{Capo}}(\text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Impiegato}=\text{Matr}} \sigma_{\text{Stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI}))$$

può essere formulata nel calcolo con:

$$\{\text{Capo} : c \mid \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge s > 40\} \quad (3.9)$$

dove la variabile m , comune alle due condizioni atomiche, realizza la stessa correlazione fra tuple specificata nel join. Anche qui potremmo utilizzare quantificatori esistenziali per tutte le variabili che non compaiono nella target list, ma, come nel caso precedente, ciò non è necessario e appesantirebbe la formulazione.

Se in un'espressione è richiesto il coinvolgimento di tuple diverse di una stessa relazione (in algebra, il join di una relazione con se stessa), è sufficiente includere nella formula più condizioni sullo stesso predicato, con variabili diverse. L'interrogazione che vuole trovare nome e stipendio dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro, realizzata in algebra con l'Espressione 3.3:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{NomeC}, \text{StipC}}(\rho_{\text{MatrC}, \text{NomeC}, \text{StipC}, \text{EtàC} \leftarrow \text{Matr}, \text{Nome}, \text{Stip}, \text{Età}}(\text{IMPIEGATI}) \\ \bowtie_{\text{MatrC}=\text{Capo}} \text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Impiegato}=\text{Matr}} \sigma_{\text{stipendio} > 40}(\text{IMPIEGATI})) \end{aligned}$$

viene formulata nel calcolo richiedendo, per ciascuna tupla del risultato, l'esistenza di tre tuple, una relativa a un impiegato che guadagna più di 40 mila euro, una seconda che indica chi è il suo capo e l'ultima (di nuovo nella relazione IMPIEGATI) che fornisce le informazioni di dettaglio sul capo:

$$\begin{aligned} \{\text{NomeC} : nc, \text{StipC} : sc \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge s > 40 \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : c, \text{Nome} : nc, \text{Età} : ec, \text{Stipendio} : sc)\} \quad (3.10) \end{aligned}$$

La successiva interrogazione, trovare gli impiegati che guadagnano più del rispettivo capo, mostrando matricola, nome e stipendio di ciascuno di essi e del capo, differisce dalla precedente solo per la necessità di confrontare valori dello stesso

attributo provenienti da tuple diverse (Espressione 3.4 in algebra), il che non causa problemi particolari:

$$\{\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Stip} : s, \text{MatrC} : c, \text{NomeC} : nc, \text{StipC} : sc \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stip} : s) \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : c, \text{Nome} : nc, \text{Età} : ec, \text{Stip} : sc) \wedge s > sc\} \quad (3.11)$$

L'ultimo esempio richiede una soluzione più complessa. Dobbiamo *trovare matricola e nome dei capi i cui impiegati guadagnano tutti più di 40 mila euro*. In algebra abbiamo utilizzato una differenza (Espressione 3.5):

$$\pi_{\text{Matr}, \text{Nome}}(\text{IMPIEGATI} \bowtie_{\text{Matr}=\text{Capo}} \\ (\pi_{\text{Capo}}(\text{SUPERVISIONE}) - \\ \pi_{\text{Capo}}(\text{SUPERVISIONE} \bowtie_{\text{Imp}=\text{Matr}} \sigma_{\text{Stip} \leq 40}(\text{IMPIEGATI}))))$$

Nel calcolo dobbiamo utilizzare un quantificatore. Seguendo la stessa strada seguita nell'algebra (che genera l'insieme richiesto considerando tutti i capi esclusi quelli che hanno almeno un impiegato che guadagna meno di 40 mila euro), possiamo utilizzare un quantificatore esistenziale negato (in effetti ne usiamo diversi, uno per ciascuna variabile coinvolta), trovando i capi per i quali non esiste un impiegato che guadagna non più di 40 mila euro:

$$\{\text{Matr} : c, \text{Nome} : n \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : c, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stip} : s) \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge \\ \neg \exists m' (\exists n' (\exists e' (\exists s' (\text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m', \text{Nome} : n', \text{Età} : e', \text{Stip} : s') \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m', \text{Capo} : c) \wedge s' \leq 40))))\} \quad (3.12)$$

In alternativa, possiamo utilizzare quantificatori universali:

$$\{\text{Matr} : c, \text{Nome} : n \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : c, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stip} : s) \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge \\ \forall m' (\forall n' (\forall e' (\forall s' (\neg (\text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m', \text{Nome} : n', \text{Età} : e', \text{Stip} : s') \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m', \text{Capo} : c) \vee s' > 40))))\} \quad (3.13)$$

Questa espressione seleziona un capo c se, per ogni quadrupla di valori m', n', e', s' relativi a impiegati di c , si ha che s' è maggiore di 40. La struttura $\neg f \vee g$ corrisponde alla condizione “se f allora g ” (nel nostro caso, “se m' è un impiegato avente c come capo, allora lo stipendio di m' è maggiore di 40”), in quanto è vera in tutti i casi escluso quello in cui f è vera e g è falsa.

Vale la pena di notare che le leggi di Morgan che valgono per gli operatori dell'algebra di Boole, in modo che:

$$\neg(f \wedge g) = \neg(f) \vee \neg(g)$$

$$\neg(f \vee g) = \neg(f) \wedge \neg(g)$$

valgono, *mutatis mutandis*, anche per i quantificatori:

$$\exists x(f) = \neg(\forall x(\neg(f)))$$

$$\forall x(f) = \neg(\exists x(\neg(f)))$$

In effetti, le due formulazioni che abbiamo mostrato per l'ultima interrogazione possono essere ottenute l'una dall'altra per mezzo di queste equivalenze. Più in generale, possiamo trarre anche la conseguenza che è possibile usare una forma ridotta del calcolo (ma senza perdita di potere espressivo), in cui compaiono la negazione, un solo connettivo (per esempio la congiunzione) e un solo quantificatore (per esempio l'esistenziale, che è di più naturale comprensione).

3.2.2 Pregi e difetti del calcolo su domini

Il calcolo relazionale presenta, come dimostrato dagli esempi, aspetti interessanti, soprattutto per la dichiaratività, ma anche alcuni difetti e limitazioni, che è opportuno discutere, per arrivare a versioni più interessanti e, soprattutto, significative dal punto di vista pratico.

In primo luogo, notiamo che il calcolo ammette espressioni che hanno veramente poco senso, almeno dal punto di vista pratico. Per esempio, l'espressione:

$$\{A_1 : x_1, A_2 : x_2 \mid R(A_1 : x_1) \wedge x_2 = x_2\}$$

produce come risultato una relazione su A_1 e A_2 costituita da tuple il cui valore su A_1 compare nella relazione R e il valore su A_2 è un qualunque valore del dominio (in quanto non viene posta su di esso alcuna condizione, dato che la condizione $x_2 = x_2$ è sempre vera). In particolare, se cambia il dominio, per esempio gli interi compresi fra 0 e 99 o gli interi compresi fra 0 e 999, cambia anche la risposta all'interrogazione. Se il dominio è infinito, anche la risposta è infinita, il che è indesiderabile. Un discorso analogo può essere fatto per l'espressione

$$\{A_1 : x_1 \mid \neg(R(A_1 : x_1))\}$$

il cui risultato contiene i valori del dominio che non compaiono in R . Al tempo stesso, possiamo notare che, per tutte le espressioni viste in precedenza (che tra l'altro sono significative da un punto di vista pratico), il valore, su un'istanza della base di dati, è lo stesso qualunque sia il dominio (purché contenga almeno i valori presenti nell'istanza e quelli nell'espressione).

Pertanto, può essere utile introdurre il seguente concetto: un'espressione di un linguaggio di interrogazione è *indipendente dal dominio* se il suo risultato, su ciascuna istanza di base di dati, non varia al variare del dominio rispetto al quale l'espressione è valutata. Un linguaggio è indipendente dal dominio se tutte le sue espressioni sono indipendenti dal dominio. Il requisito dell'indipendenza dal dominio è chiaramente fondamentale per i linguaggi reali, perché nella maggior parte dei casi le espressioni dipendenti dal dominio non hanno utilità pratica e possono produrre risultati di grandi dimensioni.

Sulla base delle espressioni viste prima, possiamo dire che il calcolo relazionale non è indipendente dal dominio. Al tempo stesso, si può vedere facilmente che l'algebra relazionale è indipendente dal dominio, perché costruisce i risultati a partire dalle relazioni nella base di dati, senza mai far riferimento ai domini degli attributi (i valori nei risultati compaiono tutti nell'istanza cui l'espressione viene applicata).

Se a questo punto diciamo che due linguaggi di interrogazione sono *equivalenti* quando per ogni espressione dell'uno esiste un'espressione dell'altro a essa equivalente e viceversa, possiamo affermare che algebra e calcolo non sono equivalenti, perché il calcolo, al contrario dell'algebra, ammette espressioni dipendenti dal dominio. Peraltro, se limitiamo la nostra attenzione al sottoinsieme del calcolo relazionale costituito dalle sole espressioni indipendenti dal dominio, otteniamo un linguaggio equivalente all'algebra relazionale. Infatti:

- per ogni espressione del calcolo relazionale che sia indipendente dal dominio esiste un'espressione dell'algebra relazionale equivalente a essa;
- per ogni espressione dell'algebra relazionale esiste un'espressione del calcolo relazionale equivalente a essa (e di conseguenza indipendente dal dominio).

La dimostrazione di equivalenza va oltre gli obiettivi di questo testo, ma possiamo accennare che è sostanzialmente costruttiva, basata, in ciascuno dei due versi, su una induzione sulla struttura dell'espressione. In particolare, esiste una corrispondenza fra selezioni e condizioni semplici, fra proiezioni e quantificazioni esistenziali, fra join e congiunzioni, fra unioni e disgiunzioni. I quantificatori universali possono essere ignorati in quanto ricondotti, attraverso le leggi di de Morgan, a quantificatori esistenziali.

Oltre al problema della possibile dipendenza dal dominio, il calcolo relazionale presenta un altro svantaggio, quello di richiedere numerose variabili, spesso una per ciascun attributo di ciascuna relazione coinvolta. Quando poi sono necessarie quantificazioni, come abbiamo visto negli esempi, anche i quantificatori si moltiplicano. In effetti, le uniche realizzazioni pratiche di linguaggi almeno in parte basati sul calcolo su domini, che vanno sotto il nome di *Query-by-Example* (QBE), utilizzano un'interfaccia grafica che libera l'utente dalla necessità di specificare dettagli tediosi. Vedremo nell'appendice dedicata al sistema Access una versione del QBE.

Per superare i limiti del calcolo su domini, è stata proposta un'altra versione del calcolo relazionale, in cui le variabili, anziché denotare singoli valori, denotano tuple. Molto spesso il numero di variabili si riduce notevolmente, perché si

ha una variabile per ciascuna relazione coinvolta. Peraltro, diventa poi necessario associare una struttura (insieme di attributi su cui è definita) a ciascuna variabile e realizzare opportunamente le operazioni di confronto (in modo che facciano riferimento a singoli valori, cioè a singole componenti delle tuple denotate dalle variabili). Potremmo a questo punto definire un *calcolo relazionale su tuple* perfettamente corrispondente al calcolo su domini, ed equivalente a esso, quindi anche con la limitazione della dipendenza dal dominio. Preferiamo però omettere la presentazione di questo linguaggio, per passare direttamente a un linguaggio che, recependo le caratteristiche del calcolo su tuple, superi al tempo stesso il difetto della dipendenza dal dominio, attraverso la diretta associazione delle variabili alle relazioni della base di dati. A esso è dedicato il paragrafo seguente.

3.2.3 Calcolo su tuple con dichiarazioni di range

Le espressioni del *calcolo su tuple con dichiarazioni di range* hanno la forma

$$\{\mathcal{T} \mid \mathcal{L} \mid f\}$$

dove:

\mathcal{T} è la *target list* (lista degli obiettivi dell'interrogazione), con elementi del tipo $Y : x.Z$ (o semplicemente $x.Z$, abbreviazione per $Z : x.Z$), con x variabile e Y e Z sequenze di attributi (di pari lunghezza); gli attributi in Z devono comparire nello schema della relazione che costituisce il *range* (cioè il campo di variabilità) di x ; si può anche scrivere $x.*$, come abbreviazione di $X : x.X$, dove il range della variabile x è una relazione sull'insieme di attributi X ;

\mathcal{L} è la *range list*, che elenca (ciascuna una e una sola volta) le variabili libere della formula f con i relativi range: infatti, \mathcal{L} è una lista di elementi del tipo $x(R)$, con x variabile e R nome di relazione;

f è una formula con:

- atomi del tipo $x.A\theta c$ o $x_1.A_1\theta x_2.A_2$, che confrontano, rispettivamente, il valore di x sull'attributo A con la costante c e il valore di x_1 su A_1 con quello di x_2 su A_2 ;
- connettivi come nel calcolo su domini;
- quantificatori che associano i range alle relative variabili:

$$\exists x(R)(f) \quad \forall x(R)(f)$$

Intuitivamente, $\exists x(R)(f)$ significa “esiste nella relazione R una tupla x che soddisfa la formula f ”.

Va sottolineato il ruolo giocato dalle dichiarazioni di range (nella range list e nelle quantificazioni), che, introducendo le variabili, specificano che esse possono assumere come valore solo tuple nella relazione rispettivamente associata. Perciò, questo linguaggio non ha bisogno di condizioni atomiche come quelle viste nel calcolo su domini, che specificano l'appartenenza di una tupla a una relazione.

Mostriamo come possono essere espresse in questo linguaggio le varie interrogazioni che abbiamo già formulato in algebra e in calcolo su domini.

La prima interrogazione, che richiede *matricola, nome, età e stipendio degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*, diventa molto compatta e chiara (cfr. con l'Espressione 3.6):

$$\{i.* \mid i(\text{IMPIEGATI}) \mid i.\text{Stipendio} > 40\} \quad (3.14)$$

Per produrre solo alcuni degli attributi, *matricola, nome ed età degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro* (Espressione 3.1 in algebra e 3.8 in calcolo su domini), è sufficiente modificare la target list:

$$\{i.(\text{Matr}, \text{Nome}, \text{Età}) \mid i(\text{IMPIEGATI}) \mid i.\text{Stipendio} > 40\} \quad (3.15)$$

Per interrogazioni che coinvolgono più relazioni, sono necessarie più variabili, con specifica delle condizioni di correlazione sugli attributi. L'interrogazione che vuole *trovare le matricole dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro* (3.2 in algebra e 3.9 in calcolo su domini), può essere formulata con:

$$\begin{aligned} &\{s.\text{Capo} \mid i(\text{IMPIEGATI}), s(\text{SUPERVISIONE}) \mid \\ &\quad i.\text{Matr} = s.\text{Impiegato} \wedge i.\text{Stipendio} > 40\} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Notiamo come la formula preveda la congiunzione di due condizioni atomiche, una che corrisponde alla condizione di join ($i.\text{Matr} = s.\text{Impiegato}$) e l'altra alla solita condizione di selezione ($i.\text{Stipendio} > 40$).

Nel caso delle espressioni corrispondenti al join di una relazione con se stessa, abbiamo più variabili aventi la stessa relazione come range. L'interrogazione: *trovare nome e stipendio dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro* (Espressioni 3.3 e 3.10), può essere realizzata con l'espressione:

$$\begin{aligned} &\{\text{NomeC}, \text{StipC} : i'.(\text{Nome}, \text{Stip}) \mid \\ &\quad i'(\text{IMPIEGATI}), s(\text{SUPERVISIONE}), i(\text{IMPIEGATI}) \mid \\ &\quad i'.\text{Matr} = s.\text{Capo} \wedge s.\text{Impiegato} = i.\text{Matr} \wedge i.\text{Stipendio} > 40\} \end{aligned} \quad (3.17)$$

In modo analogo troviamo anche *gli impiegati che guadagnano più del rispettivo capo, mostrando matricola, nome e stipendio di ciascuno di essi e del capo*, (3.4 in algebra e 3.11 in calcolo su domini):

$$\begin{aligned} &\{i.(\text{Nome}, \text{Matr}, \text{Stip}), \text{NomeC}, \text{MatrC}, \text{StipC} : i'.(\text{Nome}, \text{Matr}, \text{Stip}) \mid \\ &\quad i(\text{IMPIEGATI}), s(\text{SUPERVISIONE}), i'(\text{IMPIEGATI}) \mid \\ &\quad i.\text{Matr} = s.\text{Impiegato} \wedge s.\text{Capo} = i'.\text{Matr} \wedge i.\text{Stipendio} > i'.\text{Stipendio}\} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Le interrogazioni con i quantificatori mostrano appieno la maggiore sinteticità e praticità del calcolo su tuple con dichiarazioni di range. L'interrogazione che richiede di *trovare matricola e nome dei capi i cui impiegati guadagnano tutti più di 40 mila euro* (Espressione 3.5 in algebra ed Espressione 3.12 o 3.13 in calcolo

su domini) si esprime con un numero assai inferiore di quantificatori e variabili. Abbiamo di nuovo varie alternative, sulla base dell'uso dei due quantificatori e della negazione. Con quantificatori universali:

$$\{i.(\text{Matr}, \text{Nome}) \mid i(\text{IMPIEGATI}), s(\text{SUPERVISIONE}) \mid \\ i.\text{Matr} = s.\text{Capo} \wedge \forall i'(\text{IMPIEGATI})(\forall s'(\text{SUPERVISIONE}) \\ (\neg(s.\text{Capo} = s'.\text{Capo} \wedge s'.\text{Impiegato} = i'.\text{Matr}) \vee i'.\text{Stipendio} > 40))\} \quad (3.19)$$

Con quantificatori esistenziali negati:

$$\{i.(\text{Matr}, \text{Nome}) \mid i(\text{IMPIEGATI}), s(\text{SUPERVISIONE}) \mid \\ i.\text{Matr} = s.\text{Capo} \wedge \neg(\exists i'(\text{IMPIEGATI})(\exists s'(\text{SUPERVISIONE}) \\ (s.\text{Capo} = s'.\text{Capo} \wedge s'.\text{Impiegato} = i'.\text{Matr} \wedge i'.\text{Stipendio} \leq 40)))\} \quad (3.20)$$

Purtroppo, il calcolo su tuple con dichiarazioni di range non permette di esprimere tutte le interrogazioni che possono essere formulate in algebra relazionale (o, equivalentemente, nel calcolo su domini). In particolare, le interrogazioni i cui risultati possono provenire indifferentemente da due o più relazioni (che in algebra realizziamo con l'operatore di unione) non possono essere espresse in questa versione del calcolo: infatti, i risultati sono costruiti a partire da tutte le variabili libere, i cui range sono definiti nella target list, e ogni variabile ha come range una sola relazione. Consideriamo per esempio la semplice unione di due relazioni sugli stessi attributi: date $R_1(AB)$ e $R_2(AB)$, vogliamo formulare l'interrogazione che in algebra esprimeremmo con l'unione di R_1 e R_2 . Se l'espressione avesse due variabili libere, allora ogni tupla del risultato dovrebbe corrispondere a una tupla di ciascuna delle relazioni, il che non è necessario, perché l'unione richiede alle tuple nel risultato di comparire in almeno uno degli operandi, non necessariamente in entrambi. Se viceversa l'espressione avesse una sola variabile libera, questa dovrebbe far riferimento a una sola delle relazioni, senza acquisire tuple dall'altra per il risultato.

Per questo motivo, SQL, il linguaggio pratico effettivamente utilizzato per l'interrogazione di basi di dati, che vedremo in dettaglio nel Capitolo 4, e che è basato sul calcolo su tuple con dichiarazioni di range, prevede un costrutto esplicito di unione, per esprimere interrogazioni che altrimenti risulterebbero non esprimibili.

Notiamo che se permettessimo di associare a una variabile un range costituito da più relazioni, risolveremmo il problema della semplice unione di due relazioni, ma non riusciremmo comunque a formulare unioni complesse i cui operandi siano sottoespressioni non direttamente corrispondenti a schemi di relazioni. Per esempio, date due relazioni $R_1(ABC)$ e $R_2(BCD)$, l'unione delle loro proiezioni su BC :

$$\pi_{BC}(R_1) \cup \pi_{BC}(R_2)$$

non potrebbe essere espressa, perché le due relazioni hanno schemi diversi, quindi non può una sola variabile essere associata a entrambe.

Sottolineiamo che, mentre l'operatore di unione non è esprimibile in questa versione del calcolo relazionale, gli operatori di intersezione e differenza risultano esprimibili.

- L'intersezione richiede che le tuple del risultato appartengano a entrambi gli operandi, quindi si può costruire il risultato a partire da una relazione, richiedendo l'esistenza di una tupla uguale nell'altra relazione; per esempio, l'intersezione:

$$\pi_{BC}(R_1) \cap \pi_{BC}(R_2)$$

può essere espressa con:

$$\{x_1.BC \mid x_1(R_1) \mid \exists x_2(R_2)(x_1.B = x_2.B \wedge x_1.C = x_2.C)\}$$

- In modo simile, la differenza, che produce le tuple di un operando non contenute nell'altro, può essere specificata richiedendo appunto le tuple del minuendo che non compaiono nel sottraendo; per esempio:

$$\pi_{BC}(R_1) - \pi_{BC}(R_2)$$

può essere espressa con:

$$\{x_1.BC \mid x_1(R_1) \mid \neg \exists x_2(R_2)(x_1.B = x_2.B \wedge x_1.C = x_2.C)\}$$

3.3 Datalog

Concludiamo il capitolo discutendo brevemente un altro linguaggio di interrogazione per basi di dati che ha riscosso un notevole interesse nella comunità scientifica a partire dalla metà degli anni Ottanta, pur non raggiungendo la diffusione a livello di tecnologia disponibile sul mercato. L'idea fondamentale su cui si basa il linguaggio *Datalog* è quella di adattare alle basi di dati il linguaggio di programmazione logica *Prolog*. Non abbiamo ovviamente qui la possibilità di illustrare in dettaglio il Datalog, né tantomeno il Prolog, ma possiamo indicare gli aspetti più interessanti, soprattutto in termini di confronto con gli altri linguaggi visti in questo capitolo.

Sintatticamente, nella versione base, il Datalog è una versione semplificata del Prolog,⁴ linguaggio basato sul calcolo dei predicati del primo ordine, ma con un approccio diverso rispetto al calcolo relazionale discusso in precedenza. Abbiamo in Datalog due tipi di predicati:

- i predicati *estensionali*, che corrispondono alle relazioni nella base di dati;
- i predicati *intensionali*, che sono specificati (ma non materializzati) per mezzo di regole logiche (le *regole Datalog* che vedremo fra poco). Concettualmente, questi predicati definiscono viste (relazioni virtuali) sulla base di dati.

⁴Per chi conosce il Prolog, possiamo dire che in Datalog non sono previsti simboli di funzione.

Le regole Datalog hanno la forma:

testa \leftarrow *corpo*

in cui:

- la *testa* è un predicato atomico simile a quelli utilizzati nel calcolo relazionale su domini: $R(A_1 : a_1, \dots, A_p : a_p)$, dove però ciascuno degli a_i può essere una costante o una variabile;
- il *corpo* è una lista di condizioni atomiche dello stesso tipo e/o di condizioni di confronto fra variabili o fra variabili e costanti.

Sono imposte le seguenti condizioni:

- i prediciati estensionali possono comparire solo nel corpo delle regole;
- se una variabile compare nella testa di una regola, allora deve comparire anche nel corpo della stessa regola;
- se una variabile compare in un atomo di confronto, allora deve comparire anche in un atomo nel corpo della stessa regola.

La prima condizione garantisce che non vi sia il tentativo di ridefinire le relazioni memorizzate nella base di dati, mentre le altre due hanno lo scopo di garantire una proprietà che è analoga (in questo contesto) all'indipendenza dal dominio discussa a proposito del calcolo relazionale.

Una caratteristica fondamentale del Datalog, che lo distingue dagli altri linguaggi finora visti, è la *ricorsività*: è possibile che un predicato intensionale sia definito in termini di se stesso (direttamente o indirettamente). Torneremo su questo aspetto fra poco.

Le interrogazioni Datalog sono specificate semplicemente per mezzo di atomi $R(A_1 : a_1, \dots, A_p : a_p)$ (preceduti talvolta da un punto interrogativo “?”, per sottolineare appunto che si tratta di interrogazioni), che producono come risultato le tuple della relazione R che possono essere ottenute sostituendo correttamente le variabili. Per esempio, l'interrogazione:

?IMPIEGATI(*Matr* : *m*, *Nome* : *n*, *Età* : 30, *Stipendio* : *s*)

restituisce gli impiegati che hanno trenta anni. Per costruire interrogazioni più complesse è necessario ricorrere a regole. Per esempio, per *trovare le matricole dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro*, formulata in algebra con l'Espressione 3.2 e in calcolo su domini con la 3.9, definiamo un predicato intensionale CAPIDERICCHI, con la regola:

CAPIDERICCHI(*Capo* : *c*) \leftarrow
IMPIEGATI(*Matr* : *m*, *Nome* : *n*, *Età* : *e*, *Stipendio* : *s*),
SUPERVISIONE(*Impiegato* : *m*, *Capo* : *c*), *s* > 40 (3.21)

Per valutare un'interrogazione come questa (come qualunque interrogazione che coinvolga prediciati intensionali), è necessario definire la semantica delle regole.

L'idea di base è che il corpo di una regola va considerato come la congiunzione degli atomi che in esso compaiono, quindi la regola può essere valutata come un'espressione del calcolo su domini (in cui appunto il corpo, sostituendo le virgole con *and*, diventa la formula, e la testa, a parte il nome del predicato intensionale, la target list). La regola 3.21 definisce la relazione intensionale CAPIDEIRICCHI come costituita dalle stesse tuple che compaiono nel risultato dell'Espressione 3.9 del calcolo, che ha appunto la struttura sopra citata:

$$\{ \text{Capo} : c \mid \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stipendio} : s) \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge s > 40 \}$$

In modo analogo possiamo scrivere regole (con predicati intensionali ausiliari) per molte delle interrogazioni che abbiamo visto nei paragrafi precedenti. In assenza di definizioni ricorsive, la semantica del Datalog è quindi molto semplice, nel senso che i vari predicati intensionali possono essere calcolati per mezzo di espressioni simili a quelle del calcolo. In effetti, con la definizione finora illustrata per il Datalog, non è possibile formulare tutte le interrogazioni esprimibili nel calcolo (e nell'algebra), perché non è disponibile un costrutto che corrisponda al quantificatore universale (o alla negazione nel senso pieno del termine). In effetti, si può dimostrare che:

- il Datalog non ricorsivo è equivalente al calcolo su domini senza negazione né quantificazione universale.⁵

Per far acquisire al Datalog lo stesso potere espressivo del calcolo è necessario aggiungere alla struttura base la possibilità di includere nel corpo, non solo condizioni atomiche, ma anche negazioni di condizioni atomiche (che indicheremo con il simbolo NOT).

Solo in questo modo è possibile esprimere l'interrogazione che richiede di trovare matricola e nome dei capi i cui impiegati guadagnano tutti più di 40 mila euro, Espressione 3.12:

$$\{ \text{Matr} : c, \text{Nome} : n \mid \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : c, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stip} : s) \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c) \wedge \\ \neg \exists m' (\exists n' (\exists e' (\exists s' (\text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m', \text{Nome} : n', \text{Età} : e', \text{Stip} : s') \wedge \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m', \text{Capo} : c) \wedge s' \leq 40)))) \}$$

Procediamo definendo un predicato per i capi che non soddisfano la condizione:

$$\text{CAPIDINONRICCHI}(\text{Capo} : c) \leftarrow \\ \text{SUPERVISIONE}(\text{Impiegato} : m, \text{Capo} : c), \\ \text{IMPIEGATI}(\text{Matr} : m, \text{Nome} : n, \text{Età} : e, \text{Stip} : s), s \leq 40$$

⁵Per semplicità, in questo paragrafo, usiamo il termine “calcolo relazionale su domini” per riferirci, secondo la discussione già fatta nel Paragrafo 3.2.2, al “sottoinsieme del calcolo costituito dalle sole espressioni indipendenti dal dominio”.

quindi utilizziamo questo predicato in forma negata:

```
CAPI SOLO DI RICCHI(Matr : c, Nome : n) ←  
    IMPIEGATI(Matr : c, Nome : n, Età : e, Stip : s),  
    SUPERVISIONE(Impiegato : m, Capo : c),  
    NOT CAPI DI NON RICCHI(Capo : c)
```

Si può dimostrare che:

- il Datalog non ricorsivo con negazione è equivalente al calcolo su domini.

Maggiore espressività viene ottenuta utilizzando infine regole ricorsive. Per esempio, sempre sulla base di dati con le relazioni IMPIEGATI e SUPERVISIONE, è possibile definire il predicato intensionale SUPERIORE, che descrive per ogni impiegato, il capo, il capo del capo, e così via, senza limiti. Allo scopo, abbiamo bisogno di due regole:

```
SUPERIORE(Impiegato : i, SuperCapo : c) ←  
    SUPERVISIONE(Impiegato : i, Capo : c)
```

```
SUPERIORE(Impiegato : i, SuperCapo : c) ←  
    SUPERVISIONE(Impiegato : i, Capo : c'),  
    SUPERIORE(Impiegato : c', SuperCapo : c)
```

La seconda regola è in effetti ricorsiva, in quanto definisce la relazione SUPERIORE in termini di se stessa. Per valutare questa regola, non possiamo procedere come visto finora, perché una singola valutazione del corpo non sarebbe sufficiente per calcolare completamente il predicato ricorsivo. Esistono varie teniche per definire formalmente la semantica in questo caso, ma la loro discussione sarebbe certamente oltre gli scopi di questo testo. Accenniamo alla modalità più semplice, che si basa sulla tecnica di *punto fisso* (dall'inglese *fixpoint*): le regole relative al predicato intensionale ricorsivo vengono valutate più volte, interrompendo il processo quando l'ultima iterazione non genera nuovi risultati. Nel nostro caso, la prima iterazione genererebbe una relazione SUPERIORE uguale alla relazione estensionale SUPERVISIONE, contenente cioè i capi degli impiegati. Al secondo passo verrebbero aggiunti i capi dei capi, al terzo i capi dei capi dei capi, e così via. È evidente che interrogazioni di questo genere non possono essere formulate in algebra relazionale (e analogamente in calcolo) perché non avremmo modo di specificare quante volte deve essere eseguito il join della relazione SUPERVISIONE con se stessa, mentre l'algebra ci richiede espressioni predefinite.

Per concludere, citiamo semplicemente il fatto che regole ricorsive con la negazione sono difficili da valutare, perché il punto fisso può non essere raggiungibile: perciò vengono imposte limitazioni alla presenza di negazione nelle regole ricorsive. In ogni caso, è possibile individuare un sottoinsieme ben utilizzabile del Datalog ricorsivo con la negazione che è strettamente più espressivo del calcolo e dell'algebra relazionale, in quanto:

- per ogni espressione dell'algebra esiste un'espressione del Datalog con negazione equivalente a essa;
- esistono espressioni del Datalog ricorsivo per le quali non esistono espressioni equivalenti dell'algebra e del calcolo.

Note bibliografiche

I concetti illustrati in questo capitolo possono essere approfonditi sugli stessi testi già segnalati con riferimento al capitolo precedente: quelli di Elmasri e Navathe [32] e Silberchatz, Korth e Sudarshan [59] per trattazioni generali e quelli di Atzeni, Batini e De Antonellis [4], Ullman [67], Maier [44], Atzeni e De Antonellis [6], Abiteboul, Hull e Vianu [1] per approfondimenti più formali e teorici. Per il Datalog, si può consultare il testo di Ceri, Gottlob e Tanca [17].

Soluzioni sul sito <http://www.ateneonline.it/atzeni>

Esercizi

- 3.1** Considerare una relazione $R(\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, D, E)$. Indicare quali delle seguenti proiezioni hanno certamente lo stesso numero di ennuple di R :
1. $\pi_{ABCD}(R)$
 2. $\pi_{AC}(R)$
 3. $\pi_{BC}(R)$
 4. $\pi_C(R)$
 5. $\pi_{CD}(R)$.
- 3.2** Considerare le relazioni $R_1(\underline{A}, B, C)$ e $R_2(\underline{D}, E, F)$ aventi rispettivamente cardinalità N_1 e N_2 . Assumere che sia definito un vincolo di integrità referenziale fra l'attributo C di R_1 e la chiave D di R_2 . Indicare la cardinalità di ciascuno dei seguenti join (specificare l'intervallo nel quale essa può variare):
1. $R_1 \bowtie_{A=D} R_2$
 2. $R_1 \bowtie_{C=D} R_2$
 3. $R_1 \bowtie_{A=F} R_2$
 4. $R_1 \bowtie_{B=E} R_2$
- 3.3** Considerare le seguenti relazioni (tutte senza valori nulli):
- $R_1(\underline{A}, B, C)$, con vincolo di integrità referenziale fra C e R_2 e con cardinalità $N_1 = 100$
 - $R_2(\underline{D}, E, F)$, con vincolo di integrità referenziale fra F e R_3 e con cardinalità $N_2 = 200$
 - $R_3(\underline{G}, H, I)$, con cardinalità $N_3 = 50$

Indicare la cardinalità del risultato di ciascuna delle seguenti espressioni (specificando l'intervallo nel quale essa può variare):

1. $\pi_{AB}(R_1)$

2. $\pi_E(R_2)$
3. $\pi_{BC}(R_1)$
4. $\pi_G(R_3)$
5. $R_1 \bowtie_{A=D} R_2$
6. $R_1 \bowtie_{C=D} R_2$
7. $R_3 \bowtie_{I=A} R_1$
8. $(R_3 \bowtie_{I=A} R_1) \bowtie_{C=D} R_2$
9. $(R_3 \bowtie_{I=A} R_1) \bowtie_{C=E} R_2$

3.4 Date le relazioni $R_1(A, B, C)$, $R_2(E, F, G, H)$, $R_3(J, K)$, $R_4(L, M)$ aventi rispettivamente cardinalità N_1 , N_2 , N_3 e N_4 quali vincoli di chiave e di integrità referenziale vanno definiti (se possibile) affinché nei casi seguenti valgano le condizioni indicate?

1. $|R_1 \bowtie_{B=G} R_2| = N_1$
2. $|R_2 \bowtie_{G=B} R_1| = N_1$
3. $|\pi_J(R_3)| = N_3$
4. $|\pi_J(R_3)| < N_3$
5. $|\pi_L(R_4) \bowtie_{L=J} R_3| = N_4$
6. $|R_4 \bowtie_{M=K} R_3| = N_3$
7. $|R_1 \bowtie_{BC=GK} R_2| = N_2$
8. $|R_1 \bowtie_{BC=GH} R_2| = N_1$
9. $0 \leq |R_1 \bowtie_{A=F} R_2| \leq N_1 \cdot N_2$
10. $|R_1 \bowtie_{A=F} R_2| = N_1 \cdot N_2$

3.5 Con riferimento ai punti 1 e 2 dell'esercizio precedente, considerando i vincoli di integrità imposti in ogni punto spiegare le differenze che si avrebbero nei risultati delle operazioni nel caso di join destro e join sinistro e come cambia di conseguenza la cardinalità del risultato.

3.6 Considerare lo schema di base di dati contenente le relazioni:

FILM(CodiceFilm, Titolo, Regista, Anno, CostoNoleggio)
ARTISTI(CodiceAttore, Cognome, Nome, Sesso, DataNascita, Nazionalità)
INTERPRETAZIONI(CodiceFilm, CodiceAttore, Personaggio)

1. Mostrare una base di dati su questo schema per la quale i join fra le varie relazioni siano tutti completi.
2. Supponendo che esistano due vincoli di integrità referenziale fra la relazione INTERPRETAZIONI e le altre due, discutere i possibili casi di join non completo.
3. Mostrare un prodotto cartesiano che coinvolga relazioni in questa base di dati.
4. Mostrare una base di dati per la quale uno (o più) dei join sia vuoto.

3.7 Con riferimento allo schema nell'Esercizio 3.6, formulare in algebra relazionale, in calcolo su domini, in calcolo su tuple e in Datalog le interrogazioni che trovano:

1. i titoli dei film nei quali Henry Fonda sia stato interprete;
2. i titoli dei film per i quali il regista sia stato anche interprete;
3. i titoli dei film in cui gli attori noti siano tutti dello stesso sesso.

3.8 Si consideri lo schema di base di dati che contiene le seguenti relazioni:

DEPUTATI(Codice, Cognome, Nome, Commissione, Provincia, Collegio)
COLLEGI(Provincia, Numero, Nome)

PROVINCE (Sigla,Nome,Regione)
REGIONI (Codice,Nome)
COMMISSIONI (Numer,Nome,Presidente)

Formulare in algebra relazionale, in calcolo su domini e in calcolo su tuple le seguenti interrogazioni:

1. trovare nome e cognome dei presidenti di commissioni cui partecipa almeno un deputato eletto in una provincia della Sicilia;
 2. trovare nome e cognome dei deputati della commissione Bilancio;
 3. trovare nome, cognome e provincia di elezione dei deputati della commissione Bilancio;
 4. trovare nome, cognome, provincia e regione di elezione dei deputati della commissione Bilancio;
 5. trovare le regioni in cui vi sia un solo collegio, indicando il nome e cognome del deputato ivi eletto;
 6. trovare i collegi di una stessa regione in cui siano stati eletti deputati con lo stesso nome proprio.
- 3.9 Mostrare come le interrogazioni nell'Esercizio 3.8 possano trarre vantaggio, nella specifica, dalla definizione di viste.
- 3.10 Si consideri lo schema di base di dati sulle relazioni:

MATERIE(Codice,Facoltà,Denominazione,Professore)
STUDENTI(Matricola,Cognome,Nome,Facoltà)
PROFESSORI(Matricola,Cognome,Nome)
ESAMI(Studente,Materia,Voto,Data)
PIANIDISTUDIO(Studente,Materia,Anno)

Formulare, in algebra relazionale, in calcolo su domini, in calcolo su tuple e in Datalog le interrogazioni che producono

1. gli studenti che hanno riportato in almeno un esame una votazione pari a 30, mostrando, per ciascuno di essi, nome e cognome e data della prima di tali occasioni;
2. per ogni insegnamento della facoltà di ingegneria, gli studenti che hanno superato l'esame nell'ultima seduta svolta;
3. gli studenti che hanno superato tutti gli esami previsti dal rispettivo piano di studio;
4. per ogni insegnamento della facoltà di lettere, lo studente (o gli studenti) che hanno superato l'esame con il voto più alto;
5. gli studenti che hanno in piano di studio solo insegnamenti della propria facoltà;
6. nome e cognome degli studenti che hanno sostenuto almeno un esame con un professore che ha il loro stesso nome proprio.

- 3.11 Con riferimento al seguente schema di base di dati:

CITTÀ(Nome, Regione, Abitanti)
ATTRaversamenti(Città, Fiume)
FIUMI(Fiume, Lunghezza)

formulare, in algebra relazionale, in calcolo su domini, in calcolo su tuple e in Datalog le seguenti interrogazioni:

- visualizzare nome, regione e abitanti per le città che (i) hanno più di 50.000 abitanti e (ii) sono attraversate dal Po o dall'Adige;
- trovare le città che sono attraversate da (almeno) due fiumi, visualizzando il nome della città e quello del più lungo di tali fiumi.

3.12 Con riferimento al seguente schema di base di dati:

AFFLUENZA(Affluente,Fiume)
FIUMI(Fiume, Lunghezza)

formulare l'interrogazione in Datalog che trova tutti gli affluenti, diretti e indiretti dell'Adige.

3.13 Si consideri lo schema relazionale composto dalle seguenti relazioni:

PROFESSORI(Codice,Cognome,Nome)
CORSI(Codice,Denominazione,Professore)
STUDENTI(Matricola,Cognome,Nome)
ESAMI(Studente,Corso,Data,Voto)

Formulare, con riferimento a tale schema, le espressioni dell'algebra, del calcolo relazionale su tuple e del Datalog, che producano:

- gli esami superati dallo studente Pico Della Mirandola (supposto unico), con indicazione, per ciascuno, della denominazione del corso, del voto e del cognome del professore;
- i professori che tengono due corsi (e non più di due), con indicazione di cognome e nome del professore e denominazione dei due corsi.

3.14 Considerare uno schema relazionale contenente le relazioni:

$R_1(ABC), R_2(DG), R_3(EF)$

Formulare in calcolo relazionale su tuple e su domini l'interrogazione realizzata in algebra relazionale dalla seguente espressione:

$$(R_3 \bowtie_{G=E} R_2) \cup \rho_{DG \leftarrow AC}(\pi_{ACEF}(R_1 \bowtie_{B=F} R_3))$$

3.15 Con riferimento allo stesso schema dell'Esercizio 3.14, formulare in algebra relazionale le interrogazioni realizzate in calcolo su domini dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} & \{H : g, B : b \mid R_1(A : a, B : b, C : c) \wedge R_2(D : c, G : g)\} \\ & \{A : a, B : b \mid R_2(D : a, G : b) \wedge R_3(E : a, F : b)\} \\ & \{A : a, B : b \mid R_1(A : a, B : b, C : c) \wedge \\ & \quad \exists a'(R_1(A : a', B : b, C : c) \wedge a \neq a')\} \\ & \{A : a, B : b \mid R_1(A : a, B : b, C : c) \wedge \\ & \quad \forall a'(\neg R_1(A : a', B : b, C : c)) \vee a = a'\} \\ & \{A : a, B : b \mid R_1(A : a, B : b, C : c) \wedge \\ & \quad \neg \exists a'(R_1(A : a', B : b, C : c)) \wedge a \neq a'\} \end{aligned}$$

3.16 Facendo riferimento allo schema:

$R_1(AB), R_2(CDE), R_3(FGH)$

trasformare la seguente espressione dell'algebra:

$$\pi_{ADH}(\sigma_{(B=C) \wedge (E=F) \wedge (A>20) \wedge (G=10)}((R_1 \bowtie R_3) \bowtie R_2))$$

con l'obiettivo di ridurre le dimensioni dei risultati intermedi.

3.17 Considerare la seguente base di dati relazionale:

- FARMACI(Codice, NomeFarmaco, PrincipioAttivo, Produttore, Prezzo)
- PRODUTTORI(CodProduttore, Nome, Nazione)
- SOSTANZE(ID, NomeSostanza, Categoria)

Con vincoli di integrità referenziale tra Produttore e la relazione PRODUTTORI, tra PrincipioAttivo e la relazione SOSTANZE. Formulare in algebra relazionale le seguenti interrogazioni:

- l'interrogazione che fornisce, per i farmaci il cui principio attivo è nella categoria "sulfamidico," il nome del farmaco e quello del suo produttore;
- l'interrogazione che fornisce, per i farmaci con produttore italiano, il nome del farmaco e quello della sostanza del suo principio attivo.

SQL è il linguaggio di riferimento per le basi di dati relazionali. Il nome SQL¹ rappresentava originariamente l'acronimo di *Structured Query Language*, ma lo standard specifica ora che SQL deve essere considerato come un nome proprio. SQL era originariamente il linguaggio di interrogazione del DBMS relazionale *System R*, sviluppato presso il laboratorio di ricerca IBM di S. José in California nella seconda metà degli anni Settanta. Il linguaggio è stato poi adottato da molti altri sistemi ed è stato oggetto di un'intensa attività di standardizzazione.

SQL è ben più di un linguaggio per scrivere interrogazioni. Contiene infatti al suo interno sia le funzionalità di un *Data Definition Language*, DDL (con un insieme di comandi per la definizione dello schema di una base di dati relazionale), sia quelle di un *Data Manipulation Language*, DML (con un insieme di comandi per la modifica e l'interrogazione dell'istanza di una base di dati). In questo capitolo mostreremo le caratteristiche di base di SQL, illustrando dapprima l'uso di SQL per la definizione dello schema di una base di dati (Paragrafo 4.2), per poi descrivere la specifica di interrogazioni (Paragrafo 4.3) e modifiche (Paragrafo 4.4). Nei capitoli successivi continueremo la presentazione di SQL, mostrando alcune caratteristiche evolute del linguaggio (Capitolo 5) e descrivendo l'integrazione tra SQL e i tradizionali linguaggi di programmazione (Capitolo 6).

4.1 Il linguaggio SQL e gli standard

La diffusione di SQL è dovuta in buona parte alla intensa opera di standardizzazione dedicata a questo linguaggio, svolta principalmente nell'ambito degli organismi ANSI (*American National Standards Institute*, l'organismo nazionale statunitense degli standard) e ISO (l'organismo internazionale che coordina i vari organismi nazionali). Gran parte dei produttori del settore hanno avuto modo di partecipare al processo decisionale. Il processo di standardizzazione ha avuto inizio nella prima metà degli anni Ottanta e continua tuttora. Sono state così prodotte nel tempo diverse versioni, sempre più complete e sofisticate, dello standard del linguaggio. La tabella in Figura 4.1 sintetizza questa evoluzione.

¹Vi sono due diverse pronunce anglosassoni; la prima enuncia le singole lettere es-que-el (corrisponde alla pronuncia italiana esse-qu-elle), la seconda legge la sigla come se fosse la parola "sequel". *Sequel* è il primo nome dato al linguaggio.

Nome informale	Nome ufficiale	Caratteristiche
SQL base	SQL-86	Costrutti base
	SQL-89	Integrità referenziale
SQL-2	SQL-92	Modello relazionale Vari costrutti nuovi 3 livelli: entry, intermediate, full
SQL-3	SQL:1999	Modello relazionale a oggetti Organizzato in diverse parti Trigger, funzioni esterne, ...
	SQL:2003	Estensioni del modello a oggetti Eliminazione di costrutti non usati Nuove parti: SQL/JRT, SQL/XML, ...
	SQL:2006	Estensione della parte XML
	SQL:2008	Lievi aggiunte (per esempio, trigger instead of)

Figura 4.1 Evoluzione dello standard SQL

La prima definizione di uno standard per il linguaggio SQL è stata emanata nel 1986 dall'ANSI. Questo primo standard possedeva già gran parte delle primitive di formulazione di interrogazioni, mentre offriva un supporto limitato per la definizione e manipolazione degli schemi e delle istanze. SQL-86 è stato esteso in modo limitato nel 1989, producendo lo standard il cui nome formale è SQL-89; l'aggiunta più significativa di questa versione è stata la definizione dell'integrità referenziale.

Una seconda versione, in gran parte compatibile con la versione precedente ma arricchita da un gran numero di nuove funzionalità, è stata pubblicata nel 1992. A questa versione si fa riferimento con il nome ufficiale SQL-92 o con il nome informale SQL-2; noi indicheremo questa versione come SQL-2.

Sono state preparate successivamente altre versioni dello standard, cui si fa riferimento con il nome informale SQL-3, aventi nome ufficiale SQL:1999, SQL:2003, SQL:2006 e SQL:2008. SQL-3 rappresenta un'estensione molto significativa rispetto a SQL-2, come è testimoniato dal fatto che lo standard è ora organizzato in diverse parti opportunamente numerate e denominate, ciascuna dedicata a un particolare aspetto del linguaggio. Per esempio, la parte 13 di SQL-3, SQL/JRT, descrive l'integrazione con il linguaggio Java; la parte 14, SQL/XML, illustra la gestione di dati XML; ciascuna parte è prodotta da uno specifico comitato tecnico e può essere rinnovata in tempi diversi rispetto alle altre, dando luogo a un contesto molto più dinamico. SQL-3 è pienamente compatibile con SQL-2; questo è un importante requisito che garantisce che applicazioni scritte facendo riferimento allo standard precedente possano operare senza modifiche su sistemi che rispettano il nuovo standard.

Ad alcuni anni di distanza dalla pubblicazione di SQL-3, esso è ancora lontano dall'essere comunemente adottato. Per questa ragione, nel testo faremo sempre riferimento a SQL-2, cercando di mettere in evidenza le caratteristiche sintattiche che non erano presenti nelle versioni precedenti. SQL-3 include nuovi servizi che sono il risultato della evoluzione più recente della tecnologia delle basi di dati, tra cui i trigger, le viste ricorsive e il supporto per il paradigma a oggetti. Rispetto a SQL:1999, SQL:2003 introduce alcune estensioni relative al modello a oggetti, elimina alcuni costrutti degli standard precedenti che nessun sistema aveva implementato e che sono stati considerati obsoleti, e introduce nuove parti. SQL:2006 ha ulteriormente esteso il supporto all'integrazione con XML, definendo per esempio un legame con il linguaggio XQuery. SQL:2008 ha introdotto una serie di lievi modifiche, come per esempio il supporto per i trigger con modo `instead of`. Mostreremo in questo capitolo e in quelli successivi alcune delle novità introdotte da SQL-3; non parleremo però delle estensioni a oggetti (vengono descritte nel secondo volume [5]).

Pur senza le estensioni introdotte in SQL-3, SQL-2 è un linguaggio ricco e complesso, tanto che, a molti anni dalla comparsa del documento di definizione, ancora nessun sistema commerciale mette a disposizione tutte le funzionalità previste dal linguaggio. Per quantificare in modo preciso l'aderenza allo standard, sono stati definiti tre livelli di supporto dei costrutti del linguaggio, denominati rispettivamente *Entry SQL*, *Intermediate SQL* e *Full SQL*. I sistemi possono così essere caratterizzati in base al livello cui aderiscono. Il livello Entry SQL è abbastanza simile a SQL-89, da cui differisce solo per poche e lievi imprecisioni della definizione di SQL-89 che sono state corrette nel passaggio a SQL-2. Il livello Intermediate SQL contiene le caratteristiche ritenute più importanti per rispondere alle esigenze del mercato. Il livello Full SQL rappresenta lo standard nella sua interezza, comprese molte funzioni avanzate che non hanno ancora trovato riscontro nelle implementazioni di SQL.

Analizzando con cura i sistemi relazionali, si osserva che ciascuno di essi presenta in effetti piccole differenze nella implementazione del linguaggio SQL; le differenze emergono soprattutto quando si confrontano fra di loro le funzionalità innovative. Invece, per quanto riguarda gli aspetti più consolidati del linguaggio, l'adesione allo standard è maggiore e questo permette agli utenti di dialogare in SQL standard con sistemi completamente diversi, come possono essere l'implementazione di un DBMS per un personal computer monoutente destinato a esigenze individuali e una base di dati su mainframe su cui si appoggia il sistema informativo di una grossa azienda.

Noi supporremo che si usi direttamente SQL per definire, aggiornare e interrogare la base di dati. In effetti, sempre più frequentemente i sistemi sono dotati di interfacce molto più facili da usare e la specifica degli schemi, o le modifiche e interrogazioni sulle istanze avvengono spesso mediante l'uso di programmi di tipo grafico, che offrono un'interazione tramite menu e interfacce; questi programmi generano le istruzioni SQL corrispondenti. Ciò comunque non sminuisce l'importanza di conoscere la "lingua franca" dei sistemi di basi di dati, in quanto la sua conoscenza è quasi sempre indispensabile per realizzare applicazioni sofisticate che accedono a basi di dati, indipendentemente dall'interfaccia offerta dal siste-

ma. Dato il ruolo sempre crescente dei DBMS negli attuali sistemi informatici, è sempre più importante per gli sviluppatori avere una conoscenza approfondita di SQL.

4.2 Definizione dei dati in SQL

In questo paragrafo illustriamo l'uso di SQL per la definizione degli schemi delle basi di dati. Conviene prima di tutto descrivere la notazione che verrà usata per la sintassi dei comandi del linguaggio. In generale rappresenteremo i termini del linguaggio usando un font macchina da scrivere, mentre i termini variabili verranno scritti in *corsivo*. Usiamo inoltre le parentesi angolari, quadre e graffe e la barra verticale con il significato consueto nella rappresentazione di sintassi.

- Le parentesi angolari ((),) permettono di isolare un termine della sintassi.
- Le parentesi quadre ([,]) indicano che il termine all'interno è opzionale, ossia può non comparire o comparire una sola volta.
- Le parentesi graffe ({},) indicano invece che il termine racchiuso può non comparire o essere ripetuto un numero arbitrario di volte.
- Le barre verticali () indicano che deve essere scelto uno tra i termini separati dalle barre; un elenco di termini in alternativa può essere racchiuso tra parentesi angolari.

Le parentesi tonde dovranno essere sempre intese come termini del linguaggio SQL e non come simboli per la definizione della grammatica.

4.2.1 I domini elementari

SQL mette a disposizione alcune famiglie di domini elementari, a partire dai quali si possono definire i domini da associare agli attributi dello schema.

Caratteri Il dominio character permette di rappresentare singoli caratteri oppure stringhe. La lunghezza delle stringhe di caratteri può essere fissa o variabile; per le stringhe di lunghezza variabile si indica la lunghezza massima. Per ogni schema si può definire una famiglia di caratteri di default (per esempio, alfabeto latino, cirillico, greco ecc.). La sintassi è:

```
character [ varying ] [ ( Lunghezza ) ]
           [ character set NomeFamigliaCaratteri ]
```

Per definire con questa sintassi un dominio “stringa di 20 caratteri” si potrà scrivere character(20), mentre un dominio “stringa di caratteri dell’alfabeto greco a lunghezza variabile, di lunghezza massima 1000”, sarà descritto da character varying (1000) character set Greek. Se la lunghezza non è specificata, il dominio rappresenta un singolo carattere. Per le stringhe a lunghezza variabile è obbligatorio specificare la lunghezza massima. SQL ammette anche le forme compatte, e molto utilizzate, char e varchar, rispettivamente per character e varying character.

Tipi numerici esatti Questa famiglia contiene i domini che permettono di rappresentare valori esatti, interi o con una parte decimale di lunghezza prefissata (come i tipici valori monetari in euro o in dollari). SQL mette a disposizione quattro diversi tipi numerici esatti:

```
numeric [ ( Precisione [ , Scala ] ) ]
decimal [ ( Precisione [ , Scala ] ) ]
integer
smallint
```

I domini numeric e decimal rappresentano numeri in base *decimale*. Il parametro *Precisione* specifica il numero di cifre significative; con un dominio decimal(4) si possono rappresentare valori tra -9.999 e +9.999. Mediante il parametro *Scala* si specifica la scala di rappresentazione, ovvero si indica quante cifre devono comparire dopo la virgola. Se per esempio si vogliono rappresentare valori precisi sino al centesimo, si assegnerà a *Scala* il valore 2. Per specificare la scala bisogna anche specificare la precisione, e la precisione comprende la rappresentazione della parte frazionaria; quindi, con un dominio numeric(6, 4) si potranno rappresentare i valori compresi tra -99,9999 e +99,9999. La differenza tra i domini numeric e decimal consiste nel fatto che la precisione per il dominio numeric rappresenta un valore esatto, mentre per il dominio decimal costituisce un requisito minimo. Qualora la precisione non sia specificata, il sistema usa un valore caratteristico della implementazione. Se la scala non è specificata, si assume che valga zero.

Nei casi in cui non interessa avere una rappresentazione della parte frazionaria e non è importante controllare in modo preciso la dimensione della rappresentazione decimale, allora diventa possibile usare i domini predefiniti integer e smallint. Per questi domini non esiste un vincolo sulla rappresentazione ed essi sono generalmente basati sulla rappresentazione interna binaria del calcolatore. La precisione di questi tipi non viene specificata nello standard, ma viene lasciata all'implementazione.

Tipi numerici approssimati Per la rappresentazione di valori reali approssimati (utili per esempio per la rappresentazione di grandezze fisiche), SQL fornisce i seguenti tipi:

```
float [ ( Precisione ) ]
real
double precision
```

Tutti questi domini permettono di descrivere numeri approssimati mediante una rappresentazione in virgola mobile, in cui a ciascun numero corrisponde una copia di valori: la mantissa e l'esponente. La mantissa è un valore frazionario, mentre l'esponente è un numero intero. Il valore approssimato del numero reale si ottiene moltiplicando la mantissa per la potenza di 10 con grado pari all'esponente. Per esempio, 0.17E16 rappresenta il valore $1,7 \times 10^{15}$, e -0.4E-6 rappresenta -4×10^{-7} .

Al dominio `float` può essere associata una precisione, che rappresenta il numero di cifre dedicate alla rappresentazione della mantissa, mentre la precisione nell'esponente dipende dall'implementazione. La precisione del dominio `real` è invece fissa. Il dominio `double precision` dedica a un numero approssimato una rappresentazione di dimensione doppia rispetto a quella del dominio `real`.

Istanti temporali Questi domini, come quelli della famiglia successiva, sono stati introdotti in SQL-2 per descrivere informazioni temporali, importanti in numerosi contesti applicativi. Questa famiglia di domini permette di rappresentare *istanti* di tempo e offre tre diverse forme:

```
date  
time [ ( Precisione ) ] [with time zone]  
timestamp [ ( Precisione ) ] [with time zone]
```

Ciascuno di questi domini è strutturato e decomponibile in un insieme di campi. Il dominio `date` ammette i campi `year`, `month` e `day`, il dominio `time` ammette i campi `hour`, `minute` e `second`, infine `timestamp` ammette tutti i campi, da `year` a `second`. Sia per `time` che per `timestamp` è possibile specificare una precisione, che rappresenta il numero di cifre decimali che si devono utilizzare nella rappresentazione delle frazioni di secondo.

Se l'opzione `with time zone` è specificata, allora risulta possibile accedere a due campi `timezone_hour` e `timezone_minute` che rappresentano la differenza di fuso orario tra l'ora locale e l'ora universale (Coordinated Universal Time o UTC, che ha sostituito la precedente "ora di Greenwich"); così `21:03:04+1:00` e `20:03:04+0:00` corrispondono allo stesso istante temporale, il primo rappresentato nell'ora solare italiana (differenza dovuta al fuso orario di `+1:00`), il secondo nell'ora universale.

Intervalli temporali Questa famiglia di domini permette di rappresentare *intervalli* di tempo, come per esempio la durata di un evento. La sintassi è:

```
interval PrimaUnitàDiTempo [ to UltimaUnitàDiTempo ]
```

`PrimaUnitàDiTempo` e `UltimaUnitàDiTempo` definiscono le unità di misura che devono essere usate, dalla più precisa alla meno precisa. È così possibile definire domini come `interval year to month` per indicare che la durata dell'intervalle di tempo deve essere misurata in numero di anni e di mesi. Si noti che l'insieme delle unità di misura è diviso in due insiemi distinti: `year` e `month` da una parte, e le unità da `day` a `second` dall'altra, in quanto non si possono paragonare esattamente giorni e mesi (a un mese possono corrispondere da 28 a 31 giorni) e sarebbe altrimenti molto difficile effettuare operazioni aritmetiche sugli intervalli. La prima unità che compare nella definizione, qualunque essa sia, può essere caratterizzata dalla precisione, che rappresenta il numero di cifre, in base 10, usate nella rappresentazione. Quando l'unità più piccola è `second`, si può specificare

una precisione che rappresenta il numero di cifre decimali dopo la virgola. Così `interval year(5) to month` permette di rappresentare intervalli fino a 99.999 anni e 11 mesi, mentre `interval day(4) to second(6)` permette di rappresentare intervalli sino a 9.999 giorni, 23 ore, 59 minuti e 59,999999 secondi, con una precisione al milionesimo di secondo.

Domini introdotti in SQL-3 Le estensioni più significative di SQL-3 per quanto riguarda la definizione di domini consistono nell'offerta di un insieme di costruttori, come `ref`, `array` e `row`, che sono parte di estensioni del modello relazionale che recepiscono elementi del paradigma a oggetti. Non parliamo di questi aspetti, che richiedono una trattazione specifica, presente nel secondo volume [5], delle caratteristiche di un modello dei dati a oggetti. Presentiamo qui solo i nuovi domini elementari.

Boolean: Il dominio `boolean` permette di rappresentare singoli valori booleani (`true` e `false`). In SQL-2 era stato previsto a questo scopo un dominio `bit`, il quale però non è stato implementato dai sistemi ed è stato quindi rimosso da SQL:2003.

Bigint: Il dominio `bigint` si aggiunge ai domini numerici esatti `smallint` e `integer`. Lo standard non specifica i limiti di rappresentazione del dominio, ma impone solamente che essi non siano inferiori a quelli del dominio `integer`.

BLOB e CLOB: I due domini `blob` e `clob` permettono di rappresentare oggetti di grandi dimensioni, costituiti da una sequenza arbitraria di valori binari (`blob`, *binary large object*) o di caratteri (`clob`, *character large object*). Per entrambi i domini il sistema garantisce solo di memorizzare il valore, ma non permette che il valore venga utilizzato come criterio di selezione per le interrogazioni. Spesso i valori degli attributi di questa famiglia vengono memorizzati separatamente dagli altri attributi, in un'area di sistema apposita. SQL-3 ha introdotto questi domini in quanto le basi di dati costituiscono il cuore dei servizi di archiviazione del sistema informatico, che sempre più ha l'esigenza di gestire informazioni di tipo semi-strutturato e multimediale (come immagini, documenti, video). Questi contenuti sono caratterizzati da grandi dimensioni e la loro fruizione richiede l'uso di applicazioni specifiche.

4.2.2 Definizione di schema

SQL consente la definizione di uno schema di base di dati come collezione di oggetti (tabelle, domini, viste ecc.). Una schema viene definito dalla seguente sintassi:

```
create schema [NomeSchema] [ [ authorization ] Autorizzazione ]
{ DefElementoSchema }
```

Autorizzazione rappresenta il nome dell'utente proprietario dello schema; se il termine viene omesso, si assume che il proprietario sia l'utente che ha lanciato il

comando. Il nome dello schema può essere omesso, e in tal caso si assume come nome dello schema il nome del proprietario. Dopo il comando di `create schema`, compaiono le definizioni dei suoi componenti. Non è necessario che la definizione di tutti i componenti avvenga contemporaneamente alla creazione dello schema, ma può anzi avvenire in più fasi successive. Vediamo ora la definizione di tabelle e domini; altri elementi dello schema verranno descritti nel Paragrafo 5.1.

4.2.3 Definizione delle tabelle

Una tabella² SQL è costituita da una collezione ordinata di attributi e da un insieme (eventualmente vuoto) di vincoli. Lo schema della tabella DIPARTIMENTO viene per esempio definito tramite la seguente istruzione SQL:

```
create table Dipartimento
(
    Nome      varchar(20) primary key,
    Indirizzo varchar(50),
    Città     varchar(20)
)
```

La tabella possiede tre attributi di tipo stringa di caratteri e l'attributo `Nome` costituisce la chiave primaria della tabella. Osserviamo che, come avviene normalmente nei linguaggi di programmazione, una qualsiasi sequenza di spazi e di caratteri di fine linea è equivalente a un singolo spazio; ciò deve essere sfruttato per aumentare la leggibilità dei comandi SQL, usando strutture allineate come nel comando visto sopra.

La sintassi per la definizione delle tabelle è:

```
create table NomeTabella
( NomeAttributo Dominio [ValoreDiDefault] [ Vincoli ]
  { , NomeAttributo Dominio [ ValoreDiDefault ] [ Vincoli ] }
  AltriVincoli
)
```

Ogni tabella viene quindi definita associandole un nome ed elencando gli attributi che ne compongono lo schema. Per ogni attributo si definiscono un nome, un dominio ed eventualmente un insieme di vincoli che devono essere rispettati dai valori dell'attributo. Dopo aver definito gli attributi, si possono definire i vincoli che coinvolgono più attributi della tabella. Una tabella è inizialmente vuota e il creatore possiede tutti i privilegi sulla tabella, cioè i diritti di accedere al suo contenuto e di modificarlo.

²Una convenzione che adotteremo in questo capitolo è quella di usare al posto di *relazione* il termine *tabella* (in inglese *table*) e al posto di *tupla* il termine *riga* (in inglese *row*), rispettando la scelta di termini di SQL; in SQL si usa anche far riferimento agli *attributi* parlando di *colonne*, ma in questo caso preferiamo rimanere aderenti alla classica terminologia relazionale.

4.2.4 Definizione dei domini

Nella definizione delle tabelle si può far riferimento ai domini predefiniti del linguaggio, descritti nel Paragrafo 4.2.1, o a domini definiti dall'utente a partire dai domini predefiniti. Partendo dai domini predefiniti è possibile costruire nuovi domini, tramite la primitiva `create domain`:

```
create domain NomeDominio as TipoDiDato
    [ ValoreDiDefault ]
    [ Vincolo ]
```

Un dominio è così caratterizzato dal proprio nome, da un dominio elementare (che può essere predefinito o definito dall'utente in precedenza), da un eventuale valore di default, e infine da un insieme di vincoli (eventualmente vuoto) che rappresenta un insieme di condizioni che devono essere rispettate dai valori del dominio.

La dichiarazione di nuovi domini permette di associare un insieme di vincoli a un nome di dominio, il che è importante quando per esempio si deve ripetere la stessa definizione di attributo nell'ambito di diverse tabelle. Definendo un dominio apposito si rende la definizione più facilmente modificabile; se si vuole modificare la definizione di un insieme di attributi con lo stesso dominio (in modo particolare il valore di default e i vincoli), risulta sufficiente modificare la definizione del dominio e la modifica si applicherà a tutte le tabelle in cui il dominio viene usato.

Esiste una stretta relazione tra la definizione dei domini degli attributi e la definizione dei tipi delle variabili in un linguaggio di programmazione di alto livello (C, Java ecc.). In entrambi i casi si definisce un insieme di valori ammissibili per un oggetto. D'altra parte, vi sono anche importanti differenze. Infatti, i vincoli sui domini definibili in SQL non hanno un corrispondente nei normali linguaggi di programmazione; allo stesso tempo, facendo riferimento a SQL-2, l'insieme dei costruttori di tipo è molto più limitato. Al contrario dei meccanismi di definizione dei tipi dei linguaggi di programmazione, SQL-2 non mette a disposizione dei costruttori di dominio come il record o l'array (a parte la possibilità di definire stringhe di caratteri). Questa caratteristica deriva dal modello relazionale dei dati, il quale richiede che tutti gli attributi siano caratterizzati da un dominio elementare.

4.2.5 Specifica di valori di default

Nella sintassi per la definizione dei domini e delle tabelle, si può osservare la presenza di un termine *ValoreDiDefault* in corrispondenza di ogni dominio e attributo. Questo termine permette di specificare il valore di *default*, ovvero il valore che deve assumere l'attributo quando viene inserita una riga nella tabella senza che sia specificato un valore per l'attributo stesso. Quando il valore di default non è specificato, si assume come default il valore *nullo*.

La sintassi per la specifica dei valori di default è:

```
default { GenericoValore | user | null }
```

GenericoValore rappresenta un valore compatibile con il dominio. L'opzione `user` impone come valore di default l'identificativo dell'utente che esegue il comando di aggiornamento della tabella. Quando un attributo o un dominio è definito a partire da un dominio per il quale è già stato specificato un valore di default, l'eventuale nuovo valore di default ha la priorità e diventa il valore effettivo. L'opzione `null` corrisponde al valore di default di base.

Per esempio, un attributo `NumeroFigli` che ammetta come valore un numero intero e che abbia il valore di default zero è definito da:

```
NumeroFigli smallint default 0
```

In base a questa definizione, quando in un inserimento il valore dell'attributo non viene specificato, a esso viene assegnato il valore zero.

4.2.6 Vincoli intrarelazionali

Sia nella definizione dei domini sia nella definizione delle tabelle è possibile definire dei vincoli, ovvero delle proprietà che devono essere verificate da ogni istanza della base di dati. I vincoli sono stati introdotti nel Capitolo 2, distinguendo tra vincoli intrarelazionali (che coinvolgono una sola relazione) e vincoli interrelazionali (in cui il predicato considera diverse relazioni). Il costrutto più potente per specificare vincoli generici, sia interrelazionali che intrarelazionali, è il costrutto di `check`, che richiede però di formulare delle interrogazioni sulla base di dati e viene perciò rimandato al Paragrafo 5.1, dopo che avremo illustrato le interrogazioni SQL. Illustriamo invece in questo paragrafo i vincoli intrarelazionali predefiniti.

I più semplici vincoli di tipo intrarelazionale sono i vincoli *not null*, *unique* e *primary key*.

Not null Come detto nel Capitolo 2, il valore *nullo* è un particolare valore che indica assenza di informazioni. Un valore nullo può rappresentare in generale diverse situazioni, come abbiamo visto nel Paragrafo 2.2.

SQL non permette però di distinguere tra le diverse interpretazioni del valore nullo. Le applicazioni che hanno bisogno di distinguere tra questi diversi casi devono ricorrere a soluzioni *ad hoc*, come l'introduzione di altri attributi o l'uso di una particolare codifica.

Il vincolo *not null* indica che il valore *nullo* non è ammesso come valore dell'attributo; in tal caso, l'attributo deve sempre essere specificato, tipicamente in fase di inserimento. Se all'attributo è però associato un valore di default diverso dal valore nullo, allora diventa possibile effettuare l'inserimento anche senza fornire un valore per l'attributo, in quanto all'attributo viene automaticamente assegnato il valore di default.

Il vincolo viene specificato facendo seguire alla definizione dell'attributo la dichiarazione `not null`:

```
Cognome varchar(20) not null
```

Unique Un vincolo *unique* si applica a un attributo o a un insieme di attributi di una tabella e impone che i valori dell'attributo (o le ennuple di valori sull'insieme di attributi) siano una (super)chiave, cioè righe differenti della tabella non possano avere gli stessi valori; viene fatta un'eccezione per il valore nullo, il quale può comparire su diverse righe senza violare il vincolo, in quanto si assume che i valori nulli siano tutti diversi tra loro.

La definizione di questo vincolo può avvenire in due modi; la prima alternativa può essere usata unicamente quando bisogna definire il vincolo su un solo attributo; in questo caso si fa seguire la specifica dell'attributo dalla parola chiave *unique* (analogamente a quanto avviene per la specifica del vincolo *not null*):

Matricola character(6) unique

La seconda alternativa è necessaria quando il vincolo opera su un insieme di attributi. Dopo aver definito gli attributi della tabella, si usa la sintassi:

unique (Attributo { , Attributo })

Un esempio d'uso della sintassi è il seguente:

```
Nome      varchar(20)  not null,  
Cognome   varchar(20)  not null,  
unique (Cognome, Nome)
```

Si noti che la precedente definizione è ben diversa da una definizione come:

```
Nome      varchar(20)  not null unique,  
Cognome   varchar(20)  not null unique
```

Nel primo caso si impone che non ci siano due righe che abbiano uguali sia il nome sia il cognome, nel secondo (più restrittivo) si ha una violazione se nelle righe compaiono più di una volta o lo stesso nome o lo stesso cognome.

Primary key Come è stato detto nel Paragrafo 2.2.2, è di norma necessario specificare per ogni relazione la *chiave primaria*, il più importante tra gli identificatori della relazione. SQL permette così di specificare il vincolo *primary key* una sola volta per ogni tabella (mentre è possibile utilizzare un numero arbitrario di volte i vincoli *unique* e *not null*). Come il vincolo *unique*, il vincolo *primary key* può essere definito direttamente su di un singolo attributo, oppure essere definito elencando più attributi che costituiscono l'identificatore. Gli attributi che fanno parte della chiave primaria non possono assumere il valore nullo; pertanto la definizione di *primary key* implica per tutti gli attributi della chiave primaria una definizione di *not null*, che può essere omessa.

Per esempio, la definizione seguente impone che la coppia di attributi *Nome* e *Cognome* costituiscano la chiave primaria:

```
Nome      varchar(20),  
Cognome   varchar(20),  
primary key (Cognome, Nome)
```

4.2.7 Vincoli interrelazionali

I vincoli interrelazionali più diffusi e significativi sono i *vincoli di integrità referenziale*, come abbiamo visto nel Paragrafo 2.2.4. In SQL per la loro definizione si usa l'apposito vincolo di *foreign key*, ovvero di *chiave esterna*.

Questo vincolo crea un legame tra i valori di un attributo della tabella su cui è definito (che chiameremo *interna*) e i valori di un attributo di un'altra tabella (che chiameremo *esterna*). Il vincolo impone che per ogni riga della tabella interna il valore dell'attributo specificato, se diverso dal valore nullo, sia presente nelle righe della tabella esterna tra i valori del corrispondente attributo. L'unico requisito che la sintassi impone è che l'attributo cui si fa riferimento nella tabella esterna sia soggetto a un vincolo *unique*, cioè sia un identificatore della tabella; tipicamente l'attributo della tabella esterna cui si fa riferimento rappresenta in effetti la chiave primaria della tabella. Più attributi possono essere coinvolti nel vincolo, quando la chiave della tabella esterna è costituita da un insieme di attributi; in tal caso l'unica differenza è che bisognerà confrontare ennuple di valori invece che singoli valori.

Il vincolo può essere definito in due modi, come i vincoli *unique* e *primary key*. Se c'è un solo attributo coinvolto, si può usare il costrutto sintattico *references*, con il quale si specificano la tabella esterna e l'attributo della tabella esterna al quale l'attributo in questione deve essere legato; una definizione alternativa, necessaria quando il legame è rappresentato da un insieme di attributi, fa uso invece del costrutto *foreign key*, posto al termine della definizione degli attributi. Il costrutto elenca gli attributi della tabella coinvolti nel legame, cui segue la definizione dei corrispondenti attributi della tabella esterna mediante il costrutto *references*. Forniamo un esempio del primo uso:

```
create table Impiegato
(
    Matricola    character(6) primary key,
    Nome         varchar(20) not null,
    Cognome      varchar(20) not null,
    Dipart        varchar(15)
                    references Dipartimento(NomeDip),
    Ufficio       numeric(3),
    Stipendio     numeric(9) default 0,
    unique (Cognome, Nome)
)
```

Il vincolo impone che l'attributo *Dipart* della tabella *IMPIEGATO* possa assumere solo uno dei valori che le righe della tabella *DIPARTIMENTO* possiedono per l'attributo *NomeDip*.

Se si volesse inoltre imporre che gli attributi *Nome* e *Cognome* debbano comparire in una tabella anagrafica, si potrebbe aggiungere il vincolo:

```
foreign key (Nome, Cognome)
    references Anagrafica(Nome, Cognome)
```

La corrispondenza tra gli attributi locali e quelli esterni avviene in base all'ordine: al primo attributo argomento di `foreign key` corrisponde il primo attributo argomento di `references`, e via via gli altri attributi. In questo caso a **Nome** e **Cognome** di **IMPIEGATO** corrispondono rispettivamente **Nome** e **Cognome** di **ANAGRAFICA**.

Per tutti gli altri vincoli visti fino a ora, quando il sistema rileva una violazione, il comando di aggiornamento viene rifiutato, segnalando l'errore all'utente. Per i vincoli di integrità referenziale, invece, SQL permette di scegliere altre reazioni da adottare quando viene rilevata una violazione.

Prendiamo come esempio di riferimento la definizione del vincolo *foreign key* sull'attributo **Dipart** di **IMPIEGATO**. Il vincolo può essere violato operando sia sulle righe della tabella interna, nell'esempio **IMPIEGATO**, che sulle righe della tabella esterna, nell'esempio **DIPARTIMENTO**. Si possono introdurre violazioni modificando il contenuto della tabella interna solo in due modi: inserendo una nuova riga o modificando il valore dell'attributo referente; per entrambe queste violazioni non viene offerto un particolare supporto e l'operazione viene semplicemente rifiutata.

Vengono invece offerte diverse alternative per rispondere alle violazioni generate da modifiche sulla tabella esterna. Il motivo di questa asimmetria è dovuto al particolare significato della tabella esterna, che sul piano applicativo rappresenta la tabella principale (o *master*) alle cui variazioni la tabella interna (o *slave*) deve adeguarsi. Infatti, tutte le reazioni alle violazioni opereranno sulla tabella interna.

Le operazioni sulla tabella esterna che possono introdurre delle violazioni sono le modifiche del valore dell'attributo riferito e la cancellazione di righe (nell'esempio, cancellazioni di righe da **DIPARTIMENTO** e modifiche dell'attributo **Nome**). La politica di reazione può essere diversa a seconda del comando di aggiornamento che introduce le violazioni.

In particolare, per le operazioni di modifica, è possibile reagire in uno dei seguenti modi:

- **cascade**: il nuovo valore dell'attributo della tabella esterna viene riportato su tutte le corrispondenti righe della tabella interna;
- **set null**: all'attributo referente viene assegnato il valore nullo al posto del valore modificato nella tabella esterna;
- **set default**: all'attributo referente viene assegnato il valore di default al posto del valore modificato nella tabella esterna;
- **no action**: l'azione di modifica non viene consentita, senza che il sistema provi a riparare la violazione.

Per le violazioni prodotte dalla cancellazione di un elemento della tabella esterna si ha a disposizione lo stesso insieme di reazioni:

- **cascade**: tutte le righe della tabella interna corrispondenti alla riga cancellata vengono cancellate;
- **set null**: all'attributo referente viene assegnato il valore nullo al posto del valore cancellato nella tabella esterna;

- `set default`: all'attributo referente viene assegnato il valore di `default` al posto del valore cancellato nella tabella esterna;
- `no action`: la cancellazione non viene consentita.

È possibile associare politiche diverse ai diversi eventi (per esempio utilizzare una politica di `cascade` per le modifiche e una politica di `set null` per le cancellazioni).

Utilizzando la politica `cascade` si assume che le righe della tabella interna siano strettamente legate alle corrispondenti righe della tabella esterna, per cui se si apporta una modifica alla tabella esterna si devono modificare in modo conseguente tutte le righe della tabella interna. Le altre politiche invece assumono una dipendenza meno stretta tra le righe della prima tabella e quelle della seconda. Si noti che le reazioni alle violazioni possono generare una reazione a catena, qualora la tabella interna compaia a sua volta come tabella esterna in un altro vincolo di integrità.

La politica di reazione viene specificata immediatamente dopo il vincolo di integrità, secondo la seguente sintassi:

```
on { delete | update }
    { cascade | set null | set default | no action }
```

Con la seguente definizione si stabilisce una politica di `set null` sulle cancellazioni e di `cascade` per gli update:

```
create table Impiegato
(
    Matricola      character(6),
    Nome           varchar(20) not null,
    Cognome        varchar(20) not null,
    Dipart          varchar(15)
                    references Dipartimento(NomeDip)
                    on delete set null
                    on update cascade,
    Ufficio         numeric(3),
    Stipendio       numeric(9) default 0,
    primary key(Matricola),
    unique (Cognome, Nome)
)
```

4.2.8 Modifica degli schemi

SQL fornisce primitive per la manipolazione degli schemi delle basi di dati, che permettono di modificare le definizioni di tabelle precedentemente introdotte. I comandi che vengono utilizzati a questo fine sono `alter` e `drop`.

Alter Il comando `alter` permette di modificare domini e schemi di tabelle. Il comando può assumere varie forme:

```
alter domain NomeDominio { set default ValoreDefault |
    drop default |
    add constraint DefVincolo |
    drop constraint NomeVincolo }
alter table NomeTabella {
    alter column NomeAttributo { set default NuovoDefault |
        drop default ) |
    add constraint DefVincolo |
    drop constraint NomeVincolo |
    add column DefAttributo |
    drop column NomeAttributo }
```

Tramite `alter domain` e `alter table` è possibile aggiungere e rimuovere vincoli e modificare i valori di default associati ai domini e agli attributi; è inoltre possibile aggiungere ed eliminare attributi e vincoli sullo schema di una tabella. Si noti che quando si definisce un nuovo vincolo, questo deve essere soddisfatto dai dati già presenti; se l'istanza contiene delle violazioni per il nuovo vincolo, l'inserimento viene rifiutato.

Per esempio, il comando qui descritto estende lo schema della tabella `DIPARTIMENTO` con un attributo `NroUff` che permette di rappresentare il numero di uffici di cui il dipartimento è dotato:

```
alter table Dipartimento add column NroUff numeric(4)
```

Drop Mentre il comando `alter` effettua delle modifiche sui domini o sullo schema delle tabelle, il comando `drop` permette di rimuovere dei componenti, siano essi schemi, domini, tabelle, viste o asserzioni (le asserzioni sono dei vincoli che non sono associati ad alcuna tabella in particolare; verranno descritte nel Paragrafo 5.1). Il comando rispetta la sintassi:

```
drop { schema | domain | table | view | assertion } NomeElemento
      [ restrict | cascade ]
```

L'opzione `restrict` specifica che il comando non deve essere eseguito in presenza di oggetti *non vuoti*: uno schema non è rimosso se contiene tabelle o altri oggetti; un dominio non è rimosso se appare in qualche definizione di tabella; una tabella non è rimossa se possiede delle righe o se è presente in qualche definizione di tabella o vista; infine, una vista non è rimossa se è utilizzata nella definizione di altre tabelle o viste. L'opzione `restrict` è l'opzione di default.

Con l'opzione `cascade` invece, tutti gli oggetti specificati devono essere rimossi. Quando si rimuove uno schema non vuoto, anche tutti gli oggetti che fanno parte dello schema vengono eliminati. Rimuovendo un dominio che compare nella

definizione di qualche attributo, l'opzione `cascade` fa sì che il nome di dominio venga rimosso, ma gli attributi che sono stati definiti utilizzando quel dominio rimangono associati al medesimo dominio elementare. Se, per esempio, viene eliminato il dominio `StringaLunga`, definito come `varchar(100)`, tramite il comando `drop domain StringaLunga cascade`, allora tutti gli attributi definiti su quel dominio assumeranno direttamente il dominio `varchar(100)`. Quando si rimuove una tabella con l'opzione `cascade`, tutte le righe vengono perse; se la tabella compariva in qualche definizione di tabella o vista, anche queste vengono rimosse. Eliminando una vista che compare nella definizione di altre tabelle o viste, anche queste tabelle e viste vengono rimosse.

In generale l'opzione `cascade` attiva una reazione a catena, per cui tutti gli elementi che dipendono da un elemento rimosso vengono rimossi, e questo fino a che non si giunge in una situazione in cui non esistono dipendenze non risolte, ossia non vi sono elementi nella cui definizione compaiono elementi che sono stati rimossi. Bisogna perciò usare estrema cautela nell'uso di questa opzione, in quanto può capitare che, a causa di qualche dipendenza sfuggita all'analisi, il comando abbia un effetto molto diverso da quello voluto.³

4.2.9 Cataloghi relazionali

Anche se solo in parte previsto dallo standard, tutti i DBMS relazionali gestiscono il proprio *dizionario dei dati* (ovvero la descrizione delle tabelle presenti nella base di dati) mediante una struttura relazionale, cioè tramite tabelle. La base di dati contiene quindi due tipi di tabelle: quelle che contengono i dati e quelle che contengono i cosiddetti *metadati* (dati che descrivono i dati). Questo secondo insieme di tabelle costituisce il *catalogo* della base di dati.

Tale caratteristica delle implementazioni dei sistemi relazionali viene detta *riflessività*. Quasi sempre una base di dati gestisce il catalogo mediante strutture analoghe a quelle che vengono utilizzate per conservare l'istanza, per cui per esempio una base di dati a oggetti avrà un dizionario dei dati definito tramite un modello a oggetti. In questo modo la base di dati può utilizzare per la gestione interna dei metadati le stesse funzioni che vengono usate per la gestione dell'istanza.

I comandi di definizione e modifica dello schema della base di dati potrebbero così essere sostituiti da comandi di manipolazione operanti direttamente sulle tabelle del dizionario dei dati, rendendo superflua l'introduzione di appositi comandi per la definizione dello schema. Questa alternativa va però scartata per diversi motivi. In primo luogo, è utile rendere chiari e immediatamente riconoscibili i comandi di manipolazione degli schemi, distinguendoli anche dal punto di vista sintattico dai comandi che modificano l'istanza della base dati. Inoltre, dato che il dizionario è differente in tutti i prodotti, una manipolazione diretta sarebbe

³Si suggerisce quindi di sfruttare a proprio vantaggio il supporto transazionale offerto dai sistemi (Paragrafo 5.4), analizzando con attenzione qual è il risultato dell'esecuzione di un comando di `drop cascade` prima di rendere definitivi i suoi effetti mediante un `commit`.

una soluzione applicabile solamente su un particolare sistema e quindi non portabile. Infine, la realizzazione di un comando DDL può richiedere di manipolare diverse componenti del dizionario e una modifica diretta corre il rischio di non realizzare completamente tutti i passi necessari e quindi di produrre un catalogo inconsistente.

Lo standard SQL-2 prevede per il dizionario dei dati una descrizione in due livelli. Un primo livello è quello del **DEFINITION_SCHEMA**, costituito da un insieme di tabelle che contengono la descrizione di tutte le strutture della base di dati. Nello standard compare un insieme di tabelle di esempio che però non corrisponde a nessuna delle implementazioni di SQL, in quanto le tabelle forniscono una descrizione dei soli aspetti di un sistema di base di dati che vengono gestiti dallo standard SQL, tralasciando in particolare tutti i problemi di definizione delle strutture di memorizzazione che, pur se non presenti nello standard, costituiscono un componente fondamentale di uno schema. Le tabelle dello standard costituiscono quindi una traccia che potrebbe (ma non deve necessariamente) essere seguita dai sistemi.

Il secondo componente dello standard è l'**INFORMATION_SCHEMA**, un insieme di viste costruite sul **DEFINITION_SCHEMA** che invece fanno parte a pieno titolo dello standard e che costituiscono un'interfaccia verso il dizionario dei dati che deve essere garantita dai sistemi che vogliono essere conformi allo standard. L'**INFORMATION_SCHEMA** contiene viste come **TABLES**, **VIEWS**, **COLUMNS**, **DOMAINS**, **DOMAIN_CONSTRAINTS** e altre, per un totale di ventitré viste che descrivono la struttura della base di dati.

Non descriviamo né il nome né la struttura di tutte queste tabelle, ma forniamo un semplice esempio del contenuto di queste viste. In Figura 4.2 vediamo (in versione semplificata) il contenuto della vista **COLUMNS** del catalogo per le tabellle **IMPIEGATO** e **DIPARTIMENTO**. **Table_Name** rappresenta il nome della tabella;

COLUMNS

Table_Name	Column_Name	Ordinal_Position	Column_Default	Is_Nullable
Impiegato	Matricola	1	NULL	N
Impiegato	Cognome	2	NULL	N
Impiegato	Nome	3	NULL	N
Impiegato	Dipart	4	NULL	Y
Impiegato	Ufficio	5	NULL	Y
Impiegato	Stipendio	6	0	Y
Dipartimento	Nome	1	NULL	N
Dipartimento	Indirizzo	2	NULL	Y
Dipartimento	Città	3	NULL	Y

Figura 4.2 Una parte del contenuto della vista **COLUMNS** del dizionario dei dati

COLUMNS

Table_Name	Column_Name	Ordinal_Position	Column_Default	Is_Nullable
Columns	Table_Name	1	NULL	N
Columns	Column_Name	2	NULL	N
Columns	Ordinal_Position	3	NULL	N
Columns	Column_Default	4	NULL	Y
Columns	Is_Nullable	5	Y	N

Figura 4.3 La descrizione riflessiva di COLUMNS

Column_Name è il nome dell'attributo; Ordinal_Position descrive la posizione dell'attributo nello schema; Column_Default specifica il valore di default per l'attributo; infine, Is_Nullable è un valore booleano che specifica se l'attributo può assumere il valore nullo.

In Figura 4.3 si vede una dimostrazione della riflessività del dizionario dati, con la descrizione in COLUMNS della tabella stessa.

4.3 Interrogazioni in SQL

La parte di SQL dedicata alla formulazione di interrogazioni fa parte del DML. D'altro canto, la separazione tra DML e DDL non è rigida e parte dei servizi di definizione di interrogazioni vengono riutilizzati nella specifica di alcuni aspetti avanzati dello schema (Paragrafo 5.1).

4.3.1 Dichiaratività di SQL

SQL esprime le interrogazioni in modo *dichiarativo*, ovvero si specifica l'obiettivo dell'interrogazione e non il modo in cui ottenerlo. In ciò SQL segue i principi del calcolo relazionale e si contrappone a linguaggi di interrogazione *procedurali*, come l'algebra relazionale, in cui l'interrogazione specifica i passi da compiere per estrarre le informazioni dalla base di dati. L'interrogazione SQL per essere eseguita viene passata all'ottimizzatore di interrogazioni (*query optimizer*), un componente del DBMS il quale analizza l'interrogazione e formula a partire da questa un'interrogazione equivalente nel linguaggio procedurale interno del sistema di gestione di basi di dati. Questo linguaggio procedurale è nascosto all'utente. Per questo, chiunque scriva interrogazioni in SQL può trascurare gli aspetti di traduzione e ottimizzazione. Il grande sforzo dedicato allo sviluppo di tecniche di ottimizzazione ha permesso di costruire strumenti che sono in grado di produrre traduzioni molto efficienti per la maggior parte dei DBMS relazionali.

Esistono in generale molti modi diversi per esprimere la stessa interrogazione in SQL: il programmatore dovrà effettuare una scelta basandosi non sull'efficien-

za, bensì su caratteristiche come la leggibilità e la modificabilità dell’interrogazione. SQL agevola così il lavoro del programmatore permettendogli di descrivere le interrogazioni in un modo astratto e di alto livello.

4.3.2 Interrogazioni semplici

Le operazioni di interrogazione in SQL vengono specificate per mezzo dell’istruzione `select`. Vediamo prima la struttura essenziale di una `select`.

```
select ListaAttributi
      from ListaTabelle
            [ where Condizione ]
```

Le tre parti di cui si compone un’istruzione `select` vengono spesso chiamate *clausola select* (detta anche *target list*), *clausola from* e *clausola where*. Una descrizione più precisa della stessa sintassi è la seguente:

```
select AttrExpr [ [as] Alias ] {, AttrExpr [ [as] Alias ] }
      from Tabella [ [as] Alias ] {, Tabella [ [as] Alias ] }
            [ where Condizione ]
```

L’interrogazione SQL seleziona, tra le righe che appartengono al prodotto cartesiano delle tabelle elencate nella clausola `from`, quelle che soddisfano le condizioni espresse nell’argomento della clausola `where`. Il risultato dell’esecuzione di un’interrogazione SQL è così una tabella con una riga per ogni riga prodotta dalla clausola `from` e filtrata dalla clausola `where`, le cui colonne si ottengono dalla valutazione delle espressioni `AttrExpr` che appaiono nella clausola `select`. Ogni colonna del risultato viene eventualmente ridefinita con l’*Alias*, se questo compare dopo l’espressione. Anche le tabelle nella clausola `from` possono essere ridefatte con un *Alias*; l’alias per le tabelle ha però una importante funzione che approfondiremo nel seguito, quando parleremo dell’uso delle variabili nelle interrogazioni.

Per formulare le prime interrogazioni SQL, si consideri una base di dati avente le due tabelle IMPIEGATO(Nome,Cognome,Dipart,Ufficio,Stipendio,Città) e DIPARTIMENTO(Nome,Indirizzo,Città).

Interrogazione 1: estrarre lo stipendio degli impiegati di cognome “Rossi”.

```
select Stipendio as Salario
      from Impiegato
            where Cognome = 'Rossi'
```

Se non vi sono impiegati di cognome “Rossi”, l’interrogazione restituirà un insieme vuoto, altrimenti, un insieme con tante righe quanti sono tali impiegati. Applicando l’interrogazione alla tabella in Figura 4.4 si ottiene il risultato in Figura 4.5: vi sono due impiegati di cognome “Rossi”, quindi il risultato contiene due righe.

Estendiamo ora l’analisi delle interrogazioni SQL, introducendo man mano costrutti più complicati.

IMPIEGATO

Nome	Cognome	Dipart	Ufficio	Stipendio	Città
Mario	Rossi	Amministrazione	10	45	Milano
Carlo	Bianchi	Produzione	20	36	Torino
Giovanni	Verdi	Amministrazione	20	40	Roma
Franco	Neri	Distribuzione	16	45	Napoli
Carlo	Rossi	Direzione	14	80	Milano
Lorenzo	Gialli	Direzione	7	73	Genova
Paola	Rosati	Amministrazione	75	40	Venezia
Marco	Franco	Produzione	20	46	Roma

Figura 4.4 Contenuto della tabella IMPIEGATO

Salario
45
80

Figura 4.5 Risultato dell'Interrogazione 1

Clausola select La clausola `select` specifica gli elementi dello schema della tabella risultato. Come argomento della clausola `select` può anche comparire il carattere speciale `*` (asterisco), che rappresenta la selezione di tutti gli attributi delle tabelle elencate nella clausola `from`.

Interrogazione 2: estrarre tutte le informazioni relative agli impiegati di cognome “Rossi”. Il risultato compare in Figura 4.6.

```
select *
from Impiegato
where Cognome = 'Rossi'
```

Nella clausola `select` possono comparire generiche espressioni sul valore degli attributi di ciascuna riga selezionata.

Nome	Cognome	Dipart	Ufficio	Stipendio	Città
Mario	Rossi	Amministrazione	10	45	Milano
Carlo	Rossi	Direzione	14	80	Milano

Figura 4.6 Risultato dell'Interrogazione 2

StipendioMensile
3,00

Figura 4.7 Risultato dell'Interrogazione 3

Interrogazione 3: estrarre lo stipendio mensile dell'impiegato che ha cognome "Bianchi". Il risultato è in Figura 4.7.

```
select Stipendio/12 as StipendioMensile  
from Impiegato  
where Cognome = 'Bianchi'
```

Clausola from Quando si desidera formulare un'interrogazione che coinvolge righe appartenenti a più di una tabella, si pone come argomento della clausola *from* l'insieme di tabelle alle quali si vuole accedere. Sul prodotto cartesiano delle tabelle elencate verranno applicate le condizioni contenute nella clausola *where*. Quindi, un *join* può essere specificato indicando in modo esplicito le condizioni che esprimono il legame tra le diverse tabelle.

Interrogazione 4: estrarre i nomi degli impiegati e le città in cui lavorano.

```
select Impiegato.Nome, Impiegato.Cognome,  
       Dipartimento.Città  
  from Impiegato, Dipartimento  
 where Impiegato.Dipart = Dipartimento.Nome
```

Supponendo che il contenuto di IMPIEGATO sia quello della Figura 4.4, mentre DIPARTIMENTO sia rappresentato dalla tabella in Figura 4.8, il risultato della valutazione dell'interrogazione sarà pari alla tabella rappresentata in Figura 4.9.

Rispetto alla interrogazione precedente si nota l'uso dell'operatore *punto* per identificare le tabelle da cui vengono estratti gli attributi. Per esempio, il termine

DIPARTIMENTO	Nome	Indirizzo	Città
Amministrazione	Via Tito Livio, 27	Milano	
Produzione	P.le Lavater, 3	Torino	
Distribuzione	Via Segre, 9	Roma	
Direzione	Via Tito Livio, 27	Milano	
Ricerca	Via Venosa, 6	Milano	

Figura 4.8 Contenuto della tabella DIPARTIMENTO

Impiegato.Nome	Impiegato.Cognome	Dipartimento.Città
Mario	Rossi	Milano
Carlo	Bianchi	Torino
Giovanni	Verdi	Milano
Franco	Neri	Roma
Carlo	Rossi	Milano
Lorenzo	Gialli	Milano
Paola	Rosati	Milano
Marco	Franco	Torino

Figura 4.9 Risultato dell'Interrogazione 4

Impiegato.Nome identifica l'attributo Nome della tabella IMPIEGATO. Viene fatto un uso analogo dell'operatore punto in molti linguaggi di programmazione, per identificare i campi di una variabile strutturata. È necessario specificare il nome della tabella quando le tabelle presenti nella clausola from possiedono più attributi con lo stesso nome. Qualora non vi sia possibilità di ambiguità, è possibile specificare l'attributo senza dichiarare la tabella di appartenenza.

Interrogazione 5: gli attributi per cui sorge un'ambiguità sono Nome e Città. L'interrogazione precedente può essere espressa facendo uso degli alias per le tabelle allo scopo di abbreviare i riferimenti a esse.

```
select I.Nome, Cognome, D.Città
from Impiegato as I, Dipartimento as D
where Dipart = D.Nome
```

Clausola where La clausola where ammette come argomento una espressione booleana costruita combinando predicati semplici con gli operatori and, or e not. Ciascun predicato semplice usa gli operatori =, <>, <, >, <= e >= per confrontare da un lato un'espressione costruita a partire dai valori degli attributi per la riga, e dall'altro lato un valore costante o un'altra espressione. Nel caso più semplice l'espressione è rappresentata dal nome di un attributo. Quando i predicati sono separati dall'operatore and, saranno selezionate solo le righe per cui *tutti* i predicati sono veri; quando i predicati sono separati dall'operatore or, saranno selezionate solo le righe per cui *almeno uno* dei predicati risulta vero. L'operatore logico not è unario, e inverte il valore di verità del predicato. La sintassi assegna la precedenza nella valutazione all'operatore not, ma non definisce una relazione di precedenza tra gli operatori and e or. Se è necessario esprimere un'interrogazione che richieda l'uso sia di and che di or, conviene esplicitare l'ordine di valutazione mediante parentesi.

Nome	Cognome
Giovanni	Verdi

Figura 4.10 Risultato dell'Interrogazione 6

Interrogazione 6: estrarre il nome e il cognome degli impiegati che lavorano nell'ufficio 20 del dipartimento Amministrazione.

```
select Nome, Cognome
from Impiegato
where Ufficio = 20 and Dipart = 'Amministrazione'
```

Sulla base di dati di Figura 4.4, si ottiene il risultato in Figura 4.10.

Interrogazione 7: estrarre i nomi e i cognomi degli impiegati che lavorano nel dipartimento Amministrazione o nel dipartimento Produzione.

```
select Nome, Cognome
from Impiegato
where Dipart = 'Amministrazione' or
      Dipart = 'Produzione'
```

Applicando l'interrogazione alla tabella in Figura 4.4 si ottiene il risultato in Figura 4.11.

Interrogazione 8: estrarre i nomi propri degli impiegati di cognome "Rossi" che lavorano nei dipartimenti Amministrazione o Produzione. Il risultato è rappresentato in Figura 4.12.

```
select Nome
from Impiegato
where Cognome = 'Rossi' and
      (Dipart = 'Amministrazione' or
      Dipart = 'Produzione')
```

Nome	Cognome
Mario	Rossi
Carlo	Bianchi
Giovanni	Verdi
Paola	Rosati
Marco	Franco

Figura 4.11 Risultato dell'Interrogazione 7

Nome
Mario

Figura 4.12 Risultato dell'Interrogazione 8

Oltre ai normali predicati di confronto relazionali, SQL mette a disposizione un operatore `like` per il confronto di stringhe, che permette di effettuare confronti con stringhe in cui compaiono i caratteri speciali _ (trattino sottolineato) e % (percentuale). Il primo carattere speciale può rappresentare nel confronto un carattere arbitrario, il secondo una stringa di un numero arbitrario (eventualmente anche nullo) di caratteri arbitrari. Un confronto `like 'ab%ba'` sarà perciò soddisfatto da una qualsiasi stringa di caratteri che inizia con ab e che ha la coppia di caratteri ba prima dell'ultima posizione (per esempio abcdedcbac, oppure abbaef).

Interrogazione 9: estrarre gli impiegati che hanno un cognome che ha una "o" in seconda posizione e finisce per "i". Il risultato è rappresentato in Figura 4.13.

```
select *
from Impiegato
where Cognome like '_o%i'
```

Gestione dei valori nulli Come abbiamo visto nel Paragrafo 2.1.5, un valore nullo in un attributo può significare che un certo attributo non è applicabile, o che il valore è applicabile ma non è conosciuto, o anche che non si sa quale delle due situazioni vale.

Per selezionare i termini con valori nulli SQL fornisce il predicato `is null`, la cui sintassi è semplicemente:

Attributo is [not] null

Il predicato risulta vero solo se l'attributo ha valore *nullo*. Il predicato `is not null` è la sua negazione.

Nome	Cognome	Dipart	Ufficio	Stipendio	Città
Mario	Rossi	Amministrazione	10	45	Milano
Carlo	Rossi	Direzione	14	80	Milano
Paola	Rosati	Amministrazione	75	40	Venezia

Figura 4.13 Risultato dell'Interrogazione 9

I valori nulli hanno un particolare impatto sulla valutazione dei normali predicatori. Consideriamo un semplice predicato di confronto fra un attributo e un valore costante:

Stipendio > 40

Questo predicato sarà vero per le righe in cui l'attributo **Stipendio** è superiore a 40 mila euro. Richiamando quanto detto nel Paragrafo 3.1.8, osserviamo che ci sono due diverse soluzioni per gestire il caso in cui l'attributo **Stipendio** abbia valore nullo. La prima soluzione, più immediata e adottata dallo standard SQL-89, usa la tradizionale logica a due valori e prevede semplicemente di considerare falso il predicato. La seconda soluzione è invece quella adottata in SQL a partire da SQL-2 e fa uso di una logica a tre valori, in cui un predicato semplice restituisce il valore *unknown* quando uno qualsiasi dei termini del predicato ha valore nullo. Si noti che il predicato `is null` costituisce un'eccezione, restituendo sempre il valore *vero* o il valore *falso*, e mai il valore *unknown*.

La differenza tra le soluzioni basate sulle logiche rispettivamente a due e tre valori emerge solo quando si valutano espressioni complicate. In alcuni casi il comportamento del sistema in presenza di valori nulli può diventare molto poco intuitivo, particolarmente quando si costruiscono prediciati complessi che usano l'operatore di negazione o interrogazioni nidificate (Paragrafo 4.3.6), richiedendo molta attenzione anche a programmatore esperti.

Interpretazione formale delle interrogazioni SQL È possibile costruire una corrispondenza tra le interrogazioni SQL ed equivalenti interrogazioni espresse in algebra relazionale.

Data un'interrogazione SQL nella sua forma più semplice:

```
select T1.Attributo11, ..., Th.Attributohm
  from TABELLA1 T1, ..., TABELLAn Tn
    where Condizione
```

si può costruire un'interrogazione equivalente in algebra relazionale utilizzando la seguente traduzione (in cui per semplicità omettiamo le ridenominazioni che ci permettono di considerare tutti i join come prodotti cartesiani):

$$\pi_{T_1.\text{Attributo}_{11}, \dots, T_h.\text{Attributo}_{hm}}(\sigma_{\text{Condizione}}(TABELLA_1 \bowtie \dots \bowtie TABELLA_n))$$

Per interrogazioni SQL più complicate la formula di conversione sopra rappresentata non è più direttamente applicabile. Sarebbe comunque possibile mostrare una tecnica per tradurre ogni interrogazione SQL in una equivalente interrogazione in algebra relazionale, al più utilizzando gli operatori di assegnamento e di ridenominazione.

Ancora più stretto è il legame tra SQL e il calcolo relazionale su tuple con dichiarazioni di range (Paragrafo 3.2.3).

Se si assume che le variabili T_1, T_2, \dots, T_h siano presenti nella clausola `select` e che $T_{h+1}, T_{h+2}, \dots, T_n$ non lo siano⁴, la generica istruzione `select` ha una semantica che è uguale a quella della seguente espressione del calcolo relazionale su tuple con dichiarazioni di range:

$$\{t_1.\text{Attributo}_{11}, \dots, t_h.\text{Attributo}_{hm} \\ | t_1(\text{TABELLA}_1), \dots, t_h(\text{TABELLA}_h) \\ |\exists t_{h+1}(\text{TABELLA}_{h+1})(\dots (\exists t_n(\text{TABELLA}_n) \\ (\text{Condizione}')) \dots)\}$$

dove *Condizione'* è la formula ottenuta da *Condizione* sostituendo nel modo naturale la notazione SQL a quella usata per il calcolo relazionale. Si può osservare come a ogni alias di tabella corrisponda una variabile del calcolo. Vedremo che questa interpretazione degli alias è in effetti analoga all'interpretazione che dà SQL.

Una condizione essenziale per l'esecuzione di queste traduzioni è però che l'interrogazione di partenza non usi funzionalità di SQL non presenti nell'algebra e nel calcolo relazionale, come la valutazione di operatori aggregati (che non abbiamo ancora trattato e che saranno l'oggetto del Paragrafo 4.3.3). I risultati delle interrogazioni SQL differiscono anche dalle espressioni dell'algebra e del calcolo relazionale nella gestione dei duplicati, come discutiamo qui sotto.

Duplicati Una significativa differenza tra SQL e algebra relazionale è data dalla gestione dei duplicati. Mentre in algebra una tabella viene vista come una relazione dal punto di vista matematico, e quindi come un insieme di elementi (tuple) diversi tra loro, in SQL si possono avere in una tabella più righe uguali (dette duplicati), ovvero righe con gli stessi valori per tutti gli attributi.

Per emulare il comportamento dell'algebra relazionale, sarebbe necessario effettuare l'eliminazione dei duplicati tutte le volte in cui si eseguono operazioni di proiezione. L'operazione di rimozione di duplicati è però molto costosa e spesso non necessaria, in quanto in molti casi il risultato non contiene duplicati. Per esempio, quando il risultato include una chiave per ogni tabella che compare nella clausola `from`, la tabella risultato non può contenere più esemplari della stessa riga. Per questo in SQL si è stabilito di permettere la presenza di duplicati all'interno delle tabelle, lasciando a chi scrive l'interrogazione il compito di specificare esplicitamente quando l'operazione di rimozione di duplicati è necessaria.

L'eliminazione dei duplicati è specificata con la parola chiave `distinct`, da porre immediatamente dopo la parola chiave `select`. La sintassi prevede che si possa anche specificare la parola chiave `all` al posto di `distinct`, indicando che si intendono mantenere tutti i duplicati. L'indicazione della parola `all` è opzionale in quanto, come abbiamo detto, il mantenimento dei duplicati costituisce l'opzione di default.

⁴Si noti che è sempre possibile riordinare le variabili in modo tale che questa condizione sia soddisfatta.

PERSONA	CodFiscale	Nome	Cognome	Città
	RSSMRA55B21T234J	Mario	Rossi	Verona
	BNCCLR69T30H745Z	Carlo	Bianchi	Roma
	RSSGNN41A31B344C	Giovanni	Rossi	Verona
	RSSPRT75C12F205V	Pietro	Rossi	Milano

Figura 4.14 Tabella PERSONA

Data la relazione PERSONA(CodFiscale,Nome,Cognome,Città) (Figura 4.14), si vogliono determinare le città in cui abitano persone con cognome “Rossi”; mostriamo due esempi, il primo dei quali ammette la presenza di duplicati mentre il secondo fa uso dell’opzione `distinct` e quindi li rimuove.

Interrogazione 10: estrarre le città delle persone il cui cognome è “Rossi”, presentando eventualmente più volte lo stesso valore di Città.

```
select Città
from Persona
where Cognome = 'Rossi'
```

Interrogazione 11: estrarre le città delle persone con cognome “Rossi”, facendo comparire ogni città al più una volta.

```
select distinct Città
from Persona
where Cognome = 'Rossi'
```

Eseguendo le due interrogazioni sopra riportate sulla tabella descritta in Figura 4.14, otteniamo i risultati che compaiono in Figura 4.15.

Join interni ed esterni Una sintassi alternativa per la specifica dei join (introdotta in SQL-2 e ancora in via di diffusione) permette di distinguere, tra le condizioni che compaiono nell’interrogazione, quelle che rappresentano condizioni di join e quelle che rappresentano condizioni di selezione sulle righe. In tal modo si possono anche specificare le forme esterne dell’operatore di join.

Città	Città
Verona	Verona
Verona	
Milano	Milano

Figura 4.15 Il risultato delle Interrogazioni 10 e 11

La sintassi proposta è la seguente:

```
select AttrExpr [ [as] Alias ] {, AttrExpr [ [as] Alias ] }
from Tabella [ [ as ] Alias ]
{ [ TipoJoin ] join Tabella [ [ as ] Alias ] on CondizioneDiJoin }
[ where AltraCondizione ]
```

Mediante questa sintassi la condizione di join non compare come argomento della clausola `where`, ma viene invece spostata nell'ambito della clausola `from`, associata alle tabelle che vengono coinvolte nel join.

Il parametro `TipoJoin` specifica qual è il tipo di join da usare, e a esso si possono sostituire i termini `inner` (interno, valore di default che può essere omesso), `right outer`, `left outer` o `full outer` (il qualificatore `outer` è opzionale). L'`inner join` rappresenta il tradizionale theta-join dell'algebra relazionale.

Interrogazione 12: l'Interrogazione 5 può essere riscritta in un modo diverso.

```
select I.Nome, Cognome, D.Città
from Impiegato I join Dipartimento D
on Dipart = D.Nome
```

Con il join interno le righe che vengono coinvolte nel join sono in generale un sottoinsieme delle righe di ciascuna tabella. Può infatti capitare che alcune righe non vengano considerate in quanto non esiste una corrispondente riga nell'altra tabella per cui la condizione sia soddisfatta. Questo comportamento spesso non rispetta le esigenze delle applicazioni, le quali, alla eliminazione delle righe operata dal join, possono preferire di mantenere le righe, introducendo dei valori nulli per rappresentare l'assenza di informazioni provenienti dall'altra tabella. Come abbiamo visto nel Paragrafo 3.1.5, il join esterno (`outer join`) esegue un join mantenendo però tutte le righe che fanno parte di una o entrambe le tabelle coinvolte.

Esistono appunto tre varianti dei join esterni: `left`, `right` e `full`. Il `left join` fornisce come risultato il join interno esteso con le righe della tabella che compare a sinistra per le quali non esiste una corrispondente riga nella tabella di destra; il `right join` si comporta in modo simmetrico (conserva le righe escluse della tabella di destra); infine, il `full join` restituisce il join interno esteso con le righe escluse di entrambe le tabelle.

Si considerino le tabelle `GUIDATORE` e `AUTOMOBILE` rappresentate in Figura 4.16.

Interrogazione 13: estrarre i guidatori con le automobili loro associate, mantenendo nel risultato anche i guidatori senza automobile.

```
select Nome, Cognome, G.NroPatente,
       Targa, Marca, Modello
  from Guidatore G left join Automobile A on
    (G.NroPatente=A.NroPatente)
```

GUIDATORE	Nome	Cognome	NroPatente
	Mario	Rossi	VR 2030020Y
	Carlo	Bianchi	PZ 1012436B
	Marco	Neri	AP 4544442R

AUTOMOBILE	Targa	Marca	Modello	NroPatente
	AB 574 WW	Fiat	Punto	VR 2030020Y
	AA 652 FF	Fiat	Brava	VR 2030020Y
	BJ 747 XX	Lancia	Delta	PZ 1012436B
	BB 421 JJ	Fiat	Uno	MI 2020030U

Figura 4.16 Tabelle GUIDATORE e AUTOMOBILE

Il risultato compare in Figura 4.17. Si noti come l'ultima riga del risultato rappresenti un guidatore cui non risulta associata nessuna automobile.

Interrogazione 14: estrarre tutti i guidatori e tutte le auto, mostrando tutte le relazioni esistenti tra di essi.

```
select Nome, Cognome, G.NroPatente,
       Targa, Marca, Modello
  from Guidatore G full join Automobile A on
        (G.NroPatente=A.NroPatente)
```

L'interrogazione produce come risultato la tabella in Figura 4.18. Si noti che l'ultimo elemento della tabella descrive un'automobile per la quale non esiste un corrispondente elemento in GUIDATORE.

In alcune implementazioni di SQL si rappresenta il join esterno aggiungendo all'identificativo degli attributi un particolare carattere o sequenza di caratteri (per esempio * o (+)). In questo modo diventa possibile formulare il join esterno senza ricorrere alla sintassi che abbiamo visto.

Nome	Cognome	G.NroPatente	Targa	Marca	Modello
Mario	Rossi	VR 2030020Y	AB 574 WW	Fiat	Punto
Mario	Rossi	VR 2030020Y	AA 652 FF	Fiat	Brava
Carlo	Bianchi	PZ 1012436B	BJ 747 XX	Lancia	Delta
Marco	Neri	AP 4544442R	NULL	NULL	NULL

Figura 4.17 Risultato dell'Interrogazione 13

Nome	Cognome	G.NroPatente	Targa	Marca	Modello
Mario	Rossi	VR 2030020Y	AB 574 WW	Fiat	Punto
Mario	Rossi	VR 2030020Y	AA 652 FF	Fiat	Brava
Carlo	Bianchi	PZ 1012436B	BJ 747 XX	Lancia	Delta
Marco	Neri	AP 4544442R	NULL	NULL	NULL
NULL	NULL	NULL	BB 421 JJ	Fiat	Uno

Figura 4.18 Risultato dell'Interrogazione 14

Interrogazione 15: l'Interrogazione 13 potrebbe essere formulata in un modo diverso.

```
select Nome, Cognome, G.NroPatente,
       Targa, Marca, Modello
  from Guidatore G, Automobile A
 where G.NroPatente * = A.NroPatente
```

Queste soluzioni sono però al di fuori dello standard SQL e non sono perciò portabili da un sistema all'altro.

Un'ulteriore estensione di SQL-2 permette di far precedere a ogni join la parola chiave `natural`. In questo modo si consente la specifica del join naturale dell'algebra relazionale, che prevede di utilizzare nel join di due tabelle una condizione implicita di uguaglianza su tutti gli attributi caratterizzati dallo stesso nome (Paragrafo 3.1.5). Per esempio, la query 14 potrebbe essere rappresentata come:

Interrogazione 16:

```
select Nome, Cognome, G.NroPatente,
       Targa, Marca, Modello
  from Guidatore G natural full join Automobile
```

Nonostante il vantaggio di una rappresentazione più compatta, il join naturale non è normalmente consigliabile (e spesso non è offerto dai sistemi commerciali). Un motivo è che un'interrogazione che usa il join naturale può introdurre dei rischi nelle applicazioni, in quanto il suo comportamento può mutare profondamente al variare dello schema delle tabelle.

Uso di variabili Abbiamo già visto come nelle interrogazioni SQL sia possibile associare un nome alternativo, detto *alias*, alle tabelle che compaiono come argomento della clausola `from`. Il nome viene usato per far riferimento alla tabella nel contesto dell'interrogazione. Questa funzionalità può essere sfruttata per far riferimento a una tabella in modo compatto, ricorrendo a brevi alias ed evitando così di scrivere per esteso il nome della tabella tutte le volte che ne viene richiesto l'uso (Interrogazione 5). Vi sono però altre ragioni per usare gli alias.

Per prima cosa, utilizzando gli alias è possibile far riferimento a più esemplari della stessa tabella, in modo analogo all'uso dell'operatore di ridenominazione ρ dell'algebra relazionale. Tutte le volte che si introduce un alias per una tabella si dichiara in effetti una variabile che rappresenta le righe della tabella di cui è alias. Quando una tabella compare una sola volta in un'interrogazione, non c'è differenza tra l'interpretare l'alias come uno pseudonimo o come una nuova variabile. Quando una tabella compare invece più volte, è necessario considerare l'alias come una nuova variabile.

Interrogazione 17: estrarre tutti gli impiegati che hanno lo stesso cognome (ma diverso nome) di impiegati del dipartimento Produzione.

```
select I1.Cognome, I1.Nome  
from Impiegato I1, Impiegato I2  
where I1.Cognome = I2.Cognome and  
    I1.Nome <> I2.Nome and  
    I2.Dipart = 'Produzione'
```

Questa interrogazione confronta ciascuna riga di IMPIEGATO con tutte le righe di IMPIEGATO associate al dipartimento Produzione. Si osservi che in questa interrogazione, ogni riga con "Produzione" come valore dell'attributo Dipart viene confrontata anche con se stessa, ma il confronto della riga con se stessa non sarà mai soddisfatto, in quanto il predicato di disuguaglianza sull'attributo Nome non potrà mai essere vero.

Per illustrare l'esecuzione di questa interrogazione, si può immaginare che al momento della definizione degli alias, vengano create due diverse tabelle associate alle variabili I1 e I2, ciascuna con tutte le righe di IMPIEGATO; ciascuna variabile assumerà quindi ciascun valore di tupla in modo indipendente dall'altra variabile. La Figura 4.19 descrive l'operazione di copia della tabella IMPIEGATO in I1 e I2 e il successivo confronto di ogni riga di I1 con ciascuna riga di I2.

La definizione di alias risulta anche molto importante per la realizzazione di sofisticate interrogazioni nidificate, come vedremo nel Paragrafo 4.3.6.

Per mostrare la corrispondenza tra l'operatore di ridenominazione dell'algebra e l'uso di variabili in SQL, possiamo formulare in SQL un'interrogazione già espressa nel Paragrafo 3.1.6 (Espressione 3.2).

Interrogazione 18: estrarre il nome e lo stipendio dei capi degli impiegati che guadagnano più di 40 mila euro.

```
select I1.Nome as NomeC, I1.Stipendio as StipC  
from Impiegati I1, Supervisione, Impiegati I2  
where I1.Matricola = Supervisione.Capo and  
    I2.Matricola = Supervisione.Impiegato and  
    I2.Stipendio > 40
```

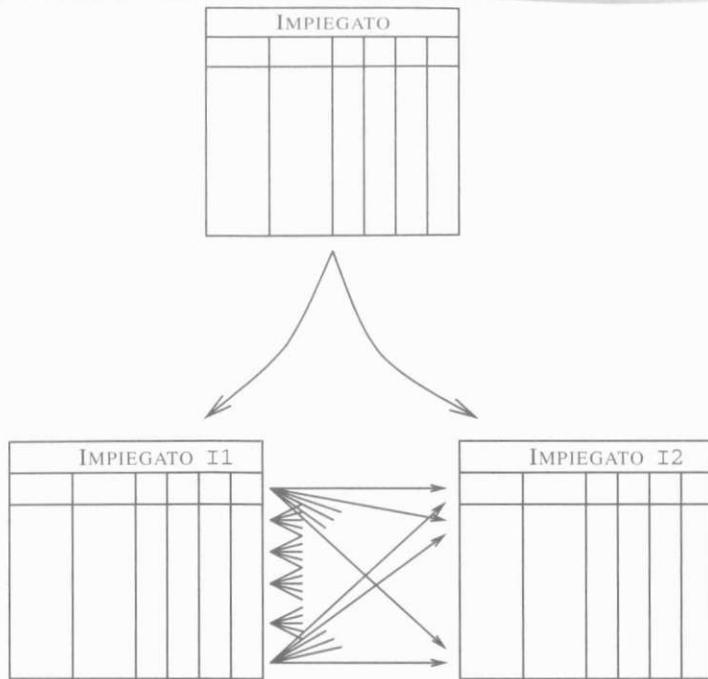


Figura 4.19 Descrizione dell'esecuzione dell'Interrogazione 17

Ordinamento Mentre una relazione è costituita da un insieme non ordinato di tuple, nell'uso reale delle basi di dati sorge spesso il bisogno di costruire un ordine sulle righe delle tabelle. Pensiamo al caso in cui un utente vuole sapere quali sono gli stipendi più elevati che vengono elargiti dall'azienda. Una interrogazione che restituisce i dati degli impiegati ordinati in base al valore dell'attributo **Stipendio** permette di soddisfare questa esigenza.

SQL permette di specificare un ordinamento delle righe del risultato di un'interrogazione tramite la clausola **order by**, con la quale si chiude l'interrogazione. La clausola rispetta la seguente sintassi:

```
order by AttrDiOrdinamento [ asc | desc ]
      { , AttrDiOrdinamento [ asc | desc ] }
```

In questo modo si specificano gli attributi che devono essere usati per l'ordinamento. Per prima cosa, le righe vengono ordinate in base al primo attributo nell'elenco. Per righe che hanno lo stesso valore del primo attributo, si considerano i valori degli attributi successivi, in sequenza. L'ordine su ciascun attributo può essere ascendente o discendente, a seconda che si sia usato il qualificatore **asc** o **desc**. Se il qualificatore è omesso, si assume un ordinamento ascendente.

Si consideri la base di dati in Figura 4.16.

Targa	Marca	Modello	NroPatente
BJ 747 XX	Lancia	Delta	PZ 1012436B
AA 652 FF	Fiat	Brava	VR 2030020Y
AB 574 WW	Fiat	Punto	VR 2030020Y
BB 421 JJ	Fiat	Uno	MI 2020030U

Figura 4.20 Risultato dell'Interrogazione 19

Interrogazione 19: estrarre il contenuto della tabella AUTOMOBILE ordinato in base alla marca (in modo discendente) e al modello.

```
select *
from Automobile
order by Marca desc, Modello
```

Il risultato è rappresentato in Figura 4.20.

4.3.3 Operatori aggregati

Gli operatori aggregati costituiscono una delle più importanti estensioni di SQL rispetto all'algebra relazionale.

In algebra relazionale tutte le condizioni vengono valutate su una tupla alla volta: la condizione è sempre un predicato che viene valutato su ciascuna tupla indipendentemente da tutte le altre.

Spesso però nei contesti reali viene richiesto di valutare delle proprietà che dipendono da insiemi di tuple. Supponiamo che si voglia determinare il numero degli impiegati del dipartimento Produzione. Il numero di impiegati corrisponderà al numero di tuple della relazione IMPIEGATO che possiedono “Produzione” come valore dell'attributo Dipart. Questo numero non è però una proprietà posseduta da una tupla in particolare e perciò l'interrogazione non è esprimibile in algebra relazionale. Per esprimerla in SQL usiamo l'operatore aggregato di conteggio count.

Interrogazione 20: estrarre il numero di impiegati del dipartimento Produzione.

```
select count(*)
from Impiegato
where Dipart = 'Produzione'
```

Gli operatori aggregati vengono gestiti come un'estensione delle normali interrogazioni. Prima viene normalmente eseguita l'interrogazione, considerando solo le parti from e where. L'operatore aggregato viene poi applicato alla tabella contenente il risultato dell'interrogazione. Nell'esempio appena visto, prima si

costruisce la tabella che contiene tutte le righe di IMPIEGATO che hanno “Produzione” come valore dell’attributo Dipart, dopodiché su questa tabella si applica l’operatore aggregato che conta il numero di righe che compaiono nella tabella.

Lo standard SQL prevede cinque operatori aggregati: count, sum, max, min e avg.

L’operatore count usa la seguente sintassi:

```
count ( ( * | [ distinct | all ] ListaAttributi ) )
```

La prima opzione (*) restituisce il numero di righe; l’opzione distinct restituisce il numero di diversi valori degli attributi in *ListaAttributi*; l’opzione all invece restituisce il numero di righe che possiedono valori diversi dal valore nullo per gli attributi in *ListaAttributi*. Se si specifica un attributo e si omette distinct o all, si assume all come default.

Interrogazione 21: estrarre il numero di diversi valori dell’attributo Stipendio fra tutte le righe di IMPIEGATO.

```
select count(distinct Stipendio)
      from Impiegato
```

Interrogazione 22: estrarre il numero di righe che possiedono un valore non nullo per l’attributo Nome.

```
select count(all Nome)
      from Impiegato
```

Gli altri quattro operatori aggregati invece ammettono come argomento un attributo o un’espressione, eventualmente preceduta dalle parole chiave distinct o all. Le funzioni aggregate sum e avg ammettono come argomento solo espressioni che rappresentano valori numerici o intervalli di tempo. Le funzioni max e min richiedono solamente che sull’espressione sia definito un ordinamento, per cui si possono applicare anche su stringhe di caratteri o su istanti di tempo.

```
( sum | max | min | avg ) ( [ distinct | all ] AttrEspr )
```

Gli operatori si applicano sulle righe che soddisfano la condizione presente nella clausola where e hanno il seguente significato:

- sum: restituisce la somma dei valori posseduti dall’espressione;
- max e min: restituiscono rispettivamente il valore massimo e minimo;
- avg: restituisce la media dei valori (vale a dire, il risultato della divisione di sum per count).

Le parole chiave `distinct` e `all` hanno il significato che abbiamo già visto: `distinct` elimina i duplicati, mentre `all` trascura solo i valori nulli; l'uso di `distinct` o `all` con gli operatori `max` e `min` non ha effetto sul risultato.

Le varie implementazioni di SQL spesso offrono un repertorio di operatori aggregati più vasto, fornendo operatori di tipo statistico come varianza, mediana, scarto quadratico medio ecc.

Interrogazione 23: estrarre la somma degli stipendi del dipartimento Amministrazione.

```
select sum(Stipendio)
  from Impiegato
 where Dipart = 'Amministrazione'
```

Possiamo anche valutare diversi operatori aggregati nell'ambito della stessa interrogazione:

Interrogazione 24: estrarre gli stipendi minimo, massimo e medio fra quelli di tutti gli impiegati.

```
select min(Stipendio), max(Stipendio), avg(Stipendio)
  from Impiegato
```

La valutazione degli operatori aggregati può avvenire su una generica interrogazione. Per esempio, l'interrogazione seguente applica l'operatore aggregato sul risultato di un join.

Interrogazione 25: estrarre il massimo stipendio tra quelli degli impiegati che lavorano in un dipartimento con sede a Milano.

```
select max(Stipendio)
  from Impiegato, DipartimentoD
 where Dipart = D.Nome and
       D.Città = 'Milano'
```

Considerando l'esempio precedente, vale la pena di osservare che la seguente interrogazione *non è corretta*:

Interrogazione 26:

```
select Cognome, Nome, max(Stipendio)
  from Impiegato, DipartimentoD
 where Dipart = D.Nome and
       D.Città = 'Milano'
```

Si potrebbe pensare che questa interrogazione riesca a selezionare il valore massimo dell'attributo `Stipendio`, e quindi automaticamente selezioni gli attributi `Nome` e `Cognome` dell'impiegato corrispondente. Questa interpretazione non può

però essere usata. Infatti, gli operatori aggregati non rappresentano un meccanismo di selezione, ma solo delle funzioni che restituiscono un valore quando sono applicate a un insieme. La clausola `select` contiene quindi due attributi, che genereranno una coppia di valori per ogni tupla selezionata, e una funzione aggregata, che restituisce un valore per l'intero insieme di tuple. Il linguaggio non offre un meccanismo per gestire questa eterogeneità e perciò la sintassi SQL non ammette che nella stessa clausola `select` compaiano funzioni aggregate ed espressioni al livello di riga, a meno che non si faccia uso della clausola `group by` descritta nel prossimo paragrafo.

4.3.4 Interrogazioni con raggruppamento

Abbiamo caratterizzato gli operatori aggregati come gli operatori che vengono applicati a un insieme di righe. Gli esempi che abbiamo per ora visto operano su tutte le righe che vengono prodotte come risultato dell'interrogazione. Molto spesso sorge l'esigenza di applicare l'operatore aggregato separatamente a sottoinsiemi di righe. Per poter utilizzare in questo modo l'operatore aggregato, SQL mette a disposizione la clausola `group by`, che permette di specificare come dividere le tabelle in sottoinsiemi. La clausola ammette come argomento un insieme di attributi e l'interrogazione raggrupperà le righe che possiedono gli stessi valori per questo insieme di attributi.

Analizziamo come viene eseguita un'interrogazione SQL che fa uso della clausola `group by`, considerando la seguente interrogazione.

Interrogazione 27: estrarre la somma degli stipendi di tutti gli impiegati dello stesso dipartimento.

```
select Dipart, sum(Stipendio)
      from Impiegato
        group by Dipart
```

Supponiamo che la tabella inizialmente contenga le informazioni rappresentate in Figura 4.21. Per prima cosa l'interrogazione viene eseguita come se la clausola `group by` non esistesse, selezionando gli attributi che appaiono come argomento della clausola `group by` o che compaiono all'interno dell'espressione argomento dell'operatore aggregato. Nella query in esame, è come se venisse eseguita l'interrogazione:

```
select Dipart, Stipendio
      from Impiegato
```

Il risultato ottenuto a questo punto è mostrato in Figura 4.22.

La tabella ottenuta viene poi analizzata, dividendo le righe in insiemi caratterizzati dallo stesso valore degli attributi che compaiono come argomento della clausola `group by`. Nell'esempio le righe vengono raggruppate in base al valore dell'attributo `Dipart`; in Figura 4.23 compare il risultato del raggruppamento.

IMPIEGATO

Nome	Cognome	Dipart	Ufficio	Stipendio
Mario	Rossi	Amministrazione	10	45
Carlo	Bianchi	Produzione	20	36
Giovanni	Verdi	Amministrazione	20	40
Franco	Neri	Distribuzione	16	45
Carlo	Rossi	Direzione	14	80
Lorenzo	Gialli	Direzione	7	73
Paola	Rosati	Amministrazione	75	40
Marco	Franco	Produzione	20	46

Figura 4.21 Contenuto della tabella IMPIEGATO

Dopo che le righe sono state raggruppate in sottoinsiemi, l'operatore aggregato viene applicato separatamente su ogni sottoinsieme. Il risultato dell'interrogazione è costituito da una tabella con righe che contengono l'esito della valutazione dell'operatore aggregato affiancato al valore dell'attributo che è stato usato per l'aggregazione. In Figura 4.24 compare il risultato finale dell'interrogazione, ovvero l'ammontare totale degli stipendi elargiti agli impiegati di ogni dipartimento, divisi per dipartimento.

La sintassi SQL impone che, in un'interrogazione che fa uso della clausola `group by`, possa comparire come argomento della `select` solamente un sottoinsieme degli attributi usati nella clausola `group by`. Per questi attributi, infatti, ciascuna tupla del sottoinsieme sarà caratterizzata dallo stesso valore. L'esempio seguente mostra i problemi che possono essere introdotti da interrogazioni che presentano nella clausola `select` attributi che non appaiono nella clausola `group by`.

Dipart	Stipendio
Amministrazione	45
Produzione	36
Amministrazione	40
Distribuzione	45
Direzione	80
Direzione	73
Amministrazione	40
Produzione	46

Figura 4.22 Proiezione sugli attributi Dipart e Stipendio della tabella IMPIEGATO

Dipart	Stipendio
Amministrazione	45
Amministrazione	40
Amministrazione	40
Produzione	36
Produzione	46
Distribuzione	45
Direzione	80
Direzione	73

Figura 4.23 Raggruppamento in base al valore dell'attributo Dipart

Interrogazione 28:

```
select Ufficio
from Impiegato
group by Dipart
```

Questa interrogazione risulta scorretta, in quanto a ogni valore dell'attributo Dipart corrisponderanno diversi valori dell'attributo Ufficio. Dopo l'esecuzione del raggruppamento, invece, ogni sottoinsieme di righe deve corrispondere a una sola riga nella tabella risultato dell'interrogazione.

D'altra parte, questa restrizione può a volte risultare eccessiva, come quando si desidera mostrare il valore di attributi che possiedono valori univoci per un dato valore degli attributi di raggruppamento (si dice che gli attributi *dipendono funzionalmente* dagli attributi utilizzati per il raggruppamento; vedi il Paragrafo 11.2 per una discussione delle dipendenze funzionali).

Interrogazione 29:

```
select Dipart, count(*), D.Città
from Impiegato I join Dipartimento D
on (I.Dipart = D.Nome)
group by Dipart
```

Dipart	sum(Stipendio)
Amministrazione	125
Produzione	82
Distribuzione	45
Direzione	153

Figura 4.24 Risultato dell'Interrogazione 27

Questa interrogazione dovrebbe restituire i dipartimenti, il numero di impiegati di ciascun dipartimento, e la città in cui il dipartimento ha sede. Visto che l'attributo **Nome** è chiave di DIPARTIMENTO, a ogni valore di Dipart corrisponde un preciso valore di Città. Il sistema potrebbe quindi fornire una risposta corretta, ma SQL vieta interrogazioni di questo tipo. Teoricamente si potrebbe arricchire il linguaggio in modo tale da analizzare quali sono gli attributi chiave nello schema delle tabelle, e derivare quali attributi possono comparire come argomento della select. In pratica si preferisce mantenere la sintassi semplice, richiedendo eventualmente che l'interrogazione utilizzi un insieme di attributi di raggruppamento ridondante. L'interrogazione può infatti essere resa conforme alle regole sintattiche riscrivendola in questo modo:

Interrogazione 30:

```
select Dipart, count(*), D.Città
  from Impiegato I join Dipartimento D
    on (I.Dipart = D.Nome)
 group by Dipart, D.Città
```

Predicati sui gruppi Abbiamo visto come tramite la clausola `group by` le righe possano venire raggruppate in sottoinsiemi. Una applicazione può aver bisogno di considerare solo i sottoinsiemi che soddisfano certe condizioni. Se le condizioni che i sottoinsiemi devono soddisfare sono verificabili al livello delle singole righe, allora basta porre gli opportuni predicati come argomento della clausola `where`. Se invece le condizioni sono delle condizioni di tipo aggregato, sarà necessario utilizzare un nuovo costrutto, la clausola `having`.

La clausola `having` descrive le condizioni che si devono applicare al termine dell'esecuzione di un'interrogazione che fa uso della clausola `group by`. Ogni sottoinsieme di righe costruito dalla `group by` fa parte del risultato dell'interrogazione solo se il predicato argomento della `having` risulta soddisfatto.

Interrogazione 31: estrarre i dipartimenti che spendono più di 100 mila euro in stipendi.

```
select Dipart, sum(Stipendio) as SommaStipendi
  from Impiegato
 group by Dipart
 having sum(Stipendio) > 100
```

Applicando l'interrogazione alla tabella rappresentata in Figura 4.21, si procede seguendo gli stessi passi descritti per le interrogazioni con `group by`. Dopo aver raggruppato le righe in base al valore dell'attributo `Dipart`, viene valutato il predicato argomento della clausola `having`, che seleziona i dipartimenti per cui la somma degli stipendi, per tutti gli elementi del sottoinsieme, è superiore a 100 mila euro. Il risultato dell'interrogazione è rappresentato dalla tabella in Figura 4.25.

Dipart	SommaStipendi
Amministrazione	125
Direzione	153

Figura 4.25 Risultato dell'Interrogazione 31

La sintassi permette anche la definizione di interrogazioni che presentano la clausola `having` senza una corrispondente clausola `group by`. In questo caso, l'intero insieme di righe è trattato come un unico raggruppamento, ma questo ha in generale un limitato campo di applicabilità, perché, se la condizione non è soddisfatta, il risultato sarà vuoto. Come la clausola `where`, anche la clausola `having` ammette come argomento un'espressione booleana su predicati semplici. I predicati semplici sono normalmente confronti tra il risultato della valutazione di un operatore aggregato e una generica espressione; sintatticamente è ammessa anche la presenza diretta degli attributi argomento della `group by`, ma è preferibile raccogliere tutte le condizioni su questi attributi nell'ambito della clausola `where`. Per sapere quali predicati di un'interrogazione che fa uso del raggruppamento vanno dati come argomento della clausola `where` e quali come argomento della clausola `having`, basta rispettare il seguente criterio: solo i predicati in cui compaiono operatori aggregati devono essere argomento della clausola `having`.

Interrogazione 32: estrarre i dipartimenti per cui la media degli stipendi degli impiegati che lavorano nell'ufficio 20 è superiore a 25 mila euro.

```
select Dipart
from Impiegato
where Ufficio = 20
group by Dipart
having avg(Stipendio) > 25
```

La forma sintetica generale di un'interrogazione SQL diventa (riassumendo i vari arricchimenti che abbiamo apportato nei paragrafi precedenti):

```
SelectSQL ::= select ListaAttributiOEspressioni
            from ListaTabelle
            [ where CondizioniSemplici ]
            [ group by ListaAttributiDiRaggruppamento ]
            [ having CondizioniAggregate ]
            [ order by ListaAttributiDiOrdinamento ]
```

4.3.5 Interrogazioni di tipo insiemistico

SQL mette a disposizione anche degli operatori insiemistici, simili a quelli disponibili nell'algebra relazionale. Gli operatori disponibili sono gli operatori di

`union` (unione), `intersect` (intersezione) ed `except` (chiamato anche `minus`, differenza), di significato analogo ai corrispondenti operatori dell'algebra relazionale.

Si noti che ogni interrogazione che faccia uso degli operatori `intersect` ed `except` può essere espressa utilizzando altri costrutti del linguaggio (tipicamente tramite interrogazioni nidificate, argomento del Paragrafo 4.3.6). Al contrario, come è già stato discusso nel Paragrafo 3.2.3 parlando del calcolo relazionale con dichiarazioni di range, l'operatore di unione arricchisce il potere espressivo di SQL e permette di scrivere interrogazioni altrimenti non formulabili.

La sintassi per l'uso degli operatori insiemistici è la seguente:

```
SelectSQL { ( union | intersect | except ) [ all ] SelectSQL }
```

Gli operatori insiemistici, al contrario del resto del linguaggio, assumono come default di eseguire una eliminazione dei duplicati. Ci sono due ragioni che giustificano questa differenza: in primo luogo, l'eliminazione dei duplicati rispetta molto meglio il tipico significato di questi operatori; in secondo luogo, l'esecuzione di queste operazioni (in particolare differenza e intersezione) richiede di effettuare un'analisi delle righe che rende molto limitato il costo aggiuntivo della eliminazione dei duplicati. Qualora nell'interrogazione si voglia adottare una diversa interpretazione degli operatori e si vogliano utilizzare gli operatori insiemistici che preservano i duplicati, sarà sufficiente utilizzare l'operatore con la parola chiave `all`. Negli esempi successivi confrontiamo il comportamento ottenuto usando l'una e l'altra delle scelte. Un'altra osservazione è che SQL non richiede che gli schemi su cui vengono effettuate le operazioni insiemistiche siano identici (come è invece richiesto dall'algebra relazionale), ma solo che gli attributi siano in pari numero e che abbiano domini compatibili. La corrispondenza tra gli attributi non si basa sul nome ma sulla posizione degli attributi. Se gli attributi hanno nome diverso, il risultato normalmente usa i nomi del primo operando.

Interrogazione 33: estrarre i nomi e i cognomi degli impiegati.

```
select Nome  
from Impiegato  
      union  
select Cognome  
from Impiegato
```

L'interrogazione ottiene dapprima i valori dell'attributo `Nome` per le righe di `IMPIEGATO`, ricava quindi i valori dell'attributo `Cognome` per le stesse righe, e infine costruisce la tabella risultato unendo i due risultati parziali. Visto che le operazioni insiemistiche eliminano i duplicati, non vi saranno elementi ripetuti nella tabella risultato, nonostante la presenza di duplicati in entrambe le tabelle di partenza, e nonostante la presenza di alcuni valori identici in entrambe le tabelle. Supponendo che i dati di partenza siano quelli contenuti nella tabella in Figura 4.21, il risultato della valutazione dell'interrogazione è rappresentato in Figura 4.26.

Nome
Mario
Carlo
Giovanni
Franco
Lorenzo
Paola
Marco
Rossi
Bianchi
Verdi
Neri
Gialli
Rosati

Figura 4.26 Risultato dell'Interrogazione 33

Interrogazione 34: estrarre i nomi e i cognomi di tutti gli impiegati, eccetto quelli appartenenti al dipartimento Amministrazione, mantenendo i duplicati.

```
select Nome
  from Impiegato
 where Dipart <> 'Amministrazione'
      union all
 select Cognome
  from Impiegato
 where Dipart <> 'Amministrazione'
```

In questo caso tutti i duplicati vengono tenuti e il risultato della query, sempre partendo dalla tabella in Figura 4.21, è quello rappresentato in Figura 4.27.

Nome
Carlo
Franco
Carlo
Lorenzo
Marco
Bianchi
Neri
Rossi
Gialli
Franco

Figura 4.27 Risultato dell'Interrogazione 34

Nome
Franco

Figura 4.28 Risultato dell'Interrogazione 35

Interrogazione 35: estrarre i cognomi di impiegati che sono anche nomi.

```
select Nome
from Impiegato
intersect
select Cognome
from Impiegato
```

Si ottiene da questa interrogazione il semplice risultato in Figura 4.28.

Interrogazione 36: estrarre i nomi degli impiegati che non sono cognomi di qualche impiegato.

```
select Nome
from Impiegato
except
select Cognome
from Impiegato
```

Il risultato di questa interrogazione è mostrato in Figura 4.29.

4.3.6 Interrogazioni nidificate

Fino a ora abbiamo visto interrogazioni in cui l'argomento della clausola where si basa su condizioni composte (tramite gli operatori logici and, or e not) da prediciati semplici, in cui ciascun predicato rappresenta un semplice confronto tra

Nome
Mario
Carlo
Giovanni
Lorenzo
Paola
Marco

Figura 4.29 Risultato dell'Interrogazione 36

due valori. SQL ammette anche l'uso di predici con una struttura più complessa, in cui si confronta un valore (ottenuto come risultato di una espressione valutata sulla singola riga) con il risultato dell'esecuzione di un'interrogazione SQL. L'interrogazione che viene usata per il confronto viene definita direttamente nel predicato interno alla clausola *where*. Si parla in questo caso di *interrogazioni nidificate*.

Nel caso più tipico, l'espressione che compare come primo membro del confronto è il semplice nome di un attributo. Se in un predicato si confronta un attributo con il risultato di un'interrogazione, sorge il problema di disomogeneità dei termini del confronto. Infatti, da una parte abbiamo il risultato dell'esecuzione di un'interrogazione SQL (in generale un insieme di valori), mentre dall'altra abbiamo il valore dell'attributo per la particolare riga. La soluzione offerta da SQL consiste nell'estendere, con le parole chiave *all* o *any*, i normali operatori di confronto (*=*, *<>*, *<*, *>*, *<=* e *>=*). La parola chiave *any* specifica che la riga soddisfa la condizione se risulta vero il confronto (con l'operatore specificato) tra il valore dell'attributo per la riga e almeno uno degli elementi restituiti dall'interrogazione. La parola chiave *all* invece specifica che la riga soddisfa la condizione solo se tutti gli elementi restituiti dall'interrogazione nidificata rendono vero il confronto. La sintassi richiede la compatibilità di dominio tra l'attributo restituito dalla interrogazione nidificata e l'attributo con cui avviene il confronto.

Interrogazione 37: estrarre gli impiegati che lavorano in dipartimenti situati a Firenze.

```
select *
from Impiegato
where Dipart = any (select Nome
                      from Dipartimento
                      where Città = 'Firenze')
```

L'interrogazione seleziona le righe di IMPIEGATO per cui il valore dell'attributo **Dipart** è uguale ad almeno uno dei valori dell'attributo **Nome** delle righe di DIPARTIMENTO.

Questa interrogazione poteva anche essere espressa mediante un join tra le tabelle IMPIEGATO e DIPARTIMENTO, e in effetti gli ottimizzatori sono generalmente in grado di trattare allo stesso modo le due diverse formulazioni di questa interrogazione. La scelta tra l'una e l'altra rappresentazione può essere dettata dal grado di leggibilità della soluzione. In casi così semplici non vi sono differenze significative, ma per interrogazioni più complicate la scomposizione in interrogazioni distinte può migliorare la leggibilità.

Consideriamo un'interrogazione che permette di trovare gli impiegati che hanno lo stesso nome di un impiegato del dipartimento Produzione. L'interrogazione ammette due formulazioni. La prima è più compatta e fa uso di variabili.

Interrogazione 38:

```
select I1.Nome  
from Impiegato I1, Impiegato I2  
where I1.Nome = I2.Nome and  
      I2.Dipart = 'Produzione'
```

La seconda interrogazione fa uso di un'interrogazione nidificata, risolvendo l'interrogazione senza bisogno di introdurre alias.

Interrogazione 39:

```
select Nome  
from Impiegato  
where Nome = any (select Nome  
                   from Impiegato  
                   where Dipart = 'Produzione')
```

Consideriamo ora una diversa interrogazione.

Interrogazione 40: estrarre i dipartimenti in cui non lavorano persone di cognome "Rossi".

```
select Nome  
from Dipartimento  
where Nome <> all (select Dipart  
                     from Impiegato  
                     where Cognome = 'Rossi')
```

L'interrogazione nidificata seleziona i valori di **Dipart** di tutte le righe in cui il cognome vale "Rossi". La condizione è quindi soddisfatta da quelle righe di DIPARTIMENTO per cui il valore dell'attributo **Nome** non fa parte dei nomi prodotti dall'interrogazione nidificata. Questa interrogazione non poteva essere espressa mediante un join. È interessante notare che tale interrogazione poteva essere implementata in algebra relazionale con l'espressione ($\pi_{\text{Nome}}(\text{DIPARTIMENTO}) - \pi_{\text{Dipart}}(\sigma_{\text{Cognome}='Rossi'}(\text{IMPIEGATO}))$), e quindi poteva anche essere espressa tramite l'operatore insiemistico **except**:

Interrogazione 41:

```
select Nome  
from Dipartimento  
      except  
select Dipart  
      from Impiegato  
      where Cognome = 'Rossi'
```

Per rappresentare il controllo di appartenenza e di esclusione rispetto a un insieme, SQL mette a disposizione due appositi operatori, **in** e **not in**, i quali risultano

del tutto identici agli operatori che abbiamo visto nei due precedenti esempi, = any e <> all. Mostreremo esempi del loro uso nel prossimo paragrafo.

Si può osservare infine come in alcuni casi interrogazioni che fanno uso degli operatori max e min possono essere rappresentate senza gli operatori stessi, tramite un uso opportuno delle interrogazioni nidificate.

Interrogazione 42: estrarre il dipartimento dell'impiegato che guadagna lo stipendio massimo (usando l'operatore aggregato max).

```
select Dipart
from Impiegato
where Stipendio = any
      (select max(Stipendio)
       from Impiegato)
```

Interrogazione 43: estrarre il dipartimento dell'impiegato che guadagna lo stipendio massimo (usando solo un'interrogazione nidificata).

```
select Dipart
from Impiegato
where Stipendio >= all
      (select Stipendio
       from Impiegato)
```

Le due interrogazioni sono equivalenti, in quanto il valore massimo è esattamente il valore che è superiore o uguale a tutti i valori dello stesso attributo nelle altre righe della relazione. In questi casi è comunque consigliabile l'utilizzo dell'operatore aggregato, che fornisce un'interrogazione più leggibile (e può essere implementato da qualche sistema in modo più efficiente). È anche interessante notare che nella prima interrogazione è indifferente usare le parole chiave any o all, poiché l'interrogazione nidificata restituisce sempre un unico valore; in effetti, la sintassi in quel caso ammette anche l'omissione della parola chiave any.

Interrogazioni nidificate complesse Una interpretazione molto semplice e intuitiva delle interrogazioni nidificate consiste nell'assumere che l'interrogazione nidificata venga eseguita prima di analizzare le righe dell'interrogazione esterna. Il risultato dell'interrogazione può essere salvato in una tabella temporanea e il controllo sulle righe dell'interrogazione esterna può essere fatto accedendo direttamente al risultato temporaneo. Questa interpretazione corrisponde tra l'altro a un meccanismo di esecuzione efficiente, in cui l'interrogazione nidificata viene eseguita una sola volta. Consideriamo ancora l'Interrogazione 40. Il sistema può eseguire dapprima l'interrogazione nidificata, che estrae il valore dell'attributo **Dipart** per tutti gli impiegati di cognome "Rossi". Dopo aver fatto ciò, per ciascun dipartimento si controlla che il nome non sia incluso nella tabella prodotta, utilizzando l'operatore <> all.

Talvolta però l'interrogazione nidificata fa riferimento al contesto dell'interrogazione che la racchiude; tipicamente ciò accade tramite una variabile definita nell'ambito della query più esterna e usata nell'ambito della query più interna (si parla di un *passaggio di binding* da un contesto all'altro). La presenza del meccanismo di passaggio di binding arricchisce il potere espressivo di SQL. In questo caso l'interpretazione semplice data precedentemente alle query nidificate non vale più; bisogna a questo punto riconsiderare l'interpretazione standard delle interrogazioni SQL, per cui prima si costruisce il prodotto cartesiano delle tabelle e successivamente si applicano a ciascuna riga del prodotto le condizioni che compaiono nella clausola *where*. L'interrogazione nidificata è un componente della clausola *where* e dovrà anch'essa essere valutata separatamente per ogni riga prodotta nella valutazione della query esterna.

Così, la nuova interpretazione è la seguente: per ogni riga della query esterna, valutiamo per prima cosa la query nidificata, quindi calcoliamo il predicato a livello di riga sulla query esterna. Tale processo può essere ripetuto un numero arbitrario di volte, pari al numero arbitrario di nidificazioni che possono essere utilizzate nella query; con query così complicate si perdono però le caratteristiche di leggibilità delle interrogazioni SQL.

Per quanto riguarda la *visibilità* (o *scope*) delle variabili SQL, vale la restrizione che una variabile è usabile solo nell'ambito della query in cui è definita o nell'ambito di una query nidificata (a un qualsiasi livello) all'interno di essa. Se un'interrogazione possiede interrogazioni nidificate allo stesso livello (su predici distinti), le variabili introdotte nella clausola *from* di una query non potranno essere usate nell'ambito dell'altra query. Una interrogazione come la seguente, per esempio, è scorretta:

Interrogazione 44: estrarre gli impiegati che afferiscono al dipartimento Produzione o a un dipartimento che risiede nella stessa città del dipartimento Produzione (query scorretta).

```
select *
  from Impiegato
 where Dipart in (select Nome
                     from Dipartimento D1
                   where Nome = 'Produzione') or
      Dipart in (select Nome
                     from Dipartimento D2
                   where D1.Città = D2.Città)
```

La query non rispetta la sintassi SQL perché utilizza la variabile D1 dove non è visibile.

Introduciamo ora l'operatore logico *exists*. Questo operatore ammette come parametro un'interrogazione nidificata e restituisce il valore vero solo se l'interrogazione fornisce un risultato non vuoto (corrisponde al quantificatore esistenziale della logica). Questo operatore può essere usato in modo significativo solo quando si ha un passaggio di binding tra l'interrogazione esterna e quella nidificata.

Si consideri una relazione che descrive dati anagrafici, avente il seguente schema:
PERSONA(CodFiscale, Nome, Cognome, Città).

Interrogazione 45: estrarre le persone che hanno degli omonimi (ovvero persone con lo stesso nome e cognome, ma diverso codice fiscale).

L'interrogazione ricerca le righe della tabella PERSONA per le quali esiste un'ulteriore riga in PERSONA con lo stesso Nome e Cognome, ma diverso Cod-Fiscale.

Si può osservare che in questo caso non risulta possibile eseguire l'interrogazione nidificata prima di valutare l'interrogazione più esterna, in quanto senza avere associato un valore alla variabile P l'interrogazione nidificata non risulta completamente definita. Si richiede invece che venga prima valutata l'interrogazione esterna; per ogni singola riga esaminata nell'ambito dell'interrogazione esterna si deve valutare l'interrogazione nidificata. Così, nell'esempio, prima di tutto verranno considerate una a una le righe associate alla variabile P ; per ciascuna di queste righe sarà poi eseguita l'interrogazione nidificata che restituirà o meno l'insieme vuoto a seconda che vi siano o meno degli omonimi della persona. Questa interrogazione si sarebbe potuta formulare anche con un join tra due diverse istanze della tabella PERSONA.

Interrogazione 46: estrarre le persone che hanno degli omonimi (senza query nidificata).

```
select P.*  
from Persona P, Persona P1  
where P1.Nome = P.Nome and  
      P1.Cognome = P.Cognome and  
      P1.CodFiscale <> P.CodFiscale)
```

Presentiamo ora la richiesta opposta alla precedente.

Interrogazione 47: estrarre le persone che *non* hanno degli omonimi.

L'interpretazione è analoga a quella dell'Interrogazione 45, con l'unica differenza che il predicato è soddisfatto nel caso che il risultato dell'interrogazione nidificata sia vuoto. Questa interrogazione poteva anche essere implementata con una differenza che sottraesse ai nomi e cognomi delle persone i nomi e cognomi delle persone che possiedono un omonimo, determinati tramite un join.

Un altro modo per formulare la stessa interrogazione può far uso del *costruttore di tupla*, rappresentato da una coppia di parentesi tonde che racchiudono la lista di attributi.

Interrogazione 48: estrarre le persone che *non* hanno degli omonimi.

```
select *
from Persona P
where (Nome, Cognome) not in
      (select Nome, Cognome
       from Persona Q
       where Q.CodFiscale <> P.CodFiscale)
```

Si consideri una base di dati con una tabella CANTANTE(Nome,Canzone) e una tabella AUTORE(Nome,Canzone).

Interrogazione 49: estrarre i cantautori puri, ovvero i cantanti che hanno eseguito solo canzoni di cui erano anche autori.

```
select Nome
from Cantante
where Nome not in
      (select Nome
       from Cantante C
       where Nome not in
              (select Nome
               from Autore
               where Autore.Canzone=C.Canzone))
```

La prima interrogazione nidificata (select Nome from Cantante C ...) non ha alcun legame con l'interrogazione esterna, e può quindi essere eseguita in modo del tutto indipendente. L'interrogazione al livello successivo invece presenta un legame (Autore.Canzone = C.Canzone). L'esecuzione dell'interrogazione può così avvenire seguendo queste fasi.

1. L'interrogazione select Nome from Cantante C ... legge tutte le righe della tabella CANTANTE.
2. Per ognuna delle righe di C viene valutata l'interrogazione più interna, che restituisce i nomi degli autori della canzone il cui titolo compare nella riga di C che viene considerata. Se il nome del cantante non compare tra gli autori (e quindi il cantante non è un cantautore puro), allora il nome viene selezionato.

3. Dopo che l'interrogazione nidificata ha terminato di analizzare le righe di C, costruendo la tabella contenente i nomi dei cantanti che non sono cantautori puri, viene eseguita l'interrogazione più esterna, la quale restituirà tutti i nomi di cantanti che non compaiono nella tabella ottenuta come risultato dell'interrogazione nidificata.

La correttezza di questa esecuzione appare evidente se si considera che la query può essere espressa in modo equivalente tramite l'operatore insiemistico `except`:

Interrogazione 50:

```
select Nome
  from Cantante
    except
select Nome
  from Cantante C
 where Nome not in (select Nome
                      from Autore
                     where Autore.Canzone=C.Canzone)
```

Si noti che non è affatto detto che i sistemi SQL commerciali eseguano al loro interno l'interrogazione scandendo sempre la tabella esterna e producendo un'interrogazione per ogni riga di questa relazione. I sistemi cercano anzi di eseguire il più possibile le interrogazioni in un modo *set-oriented* (ovvero orientato agli insiemi), con l'obiettivo di effettuare poche operazioni su tanti dati. Per far questo, il sistema può trasformare l'interrogazione e cercare di applicare diverse ottimizzazioni, come la memorizzazione dei risultati delle query nidificate, o la scelta di un opportuno ordine di valutazione dei predicati.

4.4 Modifica dei dati in SQL

La parte di Data Manipulation Language comprende i comandi per interrogare e modificare il contenuto della base di dati. I comandi che permettono di modificare la base di dati sono `insert`, `delete` e `update`. Analizziamo separatamente i singoli comandi, anche se, come vedremo, sono tutti caratterizzati da uno schema simile.

4.4.1 Inserimento

Il comando di inserimento di righe nella base di dati presenta due sintassi alternative:

```
insert into NomeTabella [ ListaAttributi ]
  ( values ( ListaValori ) |
  SelectSQL )
```

La prima forma permette di inserire *singole* righe all'interno delle tabelle. L'argomento della clausola *values* rappresenta esplicitamente i valori degli attributi della singola riga. Per esempio:

```
insert into Dipartimento(NomeDip,Città)
           values('Produzione','Torino')
```

La seconda forma invece permette di aggiungere degli insiemi di righe, estratti dal contenuto della base di dati.

Il seguente comando inserisce nella tabella PRODOTTIMILANESI il risultato della selezione dalla relazione PRODOTTO di tutte le righe aventi "Milano" come valore dell'attributo **LuogoProd**.

```
insert into ProdottiMilanesi
           (select Codice, Descrizione
            from Prodotto
            where LuogoProd = 'Milano')
```

Ciascuna forma del comando possiede uno specifico campo di applicazione. La prima forma è quella tipicamente usata all'interno dei programmi per riempire una tabella con i dati forniti direttamente dagli utenti. Ogni uso del comando di *insert* è generalmente associato al riempimento di una *maschera* (o *form*), ovvero un'interfaccia di facile uso in cui all'utente vengono presentati sul video il nome dei vari attributi e appositi spazi in cui immettere i relativi valori. La seconda forma permette invece di inserire dati in una tabella a partire da altre informazioni presenti nella base di dati.

Se in un inserimento non vengono specificati i valori di tutti gli attributi della tabella, agli attributi mancanti viene assegnato il valore di default, o in assenza di questo il valore nullo; come è stato già detto nel Paragrafo 4.2.6, se l'inserimento viola un vincolo di *not null* definito sull'attributo, l'inserimento viene rifiutato. Si noti infine che la corrispondenza tra gli attributi della tabella e i valori da inserire è data dall'ordine in cui compaiono i termini nella definizione della tabella. Perciò, al primo attributo che compare in *ListaValori* (per la prima forma del comando) o al primo elemento della clausola *select* (per la seconda forma) deve corrispondere il primo attributo che compare in *ListaAttributi* (o nella definizione della tabella se *ListaAttributi* è omesso), e così via per gli altri attributi.

4.4.2 Cancellazione

Il comando *delete* elimina righe dalle tabelle della base di dati, seguendo la semplice sintassi:

```
delete from NomeTabella [ where Condizione ]
```

Quando la condizione argomento della clausola *where* non viene specificata, il comando cancella tutte le righe dalla tabella, altrimenti vengono rimosse solo le

righe che soddisfano la condizione. Si ricorda che qualora esista un vincolo di integrità referenziale con politica di cascade in cui la tabella viene referenziata, allora la cancellazione di righe dalla tabella può comportare la cancellazione di righe appartenenti ad altre tabelle (e si può generare una reazione a catena se queste cancellazioni a loro volta causano la cancellazione di righe di altre tabelle).

```
delete from Dipartimento  
where NomeDip = 'Produzione'
```

Il comando elimina la riga di DIPARTIMENTO avente nome “Produzione” (visto che NomeDip era stata dichiarata come primary key della tabella, vi può essere una sola riga avente quel valore).

La condizione rispetta la sintassi della select, per cui possono comparire al suo interno anche interrogazioni nidificate che fanno riferimento ad altre tabelle. Un semplice esempio è il comando che elimina i dipartimenti senza impiegati:

```
delete from Dipartimento  
where Nome not in (select Dipart  
from Impiegato)
```

Si noti la differenza tra il comando delete appena visto e il comando drop descritto nel Paragrafo 4.2.8. Un comando come:

```
delete from Dipartimento
```

elimina tutte le righe dalla tabella DIPARTIMENTO, eventualmente eliminando anche tutte le righe dalle tabelle che sono legate da vincolo di integrità referenziale con la tabella, se per il vincolo è specificata la politica cascade sull'evento di cancellazione. Lo schema della base di dati rimane però immutato, e il comando modifica solamente l'istanza della base di dati. Il comando:

```
drop table Dipartimento cascade
```

ha lo stesso effetto del comando delete, ma in più anche lo schema della base di dati viene modificato, eliminando dallo schema non solo la tabella DIPARTIMENTO, ma anche tutte le viste e tabelle che nella loro definizione fanno riferimento a essa. Invece, il comando:

```
drop table Dipartimento restrict
```

fallisce se vi sono righe nella tabella DIPARTIMENTO.

4.4.3 Modifica

Il comando di `update` presenta una sintassi leggermente più complicata:

```
update NomeTabella  
    set Attributo = (Espressione | SelectSQL | null | default )  
        [, Attributo = (Espressione | SelectSQL | null | default )]  
    [ where Condizione ]
```

Il comando di `update` permette di aggiornare uno o più attributi delle righe di *NomeTabella* che soddisfano l'eventuale *Condizione*. Se il comando non presenta la clausola `where`, come al solito si suppone che la condizione sia soddisfatta e si esegue la modifica su tutte le righe. Il nuovo valore cui viene posto l'attributo può essere:

1. il risultato della valutazione di un'espressione sugli attributi della tabella, che può anche far riferimento al valore corrente dell'attributo che verrà modificato dal comando;
2. il risultato di una generica interrogazione SQL;
3. il valore nullo;
4. il valore di default per il dominio.

Il comando:

```
update Dipendente  
    set Stipendio = StipendioBase + 5  
    where Matricola = 'M2047'
```

opera su una singola riga, aggiornando lo stipendio del dipendente con matricola M2047, mentre l'esempio successivo opera su un insieme di righe:

```
update Impiegato  
    set Stipendio = Stipendio * 1.1  
    where Dipart = 'Amministrazione'
```

Il comando aumenta del 10% lo stipendio di tutti gli impiegati che lavorano in Amministrazione. L'operatore di assegnamento = ha un comportamento analogo a quello dei normali linguaggi di programmazione, per cui `Stipendio` sul lato destro dell'operatore rappresenta il vecchio valore dell'attributo, valutato per ogni riga su cui deve essere applicato l'aggiornamento. Il risultato dell'espressione diventa il nuovo valore dell'attributo.

La natura *set-oriented* di SQL presenta alcune particolarità di cui bisogna tenere conto quando si scrivono comandi di aggiornamento. Supponiamo che si vogliano modificare gli stipendi dei dipendenti, aumentando del 10% gli stipendi

sotto i 30 mila euro, e del 15% gli stipendi superiori. Un modo per aggiornare in questo modo la base di dati consiste nell'eseguire questo comando:

```
update Impiegato  
    set Stipendio = Stipendio * 1.1  
    where Stipendio <= 30  
  
update Impiegato  
    set Stipendio = Stipendio * 1.15  
    where Stipendio > 30
```

Il problema di questa soluzione è che se consideriamo un dipendente con uno stipendio iniziale di 30 mila euro, questo soddisferà la condizione del primo comando di aggiornamento, per cui l'attributo **Stipendio** verrà posto pari a 33 mila euro. Ma a questo punto la riga soddisferà anche le condizioni del secondo comando di aggiornamento, per cui lo stipendio sarà di nuovo modificato. Il risultato finale è che per questa riga l'aumento complessivo risulta del 26,5%, violando quindi i requisiti di partenza.

Il problema ha origine nel carattere *set-oriented* di SQL. Con un linguaggio *tuple-oriented* sarebbe possibile analizzare le righe una a una e applicare o l'una o l'altra delle modifiche a seconda del valore dello stipendio. In questo caso una semplice soluzione consiste nell'invertire l'ordine di esecuzione dei due comandi, aumentando prima gli stipendi superiori e poi i rimanenti. In casi più complicati la soluzione può introdurre degli aggiornamenti intermedi, fare uso del costrutto **case** (Paragrafo 5.2.2) o cambiare completamente approccio e scrivere un programma in un tradizionale linguaggio di programmazione di alto livello, realizzando all'interno del programma, per esempio tramite l'uso di cursori, gli aggiornamenti desiderati (descriveremo il funzionamento dei cursori nel Paragrafo 6.3.1).

4.5 Esempi riepilogativi

1. Dato il seguente schema relazionale che descrive il calendario di una manifestazione sportiva a squadre nazionali:

STADIO(Nome,Città,Capienza)
INCONTRO(NomeStadio,Data,Ora,Squadra1,Squadra2)
NAZIONALE(Paese,Continente,Categoria)

Esprimere in SQL le seguenti interrogazioni:

- (a) Estrarre i nomi degli stadi in cui non gioca nessuna nazionale europea.

Soluzione:

```
select Nome
from Stadio
where Nome not in
    (select NomeStadio
     from Incontro
     where (Squadra1 in
            (select Paese
             from Nazionale
             where Continente = 'Europa' ))
     or
     (Squadra2 in
      (select Paese
       from Nazionale
       where Continente = 'Europa' )))
```

- (b) Esprimere l'interrogazione in algebra relazionale, in calcolo e in Datalog.
- Soluzione:

i. Algebra relazionale:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{Nome}}(\text{STADIO}) - \\ \pi_{\text{NomeStadio}}((\pi_{\text{Paese}}(\sigma_{\text{Continente}='Europa'} \text{NAZIONALE})) \\ \bowtie_{\text{Squadra1}= \text{Paese} \vee \text{Squadra2}= \text{Paese}} \\ (\pi_{\text{NomeStadio}, \text{Squadra1}, \text{Squadra2}}(\text{INCONTRO}))) \end{aligned}$$

ii. Calcolo relazionale:

$$\begin{aligned} \{ s.\text{Nome} \mid s(\text{STADIO}) \\ \mid \neg(\exists i(\text{INCONTRO}) (\exists n(\text{NAZIONALE}) \\ (i.\text{NomeStadio} = s.\text{Nome} \wedge \\ n.\text{Continente} = 'Europa' \wedge \\ (i.\text{Squadra1} = n.\text{Paese} \vee i.\text{Squadra2} = n.\text{Paese})))) \} \end{aligned}$$

iii. Datalog:

```
STADIOCONEUROPEA(NomeStadio : n) ←
    INCONTRO(NomeStadio : n, Data : d, Ora : o,
              Squadra1 : s1, Squadra2 : s2),
    NAZIONALE(Paese : s1, Continente : c, Categoria : ct),
    c = 'Europa'
```

```
STADIOCONEUROPEA(NomeStadio : n) ←
    INCONTRO(NomeStadio : n, Data : d, Ora : o,
              Squadra1 : s1, Squadra2 : s2),
    NAZIONALE(Paese : s2, Continente : c, Categoria : ct),
    c = 'Europa'
```

```
?STADIO(Nome : n, Città : c, Capienza : cp),
NOT STADIOCONEUROPEA(NomeStadio : n)
```

- (c) Estrarre la capienza complessiva degli stadi in cui si giocano le partite che hanno come prima squadra una nazione sudamericana (nota: ai fini della valutazione della capienza complessiva, si sommino le capienze associate a ciascuna gara, anche se più gare si svolgono nello stesso stadio).

Soluzione:

```
select sum(Capienza)
from Stadio join Incontro on Nome = NomeStadio
where Squadra1 in select Paese
      from Nazionale
      where Continente = 'Sudamerica'
```

2. Dato il seguente schema relazionale:

MOTO(Targa,Cilindrata,Marca,Nazione,Tasse)
PROPRIETARIO(Nome,Targa)

Scrivere in SQL le interrogazioni seguenti:

- (a) Estrarre i nomi dei proprietari di solo moto giapponesi di almeno due marche diverse.

i. Prima soluzione:

```
select Nome
from Proprietario join Moto
      on Proprietario.Targa=Moto.Targa
where Nome not in
      (select Nome
       from Proprietario join Moto on
             Proprietario.Targa=Moto.Targa
       where Nazione <> 'Giappone')
group by Nome
having count(distinct Marca) >= 2
```

ii. Seconda soluzione:

```
select P1.Nome
from Proprietario P1, Moto M1,
      Proprietario P2, Moto M2
where P1.Nome not in
      (select Nome
       from Proprietario join Moto on
             Proprietario.Targa=Moto.Targa
       where Nazione <> 'Giappone') and
P1.Targa = M1.Targa and
P2.Targa = M2.Targa and
P1.Nome = P2.Nome and
M1.Marca <> M2.Marca
```

- (b) Rappresentare la query in algebra relazionale.

Soluzione:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{Nome}}((\text{PROPRIETARIO} \bowtie \text{MOTO}) \\ \bowtie \neg (\text{Marca} \neq \text{Marca2} \wedge \text{Nome} = \text{Nome2}) \\ (\rho_{\text{Nome2} \leftarrow \text{Nome}}(\text{PROPRIETARIO}) \bowtie \rho_{\text{Marca2} \leftarrow \text{Marca}}(\text{MOTO})) - \\ \pi_{\text{Nome}}(\text{PROPRIETARIO} \bowtie \sigma_{\text{Nazione} \neq 'Giappone'} \text{MOTO}) \end{aligned}$$

Note bibliografiche

SQL è stato inizialmente descritto da Chamberlin *et al.* in [19] e [20]. Studi sistematici del linguaggio SQL, relativamente alle tecniche di ottimizzazione e al significato delle query, sono contenuti in [16] e [41].

La descrizione ufficiale dello standard SQL può essere ottenuta dall'Organizzazione internazionale degli standard ISO. Tali documenti sono però di costo elevato e di lettura non molto agevole. Su SQL esistono un gran numero di libri, tra i quali il libro di Cannan e Otten [12] (di cui esiste la traduzione italiana) e il libro di Melton e Simon [48]. Eisemberg e Melton [31] discutono il processo di standardizzazione in generale e con riferimenti specifici all'area delle basi di dati. Melton e Simon [49] presentano le principali caratteristiche di SQL-3.

Spesso i manuali che accompagnano i sistemi relazionali commerciali sono fatti con molta cura e possono costituire un ottimo punto di riferimento. Tra l'altro questi manuali sono indispensabili per conoscere quali funzionalità di SQL sono state effettivamente implementate nel particolare sistema.

Soluzioni sul sito <http://www.ateneonline.it/atzeni>

Esercizi

- 4.1 Ordinare i seguenti domini in base al valore massimo rappresentabile, supponendo che `integer` abbia una rappresentazione a 32 bit e `smallint` a 16 bit: `numeric (12, 4)`, `decimal (10)`, `decimal (9)`, `integer`, `smallint`, `decimal (6, 1)`.
- 4.2 Definire un attributo che permetta di rappresentare stringhe di lunghezza massima pari a 256 caratteri, su cui non sono ammessi valori nulli e con valore di default "sconosciuto".
- 4.3 Dare le definizioni SQL delle tre tabelle `FONDISTA`(`Nome`, `Nazione`, `Età`), `GAREGGIA`(`NomeFondista`, `NomeGara`, `Piazzamento`) e `GARA`(`Nome`, `Luogo`, `Nazione`, `Lunghezza`), rappresentando in particolare i vincoli di foreign key della tabella `GAREGGIA`.
- 4.4 Dare le definizioni SQL delle tabelle `AUTORE`(`Nome`, `Cognome`, `DataNascita`, `Nazionalità`), `LIBRO`(`TitoloLibro`, `NomeAutore`, `CognomeAutore`, `Lingua`). Per il vincolo di *foreign key* specificare una politica di cascade sulle cancellazione e di `set null` sulle modifiche.

- 4.5 Dato lo schema dell'esercizio precedente, spiegare cosa può capitare con l'esecuzione dei seguenti comandi di aggiornamento:

```
delete from Autore  
    where Cognome = 'Rossi'  
update Libro set Nome = 'Umberto'  
    where Cognome = 'Eco'  
insert into Autore(Nome,Cognome)  
    values('Antonio','Bianchi')  
update Autore set Nome = 'Italo'  
    where Cognome = 'Calvino'
```

- 4.6 Date le definizioni:

```
create domain Dominio integer default 10  
create table Tabella(Atributo Dominio default 5)
```

indicare cosa avviene in seguito ai comandi:

```
alter table Tabella  
    alter column Atributo drop default  
alter domain Dominio drop default  
drop domain Dominio
```

- 4.7 Con riferimento a una relazione PROFESSORI(CF, Nome, Età, Qualifica), scrivere le interrogazioni SQL che calcolano l'età media dei professori di ciascuna qualifica, nei due casi seguenti:

1. se l'età non è nota si usa per essa il valore nullo
2. se l'età non è nota si usa per essa il valore 0

- 4.8 Spiegare perché in SQL è previsto (e necessario) un operatore di unione mentre in molte versioni non esistono gli operatori di intersezione e differenza.

- 4.9 Considerare le relazioni IMPIEGATI (Matricola, Nome, Stipendio, Direttore) e DIPARTIMENTI (Codice, Direttore) e le due interrogazioni seguenti, specificare se e in quali casi esse possono produrre risultati diversi:

```
select avg(Stipendio)  
from Impiegato  
where Direttore in (select Direttore  
                    from Dipartimento)  
select avg(Stipendio)  
  
from Impiegato I, Dipartimento D  
where I.Direttore = D.Direttore
```

4.10 Si consideri una base di dati sulle relazioni

$R_1(\underline{A}, B, C)$

$R_2(\underline{D}, \underline{E}, F)$

Facendo riferimento a una versione dell'SQL che non prevede la differenza (parole chiave EXCEPT e MINUS) e che permette l'uso dei confronti nella nidificazione solo su singoli attributi (e quindi non ammette condizioni del tipo ... (A, B) IN SELECT C, D FROM ...), scrivere interrogazioni in SQL equivalenti alle seguenti espressioni dell'algebra relazionale:

$\pi_{BC}(\sigma_{C>10}(R_1))$

$\pi_B(R_1 \bowtie_{C=D} \sigma_{F=2}(R_2))$

$\pi_{AB}(R_1) - \pi_{AB}(R_1 \bowtie_{C=D} R_2))$

4.11 Con riferimento alla base di dati nell'Esercizio 4.10 scrivere espressioni dell'algebra relazionale equivalenti alle seguenti interrogazioni SQL:

1. select distinct A , B
from R1, R2
where C = D and E > 100
2. select distinct A , B
from R1 X1
where not exists
(select *
from R1 Y1, R2
where Y1.C = D and X1.A = Y1.A and F>10)

4.12 Con riferimento alla base di dati nell'Esercizio 4.10, indicare, per ciascuna delle seguenti interrogazioni, se la parola chiave distinct è necessaria.

1. l'interrogazione 1 nell'Esercizio 4.11
2. l'interrogazione 2 nell'Esercizio 4.11
3. select distinct A , B
from R1, R2
where B = D and C = E
4. select distinct B , C
from R1, R2
where B = D and C = E

4.13 Con riferimento a una base di dati sullo schema $R_1(A,B,C)$, $R_2(A,B,C)$, $R_3(C,D,E)$ considerare l'espressione dell'algebra relazionale $\pi_{AE}((R_1 \cup R_2) \bowtie R_3)$ e scrivere un'espressione SQL a essa equivalente senza utilizzare il join esplicito (cioè la parola chiave JOIN) né viste.

4.14 Dato il seguente schema:

AEROPORTO(Città,Nazione,NumPiste)

VOLO(IdVolo,GiornoSett,CittaPart,OraPart,CittaArr,OraArr,TipoAereo)

AEREO(TipoAereo,NumPasseggeri,QtaMerci)

scrivere le interrogazioni SQL che permettono di determinare:

1. le città con un aeroporto di cui non è noto il numero di piste;
2. le nazioni da cui parte e arriva il volo con codice AZ274;
3. i tipi di aereo usati nei voli che partono da Torino;
4. i tipi di aereo e il corrispondente numero di passeggeri per i tipi di aereo usati nei voli che partono da Torino. Se la descrizione dell'aereo non è disponibile, visualizzare solamente il tipo;
5. le città da cui partono voli internazionali;
6. le città da cui partono voli diretti a Bologna, ordinate alfabeticamente;
7. il numero di voli internazionali che partono il giovedì da Napoli;
8. il numero di voli internazionali che partono ogni settimana da città italiane (farlo in due modi, facendo comparire o meno nel risultato gli aeroporti senza voli internazionali);
9. le città francesi da cui partono più di venti voli alla settimana diretti in Italia;
10. gli aeroporti italiani che hanno solo voli interni. Rappresentare questa interrogazione in quattro modi: (i) con operatori insiemistici, (ii) con un'interrogazione nidificata con l'operatore `not in`, (iii) con un'interrogazione nidificata con l'operatore `not exists`, (iv) con l'outer join e l'operatore di conteggio. Eseguire l'interrogazione pure in algebra relazionale;
11. le città che sono servite dall'aereo caratterizzato dal massimo numero di passeggeri.

4.15 Dato il seguente schema:

DISCO(NroSerie, TitoloAlbum, Anno, Prezzo)
CONTIENE(NroSerieDisco, CodiceReg, NroProgr)
ESECUZIONE(CodiceReg, TitoloCanz, Anno)
AUTORE(Nome, TitoloCanzone)
CANTANTE(NomeCantante, CodiceReg)

formulare le interrogazioni SQL che permettono di determinare:

1. i cantautori (persone che hanno scritto e cantato la stessa canzone) il cui nome inizia per 'D';
2. i titoli dei dischi che contengono canzoni di cui non si conosce l'anno di registrazione;
3. i pezzi del disco con numero di serie 78574, ordinati per numero progressivo, con indicazione degli interpreti per i pezzi che hanno associato un cantante;
4. gli autori e i cantanti puri, ovvero autori che non hanno mai registrato una canzone e cantanti che non hanno mai scritto una canzone;
5. i cantanti del disco che contiene il maggior numero di canzoni;
6. gli autori solisti di "collezioni di successi" (dischi in cui tutte le canzoni sono di un solo cantante e in cui almeno tre registrazioni sono di anni precedenti la pubblicazione del disco);
7. i cantanti che non hanno mai registrato una canzone come solisti;
8. i cantanti che non hanno mai inciso un disco in cui comparissero come unici cantanti;
9. i cantanti che hanno sempre registrato canzoni come solisti.

4.16 Considerare la base di dati relazionale definita per mezzo delle seguenti istruzioni:

```

create table Studenti (
    Matricola numeric not null primary key,
    Cognome char(20) not null,
    Nome char(20) not null,
    DataNascita date not null
);
create table Esami (
    CodiceCorso numeric not null,
    studente numeric not null
        references Studenti(matricola),
    data date not null,
    voto numeric not null,
    primary key (CodiceCorso, studente, data)
);

```

Si supponga che vengano registrati anche gli esami non superati, con voti inferiori al 18.

Formulare in SQL:

1. l'interrogazione che trova gli studenti che non hanno superato esami;
2. l'interrogazione che trova gli studenti che hanno riportato in almeno un esame un voto più alto di Archimede Pitagorico;
3. l'interrogazione che trova i nomi degli studenti che hanno superato almeno due esami;
4. l'interrogazione che trova, per ogni studente, il numero di esami superati e la relativa media;

4.17 Considerare la seguente base di dati relazionale:

NEGOZI(IDNegozio, Nome, Città)
 PRODOTTI(CodProdotto, NomeProdotto, Marca)
 LISTINO(Negozio, Prodotto, Prezzo)

con vincoli di integrità referenziale fra Negozio e la relazione NEGOZI fra Prodotto e la relazione PRODOTTI.

Fare riferimento a una versione dell'SQL che non prevede la differenza (parole chiave except e minus) e che permette l'uso dei confronti nella nidificazione solo su singoli attributi (quindi sono ammesse condizioni del tipo ... A in select C from ... ma non del tipo ... (A,B) in select C, D from ...)

- Formulare in SQL l'interrogazione che fornisce nome e città dei negozi che vendono prodotti della marca XYZ
- Formulare in SQL l'interrogazione che trova, per ciascun prodotto, la città in cui viene venduto al prezzo più basso
- Formulare in SQL l'interrogazione che trova i prodotti che vengono venduti in una sola città.

4.18 Dare una sequenza di comandi di aggiornamento che modifichi l'attributo Stipendio della tabella IMPIEGATO, aumentando del 10% gli stipendi sotto i 30 mila euro e diminuendo del 5% gli stipendi sopra i 30 mila euro.

Il capitolo continua la presentazione delle caratteristiche del linguaggio SQL, mostrando alcune caratteristiche evolute del linguaggio. Completeremo la descrizione dei servizi per la definizione dei dati, mostrando l'uso del linguaggio di interrogazione in questo contesto (Paragrafo 5.1). Illustreremo poi l'uso di funzioni scalari (Paragrafo 5.2) e i comandi per il controllo dell'accesso ai dati (Paragrafo 5.3). Infine, descriveremo le caratteristiche di base dei comandi SQL per la gestione delle transazioni (Paragrafo 5.4).

5.1 Caratteristiche evolute di definizione dei dati

Dopo aver descritto nel capitolo precedente i comandi di base per la definizione dei dati e la scrittura delle interrogazioni in SQL, completiamo ora la rassegna dei componenti di uno schema. Descriviamo quindi la clausola `check`, le asserzioni e le primitive per la definizione di viste.

5.1.1 Vincoli di integrità generici

Abbiamo visto che SQL permette di specificare un certo insieme di vincoli sugli attributi e sulle tabelle, soddisfacendo le più importanti esigenze, ma senza esaurire i bisogni delle applicazioni. Per specificare ulteriori vincoli, SQL-2 ha introdotto la clausola `check`, con la seguente sintassi:

`check (Condizione)`

Le condizioni che si possono usare sono quelle che possono apparire come argomento della clausola `where` di una interrogazione SQL. La condizione deve essere sempre verificata affinché la base di dati sia corretta. In questo modo è possibile specificare tutti i vincoli intrarelazionali descritti nel Paragrafo 4.2.6, e anche di più, poiché la condizione può far riferimento ad altri attributi.

Una efficace dimostrazione della potenza del costrutto consiste nel far vedere come i vincoli predefiniti possano tutti essere descritti con la clausola `check`. Per questo possiamo prendere la definizione dello schema della tabella `IMPIEGATO` che è stata data nel Paragrafo 4.2.7 (la prima delle tre):

```

create table Impiegato
(Matricola character(6)
    check (Matricola is not null and
           1 = (select count(*)
                 from Impiegato I
                 where Matricola=I.Matricola)),
        Cognome character(20) check (Cognome is not null),
        Nome     character(20) check (Nome is not null and
                                       2 > (select count(*)
                                             from Impiegato I
                                             where Nome = I.Nome
                                               and Cognome = I.Cognome)),
        Dipart   character(15) check (Dipart in
                                       (select NomeDip
                                         from Dipartimento))
)

```

Confrontando questa specifica con quella che faceva uso dei vincoli predefiniti, possiamo fare diverse osservazioni. In primo luogo, i vincoli predefiniti permettono una rappresentazione molto più compatta e leggibile; per esempio il vincolo di chiave ha bisogno di una rappresentazione abbastanza complicata, che fa uso dell'operatore aggregato `count`. Si nota anche che utilizzando la clausola `check` si perde la possibilità di associare ai vincoli una politica di reazione alle violazioni. Infine, quando i vincoli sono definiti mediante i costrutti predefiniti, il sistema li può riconoscere immediatamente e spesso può riuscire a gestirli in modo più efficiente.

Per apprezzare il potere espressivo di questo costrutto si può per esempio descrivere un vincolo che obbliga l'impiegato ad avere un manager del proprio dipartimento, a meno che la matricola non inizi con la cifra 1. Si estende la precedente definizione di tabella con le seguenti dichiarazioni:

```

Superiore character(6),
check (Matricola like "1%" or
       Dipart = (select Dipart
                  from Impiegato I
                  where I.Matricola = Superiore))

```

5.1.2 Asserzioni

Grazie alla clausola `check` è possibile definire anche un ulteriore componente dello schema di una base di dati, le *asserzioni*. Le asserzioni, introdotte in SQL-2, rappresentano dei vincoli che non sono associati a nessun attributo o tabella in particolare, bensì appartengono direttamente allo schema.

Mediante le asserzioni è possibile esprimere tutti i vincoli che abbiamo prima specificato nell'ambito della definizione delle tabelle. Le asserzioni permettono poi di esprimere vincoli che non sarebbero altrimenti definibili, come vincoli su

più tabelle o vincoli che richiedono che una tabella abbia una cardinalità minima. Le asserzioni possiedono un nome, tramite il quale possono essere eliminate esplicitamente dallo schema con l'istruzione `drop` (Paragrafo 4.2.8).

La sintassi per la definizione delle asserzioni è:

```
create assertion NomeAsserzione check (Condizione)
```

Un'asserzione può per esempio imporre che in `IMPIEGATO` sia sempre presente almeno una riga:

```
create assertion AlmenoUnImpiegato
    check (1 <= (select count(*)
                  from Impiegato))
```

Ogni vincolo d'integrità, definito tramite `check` o tramite asserzione, è associato a una politica di controllo che specifica se il vincolo è immediato o differito. I vincoli immediati sono verificati immediatamente dopo ogni modifica della base di dati, mentre i vincoli differiti sono verificati solo al termine dell'esecuzione di una serie di operazioni (che costituisce una transazione, Paragrafo 5.4).

Il controllo differito viene tipicamente introdotto per gestire situazioni in cui non è possibile costruire una situazione consistente con una singola modifica della base di dati. L'esempio classico è costituito da una coppia di vincoli di integrità incrociati. Supponiamo che la tabella `IMPIEGATO` presenti nel proprio schema un attributo `Dipart` con vincolo `not null` associato a un vincolo di integrità referenziale verso la tabella `DIPARTIMENTO`, e la tabella `DIPARTIMENTO` presenti a sua volta un attributo `Direttore` `not null` associato a un vincolo di integrità referenziale verso la tabella `IMPIEGATO`. A questo punto, se entrambi i vincoli fossero immediati non sarebbe possibile modificare lo stato iniziale vuoto delle due tabelle, in quanto ogni singolo comando di inserimento di tuple non rispetterebbe il vincolo di integrità referenziale. Il modo differito permette di gestire agevolmente questa situazione.

Quando un vincolo immediato non è soddisfatto, l'operazione di modifica che ha causato la violazione è stata appena eseguita e il sistema può "disfarla"; questo modo di procedere è chiamato *rollback parziale*. Tutti i vincoli predefiniti, introdotti nel Paragrafo 4.2.6 (`not null`, `unique` e `primary key`) e nel Paragrafo 4.2.7 (`foreign key`) sono di default verificati in modo immediato e la loro violazione causa un rollback parziale. Quando invece si rileva una violazione di un vincolo differito al termine della transazione, non c'è modo di individuare l'operazione che ha causato la violazione, e perciò diventa necessario disfare l'intera sequenza di operazioni che costituiscono la transazione; in questo caso si esegue un *rollback*. Grazie a questi meccanismi, l'esecuzione di un comando di modifica dell'istanza di una base di dati che soddisfa tutti i vincoli, immediati e differiti, produrrà sempre un'istanza della base di dati che pure soddisfa tutti i vincoli (si dice anche che lo stato della base di dati è *consistente*).

È possibile cambiare il tipo di controllo associato ai vincoli nell'ambito di una transazione, assegnando la modalità immediata o differita. Ciò avviene tramite i comandi `set constraints [NomeVincoli | all] immediate` e

`set constraints [NomeVincoli | all] deferred`, che modificheranno la modalità di controllo dei vincoli nominati, o di tutti i vincoli se si usa l'opzione `all`, per il contesto della transazione all'interno della quale è stato invocato il comando.

5.1.3 Viste

Nel Capitolo 3 sono state introdotte le viste, ovvero tabelle “virtuali” il cui contenuto dipende dal contenuto delle altre tabelle di una base di dati. Le viste vengono definite in SQL associando un nome e una lista di attributi al risultato dell'esecuzione di una interrogazione. Nell'interrogazione che definisce la vista possono comparire anche altre viste. Si definisce una vista utilizzando il comando:

```
create view NomeVista [ ( ListaAttributi ) ] as SelectSQL  
[with[ local | cascaded ] check option ]
```

L'interrogazione SQL deve restituire un insieme di attributi compatibile con gli attributi nello schema della vista; l'ordine nella clausola `select` deve corrispondere all'ordine degli attributi nello schema. Si può per esempio definire una vista `IMPIEGATIAMMIN` che contiene tutti gli impiegati del dipartimento Amministrazione con uno stipendio superiore a 10 mila euro:

```
create view ImpiegatiAmmin(Matricola, Nome,  
                           Cognome, Stipendio) as  
select Matricola, Nome, Cognome, Stipendio  
from Impiegato  
where Dipart = 'Amministrazione' and  
      Stipendio > 10
```

Costruiamo quindi una vista `IMPIEGATIAMMINPOVERI` definita a partire dalla vista `IMPIEGATIAMMIN`, che conterrà gli impiegati amministrativi con uno stipendio compreso tra i 10 e i 50 mila euro:

```
create view ImpiegatiAmminPoveri as  
select *  
from ImpiegatiAmmin  
where Stipendio < 50  
      with check option
```

Su certe viste è permesso effettuare operazioni di modifica, che verranno tradotte negli opportuni comandi di modifica al livello delle tabelle di base da cui la vista dipende. Come è già stato accennato nel Paragrafo 3.1.9, non è sempre possibile determinare un modo univoco in cui la modifica sulla vista possa essere riportata sulle tabelle di base; si incontrano grossi problemi soprattutto quando la vista è definita tramite un `join` tra più tabelle. Lo standard SQL permette che una vista sia

aggiornabile solo quando una sola riga di ciascuna tabella di base corrisponde a una riga della vista.

I sistemi commerciali tipicamente considerano una vista aggiornabile solo se è definita su una sola tabella; qualche sistema chiede pure che l'insieme di attributi della vista contenga almeno una chiave primaria della tabella. La clausola `check option` può essere utilizzata solo nel contesto di queste viste. La `check option` specifica che possono essere ammessi aggiornamenti solo sulle righe della vista, e dopo gli aggiornamenti le righe devono continuare ad appartenere alla vista. Ciò può per esempio capitare se si assegna a un attributo della vista un valore che rende falso uno dei predicati di selezione. Nel caso in cui una vista sia definita in termini di altre viste, l'opzione `local` o `cascaded` specifica se il controllo sul fatto che le righe vengono rimosse dalla vista debba essere effettuato solo all'ultimo livello (per cui si controlla solo che la modifica non faccia violare la condizione della vista più esterna) o se deve essere propagato a tutti i livelli di definizione (per cui si controlla che le righe su cui si apportano le modifiche non scompaiano dalla vista, a causa della violazione di una qualsiasi delle condizioni delle viste coinvolte); l'opzione di default è quella di `cascaded`.

Dato che la vista `IMPIEGATIAMMINPOVERI` è stata definita con `check option`, ogni comando di aggiornamento fatto sulla vista, per poter essere propagato, non deve eliminare righe dalla vista. Un assegnamento a `Stipendio` del valore 8 mila euro non è accettato con la presente definizione della vista, ma sarebbe accettato qualora la `check option` fosse stata definita come `local`. Una modifica dell'attributo `Stipendio` di una riga della vista per assegnare il valore 60 mila euro non sarebbe accettato neanche con l'opzione `local`.

5.1.4 Le viste per la scrittura di interrogazioni

Le viste in SQL possono anche servire per formulare delle interrogazioni che non sarebbero altrimenti esprimibili, aumentando il potere espressivo del linguaggio. Mediante la definizione di opportune viste, è possibile definire in SQL interrogazioni che richiedono di utilizzare diversi operatori aggregati in cascata, o che fanno un uso sofisticato dell'operatore di unione. In generale, le viste possono essere considerate uno strumento che permette di estendere la possibilità di nidificare le interrogazioni.

Si vuole determinare qual è il dipartimento che spende il massimo in stipendi. Per questo fine, si definisce una vista che verrà utilizzata dalla successiva interrogazione:

```
create view BudgetStipendi(Dip, TotaleStipendi) as
select Dipart, sum(Stipendio)
from Impiegato
group by Dipart
```

Interrogazione 51: estrarre il dipartimento caratterizzato dal massimo della somma degli stipendi.

```
select Dip
from BudgetStipendi
where TotaleStipendi = (select max(TotaleStipendi)
                           from BudgetStipendi)
```

La definizione della vista BUDGETSTIPENDI costruisce una tabella in cui compare una riga per ogni dipartimento. L'attributo Dip corrisponde all'attributo Dipart di IMPIEGATO e contiene il nome del dipartimento, mentre il secondo attributo TotaleStipendi contiene il risultato della valutazione della somma degli stipendi di tutti gli impiegati facenti capo a quel dipartimento.

Un altro modo per formulare la stessa interrogazione è il seguente:

Interrogazione 52:

```
select Dipart
from Impiegato
group by Dipart
having sum(Stipendio) >= all (select sum(Stipendio)
                                 from Impiegato
                                 group by Dipart)
```

Questa soluzione può non essere riconosciuta da qualche interprete SQL, il quale può imporre la restrizione che la condizione retta dalla clausola having sia una condizione semplice di confronto con un attributo o una costante, e non il risultato dell'esecuzione di una interrogazione nidificata. Vediamo un altro esempio d'uso di viste per la costruzione di query complesse:

```
create view DipartUffici(NomeDip,NroUffici) as
select Dipart, count(distinct Ufficio)
from Impiegato
group by Dipart
```

Interrogazione 53: estrarre il numero medio di uffici per ogni dipartimento.

```
select avg(NroUffici)
      from DipartUffici
```

Si potrebbe pensare di esprimere la stessa interrogazione nel seguente modo:

Interrogazione 54:

```
select avg(count(distinct Ufficio))
      from Impiegato
      group by Dipart
```

L'interrogazione è però scorretta, in quanto la sintassi SQL non permette di combinare in cascata la valutazione di diversi operatori aggregati. Il problema di fondo è che la valutazione dei due diversi operatori avviene a diversi livelli di aggregazione, mentre è ammessa una sola occorrenza della clausola `group by` per ogni interrogazione.

5.1.5 Esempi riepilogativi d'uso delle viste

Riprendendo gli schemi utilizzati negli esercizi riepilogativi del capitolo precedente (Paragrafo 4.5), illustriamo l'uso delle viste nella formulazione di query.

Esempio 1: si ha il seguente schema relazionale che descrive il calendario di una manifestazione sportiva a squadre nazionali:

```
STADIO(Nome,Città,Capienza)
INCONTRO(NomeStadio,Data,Ora,Squadra1,Squadra2)
NAZIONALE(Paese,Continente,Categoria)
```

Estrarre la città in cui si trova lo stadio in cui la squadra italiana gioca più partite.
(Illustriamo due alternative.)

1. Con una vista apposita:

```
create view StadiItalia(NomeStadio,NroPart) as
    select NomeStadio, count(*)
        from Incontro
        where Squadra1 = 'Italia' or
              Squadra2 = 'Italia'
    group by NomeStadio

    select Città
        from Stadio
        where NomeStadio in
            (select NomeStadio
                from StadiItalia
                where NroPart =
                    (select max(NroPart)
                        from StadiItalia))
```

2. Con una vista più generale:

```
create view Stadi(NomeStadio,Squadra,NroPart) as
    select NomeStadio, Paese,
           count(distinct Data,Ora)
        from Incontro, Nazionale
        where (Squadra1 = Paese or Squadra2 = Paese)
    group by NomeStadio, Paese
```

```

select Città
from Stadio
where NomeStadio in
    (select NomeStadio
     from Stadi
     where Squadra = 'Italia' and
           NroPart =
           (select max(NroPart)
            from Stadi
            where Squadra = 'Italia'))

```

Esempio 2: si ha il seguente schema relazionale:

MOTO(Targa,Cilindrata,Marca,Nazione,Tasse)
 PROPRIETARIO(Nome,Targa)

Estrarre per ogni cliente le tasse che devono essere pagate per tutte le moto possedute, ipotizzando che se vi sono più proprietari per una moto, l'ammontare delle tasse viene equamente diviso tra i proprietari.

Soluzione:

```

create view TasseInd(Targa,Tassa) as
  select Targa, Tasse/count(*)
  from Moto join Proprietario
    on Moto.Targa = Proprietario.Targa
  group by Targa, Tasse

  select Nome, sum(Tassa)
  from Proprietario join TasseInd
    on Proprietario.Targa = TasseInd.Targa
  group by Nome

```

5.1.6 Viste ricorsive in SQL-3

La sintassi SQL-2 non ammette dipendenze ricorsive, né immediate (definendo una vista in termini di se stessa), né transitive (ovvero situazioni in cui una vista V_1 è definita usando una vista V_2 , V_2 usando V_3 e così via, infine V_n è definita usando V_1).

SQL-3 offre invece il supporto per le viste ricorsive, utilizzando una struttura di definizione che usa come modello formale di riferimento il linguaggio Datalog presentato nel Paragrafo 3.3. Non trattiamo questo argomento in modo esaustivo e per quanto riguarda l'analisi di come la ricorsione può essere gestita nelle query facciamo riferimento a quanto detto a proposito di Datalog. Ci limitiamo a mostrare un esempio d'uso della nuova sintassi SQL-3.

Si supponga di disporre di una tabella IMPIEGATO(Matr,Nome,Cognome,Dipart,Superiore) che memorizza i superiori diretti di tutti gli impiegati. Supponiamo ora di voler conoscere i superiori, i superiori dei superiori, e tutti gli

altri superiori indiretti dell'impiegato Mario Rossi. È ben noto che questa interrogazione è esprimibile in Datalog, mentre non può essere espressa né in algebra relazionale né in SQL-2 perché, intuitivamente, richiederebbe di effettuare un numero non prevedibile a priori di join della tabella IMPIEGATO con se stessa. L'interrogazione si può invece esprimere in SQL-3 mediante una vista ricorsiva.

Interrogazione 55: estrarre i superiori diretti o indiretti dell'impiegato Mario Rossi.

```
with recursive Responsabile(Matr, Superiore) as
  (select Matr, Superiore
   from Impiegato)
 union
  (select Impiegato.Matr, Responsabile.Superiore
   from Impiegato, Responsabile
   where Impiegato.Superiore = Responsabile.Matr)
 select Nome, Cognome, Responsabile.Superiore
 from Impiegato join Responsabile
   on (Impiegato.Matr = Responsabile.Matr)
 where Nome = 'Mario' and Cognome = 'Rossi'
```

In questa istruzione, la clausola `with` definisce la vista `RESPONSABILE` che viene costruita ricorsivamente a partire dalla tabella `IMPIEGATO`. In particolare, la costruzione coinvolge una interrogazione di base non ricorsiva (definizione di base) e una interrogazione che esprime un join tra le tabelle `IMPIEGATO` e `RESPONSABILE` (definizione ricorsiva). La vista ricorsiva `RESPONSABILE` viene quindi utilizzata nell'ambito della query che definisce come punto di partenza l'impiegato Mario Rossi.

5.2 Funzioni scalari

Oltre alle funzioni aggregate che abbiamo già visto, SQL mette a disposizione diverse funzioni scalari, che possono essere usate all'interno delle espressioni del linguaggio. Le funzioni ricevono come argomento una o più espressioni del linguaggio, che restituiscono valori di un dominio elementare in corrispondenza di ogni tupla su cui viene valutata la query; le funzioni a loro volta restituiscono un valore semplice per ogni diversa tupla.

5.2.1 Famiglie di funzioni

SQL prevede alcune famiglie di funzioni. I sistemi spesso arricchiscono l'insieme di funzioni di ogni famiglia. Mostriamo le famiglie previste da SQL-2, facendo riferimento per le estensioni a quanto offerto dal sistema Postgres, un DBMS open-source particolarmente interessante descritto in una delle appendici.

- Funzioni temporali: sono servizi di utilità per la gestione di informazioni temporali. SQL-2 prevede funzioni con nome `current_date`, `current_time`,

`current_timestamp`, che restituiscono, per il relativo dominio, il valore dell'orologio del sistema nell'istante in cui il comando viene eseguito; la funzione `extract` isola una qualsiasi componente di un dominio temporale (`year`, `month` ecc.). I sistemi possono offrire funzioni ulteriori, come per esempio `age`, che restituisce l'intervallo di differenza tra una data e l'istante corrente.

- Funzioni di manipolazione di stringhe: si applicano a espressioni che rappresentano stringhe di caratteri e permettono di trasformare il loro contenuto. SQL-2 definisce diverse funzioni in questa famiglia, tra cui `char_length` (restituisce la lunghezza della stringa), `lower` (converte la stringa in caratteri minuscoli), `upper` (converte in maiuscolo) e `substring` (restituisce parte della stringa, usando parametri numerici per identificare la posizione di inizio e la lunghezza della sottostringa).
- Funzioni di conversione di dominio: la funzione `cast` permette di convertire un valore in un dominio nella sua rappresentazione in un altro dominio; per esempio, `cast (Data as char(10))` converte un valore del dominio `date` nella sua rappresentazione testuale. Non tutte le conversioni sono ammesse, in quanto in alcuni casi non esistono strategie di conversione accettabili; per esempio, non è possibile convertire un valore del dominio `real` in un valore del dominio `date`.
- Funzioni condizionali: descriviamo le funzioni di questa famiglia nel prossimo paragrafo.

Vi sono poi altre famiglie di funzioni che non fanno parte di SQL-2, ma che rappresentano servizi offerti dalle diverse implementazioni di SQL.

- Funzioni per la formattazione dell'output: servono per controllare l'aspetto del risultato della query, controllando l'indentazione, la dimensione di ogni campo, e altre caratteristiche del formato di rappresentazione.
- Funzioni matematiche: si applicano su espressioni numeriche e restituiscono normalmente valori numerici (per esempio, `abs` per calcolare il valore assoluto, `sqrt` per la radice quadrata ecc.).
- Funzioni di accesso ai servizi del sistema operativo: permettono di accedere ai servizi dell'ambiente ospite, comandando dall'interno dell'ambiente SQL l'esecuzione di comandi arbitrari.

5.2.2 Funzioni condizionali

Tra le diverse famiglie di funzioni offerte da SQL-2, consideriamo con particolare attenzione la famiglia delle funzioni condizionali, che contiene le funzioni `coalesce`, `nullif` e `case`. Queste funzioni non estendono il potere espressivo del linguaggio, ma permettono di realizzare comandi SQL in modo più compatto e facile da comprendere, evitando per esempio di costruire interrogazioni composte da unioni di tante interrogazioni più semplici.

Coalesce La funzione coalesce ammette come argomento una sequenza di espressioni e restituisce il primo valore non nullo. La funzione può quindi essere usata per convertire valori nulli in valori esplicativi.

Interrogazione 56: estrarre i nomi, i cognomi e i dipartimenti cui afferiscono gli impiegati, usando la stringa “Ignoto” nel caso in cui non si conosca il dipartimento.

```
select Nome, Cognome, coalesce(Dipart, 'Ignoto')
      from Impiegato
```

Nullif La funzione nullif richiede come argomento una espressione e un valore costante; se l'espressione è pari al valore costante, la funzione restituisce il valore nullo, altrimenti restituisce il valore dell'espressione.

Interrogazione 57: estrarre i nomi, i cognomi e i dipartimenti cui afferiscono gli impiegati, restituendo il valore nullo per il dipartimento quando l'attributo Dipart possiede il valore “Ignoto”.

```
select Nome, Cognome, nullif(Dipart, 'Ignoto')
      from Impiegato
```

L'esempio mostra come la funzione nullif svolga un compito complementare a quello della funzione coalesce.

Case La funzione case permette di specificare strutture condizionali, il cui risultato dipende dalla valutazione del contenuto delle tabelle. La sintassi ammette due diverse varianti:

```
case Espressione
      when Valore then EsprRisultato
      { when Valore then EsprRisultato }
      [ else EsprRisultato ]
end
```

```
case when Condizione then Espressione
      { when Condizione then Espressione }
      [ else Espressione ]
end
```

La prima forma restituisce risultati diversi a seconda del valore di una specifica espressione (tipicamente, il valore di un attributo). Assumiamo per esempio di avere una tabella contenente alcune informazioni su veicoli, avente schema:

VEICOLO(Targa, Tipo, Anno, KWatt, Lunghezza, NAssi)

Supponiamo ora di voler calcolare le tasse di circolazione dei veicoli immatricolati dopo il 1975, sulla base di un tariffario che fa riferimento al tipo di veicolo. Una possibile soluzione è la seguente, nella quale il valore viene calcolato sulla base dei valori che compaiono nella colonna **Tipo**.

Interrogazione 58: estrarre l'ammontare delle tasse annuali per un veicolo.

```
select Targa,
       case Tipo
           when 'Auto' then 2.58 * KWatt
           when 'Moto' then (22.00 + 1.00 * KWatt)
           else null
       end as Tassa
  from Veicolo
 where Anno > 1975;
```

La seconda forma del costrutto **case** invece ammette la valutazione di predicati SQL generici. Mostriamo un esempio di applicazione di questa forma nel contesto di un'operazione di aggiornamento. La seguente istruzione SQL specifica una modifica dello stipendio di un impiegato, sulla base dei valori assunti dalle colonne **Dipart** e **Ufficio**.

```
update Impiegato
set Stipendio =
  case
    when (Dipart = 'Amministrazione' and Ufficio = 10)
        then Stipendio * 1.1
    when (Dipart = 'Amministrazione' and Ufficio <> 10)
        then Stipendio * 1.2
    when Dipart = 'Produzione'
        then Stipendio * 1.15
    else Stipendio
  end
```

Se non si facesse uso della funzione **case**, non sarebbe possibile effettuare la medesima operazione con una sola istruzione.

5.3 Controllo dell'accesso

La presenza di meccanismi di protezione dei dati riveste grande rilevanza in molte applicazioni. Uno dei compiti più importanti di un amministratore di basi di dati consiste nello scegliere e implementare opportune politiche di controllo di accesso. SQL riconosce l'importanza di questo aspetto e un insieme delle istruzioni del linguaggio è dedicato a questo obiettivo.

SQL prevede innanzitutto che ogni utente sia identificato in modo univoco dal sistema. L'identificazione dell'utente può sfruttare le funzionalità del sistema

operativo (per cui a un utente della base di dati corrisponde un utente del sistema) o essere indipendente. I sistemi commerciali più sofisticati offrono una gestione indipendente, con una propria procedura d'identificazione, per cui a un utente del sistema possono corrispondere più utenti della base di dati e viceversa.

5.3.1 Risorse e privilegi

Le risorse che il sistema protegge sono normalmente tabelle e viste, con la possibilità di specificare singoli attributi all'interno di esse. Il modello di controllo dell'accesso di SQL permette comunque di proteggere un qualsiasi componente dello schema (domini, procedure ecc.).

Di regola l'utente che crea la risorsa ne è il proprietario ed è autorizzato a compiere su di essa qualsiasi operazione. Un sistema in cui solo i proprietari delle risorse fossero autorizzati a farne uso sarebbe di limitata utilità, come lo sarebbe un sistema in cui tutti gli utenti fossero in grado di utilizzare in qualsiasi modo ogni risorsa. SQL offre invece dei meccanismi di gestione flessibili, mediante i quali è possibile specificare quali sono le risorse cui devono accedere gli utenti e quali sono invece le risorse che devono essere mantenute private. Il sistema basa il controllo di accesso su un concetto di *privilegio*. Gli utenti possiedono dei privilegi di accesso alle risorse del sistema.

Ogni privilegio è caratterizzato dai seguenti parametri:

1. la risorsa cui si riferisce;
2. l'utente che concede il privilegio;
3. l'utente che riceve il privilegio;
4. l'azione che viene permessa sulla risorsa;
5. se il privilegio può essere trasmesso o meno ad altri utenti.

Quando una risorsa viene creata, il sistema concede automaticamente tutti i privilegi su tale risorsa al creatore. Esiste inoltre un utente predefinito, `_system`, che rappresenta il database administrator, il quale possiede tutti i privilegi su tutte le risorse.

I privilegi disponibili sono i seguenti.

- `insert`: permette di inserire un nuovo oggetto nella risorsa (si può applicare solo alle tabelle e alle viste).
- `update`: permette di aggiornare il valore di un oggetto (vale per le tabelle, le viste e gli attributi).
- `delete`: permette di rimuovere oggetti dalla risorsa (vale solo per le tabelle e le viste).
- `select`: permette di leggere la risorsa, ovvero utilizzarla nell'ambito di una interrogazione (vale per le tabelle, le viste e gli attributi).
- `references`: permette che venga fatto un riferimento a una risorsa nell'ambito della definizione dello schema di una tabella. Può essere associato solo a tabelle e a specifici attributi. Con il privilegio di `references` (per esempio su una tabella `DIPARTIMENTO`, di proprietà di Paolo) l'utente cui è concesso il privilegio (per esempio, Stefano) può definire un vincolo di `foreign key`

(per esempio, sulla sua tabella IMPiegato), richiedendo che un attributo della propria tabella abbia valori contenuti tra le chiavi della tabella referenziata. A questo punto, se Stefano specifica sul vincolo una politica di reazione di tipo no action, a Paolo può essere impedito di cancellare o modificare delle righe della propria tabella Dipartimento se il comando di aggiornamento rende scorretto il contenuto di IMPiegato. Perciò, la concessione del privilegio di references può limitare la possibilità di modificare la risorsa.

- usage: permette che venga usata la risorsa, per esempio nell'ambito della definizione dello schema di una tabella, ma solo per risorse come i domini.

Il privilegio di effettuare un drop o un alter di un oggetto non può essere concesso, ma rimane di competenza del creatore dell'oggetto stesso. I privilegi vengono concessi o revocati tramite le istruzioni grant e revoke.

5.3.2 Comandi per concedere e revocare privilegi

La sintassi del comando grant è la seguente:

```
grant Privilegi on Risorsa to Utenti [with grant option]
```

Il comando permette di concedere i *Privilegi* sulla *Risorsa* agli *Utenti*. Per esempio, il comando:

```
grant select on Dipartimento to Stefano
```

concede all'utente Stefano il privilegio di select sulla tabella Dipartimento. La clausola with grant option specifica se deve essere concesso a Stefano anche il privilegio di propagare il privilegio ad altri utenti. È possibile usare al posto dei privilegi la parola chiave all privileges, che identifica tutti i privilegi che l'utente può concedere sulla particolare risorsa. Così il comando:

```
grant all privileges on Impiegato to Paolo, Riccardo
```

concede sulla tabella IMPiegato agli utenti Paolo e Riccardo tutti i privilegi che possono essere concessi da chi esegue il comando.

Il comando revoke fa invece l'inverso: sottrae a un utente i privilegi che gli erano stati concessi:

```
revoke Privilegi on Risorsa from Utenti [restrict | cascade]
```

Tra i privilegi che possono essere rimossi, oltre a quelli che possono comparire come argomento del comando di grant, vi è pure il privilegio grant option, derivante dall'uso dell'opzione with grant option.

L'unico utente che può sottrarre privilegi a un altro utente è l'utente che aveva concesso i privilegi in primo luogo. Il comando di revoke può eliminare tutti i privilegi che erano stati concessi, o limitarsi a revocarne un sottoinsieme. L'opzione restrict è il valore di default e specifica che il comando non deve essere

eseguito qualora la revoca dei privilegi all’utente comporti qualche altra revoca di privilegi, come può capitare quando l’utente ha ricevuto i privilegi con la grant option e ha propagato il privilegio ad altri utenti, o come capita quando il privilegio che si vuole revocare è stato usato per la definizione di una vista o di una tabella dell’utente. Con l’opzione `restrict` in una situazione di questo tipo viene segnalato un errore. Con l’opzione di `cascade`, invece, si forza l’esecuzione del comando; così tutti i privilegi che erano stati propagati vengono revocati e tutti gli elementi della base di dati che erano stati costruiti sfruttando questi privilegi vengono rimossi. Si noti che l’opzione `cascade` può generare anche in questo caso una reazione a catena, per cui, per ogni elemento che viene rimosso, vengono anche rimossi tutti gli oggetti che hanno una qualche relazione di dipendenza da esso; come in altri casi bisogna prestare molta attenzione per evitare che un semplice comando produca modifiche estese e non desiderate sulla base di dati.

Non è solo il comando di `revoke` a poter generare delle reazioni a catena: anche quello di `grant` può esibire un comportamento analogo. Può infatti capitare che un utente abbia ricevuto un privilegio su una tabella che gli ha permesso di creare delle viste che fanno riferimento a questa tabella, tramite per esempio un privilegio di `select`. Qualora all’utente vengano concessi ulteriori privilegi sulla tabella, questi privilegi vengono automaticamente concessi sulle viste (e ricorsivamente sulle viste costruite a partire dalle viste).

5.3.3 I ruoli in SQL-3

SQL-3 ha introdotto una novità significativa nell’ambito del controllo dell’accesso, proponendo un modello di controllo dell’accesso basato sui ruoli (*Role-Based Access Control*, RBAC). Questo modello, pur mantenendo il supporto per il tradizionale approccio che associa direttamente i privilegi agli utenti, introduce un meccanismo che disaccoppia l’attribuzione di un insieme di privilegi agli utenti dalla loro attivazione.

In SQL-3 è possibile creare un ruolo tramite un opportuno comando `create role NomeRuolo`. Il ruolo si comporta come una sorta di contenitore di privilegi, che vengono attribuiti a esso tramite il comando di `grant` visto prima. Il comando di `grant` viene inoltre utilizzato per concedere agli utenti la possibilità di ricoprire un certo ruolo, beneficiando dei privilegi a esso associati. Per fruire però dei privilegi è necessario che l’utente invochi un esplicito comando `set role NomeRuolo`. In ogni istante un utente dispone quindi dei privilegi che gli sono stati attribuiti direttamente e dei privilegi associati al ruolo che è stato esplicitamente attivato.

Questo approccio rappresenta una realizzazione significativa di un modello di controllo dell’accesso flessibile. La motivazione principale del modello è di rispettare il principio del “minimo privilegio”, il quale prescrive che per garantire un buon comportamento in termini di sicurezza è bene che ogni utente disponga esclusivamente dell’insieme dei privilegi che sono necessari per svolgere il proprio compito. Questo principio motiva innanzitutto l’introduzione di un modello di controllo dell’accesso a granularità fine come quello tradizionale di SQL, che

permette di isolare le risorse effettive cui un utente ha diritto di accedere. Il modello a ruoli tiene inoltre conto che ciascun utente ha in momenti diversi la necessità di svolgere diverse funzioni; tramite il ruolo diventa possibile variare dinamicamente l'insieme di privilegi attivati, disponendo in ogni momento dell'insieme minimo di privilegi necessari per una certa attività.

Un altro vantaggio significativo dei ruoli è la semplificazione dell'attività di amministrazione dei privilegi. L'introduzione di un nuovo utente nel sistema può essere gestita abilitando con pochi comandi i ruoli che l'utente deve poter attivare, senza dover ripetere per il nuovo identificatore di utente tutti i comandi di grant che descrivono la collezione di privilegi raccolti nei ruoli.

5.4 Transazioni

Introduciamo ora la nozione di *transazione*, un concetto che riveste un ruolo fondamentale nell'uso delle basi di dati. Una *transazione* identifica una unità elementare di lavoro svolta da una applicazione, cui si vogliono associare particolari caratteristiche di correttezza, robustezza e isolamento. Un sistema che mette a disposizione un meccanismo per la definizione e l'esecuzione di transazioni viene detto *sistema transazionale*.

Una transazione può essere definita sintatticamente: in SQL, l'inizio di una transazione è rappresentato dal comando `start transaction`. Il termine della transazione è rappresentato da due istruzioni particolari, `commit work` e `rollback work`, cui facciamo riferimento usando i due termini *commit* e *abort*, che indicano l'azione associata alla rispettiva istruzione (in effetti, la sintassi SQL ammette anche i comandi nella forma senza il termine *work*). L'effetto di questi due comandi è decisivo per l'esito della transazione, la quale "va a buon fine" solo a seguito di un *commit*, mentre non ha alcun effetto tangibile sulla base di dati quando viene eseguito l'*abort*. Dal punto di vista del potere espressivo, si noti che l'istruzione `rollback work` è molto potente, in quanto tramite essa l'utente della base di dati può annullare gli effetti del lavoro svolto dalla transazione, indipendentemente dalla sua complessità.

Un esempio di transazione è dato dal seguente codice, che trasferisce dal conto 42177 al conto 12202 l'ammontare 10.

```
start transaction;
update ContoCorrente
    set Ammontare = Ammontare + 10
    where NumConto = 12202;
update ContoCorrente
    set Ammontare = Ammontare - 10
    where NumConto = 42177;
commit work;
```

Viene detta *ben formata* una transazione iniziata da `start transaction` nel corso della cui esecuzione viene invocato uno solo dei due comandi `commit`

`work` o `rollback work`. In alcune interfacce transazionali, viene immediatamente e implicitamente eseguito dopo ogni `commit` o `abort` un comando `start transaction`, in modo da rendere tutte le computazioni transazioni ben formate. In tal caso `start transaction` diventa opzionale o addirittura non è previsto.

Tutto il codice che viene eseguito all'interno di una transazione gode di proprietà particolari, le cosiddette *proprietà acide* delle transazioni: *atomicità*, *consistenza*, *isolamento* e *persistenza* (il termine è un acronimo derivante dall'inglese, ove ACID denota le iniziali di: "Atomicity, Consistency, Isolation, Durability").

Atomicità L'*atomicità* rappresenta il fatto che una transazione è un'unità *indivisibile* di esecuzione; o vengono resi visibili tutti gli effetti di una transazione, oppure la transazione non deve avere alcun effetto sulla base di dati, con un approccio "tutto o niente". In pratica, non è possibile lasciare la base di dati in uno stato intermedio attraversato durante l'elaborazione della transazione.

L'*atomicità* ha conseguenze significative sul piano operativo. Se durante l'esecuzione delle operazioni si verifica un errore e una delle operazioni di lettura o modifica della base di dati non può essere portata a compimento, allora il sistema deve essere in grado di ricostruire la situazione esistente all'inizio della transazione, *disfaccendo* il lavoro svolto dalle istruzioni eseguite fino a quel momento (operazione di `undo`). Viceversa, dopo l'esecuzione del `commit`, il sistema deve assicurare che la transazione lasci la base di dati nel suo stato finale; ciò può comportare di dover *rifare* il lavoro svolto (operazione di `redo`). In questo modo, la corretta effettuazione dell'operazione di `commit` fissa il momento, atomico e invisibile, in cui la transazione "va a buon fine"; prima di tale operazione, qualunque guasto provoca la eliminazione di tutti gli effetti della transazione, che ripristina lo stato iniziale.

Quando viene eseguito il comando `rollback work`, la situazione è simile a un "*suicidio*" autonomamente deciso nell'ambito della transazione. Viceversa, il sistema può decidere che la transazione non può essere portata a corretto compimento e "*uccidere*" la transazione. Infine, varie transazioni possono essere "*uccise*" a seguito di un guasto del sistema. In entrambe le situazioni (*suicidio* od *omicidio*), i meccanismi che realizzano l'`abort` di una transazione utilizzano le stesse strutture dati e talvolta gli stessi algoritmi. In genere, ci aspettiamo che le applicazioni siano scritte bene e che perciò la maggioranza delle transazioni vadano a buon fine e terminino con un `commit`; solo in casi sporadici legati a malfunzionamenti o situazioni impreviste le transazioni terminano con un `abort`.

Consistenza La *consistenza* richiede che l'esecuzione della transazione non violi i vincoli di integrità definiti sulla base di dati. Quando il sistema rileva che una transazione sta violando uno dei vincoli, per esempio che si sta inserendo una tupla con un campo chiave avente un valore già presente nella tabella, il sistema interviene per annullare la transazione o per correggere la violazione del vincolo. La verifica di vincoli di integrità di tipo *immediato* può essere fatta nel corso della transazione, rimuovendo gli effetti della specifica istruzione di manipolazione dei

dati che causa la violazione del vincolo, senza imporre un abort alle transazioni. Invece, la verifica di vincoli di integrità di tipo *differito* deve essere effettuata alla conclusione della transazione, dopo che l'utente ha richiesto il commit. Si noti che in questo secondo caso, se il vincolo è violato, l'istruzione `commit work` non va a buon fine, e gli effetti della transazione vengono annullati “*in extremis*”, cioè poco prima di produrre e rendere visibile lo stato finale della base di dati, poiché questo stato sarebbe inconsistente.

Isolamento L'*isolamento* richiede che l'esecuzione di una transazione sia indipendente dalla contemporanea esecuzione di altre transazioni. In particolare, si richiede che il risultato dell'esecuzione concorrente di un insieme di transazioni sia analogo al risultato che le stesse transazioni otterrebbero qualora ciascuna di esse fosse eseguita da sola.

L'*isolamento* si pone come obiettivo anche di rendere l'esito di ciascuna transazione indipendente da tutte le altre; si vuole cioè impedire che l'esecuzione di un rollback di una transazione causi l'esecuzione del rollback di altre transazioni, eventualmente generando una reazione a catena (effetto *domino*).

Persistenza La *persistenza* invece richiede che l'effetto di una transazione che ha eseguito il commit correttamente non venga più perso. In pratica, una base di dati deve garantire che nessun dato venga perso per nessun motivo; si pensi al valore dell'informazione contenuta in una base di dati quando essa rappresenta un'operazione su un conto corrente bancario.

Concludendo, si noti che la definizione di transazione data in questo paragrafo è diversa dal concetto di transazione che può avere un utente. Per il sistema, una transazione è una unità di esecuzione caratterizzata da proprietà acide; per l'utente, una transazione è spesso identificata con ogni interazione col sistema, caratterizzata da una iniziale immissione di dati cui fa seguito una risposta da parte del sistema. Spesso le due nozioni coincidono, ma altre volte una transazione di sistema incapsula varie transazioni d'utente, oppure una transazione d'utente incapsula varie transazioni di sistema.

Note bibliografiche

Per quanto riguarda le caratteristiche evolute di SQL, valgono gli stessi riferimenti che sono stati forniti nel capitolo precedente. Anche in questo caso si può consigliare di consultare i manuali che accompagnano i sistemi relazionali commerciali, i quali oggi sono quasi sempre disponibili per la consultazione in Internet sui siti dei produttori, con funzioni di ricerca efficaci che consentono in breve tempo di risolvere dubbi sulla sintassi di un comando o sull'insieme di opzioni effettivamente riconosciute dall'interprete SQL di uno specifico sistema.

Per quanto riguarda il controllo dell'accesso nelle basi di dati, il testo [13] è dedicato totalmente all'argomento. Per quanto riguarda il concetto di transazione, si fa riferimento al secondo volume [5], che costituisce il naturale proseguimento di questo testo.

Esercizi

- 5.1 Definire sulla tabella IMPIEGATO il vincolo che il dipartimento Amministrazione abbia meno di 100 dipendenti, con uno stipendio medio superiore ai 40 mila euro.
- 5.2 Definire (con una opportuna notazione) su una relazione PAGHE (Matricola, StipLordo, Ritenute, StipNetto, OK) un vincolo che imponga che il valore di OK è:
- zero se StipNetto è pari alla differenza fra StipLordo e Ritenute
 - uno altrimenti.
- 5.3 Definire a livello di schema il vincolo che il massimo degli stipendi degli impiegati di dipartimenti con sede a Firenze sia minore dello stipendio di tutti gli impiegati del dipartimento Direzione.
- 5.4 Indicare quali delle seguenti affermazioni sono vere.
1. Nei sistemi relazionali le viste possono essere utili al fine di rendere più semplice la scrittura delle interrogazioni.
 2. Nei sistemi relazionali le viste possono essere utili al fine di rendere più efficienti le interrogazioni.
 3. Nei sistemi relazionali le viste introducono ridondanze.
- 5.5 Dato il seguente schema:

AEROPORTO(Città,Nazione,NumPiste)
VOLO(IdVolo,GiornoSett,CittaPart,OraPart,CittaArr,OraArr,TipoAereo)
AEREO(TipoAereo,NumPasseggeri,QtaMerci)

scrivere, facendo uso di una vista, l'interrogazione SQL che permette di determinare il massimo numero di passeggeri che possono arrivare in un aeroporto italiano dalla Francia di giovedì (se vi sono più voli, si devono sommare i passeggeri).

- 5.6 Definire una vista che mostra per ogni dipartimento il valore medio degli stipendi superiori alla media.
- 5.7 Dato il seguente schema relazionale:
- DIPENDENTE(CodiceFiscale, Cognome, Nome)
 - PROFESSORE(CodiceFiscale, Qualifica, Anzianità, Facoltà) con vincolo di integrità referenziale tra CodiceFiscale e la relazione DIPENDENTE e fra Facoltà e la relazione FACOLTÀ
 - FACOLTÀ(Codice, Nome, Indirizzo)
 - CORSODISTUDIO(Codice, Nome, Facoltà, Presidente) con vincolo di integrità referenziale tra Facoltà e la relazione FACOLTÀ a fra Presidente e la relazione PROFESSORE
 - COLLABORAZIONE(CorsoDiStudio, Facoltà, Professore, Tipo) con vincolo di integrità referenziale fra CorsoDiStudio, Facoltà e la relazione CORSODISTUDIO e fra Professore e la relazione PROFESSORE
 - CORSO(Codice, Materia, Docente, Semestre) con vincolo di integrità referenziale fra Materia e la relazione MATERIA e fra Docente e la relazione PROFESSORE

- MATERIA(Sigla, Nome) formulare le interrogazioni in SQL:
 1. mostrare i professori, con codice fiscale, cognome, cognome, qualifica, anzianità e nome della eventuale facoltà di afferenza (per i professori che non afferiscono ad alcuna facoltà dovrà comparire il valore nullo);
 2. trovare cognome e qualifica dei professori che afferiscono alla stessa facoltà di un professore chiamato Mario Bruni di qualifica "ordinario";
 3. trovare i codici delle facoltà cui non afferisce alcun professore con cognome Bruni e qualifica "ordinario".

5.8 Considerare la base di dati relazionale definita per mezzo delle seguenti istruzioni (è lo schema già visto nell'Esercizio 4.16):

```

create table Studenti (
    Matricola numeric not null primary key,
    Cognome char(20) not null,
    Nome char(20) not null,
    DataNascita date not null
);
create table Esami (
    CodiceCorso numeric not null,
    studente numeric not null
        references Studenti(matricola),
    data date not null,
    voto numeric not null,
    primary key (CodiceCorso, studente, data)
);
  
```

Formulare in SQL:

1. l'interrogazione che trova lo studente con la media più alta.

5.9 Considerare la seguente base di dati relazionale:

VENDITE(NumeroScontrino, Data)
 CLIENTI(Codice, Cognome, Età)
 DETTAGLIVENDITE(NumeroScontrino, Riga, Prodotto, Importo, Cliente)

con valori nulli ammessi sull'attributo Cliente e con vincoli di integrità referenziale fra NumeroScontrino e la relazione VENDITE e fra Cliente e la relazione CLIENTI;

formulare in SQL:

- l'interrogazione che restituisce i prodotti acquistati in ciascuna data (che mostra cioè le coppie $< p, d >$ tali che il prodotto p è stato acquistato nella data d);
- l'interrogazione che restituisce i prodotti che sono stati acquistati in due date diverse;
- la vista VENDITECONTOTALE(NumeroScontrino, Totale), che riporta, per ogni scontrino l'importo totale (ottenuto come somma degli importi dei prodotti riportati sullo scontrino).

5.10 Considerare la seguente base di dati relazionale:

- PERSONE(FC, Cognome, Nome, Età)
- IMMOBILI(Codice, Via, NumeroCivico, Città, Valore)

- PROPRIETÀ(Persona, Immobile, Percentuale) con vincolo di integrità referenziale fra Immobile e la relazione PERSONE e fra Immobile e la relazione IMMOBILI

Nota: l'attributo Percentuale indica la percentuale di proprietà.
Definire in SQL:

- la vista definita per mezzo della seguente espressione dell'algebra relazionale: Vista = Immobili $\bowtie_{\text{Codice}=\text{Immobile}}$ Proprietà
- l'interrogazione che fornisce codici fiscali, nome e cognome delle persone che posseggono un solo immobile e po posseggono a 100%
- l'interrogazione che fornisce, per ciascuna persona, il codice fiscale, il nome, il cognome e il valore complessivo degli immobili di sua proprietà (dove il valore è la somma dei valori ciascuno pesato con la percentuale di proprietà: se Tizio possiede un immobile di valore 150 al 100% e uno di valore 200 al 50%, allora il valore complessivo sarà $(150 \times 100)/100 + (200 \times 50)/100 = 250$).

- 5.11 Tramite la definizione di una vista, permettere all'utente "Carlo" di accedere al contenuto di IMPIEGATO, escludendo l'attributo Stipendio.
- 5.12 Descrivere l'effetto delle seguenti istruzioni: quali autorizzazioni sono presenti dopo ciascuna istruzione? (Ciascuna linea è preceduta dal nome dell'utente che esegue il comando.)

```
Stefano: grant select on Tabella to Paolo, Riccardo
                           with grant option
Paolo:   grant select on Tabella to Piero
Riccardo: grant select on Tabella to Piero
                           with grant option
Stefano: revoke select on Tabella from Paolo
                           cascade
Piero:   grant select on Tabella to Paolo
Stefano: revoke select on tabella from Riccardo
                           cascade
```

L'accesso di gran lunga più tipico a una base di dati avviene attraverso applicazioni integrate nel sistema informativo. Il dialogo diretto con l'interprete SQL è riservato a pochi utenti esperti. L'uso di apposite applicazioni per accedere alle informazioni è giustificato da una serie di considerazioni. Molto spesso chi deve accedere alle informazioni non è direttamente un utente, ma un'applicazione non interattiva (detta anche *batch*). Anche nel caso di accessi interattivi, spesso le modalità di accesso sono semplici e prevedibili; è quindi utile ridurre la complessità nell'accesso alla base di dati costruendo un'applicazione che fornisca un'interfaccia semplificata per lo svolgimento del compito. SQL viene incontro alle esigenze di costruzione delle applicazioni in due direzioni.

La prima direzione è legata a un incremento delle funzionalità di SQL e in generale del DBMS. Il linguaggio SQL non si limita infatti alla definizione di semplici query o comandi di modifica, ma permette la definizione di componenti più estese, quali le procedure e i trigger. Tramite queste funzionalità è possibile aggregare diverse azioni SQL ed estendere l'insieme di servizi del sistema; in generale, queste estensioni rendono SQL analogo a un normale linguaggio di programmazione, permettendo in alcuni casi di realizzare completamente l'applicazione all'interno della base di dati. In questo capitolo presenteremo quindi l'estensione di SQL che permette la definizione di procedure (Paragrafo 6.1) e trigger (Paragrafo 6.2). Una evoluzione ulteriore in questa direzione è rappresentata da strumenti di sviluppo che permettono di costruire applicazioni complete per la gestione di basi di dati in modo guidato. Buona parte dei sistemi di basi di dati commerciali offrono, oltre al gestore di base di dati vero e proprio, anche un insieme di strumenti specializzati (e proprietari) per lo sviluppo di applicazioni (vedi per esempio la descrizione di Microsoft Access nell'Appendice A). Esiste poi un'offerta di prodotti non legati a una base di dati in particolare, ciascuno dei quali in grado di gestire il dialogo con il sistema relazionale grazie all'uso dello standard SQL. Questi strumenti permettono di definire agevolmente gli schemi della base di dati e di costruire interfacce sofisticate. Non tratteremo specificamente queste soluzioni, sia perché è la modalità relativamente meno diffusa, sia per la scarsa uniformità che rende difficile una trattazione sistematica.

La seconda direzione invece assume che le applicazioni siano realizzate facendo uso dei tradizionali linguaggi di programmazione di alto livello. In questo caso, il problema da risolvere è relativo all'integrazione tra i comandi SQL, i quali sono responsabili di realizzare l'accesso alla base di dati, e le normali istruzioni del linguaggio di programmazione. La seconda parte del capitolo analizzerà il supporto richiesto per lo sviluppo di applicazioni nei linguaggi di programmazione di alto livello, di tipo procedurale e a oggetti; descriveremo prima SQL Embedded, in cui SQL viene integrato direttamente all'interno del normale linguaggio di programmazione (Paragrafo 6.3); illustreremo infine gli approcci in cui l'integrazione con SQL avviene tramite l'invocazione di un'opportuna libreria di funzioni (approccio a *Call Level Interface*, Paragrafo 6.4).

Vogliamo infine osservare che la trattazione di questi argomenti in questo testo è volutamente sintetica. Maggiori approfondimenti sui trigger si trovano nel secondo volume [5], in cui viene dedicato un intero capitolo all'argomento. Nel secondo volume si mostrano ulteriori esempi di integrazione tra SQL e linguaggi di programmazione, presentando strumenti che, nel contesto dell'integrazione tra il mondo del Web e le basi di dati, permettono di inserire codice SQL all'interno di moduli software responsabili di generare pagine HTML.

6.1 Procedure

Lo standard SQL-2 prevede la definizione di procedure, anche dette *stored procedures* per il fatto che normalmente vengono memorizzate all'interno della base di dati come parti dello schema. Come accade nei linguaggi di programmazione, le procedure permettono di associare un nome a un'istruzione SQL, con la possibilità di specificare dei parametri da utilizzare per lo scambio di informazioni con la procedura. I vantaggi sono un aumento della comprensibilità del programma, una più facile manutenibilità, e, nel caso delle procedure SQL, la possibilità di ottenere in diversi casi un sensibile incremento delle prestazioni. Una volta che la procedura è definita, essa è utilizzabile come se facesse parte dell'insieme dei comandi SQL predefiniti. Consideriamo come primo esempio la procedura SQL che aggiorna il nome della città di un dipartimento:

```
procedure AssegnaCitta(:Dip varchar(20),  
                      :Città varchar(20))  
    update Dipartimento  
    set Città = :Città  
    where Nome = :Dip;
```

La procedura può essere invocata avendo cura di associare un valore ai parametri. Nell'esempio si mostra una invocazione della procedura all'interno di un programma C, che possiede le due variabili :NomeDip e :NomeCittà:

```
$ AssegnaCitta(:NomeDip, :NomeCittà)
```

Lo standard SQL-2 non tratta la scrittura di procedure complesse, ma si limita a specificare la definizione di procedure composte da un singolo comando SQL. Molti sistemi rimuovono questa limitazione, andando incontro alle esigenze delle applicazioni.

Le estensioni procedurali proposte dai diversi sistemi differiscono molto tra di loro: vi sono sistemi che permettono solamente di associare a ogni procedura una sequenza di comandi, altri che invece permettono l'utilizzo di strutture di controllo, dichiarazioni di variabili locali e l'invocazione di programmi esterni. In ogni caso, l'uso di queste funzioni è fuori dallo standard e rende non portabile il codice SQL generato. SQL-3 estende questo aspetto del linguaggio e fornisce una ricca sintassi per la definizione di procedure; fino a che, però, SQL-3 non si diffonderà, bisognerà utilizzare i servizi effettivamente disponibili sui sistemi,

preventivando uno sforzo aggiuntivo nel caso in cui si debba adattare la propria applicazione a un altro ambiente.

Il seguente esempio mostra una procedura costituita dalla sequenza di due istruzioni SQL. La procedura permette di assegnare all'attributo Città il valore :NuovaCittà, per tutte le righe di DIPARTIMENTO e IMPIEGATO in cui l'attributo vale :VecchiaCittà.

```
procedure CambiaCittaATutti(:NuovaCitta varchar(20),
                             :VecchiaCitta varchar(20))
begin
    update Dipartimento
    set Città = :NuovaCitta
    where Città = :VecchiaCitta;
    update Impiegato
    set Città = :NuovaCitta
    where Città = :VecchiaCitta;
end;
```

Una delle estensioni normalmente fornite dagli attuali sistemi relazionali è la struttura di controllo *if-then-else*, che permette di esprimere esecuzioni condizionali e può essere usata per rilevare condizioni eccezionali. Mostriamo un esempio in cui si definisce una procedura che permette di porre a :NuovaCitta il valore dell'attributo Città per tutte le righe di DIPARTIMENTO con nome :NomeDip; se non si trova un dipartimento da modificare, si inserisce un elemento in ERRORIDIP.

```
procedure CambiaCittaADip(:NomeDip varchar(20),
                           :NuovaCitta varchar(20))
if not exists(select *
              from Dipartimento
              where Nome = :NomeDip)
    insert into ErroriDip values(:NomeDip)
else
    update Dipartimento
    set Città = :NuovaCitta
    where Nome = :NomeDip;
end if;
end;
```

Come è già stato accennato, vi sono sistemi commerciali che offrono un insieme di estensioni procedurali di SQL molto ampio; in effetti, tali estensioni sono spesso in grado di rendere il linguaggio *computazionalmente completo*, ovvero con lo stesso potere espressivo di un normale linguaggio di programmazione. Esiste quindi la possibilità di scrivere una intera applicazione con questo SQL esteso; tuttavia, è molto raro che questa sia la soluzione migliore, poiché normalmente il sistema relazionale è ottimizzato solo per l'accesso ai dati.

Vediamo infine un esempio di programma scritto in PL/SQL, l'estensione procedurale del sistema relazionale Oracle Server, per dare un'idea del livello di sofisticazione offerto da questi sistemi.

```
procedure Addebita(CodConto char(5),
                    Prelievo integer) is
begin
    select Ammontare, Scoperto
    into AmmontarePrec, Limite
    from ContoCorrente
    where CodiceConto = CodConto
    for update of Ammontare;
    NuovoAmmontare := AmmontarePrec - Prelievo;
    if NuovoAmmontare > Limite then
        update ContoCorrente
            set Ammontare = NuovoAmmontare
            where CodiceConto = CodConto;
    else
        insert into TransazioniOltreScoperto
            values(CodConto, Prelievo, sysdate);
    end if;
end Addebita;
```

L'esempio mostra una procedura che preleva l'ammontare Prelievo dal conto con codice CodConto se sul conto è presente una copertura sufficiente. La procedura fa uso di variabili locali (AmmontarePrec, NuovoAmmontare e Limite) e sfrutta la struttura di controllo *if-then-else*.

6.2 Trigger

I trigger, detti anche *regole attive*, rappresentano una funzionalità particolarmente significativa dei moderni sistemi relazionali. I trigger seguono il paradigma *Evento-Condizione-Azione* (ECA): ogni trigger si attiva quando occorre uno specifico evento all'interno della base di dati; se è soddisfatta una data condizione, allora il trigger esegue un'azione stabilita. I trigger realizzano quindi nell'ambito delle basi di dati relazionali un paradigma di programmazione procedurale a regole. Lo scopo è normalmente quello di specificare le reazioni che il sistema deve mettere in atto in presenza di situazioni prestabilite.

Senza presentare in dettaglio le caratteristiche della sintassi, mostriamo un esempio di trigger SQL-3.

```
create trigger ImpiegatiSenzaDip
after insert into Impiegati
for each row
when (new.Dipart is null)
update Impiegati
    set Dipart = 'NuoviArrivati'
    where Matr = new.Matr
```

Il trigger viene attivato tutte le volte che il sistema rileva l'inserimento di tuple all'interno della tabella IMPiegati. Se la condizione, rappresentata dal predicato SQL che segue la parola chiave when, è soddisfatta, ovvero se l'impiegato inserito presenta il valore nullo per l'attributo Dipart, l'azione del trigger viene eseguita. In questo trigger l'azione è rappresentata da un comando di update che assegna all'attributo Dipart del nuovo impiegato il valore "NuoviArrivati". Il trigger garantisce che la base di dati reagirà a ogni inserimento di tuple in IMPiegati avendo valore nullo per l'attributo Dipart, andando a sostituire il valore nullo con il valore sopra definito.

Analizziamo brevemente in modo informale la struttura sintattica dei trigger SQL-3. La parte *evento* può solo presentare operazioni SQL di aggiornamento dello stato della base di dati, ovvero insert e delete su tabelle, e update su tabelle o singoli attributi. Ogni trigger è sensibile a un solo evento. La parte *condizione* è rappresentata da un generico predicato SQL. Nella valutazione della condizione, così come nell'ambito dell'azione, è possibile utilizzare una coppia di variabili predefinite new e old, che permettono di far riferimento rispettivamente alla nuova e vecchia versione della tupla che è stata oggetto del comando di insert, update o delete (naturalmente, la variabile new non sarà utilizzabile nell'ambito di trigger che reagiscono all'evento di delete, così come la variabile old non sarà definita per trigger che reagiscono a eventi di insert). Infine, l'*azione* del trigger è rappresentata da un generico singolo comando o da una procedura SQL.

I trigger sono presenti nei sistemi relazionali fin dagli anni Ottanta, quindi ben prima della loro standardizzazione avvenuta in SQL-3; presentano per questo motivo delle caratteristiche sintattiche e funzionali eterogenee. La presenza in SQL-3 di una sintassi e un modello di esecuzione ufficiale definisce un obiettivo verso il quale i sistemi tenderanno in futuro, ma ancora oggi la limitata portabilità dei trigger costituisce un ostacolo al loro uso.

I trigger possono quindi servire alla realizzazione di molteplici servizi. Una delle applicazioni più classiche dei trigger è rappresentata dalla gestione di vincoli di integrità generici. L'approccio si basa sulla scrittura di trigger che: (1) sono sensibili a tutti gli eventi che possono introdurre violazioni nei vincoli, (2) verificano nella condizione se le violazioni sono effettivamente presenti e in tal caso (3) eseguono le azioni che hanno la responsabilità di intervenire sulla base di dati per eliminare le violazioni. Questo approccio è applicabile a una grande varietà

Parte seconda

Progettazione di basi di dati

Metodologie e modelli per il progetto

Nei capitoli precedenti sono state analizzate le modalità di descrizione (modelli) e manipolazione (linguaggi) di una base di dati, supponendo che la base di dati con la quale interagire esistesse già. Incominceremo adesso ad affrontare il problema che esiste a monte, quello di progettare una base di dati a partire dai suoi requisiti. Progettare una base di dati significa definirne struttura, caratteristiche e contenuto. Si tratta, come è facile immaginare, di un processo nel quale bisogna prendere molte decisioni delicate e l'uso di opportune metodologie è indispensabile per la realizzazione di un prodotto di alta qualità.

In questo capitolo introduttivo, affrontiamo il problema della progettazione di basi di dati da un punto di vista generale e proponiamo alcuni strumenti di lavoro. In particolare, forniremo, nel Paragrafo 7.1, un inquadramento generale nel contesto dello sviluppo dei sistemi informativi e presenteremo una metodologia di progettazione che si è largamente diffusa nell'ambito delle basi di dati. Nel Paragrafo 7.2 illustreremo invece il modello *Entità-Relazione*, che fornisce al progettista un valido strumento per produrre una rappresentazione dei dati, detta *schema concettuale*, sulla quale l'intera metodologia si fonda.

La metodologia di riferimento è articolata in tre fasi: la *progettazione concettuale*, la *progettazione logica* e la *progettazione fisica*. Ognuna di queste fasi verrà presentata in dettaglio nei capitoli successivi a questo. La seconda parte del libro verrà completata da un capitolo che descrive la *normalizzazione*, una importante tecnica di analisi di qualità per schemi di basi di dati.

7.1 Introduzione alla progettazione

7.1.1 Il ciclo di vita dei sistemi informativi

La progettazione di una base di dati costituisce solo una delle componenti del processo di sviluppo di un sistema informativo complesso e va quindi inquadrata in un contesto più ampio, quello del *ciclo di vita* dei sistemi informativi.

Come descritto in Figura 7.1, il ciclo di vita di un sistema informativo comprende, generalmente, le seguenti attività.

- **Studio di fattibilità.** Serve a definire, in maniera per quanto possibile precisa, i costi delle varie alternative possibili e a stabilire le priorità di realizzazione delle varie componenti del sistema.
- **Raccolta e analisi dei requisiti.** Consiste nella individuazione e nello studio delle proprietà e delle funzionalità che il sistema informativo dovrà avere. Que-

sta fase richiede una interazione con gli utenti del sistema e produce una descrizione completa, ma generalmente informale, dei dati coinvolti (anche in termini di previsione sul carico applicativo) e delle operazioni su di essi (anche in termini di previsione sulla loro frequenza). Vengono inoltre stabiliti i requisiti software e hardware del sistema informativo.

- **Progettazione.** Si divide generalmente in *progettazione dei dati* e *progettazione delle applicazioni*. Nella prima si individua la struttura e l'organizzazione che i dati dovranno avere, nell'altra si definiscono le caratteristiche dei programmi applicativi. Le due attività sono complementari e possono procedere in parallelo o in cascata. Le descrizioni dei dati e delle applicazioni prodotte in questa fase sono formali e fanno riferimento a specifici modelli.
- **Implementazione.** Consiste nella realizzazione del sistema informativo secondo la struttura e le caratteristiche definite nella fase di progettazione. Viene costruita e popolata la base di dati e viene prodotto il codice dei programmi.
- **Validazione e collaudo.** Serve a verificare il corretto funzionamento e la qualità del sistema informativo. La sperimentazione deve prevedere, per quanto possibile, tutte le condizioni operative.
- **Funzionamento.** In questa fase il sistema informativo diventa operativo ed esegue i compiti per i quali era stato originariamente progettato. Se non si verificano malfunzionamenti o revisioni delle funzionalità del sistema, questa attività richiede solo operazioni di gestione e manutenzione.

Va precisato che, come indicato graficamente in Figura 7.1, il processo non è quasi mai strettamente sequenziale in quanto spesso, durante l'esecuzione di una delle attività citate, bisogna rivedere decisioni prese nell'attività precedente. Quello che si ottiene è proprio un “ciclo” di operazioni. Inoltre, si aggiunge talvolta alle attività citate quella di *prototipizzazione*, che consiste nell'uso di specifici strumenti software per la realizzazione rapida di una versione semplificata del sistema informativo, con la quale sperimentare le sue funzionalità. La verifica del prototipo può portare a una modifica dei requisiti e una eventuale revisione del progetto.

Le basi di dati costituiscono in effetti solo una delle componenti di un sistema informativo che tipicamente include anche i programmi applicativi, le interfacce con l'utente e altri programmi di servizio. Comunque, il ruolo centrale che i dati hanno in un sistema informativo giustifica ampiamente uno studio autonomo relativo alla progettazione delle basi di dati. Ci interesseremo perciò solo agli aspetti dello sviluppo dei sistemi informativi che riguardano da vicino il progetto delle basi di dati, rimandando a testi sull'ingegneria del software lo studio di tutte le altre attività connesse. In particolare, focalizzeremo la nostra attenzione sulla terza fase del ciclo di vita riportato in Figura 7.1, facendo riferimento alla progettazione dei dati e discutendo anche alcuni aspetti della relativa attività di raccolta e analisi dei requisiti che la precede. Questa maniera di procedere è peraltro coerente con l'approccio allo sviluppo dei sistemi informativi *basato sui dati*, in cui l'attenzione è centrata sui dati e sulle loro proprietà. Questo approccio prevede prima la progettazione della base di dati e, successivamente, la realizzazione delle applicazioni che la utilizzano.



Figura 7.1 Ciclo di vita di un sistema informativo

7.1.2 Metodologie di progettazione e basi di dati

Un aspetto che vale la pena di precisare è che cosa si intende per *metodologia di progettazione* e quali sono le proprietà che una metodologia deve garantire. In buona sostanza, una metodologia di progettazione consiste in:

- una *decomposizione* dell'intera attività di progetto in passi successivi indipendenti tra loro;
- una serie di *strategie* da seguire nei vari passi e alcuni *criteri* per la scelta in caso di alternative;

- alcuni *modelli di riferimento* per descrivere i dati di ingresso e uscita delle varie fasi.

Le proprietà che una metodologia deve garantire sono principalmente:

- la *generalità* rispetto alle applicazioni e ai sistemi in gioco (e quindi la possibilità di utilizzo indipendentemente dal problema allo studio e dagli strumenti a disposizione);
- la *qualità del prodotto* in termini di correttezza, completezza ed efficienza rispetto alle risorse impiegate;
- la *facilità d'uso* sia delle strategie che dei modelli di riferimento.

Nell’ambito delle basi di dati, si è consolidata negli anni una metodologia di progetto che ha dato prova di soddisfare pienamente le proprietà descritte. Tale metodologia è articolata in tre fasi principali da effettuare in cascata (Figura 7.2) e si fonda su un principio dell’ingegneria semplice ma molto efficace: separare in maniera netta le decisioni relative a “cosa” rappresentare in una base di dati (prima fase), da quelle relative a “come” farlo (seconda e terza fase).

- **Progettazione concettuale.** Il suo scopo è quello di rappresentare le specifiche informali della realtà di interesse in termini di una descrizione formale e completa, ma indipendente dai criteri di rappresentazione utilizzati nei sistemi di gestione di basi di dati. Il prodotto di questa fase viene chiamato *schema concettuale* e fa riferimento a un *modello concettuale* dei dati. Come abbiamo accennato nel Paragrafo 1.3, i modelli concettuali ci consentono di descrivere l’organizzazione dei dati a un alto livello di astrazione, senza tenere conto degli aspetti implementativi. In questa fase infatti, il progettista deve cercare di rappresentare il *contenuto informativo* della base di dati, senza preoccuparsi né delle modalità con le quali queste informazioni verranno codificate in un sistema reale, né dell’efficienza dei programmi che faranno uso di queste informazioni.
- **Progettazione logica.** Consiste nella traduzione dello schema concettuale definito nella fase precedente, in termini del modello di rappresentazione dei dati adottato dal sistema di gestione di base di dati a disposizione. Il prodotto di questa fase viene denominato *schema logico* della base di dati e fa riferimento a un *modello logico* dei dati. Come noto, un modello logico ci consente di descrivere i dati secondo una rappresentazione ancora indipendente da dettagli fisici, ma concreta perché disponibile nei sistemi di gestione di base di dati. In questa fase, le scelte progettuali si basano, tra l’altro, su criteri di ottimizzazione delle operazioni da effettuare sui dati. Si fa comunemente uso anche di tecniche formali di verifica della qualità dello schema logico ottenuto. Nel caso del modello relazionale dei dati, la tecnica comunemente utilizzata è quella della *normalizzazione*.
- **Progettazione fisica.** In questa fase lo schema logico viene completato con la specifica dei parametri fisici di memorizzazione dei dati (organizzazione dei file e degli indici). Il prodotto di questa fase viene denominato *schema fisico* e fa riferimento a un *modello fisico* dei dati. Tale modello dipende dallo specifico

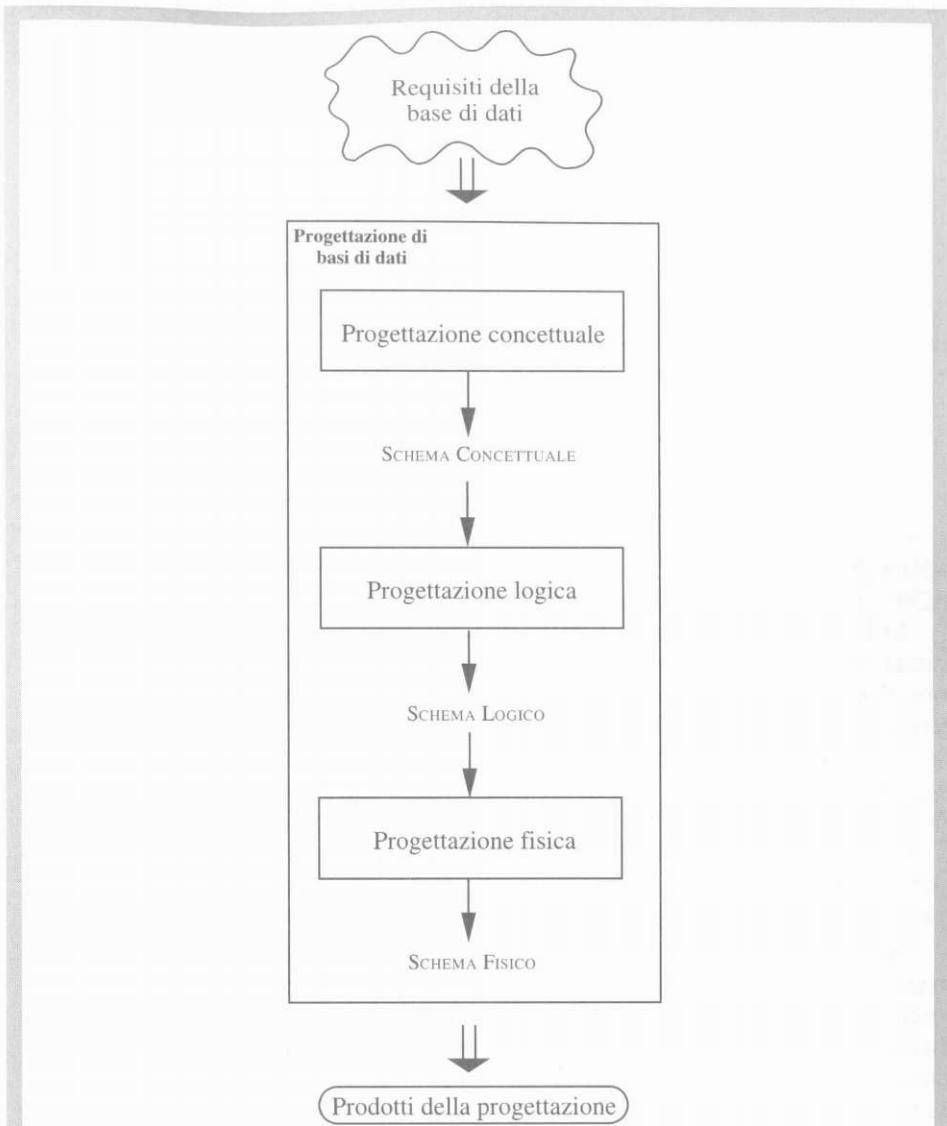


Figura 7.2 Le fasi della progettazione di una base di dati

sistema di gestione di basi di dati scelto e si basa sui criteri di organizzazione fisica dei dati in quel sistema.

Vediamo ora in che maniera i requisiti della base di dati vengono utilizzati nelle varie fasi della progettazione. È bene qui fare una distinzione tra *specifiche sui dati*, che riguardano il contenuto della base di dati, e *specifiche sulle operazioni*, che riguardano l'uso che utenti e applicazioni fanno della base di dati. Nella

progettazione concettuale si fa uso soprattutto delle specifiche sui dati mentre le specifiche sulle operazioni servono solo a verificare che lo schema concettuale sia completo, contenga cioè le informazioni necessarie per eseguire tutte le operazioni previste. Nella progettazione logica lo schema concettuale in ingresso riassume le specifiche sui dati, mentre le specifiche sulle operazioni si utilizzano, insieme alle previsioni sul carico applicativo, per ottenere uno schema logico che renda tali operazioni eseguibili in maniera efficiente. In questa fase bisogna anche conoscere il modello logico adottato ma non è ancora necessario conoscere il particolare DBMS scelto (solo la categoria cui appartiene). Infine, nella progettazione fisica si fa uso dello schema logico e delle specifiche sulle operazioni per ottimizzare le prestazioni del sistema. In questa fase bisogna anche tenere conto delle caratteristiche del particolare sistema di gestione di basi di dati utilizzato.

Il risultato della progettazione di una base di dati non è solo lo schema fisico, ma è costituito anche dallo schema concettuale e dallo schema logico. Lo schema concettuale fornisce infatti una rappresentazione della base di dati di alto livello, che può essere molto utile a scopo documentativo, mentre lo schema logico fornisce una descrizione concreta del contenuto della base di dati che, prescindendo dagli aspetti implementativi, è il riferimento per le operazioni di interrogazione e aggiornamento.

In Figura 7.3 vengono mostrati i prodotti delle varie fasi nel caso della progettazione di una base di dati relazionale basata sull'uso del più diffuso modello concettuale dei dati, il modello Entità-Relazione. A partire da requisiti rappresentati da documenti e moduli di vario genere, acquisiti anche attraverso l'interazione con gli utenti, viene costruito uno schema Entità-Relazione (rappresentato da un diagramma) che descrive a livello concettuale la base di dati. Questa rappresentazione viene poi tradotta in uno schema relazionale, costituito da una collezione di tabelle. Infine, i dati vengono descritti da un punto di vista fisico (tipo e dimensioni dei campi) e vengono specificate strutture ausiliarie, come gli indici, per l'accesso efficiente ai dati.

Nei prossimi capitoli affronteremo in maniera dettagliata i vari passi della progettazione di basi di dati secondo la decomposizione di Figura 7.2 e con riferimento ai modelli usati nella Figura 7.3. Prima di cominciare presenteremo, nel prossimo paragrafo, il modello Entità-Relazione, che si è ormai affermato come standard di riferimento nelle metodologie di progetto di basi di dati e negli strumenti di ausilio alla progettazione di sistemi informativi. La fase di progettazione concettuale che discuteremo nel prossimo capitolo si fonda su questo modello concettuale. Tratteremo successivamente la progettazione logica con riferimento al modello relazionale che rimane a tutt'oggi il modello dei dati più diffuso nei sistemi di gestione di basi di dati.

7.2 Il modello Entità-Relazione

Il modello Entità-Relazione (nel seguito utilizzeremo spesso per questo termine l'abbreviazione E-R) è un modello *concettuale* di dati e, come tale, fornisce una

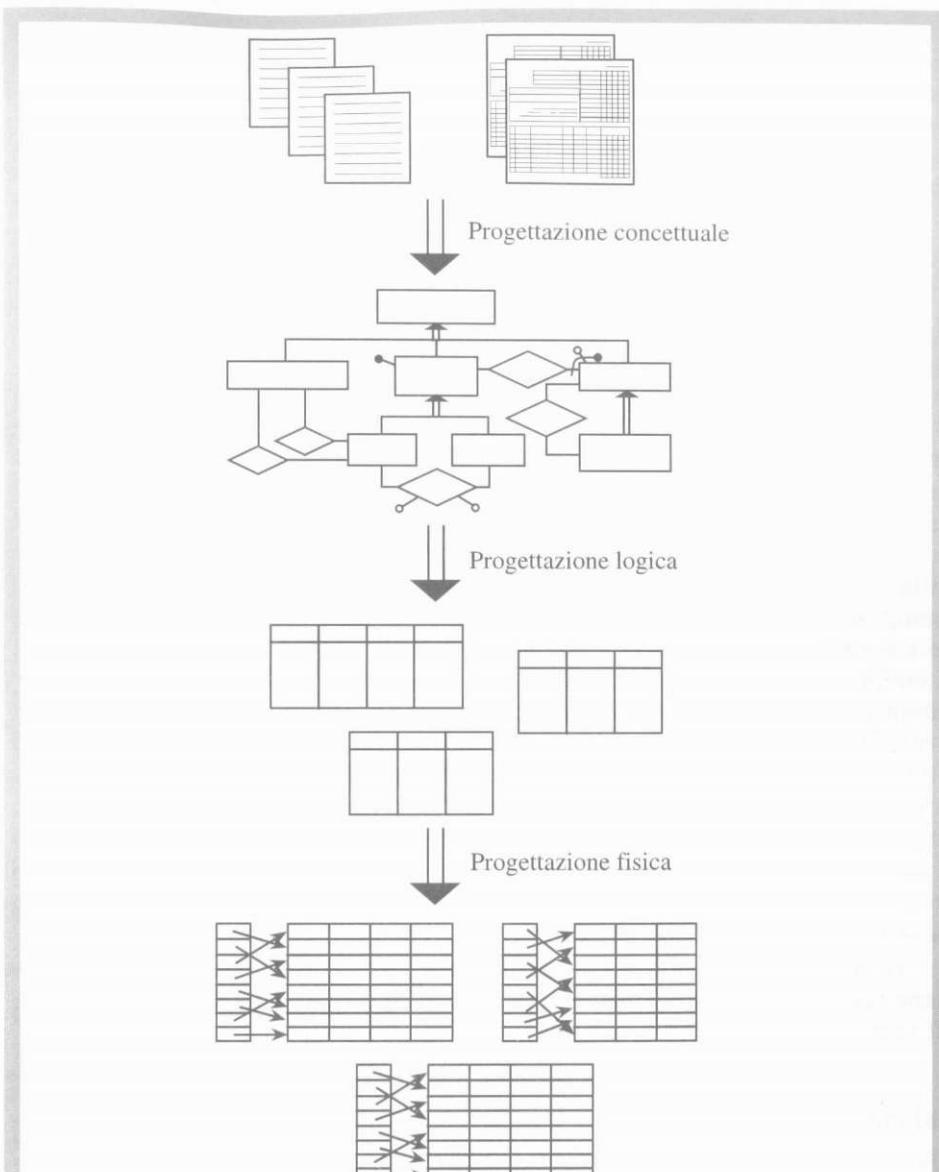


Figura 7.3 I prodotti delle varie fasi del progetto di una base di dati relazionale con il modello Entità-Relazione

serie di strutture, dette *costrutti*, atte a descrivere la realtà di interesse in una maniera facile da comprendere e che prescinde dai criteri di organizzazione dei dati nei calcolatori. Questi costrutti vengono utilizzati per definire *schemi* che descri-

vono l'organizzazione e la struttura delle *occorrenze*¹ dei dati, ovvero, dei valori assunti dai dati al variare del tempo. Nella tabella in Figura 7.4 vengono elencati tutti i costrutti che il modello E-R mette a disposizione: si può osservare che, per ogni costrutto, esiste una relativa rappresentazione grafica. Come vedremo, questa rappresentazione ci consente di definire uno schema E-R mediante un diagramma che ne semplifica l'interpretazione.

7.2.1 I costrutti principali del modello

Cominciamo ad analizzare i costrutti principali di questo modello: le entità, le relazioni e gli attributi.

Entità Rappresentano classi di oggetti (fatti, cose, persone, per esempio) che hanno proprietà comuni ed esistenza “autonoma” ai fini dell'applicazione di interesse: CITTÀ, DIPARTIMENTO, IMPIEGATO, ACQUISTO e VENDITA sono esempi di entità di un'applicazione aziendale. Una occorrenza di un'entità è un oggetto della classe che l'entità rappresenta. Le città di Roma, Milano e Palermo sono esempi di occorrenze dell'entità CITTÀ, gli impiegati Marini e Ferrari sono invece esempi di occorrenze dell'entità IMPIEGATO. Si osservi che una occorrenza di entità non è un valore che identifica un oggetto (per esempio, il cognome dell'impiegato o il suo codice fiscale) ma è l'oggetto stesso (l'impiegato “in carne e ossa”). Una interessante conseguenza di questo fatto è che una occorrenza di entità ha un'esistenza (e un'identità) indipendente dalle proprietà a esso associate (un impiegato esiste indipendentemente dal fatto di avere un nome, un cognome, una età ecc.). In questo il modello E-R presenta una marcata differenza rispetto al modello relazionale nel quale, come abbiamo visto nel Capitolo 2, non possiamo rappresentare un oggetto senza conoscere alcune sue proprietà (un impiegato viene rappresentato da una tupla contenente il nome, il cognome, l'età ecc.).

In uno schema, ogni entità ha un nome che la identifica univocamente e viene rappresentata graficamente mediante un rettangolo con il nome dell'entità all'interno. La Figura 7.5 riporta alcuni esempi di entità.

Relazioni (o associazioni)² Rappresentano legami logici, significativi per l'applicazione di interesse, tra due o più entità. RESIDENZA è un esempio di relazione che può sussistere tra le entità CITTÀ e IMPIEGATO mentre ESAME è un esempio di relazione che può sussistere tra le entità STUDENTE e CORSO. Una

¹In genere si utilizza il termine *istanza* invece di *occorrenza*, ma noi qui preferiamo occorrenza per non generare confusione con il concetto di *istanza* (insieme di tuple) utilizzato nel modello relazionale.

²In questo capitolo verrà usato prevalentemente il termine *relazione*. Negli altri capitoli si userà invece il termine *associazione* in casi di possibile ambiguità (per esempio con le relazioni del modello relazionale).

Costrutti	Rappresentazione grafica
Entità	
Relazione	
Attributo semplice	
Attributo composto	
Cardinalità di relazione	
Cardinalità di attributo	
Identificatore interno	
Identificatore esterno	
Generalizzazione	
Sottoinsieme	

Figura 7.4 I costrutti del modello E-R e la loro rappresentazione grafica

occorrenza di relazione è un'ennupla (coppia nel caso più frequente di relazione binaria) costituita da occorrenze di entità, una per ciascuna delle entità coinvolte. La coppia di oggetti composta dall'impiegato Ferrari e dalla città di Bologna, oppure la coppia di oggetti composta dall'impiegato Marini e dalla città di Firenze, sono esempi di occorrenze della relazione RESIDENZA. Esempi di occorrenze della relazione ESAME tra le entità STUDENTE e CORSO sono le coppie e_1, e_2 ,

IMPIEGATO

DIPARTIMENTO

CITTÀ

VENDITA

Figura 7.5 Esempi di entità nel modello E-R

e_3 , e_4 , e_5 ed e_6 riportate in Figura 7.6, nella quale vengono raffigurate anche le occorrenze delle entità coinvolte.

In uno schema E-R, ogni relazione ha un nome che la identifica univocamente e viene rappresentata graficamente mediante un rombo, con il nome della relazione all'interno, e da linee che connettono la relazione con ciascuna delle sue componenti. La Figura 7.7 riporta esempi di schema con relazioni tra entità. Si osservi che possono esistere relazioni diverse che coinvolgono le stesse entità, come le relazioni RESIDENZA e SEDE DI LAVORO tra le entità IMPIEGATO e CITTÀ. Nella scelta dei nomi di relazione è preferibile utilizzare sostantivi invece che verbi, in maniera da non indurre ad assegnare un “verso” alla relazione. Per esempio, SEDE DI LAVORO è da preferire a LAVORA IN.

Un aspetto molto importante delle associazioni è il seguente: come risulta evidente osservando la Figura 7.6, l'insieme delle occorrenze di una relazione del modello E-R è, a tutti gli effetti, una relazione matematica tra le occorrenze delle entità coinvolte, ossia, è un sottoinsieme del loro prodotto cartesiano. Questo

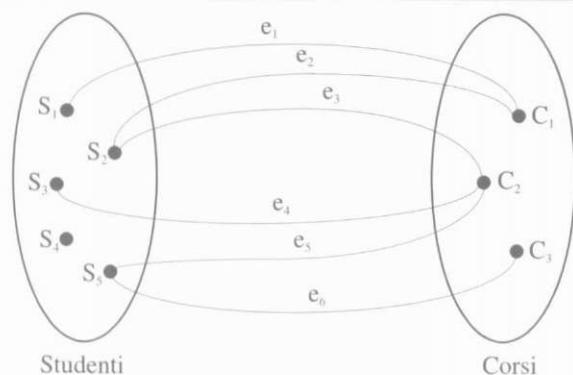


Figura 7.6 Esempio di occorrenze della relazione ESAME

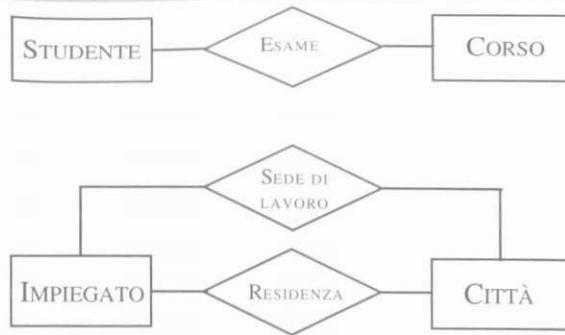


Figura 7.7 Esempi di relazioni tra entità nel modello E-R

significa che tra le occorrenze di una relazione del modello E-R non ci possono essere ennuple ripetute. Questo aspetto ha importanti conseguenze: per esempio, la relazione **ESAME** in Figura 7.7 non è in grado di descrivere il fatto che un certo studente ha sostenuto più volte lo stesso esame (perché questo produrrebbe ennuple identiche). In tal caso, anche l'esame va rappresentato con una entità collegata mediante relazioni alle entità **STUDENTE** e **CORSO**.

È anche possibile avere relazioni *ricorsive*, ovvero relazioni tra una entità e se stessa. Per esempio, in Figura 7.8 la relazione ricorsiva **COLLEGA** sull'entità **IMPIEGATO** connette coppie di impiegati che lavorano insieme, mentre la relazione **SUCCESSIONE** sull'entità **SOVRANO** associa a ogni sovrano di una dinastia il suo immediato successore. Va osservato che, a differenza della prima relazione, la relazione **SUCCESSIONE** non è simmetrica. In questo caso è necessario stabilire i due *ruoli* che l'entità coinvolta gioca nella relazione. Questo può essere fatto associando degli identificatori (nel nostro caso **Successore** e **Predecessore**) alle linee uscenti dalla relazione ricorsiva.

È possibile infine avere relazioni n-arie, relazioni cioè che coinvolgono più di due entità. Un esempio viene mostrato in Figura 7.9: la relazione **FORNITURA** tra le tre entità **FORNITORE**, **PRODOTTO** e **DIPARTIMENTO** descrive il fatto che un fornitore rifornisce un dipartimento di un certo prodotto.

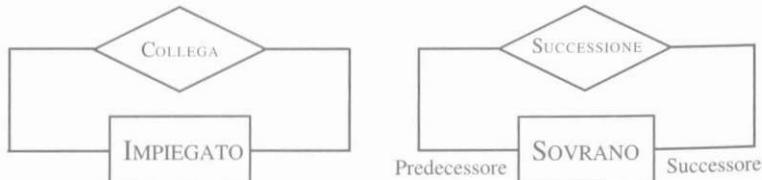


Figura 7.8 Esempi di relazioni ricorsive nel modello E-R

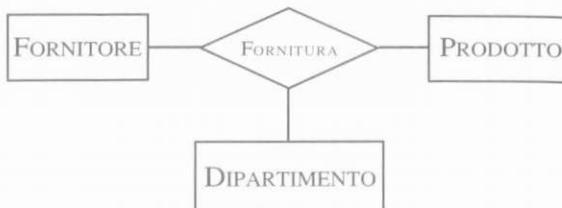


Figura 7.9 Esempio di relazione ternaria nel modello E-R

Un possibile insieme di occorrenze di questa relazione potrebbe stabilire che la ditta Pinto fornisce stampanti al dipartimento Vendite e calcolatori al dipartimento Sviluppo, mentre la ditta Sami fornisce calcolatori al dipartimento Ricerca e fotocopiatrici al dipartimento Vendite. Un esempio grafico di possibili occorrenze della relazione FORNITURA è riportato in Figura 7.10 (triple f_1, f_2, f_3 e f_4). Nella figura sono riportate anche le occorrenze delle entità coinvolte.

Attributi Descrivono le proprietà elementari di entità o relazioni che sono di interesse ai fini dell'applicazione. Per esempio, **Cognome**, **Stipendio** ed **Età** sono possibili attributi dell'entità **IMPIEGATO**, mentre **Data** e **Voto** lo sono per la relazione **ESAME** tra **STUDENTE** e **CORSO**. Un attributo associa a ciascuna

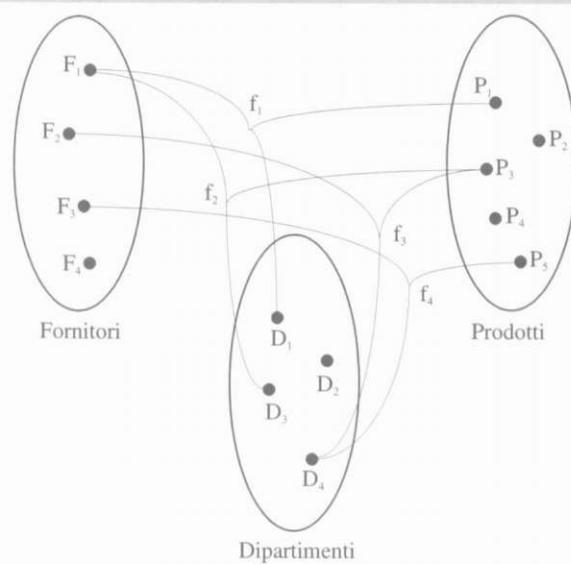


Figura 7.10 Esempio di occorrenze della relazione FORNITURA

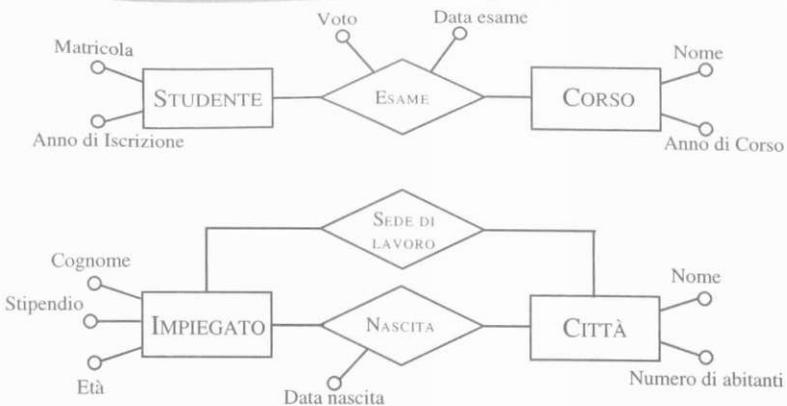


Figura 7.11 Schemi E-R con relazioni, entità e attributi

occorrenza di entità (o di relazione) un valore appartenente a un insieme, detto *dominio*, che contiene i valori ammissibili per l'attributo. Per esempio, l'attributo **Cognome** dell'entità **IMPIEGATO** può avere come dominio l'insieme delle stringhe di 20 caratteri, mentre l'attributo **Età** può avere come dominio gli interi compresi tra 18 e 65. In Figura 7.11 viene mostrato come vengono rappresentati graficamente gli attributi. I domini non vengono riportati nello schema, ma sono generalmente descritti nella documentazione associata.

Può risultare comodo, qualche volta, raggruppare attributi di una medesima entità o relazione che presentano affinità nel loro significato o uso: l'insieme di attributi che si ottiene in questa maniera viene detto *attributo composto*. Possiamo, per esempio, raggruppare gli attributi **Via**, **Numero civico** e **CAP** dell'entità **PERSONA** per formare l'attributo composto **Indirizzo**. La rappresentazione grafica di un attributo composto viene mostrata nell'esempio in Figura 7.12. Per ridurre la complessità degli schemi, gli attributi composti verranno usati raramente nel seguito preferendo usare, per quanto possibile, attributi atomici.

Costruzione di schemi con i costrutti di base I tre costrutti del modello Entità-Relazione visti fino a questo momento ci consentono già di costruire schemi per descrivere realtà di una certa complessità. Si consideri per esempio lo sche-



Figura 7.12 Un esempio di entità con attributo composto

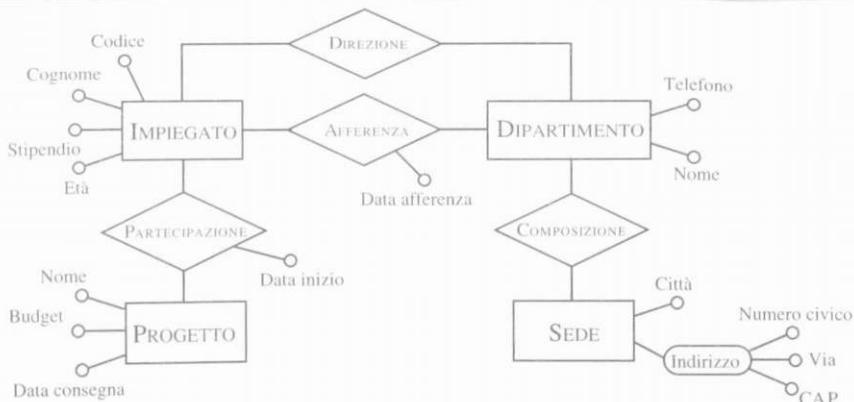


Figura 7.13 Uno schema Entità-Relazione

ma E-R riportato in Figura 7.13. Si comprende facilmente che questo schema rappresenta alcune informazioni di carattere organizzativo relative a una azienda con diverse sedi. Partendo dall'entità **SEDE** e procedendo in senso antiorario si può vedere che una sede dell'azienda è dislocata in una certa città e ha un certo indirizzo (attributi **Città** e **Indirizzo**). Ogni sede è organizzata in dipartimenti (relazione **COMPOSIZIONE**) e ogni dipartimento ha un nome e un numero di telefono (entità **DIPARTIMENTO** e relativi attributi). A questi dipartimenti afferiscono, a partire da una certa data, gli impiegati dell'azienda (relazione **AFFERENZA** e relativo attributo) e ci sono impiegati che dirigono tali dipartimenti (relazione **DIREZIONE**). Per gli impiegati vengono rappresentati il cognome, lo stipendio, l'età e un codice che serve a identificarli (entità **IMPIEGATO** e relativi attributi). Gli impiegati lavorano su progetti a partire da una certa data (relazione **PARTECIPAZIONE** e relativo attributo). Ogni progetto ha un nome, un budget e una data di consegna (entità **PROGETTO** e relativi attributi).

7.2.2 Altri costrutti del modello

Esaminiamo ora i rimanenti costrutti del modello E-R: le cardinalità delle relazioni e degli attributi, gli identificatori delle entità e le generalizzazioni. Come vedremo, solo l'ultimo è un costrutto “nuovo”; gli altri costituiscono, in realtà, dei vincoli di integrità su costrutti già visti, cioè proprietà che occorrenze di entità e di relazioni devono soddisfare per poter essere considerate “ valide ”.

Cardinalità delle relazioni Vengono specificate per ciascuna partecipazione di entità a una relazione e descrivono il numero minimo e massimo di occorrenze di relazione a cui una occorrenza dell'entità può partecipare. Dicono quindi quante volte, in una relazione tra entità, un'occorrenza di una di queste



Figura 7.14 Cardinalità di una relazione nel modello E-R

entità può essere legata a occorrenze delle altre entità coinvolte. Per esempio, se in una relazione ASSEGNAVENTO tra le entità IMPIEGATO e INCARICO specifichiamo per la prima entità una cardinalità minima pari a uno e una cardinalità massima pari a cinque, vogliamo indicare che un impiegato può partecipare a un minimo di una occorrenza e a un massimo di cinque occorrenze della relazione ASSEGNAVENTO. In altre parole, vogliamo dire che, nella nostra applicazione a un impiegato deve essere assegnato almeno un incarico ma non più di cinque. Se per l'entità INCARICO specifichiamo una cardinalità minima pari a zero e una cardinalità massima pari a 50 imponiamo che un certo incarico può partecipare o a nessuna occorrenza oppure a 50 occorrenze al massimo della relazione ASSEGNAVENTO. Quindi, un certo incarico può non essere assegnato a nessun impiegato oppure può essere assegnato a un numero di impiegati inferiore o uguale a 50. In uno schema E-R, le cardinalità minima e massima delle partecipazioni di entità a relazioni si specificano tra parentesi, come descritto in Figura 7.14.

In linea di principio è possibile assegnare un qualunque intero non negativo a una cardinalità di una relazione con l'unico vincolo che la cardinalità minima deve essere minore o uguale della cardinalità massima. In realtà, nella maggior parte dei casi, è sufficiente utilizzare solo tre valori: zero, uno e il simbolo N (che indica genericamente un intero maggiore di uno). In particolare:

- per la cardinalità minima, zero o uno; nel primo caso si dice che la partecipazione dell'entità relativa è *opzionale*, nel secondo si dice che la partecipazione è *obbligatoria*;
- per la cardinalità massima, uno o molti (N); nel primo caso la partecipazione dell'entità relativa può essere vista come una funzione (parziale se la cardinalità minima vale zero) che associa a una occorrenza dell'entità una sola occorrenza (o nessuna) dell'altra entità che partecipa alla relazione; nel secondo c'è invece un'associazione con un numero arbitrario di occorrenze dell'altra entità.

Se analizziamo la Figura 7.6 possiamo concludere che l'entità STUDENTE partecipa alla relazione ESAME con cardinalità pari a (0,N), in quanto ci sono studenti che non partecipano a nessuna occorrenza della relazione (lo studente S_4), altri che partecipano a più di una occorrenza della relazione (per esempio lo studente S_2 che partecipa a e_2 ed e_3).

In Figura 7.15 sono riportati diversi casi di cardinalità per relazioni del modello E-R. Per esempio, le cardinalità della relazione RESIDENZA ci dicono che ogni persona può essere residente in una e una sola città, mentre ogni città può non aver residenti oppure ha, in generale, molti residenti.

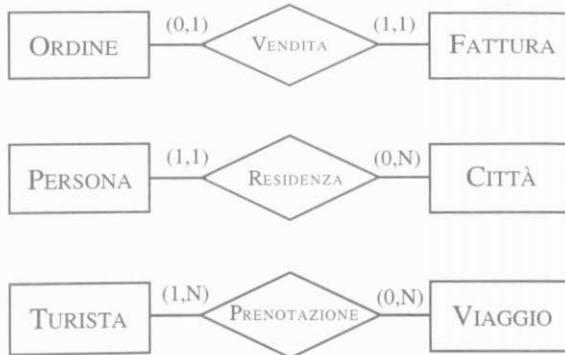


Figura 7.15 Esempi di cardinalità di relazioni

Osservando le cardinalità massime, è possibile classificare le relazioni binarie in base al tipo di corrispondenza che viene stabilita tra le occorrenze delle entità coinvolte. Le relazioni aventi cardinalità massima pari a uno per entrambe le entità coinvolte, come la relazione VENDITA in Figura 7.15, definiscono una corrispondenza uno a uno tra le occorrenze di tali entità e vengono quindi denominate *relazioni uno a uno*. In maniera analoga, le relazioni aventi un'entità con cardinalità massima pari a uno e l'altra con cardinalità massima pari a N, come la relazione RESIDENZA in Figura 7.15, sono denominate *relazioni uno a molti*. Infine, le relazioni aventi cardinalità massima pari a N per entrambe le entità coinvolte, come la relazione PRENOTAZIONE in Figura 7.15, vengono denominate *relazioni molti a molti*.

Per le cardinalità minime va detto invece che il caso di partecipazione obbligatoria per tutte le entità coinvolte è piuttosto raro, perché quando si aggiunge una nuova occorrenza di entità, molto spesso non sono note (o addirittura non esistono) le corrispondenti occorrenze delle entità a essa collegate. Per esempio, relativamente al primo schema in Figura 7.15, quando si riceve un nuovo ordine, non esiste ancora una fattura a esso relativa e non è quindi possibile costruire una occorrenza della relazione VENDITA che contiene il nuovo ordine.

Negli esempi visti fino a questo momento abbiamo fatto riferimento solo a relazioni binarie. C'è da dire in effetti che nelle relazioni n-arie, le entità coinvolte partecipano quasi sempre con cardinalità massima pari ad N. Un esempio concreto viene fornito dalla relazione ternaria FORNITURA di Figura 7.9: come si può osservare dalla Figura 7.10, esistono esempi di occorrenze di ciascuna delle entità coinvolte (F_1 , P_3 e D_4) che partecipano a più occorrenze di tale relazione. Nel caso in cui un'entità partecipa a una relazione n-aria con cardinalità massima pari a uno, significa che ogni sua occorrenza può essere legata a una sola occorrenza della relazione, e quindi a un'unica ennupla di occorrenze delle altre entità coinvolte nella relazione. Questo significa che è possibile (e risulta a volte più naturale) eliminare la relazione n-aria e legare direttamente tale entità con le altre

entità, mediante delle relazioni binarie di tipo uno a molti. Riprenderemo questo argomento informalmente, nel Paragrafo 8.2.2 del prossimo capitolo e, in maniera più sistematica, nel Capitolo 11 dedicato alla normalizzazione dove forniremo dei criteri di analisi più precisi.

Cardinalità degli attributi Possono essere specificate per gli attributi di entità o relazioni e descrivono il numero minimo e massimo di valori dell'attributo associati a ogni occorrenza di entità o relazione. Nella maggior parte dei casi, la cardinalità di un attributo è pari a (1,1) e viene omessa. In questi casi l'attributo rappresenta sostanzialmente una funzione che associa a ogni occorrenza di entità un solo valore dell'attributo. Il valore per un certo attributo può essere però nullo (con le medesime accezioni introdotte nel Paragrafo 2.2.3 per il modello relazionale), oppure possono esistere diversi valori di un certo attributo per una occorrenza di entità. Queste situazioni si possono rappresentare associando all'attributo in questione una cardinalità minima pari a zero nel primo caso, e una cardinalità massima pari a molti (N), nel secondo. In Figura 7.16 viene presentato un esempio di entità con attributi dotati di cardinalità. Sulla base delle cardinalità risulta che una persona ha uno e un solo cognome, può avere o non avere un numero di patente, ma se ne ha uno è unico, e ha almeno un recapito telefonico, ma ne può avere, in generale, più di uno.

In maniera simile alle partecipazioni delle occorrenze di entità alle relazioni, diremo che un attributo con cardinalità minima pari a zero è *opzionale* per la relativa entità o relazione, mentre è *obbligatorio* se la cardinalità minima è pari a uno. Diremo infine che un attributo è *multivalore* se la sua cardinalità massima è pari a N. Come discusso nel Capitolo 2, in molte situazioni reali accade che certe informazioni non sono disponibili, ed è quindi utile avere la possibilità di specificare attributi opzionali. Gli attributi multivalore vanno invece utilizzati con maggiore cautela, perché essi rappresentano situazioni che possono essere modellate, in alcune occasioni, con entità a sé, legate da relazioni uno a molti (o molti a molti) con l'entità cui si riferiscono. Per fare un esempio concreto, si potrebbe pensare di aggiungere un attributo multivalore *Titolo di studio* all'entità PERSONA di Figura 7.16, perché una persona può avere più titoli di studio. Il titolo di studio è però un concetto condiviso da molte persone: può risultare quindi più naturale modellarlo con una entità a parte legata con l'entità PERSONA da una relazione molti a molti. Rimandiamo comunque questo discorso al Paragrafo 8.2, nel quale

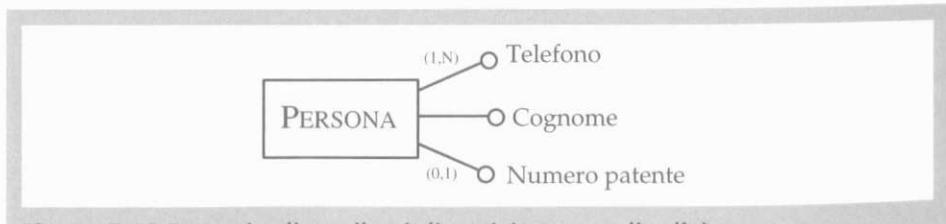


Figura 7.16 Esempio di attributi di entità con cardinalità



Figura 7.17 Esempi di identificatori interni di entità

forniremo dei criteri per la scelta del costrutto più adatto alla rappresentazione di un certo concetto del mondo reale.

Identificatori delle entità Vengono specificati per ciascuna entità di uno schema e descrivono i concetti (attributi e/o entità) dello schema che permettono di identificare in maniera univoca le occorrenze delle entità. In molti casi, uno o più attributi di una entità sono sufficienti a individuare un identificatore: si parla in questo caso di identificatore *interno* (detto anche *chiave*). Per esempio, un identificatore interno per l'entità AUTOMOBILE con attributi **Modello**, **Targa** e **Colore** è l'attributo **Targa**, in quanto non possono esistere due automobili con la stessa targa e quindi due occorrenze della entità AUTOMOBILE con gli stessi valori sull'attributo **Targa**. Alla stessa maniera, un identificatore interno per l'entità PERSONA con attributi **Nome**, **Cognome**, **Indirizzo** e **Data di Nascita** può essere l'insieme degli attributi **Nome**, **Cognome** e **Data di Nascita**, avendo assunto che nella nostra applicazione non esistono due persone aventi, contemporaneamente, lo stesso nome, lo stesso cognome e la stessa data di nascita. In Figura 7.17 viene mostrata la simbologia usata per rappresentare gli identificatori interni in uno schema E-R. Si osservi la diversa notazione usata per indicare identificatori composti da un solo attributo e identificatori composti da più attributi.

Alcune volte però gli attributi di un'entità non sono sufficienti a identificare univocamente le sue occorrenze. Si consideri per esempio l'entità STUDENTE nello schema in Figura 7.18. Può sembrare a prima vista che l'attributo **Matricola** possa essere un identificatore per tale entità, ma ciò non è vero: lo schema descrive infatti studenti iscritti a varie università e due studenti iscritti a università diver-

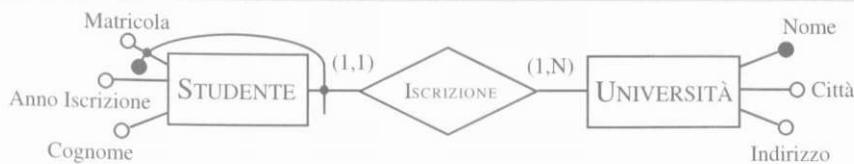


Figura 7.18 Esempio di identificatore esterno di entità

se possono avere lo stesso numero di matricola. In questo caso, per identificare univocamente uno studente serve, oltre al numero di matricola, anche la relativa università. Quindi, un identificatore corretto per l'entità STUDENTE in questo schema è costituito dall'attributo Matricola e dall'entità UNIVERSITÀ. Va osservato che questa identificazione è resa possibile dalla relazione uno a molti tra le entità UNIVERSITÀ e STUDENTE, che associa a ogni studente una e una sola università. Se questa relazione non esistesse, l'identificazione univoca attraverso un'altra entità non sarebbe possibile. Quindi, un'entità E può essere identificata da altre entità solo se tali entità sono coinvolte in una relazione a cui E partecipa con cardinalità (1,1). Nei casi in cui l'identificazione di un'entità è ottenuta utilizzando altre entità si parla di identificatore *esterno*. La rappresentazione diagrammatica di un identificatore esterno è riportata nell'esempio di Figura 7.18.

Sulla base di quanto detto sulle identificazioni, è possibile fare alcune considerazioni generali:

- un identificatore può coinvolgere uno o più attributi, ognuno dei quali deve avere cardinalità (1,1);
- un'identificazione esterna può coinvolgere uno o più entità, ognuna delle quali deve essere membro di una relazione alla quale l'entità da identificare partecipa con cardinalità (1,1);
- un'identificazione esterna può coinvolgere un'entità che è a sua volta identificata esternamente, purché non vengano generati, in questa maniera, cicli di identificazioni esterne;
- ogni entità deve avere almeno un identificatore (interno o esterno), ma ne può avere in generale più di uno; nel caso di più identificatori, gli attributi e le entità coinvolte in alcune identificazioni (tranne una) possono essere opzionali (cardinalità minima uguale a zero).

Possiamo a questo punto riesaminare lo schema presentato in Figura 7.13 introducendo cardinalità e identificatori. Lo schema risultante viene proposto in Figura 7.19.

Si può osservare che il nome di una città identifica una sede dell'azienda: questo vuol dire che non c'è più di una sede nella stessa città. Un dipartimento è invece identificato dal nome e dalla sede di cui fa parte (dalle cardinalità si evince che una sede ha diversi dipartimenti ma ogni dipartimento fa parte di una sola sede). Un dipartimento ha almeno un numero di telefono, ma può averne più di uno. Un impiegato (identificato da un codice) può afferire a un solo dipartimento (ma può accadere che non afferisca a nessun dipartimento, per esempio se appena assunto) e può dirigere o zero o un dipartimento. Viceversa, ogni dipartimento ha un solo direttore e uno o più impiegati. Sui progetti (identificati univocamente dal loro nome) lavorano diversi impiegati (almeno uno) e ogni impiegato lavora in generale su più progetti (ma può accadere che non lavori a nessun progetto). Infine, la data di scadenza di un progetto può non essere nota.

Generalizzazioni Rappresentano legami logici tra un'entità E , detta entità *genitore*, e una o più entità E_1, \dots, E_n , dette entità *figlie*, di cui E è più generale,

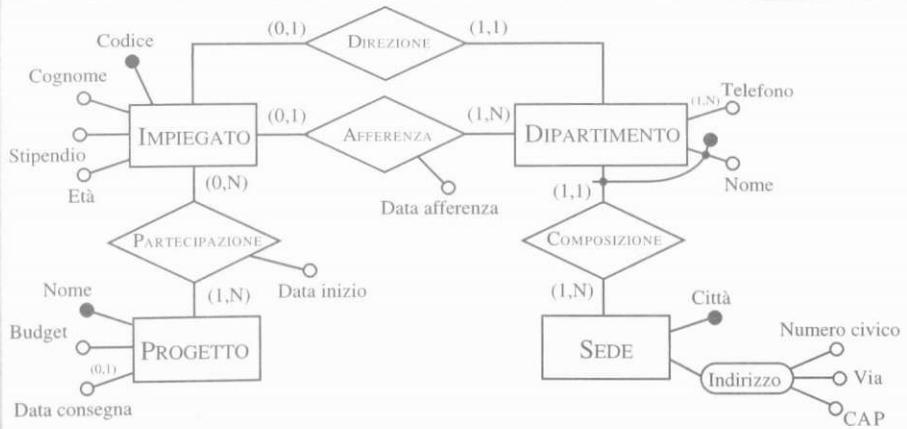


Figura 7.19 Lo schema di Figura 7.13 completato con identificatori e cardinalità

nel senso che le comprende come caso particolare. Si dice in questo caso che E è *generalizzazione* di E_1, \dots, E_n e che le entità E_1, \dots, E_n sono *specializzazioni* dell’entità E . Per esempio, l’entità PERSONA è una generalizzazione delle entità UOMO e DONNA, mentre PROFESSIONISTA è una generalizzazione delle entità INGEGNERE, MEDICO e AVVOCATO. Per contro, le entità UOMO e DONNA sono specializzazioni dell’entità PERSONA.

Tra le entità coinvolte in una generalizzazione valgono le seguenti proprietà generali.

- Ogni occorrenza di un’entità figlia è anche una occorrenza dell’entità genitore. Per esempio, una occorrenza dell’entità AVVOCATO è anche una occorrenza dell’entità PROFESSIONISTA.
- Ogni proprietà dell’entità genitore (attributi, identificatori, relazioni e altre generalizzazioni) è anche una proprietà delle entità figlie. Per esempio, se l’entità PERSONA ha attributi Cognome ed Età, anche le entità UOMO e DONNA possiedono questi attributi. Inoltre, l’identificatore di PERSONA è un identificatore valido anche per le entità UOMO e DONNA. Questa proprietà delle generalizzazioni è nota sotto il nome di *ereditarietà*.

Le generalizzazioni vengono rappresentate graficamente mediante delle frecce che congiungono le entità figlie con l’entità genitore come mostrato negli esempi in Figura 7.20. Si osservi che, per le entità figlie, le proprietà ereditate non vanno rappresentate esplicitamente.

Le generalizzazioni possono essere classificate sulla base di due proprietà tra loro ortogonali.

- Una generalizzazione è *totale* se ogni occorrenza dell’entità genitore è una occorrenza di almeno una delle entità figlie, altrimenti è *parziale*.



Figura 7.20 Esempi di generalizzazioni tra entità

- Una generalizzazione è *esclusiva* se ogni occorrenza dell’entità genitore è al più un’occorrenza di una delle entità figlie, altrimenti è *sovraposta*.

La generalizzazione tra PERSONA, UOMO e DONNA in Figura 7.20 è, per esempio, totale (gli uomini e le donne costituiscono “tutte” le persone) ed esclusiva (una persona è o uomo o donna). Una generalizzazione tra l’entità PROFESSIONISTA e le entità INGEGNERE e DOTTORE è invece parziale ed esclusiva, perché assumiamo che ciascun professionista abbia una sola professione principale e che vi siano altre professioni oltre a queste tre. Tra l’entità PERSONA e le entità STUDENTE e LAVORATORE esiste infine una generalizzazione parziale e sovrapposta, perché esistono studenti che sono anche lavoratori.

Questo ultimo esempio ci suggerisce che in realtà, le generalizzazioni sovrapposte possono essere facilmente trasformate in generalizzazioni esclusive aggiungendo una o più entità figlie, per rappresentare i concetti che costituiscono le “intersezioni” delle entità che si sovrappongono. Nel caso degli studenti e dei lavoratori è sufficiente aggiungere l’entità STUDENTELAVORATORE per ottenere una generalizzazione esclusiva. Quindi, sebbene sia importante saper distinguere questi tipi di generalizzazioni, assumeremo nel seguito, senza sostanziale perdita di generalità, che le generalizzazioni sono sempre esclusive. Come vedremo nel prossimo capitolo, questa scelta rende peraltro più semplice la traduzione verso il modello relazionale. Per quanto riguarda invece le generalizzazioni totali, queste vengono in genere rappresentate disegnando la freccia con tratto pieno (vedi gli esempi in Figura 7.20 e in Figura 7.21). Questa notazione comunque non verrà sempre rispettata, ma se ne farà uso solo quando strettamente necessario.

In generale, una stessa entità può essere coinvolta in più generalizzazioni diverse. Possono esserci inoltre generalizzazioni su più livelli: si parla in questo caso di *gerarchia* di generalizzazioni. Infine, una generalizzazione può avere una sola entità figlia: si parla in questo caso di *sottoinsieme*. In Figura 7.21 viene mostrata una gerarchia di generalizzazioni. Il legame che esiste tra l’entità RESPONSABILE DI PROGETTO e PROGETTISTA è un esempio di sottoinsieme.

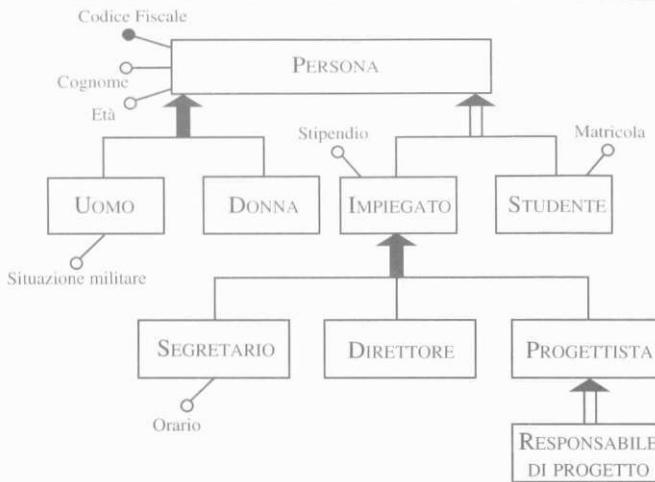


Figura 7.21 Gerarchia di generalizzazioni tra entità

7.2.3 Panoramica finale sul Modello E-R

Abbiamo visto come il modello Entità-Relazione ci mette a disposizione alcuni strumenti, detti costrutti, per descrivere i dati di una applicazione e rappresentarli in una forma grafica facilmente comprensibile.

Tutti i costrutti del modello E-R visti vengono illustrati nello schema in Figura 7.22 che fornisce al tempo stesso un esempio di schema E-R e una descrizione (semplificata) del modello E-R stesso. Analizziamo ora questo schema e consideriamo questa esplorazione come esercizio di “lettura” di uno schema E-R. Si tratta in effetti di un’attività di cui è bene impraticarsi, perché frequente nell’analisi e nella manutenzione di sistemi informativi esistenti.

Si può osservare che il modello è composto da una serie di costrutti di cui due sono considerati di base: l’entità e la relazione. Un’entità può partecipare a zero o a diverse relazioni, mentre una relazione coinvolge due o più entità. La partecipazione di una entità a una relazione ha una cardinalità minima e una massima (per semplicità qui non consideriamo le cardinalità come costrutti veri e propri ma proprietà della partecipazione di entità a relazioni). Gli altri costrutti del modello sono gli attributi e le generalizzazioni. Un attributo ha un nome, una cardinalità minima e massima, e appartiene a un costrutto di base, cioè a un’entità o a una relazione (per la proprietà delle generalizzazioni infatti, la relazione APPARTENENZA viene ereditata dalle entità figlie). Un sottoinsieme degli attributi sono gli attributi composti, che si compongono di uno o più attributi. Una generalizzazione ha esattamente una entità genitore e una (nel caso di sottoinsiemi) o molte entità figlie. Un’entità può essere genitore e figlia di diverse generalizzazioni (o anche di nessuna). Si osservi infine che un costrutto di base è identificato univocamente dal suo nome (è essenziale infatti non utilizzare in uno schema lo stesso nome per

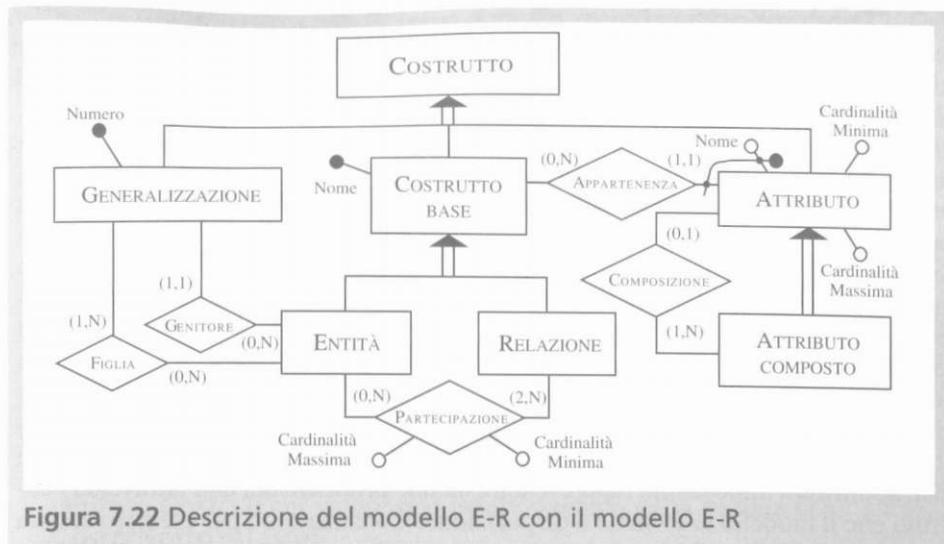


Figura 7.22 Descrizione del modello E-R con il modello E-R

concetti diversi), mentre un attributo è identificato dal suo nome e dal costrutto a cui è associato (come indicato dall'identificazione esterna). Ci possono essere cioè attributi con lo stesso nome ma devono appartenere a relazioni o entità diverse (vedi per esempio l'attributo **Nome** in Figura 7.19). Le generalizzazioni non possiedono in genere nomi e, per identificarle, assumiamo qui che siano numerate.

Esistono infine altri vincoli sull'uso dei costrutti che non si possono esprimere sullo schema. Per esempio, il fatto che le gerarchie di generalizzazione non possono contenere cicli, oppure il fatto che una cardinalità minima non può essere maggiore della corrispondente cardinalità massima. Il problema della documentazione di vincoli non esprimibili con il modello E-R verrà discusso diffusamente nel prossimo paragrafo.

Concludiamo il paragrafo con una considerazione di natura generale. Abbiamo detto più volte che gli schemi E-R costituiscono utili strumenti nell'attività di progettazione di basi di dati. In realtà tali schemi, fornendo rappresentazioni astratte dei dati di una applicazione, possono essere utilizzati con profitto anche per attività non strettamente legate alla progettazione.

Si possono fare a tale riguardo diversi esempi:

- gli schemi E-R possono essere utilizzati a scopo documentativo, poiché sono facilmente comprensibili anche da non specialisti di basi di dati;
- gli schemi E-R possono essere utilizzati per descrivere i dati di un sistema informativo già esistente (per esempio per integrarlo con altri) e, nel caso di sistema costituito da diversi sottosistemi, c'è il vantaggio di poter rappresentare le varie componenti con un linguaggio astratto e quindi unificante;
- gli schemi E-R possono essere utilizzati per comprendere, in caso di modifica dei requisiti di una applicazione, su quali porzioni del sistema si deve operare e in cosa consistono le modifiche da effettuare.

7.3 Documentazione di schemi E-R

Abbiamo visto come il modello Entità-Relazione fornisca strumenti di modellazione molto espressivi che ci permettono di descrivere, con efficacia e facilità, situazioni anche molto complesse. Uno schema E-R però non è quasi mai sufficiente, da solo, a rappresentare nel dettaglio tutti gli aspetti di un'applicazione, per varie ragioni. Innanzitutto, in uno schema E-R compaiono solo i nomi dei vari concetti in esso presenti ma questo può essere insufficiente per comprenderne il significato. Se riprendiamo per esempio lo schema in Figura 7.19, può risultare non chiaro se l'entità PROGETTO fa riferimento a progetti interni all'azienda oppure a progetti esterni, ai quali l'azienda partecipa. Nel caso di schemi particolarmente complessi può accadere inoltre di non riuscire a rappresentare in maniera comprensibile ed esaustiva i vari concetti. Con riferimento all'esempio di Figura 7.19, sarebbe per esempio difficile rappresentare altri attributi per l'entità IMPIEGATO, senza inficiare la leggibilità dello schema. Risulta infine, in certi casi, addirittura impossibile rappresentare alcune proprietà dei dati attraverso i costrutti che il modello E-R mette a disposizione. Consideriamo per esempio ancora lo schema in Figura 7.19 e supponiamo che nella nostra azienda un impiegato possa essere direttore solo del dipartimento a cui afferisce: questa proprietà non può essere espressa direttamente sullo schema perché fa riferimento a due concetti indipendenti (direzione e afferenza) descritti da due relazioni e non esistono costrutti del modello che ci permettono di correlare due relazioni. Un altro esempio di proprietà non esprimibile direttamente da costrutti del modello E-R è il fatto che un impiegato non può avere uno stipendio maggiore del direttore del dipartimento al quale afferisce. Si osservi che queste proprietà corrispondono a vincoli di integrità sui dati. È stato infatti osservato che mentre il modello E-R è sufficientemente espressivo per rappresentare dati, risulta meno adatto a rappresentare vincoli complessi su di essi.

In conclusione, risulta indispensabile corredare ogni schema E-R con una documentazione di supporto, che possa servire a facilitare l'interpretazione dello schema stesso e a descrivere proprietà dei dati rappresentati che non possono essere espressi direttamente dai costrutti del modello. Nei prossimi paragrafi descriveremo quindi strutture e tecniche atte a documentare uno schema E-R. Queste strutture non vanno intese come nuovi costrutti di rappresentazione, ma semplici strumenti, peraltro non formali, atti a completare e arricchire la descrizione dei dati di un'applicazione fatta con un modello concettuale. Vanno quindi considerate come strumenti di supporto all'analisi concettuale ma non possono certamente sostituirsi a essa.

7.3.1 Regole aziendali

Uno degli strumenti più usati dagli analisti di sistemi informativi per la descrizione di proprietà di un'applicazione che non si riesce a rappresentare direttamente con modelli concettuali è quello delle *regole aziendali* o, per usare una più nota terminologia inglese, delle *business rules*. Questa accezione deriva dal fatto che, nella maggior parte dei casi, quello che si vuole esprimere è proprio una “regola”

del particolare dominio applicativo che stiamo considerando. Riprendendo l'esempio appena fatto, il fatto che un impiegato non può guadagnare più del proprio direttore costituisce, appunto, una possibile regola dell'azienda.

In effetti il termine regola aziendale viene spesso utilizzato dagli analisti con un'accezione più ampia, per indicare una qualunque informazione che definisce o vincola qualche aspetto di un'applicazione. In particolare, in base a una classificazione piuttosto consolidata, una regola aziendale può essere:

1. la *descrizione di un concetto* rilevante per l'applicazione, ovvero la definizione precisa di un'entità, di un'attributo o di una relazione del modello E-R;
2. un *vincolo di integrità* sui dati dell'applicazione, sia esso la documentazione di un vincolo espresso con qualche costrutto del modello E-R (per esempio le cardinalità di una relazione) o la descrizione di un vincolo non esprimibile direttamente con i costrutti del modello;
3. una *derivazione*, ovvero un concetto che può essere ottenuto, attraverso un'inferenza o un calcolo aritmetico, da altri concetti dello schema (per esempio un attributo **Costo** il cui valore può essere ottenuto dalla somma degli attributi **Costo Netto** e **Tasse**).

Per le regole del primo tipo è chiaramente impossibile definire una sintassi precisa e si fa in genere ricorso a frasi in linguaggio naturale. Come verrà descritto nel paragrafo che segue, queste regole vengono tipicamente rappresentate sotto forma di glossari, raggruppando le descrizioni in maniera opportuna (per esempio, per entità e per relazione).

Le regole che descrivono vincoli di integrità e derivazioni sono invece più adatte a definizioni formali e, in effetti, sono state proposte nella letteratura sintassi più o meno complesse. Dato però che non esistono standardizzazioni e che ogni formalismo scelto rischia di non essere sufficientemente espressivo, faremo ricorso ancora a definizioni in linguaggio naturale, avendo però cura di strutturare in maniera adeguata tali definizioni.

In particolare, le regole che descrivono vincoli di integrità possono essere espresse sotto forma di *asserzioni*, ovvero affermazioni che devono essere sempre verificate nella nostra base di dati. Per motivi di chiarezza e per favorirne la costruzione, tali affermazioni devono essere "atomiche", non possono cioè essere decomposte in frasi che costituiscono esse stesse delle asserzioni. Inoltre, poiché vengono usate per documentare uno schema E-R, le asserzioni vanno enunciate in maniera dichiarativa, in una forma cioè che non suggerisca un metodo per soddisfarle. Questo è infatti un problema realizzativo e pertanto non pertinente alla rappresentazione concettuale. Quindi notazioni del tipo "*se <condizione> allora <azione>*" non sono adatte a esprimere regole aziendali, quando queste documentano uno schema E-R. Una struttura predefinita per enunciare regole aziendali sotto forma di asserzioni potrebbe essere invece la seguente:

< concetto > deve/non deve < espressione su concetti >

dove i concetti citati possono corrispondere o a concetti che compaiono nello schema E-R a cui si fa riferimento, oppure a concetti derivabili da essi. Per esempio,

riprendendo gli esempi già citati per lo schema in Figura 7.19, regole aziendali che esprimono vincoli di integrità possono essere le seguenti (RV sta per regola di vincolo):

- (RV1) *il direttore di un dipartimento deve afferire a tale dipartimento;*
- (RV2) *un impiegato non deve avere uno stipendio maggiore del direttore del dipartimento al quale afferisce;*
- (RV3) *un dipartimento con sede a Roma deve essere diretto da un impiegato con più di dieci anni di anzianità.*

Si noti come concetti quali “direttore di dipartimento” e “impiegato con più di dieci anni di anzianità” non sono rappresentati direttamente sullo schema, ma possono comunque essere derivati da esso.

Consideriamo ora le regole aziendali che esprimono derivazioni. Queste regole possono essere espresse specificando le operazioni (aritmetiche o di altro genere) che permettono ottenere il concetto derivato. Una possibile struttura è quindi:

< concetto > si ottiene < operazione su concetti >

Per esempio, se nel nostro esempio l'entità DIPARTIMENTO avesse un attributo Numero Impiegati, ci potrebbe essere una regola del tipo:

- (RD1) *il numero degli impiegati di un dipartimento si ottiene contando gli impiegati che vi afferiscono.*

dove RD sta per regola di derivazione.

Abbiamo detto che le regole aziendali costituiscono una forma di documentazione di uno schema concettuale. Quando lo schema concettuale viene tradotto in una base di dati (fasi di progettazione logica e fisica) le regole aziendali non descrittive (quelle cioè che esprimono vincoli o derivazioni) vanno ovviamente codificate per garantire la consistenza dei dati rispetto alle proprietà che esse rappresentano. A tale riguardo, possiamo dire che per implementare le regole aziendali è possibile seguire diversi approcci:

- fare uso di clausole del linguaggio SQL all'atto della definizione dello schema logico di una base di dati, mediante vincoli predefiniti e generici o asserzioni di SQL-2 (come descritto nel Capitolo 4);
- mediante triggers o *regole attive*, una tecnologia che viene ampiamente descritta nel secondo volume;
- con opportune procedure scritte in qualche linguaggio di programmazione.

7.3.2 Tecniche di documentazione

Abbiamo detto che uno schema E-R va corredata con una documentazione di supporto, per facilitare l'interpretazione dello schema stesso e per descrivere proprietà dei dati che non possono essere espresse direttamente dai costrutti del modello. Abbiamo visto inoltre che questa documentazione può essere espressa in termini di regole aziendali. Vediamo ora in quale forma è possibile produrre questa documentazione, facendo riferimento a un caso concreto.

La documentazione dei vari concetti rappresentati in uno schema, ovvero le regole aziendali di tipo descrittivo, può essere prodotta facendo uso di un *dizionario dei dati*. Esso è composto da due tabelle: la prima descrive le entità dello schema con il nome, una definizione informale in linguaggio naturale, l'elenco di tutti gli attributi (con eventuali descrizioni associate) e i possibili identificatori. L'altra tabella descrive le relazioni con il nome, una loro descrizione informale, l'elenco degli attributi (con eventuali descrizioni) e l'elenco delle entità coinvolte insieme alla loro cardinalità di partecipazione. Un esempio di dizionario dei dati per lo schema E-R in Figura 7.19 è riportato in Figura 7.23. Si osservi come il dizionario possa servire a documentare con semplicità anche alcuni vincoli sui dati e quindi altre forme di regole aziendali. Come già accennato, l'uso del dizionario dei dati è particolarmente importante nei casi in cui lo schema è complesso (molti concetti collegati in maniera articolata) e risulta pesante specificare direttamente sullo schema tutti gli attributi di entità e relazioni.

Entità	Descrizione	Attributi	Identificatore
Impiegato	Impiegato che lavora nell'azienda.	Codice, Cognome, Stipendio, Età	Codice
Progetto	Progetti aziendali sui quali lavorano gli impiegati.	Nome, Budget, Data consegna	Nome
Dipartimento	Dipartimenti delle sedi dell'azienda.	Telefono, Nome	Nome, Sede
Sede	Sede dell'azienda in una certa città.	Città, Indirizzo (Numero, Via e CAP)	Città

Relazione	Descrizione	Entità Coinvolte	Attributi
Direzione	Associa un dipartimento al suo direttore.	Impiegato (0,1), Dipartimento (1,1)	
Afferenza	Associa un impiegato al suo dipartimento.	Impiegato (0,1), Dipartimento (1,N)	Data afferenza
Partecipazione	Associa agli impiegati i progetti sui quali lavorano.	Impiegato (0,N), Progetto (1,N)	Data inizio
Composizione	Associa una sede ai dipartimenti di cui è composta.	Dipartimento (1,1), Sede (1,N)	

Figura 7.23 Il dizionario dei dati per lo schema in Figura 7.19

Regole di vincolo
(RV1) Il direttore di un dipartimento deve afferire a tale dipartimento.
(RV2) Un impiegato non deve avere uno stipendio maggiore del direttore del dipartimento al quale afferisce.
(RV3) Un dipartimento con sede a Roma deve essere diretto da un impiegato con più di dieci anni di anzianità.
(RV4) Un impiegato che non afferisce a nessun dipartimento non deve partecipare a nessun progetto.
Regole di derivazione
(RD1) Il budget di un progetto si ottiene moltiplicando per 3 la somma degli stipendi degli impiegati che vi partecipano.

Figura 7.24 Regole aziendali per lo schema in Figura 7.19

Per quel che riguarda le altre regole aziendali, si può far ricorso ancora a una tabella, nella quale vengono elencate le varie regole, specificando di volta in volta la loro tipologia. Tali regole possono essere espresse secondo le modalità suggerite nel paragrafo precedente, possibilmente facendo esplicito riferimento ai concetti dello schema. Ricordiamo che risulta importante rappresentare tutte le regole che descrivono vincoli non espressi dallo schema, ma risulta a volte utile rappresentare anche regole che documentano vincoli già espressi nello schema.

Un esempio di documentazione di questo tipo per lo schema in Figura 7.19 viene riportata in Figura 7.24.

7.4 Modellazione dei dati in UML

UML (Unified Modeling Language) è un linguaggio grafico per la modellazione di applicazioni software basate sulla programmazione orientata agli oggetti che, negli ultimi anni, si è rapidamente affermato nell'ambito dell'ingegneria del software. Si tratta di un formalismo molto ricco che consente di rappresentare attraverso una serie di diagrammi tutti gli aspetti di un'applicazione software: dati, operazioni, processi e architetture.

A causa del suo successo, UML viene talvolta utilizzato, in alternativa al modello Entità–Relazione, per la rappresentazione concettuale di una base di dati. In particolare vengono utilizzati, a questo scopo, i *diagrammi delle classi* che descrivono le classi di oggetti di interesse per l'applicazione e le relazioni che intercorrono tra di esse. In effetti, molti costrutti del modello Entità–Relazione sono riconducibili a nozioni usate nei diagrammi delle classi. Inoltre, in base al principio di *incapsulamento* della programmazione orientata agli oggetti che prevede una stretta correlazione tra dati e operazioni, con questi diagrammi è possibile rappresentare oltre agli aspetti “strutturali” dell'applicazione, cioè i dati sui quali opera, anche quelli “comportamentali”, ovvero le procedure associate ai dati.

Esercizi

- 7.1 Considerare lo schema E-R in Figura 7.36: lo schema rappresenta varie proprietà di uomini e donne.
- Correggere lo schema tenendo conto delle proprietà fondamentali delle generalizzazioni.
 - Lo schema rappresenta solo le lavoratrici donne; modificare lo schema rappresentando ora tutti i lavoratori, uomini e donne.
 - Tra le proprietà delle città, l'attributo Regione può essere visto anche come un attributo del concetto PROVINCIA. Ristrutturare lo schema in tal senso.
- 7.2 Aggiungere le cardinalità minime e massime allo schema prodotto nell'Esercizio 7.1 e gli identificatori principali. Dire se esistono dei vincoli di integrità sullo schema che non possono essere espressi con il modello Entità-Relazione.
- 7.3 Rappresentare le seguenti realtà utilizzando i costrutti del modello Entità-Relazione e introducendo solo le informazioni specificate.
- In un giardino zoologico ci sono degli animali appartenenti a una specie e aventi una certa età; ogni specie è localizzata in un settore (avente un nome) dello zoo.
 - Una agenzia di noleggio di autovetture ha un parco macchine ognuna delle quali ha una targa, un colore e fa parte di un categoria; per ogni categoria c'è una tariffa di noleggio.

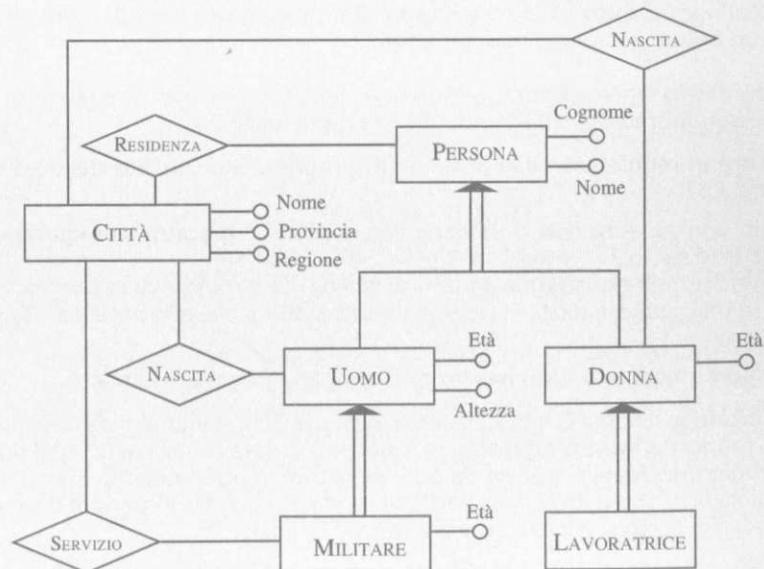


Figura 7.36 Schema E-R per l'Esercizio 7.1

- Una casa discografica produce dischi aventi un codice e un titolo; ogni disco è inciso da uno o più cantanti, ognuno dei quali ha un nome e un indirizzo; qualche cantante ha un nome d'arte.

7.4 Completare i frammenti di schema prodotti nell'esercizio precedente con ulteriori informazioni, basandosi sulle proprie conoscenze o facendo delle ipotesi sulle rispettive realtà di interesse.

7.5 Rappresentare le seguenti classi di oggetti facendo uso, dove opportuno, del costrutto di generalizzazione del modello Entità-Relazione. Indicare, nei vari casi, gli attributi delle varie entità e il tipo di generalizzazione, risolvendo i casi di sovrapposizione.

- Gli impiegati di una azienda si dividono in dirigenti, programmati, analisti, capi progetto e segretari. Ci sono analisti che sono anche programmati. I capi progetto devono essere dirigenti. Gli impiegati hanno un codice, un nome e un cognome. Ogni categoria di impiegato ha un proprio stipendio base. Ogni impiegato, tranne i dirigenti, ha un orario di lavoro.
- Una compagnia aerea offre voli che possiedono un numero che identifica la tratta (per esempio, Roma-Milano), una data (25 marzo 2010), un orario di partenza (ore 8:00) e uno di arrivo (ore 9:00), un aeroporto di partenza e uno di destinazione. Ci sono voli nazionali e internazionali. I voli internazionali possono avere uno o più scali. Dei voli passati è di interesse l'orario reale di partenza e di arrivo (per esempio, con riferimento al volo suddetto, ore 8:05 e 9:07), di quelli futuri è di interesse il numero di posti disponibili.
- Una casa automobilistica produce veicoli che possono essere automobili, motocicli, camion e trattori. I veicoli sono identificati da un numero di telaio e hanno un nome (per esempio, Punto), una cilindrata e un colore. Le automobili si suddividono in utilitarie (lunghezza sotto i due metri e mezzo) e familiari (lunghezza sopra i due metri e mezzo). Vengono anche classificate in base alla cilindrata: piccola (fino a 1200 cc), media (da 1200 cc a 2000 cc) e grossa cilindrata (sopra i 2000 cc). I motocicli si suddividono in motorini (cilindrata sotto i 125 cc) e moto (cilindrata sopra i 125 cc). I camion hanno un peso e possono avere un rimorchio.

7.6 Si consideri lo schema Entità-Relazione in Figura 7.37. Descrivere le informazioni che esso rappresenta utilizzando il linguaggio naturale.

7.7 Tradurre in regole aziendali le seguenti proprietà sui concetti dello schema di Figura 7.37.

- in una squadra non ci possono essere più di 5 giocatori che giocano nello stesso ruolo;
- una squadra guadagna 3 punti se vince, 1 se pareggia, 0 se perde;
- se una squadra gioca in casa una partita, allora è ospite nella partita successiva.

Produrre quindi una documentazione completa per tale schema.

7.8 Modificare lo schema Entità-Relazione in Figura 7.37 in maniera da descrivere anche i rapporti passati tra giocatori e squadre con data di inizio e fine del rapporto e il ruolo principale ricoperto da ogni giocatore in ogni squadra. È possibile che un giocatore abbia diversi rapporti con la stessa squadra in periodi diversi. Per i rapporti in corso si vuole conoscere la data di inizio.

7.9 In ciascuno dei seguenti casi, si fa riferimento a due o più entità definite in uno schema Entità-Relazione e a un concetto che le coinvolge. Specificare i relativi frammenti di schema, definendo i costrutti (una o più relazioni e, se necessario,

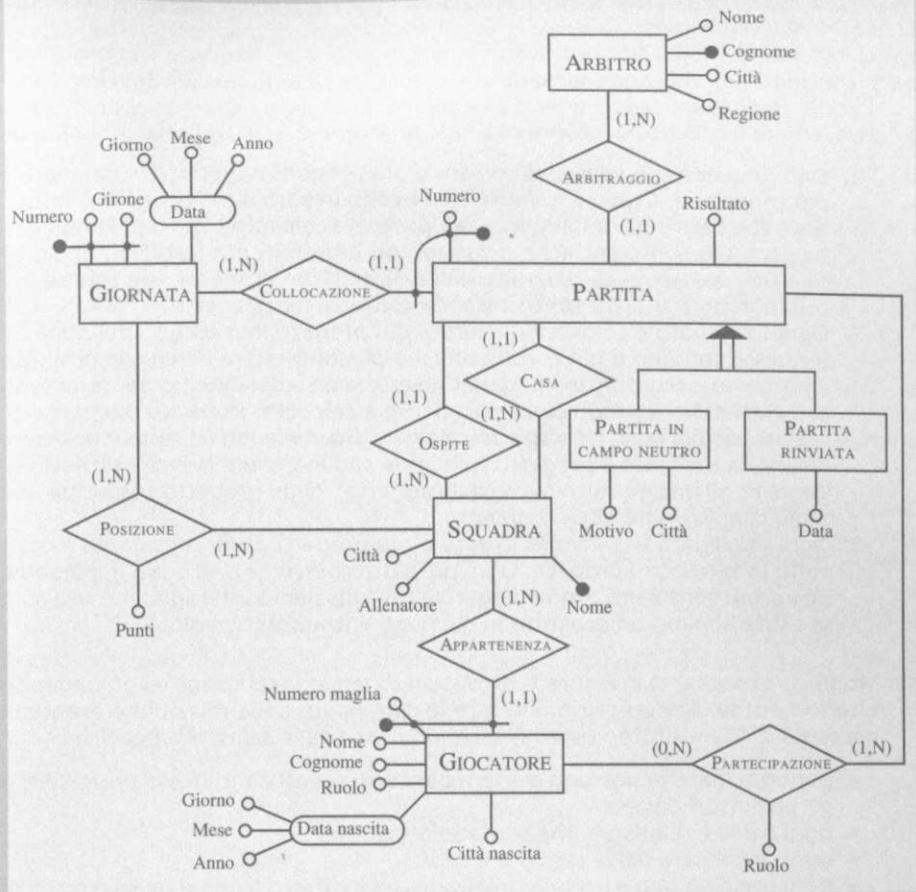


Figura 7.37 Schema E-R per l'Esercizio 7.6

ulteriori entità con il relativo identificatore) necessari a rappresentare il concetto, mantenendo le entità indicate e introducendo solo gli attributi richiesti esplicitamente.

- Entità: sport, nazione e superficie. Concetto: il fatto che uno sport si pratica in una nazione su una certa superficie (per esempio, il tennis si gioca sull'erba in Inghilterra e in Australia, sulla terra rossa in Italia e in Francia, sul sintetico in USA, Italia e Francia; il calcio sull'erba in Italia, sul sintetico e sull'erba in USA, sull'erba in Inghilterra).
- Entità: studioso e dipartimento. Concetto: il fatto che lo studioso abbia tenuto seminari presso il dipartimento. Per ogni seminario è necessario rappresentare data, ora e titolo, con il vincolo che uno studioso non possa tenere più seminari nello stesso giorno.
- Entità: professionista e azienda. Concetto: il fatto che il professionista abbia svolto consulenze per l'azienda. È necessario rappresentare il numero di

consulenze effettuate dal professionista per ciascuna azienda, con il relativo costo totale.

7.10 Si consideri una relazione ternaria che coinvolge le seguenti entità: **IMPIEGATO**, **PROGETTO** e **CONSULENTE**. Indicare in quali dei seguenti casi (e, in caso affermativo, come) è opportuno sostituire a tale relazione due (o tre) relazioni binarie.

1. Ogni impiegato è coinvolto in zero o più progetti e interagisce con zero o più consulenti. Ogni consulente è coinvolto in zero o più progetti e interagisce con zero o più impiegati. Ogni progetto coinvolge uno o più impiegati e uno o più consulenti (che possono non interagire fra loro). Un impiegato e un consulente collaborano nell'ambito di un progetto se e solo se essi collaborano fra loro e sono entrambi coinvolti nel progetto.
2. Ogni impiegato è coinvolto in zero o più progetti, in ciascuno dei quali interagisce con uno o più consulenti (che possono essere diversi da progetto a progetto e che possono in generale essere un sottoinsieme dei consulenti coinvolti nel progetto). Ogni consulente è coinvolto in zero o più progetti, in ciascuno dei quali interagisce con uno o più impiegati (che possono essere diversi da progetto a progetto e che possono in generale essere un sottoinsieme degli impiegati coinvolti nel progetto). Ogni progetto coinvolge una o più coppie impiegato-consulente.
3. Ogni impiegato è coinvolto in zero o più progetti. Ogni consulente è coinvolto in zero o più progetti. Ogni progetto coinvolge uno o più impiegati e uno o più consulenti. Un impiegato e un consulente interagiscono se e solo se esiste almeno un progetto in cui siano entrambi coinvolti.

7.11 Modificare lo schema in Figura 7.38 (decomponendo la relazione e aggiungendo ulteriori entità, se necessario; indicare le cardinalità delle relazioni e eventuali necessità di identificatori esterni) tenendo conto delle seguenti specifiche:

- per ogni materia possono esistere più corsi, tenuti dallo stesso professore o da professori diversi;
- ogni corso è relativo a una e una sola materia;
- ogni professore tiene zero o più corsi;
- ogni corso ha uno e un solo professore ed è offerto a uno e un solo corso di studio;
- per ogni corso di studio esiste al più un corso di una data materia;
- tutti i corsi di una data materia hanno lo stesso libro di testo (uno e uno solo).



Figura 7.38 Schema per l'Esercizio 7.11

7.12 Considerare ancora lo schema in Figura 7.38 e modificarlo (decomponendo la relazioni e aggiungendo ulteriori entità, se necessario; indicare le cardinalità delle relazioni e eventuali necessità di identificatori esterni) sulla base delle seguenti specifiche:

- per ogni materia possono esistere più corsi, tenuti dallo stesso professore o da professori diversi;
- ogni corso è relativo a una e una sola materia;
- ogni professore tiene zero o più corsi;
- ogni corso ha uno o più professori ed è offerto a uno e un solo corso di studio;
- per ogni corso di studio esiste al più un corso di una data materia;
- ogni corso ha uno e un solo libro di testo; i corsi di una data materia non hanno necessariamente lo stesso libro di testo.

7.13 Considerare gli schemi della Figura 7.39 e le seguenti specifiche. Individuare, per ciascuna specifica, lo schema che meglio la descrive, precisando le cardinalità delle relazioni e gli eventuali identificatori esterni delle entità, che potrebbero includere anche attributi.

1. Interessano le singole forniture di prodotti ai reparti, avvenute in date specifiche; per ogni data, c'è al più una fornitura di un certo prodotto a un certo reparto, con un solo fornitore (però in date diverse ci potrebbero essere altre forniture, di altri fornitori).

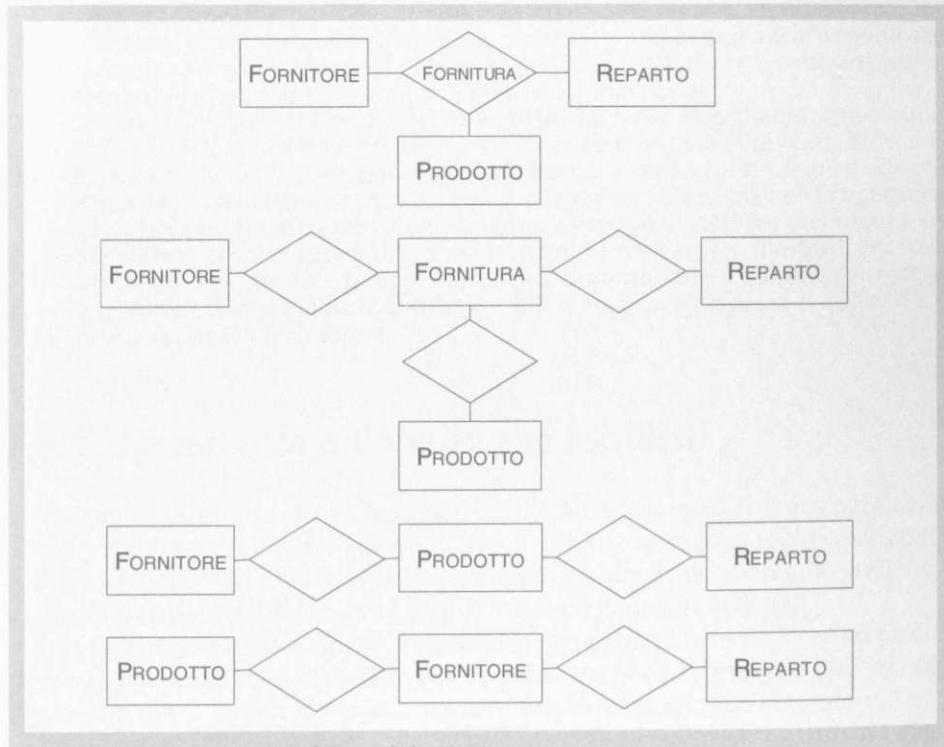


Figura 7.39 Schemi per l'Esercizio 7.13

2. Interessano le singole forniture, avvenute in date specifiche; per ogni data, c'è al più una fornitura di un certo fornitore a un certo reparto, con un insieme di prodotti (specifico per quella data, e quindi potenzialmente diverso in altre date).
3. Ogni reparto utilizza un certo insieme di prodotti, ognuno dei quali ha uno e un solo fornitore e può essere utilizzato da più reparti.
4. Ogni reparto ha un insieme di fornitori e utilizza un insieme di prodotti; in generale, un fornitore potrebbe fornire alcuni prodotti a un reparto e altri prodotti ad altri reparto; un prodotto può essere fornito da più fornitori e utilizzato da diversi reparti.
5. Ogni fornitore dispone di un insieme di prodotti e può rifornire zero o più reparti; ogni reparto ha un insieme di fornitori e da ciascuno di essi può ricevere tutti i prodotti di cui esso dispone; ogni prodotto ha un solo fornitore.

7.14 Rappresentare lo schema Entità-Relazione in Figura 7.37 con un diagramma della classi UML.

La progettazione concettuale

La progettazione concettuale di una base di dati consiste nella costruzione di uno schema Entità-Relazione in grado di descrivere al meglio le specifiche sui dati di una applicazione. Anche nel caso di applicazioni non particolarmente complesse, lo schema che si ottiene può contenere molti concetti correlati in una maniera piuttosto complicata. Ne consegue che la costruzione dello schema finale è, necessariamente, un processo graduale: lo schema concettuale viene progressivamente raffinato e arricchito attraverso una serie di trasformazioni ed eventuali correzioni. In questo capitolo verranno descritte le strategie che è possibile seguire in questo processo di sviluppo di uno schema concettuale.

Prima di iniziare a parlare di queste strategie, vale però la pena spendere qualche parola sull'attività che precede la progettazione vera e propria: la raccolta e l'analisi dei requisiti. Questa fase infatti non è completamente separata da quella della progettazione, ma procede, in molti casi, parallelamente a essa. Possiamo infatti iniziare a costruire uno schema E-R quando non abbiamo ancora terminato di raccogliere e analizzare tutti i requisiti, per poi arricchirlo progressivamente mano che le informazioni in nostro possesso aumentano.

Dopo aver discusso la fase di raccolta e analisi dei requisiti, presenteremo alcuni criteri di carattere generale per tradurre specifiche informali in concetti del modello Entità-Relazione. Successivamente, illustreremo le principali strategie di progettazione per poi analizzare le qualità che uno schema concettuale ben progettato deve possedere. Chiuderemo questo capitolo cercando di stabilire una metodologia generale di progettazione che tenga conto di tutti gli aspetti illustrati. Per spiegare meglio i vari concetti, faremo riferimento durante tutto il capitolo a un esempio applicativo, relativo alla progettazione di una applicazione per la gestione dei dati di una società di formazione.

8.1 La raccolta e l'analisi dei requisiti

Va detto innanzitutto che il reperimento e l'analisi dei requisiti di una applicazione sono attività difficilmente standardizzabili perché dipendono molto dall'applicazione con cui si ha a che fare. Vogliamo però parlare di alcune regole pratiche che è conveniente seguire in questa fase di sviluppo di una base di dati.

Per *raccolta dei requisiti* si intende la completa individuazione dei problemi che l'applicazione da realizzare deve risolvere e le caratteristiche che tale applicazione dovrà avere. Per caratteristiche del sistema si intendono sia gli aspetti statici (i dati) che gli aspetti dinamici (le operazioni sui dati). I requisiti vengono inizialmente raccolti in specifiche espresse generalmente in linguaggio naturale e,

per questo motivo, spesso ambigue e disorganizzate. L'*analisi dei requisiti* consiste nel chiarimento e nell'organizzazione delle specifiche dei requisiti. Si tratta ovviamente di attività fortemente interconnesse: l'attività di analisi inizia con i primi requisiti ottenuti per poi procedere di pari passo con l'attività di raccolta. In molti casi è l'attività stessa di analisi dei requisiti che suggerisce successive attività di raccolta.

I requisiti di una applicazione provengono, nella maggior parte dei casi, da fonti diverse. Le principali fonti di informazione sono, in genere, le seguenti.

- Gli *utenti della applicazione*. In questo caso le informazioni si acquisiscono mediante opportune interviste, anche ripetute, oppure attraverso una documentazione scritta che gli utenti possono aver predisposto appositamente per questo scopo.
- Tutta la *documentazione esistente* che ha qualche attinenza con il problema allo studio: moduli, regolamenti interni, procedure aziendali, normative. È richiesta, in questo caso, una attività di raccolta e selezione che viene assistita dagli utenti, ma è a carico del progettista.
- Eventuali *realizzazioni preesistenti*, ovvero applicazioni che si devono rimpiazzare o che devono interagire in qualche maniera con il sistema da realizzare. La conoscenza delle caratteristiche di questi pacchetti software (tracciati record, maschere, algoritmi, documentazione associata) può fornirci importanti informazioni anche in relazione ai problemi esistenti che è necessario risolvere.

Risulta chiaro che, nella fase di acquisizione delle specifiche, gioca un importante ruolo l'interazione con gli utenti del sistema informativo. Durante questa interazione, può avvenire che utenti diversi forniscano informazioni diverse, spesso complementari ma qualche volta contraddittorie. In genere gli utenti a livello più alto possiedono una visione più ampia, ma meno dettagliata. Possono però indirizzare verso gli esperti dei singoli sottoproblemi.

Come criterio generale da seguire possiamo dire che, nel corso delle interviste, è opportuno effettuare con l'utente verifiche di comprensione e consistenza sulle informazioni che si stanno raccogliendo. Questo può essere fatto attraverso esempi (generali e relativi a casi limite) oppure richiedendo definizioni e classificazioni precise. È inoltre molto importante in questa fase cercare di individuare gli aspetti essenziali rispetto a quelli marginali e procedere per raffinamenti successivi. Partendo quindi dai principali aspetti del problema allo studio, dei quali si ha inizialmente una conoscenza solo parziale, si procede cercando di acquisire via via maggiori dettagli.

Come abbiamo già accennato, la specifica dei requisiti raccolti avviene spesso, almeno in prima battuta, facendo uso di descrizioni in linguaggio naturale. Sappiamo bene però che il linguaggio naturale è fonte di ambiguità e fraintendimenti. È molto importante quindi effettuare una profonda analisi del testo che descrive le specifiche per filtrare le eventuali inesattezze e i termini ambigui presenti. Per fissare alcune regole pratiche da seguire in questa attività faremo riferimento a un semplice esempio. Supponiamo di dover progettare una base di dati

Società di formazione

1 *Si vuole realizzare una base di dati per una società che eroga corsi,*
2 *di cui vogliamo rappresentare i dati dei partecipanti ai corsi e dei*
3 *docenti. Per i partecipanti (circa 5000), identificati da un codice, si*
4 *vuole memorizzare il codice fiscale, il cognome, l'età, il sesso, il luogo*
5 *di nascita, il nome dei loro attuali datori di lavoro, i posti dove han-*
6 *no lavorato in precedenza insieme al periodo, l'indirizzo e il numero*
7 *di telefono, i corsi che hanno frequentato (i corsi sono in tutto circa*
8 *200) e il giudizio finale. Rappresentiamo anche i seminari che stanno*
9 *attualmente frequentando e, per ogni giorno, i luoghi e le ore dove*
10 *sono tenute le lezioni. I corsi hanno un codice, un titolo e possono*
11 *avere varie edizioni con date di inizio e fine e numero di partecipanti.*
12 *Se gli studenti sono liberi professionisti, vogliamo conoscere l'area*
13 *di interesse e, se lo possiedono, il titolo. Per quelli che lavorano al-*
14 *le dipendenze di altri, vogliamo conoscere invece il loro livello e la*
15 *posizione ricoperta. Per gli insegnanti (circa 300), rappresentiamo il*
16 *cognome, l'età, il posto dove sono nati, il nome del corso che inse-*
17 *gnano, quelli che hanno insegnato nel passato e quelli che possono*
18 *insegnare. Rappresentiamo anche tutti i loro recapiti telefonici. I do-*
19 *centi possono essere dipendenti interni della società o collaboratori*
20 *esterni.*

Figura 8.1 Esempio di requisiti espressi in linguaggio naturale

per una società di formazione e di aver raccolto, sulla base di alcune interviste fatte al personale di questa società, le specifiche dei dati espresse in linguaggio naturale riportate in Figura 8.1. Si noti che abbiamo acquisito in questa fase anche informazioni sul carico previsto dei dati a regime.

È facile rendersi conto che tale testo presenta un certo numero di ambiguità e imprecisioni. Per esempio si utilizzano i termini *partecipante* e *studente* per indicare lo stesso concetto. La stessa cosa accade per i termini *docente* e *professore* e per i termini *corso* e *seminario*.

Proviamo a fissare alcune regole generali per ottenere una specifica dei requisiti più precisa e senza ambiguità.

- **Scegliere il corretto livello di astrazione.** È bene evitare di utilizzare termini troppo generici o troppo specifici che rendono poco chiaro un concetto. Per esempio, nel nostro caso sono stati utilizzati i termini *titolo* (a riga 13), con riferimento ai partecipanti che sono liberi professionisti (che tra l'altro è utilizzato anche per indicare un concetto diverso a riga 10) e *giudizio* (riga 8), con riferimento alla valutazione dei corsi, che andrebbero specificati meglio (per esempio, come *titolo professionale* e *votazione in decimi*).

- **Standardizzare la struttura delle frasi.** Nella specifica di requisiti è preferibile utilizzare sempre lo stesso stile sintattico. Per esempio, “per <dato> rappresentiamo <insieme di proprietà>”.
- **Evitare frasi contorte.** Le definizioni devono essere semplici e chiare. Per esempio, *lavoratori dipendenti* (o più semplicemente dipendenti) è da preferire a *quelli che lavorano alle dipendenze di altri* (righe 13–14).
- **Individuare sinonimi/omonimi e unificare i termini.** I *sinonimi* indicano termini diversi con lo stesso significato (per esempio, *docente* a riga 3 e *insegnante* a riga 15, oppure *partecipante* a riga 2 e *studente* a riga 12); gli *omonimi* indicano termini uguali con diversi significati (per esempio *posto*, riferito a impiego a riga 5 e a città a riga 16, e *luogo*, riferito a città a riga 5 e ad aula a riga 9). Queste situazioni possono generare ambiguità e vanno chiarite: nel caso di sinonimi, unificando i termini, nel caso di omonimi, utilizzando termini diversi o specificandoli meglio.
- **Rendere esplicito il riferimento tra termini.** Può succedere che l’assenza di un contesto di riferimento renda alcuni concetti ambigui: in questi casi bisogna esplicitare il riferimento tra termini. Per esempio, nelle righe 6 e 7, non è chiaro se i termini *indirizzo* e *numero di telefono* sono relativi ai partecipanti o ai loro datori di lavoro; inoltre a riga 13, nella frase *Per quelli che lavorano...*, si deve chiarire esplicitamente a chi ci stiamo riferendo (partecipanti, docenti?) per evitare confusione.
- **Costruire un glossario dei termini.** È molto utile, per la comprensione e la precisazione dei termini usati, definire un glossario che, per ogni termine, contenga: una breve descrizione, possibili sinonimi e altri termini contenuti nel glossario con i quali esiste un legame logico. Un breve glossario per la nostra applicazione è riportato in Figura 8.2.

Termine	Descrizione	Sinonimi	Collegamenti
Partecipante	Partecipante ai corsi. Può essere un dipendente o un professionista.	Studente	Corso, Datore
Docente	Docente dei corsi. Possono essere collaboratori esterni.	Insegnante	Corso
Corso	Corsi offerti. Possono avere varie edizioni.	Seminario	Docente, Partecipante
Datore	Datori di lavoro attuali e passati dei partecipanti ai corsi.	Posto	Partecipante

Figura 8.2 Un esempio di glossario dei termini

Dopo aver individuato le varie ambiguità e le imprecisioni, esse vanno eliminate sostituendo i termini non corretti con termini più adeguati. In caso di dubbio, è necessario intervistare nuovamente colui che ha fornito il dato o consultare la documentazione relativa.

Vediamo quali sono le principali modifiche da apportare al nostro testo. Come già detto, *luogo* di nascita dei partecipanti (riga 5) è un omonimo del luogo in cui si tengono le lezioni, e va sostituito da *città* di nascita, così come *posto* (riga 5) che va sostituito con *datore di lavoro*. Va poi chiarito che a riga 6 l'*indirizzo* e il *numero di telefono* fanno riferimento ai datori di lavoro dei partecipanti. Il *giudizio* (riga 8) deve essere interpretato come *votazione in decimi*, mentre periodo (riga 6) va interpretato come *date di inizio e fine rapporto*. Bisogna inoltre specificare che i partecipanti frequentano o hanno frequentato specifiche *edizioni* di corsi. Per quanto riguarda gli altri termini che fanno riferimento ai corsi: *seminario* (riga 8) è un sinonimo e va sostituito da *edizione di corso*, *giorno* (riga 9), riferito alle lezioni, è troppo astratto, e va utilizzato *giorno della settimana* mentre *luogo* (riga 9) è un omonimo, che va sostituito da *aula*. Il termine *studente* (riga 12) va sostituito con *partecipante*. Per *titolo* (riga 13) di un partecipante che è libero professionista si intende il suo *titolo professionale*. Per quello che riguarda i docenti abbiamo che *insegnante* (riga 15) è sinonimo di *docente*, *posto* (riga 16) indica la *città* di nascita, il *nome* del corso che insegnano (riga 16) è un sinonimo di *titolo* del corso e il *recapito telefonico* (riga 18) è sinonimo di *numero di telefono*.

A questo punto possiamo riscrivere le nostre specifiche apportando le modifiche proposte. È molto utile, in questa fase, decomporre il testo in gruppi di frasi omogenee, relative cioè agli stessi concetti. Otteniamo così la strutturazione delle specifiche sui dati riportata in Figura 8.3.

Naturalmente, accanto alle specifiche sui dati, vanno raccolte le specifiche sulle operazioni da effettuare su questi dati. Bisogna cercare di utilizzare la medesima terminologia usata per i dati (possiamo per questo far riferimento al glossario dei termini) e informarci anche sulla frequenza con la quale le varie operazioni vengono eseguite. Come vedremo, la conoscenza di questa informazione sarà determinante nella fase di progettazione logica. Per la nostra applicazione, le operazioni sui dati potrebbero essere le seguenti.

Operazione 1: inserisci un nuovo partecipante indicando tutti i suoi dati (operazione da effettuare in media 40 volte al giorno).

Operazione 2: assegna un partecipante a una edizione di corso (circa 50 volte al giorno).

Operazione 3: inserisci un nuovo docente indicando tutti i suoi dati e i corsi che può insegnare (2 volte al giorno).

Operazione 4: assegna un docente abilitato a una edizione di un corso (15 volte al giorno);

Operazione 5: stampa tutte le informazioni sulle edizioni passate di un corso con titolo, orari lezioni e numero partecipanti (10 volte al giorno);

Operazione 6: stampa tutti i corsi offerti, con informazioni sui docenti che possono insegnarli (20 volte al giorno);

Frasi di carattere generale

Si vuole realizzare una base di dati per una società che eroga corsi, di cui vogliamo rappresentare i dati dei partecipanti ai corsi e dei docenti.

Frasi relative ai partecipanti

Per i partecipanti (circa 5000), identificati da un codice, rappresentiamo il codice fiscale, il cognome, l'età, il sesso, la città di nascita, i nomi dei loro attuali datori di lavoro e di quelli precedenti (insieme alle date di inizio e fine rapporto), le edizioni dei corsi che stanno attualmente frequentando e quelli che hanno frequentato in passato, con la relativa votazione finale in decimi.

Frasi relative ai datori di lavoro

Relativamente ai datori di lavoro presenti e passati dei partecipanti, rappresentiamo il nome, l'indirizzo e il numero di telefono.

Frasi relative ai corsi

Per i corsi (circa 200), rappresentiamo il titolo e il codice, le varie edizioni con date di inizio e fine e, per ogni edizione, rappresentiamo il numero di partecipanti e il giorno della settimana, le aule e le ore dove si sono tenute le lezioni.

Frasi relative a tipi specifici di partecipanti

Per i partecipanti che sono liberi professionisti, rappresentiamo l'area di interesse e, se lo possiedono, il titolo professionale. Per i partecipanti che sono dipendenti, rappresentiamo invece il loro livello e la posizione ricoperta.

Frasi relative ai docenti

Per i docenti (circa 300), rappresentiamo il cognome, l'età, la città di nascita, tutti i numeri di telefono, il titolo del corso che insegnano, di quelli che hanno insegnato in passato e di quelli che possono insegnare. I docenti possono essere dipendenti interni della società di formazione o collaboratori esterni.

Figura 8.3 Esempio di strutturazione dei requisiti

Operazione 7: per ogni docente, trova i partecipanti a tutti i corsi da lui/lei insegnati (5 volte a settimana);

Operazione 8: effettua una statistica su tutti i partecipanti a un corso con tutte le informazioni su di essi, sull'edizione alla quale hanno partecipato e sulla rispettiva votazione (10 volte al mese).

Dopo questa strutturazione dei requisiti, siamo pronti ad avviare la prima fase

della progettazione che consiste nella costruzione di uno schema concettuale in grado di descrivere in maniera adeguata tutte le specifiche dei dati raccolte.

8.2 Rappresentazione concettuale di dati

Prima di affrontare le metodologie di progetto, cerchiamo di stabilire alcune buone pratiche per una corretta rappresentazione concettuale dei dati. Inizieremo da alcuni criteri generali di rappresentazione per poi passare a una rassegna di alcuni classici *design pattern*, ossia soluzioni progettuali a problemi comuni della progettazione concettuale dei dati.

8.2.1 Criteri generali di rappresentazione

Va innanzitutto precisato che spesso non esiste una rappresentazione univoca di un insieme di specifiche, perché le stesse informazioni possono essere rappresentate in modi differenti e non comparabili. Comunque, quando ci si trova davanti a diverse possibilità, è utile avere delle indicazioni sulle scelte più opportune. Nel caso della progettazione concettuale conviene, in buona sostanza, seguire le “regole concettuali” del modello E-R.

- *Se un concetto ha proprietà significative e/o descrive classi di oggetti con esistenza autonoma, è opportuno rappresentarlo con una entità.* Per esempio, nel caso delle specifiche relative alla società di formazione viste nel paragrafo precedente, è naturale rappresentare il concetto di *docente* con un’entità, in quanto possiede diverse proprietà (cognome, età, città di nascita) e la sua esistenza è indipendente dagli altri concetti. Chiaramente, lo stesso discorso vale anche per concetti astratti come, per esempio, quello di *corso*.
- *Se un concetto ha una struttura semplice e non possiede proprietà rilevanti associate, è opportuno rappresentarlo con un attributo di un altro concetto a cui si riferisce.* Per esempio, nel caso della società di formazione, il concetto di età è certamente da rappresentare come attributo. In effetti anche il concetto di città, che può risultare in generale un concetto autonomo e strutturato, va rappresentato nella nostra applicazione con un attributo perché, oltre al nome, non è di interesse nessuna altra sua proprietà.
- *Se sono state individuate due (o più) entità e nei requisiti compare un concetto che le associa, questo concetto può essere rappresentato da una relazione.* Per esempio, nella nostra applicazione, il concetto di *partecipazione a un corso* è certamente rappresentabile da una relazione tra le entità che rappresentano i *partecipanti* e i *corsi*. È importante sottolineare il fatto che questo vale solo nel caso in cui il concetto in questione non abbia, esso stesso, le caratteristiche delle entità. Un esempio tipico è il concetto di *visita* relativo a pazienti e medici: è assai improbabile che questo concetto possa essere rappresentato con una relazione tra paziente e medico. Innanzitutto perché di una visita sono tipicamente di interesse diverse proprietà quali, per esempio, la data, l’orario e la diagnosi. Ma soprattutto perché, per poter rappresentare il fatto molto plausibile che lo



Figura 8.4 Un semplice pattern costituito da una sola entità

stesso paziente può sostenere più visite con lo stesso medico, allora la visita deve essere per forza rappresentata con una entità collegata da relazioni uno a molti con le entità che rappresentano i pazienti e i medici.

- Se uno o più concetti risultano essere casi particolari di un altro, è opportuno rappresentarli facendo uso di una generalizzazione. Nella nostra applicazione, è evidente che i concetti di *professionista* e *dipendente* costituiscono dei casi particolari del concetto di *partecipante* ed è quindi indicato definire una generalizzazione tra le entità che rappresentano questi concetti.

I criteri visti hanno validità generale, sono cioè indipendenti dalla strategia di progettazione scelta. Come vedremo nel prossimo paragrafo infatti, in ogni strategia esiste prima o poi un momento in cui va presa la decisione sul costrutto da scegliere per rappresentare una certa specifica.

8.2.2 Pattern di progetto

Cominciamo da un caso semplice: quello in cui si individua nelle specifiche un concetto autonomo con proprietà associate, le chiare caratteristiche di una entità del modello E-R. Nel caso per esempio di un impiegato di cui sono di interesse un codice, il nome e l'azienda nel quale lavora, otteniamo il primo, semplice schema con una sola entità riportato in Figura 8.4.

È importante comprendere che, con questa soluzione, non stiamo rappresentando anche il concetto di azienda: qui l'azienda è solo un attributo, ovvero niente di più che una stringa che assegnamo a una occorrenza di impiegato. Per poter rappresentare esplicitamente il concetto di azienda dobbiamo reificare l'attributo, facendolo diventare un'entità. Otteniamo così lo schema in Figura 8.5.

Passiamo ora a dei semplici pattern che coinvolgono le relazioni. Un caso piuttosto frequente di uso di questo costrutto è quello in cui si vuole rappresentare il fatto che un'entità è *parte* di un'altra entità, come avviene negli schemi in Figura 8.6. Queste relazioni sono tipicamente uno a molti e si presentano in due forme. Nel primo caso, l'esistenza di una occorrenza dell'entità "parte" dipende dall'e-



Figura 8.5 Reificazione dell'entità in Figura 8.4

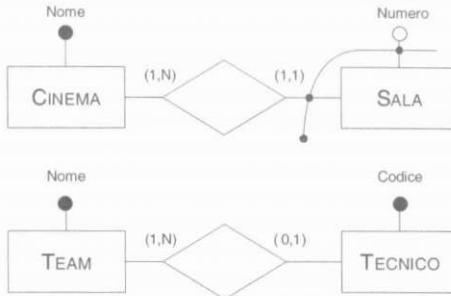


Figura 8.6 Relazioni di tipo "parte-di"

sistenza di una occorrenza dell'entità che la contiene (nell'esempio, la sala di un cinema multisala) e richiede un'identificazione esterna. Nel secondo, l'entità contenuta nell'altra (in questo esempio il tecnico di un team) ha esistenza autonoma, come indicato dalla partecipazione opzionale alla relazione.

Un'altra situazione piuttosto comune è illustrata negli esempi in Figura 8.7 nei quali le occorrenze di un'entità della relazione sono *istanze di* occorrenze dell'altra entità.

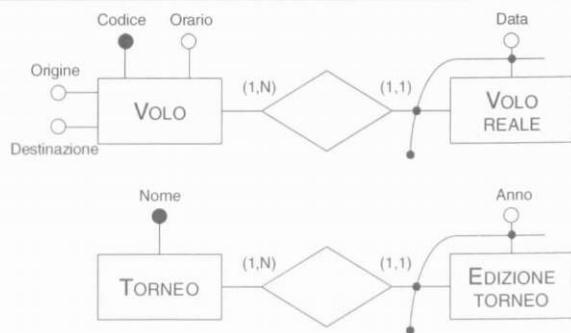


Figura 8.7 Relazione di tipo "istante-di"

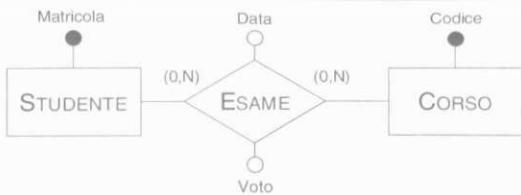


Figura 8.8 Relazione che rappresenta un concetto che lega altri concetti

Nel primo caso abbiamo un’entità che descrive il concetto astratto di volo presente sull’orario di una compagnia aerea, con un codice (per esempio AZ610), un’origine (per esempio Roma), una destinazione (per esempio New York) e un orario (per esempio 14:15), e un’altra entità che rappresenta il volo “reale”, vale a dire l’istanza di un certo volo in un certo giorno (per esempio il volo AZ610 del 15/12/2009). È facile far confusione tra questi due concetti che però vanno tenuti ben distinti perché giocano ruoli diversi nell’applicazione. L’identificazione del volo reale avviene attraverso la data e, esternamente, il volo di cui è istanza (si assume quindi che lo stesso volo non possa essere ripetuto lo stesso giorno). Un caso analogo è l’altro schema in Figura 8.7 con il quale viene rappresentato il concetto di torneo sportivo (per esempio gli internazionali italiani di tennis) e una sua edizione (per esempio quella del 2010).

Consideriamo ora il caso in cui si utilizza una relazione, tipicamente molti a molti, per descrivere un concetto che lega altri due concetti, come avviene nell’esempio in Figura 8.8 nel quale l’esame è rappresentato da una relazione tra lo studente e il corso. Come già discusso nel Paragrafo 7.2.1, questa soluzione è valida solo se ogni studente può sostenere una sola volta un certo esame perché, per definizione, una occorrenza della relazione ESAME è un insieme di coppie studente–corso, senza duplicati.

Il fatto che questo concetto abbia degli attributi associati non cambia la situazione, ci suggerisce piuttosto che, soprattutto nel caso in cui uno studente può sostenere più volte lo stesso esame, la soluzione corretta è lo schema in Figura 8.9, nel quale abbiamo reificato la relazione ESAME di Figura 8.8 rappresentandola

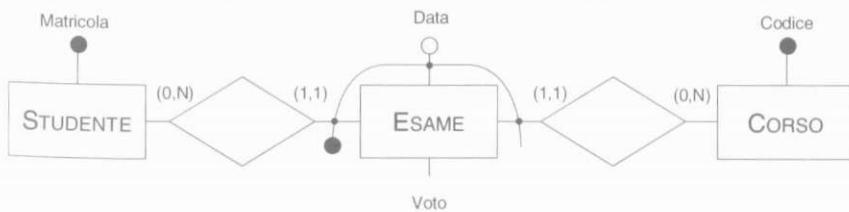


Figura 8.9 Reificazione della relazione in Figura 8.8

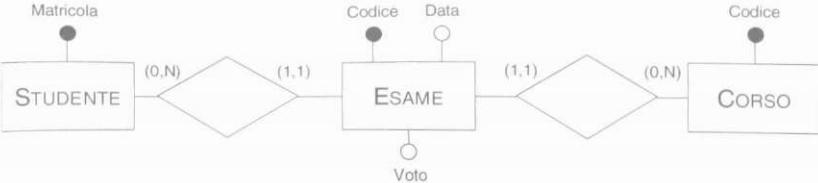


Figura 8.10 Introduzione di un codice identificativo

come entità. In questo caso, l'identificazione di un esame avviene attraverso lo studente, il corso e la data dell'esame.

Una soluzione alternativa che non richiede un'identificazione esterna complessa è costituita dallo schema in Figura 8.10, nel quale è stato introdotto un codice identificativo. Questa scelta semplifica le cose ma bisogna tenere conto del fatto che il codice è un concetto nuovo, non presente nelle specifiche e che quindi dovrà essere opportunamente gestito dal sistema informativo in via di sviluppo. Torneremo a parlare in termini generali di questo aspetto nel capitolo dedicato alla progettazione logica, quando affronteremo il problema della scelta degli identificatori nella traduzione verso il modello relazionale.

Lo schema in Figura 8.11 rappresenta un altro pattern piuttosto comune. Anche qui il concetto di partita può essere inizialmente visto inizialmente come una relazione ricorsiva sull'entità SQUADRA. Ma se, come spesso accade, in un torneo due squadre si incontrano più volte, è necessario reificare la relazione binaria e ottenere lo schema in figura. L'identificazione dell'entità PARTITA coinvolge solo la data e la squadra che gioca in casa perché qui evidentemente si assume che una squadra non possa giocare due partite nello stesso giorno.

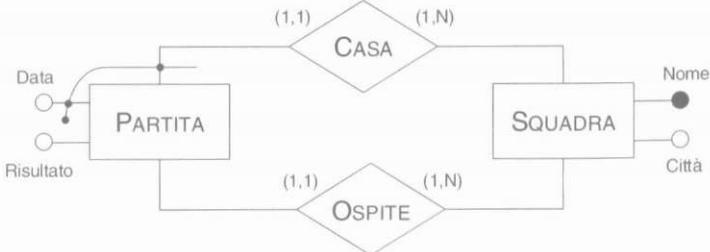


Figura 8.11 Reificazione di relazione ricorsiva



Figura 8.12 Relazione molti a molti con attributo

Consideriamo ora la relazione molti a molti in Figura 8.12 che rappresenta la partecipazione di un musicista a un'orchestra con un certo strumento. In base a quanto sopra esposto, se il musicista può suonare strumenti diversi ma suona, per ogni orchestra, sempre lo stesso strumento, lo schema è corretto ed è sufficiente una relazione con attributo **Strumento**. Il difetto di questo schema è semmai un altro e ha a che fare con quanto detto per lo schema in Figura 8.5: non stiamo rappresentando esplicitamente il concetto di strumento che qui è solo una stringa. Se lo strumento è un concetto rilevante per l'applicazione, dobbiamo reificare l'attributo della relazione: si ottiene in questo modo lo schema in Figura 8.13.

Passiamo ora ad alcuni pattern che coinvolgono le generalizzazioni. Un primo esempio di uso comune di questo costrutto è quello riportato in Figura 8.14, nel quale si vuole rappresentare un caso particolare di un altro, nell'esempio il sottoinsieme degli impiegati che sono dei manager. Si noti come sia possibile specializzare in questo modo i vari ruoli all'interno di un progetto (l'altra entità dello schema): la gestione è a carico solo dei manager.

In questo schema è ragionevole assumere che un manager può gestire solo un progetto al quale partecipa. Questo implica che ogni coppia manager–progetto che compare tra le occorrenze della relazione **GESTIONE** deve comparire anche

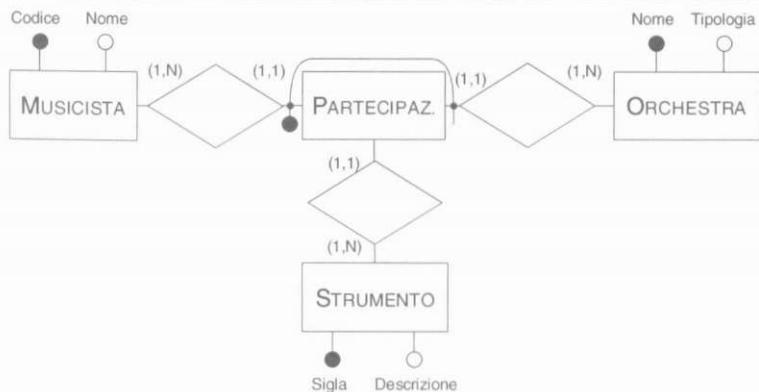


Figura 8.13 Reificazione di attributo di relazione

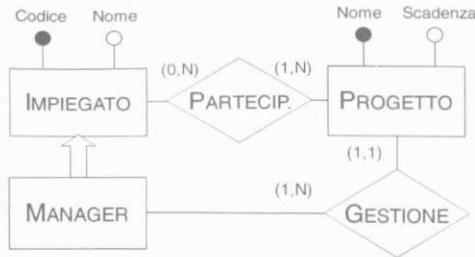


Figura 8.14 Caso particolare di entità

tra le occorrenze della relazione PARTECIPAZIONE. Questo vincolo però non può essere espresso direttamente sullo schema con un apposito costrutto e va quindi aggiunta una regola alla documentazione dello schema, come abbiamo descritto nel Paragrafo 7.3 del capitolo precedente.

L'esempio appena presentato è un caso di sottoinsieme (la generalizzazione ha una sola entità figlia). Il pattern però può essere facilmente generalizzato al caso in cui ci siano più casi particolari da considerare: in questo caso la generalizzazione avrebbe più entità figlie, magari su più livelli, e le varie proprietà (attributi e partecipazione a relazioni) andrebbero distribuite, a seconda della loro specificità, tra le varie entità partecipanti alla generalizzazione.

Lo schema in Figura 8.15 mostra un altro caso di uso comune del costrutto di generalizzazione. Si tratta di uno schema nel quale si vuole gestire la “storicizzazione” di un concetto, nel caso particolare, di un’entità. Nell’esempio vogliamo memorizzare le informazioni correnti di un’azienda, tenendo però traccia dei dati che sono variati. Come suggerito dallo schema, una soluzione piuttosto efficace consiste nell’utilizzare allo scopo due entità con gli stessi attributi: una rappresenta il concetto di interesse con le informazioni aggiornate, l’altra lo “storico”. Le proprietà di queste entità vengono messe a fattor comune mediante una generalizzazione la cui entità genitore rappresenta tutte le informazioni anagrafiche delle aziende, sia quelle correnti che quelle passate. Vengono inoltre introdotti degli



Figura 8.15 Storicizzazione di entità

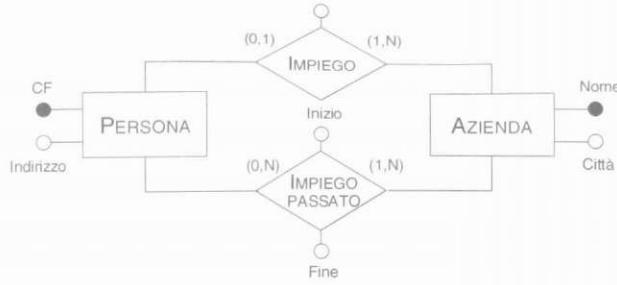


Figura 8.16 Storicizzazione di relazione

attributi per definire l’intervallo di validità dei dati (data inizio e data fine). L’identificazione si ottiene aggiungendo all’identificatore “naturale” (in questo caso, la partita iva) la data di inizio di validità delle informazioni, ovvero il momento in cui esse sono state introdotte: questo istante diventerà anche la data di fine validità delle informazioni che vengono soppiantate.

Un caso analogo è mostrato nello schema in Figura 8.16. In questo caso si vuole storicizzare un concetto rappresentato da una relazione tra entità, nell’esempio gli impieghi presenti e passati di una persona, in altre parole, il suo curriculum lavorativo. Come nel caso precedente, una possibile soluzione consiste nel rappresentare separatamente i dati correnti e i dati storici e introdurre opportuni attributi per specificare gli intervalli di validità delle informazioni. Notare le differenti cardinalità delle partecipazioni dell’entità PERSONA alle due relazioni. Un’analisi attenta di questo ultimo schema ci fa comprendere che, per i motivi già discussi in precedenza, qui non possiamo rappresentare il fatto che una persona possa aver lavorato, in periodi diversi, per la stessa azienda. Avremmo infatti in questo caso due occorrenze identiche della relazione IMPIEGO PASSATO. La soluzione in questo caso è, ancora una volta, la reificazione delle relazioni. Otteniamo così lo schema in Figura 8.17 che consente di utilizzare una generalizzazione. Anche in questo caso risulta necessario l’inserimento di un vincolo esterno allo schema che im-

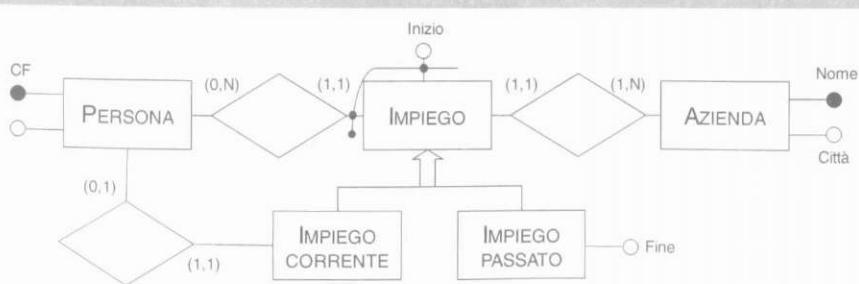


Figura 8.17 Reificazione delle relazioni in Figura 8.16

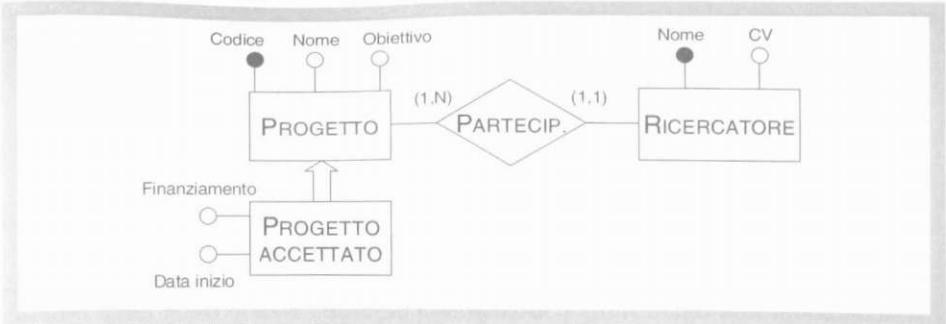


Figura 8.18 Evoluzione di un concetto

pone che tutte le occorrenze della relazione tra PERSONA e IMPIEGO CORRENTE compaiano anche tra le occorrenze della relazione tra PERSONA e IMPIEGO.

L'ultimo esempio di uso comune del costrutto di generalizzazione è quello riportato in Figura 8.18. In questo schema vogliamo rappresentare il fatto che un certo concetto subisce una evoluzione nel tempo che può essere diversa per le diverse occorrenze del concetto. Nell'esempio abbiamo dei progetti che vengono proposti con l'obiettivo di ottenere un finanziamento. Solo alcuni di questi vengono accettati e, per questi, vanno aggiunte ulteriori informazioni quali la data di inizio ufficiale del progetto e il finanziamento effettivamente assegnato. Come si vede dallo schema in figura, il costrutto di generalizzazione si presta bene a modellare questa situazione.

Consideriamo infine la relazione ternaria in Figura 8.19. Come già accennato nel Capitolo 7.2.2, negli schemi E-R le relazioni ternarie si incontrano raramente e relazioni che coinvolgono più di tre entità sono fortemente sconsigliate, perché tipicamente cercano di rappresentare, con un unico costrutto, concetti tra loro indipendenti. Questo aspetto verrà chiarito maggiormente nel Capitolo 11 dedicato alla normalizzazione, una tecnica sistematica che consente di analizzare queste situazioni. Nell'esempio in figura è stata scelta correttamente una relazione ternaria perché si vuole modellare il caso in cui un operatore può effettuare operazioni

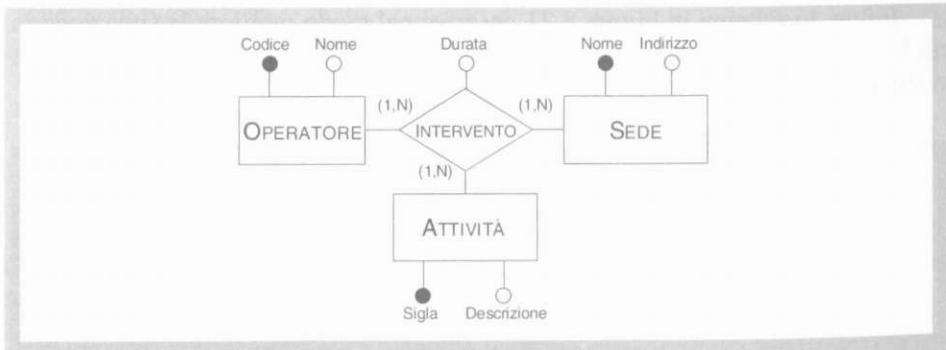


Figura 8.19 Relazione ternaria

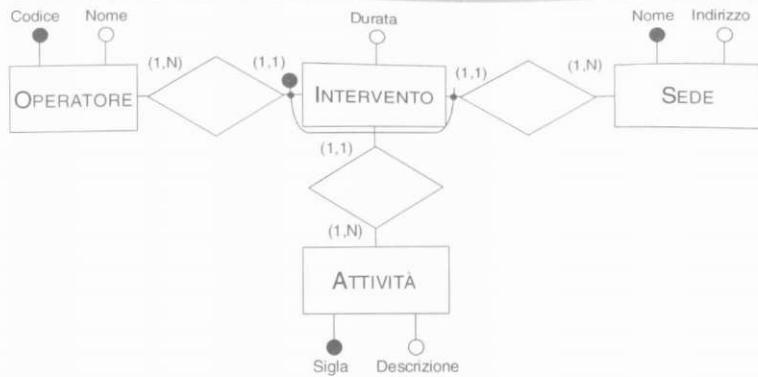


Figura 8.20 Reificazione della relazione ternaria in Figura 8.19

che consistono in attività diverse svolte in sedi diverse. Inoltre in ogni sede possono operare operatori diversi svolgendo attività diverse. Infine le attività possono essere svolte da operatori diversi e in sedi diverse.

Anche questa relazione, come tutte le altre, può essere reificata e questa operazione si rende necessaria quanto la realtà da modellare è diversa da quella appena descritta. In Figura 8.20 viene riportata la reificazione della relazione ternaria in Figura 8.19. Il nuovo schema modella esattamente la situazione dello schema originario perché la nuova entità risulta identificata da tutte le entità originarie. Cambiando opportunamente l'identificazione siamo però in grado di modellare con questo pattern altre situazioni per le quali la relazione ternaria non sarebbe corretta.

In particolare, se in ogni sede, ogni operatore svolge sempre la stessa attività, l'entità INTERVENTO sarebbe identificata solo dalle entità SEDE e OPERATORE. Se viceversa in ogni sede, ogni attività viene svolta sempre dallo stesso operatore, l'entità INTERVENTO sarebbe identificata solo dalle entità ATTIVITÀ e SEDE. Se infine ogni operatore svolge ogni attività in una sola sede, l'entità INTERVENTO sarebbe identificata solo dalle entità OPERATORE e SEDE.

Infine, lo schema in Figura 8.21 descrive nel modo migliore la situazione in cui la sola entità ATTIVITÀ è identificante, succede cioè che ogni attività viene svolta in una sola sede da un solo operatore.



Figura 8.21 Semplificazione dello schema in Figura 8.20

In questo caso lo schema si semplifica perché il legame tra attività e la sede si può rappresentare separatamente da quello tra l'attività e l'operatore.

8.3 Strategie di progetto

Lo sviluppo di uno schema concettuale a partire dalle sue specifiche può essere considerato a tutti gli effetti un processo di ingegnerizzazione e, come tale, risultano a esso applicabili le strategie di progetto utilizzate anche in altre discipline. Vediamo quali sono queste strategie con specifico riferimento alla modellazione di una base di dati.

8.3.1 Strategia top-down

In questa strategia, lo schema concettuale viene prodotto mediante una serie di raffinamenti successivi a partire da uno schema iniziale che descrive tutte le specifiche con pochi concetti molto astratti. Lo schema viene poi via via raffinato mediante opportune trasformazioni che aumentano il dettaglio dei vari concetti presenti. Questo procedimento viene descritto graficamente in Figura 8.22 dove vengono rappresentati i diversi piani di raffinamento del processo: ognuno di questi piani contiene uno schema che descrive le medesime informazioni a un diverso livello di dettaglio. Con questa strategia quindi, tutti gli aspetti presenti nello schema finale sono presenti, in linea di principio, a ogni livello di raffinamento.

Nel passaggio da un livello di raffinamento a un altro, lo schema viene modificato facendo uso di alcune trasformazioni elementari che vengono denominate *primitive di trasformazione top-down*.

Esempi di primitive di trasformazione top-down sono:

- la definizione degli attributi di una entità o di una relazione; per esempio, la specifica, per una entità PERSONA, di tutti gli attributi di interesse quali **Codice Fiscale**, **Cognome**, **Età**, **Sesso** e **Città di nascita**;
- la reificazione di un attributo o di una entità, che trasforma per esempio lo schema in Figura 8.4 nello schema in Figura 8.5 e lo schema in Figura 8.8 nello schema in Figura 8.9;
- la decomposizione di una relazione in due relazioni distinte; per esempio quella che consente di giungere, da uno schema con una sola relazione IMPIEGO tra le entità PERSONA e AZIENDA allo schema in Figura 8.16;
- la trasformazione di una entità in una gerarchia di generalizzazione che per esempio consente di giungere allo schema di Figura 8.15 partendo da un'unica entità AZIENDA.

Il vantaggio della strategia top-down è che il progettista può descrivere inizialmente tutte le specifiche dei dati trascurandone i dettagli, per poi entrare nel merito di un concetto alla volta (si osservi infatti che le primitive di trasformazione agiscono su singoli concetti). Questo però è possibile solo quando si possiede, sin dall'inizio, una visione globale e astratta di *tutte* le componenti del sistema, ma

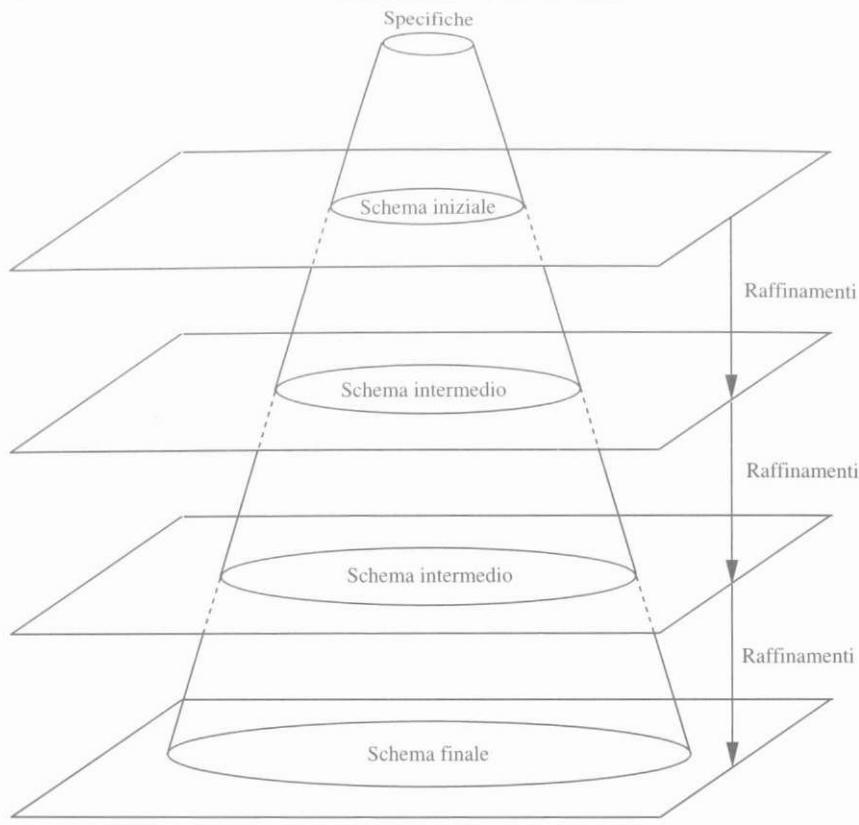


Figura 8.22 La strategia top-down

ciò è estremamente difficile quando si ha a che fare con applicazioni di una certa complessità.

8.3.2 Strategia bottom-up

In questa strategia, le specifiche iniziali sono suddivise in componenti via via sempre più piccole, fino a quando queste componenti descrivono un frammento elementare della realtà di interesse. A questo punto, le varie componenti vengono rappresentate da semplici schemi concettuali che possono consistere anche in singoli concetti. I vari schemi così ottenuti vengono poi fusi fino a giungere, attraverso una completa integrazione di tutte le componenti, allo schema concettuale finale. Questo procedimento viene descritto graficamente in Figura 8.23, nella quale vengono rappresentate: la fase di decomposizione delle specifiche, la successiva fase di rappresentazione delle componenti di base e la fase finale d'integrazione degli schemi elementari. A differenza della strategia top-down, con questa strate-

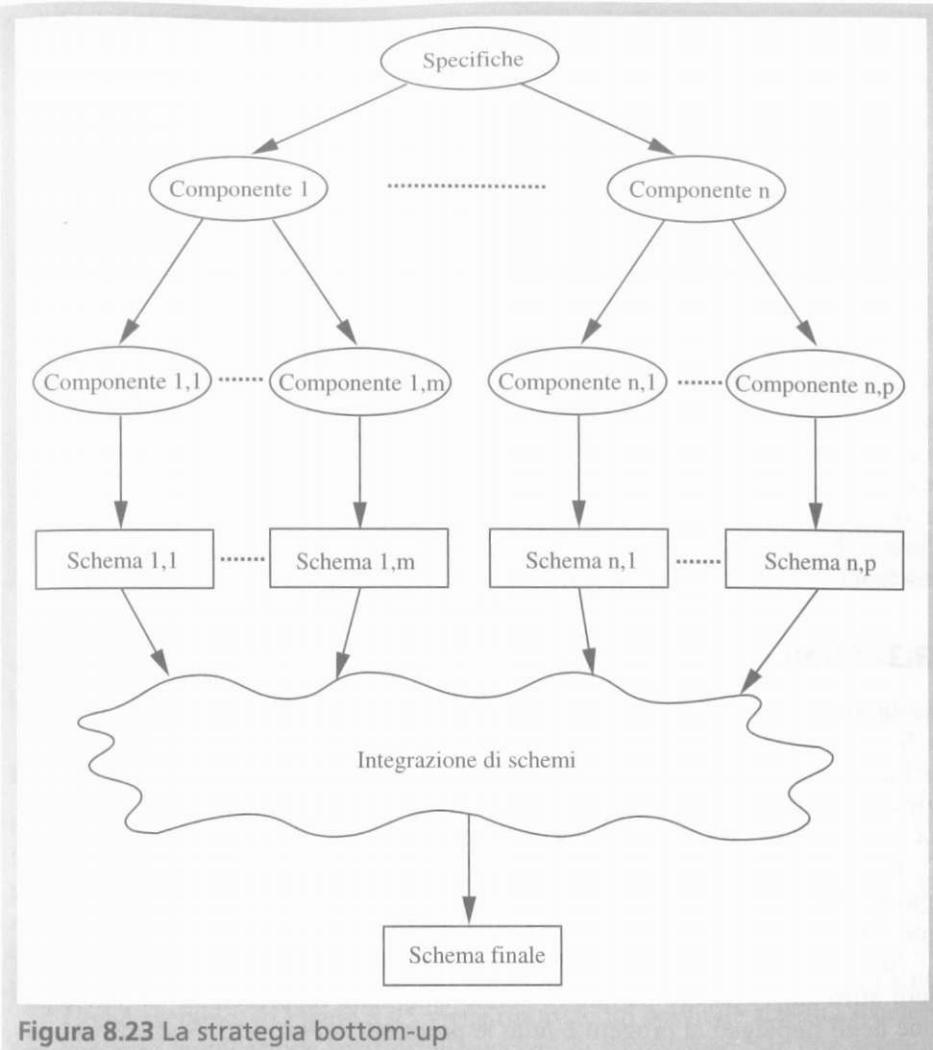


Figura 8.23 La strategia bottom-up

già i vari concetti presenti nello schema finale vengono via via introdotti durante le varie fasi.

Anche in questo caso, lo schema finale si ottiene attraverso alcune trasformazioni elementari che vengono denominate *primitive di trasformazione bottom-up* che introducono in uno schema nuovi concetti non presenti precedentemente e in grado di descrivere aspetti della realtà di interesse che non erano ancora stati rappresentati.

Esempi di primitive di trasformazione bottom-up sono:

- l'introduzione di una nuova entità o di una relazione dall'analisi delle specifiche; per esempio, nell'applicazione relativa alla società di formazione, questo

può accadere quando, nelle specifiche riportate a pagina 253, individuiamo l'entità PARTECIPANTE oppure quando individuiamo la relazione ABILITAZIONE tra le entità DOCENTE e CORSO;

- l'individuazione nelle specifiche di un legame tra diverse entità riconducibile a una generalizzazione; per esempio, con riferimento alle specifiche suddette, questo può accadere quando comprendiamo che l'entità DOCENTE è una generalizzazione delle entità INTERNO (dipendente della società di formazione) e COLLABORATORE;
- l'aggregazione di una serie di attributi in una entità o in una relazione; per esempio, quando dalle proprietà Matricola, Cognome, Data nascita, Città di nascita e Media esami si individua l'esistenza dell'entità STUDENTE.

Il vantaggio della strategia bottom-up è che si adatta a una decomposizione del problema in componenti più semplici, facilmente individuabili, il cui progetto può essere affrontato anche da progettisti diversi. È quindi un tipo di strategia che si presta bene a lavori svolti in collaborazione o suddivisi all'interno di un gruppo. Lo svantaggio di questa strategia è invece il fatto che richiede delle operazioni di integrazione di schemi concettuali diversi che, nel caso di schemi complessi, presentano quasi sempre grosse difficoltà.

8.3.3 Strategia inside-out

Questa strategia può essere vista come un caso particolare della strategia bottom-up. Si individuano inizialmente solo alcuni concetti importanti e poi si procede, a partire da questi, a "macchia d'olio". Si rappresentano cioè prima i concetti in relazione con i concetti iniziali, per poi muoversi verso quelli più lontani attraverso una "navigazione" tra le specifiche.

Un esempio di sviluppo inside-out di uno schema concettuale è mostrato in Figura 8.24 con riferimento a un esempio visto nel capitolo precedente. In questa figura le varie aree indicano un possibile sviluppo cronologico del progetto.

Si può osservare che è stata individuata inizialmente l'entità IMPIEGATO con i suoi attributi. A partire da questa entità sono state rappresentate la partecipazione degli impiegati ai progetti e tutte le proprietà dei progetti. Successivamente, sono state analizzate le correlazioni esistenti tra gli impiegati e i dipartimenti dell'azienda, individuando le relazioni DIREZIONE e AFFERENZA e l'entità DIPARTIMENTO con i relativi attributi. Infine, partendo da quest'ultima entità, sono state rappresentate le sedi dell'azienda (entità SEDE e relativi attributi) e l'appartenenza dei dipartimenti alle relative sedi (relazione COMPOSIZIONE). Si osservi che, nella penultima fase, non si poteva identificare l'entità DIPARTIMENTO (a meno di aggiungere altri attributi), perché è possibile avere dipartimenti con lo stesso nome in sedi diverse, ma, al passo successivo, è stato possibile identificare tale entità con l'attributo Nome e l'entità SEDE attraverso la relazione COMPOSIZIONE.

Questa strategia ha il vantaggio di non richiedere passi di integrazione. D'altro canto è necessario, di volta in volta, esaminare tutte le specifiche per individuare concetti non ancora rappresentati e descrivere i nuovi concetti nel dettaglio

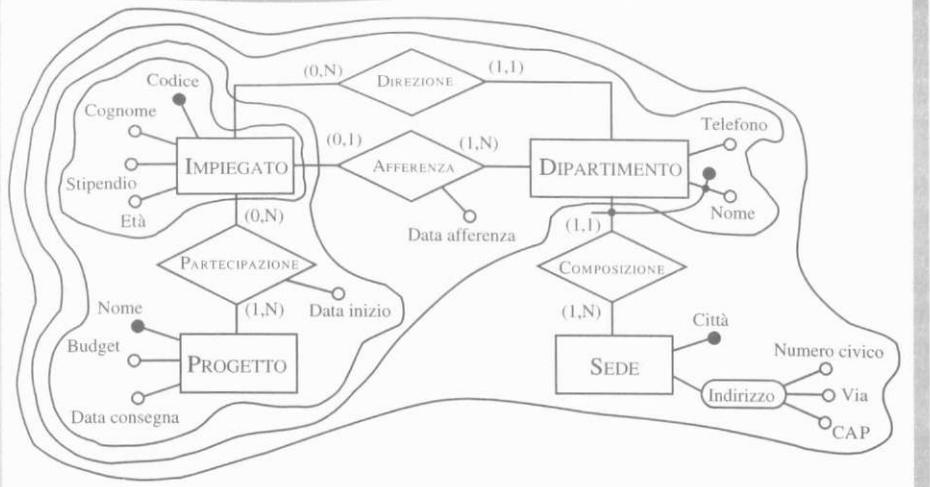


Figura 8.24 Un esempio di uso della strategia inside-out

(cosa non sempre possibile come mostrato nell'esempio). Non è quindi possibile procedere per livelli di astrazione come avviene nella strategia top-down.

8.3.4 Strategia mista

La strategia mista cerca di combinare i vantaggi della strategia top-down con quelli della strategia bottom-up. Il progettista suddivide i requisiti in componenti separate, come nella strategia bottom-up, ma allo stesso tempo definisce uno *schema scheletro* contenente, a livello astratto, i concetti principali dell'applicazione. Questo schema scheletro fornisce una visione unitaria, sia pure astratta, dell'intero progetto e favorisce le fasi di integrazione degli schemi sviluppati separatamente.

Come esempio, in Figura 8.25 viene riportato un possibile schema scheletro per la nostra applicazione relativa alla società di formazione. Da una semplice ispezione delle specifiche strutturate dei requisiti contenute nel Paragrafo 8.1, è quasi immediato individuare tre concetti principali che possono essere rappresentati in maniera naturale da entità: i *partecipanti*, i *corsi* e i *docenti*. Tra queste entità esistono delle relazioni che, a un primo livello di dettaglio, possiamo assumere siano descrizioni della *partecipazione* ai corsi da parte dei partecipanti e dell'at-



Figura 8.25 Schema scheletro per la società di formazione

tività didattica (la *docenza*) svolta dai docenti nei corsi. A questo punto possiamo procedere considerando, anche separatamente, questi concetti principali e proseguire per raffinamenti successivi (procedendo quindi in maniera top-down) oppure estendere lo schema (o il sottoschema) con concetti non ancora rappresentati (procedendo quindi in maniera bottom-up).

La strategia mista è probabilmente la più flessibile tra le strategie viste perché si adatta bene a esigenze contrapposte: quella di suddividere un problema complesso in sottoproblemi e quella di procedere per raffinamenti successivi. In effetti, questa strategia ingloba anche la strategia inside-out che, come abbiamo detto, è solo un caso particolare della strategia bottom-up. È infatti abbastanza naturale, durante uno sviluppo bottom-up di una sottocomponente del progetto, procedere a macchia d'olio per rappresentare le specifiche della nostra base di dati non ancora rappresentate.

C'è anche da dire che, in quasi tutti i casi pratici di una certa complessità, la strategia mista è l'unica che si può effettivamente adottare perché, come abbiamo detto all'inizio di questo capitolo, è spesso necessario cominciare la progettazione quando non sono ancora disponibili tutti i dati e, dei dati noti, abbiamo delle conoscenze a livelli di dettaglio non omogenei.

8.4 Qualità di uno schema concettuale

Nella costruzione di uno schema concettuale vanno comunque garantite alcune proprietà generali che uno schema concettuale di buona qualità deve possedere. Analizziamo le qualità più importanti e vediamo come è possibile verificare, durante la progettazione concettuale, queste qualità.

Correttezza Uno schema concettuale è *corretto* quando utilizza propriamente i costrutti messi a disposizione dal modello concettuale di riferimento. Come avviene nei linguaggi di programmazione, gli errori possono essere *sintattici* o *semantici*. I primi riguardano un uso non ammesso di costrutti come, per esempio, una generalizzazione tra relazioni invece che tra entità. I secondi riguardano invece un uso di costrutti che non rispetta la loro definizione. Per esempio, l'uso di una relazione per descrivere il fatto che una entità è specializzazione di un'altra. La correttezza di uno schema si può verificare per ispezione, confrontando i concetti presenti nello schema in via di costruzione con le specifiche e con le definizioni dei costrutti del modello concettuale usato.

Completezza Uno schema concettuale è *completo* quando rappresenta tutti i dati di interesse e quando tutte le operazioni possono essere eseguite a partire dai concetti descritti nello schema. La completezza di uno schema si può verificare controllando che tutte le specifiche sui dati siano rappresentate da qualche concetto presente nello schema che stiamo costruendo, e che tutti i concetti coinvolti in un'operazione presente nelle specifiche siano raggiungibili "navigando" attraverso lo schema.

Leggibilità Uno schema concettuale è *leggibile* quando rappresenta i requisiti in maniera naturale e facilmente comprensibile. Per garantire questa proprietà è necessario rendere lo schema autoesplicativo, per esempio, mediante una scelta opportuna dei nomi da dare ai concetti. La leggibilità dipende anche da criteri puramente estetici: la comprensione di uno schema è per esempio facilitata se tracciamo il relativo diagramma su una griglia nella quale i vari costrutti hanno le stesse dimensioni. Alcuni suggerimenti per rendere lo schema più leggibile sono i seguenti:

- disporre i costrutti su una griglia scegliendo come elementi centrali quelli con più legami (relazioni) con altri;
- tracciare solo linee perpendicolari e cercare di minimizzare le intersezioni;
- disporre le entità che sono genitori di generalizzazioni sopra le relative entità figlie.

La leggibilità di uno schema si può verificare facendo delle prove di comprensione con gli utenti.

Minimalità Uno schema è *minimale* quando tutte le specifiche sui dati sono rappresentate una sola volta nello schema. Uno schema quindi non è minimale quando esistono delle *ridondanze*, ovvero concetti che possono essere derivati da altri. Una possibile fonte di ridondanza in uno schema E-R è la presenza di cicli dovuta alla presenza di relazioni e/o generalizzazioni. A differenza delle altre proprietà comunque, non sempre una ridondanza è indesiderata, ma può nascere da precise scelte progettuali.¹ In ogni caso però, queste situazioni vanno documentate. La minimalità di uno schema si può verificare per ispezione, controllando se esistono concetti che possono essere eliminati dallo schema che stiamo costruendo senza inficiare la sua completezza. Per quanto detto, si deve prestare particolare attenzione ai cicli presenti nello schema.

Nel prossimo paragrafo vedremo come la verifica delle qualità di uno schema concettuale appena viste, possa essere inglobata in una metodologia di progettazione generale.

8.5 Una metodologia generale

Cerchiamo di tirare le somme su quanto detto relativamente alla progettazione concettuale di basi di dati. Per quel che riguarda le strategie di progetto viste va precisato che, in pratica, non accade quasi mai che un progetto proceda *sempre* in maniera top-down o bottom-up. Indipendentemente dalla strategia scelta, nelle situazioni reali capita infatti di modificare lo schema in via di costruzione sia

¹Torneremo su questo punto quando affronteremo la progettazione logica.

con trasformazioni che raffinano un concetto presente (e quindi tipicamente top-down) sia con trasformazioni che aggiungono un concetto non presente (e quindi tipicamente bottom-up). Presentiamo quindi una metodologia per la progettazione concettuale con il modello E-R con riferimento alla strategia mista che, come abbiamo detto, fa uso delle tecniche su cui si basano le altre e le comprende come caso particolare. La metodologia è composta dai seguenti passi.

1. Analisi dei requisiti.

- (a) Costruire un glossario dei termini.
- (b) Analizzare i requisiti ed eliminare le ambiguità presenti.
- (c) Raggruppare i requisiti in insiemi omogenei.

2. Passo base.

- (a) Individuare i concetti più rilevanti e rappresentarli in uno schema scheletro.

3. Passo di decomposizione (da effettuare se appropriato o necessario).

- (a) Effettuare una decomposizione dei requisiti con riferimento ai concetti presenti nello schema scheletro.

4. Passo iterativo: da ripetere, per tutti i sotto-schemi (se presenti), finché ogni specifica è stata rappresentata.

- (a) Raffinare i concetti presenti sulla base delle loro specifiche.
- (b) Aggiungere nuovi concetti allo schema per descrivere specifiche non ancora descritte.

5. Passo di integrazione (da effettuare se è stato eseguito il passo 3).

- (a) Integrare i vari sotto-schemi in uno schema generale facendo riferimento allo schema scheletro.

6. Analisi di qualità.

- (a) Verificare la correttezza dello schema ed eventualmente ristrutturare lo schema.
- (b) Verificare la completezza dello schema ed eventualmente ristrutturare lo schema.
- (c) Verificare la minimalità, documentare le ridondanze ed eventualmente ristrutturare lo schema.
- (d) Verificare la leggibilità dello schema ed eventualmente ristrutturare lo schema.

Si osservi che se il passo 3 e il passo 5 non vengono effettuati e nel passo 4 si procede solo mediante raffinamenti (azione (a)), abbiamo una strategia top-down pura. Viceversa, se il passo base non viene effettuato e nel passo 5 vengono solo aggiunti nuovi concetti, ci stiamo muovendo secondo la strategia bottom-up pura. Infine, nelle trasformazioni bottom-up, si può procedere a “macchia d’olio”, cioè secondo la strategia inside-out.

Nella metodologia presentata, viene solo brevemente citata un’importante attività che dovrebbe in realtà accompagnare tutte le fasi di progetto: quella della

documentazione degli schemi. Secondo quanto detto nel Paragrafo 7.3, anche questa attività può essere disciplinata facendo uso di strumenti opportuni. In particolare, è molto utile costruire, parallelamente allo sviluppo di uno schema, anche un dizionario dei dati che favorisca l’interpretazione dei vari concetti. Inoltre, possiamo far uso di regole aziendali per descrivere la presenza di ridondanze o requisiti dell’applicazione che non riusciamo a tradurre in costrutti del modello E-R.

Concludiamo questa presentazione con una breve riflessione sulla fase finale della metodologia presentata, quella dell’analisi della qualità del progetto. Innanzitutto va precisato che questa attività non va relegata al termine della progettazione, ma va effettuata, con regolarità, durante tutto lo sviluppo dello schema concettuale. Va infatti sottolineato che l’analisi di qualità costituisce un importante momento di verifica dello stato corrente del progetto nel quale è spesso necessario dover effettuare delle ristrutturazioni per rimediare a “errori” fatti nelle fasi precedenti. Bisogna porre, in questa fase, particolare attenzione a concetti dello schema aventi proprietà particolari: per esempio, entità senza attributi, insiemi di concetti che formano cicli, gerarchie di generalizzazioni troppo complesse o porzioni dello schema particolarmente contorte. Come accennato nel Paragrafo 8.4, non è detto che questa analisi porti necessariamente a delle ristrutturazioni, ma solo a una riorganizzazione dello schema che ne aumenti la leggibilità.

8.6 Un esempio di progettazione concettuale

Vediamo ora un esempio concreto e completo di progettazione concettuale che fa riferimento alla solita società di formazione. Abbiamo già eseguito per questo caso i compiti della prima fase della metodologia e abbiamo mostrato un possibile schema scheletro per questa applicazione in Figura 8.25. Con riferimento a questo schema, possiamo a questo punto decidere di analizzare separatamente le specifiche riguardanti i partecipanti, quelle riguardanti i corsi e quelle riguardanti i docenti e procedere a macchia d’olio per includere i concetti non presi in considerazione nello schema scheletro. Vedremo che, nella costruzione dei vari schemi, incontreremo in molti casi i pattern progettuali discussi nel Paragrafo 8.2.2.

Eseguiamo quindi il passo iterativo della metodologia generale, considerando prima i partecipanti. Tra questi si individuano facilmente due tipologie: i *professionisti* e i *dipendenti*. Questi concetti sono rappresentabili come entità figlie dell’entità PARTECIPANTE iniziale: la generalizzazione che ne risulta è totale. A questo punto vanno rappresentati gli impieghi dei partecipanti. Questo può essere fatto introducendo innanzitutto un’entità DATORE visto che vanno rappresentate, per questo concetto, diverse proprietà. Analizzando poi le specifiche relative agli impieghi dei partecipanti, ci accorgiamo che vanno rappresentati due concetti distinti: i rapporti passati e quelli presenti. Possiamo allora introdurre due relazioni IMPIEGO PASSATO e IMPIEGO CORRENTE: la prima ha come attributi una data di inizio e una di fine rapporto e lega l’entità DATORE con l’entità PARTECIPANTE (perché anche i professionisti possono aver avuto, nel passato, un lavoro dipendente); la seconda ha solo una data di inizio rapporto e lega l’entità DATORE con l’entità DIPENDENTE. Aggiungendo gli attributi a entità e relazioni, le cardinalità

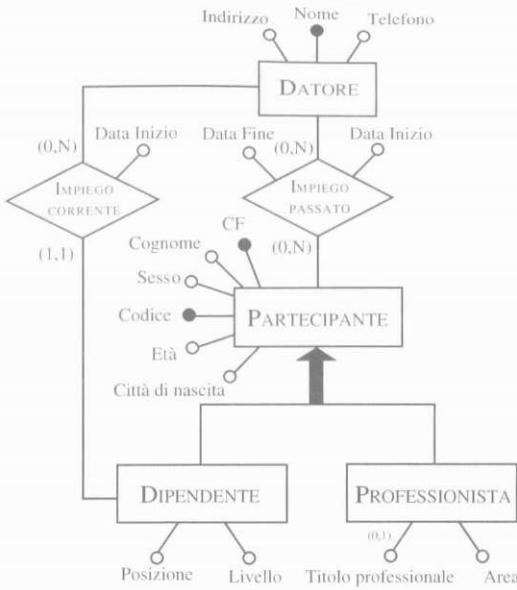


Figura 8.26 Il raffinamento di una porzione dello schema scheletro

alle relazioni e gli identificatori alle entità, si ottiene lo schema in Figura 8.26. Si osservi che l'entità PARTECIPANTE ha due identificatori: il codice interno dell'azienda e il codice fiscale. Si osservi inoltre che l'attributo **Titolo professionale** è opzionale, in quanto dalle specifiche si evince che questo dato può mancare.

Per quanto riguarda i docenti vanno distinti i dipendenti interni della società di formazione dai collaboratori esterni. Questo si può fare in maniera naturale con una generalizzazione totale di cui DOCENTE è l'entità genitore. Si possono quindi aggiungere gli attributi **Cognome**, **Età**, **Città di nascita** e **Numero di telefono** all'entità DOCENTE. Quest'ultimo è multivalore perché dalle specifiche risulta che i docenti possono avere più numeri di telefono e noi li vogliamo rappresentare tutti. A questo punto si può osservare che i vari attributi non forniscono un identificatore naturale per l'entità DOCENTE. In casi come questo si cerca di individuare un concetto che possa identificare l'entità anche se questo non rappresenta una specifica. Nel nostro caso, si può introdurre a questo scopo il codice fiscale del docente anche se questo dato non faceva parte delle specifiche iniziali. Alternativamente, si sarebbe potuto introdurre un codice da usare appositamente per questo scopo. Il sotto-schema risultante è riportato in Figura 8.27.

Passiamo ora all'analisi dell'entità CORSO. Vanno innanzitutto distinti due concetti legati tra loro, ma chiaramente distinti: il concetto astratto di corso (che ha un nome e un codice) dall'edizione di un corso che ha una data di inizio, una data di fine e un numero di partecipanti. Rappresentiamo questi due concetti con due entità distinte legate dalla relazione TIPOLOGIA. Vanno poi rappresentate le *lezioni* dei corsi, che possiamo descrivere con una entità legata alle edizioni dei

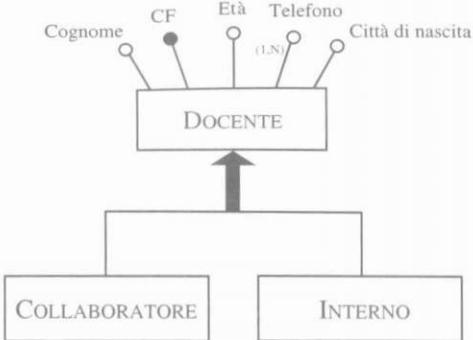


Figura 8.27 Il raffinamento di un'altra porzione dello schema scheletro

corsi da una relazione COMPOSIZIONE. Aggiungiamo poi gli attributi, le cardinalità e gli identificatori. Per quel che riguarda gli identificatori assumiamo che una lezione sia identificata dall'aula, l'ora e il giorno (non è infatti possibile avere nello stesso giorno, nello stesso orario e nella stessa aula due lezioni diverse). Per le edizioni di corso assumiamo invece che non possono partire nello stesso giorno edizioni diverse dello stesso corso e quindi un identificatore per l'entità EDIZIONE DI CORSO è costituito dall'attributo Data inizio e dall'entità CORSO. Il sotto-schema risultante è riportato in Figura 8.28.

Lo schema finale si ottiene per integrazione degli schemi ottenuti fino a questo punto. Iniziamo con gli schemi relativi ai docenti e ai corsi rappresentati in Figura 8.27 e in Figura 8.28 rispettivamente: dallo schema scheletro si intuisce che il collegamento avviene attraverso una relazione di docenza che va però raffinata. Dall'analisi delle specifiche non è difficile individuare tre tipi di correlazioni diverse tra i docenti e i corsi: le *docenze correnti*, quelle *passate* e l'*abilitazione* a insegnare un corso. Rappresentiamo questi legami con tre relazioni: le prime due collegano le entità DOCENTE ed EDIZIONE DI CORSO (perché un docente insegna o ha insegnato una specifica edizione di corso) mentre la terza collega l'entità DOCENTE e l'entità CORSO (perché un docente viene abilitato a inse-

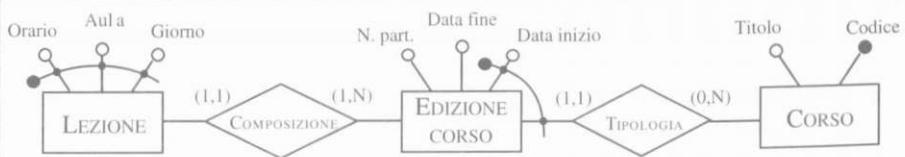


Figura 8.28 Il raffinamento di un'altra porzione dello schema scheletro

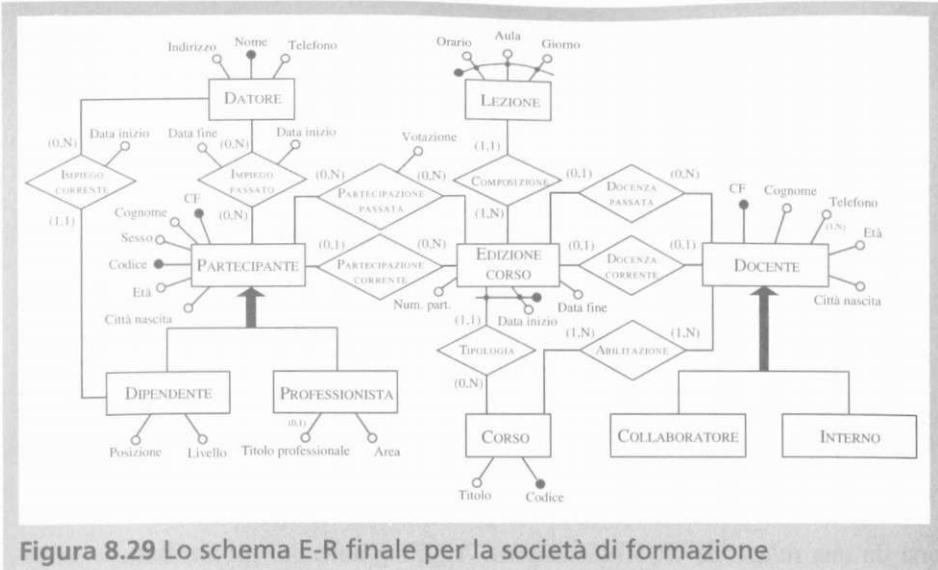


Figura 8.29 Lo schema E-R finale per la società di formazione

gnare un generico corso). Va ora integrato lo schema ottenuto con la porzione relativa ai partecipanti, riportata in Figura 8.26. Dallo schema scheletro si intuisce che, per fare questo, va stabilito il tipo di relazione che intercorre tra i corsi e i partecipanti. Se ne possono individuare due: le partecipazioni *correnti* e quelle *passate* che rappresentiamo con relazioni tra l'entità PARTECIPANTE e l'entità EDIZIONE DI CORSO. Di quelle passate è d'interesse la votazione che rappresentiamo con un attributo. Aggiungendo le varie cardinalità si ottiene lo schema finale riportato in Figura 8.29.

Va notato che abbiamo proceduto, in questo caso, decomponendo e poi integrando, ma, trattandosi di uno schema non molto complesso, avremmo potuto anche lavorare direttamente sullo schema scheletro procedendo per raffinamenti e integrazioni successive senza veri e propri passi di integrazione.

A questo punto, restano da verificare le proprietà dello schema così ottenuto. In particolare, la completezza si verifica ripercorrendo tutti i requisiti sui dati e sulle operazioni controllando che tutti i dati siano stati rappresentati e che tutte le operazioni possano essere eseguite mediante una navigazione sullo schema. Per citare un esempio, consideriamo l'operazione 7 che richiedeva l'elenco di tutti i partecipanti ai corsi insegnati da un docente. Questa operazione è in effetti eseguibile con riferimento allo schema in Figura 8.26 come segue: partiamo dall'entità DOCENTE, attraversiamo le relazioni DOCENZA PASSATA e DOCENZA CORRENTE, raggiungiamo l'entità EDIZIONE CORSO e da questa, tramite le relazioni PARTECIPAZIONE PASSATA e PARTECIPAZIONE CORRENTE, arrivare infine all'entità PARTECIPANTE. Possiamo così ottenere, dato un docente, i partecipanti a tutti i corsi da lui/lei insegnati. Per quanto riguarda invece la minimalità, si può osservare che esiste nello schema una ridondanza: l'attra-

buto **Numer o di partecipanti** dell'entità **EDIZIONE DI CORSO** può essere infatti derivato, per una certa edizione, contando il numero di istanze dell'entità **PARTECIPANTE** che sono legate a questa edizione. Rimandiamo alla fase successiva, la progettazione logica, la decisione sul fatto di mantenere o eliminare tale ridondanza.

Va infine ricordato che lo schema va corredata con un'opportuna documentazione che va prodotta parallelamente alla costruzione dello schema. In particolare, è importante descrivere, per esempio sotto forma di regole aziendali, eventuali vincoli non espressi direttamente dallo schema. Per esempio, il fatto che un docente può insegnare (o aver insegnato) un corso solo se è abilitato a farlo.

8.7 Strumenti CASE per la progettazione di basi di dati

La progettazione di basi di dati è un'attività complessa che è spesso difficile o addirittura impossibile svolgere manualmente. Questa attività può essere resa più produttiva facendo uso di programmi di editing dotati di interfacce grafiche per gestire tabelle e diagrammi, ma esistono anche in commercio pacchetti applicativi dedicati proprio al progetto e allo sviluppo di basi di dati. Questi sistemi appartengono alla categoria degli strumenti CASE (Computer Aided Software Engineering) di ausilio alla ingegnerizzazione del software e forniscono un supporto a tutte le fasi principali dello sviluppo di una base di dati (progettazione concettuale, logica e fisica).

Le funzionalità offerte variano parecchio da un prodotto a un altro, ma esistono alcune componenti di base che, in forma più o meno esplicita, sono presenti in tutti i sistemi:

- un'*interfaccia grafica* con la quale è possibile manipolare direttamente schemi Entità-Relazione rappresentati in forma diagrammatica;
- un *dizionario dei dati* centralizzato che memorizza informazioni sui vari concetti dello schema (entità, attributi, relazioni, vincoli di integrità ecc.);
- una serie di *strumenti integrati* che eseguono, in maniera automatica o attraverso un'interazione con l'utente, compiti specifici della progettazione (layout automatico di diagrammi, verifiche di correttezza e di completezza, analisi di qualità di uno schema, produzione automatica di codice per la realizzazione della base di dati ecc.).

Molti sistemi sono integrabili direttamente con sistemi di gestione di basi di dati. Altri sistemi forniscono un supporto anche all'attività di analisi dei requisiti. Altri ancora mettono a disposizione anche delle librerie di progetti generici predefiniti o sviluppati precedentemente che possono essere utilizzati come punto di partenza per un nuovo progetto.

Per quel che riguarda specificatamente la progettazione concettuale, risulta generalmente possibile utilizzare le strategie proposte nei precedenti paragrafi anche quando si usano questi sistemi. Molti di essi permettono infatti di procedere

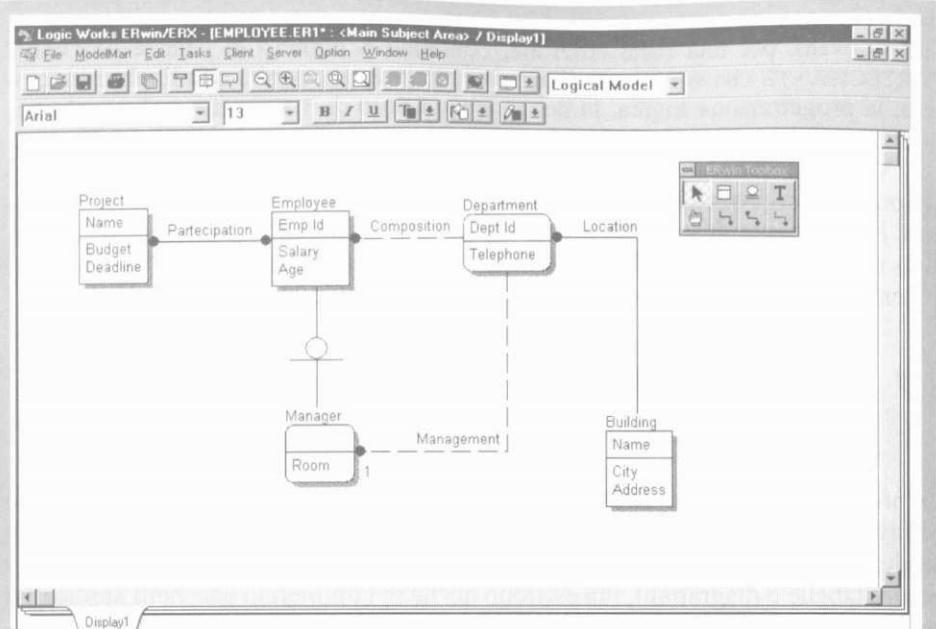


Figura 8.30 Progettazione concettuale fatta con ER-Win

in maniera top-down definendo solo parzialmente certi concetti dello schema per poi raffinarli successivamente. Per esempio, si può definire un'entità senza specificare attributi e identificatori. Altri sistemi consentono inoltre di definire e manipolare separatamente viste, ossia porzioni di uno schema di base, propagando automaticamente nello schema di base modifiche fatte sugli schemi derivati. Questo consente di procedere in maniera bottom-up. Un semplice esempio di prodotto della fase di progettazione concettuale fatta con uno strumento di questo genere è riportato in Figura 8.30.

Il sistema usato è un noto strumento per ambienti Microsoft Windows chiamato ER-Win. C'è da notare che questo sistema utilizza una notazione particolare per descrivere i costrutti del modello E-R, diversa da quella usata in questo capitolo, denominata IDEF1-X. In particolare, gli attributi vengono rappresentati direttamente dentro le entità, separando gli identificatori dagli altri attributi. Le linee rappresentano relazioni e particolari simboli sulle linee vengono usati per esprimere vincoli di cardinalità. Le generalizzazioni sono rappresentate da linee separate da un simbolo speciale (relazione tra IMPIEGATO e DIRETTORE). La notazione non permette di assegnare attributi alle relazioni.

Un altro esempio di uso di strumento CASE per il progetto di basi di dati viene riportato in Figura 8.31.

È stato usato in questo caso Rational, un noto strumento di ausilio alla progettazione del software che si basa sul linguaggio UML. In base a quanto abbia-

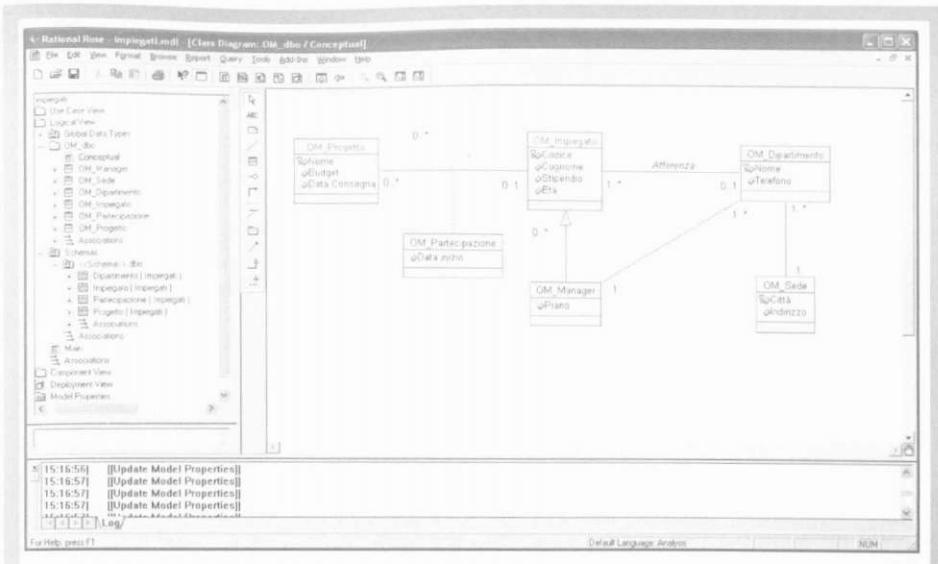


Figura 8.31 Progettazione concettuale fatta con Rational

mo detto nel Paragrafo 7.4, questo linguaggio viene talvolta usato anche per la progettazione concettuale dei dati.

I due esempi fatti ci mostrano un problema classico che si deve affrontare quando si lavora con uno strumento CASE per progettare una basi di dati: non esistono di fatto standardizzazioni sulle notazioni usate, in quanto tutti i sistemi adottano un modello concettuale noto, ma di fatto in una versione personalizzata. È quindi spesso necessario uno sforzo del progettista per adattare le proprie conoscenze di modelli e metodologie alle caratteristiche del sistema scelto.

Note bibliografiche

La progettazione concettuale dei dati è affrontata in dettaglio nel libro in italiano di Batini *et al.* [8] e nel testo in inglese di Batini, Ceri e Navathe [7] che affronta anche, in maniera sistematica, il problema dell'integrazione di schemi. Esistono inoltre due testi molto interessanti sul progetto DATAID, che ha affrontato diversi aspetti legati al progetto di basi dati, tra cui la fase di raccolta e analisi dei requisiti [3, 14]. La nostra descrizione di questa fase si basa sui risultati di questo progetto. Una rassegna approfondita scritta da David Reiner sugli strumenti CASE per il progetto di basi di dati è riportata nel Capitolo 15 del testo [7]. Come testi di esercizi sulla progettazione di basi di dati suggeriamo il testo di Cabibbo, Torlone e Batini [11], quello di Francalanci, Schreiber e Tanca [35] e quello di Maio e Rizzi [45].

Esercizi

- 8.1 Si desidera automatizzare il sistema di prestiti di una biblioteca. Le specifiche del sistema, acquisite attraverso un'intervista con il bibliotecario, sono quelle riportate in Figura 8.32. Analizzare tali specifiche, filtrare le ambiguità presenti e poi raggrupparle in modo omogeneo. Prestare particolare attenzione alla differenza esistente tra il concetto di *libro* e di *copia* di libro. Individuare i collegamenti esistenti tra i vari gruppi di specifiche così ottenuti.

Biblioteche

I lettori che frequentano la biblioteca hanno una tessera su cui è scritto il nome e l'indirizzo ed effettuano richieste di prestito per i libri che sono catalogati nella biblioteca. I libri hanno un titolo, una lista di autori e possono esistere in diverse copie. Tutti i libri contenuti nella biblioteca sono identificati da un codice. A seguito di una richiesta, viene dapprima consultato l'archivio dei libri disponibili (cioè non in prestito). Se il libro è disponibile, si procede alla ricerca del volume negli scaffali; il testo viene poi classificato come in prestito. Acquisito il volume, viene consegnato al lettore, che procede alla consultazione. Terminata la consultazione, il libro viene restituito, reinserito in biblioteca e nuovamente classificato come disponibile. Per un prestito si tiene nota degli orari e delle date di acquisizione e di riconsegna.

Figura 8.32 Specifiche per l'Esercizio 8.1

- 8.2 Rappresentare le specifiche dell'esercizio precedente (dopo la fase di riorganizzazione) con uno schema del modello Entità-Relazione.
- 8.3 Definire uno schema Entità-Relazione che descriva i dati di un'applicazione relativa a una catena di officine. Sono d'interesse le seguenti informazioni.
- Le officine, con nome (identificante), indirizzo e telefono.
 - Le automobili, con targa (identificante) e modello (una stringa di caratteri senza ulteriore struttura) e proprietario.
 - I clienti (proprietari di automobili), con codice fiscale, cognome, nome e telefono. Ogni cliente può essere proprietario di più automobili.
 - Gli "interventi" di manutenzione, ognuno effettuato presso un'officina e con un numero progressivo (unico nell'ambito della singola officina), date di inizio e di fine, pezzi di ricambio utilizzati (con le rispettive quantità) e numero di ore di mano d'opera.
 - I pezzi di ricambio, con codice, nome e costo unitario.
- Indicare le cardinalità delle relazioni e (almeno) un identificatore per ciascuna entità.
- 8.4 Nella costruzione di uno schema concettuale di buona qualità vanno garantite alcune proprietà generali. Vanno memorizzate:

- informazioni sui cittadini nati nel comune e su quelli residenti in esso; ogni cittadino è identificato dal codice fiscale e ha cognome, nome, sesso e data di nascita; inoltre
 - per i nati nel comune, sono registrati anche gli estremi di registrazione (numero del registro e pagina);
 - per i nati in altri comuni, è registrato il comune di nascita;
- informazioni sulle famiglie residenti, ognuna delle quali ha uno e un solo capofamiglia e zero o più altri membri, per ognuno dei quali è indicato (con una sigla) il grado di parentela (coniuge, figlio, genitore, o altro); ogni cittadino residente appartiene a una e una sola famiglia; tutti i membri di una famiglia hanno lo stesso domicilio (via, numero civico, interno).

Cercare di procedere secondo la strategia inside-out. Al termine, verificare le qualità dello schema ottenuto.

- 8.5 Analizzare le specifiche relative a partite di un campionato riportate in Figura 8.33 e costruire un glossario dei termini a esse relativo.

Campionato di calcio

Per ogni partita, descrivere il girone e la giornata in cui si è svolta, il numero progressivo nella giornata (per esempio prima partita, seconda partita ecc.), la data, con giorno, mese, anno, le squadre coinvolte nella partita, con nome, città della squadra e allenatore, e infine per ciascuna squadra se ha giocato in casa. Si vogliono conoscere i giocatori che giocano in ogni squadra con i loro nomi e cognomi, la loro data di nascita e il loro ruolo principale. Si vuole conoscere per ogni giornata, quanti punti ha ogni squadra. Si vogliono anche conoscere, per ogni partita, i giocatori che hanno giocato, i ruoli di ogni giocatore (i ruoli dei giocatori possono cambiare di partita in partita) e nome, cognome, città e regione di nascita dell'arbitro della partita. Distinguere le partite giocate regolarmente da quelle rinviate. Per quelle rinviate, rappresentare la data in cui si sono effettivamente giocate. Distinguere anche le partite giocate in una città diversa da quella della squadra ospitante; per queste si vuole rappresentare la città in cui si svolgono, nonché il motivo della variazione di sede. Dei giocatori interessa anche la città di nascita.

Figura 8.33 Specifiche per l'Esercizio 8.5

- 8.6 Dopo aver riorganizzato in gruppi omogenei le specifiche dell'esercizio precedente, rappresentarle con il modello Entità-Relazione, procedendo in maniera top-down per livelli di astrazione successiva a partire da uno schema scheletro iniziale. Si osservi che lo schema in Figura 7.37 rappresenta una possibile soluzione di questo esercizio.
- 8.7 Provare a rappresentare di nuovo le specifiche dell'Esercizio 8.5 con uno schema Entità-Relazione, procedendo però in maniera bottom-up: costruire frammenti di schema separati che descrivono le varie componenti omogenee delle specifiche e poi procedere per integrazione dei vari schemi. Confrontare il risultato con lo schema ottenuto nell'esercizio 8.6.

8.8 Si vuole effettuare un'operazione di *reverse-engineering*, ovvero si vuole ricostruire, a partire da una base di dati relazionale, una sua rappresentazione concettuale con il modello Entità-Relazione. La base di dati è relativa a una applicazione su treni e stazioni ferroviarie ed è composta dalle seguenti relazioni:

- STAZIONE(Codice,Nome,Città), con il vincolo di integrità referenziale fra l'attributo Città e la relazione CITTÀ;
- CITTÀ(Codice,Nome,Regione);
- TRATTA(Da,A,Distanza), con vincoli di integrità referenziale tra l'attributo Da e la relazione STAZIONE e tra l'attributo A e la relazione STAZIONE; questa relazione contiene tutte e sole le coppie di stazioni connesse da una linea in modo diretto (cioè senza stazioni intermedie);
- ORARIOTRENI(Numerotreno,Da,A,OrarioDiPartenza,OrarioDiArrivo) con vincoli di integrità referenziale tra l'attributo Da e la relazione STAZIONE e tra l'attributo A e la relazione STAZIONE;
- TRATTETRENO(Numerotreno,Da,A) con vincoli di integrità referenziale tra l'attributo Numerotreno e la relazione ORARIOTRENI e tra gli attributi Da e A e la relazione TRATTA;
- ORARIOFERMATE(Numerotreno,Stazione,Arrivo,Partenza) con vincoli di integrità referenziale tra l'attributo Numerotreno e la relazione ORARIOTRENI e tra l'attributo Stazione e la relazione STAZIONE;
- TRENOREALE(Numero,Data,OrarioDiPartenza,OrarioDiArrivo) con il vincolo di integrità referenziale tra l'attributo Numero e la relazione ORARIO-TRENI;
- FERMATEREALI(Numerotreno,Data,Stazione,Arrivo,Partenza) con il vincolo di integrità referenziale tra gli attributi Numerotreno e Stazione e la relazione ORARIOFERMATE.

Segnalare eventuali ridondanze. In particolare, qualora si tratti di relazioni derivate.

8.9 Definire uno schema Entità-Relazione che descriva i dati di una applicazione relativa a un reparto ospedaliero. Sono d'interesse le seguenti informazioni.

- I pazienti, con codice fiscale, nome, cognome, data di nascita.
- I ricoveri dei pazienti, ognuno con data di inizio (identificante nell'ambito dei ricoveri di ciascun paziente) e medico curante; inoltre, per i ricoveri conclusi, la data di conclusione e la motivazione (dimissione, trasferimento ecc.), e, per i ricoveri in corso, il recapito di un parente (che si può assumere sia semplicemente una stringa).
- I medici, con un numero di matricola, cognome, nome e data di laurea.
- Le visite, con la data, l'ora, i medici visitanti, le medicine prescritte (con le relative quantità) e le malattie diagnosticate; ogni visita è identificata dal paziente coinvolto, dalla data e dall'ora.
- Per ogni medicina sono rilevanti un codice identificativo, un nome e un costo.
- Per ogni malattia sono rilevanti un codice identificativo e un nome.

8.10 Definire uno schema Entità-Relazione che descriva i dati di un'applicazione relativa all'archivio di un amministratore di condomini, secondo le seguenti specifiche (semplificate rispetto a molte realtà).

- Ogni condominio ha un nome (che lo identifica) e un indirizzo e comprende una o più scale, ognuna delle quali comprende un insieme di appartamenti.
- Se il condominio comprende più scale, a ogni scala sono associati:
 - un codice (es: scala "A") che la identifica insieme al nome del condominio;

- un valore, detto *quota della scala*, che rappresenta, in millesimi, la frazione delle spese del condominio che sono complessivamente di competenza degli appartamenti compresi nella scala.
- Ogni appartamento è identificato, nel rispettivo condominio, dalla scala (se esiste) e da un numero (*l'interno*). A ogni appartamento è associata una quota (ancora espressa in millesimi) che indica la frazione delle spese (della scala) che sono di competenza dell'appartamento.
- Ogni appartamento ha un proprietario per il quale sono d'interesse il nome, il cognome, il codice fiscale e l'indirizzo al quale deve essere inviata la corrispondenza relativa all'appartamento. Ogni persona ha un solo codice fiscale, ma potendo essere proprietario di più appartamenti, potrebbe anche avere indirizzi diversi per appartamenti diversi. Di solito, anche chi è proprietario di molti appartamenti ha comunque solo uno o pochi indirizzi. In molti casi, l'indirizzo del proprietario coincide con quello del condominio.
- Per la parte contabile, è necessario tenere traccia delle spese sostenute dal condominio e dei pagamenti effettuati dai proprietari.
 - Ogni spesa è associata a un intero condominio, oppure a una scala o a un singolo appartamento.
 - Ogni pagamento è relativo a uno e un solo appartamento.

Nella base di dati vengono mantenuti pagamenti e spese relativi all'esercizio finanziario in corso (di durata annuale) mentre gli esercizi precedenti vengono sintetizzati attraverso un singolo valore (il *saldo precedente*) per ciascun appartamento che indica il debito o il credito del proprietario. In ogni istante esiste un *saldo corrente* per ciascun appartamento, definito come somma algebrica del saldo precedente e dei pagamenti (positivi) e delle spese addebitate (negative).

Se e quando lo si ritiene opportuno, introdurre codici identificativi sintetici.

8.11 In Figura 8.34 è mostrata una schematizzazione dei programmi di una stagione dei diversi teatri di una città. Con riferimento a essa:

1. definire uno schema concettuale (nel modello ER) che descriva la realtà di interesse; limitarsi agli aspetti che vengono espressamente mostrati, introducendo tutt'al più, ove lo si ritenga necessario, opportuni codici identificativi; mostrare le cardinalità delle relazioni e gli identificatori delle entità;
2. progettare lo schema logico relazionale corrispondente allo schema concettuale definito al punto precedente, mostrando i nomi delle relazioni, quelli degli attributi e i vincoli di chiave e di integrità referenziale;
3. mostrare un'istanza della base di dati progettata al punto precedente, utilizzando i dati nell'esempio (o anche parte di essi, purché si riescano a mostrare gli aspetti significativi).

Osservazione: le risposte ai punti 2 e 3 richiedono lo studio del capitolo successivo, ma sono utili per verificare la correttezza della risposta al punto 1 e quindi la domanda viene proposta qui.

8.12 Mostrare lo schema concettuale di una base di dati per tornei di calcio, secondo le seguenti specifiche:

- i vari tornei hanno codice e nome;
- ogni torneo è composto da un certo numero di squadre e da una classifica che assegna a ogni squadra un punteggio;
- le squadre partecipano a un solo torneo e hanno un nome e una rosa di giocatori di cui registriamo il numero di maglia, il nome e la data di nascita;

LA STAGIONE TEATRALE IN CITTÀ

Teatro Comunale

Via Roma, 25 Tel: 6555432

Prezzi:	Prime	Sab e Dom	Ferie
Platea	85	70	40
Palchi	70	50	30
Loggione	30	25	15

Riduzioni:

- studenti 20%
- CRAL 10%

Spettacoli:

- **Così è (se vi pare) (1917)**
L.Pirandello (1867-1936)
dal 05.10.2005 al 21.11.2005
- **L'opera da tre soldi (1928)**
B.Brecht (1967-1836)
dal 25.11.2005 al 17.12.2005
- ...

Teatro Cittadino Piazza del municipio, 32 Tel: 6535455

Prezzi:	Prime	Sabato sera	Domenica	Altri
Platea	90	70	60	50
Galleria	60	40	50	30

Riduzioni:

- studenti 20%
- insegnanti 20%
- gruppi 10%

Spettacoli:

- **Enrico IV (1921)**
L.Pirandello (1867-1936)
dal 6.10.2005 al 5.11.2005
- **Uno sguardo dal ponte (1955)**
A.Miller (1915-2005)
dal 7.11.2005 al 9.12.2005
- **Così è (se vi pare) (1917)**
L.Pirandello (1867-1936)
dal 5.01.2006 al 7.02.2006
- seguono altri spettacoli

...

Teatro Nuovo ...

...

Figura 8.34 Le informazioni da modellare per l'Esercizio 8.11.

- le partite si svolgono tra due squadre dello stesso torneo, in una certa data, in un certo stadio e hanno un risultato finale;
- si vogliono registrare i giocatori che giocano nelle varie partite e il ruolo ricoperto (che è lo stesso in una partita ma può variare in partite diverse).

Indicare gli eventuali vincoli di integrità che non è possibile rappresentare nello schema.

8.13 Estendere lo schema concettuale ottenuto in risposta alla domanda precedente, per tenere conto delle seguenti specifiche aggiuntive (mostrare separatamente i due frammenti di schema necessari per rappresentare le modifiche).

1. È di interesse rappresentare l'evoluzione temporale della classifica (una squadra può avere due punti un certo giorno e quattro in un altro).
2. I tornei si ripetono negli anni e ogni squadra partecipa a un torneo all'anno, con giocatori eventualmente diversi.

8.14 Si consideri la seguente schematizzazione di alcune prenotazioni aeree:

Prenotazione N. 1270

Passeggeri

Mario Rossi	(Cod.1230)	Tel.	06/45531123
Lucia Neri	(Cod.1231)	Tel.	06/64352134
Piero Rossi	(Cod.1232)		

Itinerario

	Da	A	Data	Ora	NumeroVolo	Aeromobile	Classe
1.	FCO	LHR	11/03/2008	07:50	AZ024	A321	V
2.	LHR	MAN	11/03/2008	11:30	BA233	M80X	F
3.	LHR	FCO	18/03/2008	11:50	AZ175	A320	C

Prenotazione N.1343

Passeggeri

Giulio Rossi	(Cod.1343)	Tel.	06/45521123
--------------	------------	------	-------------

Itinerario

	Da	A	Data	Ora	NumeroVolo	Aeromobile	Classe
1.	FCO	LHR	12/04/2008	08:20	AZ024	A321	G
2.	LHR	FCO	21/04/2008	13:50	AZ175	A320	C

Prenotazione N.1777

Passeggeri

Mario Rossi	(Cod.1230)	Tel.	06/45521123
-------------	------------	------	-------------

Itinerario

	Da	A	Data	Ora	NumeroVolo	Aeromobile	Classe
1.	FCO	LHR	12/04/2008	08:20	AZ024	A321	G
2.	LHR	FCO	21/04/2008	13:50	AZ175	A320	C

Si tenga conto a riguardo delle seguenti precisazioni:

- per ogni passeggero esistono codice (identificativo), cognome, nome e numero di telefono che è opzionale ed è lo stesso in tutte le prenotazioni;
- le colonne Da e A contengono codici di aeroporti, per i quali sono memorizzati anche il nome e la città (per esempio, a "FCO" sono associati "Fiumicino" come nome e "Roma" come città);
- il numero del volo (per esempio "AZ024") è costituito dal codice della compagnia (per la quale interessa anche il nome; per esempio "AZ" è il codice della compagnia il cui nome è "Alitalia") e da un intero;

- un volo con un certo NumeroVolo ha sempre gli stessi aeroporti di partenza e di arrivo (Da e A) e lo stesso tipo di aeromobile (colonna Aeromobile), ma può avere orario diverso in date diverse; per il tipo di aeromobile al codice (mostrato nella scheda, per esempio "A321") è associato un nome (nell'esempio potrebbe essere "airbus 321");
- la colonna Classe contiene un codice (della "classe di prenotazione") che, come si vede dai dati, è specificatamente associato a volo e prenotazione; per ogni valore di tale codice è memorizzata una descrizione.

Con riferimento alla corrispondente realtà definire uno schema concettuale che la descriva limitandosi agli aspetti che vengono citati e mostrando sia le cardinalità delle relazioni sia gli identificatori delle entità.

8.15 Mostrare lo schema concettuale per una base di dati per un programma di concerti, secondo le specifiche seguenti.

- Ogni concerto ha un codice, un titolo e una descrizione ed è composto da una sequenza (ordinata) di pezzi musicali.
- Ogni pezzo ha un codice, un titolo e un autore (con codice e nome); uno stesso pezzo può essere rappresentato in diversi concerti.
- Ogni concerto è eseguito da un'orchestra: ogni orchestra ha un nome, un direttore (del quale interessano solo nome e cognome) e un insieme di orchestrali.
- Ogni orchestrale ha una matricola (univoca nell'ambito della base di dati), nome e cognome, può partecipare a più orchestre, in ciascuna delle quali suona uno e un solo strumento, ma in orchestre diverse può suonare strumenti diversi.
- Ogni concerto è tenuto più volte, in giorni diversi, ma sempre nella stessa sala.
- Ogni sala ha un codice, un nome e una capienza.

8.16 In Figura 8.35 è mostrata una schematizzazione del catalogo dei viaggi di studio all'estero proposti da un operatore del settore. Con riferimento a essa definire uno schema concettuale (nel modello ER) che descriva la realtà d'interesse. Limitarsi agli aspetti che vengono espressamente mostrati, introducendo tutt'al più, ove lo si ritenga necessario, opportuni codici identificativi; mostrare le cardinalità delle relazioni e gli identificatori delle entità.

8.17 Definire uno schema E-R che descriva i dati di una applicazione relativa alla gestione ed evasione degli ordini da parte di una azienda, secondo le seguenti specifiche.

- L'azienda riceve gli ordini emessi dai clienti (ognuno dei quali ha numero di partita IVA, che identifica ragione sociale, indirizzo e percentuale di sconto). Ogni ordine ha un numero (attribuito dal cliente), indica il nome di un referente interno del cliente che può essere lo stesso per tutti gli ordini) e richiede uno o più prodotti, per ciascuno dei quali indica una quantità e una sede di destinazione (in quanto ciascun cliente può, anche nell'ambito di uno stesso ordine, richiedere che i vari prodotti siano consegnati in sedi diverse; per esempio: "tre calcolatori X386, due stampanti Z322 a via Roma 103 e due calcolatori X343 e una stampante Z320 a Corso Garibaldi 12". A ogni ordine viene assegnato, dall'azienda, all'atto della ricezione, un numero progressivo identificante. Ogni sede di destinazione viene rappresentata da un codice e un indirizzo e non ha correlazione formale con il cliente.
- Gli ordini vengono evasi attraverso consegne, ognuna delle quali è relativa a un unico cliente e un'unica sede di destinazione, ma può riferirsi a più ordini. Ogni ordine, a sua volta, è soddisfatto attraverso una o più consegne.

Cambridge Aeroporto: Heathrow *Esame:* PET

King's College — 101 King's Street — Tel: +44 123 6667777

15 ore di lezione a settimana

Periodo	Prezzo
1/7-15/07/2010	1500
15/7-29/7/2010	1700
29/7-13/8/2010	1650

Sconto seconda quindicina 10%

Sconto gruppi 15%

Queen's College — 1021 Queen's Road — Tel: +44 123 7665433

20 ore di lezione a settimana

Periodo	Prezzo
5/7-19/07/2010	1400
19/7-2/8/2010	1600
...	...

Sconto seconda quindicina 10%

Sconto fratelli 8%

Oxford Aeroporto: Heathrow *Esame:* Trinity

Prince College — 1021 St.John's Road — Tel: +44 125 6765443

18 ore di lezione alla settimana

Periodo	Prezzo
4/7-18/07/2010	1200
...	...

Sconto gruppi 10%

*seguono altri college***Stirling Aeroporto:** Edimburgo *Esame:* Trinity*seguono altri college**seguono altre località***Informazioni generali, per tutte le località***Esami:*

Pet: 30 euro

Trinity: 35 Euro

Voli:

	Heatrow	Edimburgo	Dublino
Roma	450	600	500
Milano	400	550	430
Palermo	550	700	650

Figura 8.35 Le informazioni da modellare per l'Esercizio 8.16

Per ogni consegna sono rilevanti la data, l'ora e il numero di bolla di accompagnamento. L'azienda ha vari mezzi di trasporto (identificati ognuno da un codice e senza ulteriori proprietà di interesse), ognuno dei quali effettua al più un giro di consegne al giorno, per il quale è d'interesse l'ora di uscita dal magazzino.

- Ogni prodotto ha un codice identificante, un nome e un prezzo unitario. I prodotti si dividono in due categorie: inventariabili (per i quali ciascun esemplare ha un numero di matricola di cui si deve tenere traccia nell'ambito della consegna) e di consumo (per i quali è sufficiente far riferimento alle quantità).
- Quando un ordine è stato completamente evaso, viene emessa la fattura, che ha un numero progressivo, una data e un importo.

Indicare le cardinalità delle relazioni, (almeno) un identificatore per ciascuna entità e i vincoli non esprimibili per mezzo dello schema. Indicare se è necessario formulare delle ipotesi aggiuntive alle specifiche descritte, senza contraddirle. Limitare le relazioni ridondanti che secondo le specifiche potrebbero essere presenti: per esempio, è evidente che i prodotti sono associati agli ordini e alle consegne (compaiono su vari documenti, ordini, bolle e fatture) ma si richiede di rappresentare tutti i concetti di interesse senza ripeterli. Specificatamente si può pensare di associare i prodotti agli ordini solo inizialmente, per poi associarli alle consegne che, essendo comunque legate agli ordini stessi, permettono di ricostruire l'informazione originaria; per le stesse ragioni, è inopportuno associare i prodotti alle fatture (anche se sulla fattura sono elencati, ma è possibile ricostruire l'elenco per altra via).

8.18 Definire uno schema E-R che descriva informazioni relative a sale cinematografiche di una città, secondo le seguenti specifiche.

- Ogni cinema ha un nome che lo identifica univocamente, un indirizzo e un numero di telefono. Un cinema è organizzato in più sale, ognuna delle quali ha un codice che la distingue (nell'ambito del cinema) e un numero fissato di posti.
- Per ogni sala interessa la programmazione di una sola giornata (quella odier- na, senza traccia di quelle passate e future) che consiste in un elenco di proiezioni di film (eventualmente anche diversi), ognuna delle quali ha un orario di inizio.
- Per ogni film si registrano il titolo, il genere (codice e nome descrittivo), la nazionalità (una semplice stringa) e il regista (con codice identificativo, nome, cognome e anno di nascita).

8.19 Estendere lo schema concettuale proposto in risposta alla domanda precedente per rappresentare anche le seguenti specifiche:

- i posti di ciascuna sala sono numerati;
- per ogni proiezione è possibile effettuare prenotazioni, ognuna delle quali ha un codice identificativo, un nominativo e un insieme di posti.

8.20 Mostrare lo schema concettuale di una base di dati per la gestione di articoli di una rivista scientifica secondo le seguenti specifiche.

- Gli articoli hanno un titolo, un sottotitolo, uno o più autori e un testo (una stringa molto grande, ma comunque gestibile).
- Gli autori hanno nome, cognome, -email e affiliazione (l'istituzione per la quale lavorano).
- Per ogni istituzione (degli autori) sono d'interesse il nome, l'indirizzo e la nazione.

- La rivista viene pubblicata un certo numero di volte in un anno. Le pubblicazioni di un anno vengono raccolte in un volume (a cui viene dato un titolo complessivo). Ogni pubblicazione ha un numero, unico nel rispettivo volume, una data di pubblicazione e una serie di articoli, per ognuno dei quali viene registrata la pagina di inizio e quella di fine.

8.21 Estendere lo schema concettuale ottenuto in risposta alla domanda precedente, per rappresentare l'attività di selezione degli articoli, sulla base delle seguenti specifiche aggiuntive.

- La rivista riceve proposte, per le quali sono d'interesse le stesse informazioni registrate per gli articoli, oltre che la data di presentazione.
- Ogni proposta viene revisionata da due o più esperti (per i quali sono d'interesse le stesse informazioni degli autori; si noti che gli autori possono essere esperti e viceversa, ma ovviamente un esperto non può revisionare una propria proposta), che assegnano alla proposta un punteggio tra 0 e 10 e forniscono un commento (un semplice testo).
- Le proposte che ricevono un punteggio medio superiore a 7 diventano articoli da pubblicare e hanno a quel punto una data di accettazione.

Indicare gli eventuali vincoli di integrità che non sia possibile rappresentare nello schema.

L'obiettivo della progettazione logica è quello di costruire uno schema logico in grado di descrivere, in maniera corretta ed efficiente, tutte le informazioni contenute nello schema Entità-Relazione prodotto nella fase di progettazione concettuale. Diciamo subito che non si tratta di una semplice traduzione da un modello a un altro perché, prima di passare allo schema logico, lo schema Entità-Relazione va ristrutturato per soddisfare due esigenze: quella di "semplificare" la traduzione e quella di "ottimizzare" il progetto. La semplificazione dello schema si rende necessaria perché non tutti i costrutti del modello Entità-Relazione hanno una traduzione naturale nei modelli logici. Per esempio, mentre un'entità può essere facilmente rappresentata da una relazione del modello relazionale (avente gli stessi attributi dell'entità), per le generalizzazioni esistono varie alternative. Inoltre, mentre la progettazione concettuale ha come obiettivo la rappresentazione accurata e naturale dei dati d'interesse dal punto di vista del significato che hanno nell'applicazione, la progettazione logica costituisce la base per l'effettiva realizzazione dell'applicazione e deve tenere conto, per quanto possibile, delle sue prestazioni: questa necessità può portare a una ristrutturazione dello schema concettuale che renda più efficiente l'esecuzione delle operazioni previste. Pertanto, è necessario prevedere sia un'attività di *riorganizzazione*, sia un'attività di *traduzione* (dal modello concettuale a quello logico). Nel resto di questo capitolo, dopo un breve inquadramento metodologico, presenteremo separatamente queste due attività. Come premessa parleremo degli strumenti e delle tecniche che si possono usare per analizzare le prestazioni di una base di dati facendo riferimento al suo schema concettuale.

9.1 Fasi della progettazione logica

Le attività principali della progettazione logica sono la riorganizzazione dello schema concettuale e la traduzione in un modello logico. Poiché la riorganizzazione può essere in buona misura discussa indipendentemente dal modello logico, è utile di solito articolare la progettazione logica in due fasi, come schematizzato in Figura 9.1.

- **Ristrutturazione dello schema Entità-Relazione:** è una fase indipendente dal modello logico scelto e si basa su criteri di ottimizzazione dello schema e di semplificazione della fase successiva.
- **Traduzione verso il modello logico:** fa riferimento a uno specifico modello logico (nel nostro caso il modello relazionale) e può includere una ulteriore ottimizzazione che si basa sulle caratteristiche del modello logico stesso.

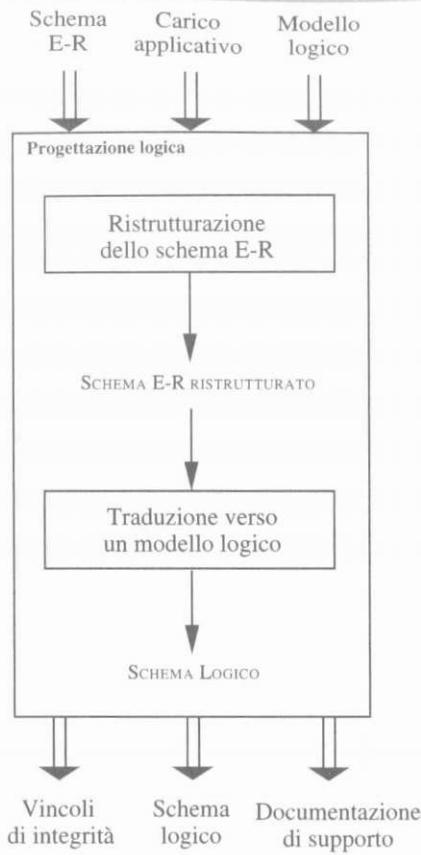


Figura 9.1 Progettazione logica di basi di dati

I dati di ingresso della prima fase sono lo schema concettuale prodotto nella fase precedente e il *carico applicativo* previsto, in termini di dimensione dei dati e caratteristiche delle operazioni. Il risultato che si ottiene è uno schema E-R ristrutturato, che non è più uno schema concettuale nel senso stretto del termine, in quanto costituisce una rappresentazione dei dati che tiene conto degli aspetti realizzativi. Questo schema e il modello logico scelto costituiscono i dati di ingresso della seconda fase, che produce lo schema logico della nostra base di dati. In questa seconda fase è possibile effettuare verifiche della qualità dello schema ed eventuali ulteriori ottimizzazioni mediante tecniche basate sulle caratteristiche del modello logico. La tecnica usata nell'ambito del modello relazionale (*la normalizzazione*) verrà studiata separatamente nel Capitolo 11. Lo schema logico finale, i vincoli di integrità definiti su di esso e la relativa documentazione, costituiscono i prodotti finali della progettazione logica.

9.2 Analisi delle prestazioni su schemi E-R

Abbiamo detto che uno schema E-R può essere modificato per ottimizzare alcuni *indici di prestazione* del progetto. Parliamo di indici di prestazione e non di prestazioni perché, in realtà, le prestazioni di una base di dati non sono valutabili in maniera precisa in sede di progettazione logica, in quanto dipendenti anche da parametri fisici: dal sistema di gestione di basi di dati che verrà utilizzato e da altri fattori difficilmente prevedibili in questa fase. È comunque possibile, facendo uso di alcune schematizzazioni, effettuare studi di massima dei due parametri che generalmente regolano le prestazioni dei sistemi software:

- **costo di una operazione:** viene valutato in termini di numero di occorrenze di entità e associazioni¹ che mediamente vanno visitate per rispondere a una operazione sulla base di dati; questa schematizzazione è molto forte e, pur nelle semplici valutazioni che svilupperemo, sarà talvolta necessario riferirci a un criterio più fine;
- **occupazione di memoria:** viene valutato in termini dello spazio di memoria (misurato per esempio in numero di byte) necessario per memorizzare i dati descritti dallo schema.

Per studiare questi parametri abbiamo bisogno di conoscere, oltre allo schema, le seguenti informazioni.

- **Volume dei dati.** Vale a dire:

- numero di occorrenze di ogni entità e associazione dello schema;
- dimensioni di ciascun attributo (di entità o associazione).

- **Caratteristiche delle operazioni.** Vale a dire:

- tipo dell'operazione (interattiva o *batch*);
- frequenza (numero medio di esecuzioni in un certo intervallo di tempo);
- dati coinvolti (entità e/o associazioni).

Per fare un esempio pratico, riprendiamo uno schema già incontrato che riportiamo, per comodità, in Figura 9.2. Trattandosi di uno schema riguardante dati sul personale di un'azienda, le operazioni possibili potrebbero essere quelle che seguono.

Operazione 1: assegna un impiegato a un progetto.

Operazione 2: trova i dati di un impiegato, del dipartimento nel quale lavora e dei progetti ai quali partecipa.

Operazione 3: trova i dati di tutti gli impiegati di un certo dipartimento.

Operazione 4: per ogni sede, trova i suoi dipartimenti con il cognome del direttore e l'elenco degli impiegati del dipartimento.

¹ Per non generare confusione tra i due concetti, in tutto questo capitolo useremo sempre il termine *associazione*, per indicare una relazione del modello E-R, e *relazione*, per indicare una relazione del modello relazionale.

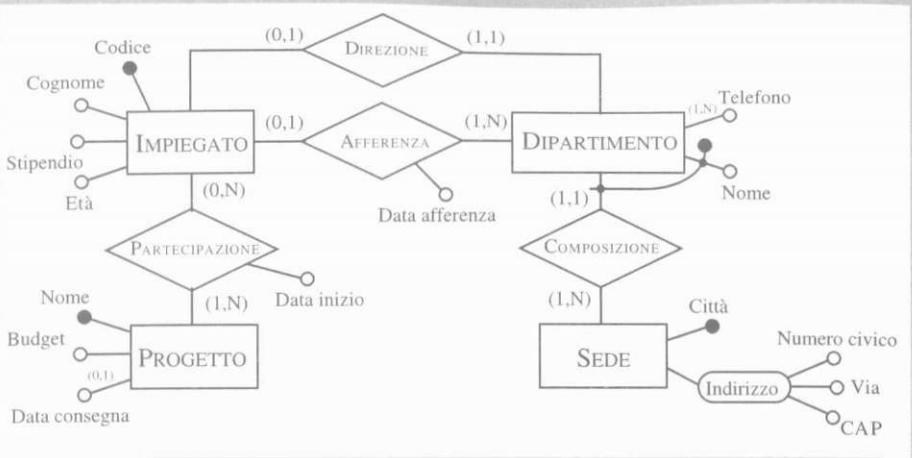


Figura 9.2 Uno schema E-R sul personale di un'azienda

Sebbene un'analisi delle prestazioni che fa riferimento a un numero ristretto di operazioni può sembrare riduttiva rispetto al reale carico della base di dati, va notato che le operazioni sulle basi di dati seguono la cosiddetta regola “ottanta–venti”. In base a questa regola, l'ottanta per cento del carico è generato dal venti per cento delle operazioni. Questo fatto ci consente di valutare adeguatamente il carico concentrandoci solo sulle operazioni principali previste.

Il volume dei dati e le caratteristiche generali delle operazioni possono essere descritti facendo uso di tabelle come quelle in Figura 9.3. Nella *tavola dei volumi* vengono riportati tutti i concetti dello schema (entità e associazioni) con il volume

Tavola dei volumi

Concetto	Tipo	Volume
Sede	E	10
Dipartimento	E	80
Impiegato	E	2000
Progetto	E	500
Composizione	R	80
Afferenza	R	1900
Direzione	R	80
Partecipazione	R	6000

Tavola delle operazioni

Operazione	Tipo	Frequenza
Op. 1	I	50 al giorno
Op. 2	I	100 al giorno
Op. 3	I	10 al giorno
Op. 4	B	2 a settimana

Figura 9.3 Esempio di tavole dei volumi e delle operazioni

previsto a regime. Nella *tavola delle operazioni* riportiamo, per ogni operazione, la frequenza prevista e un simbolo che indica se l'operazione è interattiva (I) o batch (B). Nella tavola dei volumi, il numero delle occorrenze delle associazioni dipende da due parametri: il numero di occorrenze delle entità coinvolte nelle associazioni e il numero (medio) di partecipazioni di una occorrenza di entità alle occorrenze di associazioni. Il secondo parametro dipende a sua volta dalle cardinalità delle associazioni. Per esempio, il numero di occorrenze dell'associazione COMPOSIZIONE è pari al numero dei dipartimenti, perché le cardinalità ci dicono che un dipartimento appartiene a una sola sede. Il numero di occorrenze dell'associazione AFFERENZA è invece poco meno del numero degli impiegati, perché dalle cardinalità si evince che ci sono impiegati che non afferiscono a nessun dipartimento. Infine, assumendo che un impiegato partecipa in media a tre progetti, abbiamo $2000 \times 3 = 6000$ occorrenze per l'associazione PARTECIPAZIONE (e quindi $6000/500 = 12$ impiegati in media su ogni progetto).

Per ogni operazione, possiamo inoltre descrivere graficamente i dati coinvolti con uno *schema di operazione* che consiste nel frammento dello schema E-R interessato dall'operazione, sul quale viene disegnato il “cammino logico” da percorrere per accedere alle informazioni d'interesse. Un esempio di schema di operazione viene proposto in Figura 9.4 con riferimento all'operazione 2: per ottenere le informazioni d'interesse su un impiegato si parte dall'entità IMPIEGATO per accedere, attraverso l'associazione AFFERENZA, al suo dipartimento e, attraverso l'associazione PARTECIPAZIONE, ai progetti ai quali partecipa. Avendo a disposizione queste informazioni, è possibile fare una stima del costo di un'operazione sulla base di dati contando il numero di accessi alle occorrenze di entità e associazioni necessario per eseguire l'operazione. Consideriamo ancora l'operazione 2: facendo riferimento allo schema di operazione dobbiamo innanzitutto accedere a una occorrenza dell'entità IMPIEGATO per accedere poi a una occorrenza dell'associazione AFFERENZA (infatti ogni impiegato afferisce al più a un dipartimento) e, attraverso questa, a una occorrenza dell'entità DIPARTIMENTO.

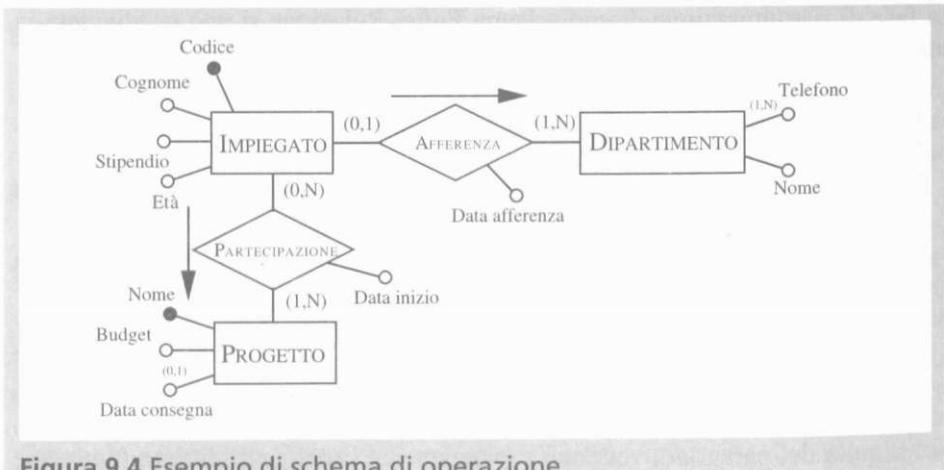


Figura 9.4 Esempio di schema di operazione

Tavola degli accessi

Concetto	Costrutto	Accessi	Tipo
Impiegato	Entità	1	L
Afferenza	Relazione	1	L
Dipartimento	Entità	1	L
Partecipazione	Relazione	3	L
Progetto	Entità	3	L

Figura 9.5 Tavola degli accessi per l'operazione 2

Successivamente, per conoscere i dati dei progetti ai quali lavora, dobbiamo accedere a tre occorrenze dell'associazione PARTECIPAZIONE (perché abbiamo detto che in media un impiegato lavora su tre progetti) e, attraverso queste, a tre occorrenze dell'entità PROGETTO (per avere i dati sui progetti). Tutto questo può essere riassunto in una *tavola degli accessi* come quella riportata in Figura 9.5. Nell'ultima colonna di questa tabella viene riportato il tipo di accesso: L per accesso in lettura e S per accesso in scrittura. Questa distinzione va fatta perché, generalmente, le operazioni di scrittura sono più onerose di quelle in lettura (in quanto devono essere eseguite in modo esclusivo e possono richiedere l'aggiornamento di *indici*, che sono strutture ausiliarie per l'accesso efficiente ai dati). Nel prossimo paragrafo vedremo come questi strumenti di analisi possono essere utilizzati per prendere delle decisioni durante la ristrutturazione di schemi Entità-Relazione.

9.3 Ristrutturazione di schemi E-R

La fase di ristrutturazione di uno schema Entità-Relazione si può suddividere in una serie di passi da effettuare in sequenza (Figura 9.6).

- **Analisi delle ridondanze.** Si decide se eliminare o mantenere eventuali ridondanze presenti nello schema.
- **Eliminazione delle generalizzazioni.** Tutte le generalizzazioni presenti nello schema vengono analizzate e sostituite da altri costrutti.
- **Partizionamento/accorpamento di entità e associazioni.** Si decide se è opportuno partizionare concetti dello schema (entità e/o associazioni) in più concetti o, viceversa, accorpare concetti separati in un unico concetto.
- **Scelta degli identificatori principali.** Si seleziona un identificatore per quelle entità che ne hanno più di uno.

Nel seguito del paragrafo, vedremo separatamente i vari passi di ristrutturazione attraverso degli esempi pratici.

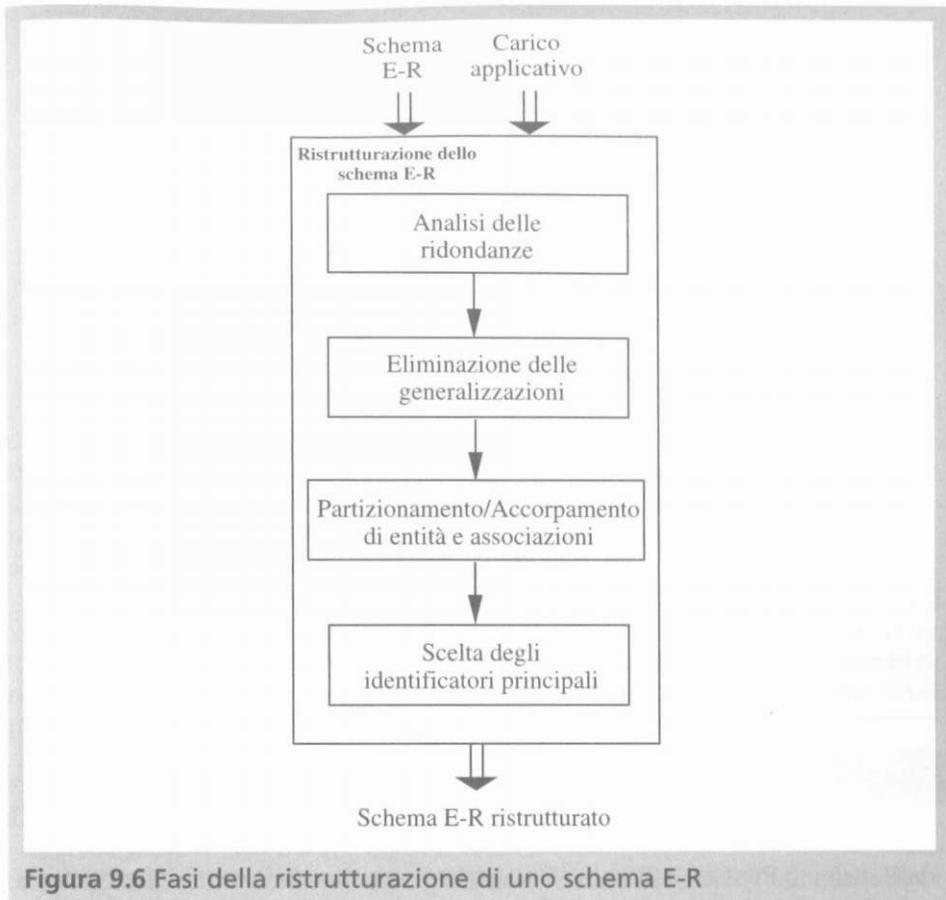


Figura 9.6 Fasi della ristrutturazione di uno schema E-R

9.3.1 Analisi delle ridondanze

Ricordiamo che una ridondanza in uno schema concettuale corrisponde alla presenza di un dato che può essere derivato (cioè ottenuto attraverso una serie di operazioni) da altri dati. In particolare, in uno schema Entità-Relazione si possono presentare varie forme di ridondanza. I casi più frequenti sono i seguenti.

- Attributi derivabili, occorrenza per occorrenza, da altri attributi della stessa entità (o associazione). Per esempio, il primo schema in Figura 9.7 consiste in una entità **FATTURA** nella quale uno degli attributi è deducibile dagli altri attraverso una operazione di somma o differenza.
- Attributi derivabili da attributi di altre entità (o associazioni), di solito attraverso funzioni aggregative. Un esempio di ridondanza di questo tipo è presente nel secondo schema in Figura 9.7, nel quale l'entità **ACQUISTO** ha un attributo **Importo totale** che si può derivare, attraverso l'associazione **COMPOSIZIONE**,

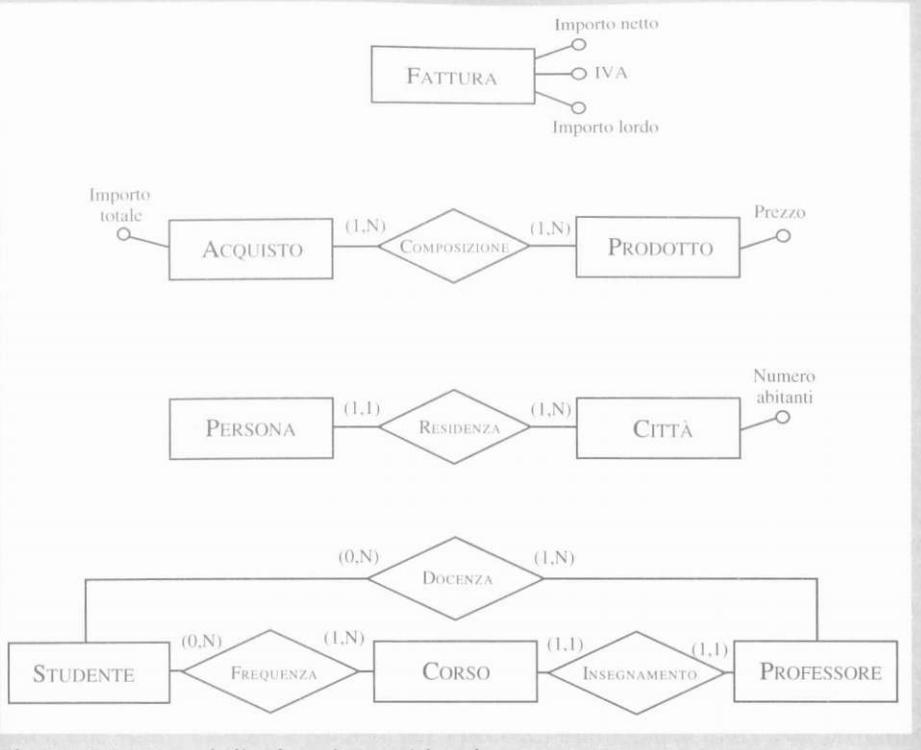


Figura 9.7 Esempi di schemi con ridondanze

dall'attributo **Prezzo** dell'entità **PRODOTTO**, sommando i prezzi dei prodotti di cui un acquisto è composto.

- Attributi derivabili da operazioni di conteggio di occorrenze. Per esempio, nel terzo schema in Figura 9.7 l'attributo **Numero di abitanti** di una città può essere derivato contando le occorrenze della associazione **Residenza** a cui tale città partecipa. Si tratta in effetti di una variante del caso precedente, che viene però discusso separatamente perché molto frequente in pratica.
- Associazioni derivabili dalla composizione di altre associazioni in presenza di cicli. L'ultimo schema in Figura 9.7 contiene un esempio di ridondanza di questo tipo: l'associazione **DOCENZA** tra studenti e professori può essere infatti derivata dalle associazioni **FREQUENZA** e **INSEGNAMENTO**. Va comunque precisato che la presenza di cicli non genera necessariamente ridondanze. Se per esempio, al posto dell'associazione **DOCENZA**, ci fosse stata in questo schema una associazione **TESI** rappresentante il legame tra studente e relatori (conceitto indipendente dal fatto che un professore è un docente dello studente) allora lo schema non sarebbe stato ridondante.

La presenza di un dato derivato presenta un vantaggio e alcuni svantaggi. Il vantaggio è una riduzione degli accessi necessari per calcolare il dato derivato, gli

Tavola dei volumi

Concetto	Tipo	Volume
Città	E	200
Persona	E	1 000 000
Residenza	R	1 000 000

Tavola delle operazioni

Operazione	Tipo	Frequenza
Op. 1	I	500 al giorno
Op. 2	I	2 al giorno

Figura 9.8 Tavole dei volumi e delle operazioni per lo schema in Figura 9.7 relativo a dati anagrafici

svantaggi sono una maggiore occupazione di memoria (che è comunque spesso un costo trascurabile) e la necessità di effettuare operazioni aggiuntive per mantenere il dato derivato aggiornato. La decisione di mantenere o eliminare una ridondanza va quindi presa confrontando costo di esecuzione delle operazioni che coinvolgono il dato ridondante e relativa occupazione di memoria, nei casi di presenza e assenza della ridondanza.

Vediamo, con un semplice esempio pratico, in che maniera gli strumenti di valutazione descritti nel paragrafo precedente possono essere usati per prendere una decisione di questo tipo. Consideriamo lo schema su persone e città in Figura 9.7 e supponiamo che faccia riferimento a una applicazione anagrafica di una regione italiana per la quale sono definite le seguenti operazioni principali.

Operazione 1: memorizza una nuova persona con la relativa città di residenza.

Operazione 2: stampa tutti i dati di una città (incluso il numero di abitanti).

Supponiamo inoltre che per questa applicazione i dati di carico siano quelli riportati in Figura 9.8.

A questo punto proviamo a valutare gli indici di prestazione in caso di presenza del dato ridondante (attributo Numero abitanti nell'entità CITTÀ).

Assumendo che il numero degli abitanti di una città richieda 4 byte (ampiamente sufficienti per memorizzare interi di 7 cifre), abbiamo che il dato ridondante richiede $4 \times 200 = 800$ byte, ovvero meno di 1 kilobyte di memoria aggiuntiva. Passiamo ora alla stima del costo delle operazioni. Come descritto nella tavola degli accessi in Figura 9.9, l'operazione 1 richiede un accesso in scrittura all'entità PERSONA (per memorizzare una nuova persona), un accesso in scrittura all'associazione RESIDENZA (per memorizzare una nuova coppia persona–città) e infine un accesso in lettura (per cercare la città d'interesse) e uno in scrittura (per incrementare di uno il numero degli abitanti di quella occorrenza) all'entità CITTÀ, il tutto ripetuto per 500 volte al giorno, per un totale di 1500 accessi in scrittura e 500 accessi in lettura. Il costo dell'operazione 2 è praticamente trascurabile perché richiede un solo accesso in lettura all'entità CITTÀ da ripetere due volte al giorno. Supponendo che un accesso in scrittura abbia un costo doppio rispetto a un accesso in lettura, abbiamo un totale di 3500 accessi al giorno in caso di presenza di dato ridondante.

Tavole degli accessi in presenza di ridondanza

Operazione 1			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Persona	E	1	S
Residenza	R	1	S
Città	E	1	L
Città	E	1	S

Operazione 2			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Città	E	1	L

Tavole degli accessi in assenza di ridondanza

Operazione 1			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Persona	E	1	S
Residenza	R	1	S

Operazione 2			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Città	E	1	L
Residenza	R	5000	L

Figura 9.9 Tavole degli accessi per lo schema su dati anagrafici in Figura 9.7

Consideriamo ora il caso in cui il dato ridondante sia assente. Per l'operazione 1 abbiamo bisogno di un accesso in scrittura all'entità PERSONA e un accesso in scrittura all'associazione RESIDENZA (non c'è infatti bisogno di accedere all'entità CITTÀ per aggiornare il dato derivato), per un totale di 1000 accessi in scrittura al giorno. Per l'operazione 2 abbiamo invece bisogno di un accesso in lettura all'entità CITTÀ (per avere i dati della città), che possiamo trascurare, e di 5000 accessi in lettura all'associazione RESIDENZA in media (ottenuto dividendo il numero di persone per il numero di città) per calcolare il numero di abitanti di questa città, per un totale di 10 000 accessi in lettura al giorno. Contando doppi gli accessi in scrittura abbiamo un totale di 12 000 accessi al giorno in caso di dato ridondante assente. Quindi, circa 8500 accessi giornalieri in più rispetto al caso di dato ridondante presente contro un risparmio di un solo kilobyte. Questo dipende dal fatto che gli accessi in lettura necessari per calcolare il dato derivato sono molti di più degli accessi in scrittura necessari per mantenerlo aggiornato. Possiamo quindi concludere che conviene, in questo caso, mantenere il dato ridondante.

9.3.2 Eliminazione delle generalizzazioni

Dato che i sistemi tradizionali per la gestione delle basi di dati non consentono di rappresentare direttamente una generalizzazione, risulta spesso necessario trasformare questo costrutto in altri costrutti del modello E-R per i quali esiste invece una implementazione naturale: le entità e le associazioni.

Per rappresentare una generalizzazione mediante entità e associazioni abbiamo essenzialmente tre alternative possibili. Per presentare queste alternative,

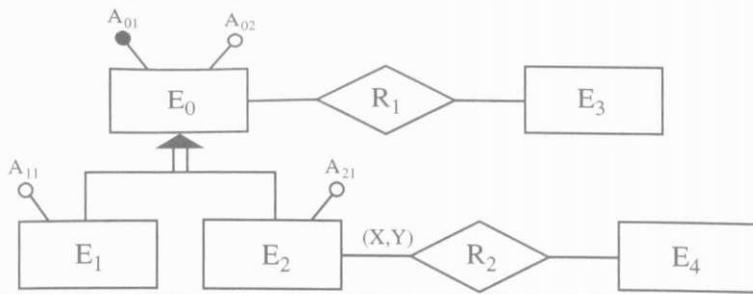


Figura 9.10 Esempio di schema con generalizzazione

faremo riferimento allo schema E-R generico in Figura 9.10 che contiene una generalizzazione e alcune associazioni tra entità.

I metodi per eliminare la generalizzazione di questo schema sono mostrati in Figura 9.11 e si ottengono attraverso le seguenti ristrutturazioni.

- (1) **Accorpamento delle figlie della generalizzazione nel genitore.** Le entità E_1 ed E_2 vengono eliminate e le loro proprietà (attributi e partecipazioni ad associazioni e generalizzazioni) vengono aggiunte all'entità genitore E_0 . A tale entità viene aggiunto un ulteriore attributo che serve a distinguere il “tipo” di una occorrenza di E_0 , cioè se tale occorrenza apparteneva a E_1 , a E_2 o, nel caso di generalizzazione non totale, a nessuna di esse. Se per esempio una generalizzazione tra l'entità PERSONA e le entità UOMO e DONNA viene ristrutturata in questo modo, all'entità PERSONA va aggiunto l'attributo Sesso per mantenere la distinzione tra le occorrenze di tale entità che la generalizzazione originaria rappresentava. Con riferimento al primo schema di Figura 9.11, si osservi che gli attributi A_{11} e A_{21} possono assumere valori nulli (perché non significativi) per alcune occorrenze di E_0 e che la relazione R_2 avrà, in ogni caso, una cardinalità minima pari a 0 sull'entità E_0 (perché le occorrenze di E_2 sono solo un sottoinsieme delle occorrenze di E_0).
- (2) **Accorpamento del genitore della generalizzazione nelle figlie.** L'entità genitore E_0 viene eliminata e, per la proprietà dell'ereditarietà, i suoi attributi, il suo identificatore e le relazioni a cui tale entità partecipava, vengono aggiunti alle entità figlie E_1 ed E_2 . Le relazioni R_{11} e R_{12} rappresentano rispettivamente la restrizione della relazione R_1 sulle occorrenze delle entità E_1 ed E_2 . Se per esempio una generalizzazione tra l'entità PERSONA, avente Cognome ed Età come attributi e Codice Fiscale come identificatore, e le entità UOMO e DONNA viene ristrutturata in questo modo, alle entità UOMO e DONNA vanno aggiunti gli attributi Cognome ed Età e l'identificatore Codice Fiscale.
- (3) **Sostituzione della generalizzazione con associazioni.** La generalizzazione si trasforma in due associazioni uno a uno che legano rispettivamente l'entità genitore con le entità figlie E_1 ed E_2 . Non ci sono trasferimenti di attributi o associazioni e le entità E_1 ed E_2 sono identificate esternamente dall'entità E_0 .

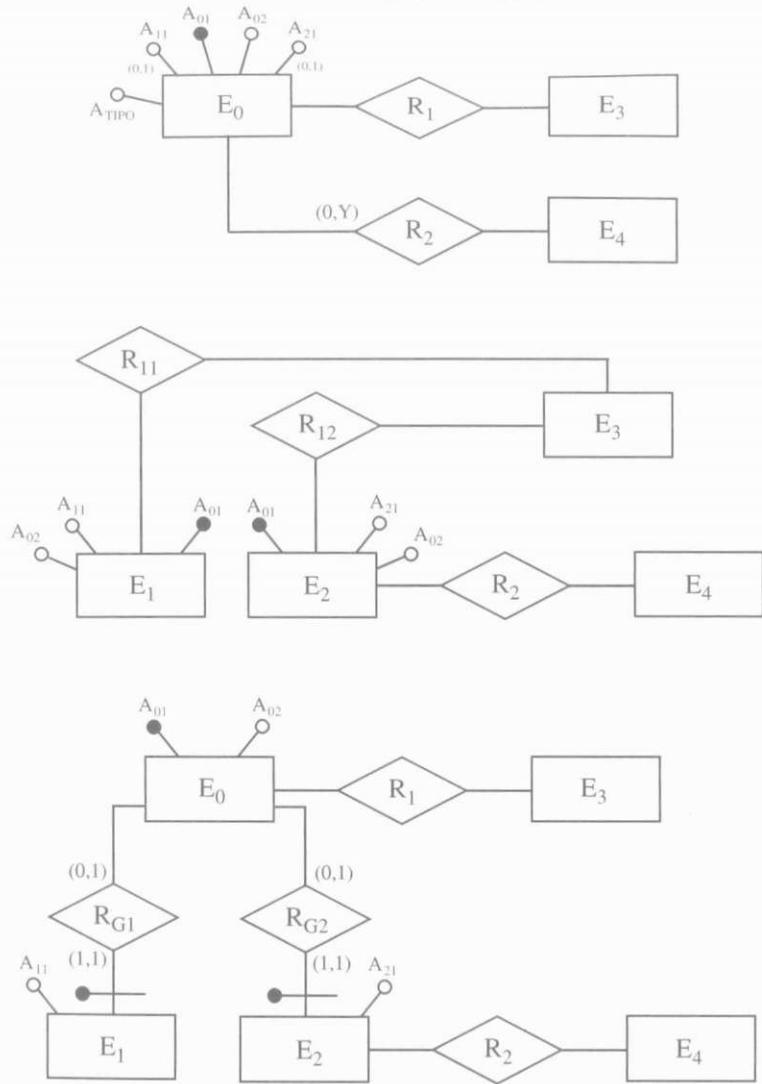


Figura 9.11 Possibili ristrutturazioni dello schema in Figura 9.10

Nello schema ottenuto vanno aggiunti però dei vincoli: ogni occorrenza di E_0 non può partecipare contemporaneamente a R_{G1} e R_{G2} ; inoltre, se la generalizzazione è totale, ogni occorrenza di E_0 deve partecipare o a un'occorrenza di R_{G1} oppure a un'occorrenza di R_{G2} .

La scelta tra le varie alternative può essere fatta in maniera analoga a quanto fatto per i dati derivati, considerando vantaggi e svantaggi di ognuna delle scelte

possibili relativamente alla occupazione di memoria e al costo delle operazioni coinvolte. È possibile comunque stabilire alcune regole di carattere generale.

- L'alternativa (1) è conveniente quando le operazioni non fanno molta distinzione tra le occorrenze e tra gli attributi di E_0 , E_1 ed E_2 . In questo caso infatti, anche se abbiamo uno spreco di memoria per la presenza di valori nulli, la scelta ci assicura un numero minore di accessi rispetto alle altre nelle quali le occorrenze e gli attributi sono distribuiti tra le varie entità.
- L'alternativa (2) è possibile solo se la generalizzazione è totale, altrimenti le occorrenze di E_0 che non sono occorrenze né di E_1 né di E_2 non sarebbero rappresentate. È conveniente quando ci sono operazioni che si riferiscono solo a occorrenze di E_1 oppure di E_2 , e dunque fanno delle distinzioni tra tali entità. In questo caso abbiamo un risparmio di memoria rispetto alla scelta (1), perché, in linea di principio, gli attributi non assumono mai valori nulli. Inoltre, c'è una riduzione degli accessi rispetto alla scelta (3) perché non si deve visitare E_0 per accedere ad alcuni attributi di E_1 ed E_2 .
- L'alternativa (3) è conveniente quando la generalizzazione non è totale (sebbene ciò non sia necessario) e ci sono operazioni che si riferiscono solo a occorrenze di E_1 (E_2) oppure di E_0 , e dunque fanno delle distinzioni tra entità figlia ed entità genitore. In questo caso abbiamo un risparmio di memoria rispetto alla scelta (1), per l'assenza di valori nulli, ma c'è un incremento degli accessi per mantenere la consistenza delle occorrenze rispetto ai vincoli introdotti.

C'è un aspetto importante da chiarire rispetto a quanto detto. La ristrutturazione delle generalizzazioni è un tipico caso per il quale il semplice conteggio delle istanze e degli accessi, non è sempre sufficiente per scegliere la migliore alternativa possibile. Infatti, da quanto detto, sembrerebbe che, sulla base di questi fattori, l'alternativa (3) non convenga quasi mai perché richiede molti più accessi a occorrenze delle altre per eseguire le operazioni sui dati. Questa ristrutturazione però ha il grosso vantaggio di generare entità con pochi attributi. Come vedremo, questo si traduce, a livello pratico, in strutture logiche (relazioni nel caso di sistemi per basi di dati relazionali) di piccole dimensioni per le quali un accesso fisico permette di recuperare molti dati (tuple) in una volta sola. In alcuni casi critici, va quindi effettuata una analisi più fine, che tiene conto di altri fattori quali le dimensioni dei domini degli attributi e la quantità di dati che è possibile recuperare con una sola operazione di accesso a memoria secondaria.

Le alternative viste non sono in effetti le uniche ammesse, ma è possibile effettuare ristrutturazioni che sono combinazioni delle tre trasformazioni presentate. Un esempio viene fornito in Figura 9.12, sempre con riferimento allo schema originale in Figura 9.10: in questo caso, in base a considerazioni analoghe a quelle discusse in precedenza, si è deciso di accorpate E_0 ed E_1 e di lasciare l'entità E_2 separata dalle altre. L'attributo A_{TIPO} è stato aggiunto per distinguere le occorrenze di E_0 da quelle di E_1 .

Per quanto riguarda infine le generalizzazioni su più livelli, si può procedere analogamente analizzando una generalizzazione alla volta a partire dal fondo dell'intera gerarchia. In base a quanto detto, sono possibili diverse configurazioni,

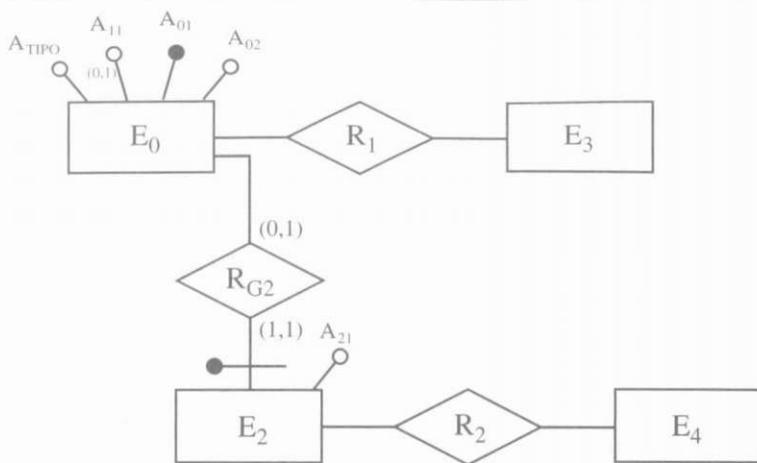


Figura 9.12 Possibile ristrutturazione dello schema in Figura 9.10

ottenibili per combinazione delle ristrutturazioni di base, sia a livello della singola generalizzazione, che lungo i vari livelli della gerarchia.

9.3.3 Partizionamento/accorpamento di concetti

Entità e associazioni in uno schema E-R possono essere partizionati o accorpati per garantire una maggior efficienza delle operazioni in base al seguente principio: gli accessi si riducono separando attributi di uno stesso concetto che vengono acceduti da operazioni diverse e raggruppando attributi di concetti diversi che vengono acceduti dalle medesime operazioni. Le stesse tecniche discusse per l'analisi delle generalizzazioni possono essere usate per prendere decisioni di questo tipo.

Partizionamenti di entità Un esempio di partizionamento di entità viene mostrato in Figura 9.13: l'entità IMPIEGATO viene sostituita da due entità, collegate da una associazione uno a uno, che descrivono rispettivamente i dati anagrafici degli impiegati e i dati relativi alla loro retribuzione. Questa ristrutturazione è conveniente se le operazioni che coinvolgono frequentemente l'entità originaria richiedono, per un impiegato, o solo informazioni di carattere anagrafico o solo informazioni relative alla sua retribuzione.

Un partizionamento di questo tipo è un esempio di *decomposizione verticale* di una entità, nel senso che si suddivide il concetto operando sui suoi attributi. È comunque possibile effettuare anche delle *decomposizioni orizzontali* nelle quali la suddivisione avviene sulle occorrenze dell'entità. Per esempio, per l'entità IMPIEGATO ci potrebbero essere alcune operazioni che riguardano soltanto gli *analisti* e altre che operano solo sui *venditori*. Anche in questo caso può convenire decomporre l'entità in due entità distinte ANALISTA e VENDITORE. In

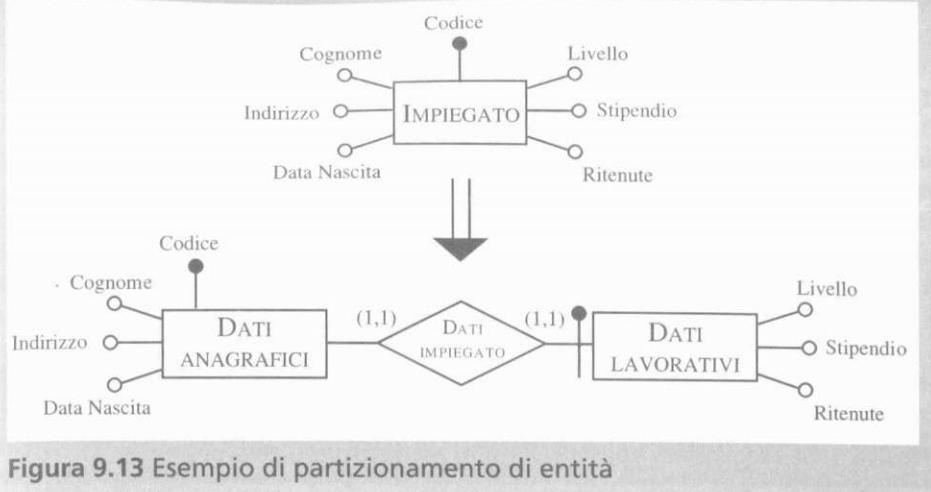


Figura 9.13 Esempio di partizionamento di entità

questo caso però le entità ottenute hanno gli stessi attributi dell'entità di partenza. È interessante osservare come una decomposizione orizzontale corrisponda all'introduzione di una generalizzazione a livello logico.

I partizionamenti orizzontali hanno un effetto collaterale: quello di dover duplicare tutte le associazioni a cui l'entità originaria partecipa. Questo fenomeno può avere delle ripercussioni negative sulle prestazioni del sistema. D'altra parte, i partizionamenti verticali generano entità con pochi attributi che possono essere tradotte in strutture logiche sulle quali, con un solo accesso, è possibile recuperare molti dati. Come per le generalizzazioni, anche in questo caso il semplice conteggio delle occorrenze e degli accessi, non è sempre sufficiente per scegliere la migliore alternativa possibile. Il problema del partizionamento dei dati viene ulteriormente discusso nel secondo volume, nel capitolo dedicato alle basi di dati distribuite.

Eliminazione di attributi multivalue Un particolare tipo di partizionamento che è opportuno trattare a parte è quello che riguarda l'eliminazione di attributi multivalue. Questa ristrutturazione si rende necessaria perché, come per le generalizzazioni, il modello relazionale non permette di rappresentare in maniera diretta questo tipo di attributo.

Il tipo di ristrutturazione necessario è piuttosto semplice e viene illustrato dall'esempio in Figura 9.14.

L'entità **AGENZIA** avente l'attributo multivalue **Telefono** viene partizionata in due entità: una entità con lo stesso nome e gli stessi attributi dell'entità originale eccetto l'attributo multivalue, e l'entità **TELEFONO**, con il solo attributo **Numero**, legata mediante una associazione uno a molti con l'entità **AGENZIA**. Ovviamente, se l'attributo fosse stato anche opzionale, allora la cardinalità minima per l'entità **AGENZIA** nello schema risultato sarebbe stata pari a zero.

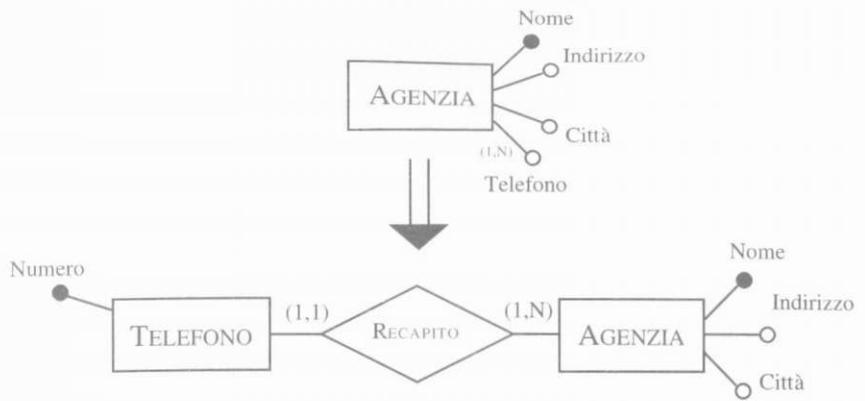


Figura 9.14 Esempio di eliminazione di attributo multivalue

Accorpamento di entità L'accorpamento è l'operazione inversa del partizionamento. Un esempio di accorpamento di entità viene mostrato in Figura 9.15 nella quale le entità PERSONA e APPARTAMENTO, legate dall'associazione uno a uno INTESTAZIONE, vengono accorpate in un'unica entità contenente gli attributi di entrambi. Questa ristrutturazione può essere suggerita dal fatto che le operazioni più frequenti sull'entità PERSONA richiedono sempre i dati relativi all'appartamento che occupa e vogliamo quindi risparmiare gli accessi necessari per risalire a questi dati attraverso l'associazione che li lega. Un effetto collaterale di questa ristrutturazione è la possibile presenza di valori nulli dovuta al fatto che le cardinalità ci dicono che ci sono persone che non sono intestatari di nessun

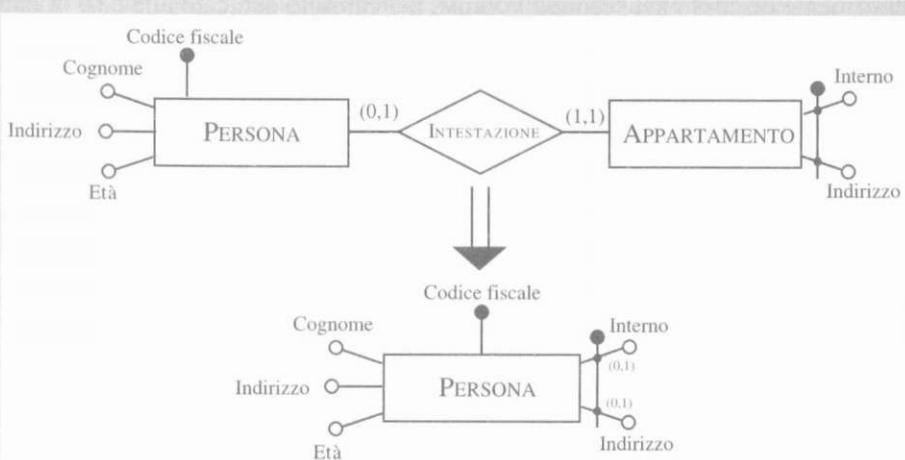
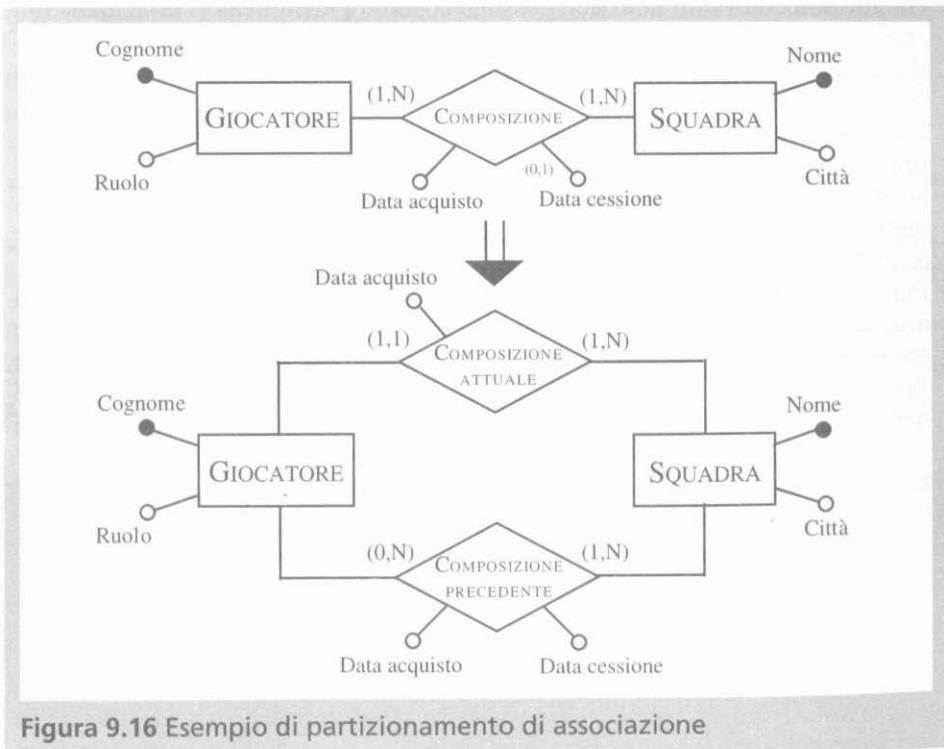


Figura 9.15 Esempio di accorpamento di entità

appartamento, e quindi non esistono per esse valori per gli attributi Indirizzo e Interno.

Gli accorpamenti si effettuano in genere su associazioni di tipo uno a uno, raramente su associazione uno a molti e praticamente mai su relazioni molti a molti. Questo perché gli accorpamenti di entità legate da un'associazione uno a molti o molti a molti generano ridondanze. In particolare, è facile verificare che si possono presentare ridondanze su attributi non chiave dell'entità che partecipava all'associazione originaria con una cardinalità massima pari a N. La presenza di ridondanze può essere comunque analizzata e discussa in maniera efficace con la tecnica della *normalizzazione*, che verrà presentata in dettaglio nel Capitolo 11 e a cui rimandiamo per ulteriori dettagli sull'argomento.

Altri tipi di partizionamento/accorpamento Abbiamo parlato finora di partizionamento e accorpamento di entità ma lo stesso discorso si può estendere alle associazioni. Può convenire cioè, in alcuni casi, decomporre una associazione tra due entità in due (o più) associazioni tra le medesime entità, per separare occorrenze dell'associazione originale accedute sempre separatamente e, viceversa, accoppare due (o più) associazioni tra le medesime entità (che si riferiscono però a due aspetti dello stesso concetto) in un'unica associazione, quando le relative occorrenze vengono sempre accedute contemporaneamente. Un esempio di partizionamento di associazioni viene fornito in Figura 9.16 nella quale vengo-



no distinti i giocatori che compongono *attualmente* una squadra da quelli che ne facevano parte nel passato.

Prima di concludere questo paragrafo, vale la pena accennare al fatto che i problemi di partizione/accorpamento possono essere rinviati, in molti casi, alla fase di progettazione fisica. Diversi sistemi di gestione di basi di dati correnti permettono infatti di specificare *cluster* di strutture logiche (relazioni nei sistemi relazionali), ovvero raggruppamenti di dati, fatti a livello fisico, che permettono l'accesso rapido a dati distribuiti su strutture logiche separate.

9.3.4 Scelta degli identificatori principali

La scelta degli identificatori principali è essenziale nelle traduzioni verso il modello relazionale perché, come discusso nel Capitolo 2, in questo modello le chiavi vengono usate per stabilire legami tra dati in relazioni diverse. Inoltre, i sistemi di gestione di basi di dati richiedono generalmente di specificare una *chiave primaria* sulla quale vengono costruite automaticamente delle strutture ausiliarie, dette *indici*, per il reperimento efficiente di dati. Quindi, nei casi in cui esistono entità per le quali sono stati specificati più identificatori, bisogna decidere quale di questi identificatori verrà utilizzato come chiave primaria.

I criteri di decisione per questa scelta sono i seguenti.

- Gli attributi con valori nulli non possono costituire identificatori principali. Tali attributi infatti non garantiscono l'accesso a tutte le occorrenze dell'entità corrispondente, come sottolineato quando abbiamo discusso le chiavi nel modello relazionale.
- Un identificatore composto da uno o da pochi attributi è da preferire a identificatori costituiti da molti attributi. Questo infatti garantisce che le strutture ausiliarie create per accedere ai dati (gli indici) siano di dimensioni ridotte, permette un risparmio di memoria nella realizzazione dei legami logici tra le varie relazioni e facilita le operazioni di join.
- Per gli stessi motivi del punto precedente un identificatore interno con pochi attributi è da preferire a un identificatore esterno, che magari coinvolge diverse entità. Infatti, come vedremo nel prossimo paragrafo, gli identificatori esterni vengono tradotti in chiavi che includono gli identificatori delle entità coinvolte nell'identificazione esterna: chiaramente in questa maniera si possono generare chiavi con molti attributi.
- Un identificatore che viene utilizzato da molte operazioni per accedere alle occorrenze di un'entità è da preferire rispetto agli altri. In questa maniera infatti tali operazioni possono essere eseguite efficientemente perché possono trarre vantaggio dagli indici creati automaticamente dal DBMS.

A questo punto, se nessuno degli identificatori candidati soddisfa tali requisiti, è possibile pensare di introdurre un ulteriore attributo all'entità: questo attributo conterrà valori speciali (detti *codici*) generati appositamente per identificare le occorrenze delle entità.

È comunque consigliabile tenere traccia in questa fase anche degli identificatori non selezionati come principali ma che vengono utilizzati da qualche operazione per accedere ai dati. Per questi identificatori è infatti possibile definire, in sede di progettazione fisica, degli *indici secondari*. Gli indici secondari consentono l'accesso efficiente ai dati e possono essere usati in alternativa agli indici definiti automaticamente sugli identificatori principali.

9.4 Traduzione verso il modello relazionale

La seconda fase della progettazione logica corrisponde a una traduzione tra modelli di dati diversi: a partire da uno schema E-R ristrutturato si costruisce uno schema logico *equivalente*, in grado cioè di rappresentare le medesime informazioni. Coerentemente con quanto detto nei paragrafi precedenti, facciamo riferimento a una versione semplificata del modello E-R, che non contiene generalizzazioni e attributi multivaleure, e nella quale ogni entità ha un solo identificatore. Studieremo inoltre la traduzione verso il modello relazionale.

Affrontiamo il problema della traduzione caso per caso, iniziando dal caso più generale (quello di entità legate da associazioni molti a molti) che ci suggerisce l'idea generale su cui si basa la metodologia di traduzione.

9.4.1 Entità e associazioni molti a molti

Consideriamo lo schema in Figura 9.17. La sua traduzione naturale nel modello relazionale prevede:

- per ogni entità, una relazione con lo stesso nome avente per attributi i medesimi attributi dell'entità e per chiave il suo identificatore;
- per l'associazione, una relazione con lo stesso nome avente per attributi gli attributi dell'associazione e gli identificatori delle entità coinvolte; tali identificatori formano la chiave della relazione.

Se gli attributi originali di entità o associazioni sono opzionali, i corrispondenti attributi di relazione possono assumere valori nulli.

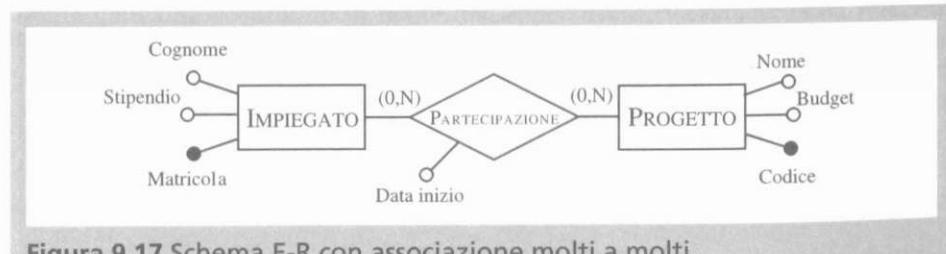


Figura 9.17 Schema E-R con associazione molti a molti

Lo schema relazionale che si ottiene è quindi il seguente:

IMPIEGATO(Matricola, Cognome, Stipendio)

PROGETTO(Codice, Nome, Budget)

PARTECIPAZIONE(Matricola, Codice, DataInizio)

Per lo schema ottenuto esistono due vincoli di integrità referenziale tra gli attributi **Matricola** e **Codice** di PARTECIPAZIONE e gli omonimi attributi delle entità IMPIEGATO e PROGETTO.

Per rendere più comprensibile il significato dello schema è conveniente effettuare alcune ridenominazioni. Per esempio, nel nostro caso si può chiarire il contenuto della relazione PARTECIPAZIONE definendola come segue:

PARTECIPAZIONE(Impiegato, Progetto, DataInizio)

nella quale il dominio dell'attributo **Impiegato** è un insieme di matricole di impiegati e quello dell'attributo **Progetto** è un insieme di codici di progetti ed esistono vincoli di integrità referenziale tra questi attributi e, rispettivamente, l'attributo **Matricola** della relazione IMPIEGATO e l'attributo **Codice** della relazione PROGETTO.

La ridenominazione è in effetti essenziale in alcuni casi. Per esempio, nel caso di associazioni ricorsive come quella in Figura 9.18.

Questo schema si traduce nelle due relazioni:

PRODOTTO(Codice, Nome, Costo)

COMPOSIZIONE(Composto, Componente, Quantità)

In questo schema, entrambi gli attributi **Composto** e **Componente** contengono codici di prodotti: il primo dei due ha il secondo come componente. Esiste quindi

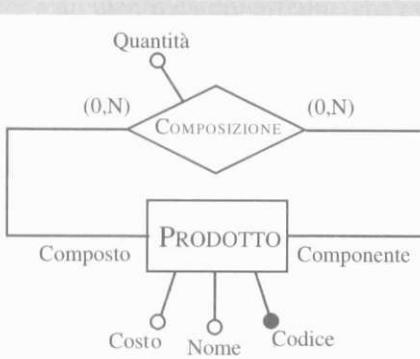


Figura 9.18 Schema E-R con associazione ricorsiva

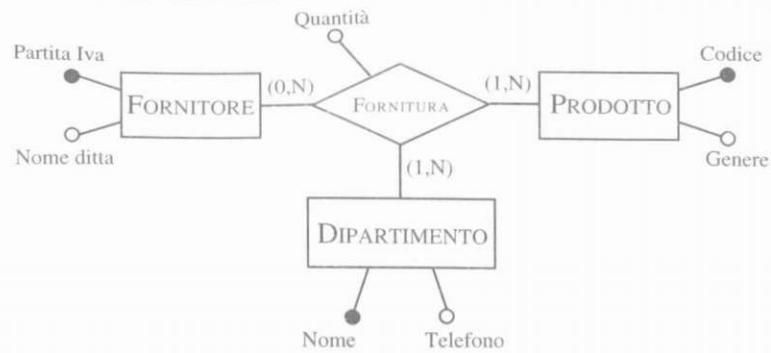


Figura 9.19 Schema E-R con associazione ternaria

un vincolo di integrità referenziale tra questi attributi e l'attributo **Codice** della relazione PRODOTTO.

Le associazioni con più di due entità partecipanti si traducono in maniera analoga a quanto detto per le associazioni binarie. Per esempio, si consideri lo schema con una associazione ternaria riportato in Figura 9.19. Questo schema si traduce nelle seguenti tre relazioni:

FORNITORE(PartitaVA, NomeDitta)
PRODOTTO(Codice, Genere), **DIPARTIMENTO(Nome, Telefono)**
FORNITURA(Fornitore, Prodotto, Dipartimento, Quantità).

Per lo schema così ottenuto esistono i vincoli di integrità referenziale tra gli attributi **Fornitore**, **Prodotto** e **Dipartimento** della relazione FORNITURA e, rispettivamente, l'attributo **PartitaVA** della relazione FORNITORE, l'attributo **Codice** della relazione PRODOTTO e l'attributo **Nome** della relazione DIPARTIMENTO.

In questo ultimo tipo di traduzione bisogna prestare attenzione ad alcuni casi particolari nei quali l'insieme delle chiavi delle relazioni che rappresentano le entità coinvolte costituisce in realtà una *superchiave* ridondante della relazione che rappresenta l'associazione dello schema E-R (esiste cioè un suo sottoinsieme proprio che è una chiave). Questo potrebbe accadere se, per esempio, nel caso dello schema di Figura 9.19, ci fosse un solo fornitore che fornisce un certo prodotto a un dipartimento. Si noti che le cardinalità sono ancora valide, perché tale fornitore può fornire diversi prodotti a questo o ad altri dipartimenti. In questo caso, la chiave della relazione FORNITURA, sarebbe costituita dai soli attributi **Prodotto** e **Dipartimento** perché, dato un prodotto e un dipartimento, il fornitore è univocamente determinato.

9.4.2 Associazioni uno a molti

Consideriamo lo schema con associazione uno a molti in Figura 9.20.

Secondo la regola vista per le associazioni molti a molti, la traduzione di questo schema dovrebbe essere la seguente:

GIOCATORE(Cognome, DataNascita, Ruolo)

SQUADRA(Nome, Città, ColoriSociali)

CONTRATTO(Giocatore, DataNascitaGiocatore, NomeSquadra, Ingaggio)

Va notato che, nella relazione CONTRATTO, la chiave è costituita solo dall'identificatore di GIOCATORE perché le cardinalità dell'associazione ci dicono che ogni giocatore ha un contratto con una sola squadra. A questo punto le relazioni GIOCATORE e CONTRATTO hanno la stessa chiave (il cognome e la data di nascita di un giocatore) ed è allora possibile fonderle in un'unica relazione (perché esiste una corrispondenza biunivoca tra le rispettive occorrenze). È quindi preferibile, per lo schema in Figura 9.20, la traduzione che segue, nella quale la relazione GIOCATORE rappresenta sia l'entità relativa che l'associazione dello schema E-R originale:

GIOCATORE(Cognome, DataNascita, Ruolo, NomeSquadra, Ingaggio)

SQUADRA(Nome, Città, ColoriSociali)

In questo schema, esiste ovviamente il vincolo di integrità referenziale tra l'attributo NomeSquadra della relazione GIOCATORE e l'attributo Nome della relazione SQUADRA.

Nel nostro esempio, la cardinalità minima dell'entità GIOCATORE è pari a uno. Nel caso in cui tale cardinalità fosse pari a zero (è possibile cioè avere giocatori che non hanno un contratto con una squadra) entrambe le alternative viste sono valide. Infatti, anche se nella seconda traduzione abbiamo un numero minore di relazioni, è possibile avere dei valori nulli nella relazione GIOCATORE sugli attributi NomeSquadra e Ingaggio, mentre, nella prima traduzione, questa eventualità non si può verificare.

Abbiamo accennato nel Paragrafo 7.2.2, che le associazioni n-arie sono quasi sempre di tipo molti a molti. Comunque, nel caso in cui una delle entità partecipi con cardinalità massima pari ad uno, le cose non cambiano molto rispetto a quanto

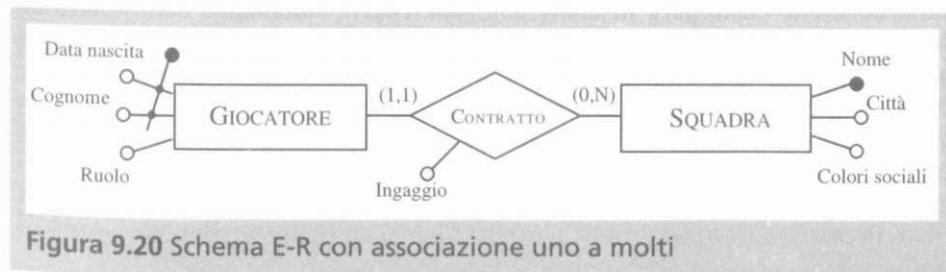


Figura 9.20 Schema E-R con associazione uno a molti

detto per le associazioni binarie. L'entità che partecipa all'associazione con cardinalità massima pari a uno, viene infatti tradotta in una relazione che contiene anche gli identificatori delle altre entità coinvolte nell'associazione (più eventuali attributi dell'associazione stessa) e non c'è più bisogno di rappresentare esplicitamente l'associazione di partenza. Per esempio, se l'entità PRODOTTO partecipasse all'associazione in Figura 9.19 con cardinalità pari a (1, 1) (e quindi, per ogni prodotto, esistesse un solo fornitore che lo fornisce e un solo dipartimento al quale viene fornito), allora lo schema si tradurrebbe come segue:

FORNITORE(PartitalVA, NomeDitta) DIPARTIMENTO(Nome, Telefono)
PRODOTTO(Codice, Genere, Fornitore, Dipartimento, Quantità).

nel quale esistono i vincoli di integrità referenziale tra l'attributo **Fornitore** della relazione PRODOTTO e l'attributo **PartitalVA** della relazione FORNITORE, e tra l'attributo **Dipartimento** della relazione PRODOTTO e l'attributo **Nome** della relazione DIPARTIMENTO.

9.4.3 Entità con identificatore esterno

Le entità con identificatori esterni danno luogo a relazioni con chiavi che includono gli identificatori delle entità "identificanti". Consideriamo per esempio lo schema sugli studenti universitari riportato in Figura 9.21.

Lo schema relazionale corrispondente a questo schema è il seguente:

STUDENTE(Matricola, NomeUniversità, Cognome, Annolscrizione)
UNIVERSITÀ(Nome, Città, indirizzo)

nel quale esiste il vincolo di integrità referenziale tra l'attributo **NomeUniversità** della relazione STUDENTE e l'attributo **Nome** della relazione UNIVERSITÀ.

Come si può vedere, rappresentando l'identificatore esterno si rappresenta direttamente anche l'associazione tra le due entità. Ricordiamo infatti che le entità identificate esternamente partecipano all'associazione sempre con una cardinalità minima e massima pari a uno. Questo tipo di traduzione è valido indipendentemente dalla cardinalità con cui l'altra entità partecipa all'associazione.

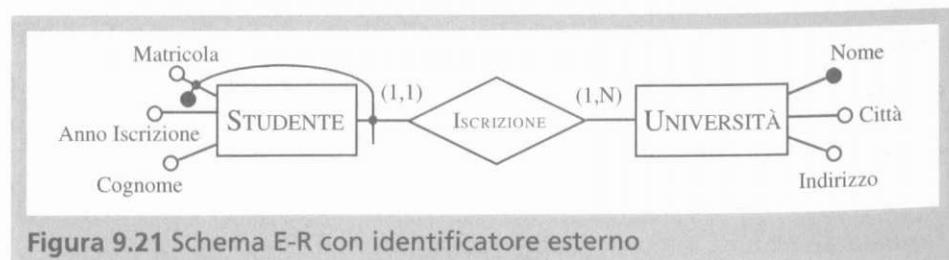


Figura 9.21 Schema E-R con identificatore esterno

9.4.4 Associazioni uno a uno

Per le associazioni uno a uno ci sono, in genere, diverse possibilità di traduzione. Cominciamo a vedere le associazioni uno a uno con partecipazioni obbligatorie per entrambe le entità, come quella nello schema in Figura 9.22. Per questo tipo di associazioni abbiamo due possibilità simmetriche e ugualmente valide:

DIRETTORE(Codice, Cognome, Stipendio, DipartimentoDiretto,
InizioDirezione)

DIPARTIMENTO(Nome, Telefono, Sede)

con il vincolo di integrità referenziale tra l'attributo DipartimentoDiretto della relazione DIRETTORE e l'attributo Nome della relazione DIPARTIMENTO, oppure:

DIRETTORE(Codice, Cognome, Stipendio)

DIPARTIMENTO(Nome, Telefono, Sede, Direttore, InizioDirezione)

per il quale esiste il vincolo di integrità referenziale tra l'attributo Direttore della relazione DIPARTIMENTO e l'attributo Codice della relazione DIRETTORE.

È possibile quindi rappresentare l'associazione in una qualunque delle relazioni che rappresentano le due entità. Trattandosi di una relazione biunivoca tra le occorrenze delle entità, sembrerebbe possibile una ulteriore alternativa nella quale si rappresentano tutti i concetti in un'unica relazione contenente tutti gli attributi in gioco. Questa alternativa è però da escludere perché non dobbiamo dimenticarci che lo schema che stiamo traducendo è il risultato di una fase di ristrutturazione nella quale sono state effettuate precise scelte anche riguardo l'accorpamento e il partizionamento di entità. Questo significa che, se nello schema E-R ristrutturato abbiamo due entità collegate da una relazione uno a uno, vuol dire che abbiamo ritenuto conveniente tenere separati i due concetti ed è quindi inopportuno fonderli in sede di traduzione verso il modello relazionale.

Consideriamo ora il caso di associazione uno a uno con partecipazione opzionale per una sola entità, come quella nello schema in Figura 9.23. In questo caso abbiamo una soluzione preferibile rispetto alle altre:

IMPIEGATO(Codice, Cognome, Stipendio)

DIPARTIMENTO(Nome, Telefono, Sede, Direttore, InizioDirezione)

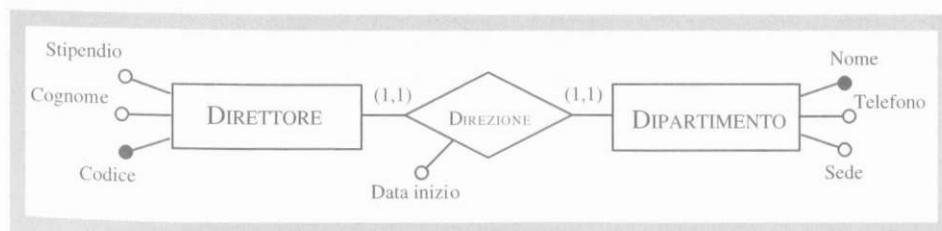


Figura 9.22 Schema E-R con associazione uno a uno



Figura 9.23 Schema E-R con associazione uno a uno

per la quale esiste il vincolo di integrità referenziale tra l’attributo **Direttore** della relazione **DIPARTIMENTO** e l’attributo **Codice** della relazione **IMPIEGATO**.

Questa alternativa è preferibile rispetto a quella in cui l’associazione viene rappresentata nella relazione **IMPIEGATO** mediante il nome del dipartimento diretto perché avremmo, per questo attributo, possibili valori nulli.

Consideriamo infine il caso in cui entrambe le entità hanno partecipazione opzionale come nel caso in cui, nello schema in Figura 9.23, possono esistere dipartimenti senza direttori (e quindi la cardinalità dell’entità **DIPARTIMENTO** diventa $(0,1)$). In questo caso esiste un’ulteriore possibilità che prevede tre relazioni separate:

IMPIEGATO(Codice, Cognome, Stipendio)

DIPARTIMENTO(Nome, Telefono, Sede)

DIREZIONE(Direttore, Dipartimento, DataInizioDirezion)

Su questo schema abbiamo due vincoli di integrità referenziale: uno tra l’attributo **Direttore** della relazione **DIREZIONE** e l’attributo **Codice** della relazione **IMPIEGATO** e l’altro tra l’attributo **Dipartimento** della relazione **DIREZIONE** e l’attributo **Nome** della relazione **DIPARTIMENTO**.

Questa soluzione ha il vantaggio rispetto a quella in cui si accorpa la relazione **DIREZIONE** in una delle altre due relazioni (come nel caso precedente), di non presentare mai valori nulli sugli attributi che rappresentano l’associazione. Per contro, abbiamo bisogno di una relazione in più con un conseguente aumento della complessità della base di dati. Diciamo quindi che la soluzione con tre relazioni è da prendere in considerazione solo se il numero di occorrenze dell’associazione è molto basso rispetto alle occorrenze delle entità che partecipano all’associazione. In questo caso, c’è infatti il vantaggio di evitare la presenza di molti valori nulli.

9.4.5 Traduzioni di schemi complessi

Per vedere come procedere in un caso complesso, facciamo un esempio completo di traduzione con riferimento allo schema riportato in Figura 9.24.

In una prima fase, traduciamo ciascuna entità con una relazione. La traduzione delle entità dotate di identificatore interno è immediata:

E3(A31, A32) E4(A41, A42) E5(A51, A52)
 E6 (A61, A62, A63)

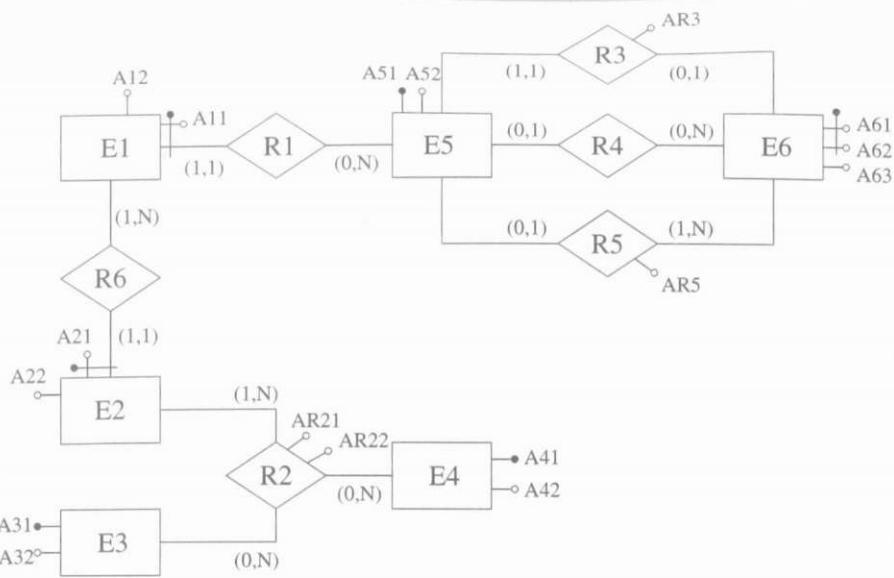


Figura 9.24 Uno schema E-R da tradurre

Traduciamo ora le entità con le identificazioni esterne. Otteniamo le seguenti relazioni:

$E1(\underline{A11}, \underline{A51}, A12)$ $E2(\underline{A21}, \underline{A11}, \underline{A51}, A22)$

Notare come $E2$ prenda l'attributo $A11$ e, per la proprietà transitiva, anche l'attributo $A51$ che, insieme al primo, identifica $E1$. Alle relazioni prodotte vanno aggiunti anche alcuni di vincoli di integrità referenziale. (Per esempio, sussiste un vincolo di integrità referenziale tra l'attributo $A51$ in $E1$ e l'attributo omonimo di $E5$.)

Passiamo ora alla traduzione delle associazioni. Le associazioni $R1$ e $R6$ sono già state tradotte come conseguenza dell'identificazione esterna di $E1$ ed $E2$ rispettivamente. Assumiamo di aver deciso di ottenere un numero minimo di relazioni nello schema finale e cerchiamo quindi di accorpare quando possibile. Questo comporta una possibile presenza di valori nulli nelle istanze relazionali per tutti gli attributi introdotti traducendo relazioni dal lato di cardinalità $(0, 1)$. Otteniamo le seguenti modifiche da effettuare allo schema iniziale:

- per tradurre $R3$, introduciamo con opportune ridenominazioni gli attributi che identificano $E6$ tra quelli di $E5$, nonché l'attributo $AR3$ proprio di $R3$; in pratica, introduciamo $A61R3$, $A62R3$ e $AR3$ in $E5$;

- analogamente per R4, introduciamo A61R4 e A62R4 in E5;
- analogamente per R5, introduciamo A61R5, A62R5 e AR5 in E5.

Si osservi che le ridenominazioni sono indispensabili per poter distinguere l'uso dello stesso attributo per rappresentare diverse associazioni (per esempio, A61R3 che rappresenta R3 e A61R4 che rappresenta R4). Infine, traduciamo l'unica associazione molti a molti:

R2(A21, A11, A51, A31, A41, AR21, AR22)

Lo schema relazionale ottenuto è il seguente:

E1(<u>A11</u> , <u>A51</u> , <u>A12</u>)	E2(<u>A21</u> , <u>A11</u> , <u>A51</u> , <u>A22</u>)
E3(<u>A31</u> , <u>A32</u>)	E4(<u>A41</u> , <u>A42</u>)
E5(<u>A51</u> , <u>A52</u> , A61R3, A62R3, AR3, A61R4, A62R4, A61R5, A62R5, AR5)	
E6(<u>A61</u> , <u>A62</u> , <u>A63</u>)	R2(<u>A21</u> , <u>A11</u> , <u>A51</u> , <u>A31</u> , <u>A41</u> , AR21, AR22)

Si osservi che abbiamo ottenuto relazioni (E2 e R2) con chiavi composte da molti attributi. In tali situazioni si può anche decidere di introdurre chiavi semplici (codici) o in questa stessa fase o precedentemente, nella fase di ristrutturazione, come discusso nel Paragrafo 9.3.4.

9.4.6 Tabelle riassuntive

Le traduzioni viste vengono riassunte nelle tabelle in Figura 9.25 e 9.26.

Per ogni tipo di configurazione di schema E-R, viene fornita una descrizione del caso e le traduzioni possibili. In queste tabelle i simboli X e Y indicano una qualunque tra le cardinalità ammesse, gli asterischi indicano la possibilità di avere valori nulli sugli attributi relativi e la sottolineatura tratteggiata indica una chiave alternativa a quella indicata da una sottolineatura piena.

9.4.7 Documentazione di schemi logici

Come nel caso della progettazione concettuale, il risultato della progettazione logica non è costituito solo da un semplice schema di una base di dati ma anche da una documentazione a esso associata. Innanzitutto, buona parte della documentazione dello schema concettuale in ingresso alla fase di progettazione logica può essere ereditata dallo schema logico ottenuto come risultato di questa fase. In particolare, se i nomi dei concetti dello schema E-R sono stati riutilizzati per costruire lo schema relazionale, le regole aziendali precedentemente definite possono essere usate per documentare anche quest'ultimo. A questa documentazione ne va aggiunta però dell'altra, in grado di descrivere i vincoli di integrità referenziale introdotti dalla traduzione.

A tale riguardo, è possibile adottare un semplice formalismo grafico che permette di rappresentare sia le relazioni con i relativi attributi, che i vincoli di inte-

Tipologia	Concetto iniziale	Risultati possibili
Associazione binaria molti a molti		$E_1(A_{E11}, A_{E12})$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$ $R(A_{E11}, A_{E21}, A_R)$
Associazione ternaria molti a molti		$E_1(A_{E11}, A_{E12})$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$ $E_3(A_{E31}, A_{E32})$ $R(A_{E11}, A_{E21}, A_{E31}, A_R)$
Associazione uno a molti con partecipazione obbligatoria		$E_1(A_{E11}, A_{E12}, A_{E21}, A_R)$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$
Associazione uno a molti con partecipazione opzionale		$E_1(A_{E11}, A_{E12})$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$ $R(A_{E11}, A_{E21}, A_R)$ Oppure: $E_1(A_{E11}, A_{E12}, A_{E21}, A_R^*)$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$
Associazione con identificatore esterno		$E_1(A_{E12}, A_{E21}, A_{E11}, A_R)$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$

Figura 9.25 Traduzioni dal modello E-R al relazionale

grità referenziale esistenti tra le varie relazioni. Un esempio di questo tipo di rappresentazione, di facile comprensione, viene dato in Figura 9.27, con riferimento alla traduzione dello schema in Figura 9.17. In questi diagrammi le chiavi delle relazioni sono rappresentate in grassetto, le frecce indicano vincoli di integrità referenziale e la presenza di asterischi sui nomi di attributo indica la possibilità di avere valori nulli.

Si può osservare che, con questo formalismo, si riesce a mantenere traccia delle associazioni dello schema E-R originale. Questo può risultare utile per indi-

Tipologia	Concetto iniziale	Risultati possibili
Associazione uno a uno con partecipazione obbligatoria per entrambe le entità		$E_1(A_{E11}, A_{E12}, A_{E22}, A_R)$ $\underline{E_2(A_{E21}, A_{E22})}$ Oppure: $E_2(A_{E21}, A_{E22}, A_{E11}, A_R)$ $\underline{E_1(A_{E11}, A_{E12})}$
Associazione uno a uno con partecipazione opzionale per una entità		$E_1(A_{E11}, A_{E12}, A_{E22}, A_R)$ $\underline{E_2(A_{E21}, A_{E22})}$
Associazione uno a uno con partecipazione opzionale per entrambe le entità		$E_1(A_{E11}, A_{E12})$ $\underline{E_2(A_{E21}, A_{E22}, A_{E11}^*, A_R^*)}$ Oppure: $E_1(A_{E11}, A_{E12}, A_{E21}^*, A_R^*)$ $\underline{E_2(A_{E21}, A_{E22})}$ Oppure: $E_1(A_{E11}, A_{E12})$ $E_2(A_{E21}, A_{E22})$ $R(A_{E11}^*, A_{E21}^*, A_R)$

Figura 9.26 Traduzioni dal modello E-R al relazionale

viduare, in maniera immediata, i *cammini di join*, ovvero le operazioni di join necessarie per ricostruire l'informazione rappresentata dalle associazioni originarie. Quindi, nel caso dell'esempio, le informazioni sui progetti ai quali gli impiegati partecipano, attraverso il join tra la IMPiegATO, PARTECIPAZIONE e PROGETTO.

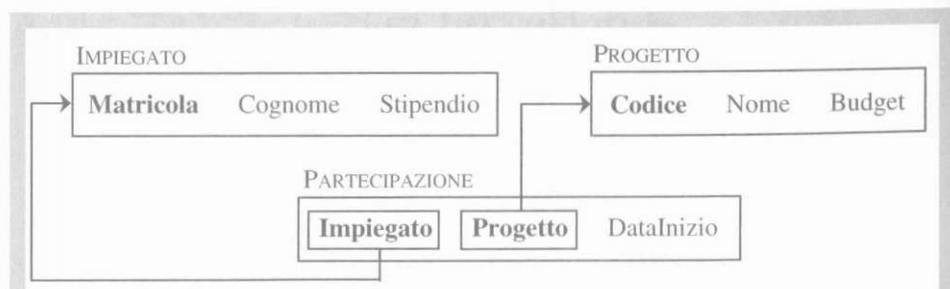


Figura 9.27 Rappresentazione grafica della traduzione nel modello relazionale dello schema in Figura 9.17

GIOCATORE



Figura 9.28 Rappresentazione grafica di una traduzione dello schema in Figura 9.20

Un altro esempio di questi tipi di rappresentazione viene fornito in Figura 9.28, con riferimento alla traduzione dello schema in Figura 9.20.

È interessante osservare come, con questo tipo di rappresentazione, è possibile rappresentare esplicitamente anche le associazioni dello schema Entità-Relazione di partenza alle quali, nello schema relazionale equivalente, non corrisponde nessuna relazione (l'associazione CONTRATTO nell'esempio in questione).

Come esempio finale, in Figura 9.29 viene riportata la rappresentazione dello schema relazionale ottenuto nel Paragrafo 9.4.5. I legami logici tra le varie relazioni possono essere ora facilmente identificati.

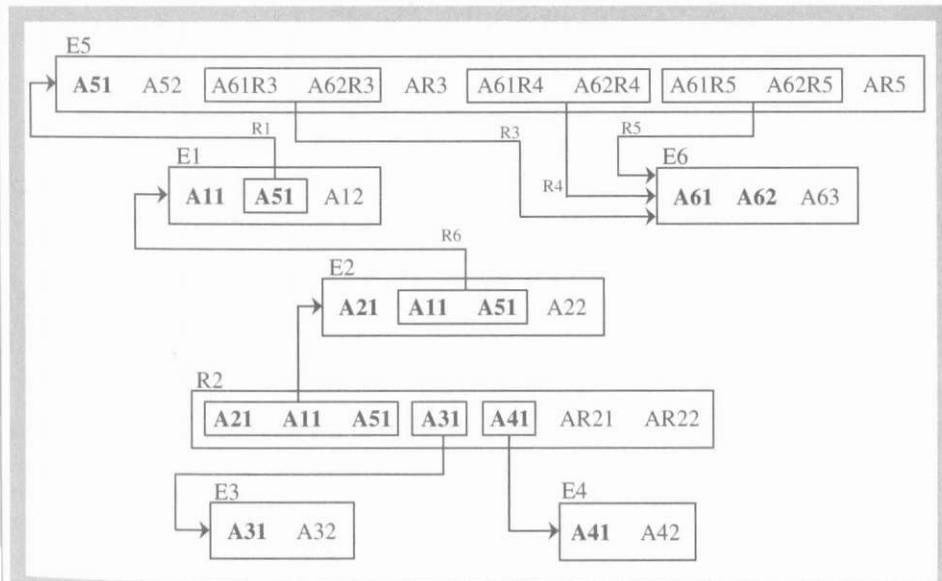


Figura 9.29 Rappresentazione grafica dello schema ottenuto nel Paragrafo 9.4.5

Nell'appendice A verrà mostrato come una variante di questo formalismo grafico viene adottata da un sistema di gestione di basi di dati reale (Access), sia per rappresentare schemi di relazione che per esprimere graficamente operazioni di join. Inoltre, nel Paragrafo 9.6 verrà mostrato che, come avviene per gli schemi concettuali (Paragrafo 7.4), alcuni strumenti fanno uso di un formalismo basato su UML anche per la documentazione di schemi logici di basi di dati.

9.5 Un esempio di progettazione logica

Riprendiamo l'esempio presentato nel capitolo precedente relativo alla base di dati della società di formazione, il cui schema concettuale viene riportato, per comodità, in Figura 9.30. Le varie ristrutturazioni che discuteremo sono riportate nello schema finale in Figura 9.33.

Sui dati descritti da questo schema erano state previste le seguenti operazioni

Operazione 1: inserisci un nuovo partecipante indicando tutti i suoi dati.

Operazione 2: assegna un partecipante a una edizione di corso.

Operazione 3: inserisci un nuovo docente indicando tutti i suoi dati e i corsi che può insegnare.

Operazione 4: assegna un docente abilitato a una edizione di un corso.

Operazione 5: stampa tutte le informazioni sulle edizioni passate di un corso con titolo, orari delle lezioni e numero dei partecipanti.

Operazione 6: stampa tutti i corsi offerti, con informazioni sui docenti che possono insegnarli.

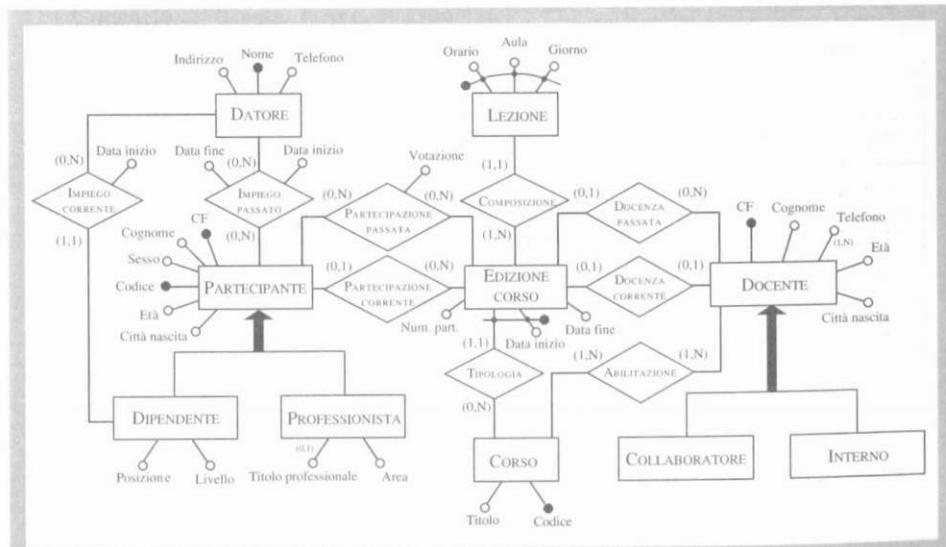


Figura 9.30 Lo schema E-R di una società di formazione

- Operazione 7:** per ogni docente, trova i partecipanti a tutti i corsi da lui insegnati.
Operazione 8: effettua una statistica su tutti i partecipanti a un corso con tutte le informazioni su di essi, sulla edizione alla quale hanno partecipato e la rispettiva votazione.

9.5.1 Fase di ristrutturazione

Supponiamo che i dati di carico siano quelli riportati in Figura 9.31. Eseguiamo, sulla base di questi dati, i vari passi della ristrutturazione.

Tavola dei volumi

Concetto	Tipo	Volume
Lezione	E	8000
Edizione corso	E	1000
Corso	E	200
Docente	E	300
Collaboratore	E	250
Interno	E	50
Partecipante	E	5000
Dipendente	E	4000
Professionista	E	1000
Datore	E	8000
Part. passata	R	10 000
Part. corrente	R	500
Composizione	R	8000
Tipologia	R	1000
Doc. passata	R	900
Doc. corrente	R	100
Abilitazione	R	500
Impiego corrente	R	4000
Impiego passato	R	1000

Tavola delle operazioni

Operazione	Tipo	Frequenza
Op. 1	I	40/giorno
Op. 2	I	50/giorno
Op. 3	I	2/giorno
Op. 4	I	15/giorno
Op. 5	I	10/giorno
Op. 6	I	20/giorno
Op. 7	I	5/sett.
Op. 8	B	10/mese

Figura 9.31 Tavole dei volumi e delle operazioni per lo schema in Figura 9.30

Analisi delle ridondanze C'è un solo dato ridondante nello schema: l'attributo Numero di partecipanti in EDIZIONE CORSO che può essere derivato dalle associazioni PARTECIPAZIONE CORRENTE e PARTECIPAZIONE PASSATA. Questo dato richiede un quantitativo di memoria pari a $4 \times 1000 = 4000$ byte, avendo assunto che sono necessari 4 byte per ogni occorrenza di EDIZIONECORSO per memorizzare il numero di partecipanti. Le operazioni coinvolte con questo dato sono la 2, la 5 e la 8. L'ultima di queste può essere trascurata perché si tratta di una operazione non frequente ed eseguita in modalità batch. Proviamo a valutare il costo delle operazioni 2 e 5 in caso di presenza e in assenza di dato ridondante. Possiamo dedurre dalla tavola dei volumi che ogni edizione di corso ha, in media, 8 lezioni e 10 partecipanti. Da questi dati sono facilmente calcolabili le tavole degli accessi riportate in Figura 9.32.

Da queste risulta:

- dato ridondante presente: per l'operazione 2 abbiamo $2 \times 50 = 100$ accessi in lettura e altrettanti in scrittura al giorno mentre, per l'operazione 5, abbiamo $19 \times 10 = 190$ accessi in lettura al giorno, per un totale di 490 accessi giornalieri (avendo contato doppie le operazioni di scrittura);
- dato ridondante assente: per l'operazione 2 abbiamo 50 accessi in lettura e altrettanti in scrittura al giorno, mentre, per l'operazione 5, abbiamo $29 \times 10 =$

Tavole degli accessi in presenza di ridondanza				Tavole degli accessi in assenza di ridondanza			
Operazione 2				Operazione 2			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo	Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Partecipante	E	1	L	Partecipante	E	1	L
Par. corrente	R	1	S	Par. corrente	R	1	S
Ediz. corso	E	1	L				
Ediz. corso	E	1	S				

Operazione 5			
Concetto	Costr.	Acc.	Tipo
Ed. corso	E	1	L
Tipologia	R	1	L
Corso	E	1	L
Composiz.	R	8	L
Lezione	E	8	L
Par. corrente	R	10	L

Figura 9.32 Tavole degli accessi per lo schema in Figura 9.30

290 accessi in lettura al giorno, per un totale di 440 accessi giornalieri (avendo contato doppie le operazioni di scrittura).

Abbiamo quindi, in presenza di ridondanza, degli svantaggi sia in termini di memoria che di efficienza. Decidiamo quindi di eliminare l'attributo ridondante Numero di partecipanti dalla relazione EDIZIONE CORSO.

Eliminazione delle gerarchie Nello schema sono presenti due gerarchie: quella relativa ai docenti e quella relativa ai partecipanti. Per i docenti si può notare che le operazioni che li riguardano, cioè la 3, la 4, la 6 e la 7, non fanno distinzioni tra collaboratori esterni e dipendenti interni della società. Tra l'altro, le entità corrispondenti non hanno attributi specifici che li distinguono. Decidiamo quindi di accorpate le entità figlie della generalizzazione nel genitore aggiungendo un attributo **Tipo** all'entità DOCENTE che ha un dominio costituito dai simboli *C* (per Collaboratore) e *I* (per Interno).

Per quanto riguarda i partecipanti, osserviamo che anche in questo caso le operazioni che coinvolgono questo dato (la 1, la 2 e la 8) non fanno sostanziali differenze tra i vari tipi di occorrenze. Possiamo però osservare dallo schema che i professionisti e i dipendenti hanno degli attributi che li distinguono gli uni dagli altri. Risulta quindi preferibile lasciare le entità DIPENDENTE e PROFESSIONISTA e aggiungere due associazioni uno a uno tra queste entità e l'entità PARTECIPANTE. In questa maniera, si evita di avere attributi con possibili valori nulli sull'entità genitore della generalizzazione e riduciamo le dimensioni delle relazioni. Il risultato di queste ristrutturazioni e di altre che discuteremo più avanti, si può vedere nello schema in Figura 9.33.

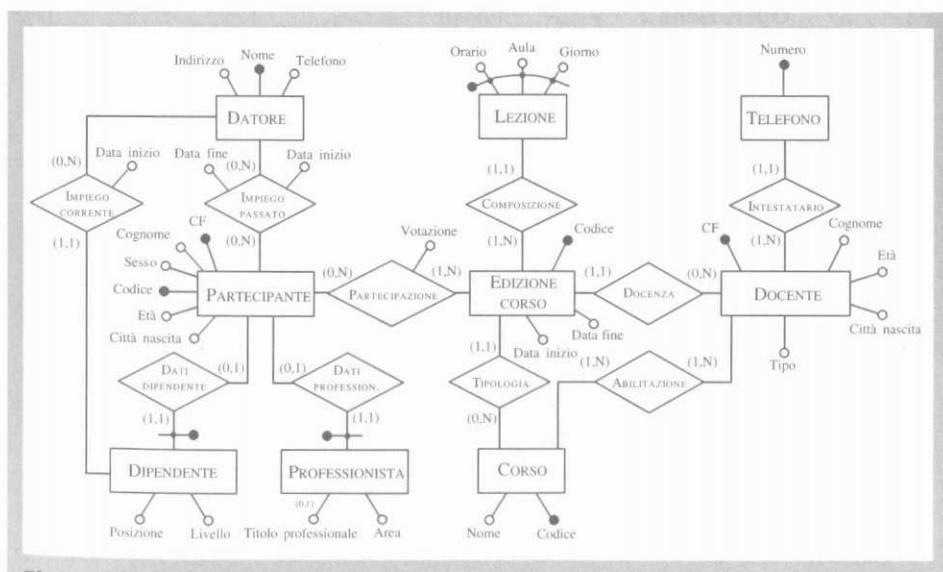


Figura 9.33 Lo schema E-R di Figura 9.30 dopo la fase di ristrutturazione

Partizionamento/accorpamento di concetti Dall'analisi dei dati e delle operazioni si possono individuare diverse ristrutturazioni di questo tipo. La prima riguarda l'entità EDIZIONE DI CORSO: si può osservare che l'operazione 5 riguarda solo una frazione delle edizioni, quelle passate, e che le associazioni DOCENZA PASSATA e PARTECIPAZIONE PASSATA fanno riferimento solo a queste edizioni di corso. Si potrebbe quindi pensare, per rendere più efficiente l'operazione suddetta, di decomporre orizzontalmente l'entità in maniera da distinguere le edizioni correnti da quelle passate. L'inconveniente di questa scelta però è che le associazioni COMPOSIZIONE e TIPOLOGIA andrebbero duplicate; inoltre, le operazioni 7 e 8, che non fanno grosse distinzioni tra le edizioni correnti e quelle passate, risulterebbero più costose perché richiedono la visita di due entità distinte. Decidiamo quindi di non partizionare tale entità.

Due altre possibili ristrutturazioni che si può pensare di effettuare, proprio in conseguenza a quanto detto sulle edizioni dei corsi, sono l'accorpamento delle associazioni DOCENZA PASSATA e DOCENZA CORRENTE e delle associazioni analoghe PARTECIPAZIONE PASSATA e PARTECIPAZIONE CORRENTE. Si tratta infatti, in entrambi i casi, di due concetti simili (l'unica differenza è di carattere temporale) tra i quali alcune operazioni non fanno differenza (la 7 e la 8). Il loro accorpamento produrrebbe un altro beneficio: non sarebbe necessario trasferire occorrenze da un'associazione a un'altra quando un'edizione di corso termina. Per le partecipazioni ai corsi, un inconveniente è la presenza dell'attributo Votazione che non si applica alle partecipazioni correnti e quindi provocherebbe la presenza di valori nulli. Del resto, la tavola dei volumi ci dice che il numero medio di occorrenze dell'entità PARTECIPAZIONE CORRENTE è 500 e quindi, supponendo di aver bisogno di 4 byte per memorizzare la votazione, lo spreco di memoria sarebbe di soli due kilobyte. Decidiamo quindi di accoppare le due coppie di relazioni come descritto in Figura 9.33. Va aggiunto il vincolo non esprimibile dallo schema che un docente non può insegnare più di una edizione di corso nello stesso periodo e, analogamente, il vincolo che un partecipante non può seguire più di un corso nello stesso periodo.

Infine, bisogna eliminare l'attributo multivalore Telefono associato all'entità DOCENTE. Per far questo, introduciamo una nuova entità TELEFONO legata da una associazione uno a molti con l'entità DOCENTE, che viene privata del relativo attributo.

È interessante osservare che le decisioni prese in questa fase ribaltano, in qualche maniera, decisioni prese in fase di progettazione concettuale. Questo però non deve sorprenderci: l'obiettivo della progettazione concettuale è solo quello di rappresentare nella maniera migliore la realtà d'interesse, mentre nella progettazione logica dobbiamo cercare di ottimizzare le prestazioni ed è quasi inevitabile dover rivedere le decisioni prese.

Scelta degli identificatori principali Solo l'entità PARTECIPANTE presenta due identificatori: il codice fiscale e il codice interno. Tra i due è certamente preferibile scegliere il secondo. Infatti, un codice fiscale richiede 16 byte di memoria mentre un codice interno, che serve a distinguere al più 5000 occorrenze (vedi tavola dei volumi), richiede non più di 2 byte.

C'è in effetti un'altra considerazione di carattere pragmatico da fare sugli identificatori e che riguarda l'entità EDIZIONE CORSO. Questa entità è identificata dall'attributo Data inizio e dall'entità CORSO. Ne risulta un identificatore piuttosto pesante che, in una rappresentazione relazionale, deve essere usato per rappresentare due associazioni (PARTECIPAZIONE e DOCENZA) con molte occorrenze. Si può osservare però che ogni corso ha un codice e che, in media, il numero di edizioni di un corso è pari a cinque. Questo significa che è sufficiente aggiungere un intero di una cifra al codice di un corso per avere un identificatore delle edizioni dei corsi, operazione che può essere fatta durante la creazione di una nuova edizione in maniera piuttosto efficiente e sicura. Da questa discussione risulta che è conveniente definire un nuovo identificatore per le edizioni dei corsi che rimpiazza l'identificatore esterno precedente. Questo è un esempio di analisi e ristrutturazione che non rientra in nessuna delle categorie generali viste ma che, nei casi pratici, capita di incontrare.

Abbiamo con questo terminato la fase di ristrutturazione dello schema E-R originale. Lo schema risultante è quello in Figura 9.33.

9.5.2 Traduzione verso il relazionale

Seguendo la strategia di traduzione descritta in questo capitolo, lo schema E-R in Figura 9.33 può essere tradotto nel seguente schema relazionale.

EDIZIONECORSO(Codice, DataInizio, DataFine, Corso, Docente)

LEZIONE(Ora, Aula, Giorno, EdizioneCorso)

DOCENTE(CF, Cognome, Età, CittàNascita, Tipo)

TELEFONO(Numero, Docente), CORSO(Codice, Nome)

ABILITAZIONE(Corso, Docente)

PARTECIPANTE(Codice, CF, Cognome, Età, CittàNascita, Sesso)

PARTECIPAZIONE(Partecipante, EdizioneCorso, Votazione*)

DATORE(Nome, Telefono, Indirizzo)

IMPIEGOPASSATO(Partecipante, Datore, DataInizio, DataFine)

PROFESSIONISTA(Partecipante, Area, Titolo*)

DIPENDENTE(Partecipante, Livello, Posizione, Datore, DataInizio)

Lo schema logico ottenuto va naturalmente completato con una documentazione di supporto che descriva, tra l'altro, tutti i vincoli di integrità referenziale che sostengono tra le varie relazioni. Questo può essere fatto usando la notazione grafica introdotta nel Paragrafo 9.4.7.

9.6 Progettazione logica con gli strumenti CASE

La fase di progettazione logica viene generalmente supportata da tutti gli strumenti CASE di ausilio allo sviluppo di basi di dati. In particolare, trattandosi di una operazione basata su criteri precisi, la fase di traduzione verso il modello relazionale viene effettuata da questi sistemi in maniera pressoché automatica. La fase di ristrutturazione dello schema che precede la traduzione vera e propria è invece difficilmente automatizzabile e i vari prodotti non la supportano o lo fanno solo parzialmente, ricorrendo a soluzioni semplificate. Per esempio, alcuni sistemi traducono automaticamente tutte le generalizzazioni secondo uno solo dei metodi descritti nel Paragrafo 9.3.2. Abbiamo visto però che la ristrutturazione di schemi E-R è un momento importante della progettazione perché affronta alcune problematiche (analisi delle ridondanze e trasformazioni orientate all'ottimizzazione) che è possibile risolvere prima di effettuare la traduzione e che non sono di pertinenza della progettazione concettuale. Il progettista dovrebbe quindi curare questo aspetto senza affidarsi completamente allo strumento a disposizione.

Un esempio di prodotto della fase di traduzione automatica fatta con uno strumento CASE viene riportato in Figura 9.34. L'esempio fa riferimento allo schema concettuale riportato nella Figura 8.30 del capitolo precedente. Lo schema risultato viene rappresentato in una forma grafica che rappresenta le tabelle relazionali

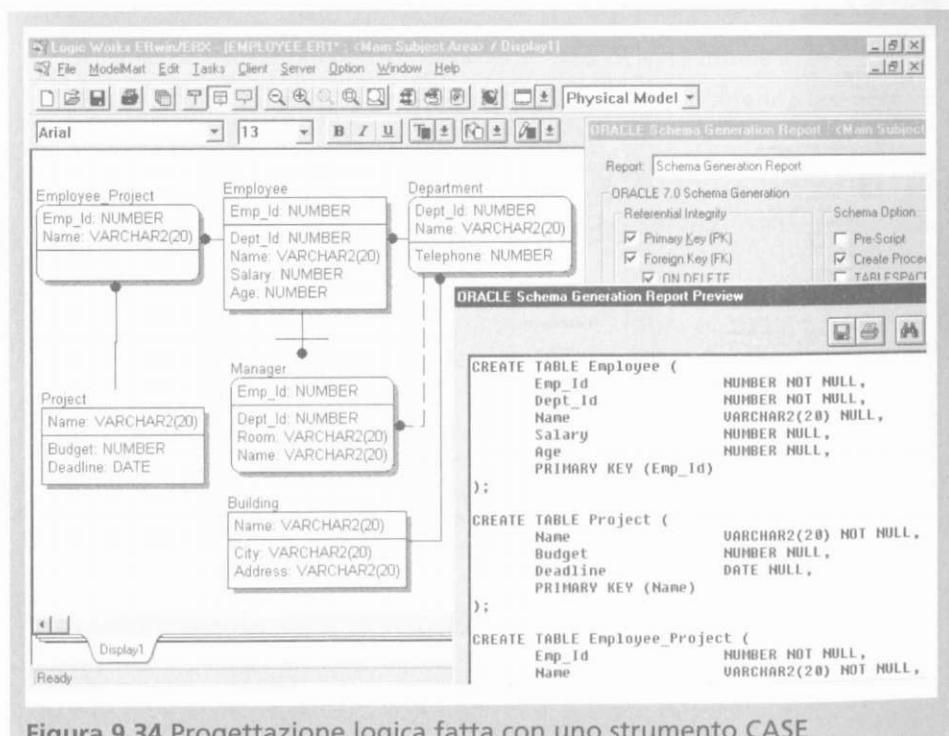


Figura 9.34 Progettazione logica fatta con uno strumento CASE

insieme alle associazioni dello schema di partenza. Si osservi come l'associazione molti a molti tra EMPLOYEE e PROJECT sia stata tradotta in una relazione e come siano stati aggiunti nuovi attributi alle relazioni delle entità per rappresentare le associazioni uno a molti e uno a uno. Nella figura viene anche riportato il codice SQL, generato automaticamente dal sistema, che permette di definire la base di dati su uno specifico sistema di gestione di basi di dati.

Un altro esempio viene riportato in Figura 9.35 nel quale viene mostrata la rappresentazione in UML di una base di dati relazionale. Questo schema è stato ottenuto in maniera automatica a partire dallo schema presentato in Figura 8.31, nel Paragrafo 8.7 del capitolo precedente. In questa notazione le tabelle vengono rappresentate da classi "speciali" dei diagrammi delle classi, come indicato dal simbolo in alto a destra. I vincoli di integrità referenziale vengono invece rappresentati da associazioni particolari.

Alcuni strumenti CASE sono in grado di comunicare direttamente con un DBMS e costruire autonomamente la corrispondente base di dati relazionale. Altri sistemi forniscono strumenti per effettuare anche l'operazione inversa: ricostruire uno schema concettuale a partire da uno schema relazionale esistente. Questa operazione viene chiamata reingegnerizzazione (o reverse engineering) e risulta particolarmente utile per un'analisi di un sistema informativo precedentemente

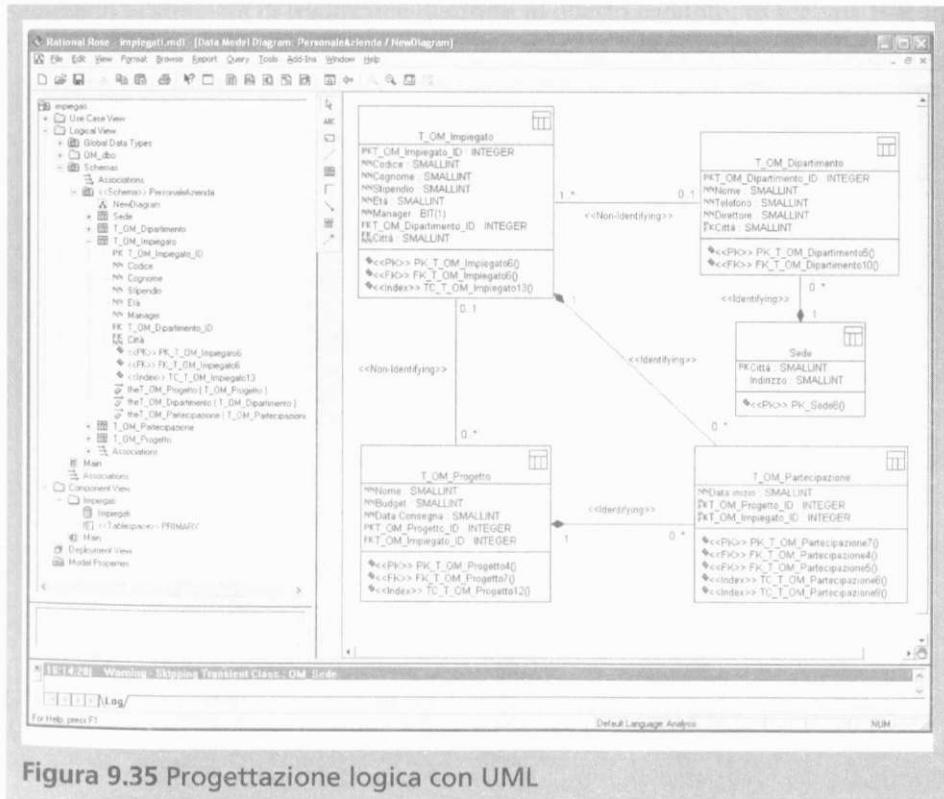


Figura 9.35 Progettazione logica con UML

realizzato, eventualmente orientata a una migrazione verso un nuovo sistema di gestione di dati.

Note bibliografiche

Anche la progettazione logica dei dati è affrontata in dettaglio nei libri in inglese di Batini, Ceri e Navathe [7] e Teorey [63]. Il problema della traduzione di uno schema Entità-Relazione nel modello relazionale è discusso nell'articolo originale di Chen [22] e in un articolo di Teorey, Yang e Fry [65].

Esercizi di varia complessità sulla progettazione logica di basi di dati si possono trovare sui testi di Cabibbo, Torlone e Batini [11] e di Francalanci, Schreiber e Tanca [35].

Soluzioni sul sito <http://www.ateneonline.it/atzeni>

Esercizi

- 9.1 Si consideri lo schema Entità-Relazione ottenuto come soluzione dell'Esercizio 8.4. Fare delle ipotesi sul volume dei dati e sulle operazioni possibili su questi dati e, sulla base di queste ipotesi, effettuare le necessarie ristrutturazioni dello schema. Effettuare poi la traduzione verso il modello relazionale.
- 9.2 Tradurre lo schema Entità-Relazione sul personale di un'azienda che abbiamo più volte incontrato (e riportato per comodità in Figura 9.36) in uno schema del modello relazionale.

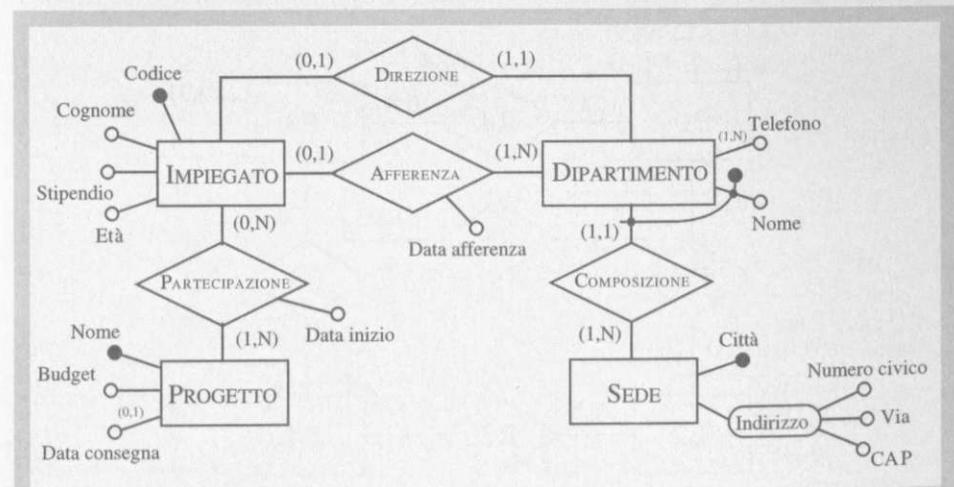


Figura 9.36 Uno schema E-R sul personale di un'azienda

- 9.3 Tradurre lo schema Entità-Relazione ottenuto nell'Esercizio 8.6 in uno schema del modello relazionale.
- 9.4 Definire uno schema logico relazionale corrispondente allo schema E-R ottenuto nell'Esercizio 8.10. Per la fase di ristrutturazione, indicare le possibili alternative e sceglierne poi una, facendo assunzioni sui parametri quantitativi. Come riferimento per i parametri principali, assumere che la base di dati riguardi cento condomini, mediamente con cinque scale ciascuno, e che ogni scala abbia mediamente venti appartamenti e che le operazioni principali siano la registrazione di una spesa (cinquanta all'anno per condominio più dieci per scala e cinque per appartamento) e di un pagamento (dieci all'anno per appartamento); annualmente viene stilato il bilancio di ciascun condominio, con il totale degli accrediti e degli addebiti per ciascun appartamento e quindi il calcolo del nuovo saldo (la stampa di ciascun bilancio deve essere organizzata per scale e ordinata).
- 9.5 Tradurre lo schema Entità-Relazione di Figura 9.37 in uno schema di basi di dati relazionale. Per ciascuna relazione (dello schema relazionale) si indichi la chiave (che si può supporre unica) e, per ciascun attributo, si specifichi se sono ammessi valori nulli (supponendo che gli attributi dello schema E-R non ammettano valori nulli).
- 9.6 Sia dato il seguente schema Entità-Relazione in Figura 9.38. Ristrutturare lo schema, eliminando le gerarchie, supponendo che le operazioni più significative siano le seguenti, ciascuna eseguita 10 volte al giorno:

Operazione 1: accesso agli attributi $A_{21}, A_{22}, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ dell'entità E_2 ;
Operazione 2: accesso agli attributi $A_{41}, A_{42}, A_{31}, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ dell'entità E_4 ;
Operazione 3: accesso agli attributi $A_{51}, A_{52}, A_{31}, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ dell'entità E_5 .

- 9.7 Si consideri lo schema concettuale di Figura 9.39, che descrive i dati di conti correnti bancari. Si osservi che un cliente può essere titolare di più conti correnti e che uno stesso conto corrente può essere intestato a diversi clienti. Si supponga che su questi dati, siano definite le seguenti operazioni principali.

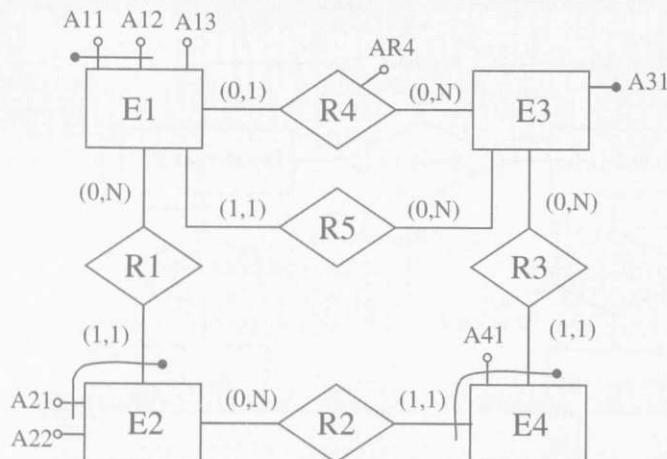


Figura 9.37 Uno schema E-R da tradurre

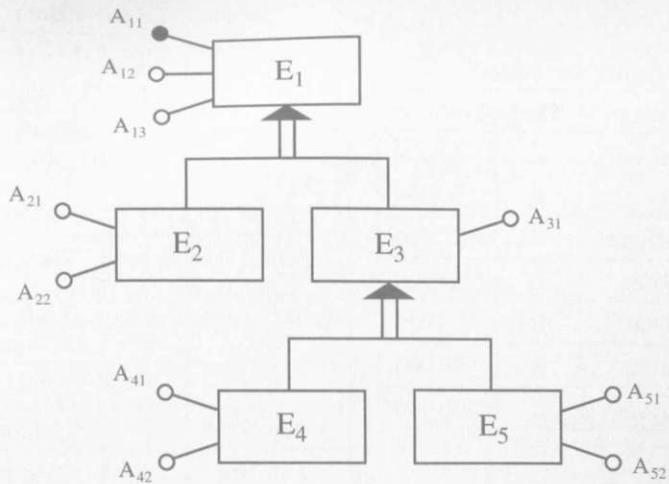


Figura 9.38 Uno schema E-R con generalizzazioni

Operazione 1: apri un conto a un cliente.

Operazione 2: leggi il saldo totale di un cliente.

Operazione 3: leggi il saldo di un conto.

Operazione 4: ritira i soldi da un conto con una transazione allo sportello.

Operazione 5: deposita i soldi in un conto con una transazione allo sportello.

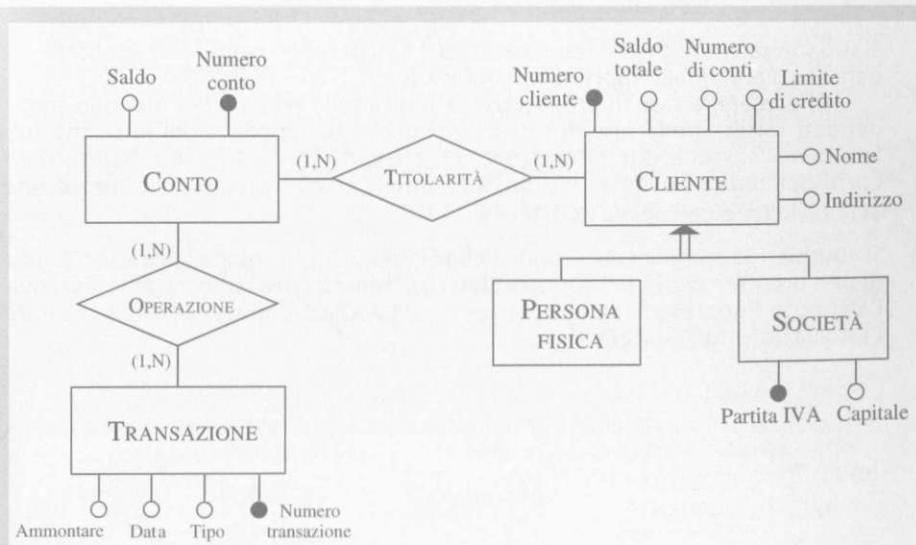


Figura 9.39 Uno schema E-R da tradurre

Tavola delle operazioni

Tavola dei volumi

Concetto	Tipo	Volume
Cliente	E	15 000
Conto	E	20 000
Transazione	E	600 000
Persona Fisica	E	14 000
Società	E	1000
Titolarità	R	30 000
Operazione	R	800 000

Operazione	Tipo	Frequenza
Op. 1	I	100/giorno
Op. 2	I	2000/giorno
Op. 3	I	1000/giorno
Op. 4	I	2000/giorno
Op. 5	I	1000/giorno
Op. 6	I	200/giorno
Op. 7	B	1500/giorno
Op. 8	B	1/mese
Op. 9	B	75/giorno
Op. 10	I	20/giorno

Figura 9.40 Tavole dei volumi e delle operazioni per lo schema in Figura 9.39

Operazione 6: mostra le ultime 10 transazioni di un conto.

Operazione 7: registra transazione esterna per un conto.

Operazione 8: prepara rapporto mensile dei conti.

Operazione 9: trova il numero dei conti posseduti da un cliente.

Operazione 10: mostra le transazione degli ultimi 3 mesi dei conti delle società con saldo negativo.

Si supponga infine che, in fase operativa, i dati di carico per questa applicazione bancaria siano quelli riportati in Figura 9.40.

Effettuare la fase di progettazione logica sullo schema E-R tenendo conto dei dati forniti. Nella fase di ristrutturazione si tenga conto del fatto che sullo schema esistono due ridondanze: gli attributi Saldo totale e Numero di conti dell'entità CLIENTE. Essi possono infatti essere derivati dall'associazione TITOLARITÀ e dall'entità CONTO.

- 9.8** Si consideri lo schema concettuale della Figura 9.41, nel quale l'attributo Saldo di una occorrenza di CONTOCORRENTE è ottenuto come somma dei valori dell'attributo Importo per le occorrenze di OPERAZIONE a essa correlate tramite l'associazione MOVIMENTO.



Figura 9.41 Schema per l'Esercizio 9.8



Figura 9.42 Schema per l'Esercizio 9.9

Valutare se convenga o meno mantenere la ridondanza, tenendo conto del fatto che le cardinalità delle due entità sono $L_{CC} = 2000$ e $L_{OP} = 20\,000$ e che le operazioni più importanti sono:

- OP_1 scrittura di un movimento, con frequenza $f_1 = 10$;
- OP_2 lettura del saldo con frequenza $f_2 = 1000$.

9.9 Lo schema concettuale della Figura 9.42 rappresenta un insieme di viaggi e un insieme di partecipanti a questi viaggi. Ogni viaggio ha diversi partecipanti e la stessa persona può partecipare a più viaggi. Nello schema l'attributo Incasso è ridondante perché può essere ottenuto moltiplicando il costo del viaggio per il numero di partecipanti (cioè il prodotto del valore dell'attributo Costo di ogni occorrenza dell'entità Viaggio per il numero di occorrenze dell'entità PARTECIPANTE a cui è correlato tramite l'associazione V-P).

Valutare se convenga o meno mantenere la ridondanza, tenendo conto del fatto che le cardinalità dei concetti in gioco sono NViaggio=20.000, NV-P=300.000 e NPartecipante = 100.000 e che le operazioni più importanti sono:

- Op1 calcolo dell'incasso di un viaggio, con frequenza $f_1 = 10$ al mese;
- Op2 inserimento di un partecipante al viaggio, con frequenza $f_2 = 5$ al giorno.

Assumere che il costo di una lettura e quello di una scrittura siano uguali e che un mese sia di 20 giorni lavorativi.

9.10 Considerare un frammento di schema E-R contenente le entità E_0 (con attributi $A_{0,1}$, identificante, e $A_{0,2}$), E_1 (con attributo $A_{1,1}$), E_2 (con attributo $A_{2,1}$), E_3 (con attributo $A_{3,1}$), E_4 (con attributo $A_{4,1}$) e due generalizzazioni, la prima totale con genitore E_0 e figlie E_1 ed E_2 e la seconda parziale con genitore E_1 e figlie E_3 ed E_4 . Supporre paragonabili fra loro le dimensioni degli attributi. Indicare, per ciascuno dei casi seguenti, considerati separatamente, la scelta (o le scelte, qualora ve ne siano diverse paragonabili) che si ritiene preferibile per l'eliminazione delle generalizzazioni nella progettazione logica:

- le operazioni nettamente più frequenti sono due, che accedono rispettivamente a tutte le occorrenze di E_1 (con stampa dei valori di $A_{0,1}$, $A_{0,2}$ e $A_{1,1}$) e a tutte le occorrenze di E_2 (con stampa dei valori di $A_{0,1}$, $A_{0,2}$ e $A_{2,1}$);
- le operazioni nettamente più frequenti sono due, che accedono rispettivamente a tutte le occorrenze di E_1 (con stampa dei valori di $A_{0,1}$, $A_{1,1}$ e, se esiste, $A_{3,1}$) e a tutte le occorrenze di E_2 (con stampa dei valori di $A_{0,1}$ e $A_{2,1}$);
- l'operazione nettamente più frequente prevede l'accesso a tutte le occorrenze di E_0 (con stampa dei valori di $A_{0,1}$, $A_{0,2}$);
- l'operazione nettamente più frequente prevede l'accesso a occorrenze (tutte o alcune) di E_0 (con stampa dei valori di tutti gli attributi, inclusi quelli di tutte le altre entità, ove applicabili).

9.11 Mostrare uno schema E-R che descriva una realtà d'interesse corrispondente a quella rappresentata da uno schema relazionale composto dalle seguenti relazioni:

- CICLISTA(Codice, Cognome, Nome, Squadra);
- COMPETIZIONE(Codice, Nome, Organizzatore, KmTotali);
- TAPPA(Numero, Competizione, Partenza, Arrivo, KM) con vincolo di integrità referenziale fra Competizione e COMPETIZIONE;
- CLASSIFICATAPPA(NumTappa, Competizione, Ciclista, Posizione, DISTACCO) con vincoli di integrità referenziale fra gli attributi NumeroTappa, COMPETIZIONE e la relazione TAPPA e fra Ciclista e la relazione CICLISTA;
- CLASSIFICAGENERALE(NumTappa, Competizione, Ciclista, Posizione, Distacco) con vincoli di integrità referenziale fra gli attributi NumeroTappa, Competizione e la relazione TAPPA e fra Ciclista e la relazione CICLISTA.

9.12 Per ciascuno dei seguenti schemi logici (in cui A* indica che l'attributo A ammette valori nulli), mostrare uno schema concettuale dal quale possa essere stato ottenuto (indicando anche cardinalità e identificatori).

Schema (a):

- LIBRI(Codice, Titolo, Genere*, Autore) con vincolo di integrità referenziale fra Autore e la relazione SCRITTORI;
- EDIZIONI(Libro, Editore, Collana*, Anno) con vincoli di integrità referenziale fra Libro e la relazione LIBRI e fra Editore e la relazione EDITORI;
- EDITORI(Nome, Città);
- SCRITTORI(Codice, Cognome, Nome).

Schema (b):

- EDITORI e SCRITTORI come nello schema (a);
- LIBRI(Codice, Titolo, Genere*) con vincolo di integrità referenziale fra Genere e la relazione GENERI;
- EDIZIONI(Libro, Editore, Collana*, Anno) con vincoli di integrità referenziale fra Libro e la relazione LIBRI, fra Editore e la relazione EDITORI e tra Collana e la relazione COLLANE;
- AUTORI(Libro, Scrittore) con vincoli di integrità referenziale fra Libro e la relazione LIBRI e fra Scrittore e la relazione SCRITTORI;
- COLLANE(SiglaCollana, Nome);
- GENERI(SiglaGenere, Nome).

9.13 Per ciascuno dei seguenti schemi logici (in cui A* indica che l'attributo A ammette valori nulli), mostrare uno schema concettuale dal quale possa essere stato ottenuto (indicando anche cardinalità e identificatori).

Schema (a):

- CASECOSTRUTTRICI(Codice, Nome, Nazione*);
- MODELLI(Casa, Nome, Categoria*) con vincolo di integrità referenziale fra l'attributo Casa e la relazione CASECOSTRUTTRICI;
- AUTOMOBILI(Targa, Casa, Modello, Anno, Proprietario) con vincoli di integrità referenziale fra gli attributi Casa e Modello e la relazione MODELLI e fra l'attributo Proprietario e la relazione PERSONE;
- PERSONE(CodiceFiscale, Cognome, Nome).

Schema (b):

- MODELLI e PERSONE come nello Schema (a);
- CASECOSTRUTTRICI (Codice, Nome, Nazione*) con vincolo di integrità referenziale fra Nazione e la relazione NAZIONI;

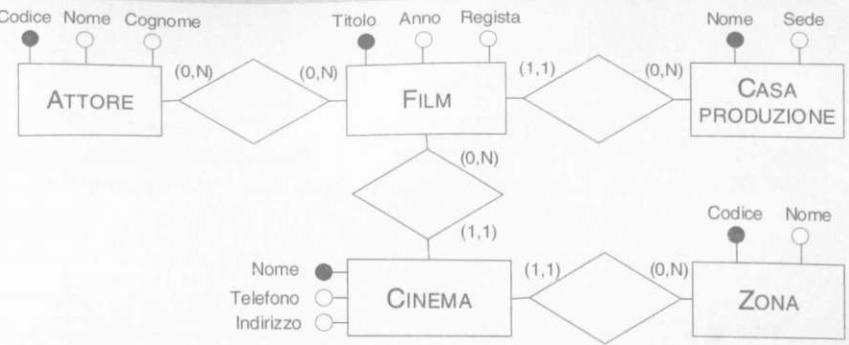


Figura 9.43 Schema per l'Esercizio 9.15.

- VERSIONI (Casa, Modello, CodiceVersione, Cilindrata) con vincolo di integrità referenziale fra gli attributi Casa e Modello e la relazione MODELLI;
- AUTOMOBILI(Targa, Casa, Modello, Versione, Anno) con vincolo di integrità referenziale fra gli attributi Casa, Modello, Versione e la relazione VERSIONI;
- ACQUISTO (Auto, Data, Acquirente) con vincoli di integrità referenziale fra Auto e la relazione AUTOMOBILI e fra Acquirente e la relazione PERSONE;
- NAZIONI(SiglaNazione, Nome).

9.14 Progettare lo schema logico relazionale corrispondente allo schema concettuale definito nell'Esercizio 8.14 mostrando i nomi degli attributi, i vincoli di chiave e di integrità referenziale.

9.15 Mostrare uno schema logico che possa essere ottenuto dallo schema E-R in Figura 9.43.

9.16 Tradurre lo schema E-R della Figura 9.44 nel corrispondente schema relazionale.

9.17 Mostrare uno schema E-R che descriva una realtà d'interesse corrispondente a quella rappresentata da uno schema relazionale composto dalle seguenti relazioni:

- UTENZE(Prefisso, Numero, CodiceCentrale, Titolare, Indirizzo, DataAttivazione) con vincoli di integrità referenziale fra gli attributi Prefisso e CodiceCentrale e la relazione CENTRALI e fra Utente e la relazione UTENTI;
- CENTRALI(Distretto, Codice, Indirizzo, Capacità);
- UTENTI(CodiceFiscale, Cognome, Nome);
- DISTRETTI(Prefisso, Nome, Provincia), con vincolo di integrità referenziale fra l'attributo Provincia e la relazione PROVINCE;
- PROVINCE(Sigla, Nome, Capoluogo);
- BOLLETTE(Prefisso, Numero, DataEmissione, Importo), con vincolo di integrità referenziale fra Prefisso, Numero e la relazione UTENZE;
- PAGAMENTI(Codice, Prefisso, Numero, DataPagamento, Modalità, Im-

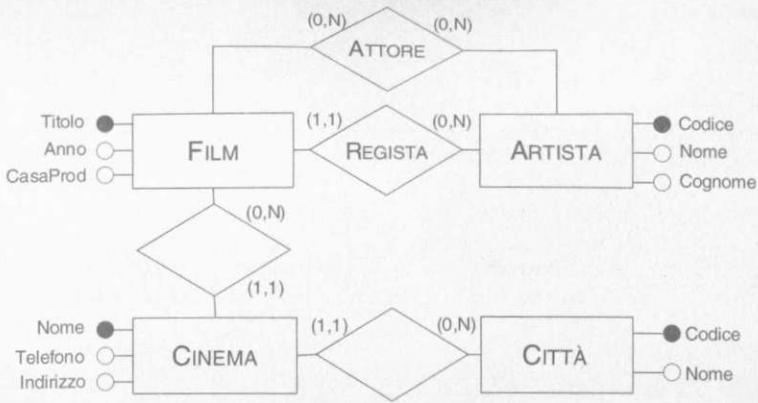


Figura 9.44 Schema per l'Esercizio 9.16.

porto), con vincolo di integrità referenziale fra Prefisso, Numero e la relazione UTENZE.

- 9.18 Modificare lo schema prodotto come soluzione all'esercizio precedente supponendo che, oltre alle utenze domestiche, siano descritte anche le utenze radiomobili, ognuna delle quali deve essere associata a un'utenza domestica e quindi avere lo stesso titolare. Le bollette sono emesse con riferimento alle singole utenze. Le utenze radiomobili sono associate a pseudo-distretti, che corrispondono alle aree con lo stesso prefisso.



La normalizzazione

In questo capitolo studieremo alcune proprietà, dette *forme normali*, che "certificano" la qualità dello schema di una base di dati relazionale. Vedremo infatti che quando una relazione non soddisfa una forma normale, allora presenta ridondanze e si presta a comportamenti poco desiderabili durante le operazioni di aggiornamento. Questo concetto può di fatto essere utilizzato per effettuare controlli di qualità di basi di dati relazionali e costituisce per questo un utile strumento di analisi nell'ambito dell'attività di progettazione di una base di dati. Per gli schemi che non soddisfano una forma normale, è inoltre possibile applicare un procedimento, detto di *normalizzazione*, che consente di trasformare questi schemi non normalizzati in nuovi schemi per i quali il soddisfacimento di una forma normale è garantito.

Prima di cominciare, bisogna fare due importanti precisazioni. Va detto innanzitutto che le metodologie di progettazione viste nei capitoli precedenti permettono di solito di ottenere schemi che soddisfano una forma normale. In questo contesto, la teoria della normalizzazione costituisce un utile strumento di verifica, in grado di suggerire emendamenti, ma che non può sostituire, soprattutto in applicazioni complesse, le metodologie di analisi e progettazione di più ampio respiro. C'è inoltre da dire che la teoria della normalizzazione è stata studiata nell'ambito del modello relazionale e per questo, all'inizio, presenteremo l'argomento facendo riferimento a questo modello di dati. Vedremo poi però che molte delle considerazioni fatte in precedenza a livello di schema logico, possono essere applicate anche su schemi Entità-Relazione e quindi effettuate a monte, per esempio, durante la fase di analisi di qualità della progettazione concettuale.

Affronteremo questo argomento in maniera graduale, discutendo prima i problemi (ridondanze e anomalie) che si possono verificare in una relazione, per poi fornire, partendo sempre da spunti intuitivi, tecniche sistematiche per l'analisi e la normalizzazione. Approfondiremo anche alcuni aspetti da un punto di vista teorico, pur consapevoli che una trattazione completa richiederebbe molto più spazio; tale trattazione avrà quindi scopo prevalentemente esemplificativo. Come già accennato, faremo questo prima con riferimento al modello relazionale, per poi passare a discutere gli stessi concetti nell'ambito del modello Entità-Relazione.

11.1 Ridondanze e anomalie

Introduciamo i primi concetti attraverso un esempio. Consideriamo la relazione di Figura 11.1. Questa relazione ha come chiave l'insieme costituito dagli attributi **Impiegato** e **Progetto**. Si può inoltre facilmente verificare che le tuple della relazione soddisfano le seguenti proprietà:

Impiegato	Stipendio	Progetto	Bilancio	Funzione
Rossi	20 000	Marte	2000	tecnico
Verdi	35 000	Giove	15 000	progettista
Verdi	35 000	Venere	15 000	progettista
Neri	55 000	Venere	15 000	direttore
Neri	55 000	Giove	15 000	consulente
Neri	55 000	Marte	2000	consulente
Mori	48 000	Marte	2000	direttore
Mori	48 000	Venere	15 000	progettista
Bianchi	48 000	Venere	15 000	progettista
Bianchi	48 000	Giove	15 000	direttore

Figura 11.1 Esempio di relazione con anomalie

1. lo stipendio di ciascun impiegato è unico ed è funzione del solo impiegato, indipendentemente dai progetti cui partecipa;
2. il bilancio di ciascun progetto è unico e dipende dal solo progetto, indipendentemente dagli impiegati che vi partecipano.

Questi fatti hanno alcune conseguenze sul contenuto della relazione e sulle operazioni che si possono effettuare su di essa. Limitiamo le nostre considerazioni alla prima proprietà lasciando per esercizio quelle, analoghe, relative alla seconda.

- Il valore dello stipendio di ciascun impiegato è ripetuto in tutte le tuple relative a esso: si ha quindi una *ridondanza*; se per esempio un impiegato partecipasse a 20 progetti, il suo stipendio verrebbe ripetuto 20 volte.
- Se lo stipendio di un impiegato varia, è necessario andarne a modificare il valore in tutte le tuple corrispondenti affinché la dipendenza continui a valere; questo inconveniente, che comporta la necessità di effettuare più modifiche contemporaneamente, va sotto il nome di *anomalia di aggiornamento*.
- Se un impiegato interrompe la partecipazione a tutti i progetti senza lasciare l'azienda, e quindi tutte le corrispondenti tuple vengono eliminate, non è possibile conservare traccia del suo nome e del suo stipendio (a meno di ammettere valori nulli sull'unica chiave, il che è, come abbiamo visto nel Capitolo 2, inammissibile), che potrebbero rimanere di interesse; questo problema viene indicato come *anomalia di cancellazione*.
- Analogamente, se si hanno informazioni su un nuovo impiegato, non è possibile inserirle finché questi non viene assegnato a un progetto; in questo caso parliamo di *anomalia di inserimento*.

Una motivazione intuitiva della presenza di questi inconvenienti può essere la seguente: abbiamo usato un'unica relazione per rappresentare informazioni eterogenee. In particolare, nella relazione sono rappresentati: gli impiegati con i relativi stipendi, i progetti con i relativi bilanci e le partecipazioni degli impiegati ai progetti con le relative funzioni.

Generalizzando, possiamo arrivare alle seguenti conclusioni, che evidenziano i difetti presentati da relazioni che riuniscono concetti fra loro disomogenei.

- È possibile che alcuni dati debbano essere ripetuti in diverse tuple, senza aggiungere in tal modo informazioni significative.
- Se alcune informazioni sono ripetute in modo ridondante, il relativo aggiornamento (concettualmente atomico) deve essere ripetuto per ciascuna occorrenza dei relativi dati. Il fatto che i linguaggi di manipolazione, per esempio SQL, permettano di specificare aggiornamenti multipli per mezzo di un solo comando risolve il problema solo dal punto di vista del programmatore ma non da quello del sistema, perché comunque le tuple della base di dati vanno aggiornate tutte e quindi si deve fisicamente accedere a ciascuna di esse.
- La cancellazione di una tupla, motivata dal fatto che non è più valido l'intero insieme di concetti da essa espressi, per esempio perché uno di essi non sussiste più, può comportare l'eliminazione di tutti i concetti in questione, cioè anche di quelli che conservano la loro validità.
- L'inserimento di informazioni relative a uno solo dei concetti di pertinenza per una relazione non è possibile se non esiste un intero insieme di concetti in grado di costituire una tupla completa (o almeno la sua chiave primaria).

11.2 Dipendenze funzionali

Per studiare in maniera sistematica i concetti introdotti informalmente nel paragrafo precedente, è necessario far uso di uno specifico strumento di lavoro: la *dipendenza funzionale*. Si tratta di un particolare vincolo di integrità per il modello relazionale che, come ci suggerisce il nome, descrive legami di tipo funzionale tra gli attributi di una relazione.

Consideriamo ancora la relazione in Figura 11.1. Abbiamo osservato che lo stipendio di ciascun impiegato è unico e quindi, ogni volta che in una tupla della relazione compare un certo impiegato, il valore del suo stipendio rimane sempre lo stesso. Possiamo cioè dire che il valore dell'attributo **Impiegato** *determina* il valore dell'attributo **Stipendio** o, in maniera più precisa, che esiste una funzione che associa a ogni elemento del dominio dell'attributo **Impiegato** che compare nella relazione, un solo elemento del dominio dell'attributo **Stipendio**. Un discorso analogo si può fare per il legame che intercorre tra gli attributi **Progetto** e **Bilancio** perché il valore del progetto determina il valore del bilancio del progetto stesso e quindi tutte le volte che nella relazione compare il nome di un progetto, il bilancio a esso associato sarà sempre lo stesso.

Questo concetto può essere formalizzato come segue. Data una relazione r su uno schema $R(X)$ e due sottoinsiemi di attributi non vuoti Y e Z di X , diremo che esiste su r una dipendenza funzionale tra Y e Z , se, per ogni coppia di tuple t_1 e t_2 di r aventi gli stessi valori sugli attributi Y , risulta che t_1 e t_2 hanno gli stessi valori anche sugli attributi Z .

Una dipendenza funzionale tra gli attributi Y e Z viene generalmente indicata con la notazione $Y \rightarrow Z$ e, come gli altri vincoli di integrità, viene associata a

uno schema: una relazione su quello schema verrà considerata corretta se soddisfa tale dipendenza funzionale. Tornando ai nostri esempi possiamo dunque dire che sulla relazione in Figura 11.1 esistono le dipendenze funzionali:

Impiegato → Stipendio

Progetto → Bilancio

Ci sono alcune osservazioni da fare sulle dipendenze funzionali. La prima è che, se l'insieme Z è composto dagli attributi A_1, A_2, \dots, A_k , allora una relazione soddisfa $Y \rightarrow Z$ se e solo se essa soddisfa tutte le k dipendenze $Y \rightarrow A_1, \dots, Y \rightarrow A_k$. Di conseguenza, quando opportuno, possiamo, senza perdita di generalità, assumere che le dipendenze abbiano la forma $Y \rightarrow A$, in cui A è un singolo attributo.

Una seconda osservazione è la seguente: in base alle definizione data, possiamo notare che, nella nostra relazione, è verificata anche la dipendenza funzionale:

Impiegato Progetto → Progetto

in quanto due tuple con gli stessi valori sulla coppia di attributi **Impiegato** e **Progetto**, hanno ovviamente lo stesso valore sull'attributo **Progetto**, che è uno dei due. Questa è in effetti una dipendenza funzionale banale perché asserisce una proprietà ovvia di una relazione. Le dipendenze funzionali dovrebbero invece servire a descrivere proprietà significative dell'applicazione che stiamo rappresentando. Diremo quindi che, in generale, una dipendenza funzionale $Y \rightarrow A$ è *non banale* se A non compare tra gli attributi di Y . D'ora in avanti, salvo che nella trattazione teorica del Paragrafo 11.6, faremo riferimento solo a dipendenze funzionali non banali, omettendo spesso per brevità tale aggettivo.

Un'ultima osservazione sulle dipendenze funzionali riguarda il loro legame con il vincolo di chiave. Se prendiamo una chiave K di una relazione r , si può facilmente verificare che esiste una dipendenza funzionale tra K e ogni altro attributo dello schema di r . Questo perché, per definizione stessa di vincolo di chiave, non possono esistere due tuple con gli stessi valori su K e quindi una dipendenza funzionale che ha K al primo membro sarà sempre soddisfatta. Con riferimento al nostro esempio, abbiamo detto che gli attributi **Impiegato** e **Progetto** formano una chiave. Possiamo allora affermare che, per esempio, vale la dipendenza funzionale **Impiegato Progetto → Funzione**. In particolare, esisterà una dipendenza funzionale tra una chiave di una relazione e tutti gli attributi dello schema della relazione (esclusi quelli della chiave stessa per quanto appena detto). Nel nostro caso abbiamo cioè che:

Impiegato Progetto → Stipendio Bilancio Funzione

Possiamo quindi concludere dicendo che il vincolo di dipendenza funzionale *generalizza* il vincolo di chiave. Più precisamente, possiamo dire che una dipendenza funzionale $Y \rightarrow Z$ su uno schema $R(X)$ degenera nel vincolo di chiave se l'unione di Y e Z è pari a X . In tal caso infatti, Y è (super)chiave per lo schema $R(X)$.

11.3 Forma normale di Boyce e Codd

11.3.1 Definizione di forma normale di Boyce e Codd

In questo paragrafo rivisitiamo i concetti illustrati nel Paragrafo 11.1, alla luce di quanto detto sulle dipendenze funzionali: l'idea fondamentale è che si possono introdurre proprietà, dette *forme normali*, definite con riferimento alle dipendenze funzionali, che sono soddisfatte quando non ci sono anomalie.

Osserviamo che, nel nostro esempio, le due proprietà causa di anomalie corrispondono esattamente ad attributi coinvolti in dipendenze funzionali.

- La proprietà “Lo stipendio di ciascun impiegato è funzione del solo impiegato, indipendentemente dai progetti cui partecipa” implica il soddisfacimento della dipendenza funzionale **Impiegato → Stipendio**.
- La proprietà “Il bilancio di ciascun progetto dipende dal solo progetto, indipendentemente dagli impiegati che vi partecipano” corrisponde alla dipendenza funzionale **Progetto → Bilancio**.

Inoltre, è opportuno notare che l'attributo **Funzione** indica, per ciascuna tupla, il ruolo svolto dall'impiegato nel progetto. Tale ruolo è unico, per ciascuna coppia impiegato-progetto. Anche questa proprietà può essere modellata per mezzo di una dipendenza funzionale.

- La proprietà “In ciascun progetto, ciascuno degli impiegati coinvolti può svolgere una e una sola funzione” implica il soddisfacimento della dipendenza funzionale **Impiegato Progetto → Funzione**. Come abbiamo accennato nel paragrafo precedente, questo è anche una conseguenza del fatto che gli attributi **Impiegato** e **Progetto** formano la chiave della relazione.

Abbiamo visto, nel Paragrafo 11.1, come la prima proprietà (e quindi la corrispondente dipendenza funzionale) generi ridondanze e anomalie indesiderate. Con argomenti analoghi possiamo rilevare come anche la seconda dipendenza funzionale generi ridondanze e anomalie. È diverso il caso per la terza dipendenza che non genera mai ridondanze perché, essendo **Impiegato Progetto** la chiave, la relazione non può contenere due tuple uguali su questi attributi (e quindi sull'attributo **Funzione**). Per quanto riguarda le anomalie, da un punto di vista concettuale possiamo dire che essa non ne può generare, in quanto ogni impiegato ha uno stipendio (e uno solo) e ogni progetto ha un bilancio (e uno solo), e quindi per ogni coppia impiegato-progetto è possibile avere valori univoci per tutti gli altri attributi della relazione. In alcuni casi tali valori potrebbero non essere disponibili ma, non facendo essi parte della chiave, potremmo sostituirli senza problemi con valori nulli.

Riassumendo, le dipendenze:

Impiegato → Stipendio

Progetto → Bilancio

sono causa di anomalie, mentre la dipendenza

Impiegato Progetto → Funzione

non lo è. La differenza, come accennato, risiede nel fatto che **Impiegato Progetto** è una superchiave (specificamente, è l'unica chiave) della relazione. In effetti, tutti i ragionamenti che abbiamo sviluppato sono legati esclusivamente a questa proprietà e non si riferiscono in alcun modo ad aspetti specifici dell'applicazione d'interesse. Possiamo quindi concludere che le ridondanze e le anomalie sono causate dalle dipendenze funzionali $X \rightarrow A$ che permettono la presenza di più tuple fra loro uguali sugli attributi in X , cioè, in altre parole, dalle dipendenze funzionali $X \rightarrow A$ tali che X non contiene una chiave.

Precisiamo queste idee per mezzo della più importante delle forme normali, detta di Boyce e Codd, dal nome dei suoi ideatori. Una relazione r è in *forma normale di Boyce e Codd* se per ogni dipendenza funzionale (non banale) $X \rightarrow A$ definita su di essa, X contiene una chiave K di r , cioè X è superchiave per r .

Anomalie e ridondanze, come discusse nel paragrafo precedente, non si presentano per relazioni in forma normale di Boyce e Codd, perché i concetti indipendenti sono separati, uno per relazione.

11.3.2 Decomposizione in forma normale di Boyce e Codd

Data una relazione che non soddisfa la forma normale di Boyce e Codd è possibile, in molti casi, sostituirla con due o più relazioni normalizzate attraverso un processo detto di *normalizzazione*. Questo processo si fonda su un semplice criterio: se una relazione rappresenta più concetti indipendenti, allora va decomposta in relazioni più piccole, una per ogni concetto. Presentiamo in primo luogo l'idea in modo informale per poi precisare, nei paragrafi successivi, alcuni aspetti.

Se alla relazione in Figura 11.1 sostituiamo le tre relazioni in Figura 11.2, ottenute per mezzo di proiezioni sugli insiemi di attributi rispettivamente corrispondenti ai tre concetti prima menzionati, eliminiamo anomalie e ridondanze: le tre relazioni sono infatti in forma normale di Boyce e Codd. Si osservi che abbiamo costruito le relazioni in modo che a ciascuna dipendenza corrisponda una diversa relazione la cui chiave è proprio il primo membro della dipendenza stessa. In tal modo, il soddisfacimento della forma normale di Boyce e Codd è garantito, per la definizione stessa di tale forma normale.

Nell'esempio, la separazione delle dipendenze (e quindi dei concetti da esse rappresentati) è stata facilitata dalla struttura delle dipendenze stesse, "naturalmente" separate e indipendenti l'una dall'altra. In effetti, in molti casi pratici, la decomposizione può essere effettuata producendo tante relazioni quante sono le dipendenze funzionali definite (o meglio, le dipendenze funzionali con diverso primo membro). In generale, purtroppo, le dipendenze possono avere una struttura complessa: può non essere necessario (o possibile) basare la decomposizione su tutte le dipendenze e può essere difficile individuare quelle su cui si deve basare la decomposizione. Per questa ragione è importante studiare formalmente le proprietà delle dipendenze funzionali, cui accenneremo nel Paragrafo 11.6.

Impiegato	Stipendio	Progetto	Bilancio
Rossi	20 000	Marte	2000
Verdi	35 000	Giove	15 000
Neri	55 000	Venere	15 000
Mori	48 000		
Bianchi	48 000		

Impiegato	Progetto	Funzione	
Rossi	Marte	tecnico	
Verdi	Giove	progettista	
Verdi	Venere	progettista	
Neri	Venere	direttore	
Neri	Giove	consulente	
Neri	Marte	consulente	
Mori	Marte	direttore	
Mori	Venere	progettista	
Bianchi	Venere	progettista	
Bianchi	Giove	direttore	

Figura 11.2 Decomposizione della relazione in Figura 11.1

11.4 Proprietà delle decomposizioni

In questo paragrafo esaminiamo più in dettaglio il concetto di decomposizione, notando come non tutte le decomposizioni siano desiderabili e individuando alcune proprietà essenziali che devono essere soddisfatte da una “buona” decomposizione.

11.4.1 Decomposizione senza perdita

Per discutere la prima proprietà, esaminiamo la relazione in Figura 11.3.

Impiegato	Progetto	Sede
Rossi	Marte	Roma
Verdi	Giove	Milano
Verdi	Venere	Milano
Neri	Saturno	Milano
Neri	Venere	Milano

Figura 11.3 Relazione per la discussione sulla decomposizione senza perdita

Tale relazione soddisfa le dipendenze funzionali

Impiegato → Sede

Progetto → Sede

che, sostanzialmente, specificano il fatto che ciascun impiegato opera presso un'unica sede e che ciascun progetto è sviluppato presso un'unica sede. Si osservi che ciascun impiegato può partecipare a più progetti anche se, sulla base delle dipendenze funzionali, devono essere tutti progetti assegnati alla sede cui afferisce.

Operando come nei casi precedenti, separando cioè sulla base delle dipendenze, saremmo portati a decomporre la relazione in due parti:

- una relazione sugli attributi **Impiegato** e **Sede**, in corrispondenza alla dipendenza **Impiegato → Sede**;
- l'altra sugli attributi **Progetto** e **Sede**, in corrispondenza alla dipendenza funzionale **Progetto → Sede**.

L'istanza in Figura 11.3 verrebbe decomposta, per mezzo di proiezioni sugli attributi coinvolti, nelle due relazioni in Figura 11.4.

Esaminiamo in dettaglio le due relazioni. In particolare, consideriamo come sia possibile (provare a) ricostruire informazioni sulla partecipazione degli impiegati ai progetti. L'unica possibilità che abbiamo è di utilizzare l'attributo **Sede**, che è l'unico attributo comune alle due relazioni: possiamo cioè correlare un impiegato a un progetto se il progetto viene svolto nella sede presso cui l'impiegato opera. Purtroppo, però, in questo caso non riusciamo a ricostruire tutte e sole le informazioni nella relazione originaria: per esempio l'impiegato Verdi lavora a Milano e il progetto Saturno viene svolto presso la sede di Milano, ma in effetti Verdi non lavora a tale progetto.

Possiamo generalizzare l'osservazione notando come la ricostruzione della relazione originaria a partire dalle sue proiezioni (cioè la ricostruzione di tutte le sue tuple a partire dalle tuple nelle proiezioni) debba intuitivamente essere effettuata per mezzo di una operazione di join naturale delle due proiezioni. Purtroppo, il join naturale delle due relazioni in Figura 11.4 produce la relazione in Figura 11.5, che è diversa dalla relazione in Figura 11.3.

Impiegato	Sede	Progetto	Sede
Rossi	Roma	Marte	Roma
Verdi	Milano	Giove	Milano
Neri	Milano	Saturno	Milano
		Venere	Milano

Figura 11.4 Relazioni ottenute per proiezione dalla relazione in Figura 11.3

Impiegato	Progetto	Sede
Rossi	Marte	Roma
Verdi	Giove	Milano
Verdi	Venere	Milano
Neri	Saturno	Milano
Neri	Venere	Milano
Verdi	Saturno	Milano
Neri	Giove	Milano

Figura 11.5 Il risultato del join delle relazioni in Figura 11.4

In effetti, la relazione in Figura 11.5 contiene tutte le tuple della relazione originaria (Figura 11.3) più altre tuple (nella rappresentazione tabellare, le ultime due). La situazione nell'esempio corrisponde al caso generale: data una relazione r su un insieme di attributi X , se X_1 e X_2 sono due sottoinsiemi di X la cui unione sia pari a X stesso, allora il join delle due relazioni ottenute per proiezione da r su X_1 e X_2 , rispettivamente, è una relazione che contiene tutte le tuple di r , più eventualmente altre, che possiamo chiamare “spurie”. Diciamo che r si *decompon*e senza perdita su X_1 e X_2 se il join delle due proiezioni è uguale a r stessa (cioè non contiene tuple spurie). È chiaramente desiderabile, anzi, è un requisito irrinunciabile, che una decomposizione effettuata a fini di normalizzazione sia senza perdita.

È possibile individuare una condizione che garantisce la decomposizione senza perdita di una relazione, come segue. Sia r una relazione su X e siano X_1 e X_2 sottoinsiemi di X tali che $X_1 \cup X_2 = X$; I inoltre, sia $X_0 = X_1 \cap X_2$; allora: r si decompone senza perdita su X_1 e X_2 se soddisfa la dipendenza funzionale $X_0 \rightarrow X_1$ oppure la dipendenza funzionale $X_0 \rightarrow X_2$.

In altre parole, possiamo dire che r si decompone senza perdita su due relazioni se l'insieme degli attributi comuni alle due relazioni è chiave per almeno una delle relazioni decomposte. Nell'esempio, possiamo vedere che l'intersezione degli insiemi di attributi su cui abbiamo effettuato le due proiezioni è costituita dall'attributo **Sede**, che non è il primo membro di alcuna dipendenza funzionale.

Possiamo giustificare la condizione vista nel modo seguente, con riferimento a una relazione sugli attributi ABC e alle sue proiezioni su AB e AC . Supponiamo che r soddisfi $A \rightarrow C$. Allora, A è chiave per la proiezione di r su AC e quindi non ci sono in tale proiezione due tuple diverse con gli stessi valori su A . Il join costruisce tuple a partire dalle tuple nelle due proiezioni. Consideriamo una generica tupla $t = (a, b, c)$ nel risultato del join e facciamo vedere che appartiene a r , provando così l'uguaglianza delle due relazioni. La tupla t è ottenuta da $t_1 = (a, b)$ nella proiezione di r su AB e $t_2 = (a, c)$ nella proiezione di r su AC . Quindi, per la definizione dell'operatore di proiezione, devono esistere due tuple in r , t'_1 con valori a e b su AB e t'_2 con valori a e c su AC . Poiché r soddisfa la $A \rightarrow C$, esiste un solo valore su C in r associato al valore a su A : dato che (a, c) compare nella proiezione, tale valore è esattamente c . Quindi, il valore di t'_1 su C

è proprio c e così t'_1 (che appartiene a r) ha valori a , b e c , e cioè coincide con t , che quindi appartiene a r , come volevamo dimostrare.

E opportuno notare come la condizione enunciata è sufficiente ma non necessaria per la decomposizione senza perdita: esistono infatti istanze di relazione che non soddisfano nessuna delle due dipendenze, ma al tempo stesso si decompongono senza perdita. Per esempio, la relazione in Figura 11.5 (ottenuta come join delle proiezioni) si decompone senza perdita sui due insiemi **Impiegato**, **Sede** e **Progetto**, **Sede**. Peraltra, la condizione in questione garantisce che *tutte* le istanze di relazione che soddisfano un dato insieme di dipendenze si decompongano senza perdita, e questo è in effetti un risultato utilizzabile in pratica: ogniqualvolta decomponiamo una relazione in due parti, se l'insieme degli attributi comuni è chiave per una delle due relazioni allora possiamo essere certi che tutte le istanze della relazione si decompongono senza perdita.

11.4.2 Conservazione delle dipendenze

Per introdurre la seconda proprietà possiamo esaminare di nuovo la relazione in Figura 11.3. Volendo ancora rimuovere le anomalie, potremmo pensare di sfruttare solo la dipendenza **Impiegato** → **Sede** per ottenere una decomposizione senza perdita (potremmo procedere anche utilizzando solo l'altra dipendenza, **Progetto** → **Sede**). Otteniamo in questa maniera due relazioni: una sugli attributi **Impiegato** e **Sede** e l'altra sugli attributi **Impiegato** e **Progetto**. L'istanza in Figura 11.3 verrebbe così decomposta nelle relazioni in Figura 11.6.

Il join delle due relazioni in Figura 11.6 produce effettivamente la relazione in Figura 11.3, per cui possiamo dire che la relazione in Figura 11.3 si decompone senza perdita su **Impiegato**, **Sede** e **Impiegato**, **Progetto**. In effetti, **Impiegato** è chiave per la prima relazione, per cui la decomposizione senza perdita è garantita. La decomposizione in Figura 11.6 presenta però un altro inconveniente, che possiamo rilevare nel modo seguente. Supponiamo di voler inserire una nuova tupla che specifica la partecipazione dell'impiegato Neri, che opera a Milano, al progetto Marte. Sulla relazione originaria, cioè quella in Figura 11.3, un tale aggiornamento verrebbe immediatamente individuato come illecito, perché porterebbe a una violazione della dipendenza **Progetto** → **Sede**. Sulle relazioni decomposte, invece, non è possibile rilevare alcuna violazione di dipendenze:

Impiegato	Sede	Impiegato	Progetto
Rossi	Roma	Rossi	Marte
Verdi	Milano	Verdi	Giove
Neri	Milano	Neri	Venere
		Neri	Saturno
			Venere

Figura 11.6 Un'altra decomposizione per la relazione in Figura 11.3

sulla relazione avente per attributi **Impiegato** e **Progetto** non è infatti possibile definire alcuna dipendenza funzionale e quindi non ci possono essere violazioni da rilevare, mentre nella relazione su **Impiegato Sede** la tupla con valori Neri e Milano soddisfa la dipendenza funzionale **Impiegato** → **Sede**. Possiamo quindi notare come non sia possibile effettuare alcuna verifica sulla dipendenza **Progetto** → **Sede**, perché i due attributi **Progetto** e **Sede** sono stati separati: uno in una relazione e l'altro nell'altra.

Generalizzando, possiamo quindi concludere che, in ogni decomposizione, ciascuna delle dipendenze funzionali dello schema originario dovrebbe coinvolgere attributi che compaiono tutti insieme in uno degli schemi composti. In questo modo, è possibile garantire, sullo schema decomposto, il soddisfacimento degli stessi vincoli il cui soddisfacimento è garantito dallo schema originario. Dieremo che una decomposizione che soddisfa tale proprietà *conserva le dipendenze* dello schema originario.

11.4.3 Qualità delle decomposizioni

Per riassumere le considerazioni svolte possiamo affermare che le decomposizioni dovrebbero sempre soddisfare le proprietà di *decomposizione senza perdita* e *conservazione delle dipendenze*.

- La decomposizione senza perdita garantisce che le informazioni nella relazione originaria siano ricostruibili con precisione (cioè senza informazioni spurie) a partire da quelle rappresentate nelle relazioni decomposte. In tal caso, interrogando le relazioni decomposte, otteniamo gli stessi risultati che otterremmo interrogando la relazione originaria.
- La conservazione delle dipendenze garantisce che le relazioni decomposte hanno la stessa capacità della relazione originaria di rappresentare i vincoli di integrità (e cioè le proprietà del frammento di mondo reale di interesse) e quindi di rilevare aggiornamenti illeciti: a ogni aggiornamento lecito (rispettivamente, illecito) sulla relazione originaria corrisponde un aggiornamento lecito (rispettivamente, illecito) sulle relazioni decomposte. Ovviamente, sono possibili sulle relazioni decomposte ulteriori aggiornamenti, legati ai singoli concetti rappresentati in ciascuna di esse, che non hanno un corrispettivo sulla relazione originaria, senza però corrispondere a violazioni dei vincoli: si tratta degli aggiornamenti impossibili sulle relazioni non normalizzate a causa delle anomalie.

Di conseguenza, nel seguito considereremo accettabili, cioè di qualità sufficiente, solo le decomposizioni che soddisfano queste due proprietà. Dato uno schema che viola una forma normale, l'attività di normalizzazione è quindi volta a ottenere una decomposizione che sia senza perdita, che conservi le dipendenze e che contenga relazioni in forma normale. Possiamo notare come la decomposizione discussa nel Paragrafo 11.3.2, con lo scopo di sostituire tre relazioni normalizzate a una non normalizzata, presenta tutte e tre le qualità.

11.5 Terza forma normale

11.5.1 Limitazioni della forma normale di Boyce e Codd

Nella maggior parte dei casi si può raggiungere l'obiettivo di una buona decomposizione in forma normale di Boyce e Codd. Talvolta però, questo non è possibile, come possiamo vedere discutendo un esempio. Consideriamo la relazione in Figura 11.7.

Su di essa, possiamo supporre che siano definite le seguenti dipendenze:

- **Dirigente → Sede**: ogni dirigente opera presso una sede;
- **Progetto Sede → Dirigente**: ogni progetto ha più dirigenti che ne sono responsabili, ma in sedi diverse, e ogni dirigente può essere responsabile di più progetti; però, per ogni sede, un progetto ha un solo responsabile.

La relazione non è in forma normale di Boyce e Codd perché il primo membro della dipendenza **Dirigente → Sede** non è superchiave. Al tempo stesso, possiamo notare come non sia possibile alcuna buona decomposizione di questa relazione: infatti, la dipendenza **Progetto Sede → Dirigente** coinvolge tutti gli attributi e quindi nessuna decomposizione è in grado di conservarla. L'esempio ci mostra quindi che esistono schemi che violano la forma normale di Boyce e Codd per i quali non esiste alcuna decomposizione che conservi le dipendenze. Possiamo quindi affermare che, talvolta, “la forma normale di Boyce e Codd non è raggiungibile.”

11.5.2 Definizione di terza forma normale

Per trattare casi come quello dell'esempio appena visto, si ricorre ad una forma normale meno restrittiva di quella di Boyce e Codd, che sostanzialmente consente situazioni come quella descritta, ma non ammette ulteriori fonti di ridondanza e anomalia. Diciamo che una relazione r è in *terza forma normale* se, per ogni dipendenza funzionale (non banale) $X \rightarrow A$ definita su di essa, almeno una delle seguenti condizioni è verificata:

Dirigente	Progetto	Sede
Rossi	Marte	Roma
Verdi	Giove	Milano
Verdi	Marte	Milano
Neri	Saturno	Milano
Neri	Venere	Milano

Figura 11.7 Relazione per la discussione di una decomposizione problematica

- X contiene una chiave K di r ;
- A appartiene ad almeno una chiave di r .

Ritornando al nostro esempio possiamo facilmente verificare che, sebbene lo schema non soddisfi la forma normale di Boyce e Codd, esso soddisfa la terza forma normale. Infatti, la dipendenza **Progetto Sede** → **Dirigente** ha come primo membro una chiave della relazione, mentre **Dirigente** → **Sede**, pur non contenendo una chiave al primo membro, ha un unico attributo a secondo membro che fa parte della chiave **Progetto Sede**. Si osservi che la relazione presenta in effetti una forma di ridondanza: ogni volta che un dirigente compare in una tupla, viene ripetuta per esso la sede in cui opera. Questa ridondanza viene però “tollerata” dalla terza forma normale perché non sarebbe possibile una decomposizione che elimini tale ridondanza e al tempo stesso conservi tutte le dipendenze.

In sostanza, abbiamo che la terza forma normale è meno forte della forma normale di Boyce e Codd e quindi non offre le medesime garanzie di qualità per una relazione; ha però rispetto a essa il vantaggio di essere sempre ottenibile. È possibile infatti dimostrare che una qualunque relazione che non soddisfa la terza forma normale è certamente decomponibile senza perdita e con conservazione delle dipendenze in relazioni in terza forma normale. Svilupperemo questo ragionamento nel Paragrafo 11.6.

11.5.3 Decomposizione in terza forma normale

Mostreremo nel Paragrafo 11.6 un procedimento algoritmico che permette di ottenere sempre una buona decomposizione in terza forma normale. Osserviamo qui che, intuitivamente, si può procedere come suggerito nel caso della forma normale di Boyce e Codd: una relazione che non soddisfa la terza forma normale si decompone in relazioni ottenute per proiezione sugli attributi corrispondenti alle dipendenze funzionali, con l'unica accortezza di mantenere sempre una relazione che contiene una chiave della relazione originaria. Questo può essere visto con riferimento alla relazione in Figura 11.8, per la quale vale la sola dipendenza funzionale **Impiegato** → **Stipendio**.

Impiegato	Progetto	Stipendio
Rossi	Marte	30 000
Verdi	Giove	30 000
Verdi	Venere	30 000
Neri	Saturno	40 000
Neri	Venere	40 000

Figura 11.8 Relazione per la discussione sulla decomposizione in terza forma normale

Impiegato	Progetto	Impiegato	Stipendio
Rossi	Marte	Rossi	30 000
Verdi	Giove	Verdi	30 000
Verdi	Venere	Neri	40 000
Neri	Saturno		
Neri	Venere		

Figura 11.9 Una decomposizione in terza forma normale

Una decomposizione in una relazione sugli attributi **Impiegato Stipendio** e in un'altra sul solo attributo **Progetto** violerebbe la proprietà di decomposizione senza perdita, proprio perché nessuna delle due relazioni contiene una chiave. Per garantire tale proprietà dobbiamo invece definire la seconda relazione sugli attributi **Impiegato Progetto**, che formano una chiave della relazione originaria. La conseguente decomposizione è mostrata nella Figura 11.9; notiamo che sulla prima relazione non sono definite dipendenze e che la sua chiave è costituita da entrambi gli attributi. Ribadiamo comunque il fatto che il successo di una decomposizione dipende in buona misura dalle dipendenze che abbiamo individuato.

Per concludere torniamo all'esempio di Figura 11.1 e osserviamo che la relazione non soddisfa neanche la terza forma normale. Procedendo come abbiamo suggerito otteniamo ancora la decomposizione di Figura 11.2 che, incidentalmente, è anche in forma normale di Boyce e Codd. Questo è in effetti un risultato di validità generale: una decomposizione intesa a ottenere la terza forma normale produce nella maggior parte dei casi schemi in forma normale di Boyce e Codd. In particolare, si può dimostrare che se una relazione ha solo una chiave (come in questo caso) allora le due forme normali coincidono, cioè una relazione in terza forma normale è anche in forma normale di Boyce e Codd.

11.5.4 Altre forme normali

L'aggettivo "terza" nel nome della forma normale suggerisce l'esistenza di altre forme normali che citiamo brevemente. La prima forma normale stabilisce semplicemente una condizione che sta alla base del modello relazionale stesso: gli attributi delle relazioni sono definiti su valori atomici e non su valori complessi quali insiemi o relazioni. Vedremo, nel secondo volume [5], come questo vincolo venga in effetti rilassato in altri modelli per basi di dati.

La seconda forma normale è una variante debole della terza e la introduciamo per mezzo di un esempio, la relazione in Figura 11.10. Essa soddisfa le dipendenze **Impiegato → Categoria** e **Categoria → Stipendio** e quindi viola la terza forma normale, perché **Categoria** non è chiave. La seconda forma normale tollera la dipendenza tra **Categoria** e **Stipendio**, perché **Stipendio** dipende comunque (sia pure attraverso **Categoria**) dall'intera chiave **Impiegato**.

Impiegato	Categoria	Stipendio
Neri	3	30 000
Verdi	3	30 000
Rossi	4	50 000
Mori	4	50 000
Bianchi	5	72 000

Figura 11.10 Una relazione con varie dipendenze funzionali

Al fine di citare terminologie usate, soprattutto in passato e in particolare nelle proposte originarie, riportiamo le definizioni originarie (anche se un po' informali) di seconda e terza forma normale.

- Una relazione è in seconda forma normale se su di essa non sono definite *dipendenze parziali*, cioè dipendenze fra un sottoinsieme proprio della chiave e altri attributi. Nell'esempio di Figura 11.1 abbiamo due dipendenze parziali **Impiegato** → **Stipendio** e **Progetto** → **Budget**, perché la chiave è costituita dai due attributi **Impiegato** e **Progetto**; tale relazione, quindi, viola anche la seconda forma normale. Invece, la relazione in Figura 11.10 soddisfa la seconda forma normale, perché non vi sono dipendenze parziali, in quanto sia **Categoria** sia **Stipendio** dipendono dall'intera chiave **Impiegato**; in effetti, dalla definizione discende che le relazioni che hanno la chiave composta da un solo attributo sono in seconda forma normale.
- Una relazione è in terza forma normale se su di essa non sono definite *dipendenze transitive*, cioè dipendenze della forma $K \rightarrow A$, dove K è la chiave ed esiste un altro insieme di attributi X , non chiave, con le dipendenze $K \rightarrow X$ e $X \rightarrow A$. Nella relazione in Figura 11.10 abbiamo una dipendenza transitiva fra **Impiegato** e **Stipendio** per via delle dipendenze **Impiegato** → **Categoria** e **Categoria** → **Stipendio**.

È importante notare che tanto le dipendenze parziali quanto quelle transitive violano la terza forma normale così come noi la abbiamo definita perché coinvolgono una dipendenza funzionale il cui primo membro non è superchiave e il cui secondo membro non fa parte della chiave.

Segnaliamo che esistono anche altre forme normali che fanno riferimento peraltro a vincoli di integrità diversi dalle dipendenze funzionali. Tutte queste forme normali vengono poco usate nelle applicazioni odierne in quanto è stato rilevato che la terza forma normale e la forma normale di Boyce e Codd forniscono il giusto compromesso tra semplicità e qualità dei risultati.

11.5.5 Normalizzazione e scelta degli attributi

Con riferimento alla relazione in Figura 11.7, svolgiamo un'ultima considerazione sulle forme normali. Esaminando meglio le specifiche, possiamo arrivare alla

Dirigente	Progetto	Sede	Reparto
Rossi	Marte	Roma	1
Verdi	Giove	Milano	1
Verdi	Marte	Milano	1
Neri	Saturno	Milano	2
Neri	Venere	Milano	2

Figura 11.11 Modifica della relazione in Figura 11.7

conclusione che avremmo potuto descrivere l'applicazione di interesse in maniera più appropriata introducendo un ulteriore attributo **Reparto**, che partiziona (sulla base dei responsabili) le singole sedi (vedi la relazione in Figura 11.11). Le dipendenze possono, in questo caso, essere così definite:

- **Dirigente → Sede Reparto**: ogni dirigente opera presso una sede e dirige un reparto;
- **Sede Reparto → Dirigente**: per ogni sede e reparto c'è un solo dirigente;
- **Progetto Sede → Reparto**: per ogni sede, un progetto è assegnato a un solo reparto (e, di conseguenza, ha un solo responsabile); la dipendenza funzionale **Progetto Sede → Dirigente** è quindi ricostruibile (cioè è soddisfatta se lo sono le altre due; formalizzeremo questo concetto con la nozione di implicazione nel prossimo paragrafo).

Per questo schema, esiste una buona decomposizione, come mostrato dall'istanza in Figura 11.12. Infatti:

- la decomposizione è senza perdita, perché gli attributi comuni **Sede** e **Reparto** formano una chiave per la prima relazione;
- le dipendenze sono conservative, perché per ciascuna dipendenza esiste una relazione decomposta che ne contiene tutti gli attributi;
- entrambe le relazioni sono in forma normale di Boyce e Codd, perché tutte le dipendenze hanno il primo membro costituito da una chiave.

Dirigente	Sede	Reparto
Rossi	Roma	1
Verdi	Milano	1
Neri	Milano	2

Progetto	Sede	Reparto
Marte	Roma	1
Giove	Milano	1
Marte	Milano	1
Saturno	Milano	2
Venere	Milano	2

Figura 11.12 Una buona decomposizione della relazione in Figura 11.11

Possiamo quindi concludere affermando che, spesso, come mostrato dall'ultimo esempio, la non raggiungibilità della forma normale di Boyce e Codd può essere dovuta a una analisi non sufficientemente accurata dell'applicazione.

11.6 Teoria delle dipendenze e normalizzazione

In questo paragrafo mostriamo, sia pure in modo schematico, come i più importanti concetti discussi nei paragrafi precedenti possano essere formalizzati, arrivando a un processo di normalizzazione realizzabile in modo algoritmico. Ci poniamo cioè il seguente problema: data una relazione e un insieme di dipendenze funzionali definite su di essa, generare una decomposizione della relazione che contenga solo relazioni in forma normale e soddisfi le qualità di decomposizione senza perdita e conservazione delle dipendenze. Poiché, come abbiamo visto, questo obiettivo non è raggiungibile per la forma normale di Boyce e Codd, lo perseguiremo per la terza forma normale. In linea di massima, il procedimento è quello già illustrato informalmente: definire una relazione per ciascun gruppo di dipendenze fra loro strettamente correlate. Il procedimento va formalizzato per definire bene l'insieme di dipendenze di interesse e completato con una verifica finale, che può portare a un passo aggiuntivo.

11.6.1 Implicazione di dipendenze funzionali

Come abbiamo visto per mezzo di alcuni esempi nel Paragrafo 11.3.2, la descrizione delle proprietà di una relazione può essere specificata indifferentemente per mezzo di diversi insiemi di dipendenze funzionali. Precisiamo questa osservazione per mezzo del concetto di implicazione di vincoli, discusso in questo paragrafo, e con quello di equivalenza di insiemi di vincoli, discusso nel prossimo. Per semplicità di trattazione, consideriamo qui ammissibili, a differenza di quanto fatto nei paragrafi precedenti, anche le dipendenze banali.

Diciamo che un insieme di dipendenze funzionali F *implica* un'altra dipendenza f se ogni relazione che soddisfa tutte le dipendenze in F soddisfa anche f . Con riferimento allo schema della relazione in Figura 11.10, possiamo osservare che le dipendenze **Impiegato** \rightarrow **Categoria** e **Categoria** \rightarrow **Stipendio** implicano la dipendenza **Impiegato** \rightarrow **Stipendio**. Ogni relazione che soddisfa le prime due soddisfa anche la terza, come si può verificare seguendo la definizione: se due tuple hanno lo stesso valore su **Impiegato**, facciamo vedere che hanno stesso valore su **Stipendio**; infatti, se hanno stesso valore su **Impiegato**, allora, per la prima dipendenza, esse hanno lo stesso valore su **Categoria** e quindi, per la seconda dipendenza, anche su **Stipendio**.

Il primo problema che formalizziamo e studiamo è quello dell'*implicazione* di dipendenze funzionali: dati F ed f , come verifichiamo se F implica f ?

Per procedere, definiamo un concetto che risulterà molto utile. Siano dati uno schema di relazione $R(U)$ e un insieme di dipendenze funzionali F definite sugli attributi in U . Sia X un insieme di attributi contenuti in U (cioè $X \subseteq U$);

la *chiusura* di X rispetto ad F , indicata con X_F^+ , è l'insieme degli attributi che dipendono funzionalmente da X (esplicitamente o implicitamente):

$$X_F^+ = \{A \mid A \in U \text{ e } F \text{ implica } X \rightarrow A\}$$

L'insieme X_F^+ può risultare molto utile: se vogliamo vedere se $X \rightarrow A$ è implicata da F , basta vedere se A appartiene a X_F^+ , a patto di saper calcolare X_F^+ . In effetti, questa è una strada valida, perché esiste un algoritmo semplice ed efficiente per il calcolo di X_F^+ .

Input: un insieme X di attributi e un insieme F di dipendenze.

Output: un insieme X_P di attributi.

- (1) Inizializziamo X_P con l'insieme di input X .
- (2) Esaminiamo le dipendenze in F ; se esiste una dipendenza $Y \rightarrow A$ con $Y \subseteq X_P$ e $A \notin X_P$ allora aggiungiamo A a X_P .
- (3) Ripetiamo il passo (2) fino al momento in cui non vi sono ulteriori attributi che possono essere aggiunti a X_P .

Dimostriamo, sia pur schematicamente, che l'algoritmo termina sempre e che calcola effettivamente la chiusura, cioè che il valore finale di X_P è proprio uguale a X_F^+ . Procediamo in tre passi.

- L'algoritmo termina: il passo principale viene ripetuto solo se ci sono attributi da aggiungere a X_P ; poiché il numero di attributi di una relazione è finito, prima o poi si raggiunge un punto in cui non vi sono attributi da aggiungere.
- $X_P \subseteq X_F^+$. Siano X_0, X_1, \dots, X_h i valori assunti da X_P durante l'esecuzione dell'algoritmo, con $X_0 = X$ e X_h pari al valore finale.

La dimostrazione procede per induzione, mostrando che $X_i \subseteq X_F^+$, per ogni i .

Il passo base, $X_0 = X \subseteq X_F^+$ è immediato, perché la dipendenza $X \rightarrow A$, per ogni $A \in X$, è banale e quindi sempre soddisfatta e quindi sempre implicata. Il passo induttivo richiede di mostrare che, se $X_i \subseteq X_F^+$, allora $X_{i+1} \subseteq X_F^+$, cioè che se F implica $X \rightarrow A$, per ogni $A \in X_i$ allora F implica $X \rightarrow A$, per ogni $A \in X_{i+1}$. Supponiamo che r soddisfi F e siano t_1 e t_2 due tuple uguali su X ; per l'ipotesi induttiva, r soddisfa $X \rightarrow A$, per ogni $A \in X_i$ e quindi t_1 e t_2 sono uguali su X_i ; se l'algoritmo viene applicato, allora F contiene una dipendenza $Y \rightarrow A$ con $Y \subseteq X_i$ e $X_{i+1} = X_i A$; ma se r soddisfa F , allora soddisfa $Y \rightarrow A$ e quindi, poiché t_1 e t_2 sono uguali su X_i (e quindi su Y , dato che $Y \subseteq X_i$) allora esse sono uguali su A e quindi anche su $X_{i+1} = X_i A$.

- $X_F^+ \subseteq X_P$. Dobbiamo mostrare che se $A \in X_F^+$ allora $A \in X_P$, cioè (per definizione di X_F^+) che se F implica $X \rightarrow A$, allora $A \in X_P$. Procediamo mostrando che se $A \notin X_P$ allora F non implica $X \rightarrow A$. Allo scopo, mostriamo un controesempio, costituito da una relazione su due tuple, uguali fra loro su tutti gli attributi in X_P e diverse sugli altri, come per esempio la seguente:

r	X_P	$U - X_P$
	0 0 ... 0	0 0 ... 0
	0 0 ... 0	1 1 ... 1

Questa relazione viola la dipendenza $X \rightarrow A$, perché $X \subseteq X_P$ e $A \notin X_P$ e quindi le due tuple sono uguali su X e diverse su A . Al tempo stesso, la relazione soddisfa tutte le dipendenze in F : consideriamo infatti una generica dipendenza $Z \rightarrow B$ appartenente ad F e distinguiamo due casi, $Z \subseteq X_P$ e $Z \not\subseteq X_P$. Nel secondo caso, le due tuple sono diverse su Z e quindi la dipendenza è certamente soddisfatta. Nel primo caso, le due tuple sono uguali su Z ; ma, poiché $Z \subseteq X_P$, allora l'algoritmo può considerare la dipendenza $Z \rightarrow B$ e, prima o poi, aggiungere anche B a X_P ; di conseguenza, le due tuple sono uguali anche su B .

Prima di mostrare un esempio, illustriamo un'importante applicazione di quanto discusso. Il concetto di chiusura X_F^+ è utile anche per formalizzare il legame fra il concetto di dipendenza funzionale e quello di chiave: un insieme di attributi K è chiave per uno schema di relazione $R(U)$ su cui è definito un insieme di dipendenze funzionali F se F implica $K \rightarrow U$. Di conseguenza, l'algoritmo appena mostrato può essere utilizzato per verificare se un insieme è chiave.

Per vedere un'applicazione dell'algoritmo, consideriamo la relazione in Figura 11.1, indicando i suoi attributi con le rispettive iniziali. Possiamo verificare che gli attributi IP formano una chiave, in quanto $IP^+ = ISPBF$ (e quindi IP è superchiave, perché la relazione è definita su $ISPBF$) e $I^+ = IS$ e $P^+ = PB$ (e quindi nessun sottoinsieme proprio di IP è superchiave). Il calcolo di IP^+ si esegue inizializzando l'insieme di lavoro a IP e aggiungendo (in effetti in qualunque ordine), S utilizzando $I \rightarrow S$, B utilizzando $P \rightarrow B$ e F utilizzando $IP \rightarrow F$. Invece I^+ si calcola partendo da I e potendo aggiungere solo S (grazie a $I \rightarrow S$); le altre due dipendenze non sono utilizzabili, perché P non appartiene all'insieme di lavoro.

11.6.2 Coperture di insiemi di dipendenze funzionali

Come già detto, può essere utile sostituire a un insieme di dipendenze funzionali un altro che specifichi, nella sostanza, le stesse proprietà, e che sia più semplice da gestire.

Due insiemi di dipendenze funzionali F_1 ed F_2 sono *equivalenti* se F_1 implica ciascuna dipendenza in F_2 e viceversa. Se due insiemi sono equivalenti diciamo anche che ognuno è una *copertura* dell'altro. Si può facilmente dimostrare che, dati due insiemi F_1 ed F_2 equivalenti, una relazione soddisfa F_1 se e solo se essa soddisfa F_2 . Questa proprietà giustifica quindi l'uso del termine "equivalenza" e la possibilità di utilizzare, dato un insieme di dipendenze, un altro, a esso equivalente, ma più semplice, per esempio con meno dipendenze o meno attributi. In effetti, si possono introdurre diversi criteri di "semplicità" per un insieme di dipendenze funzionali. Nella letteratura sono state introdotte numerose definizioni, fra cui le seguenti, che utilizzeremo: un insieme F è:

- *non ridondante* se non esiste dipendenza $f \in F$ tale che $F - \{f\}$ implica f ;
- *ridotto* se (i) è non ridondante e (ii) non esiste un insieme F' equivalente a F ottenuto eliminando attributi dai primi membri di una o più dipendenze di F .

Consideriamo alcuni insiemi di dipendenze:

$$F_1 = \{A \rightarrow B, AB \rightarrow C, A \rightarrow C\}$$

$$F_2 = \{A \rightarrow B, AB \rightarrow C\}$$

$$F_3 = \{A \rightarrow B, A \rightarrow C\}$$

Possiamo osservare che:

- F_1 è ridondante, perché $\{A \rightarrow B, AB \rightarrow C\}$ implica $A \rightarrow C$; F_1 è equivalente a F_2 ;
- F_2 è non ridondante ma non è ridotto, perché B può essere eliminato dal primo membro della seconda dipendenza: F_2 è equivalente a F_3 ;
- F_3 è ridotto.

Avendo visto nel paragrafo precedente come si verifica l'implicazione, possiamo dire che il calcolo di una copertura non ridondante e di una ridotta, dato un insieme di dipendenze, è abbastanza semplice, in quanto entrambe le definizioni si basano sull'implicazione. Per trovare una copertura non ridondante è sufficiente esaminare ripetutamente le dipendenze dell'insieme dato, eliminando quelle implicate da altre, fermandosi quando non ve ne sono più; l'insieme rimasto è una copertura non ridondante di quello iniziale. Per trovare una copertura ridotta, per un qualunque insieme di dipendenze funzionali, possiamo procedere in tre passi: (a) sostituiamo l'insieme dato con quello equivalente che ha tutti i secondi membri costituiti da singoli attributi; (b) eliminiamo le dipendenze ridondanti; (c) per ogni dipendenza verifichiamo se esistono attributi eliminabili dal primo membro: in pratica, se F è l'insieme corrente, per ogni dipendenza $Y \rightarrow A \in F$, verifichiamo se esiste $Y \subseteq X$ tale che F è equivalente a $F - \{X \rightarrow A\} \cup \{Y \rightarrow A\}$.

Per illustrare questo procedimento, consideriamo un esempio un po' più articolato, con una relazione relativa agli impiegati di un'azienda, sugli attributi **Matricola**, **Cognome**, **Grado**, **Retribuzione**, **Dipartimento**, **Supervisore**, **Progetto**, **Anzianità** e con le dipendenze (in cui, di nuovo, abbreviamo gli attributi con le iniziali): $M \rightarrow RSDG$, $MS \rightarrow CD$, $G \rightarrow R$, $D \rightarrow S$, $S \rightarrow D$, $MPD \rightarrow AM$. Dopo avere applicato il passo (a) relativo alla decomposizione dei secondi membri, possiamo nel passo (b) eliminare le dipendenze $M \rightarrow R$, $M \rightarrow S$, $MS \rightarrow D$, $MPD \rightarrow M$. Al passo (c) è poi possibile eliminare S dal primo membro della dipendenza $MS \rightarrow C$, e D dal primo membro di $MPD \rightarrow A$. La copertura ridotta ottenuta alla fine contiene quindi le dipendenze: $M \rightarrow D$, $M \rightarrow G$, $M \rightarrow C$, $G \rightarrow R$, $D \rightarrow S$, $S \rightarrow D$, $MP \rightarrow A$.

11.6.3 Sintesi di schemi in terza forma normale

Sulla base della nozione di copertura ridotta introdotta nel paragrafo precedente, possiamo a questo punto mostrare come si possa ottenere, in modo algoritmico, una decomposizione in terza formale (che soddisfi le proprietà di conservazione delle dipendenze e decomposizione senza perdita) per un qualunque schema.

Ricordiamo la definizione di terza forma normale, formalizzandola con i concetti introdotti in questo paragrafo: uno schema di relazione $R(U)$ con l'insieme

di dipendenze F è in *terza forma normale* se, per ogni dipendenza funzionale (non banale) $X \rightarrow A \in F$, almeno una delle seguenti condizioni è verificata:

- X contiene una chiave K di r : cioè $X_F^+ = U$;
- A è contenuto in almeno una chiave di r : esiste un insieme di attributi $K \subseteq U$ tale che $K_F^+ = U$ e $(K - A)_F^+ \subset U$.

L'algoritmo per la decomposizione procede come segue, dati $R(U)$ e F :

1. viene calcolata una copertura ridotta G di F ;
2. G viene partizionato in sottoinsiemi G_1, \dots, G_k tali che a ogni insieme appartengono dipendenze che hanno primi membri con la stessa chiusura (cioè, $X \rightarrow A$ e $Y \rightarrow B$ appartengono alla stessa partizione se e solo se $X_G^+ = Y_G^+$);
3. viene costruito un insieme \mathcal{U} di sottoinsiemi di U , uno per ciascuna partizione di dipendenze, con tutti gli attributi coinvolti nella partizione;
4. se un elemento di \mathcal{U} è propriamente contenuto in un altro, allora esso viene eliminato da \mathcal{U} ;
5. viene costruito uno schema di basi dati con uno schema di relazione $R_i(U_i)$ per ciascun elemento; $U_i \in \mathcal{U}$ con associate le dipendenze in G i cui attributi sono tutti contenuti in U_i ;
6. se nessuno degli U_i costituisce una chiave per la relazione originaria $R(U)$, allora viene calcolata una chiave K di $R(U)$ e viene aggiunto allo schema generato al passo precedente uno schema di relazione sugli attributi K , senza dipendenze.

Questo algoritmo va spesso sotto il nome di algoritmo di *sintesi* di schemi in terza forma normale, perché costruisce lo schema finale a partire dalle dipendenze. Non avendo lo spazio per una dimostrazione precisa della correttezza dell'algoritmo, giustifichiamo comunque il raggiungimento dei suoi obiettivi:

- il fatto che ciascuna delle relazioni sia in terza forma normale deriva dal fatto che in ciascuno schema di relazione compaiono dipendenze che hanno primi membri fra loro equivalenti e quindi ciascuno dei primi membri è chiave (questa argomentazione è in effetti sufficiente solo se il passo 4 dell'algoritmo non elimina alcun insieme; altrimenti, la proprietà è pure valida, ma con argomentazioni più laboriose, che omettiamo);
- la conservazione delle dipendenze deriva dal fatto che viene calcolata una copertura ridotta e che ciascuna dipendenza contribuisce a generare una relazione e quindi non può essere trascurata;
- la decomposizione senza perdita è garantita dall'ultimo passo: generalizzando la proprietà illustrata nel Paragrafo 11.4.1, potremmo vedere che, anche in una decomposizione n -aria, se una delle relazioni di una decomposizione contiene una chiave per la relazione originaria, allora la decomposizione risulta essere senza perdita.

Consideriamo due esempi di applicazione dell'algoritmo. Sulla relazione $R(MCGRDSPA)$ con le dipendenze mostrate nell'esempio alla fine del Para-

grafo 11.6.2, esso produce, al passo 1, la copertura ridotta mostrata in precedenza, al passo 2 partiziona la copertura negli insiemi:

$$\begin{aligned}G_1 &= \{M \rightarrow D, M \rightarrow G, M \rightarrow C\} \\G_2 &= \{G \rightarrow R\} \\G_3 &= \{D \rightarrow S, S \rightarrow D\} \\G_4 &= \{MP \rightarrow A\}\end{aligned}$$

Poi, i passi 3, 4 e 5 costruiscono uno schema di relazione per ciascuna partizione (senza bisogno in questo caso di eliminazioni), con le dipendenze corrispondenti. Il passo 6 non ha effetti, perché MP è chiave per la relazione originaria. Quindi, viene generato lo schema con le relazioni:

- $R_1(MDGC)$, con le dipendenze $M \rightarrow D, M \rightarrow G, M \rightarrow C$
- R_2GR con $\{G \rightarrow R\}$
- $R_3(DS)$ con $\{D \rightarrow S, S \rightarrow D\}$
- $R_4(MPA)$ con $\{MP \rightarrow A\}$

Se consideriamo invece l'esempio mostrato nei paragrafi iniziali di questo capitolo, la relazione $R(ISPBF)$, con le dipendenze $I \rightarrow C, P \rightarrow B, IP \rightarrow F$, otteniamo proprio lo schema mostrato nel Paragrafo 11.3.2, sempre senza utilizzare il passo 6. Se su tale schema fossero invece definite solo le dipendenze $I \rightarrow C, P \rightarrow B$, allora il passo 6 rileverebbe il fatto che nessuno degli schemi contiene una chiave per lo schema originario e allora aggiungerebbe uno schema di relazione $R_3(IPF)$, definito sulla chiave IPF dello schema originario.

11.7 Progettazione di basi di dati e normalizzazione

La teoria della normalizzazione, anche studiata in modo semplificato, può essere utilizzata come base per operazioni di verifica di qualità di schemi, sia nella fase di progettazione concettuale sia in quella di progettazione logica. Vediamo prima brevemente l'utilizzo nella progettazione logica, per poi considerare con maggiore dettaglio l'adattamento dei concetti al modello Entità-Relazione e quindi alla progettazione concettuale.

Le attività di progettazione sono sempre soggette a errori e incompletezze, e quindi una revisione delle relazioni ottenute in sede di progettazione logica può portare all'individuazione di imprecisioni nella formulazione dello schema concettuale: la verifica è spesso relativamente semplice, poiché l'individuazione delle dipendenze funzionali e delle chiavi deve essere svolta nell'ambito di una singola relazione, che corrisponde a un'entità o a un'associazione già analizzata nella progettazione concettuale. In contesti così circoscritti, la struttura delle dipendenze risulta in genere relativamente semplice ed è quindi possibile individuare direttamente la decomposizione necessaria per ottenere la terza forma normale (o la forma normale di Boyce e Codd). Per esempio, la relazione in Figura 11.10 sugli attributi **Impiegato**, **Categoria** e **Stipendio** può essere ottenuta solo se in fase

di progettazione concettuale non ci rendiamo conto che il legame tra categoria e stipendio è indipendente dal legame tra impiegato e categoria. Individuando, in sede di verifica di normalizzazione, la sussistenza della dipendenza funzionale, è possibile rimediare all'errore.

11.7.1 Verifiche di normalizzazione su entità

Le idee alla base della normalizzazione possono essere utilizzate anche durante la fase di progettazione concettuale, con riferimento quindi ai costrutti del modello Entità-Relazione, per una verifica della qualità di ciascun elemento dello schema concettuale. In effetti, è possibile considerare ciascuna entità e ciascuna associazione come una relazione. In particolare, la relazione che corrisponde a una entità ha attributi che corrispondono esattamente agli attributi dell'entità (per le entità con identificatore esterno sono necessari ulteriori attributi in corrispondenza alle entità che partecipano all'identificazione). La verifica di normalizzazione può quindi procedere come visto finora. In pratica, è sufficiente considerare le dipendenze funzionali che sussistono fra gli attributi dell'entità e verificare che ciascuna di esse abbia come primo membro l'identificatore (o lo contenga). Per esempio, consideriamo (Figura 11.13) un'entità **Prodotto**, con attributi **Codice**, **NomeProdotto**, **NomeFornitore**, **Indirizzo**, **PartitaIVA**, dove **NomeFornitore** è il nome della ditta che fornisce il prodotto, per la quale sono di interesse anche l'indirizzo e il numero della partita IVA.

Nell'individuare le dipendenze relative a tale entità, possiamo notare che possono esistere fornitori diversi con lo stesso nome o stesso indirizzo, mentre tutte le proprietà di ogni fornitore sono identificate dalla partita IVA: sussiste cioè la dipendenza **PartitaIVA** → **NomeFornitore Indirizzo**. Inoltre, tutti gli attributi dipendono funzionalmente dall'attributo **Codice**, che costituisce quindi l'identificatore dell'entità: fissato un codice, sono univocamente determinati il nome del prodotto e il fornitore, con le sue proprietà. Poiché l'unico identificatore dell'entità è l'attributo **Codice**, possiamo concludere che l'entità viola la terza forma normale, in quanto la dipendenza **PartitaIVA** → **NomeFornitore Indirizzo** ha un primo membro che non contiene l'identificatore e un secondo membro composto da attributi che non fanno parte della chiave. In questi casi, la verifica di

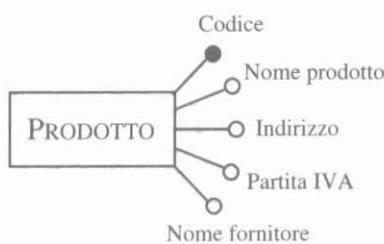


Figura 11.13 Un'entità da sottoporre a verifica di normalizzazione

normalizzazione ci permette di segnalare il fatto che lo schema concettuale non è accurato e ci suggerisce di decomporre l'entità stessa.

La decomposizione può avvenire, come abbiamo visto in precedenza, con diretto riferimento alle dipendenze, oppure, più semplicemente, ragionando qualitativamente sui concetti rappresentati dall'entità insieme a quelli che derivano dalle dipendenze funzionali. Nel caso in esame, rilevando la dipendenza funzionale, abbiamo capito che il concetto di fornitore è in effetti indipendente da quello di prodotto e ha proprietà associate (partita IVA, nome e indirizzo): quindi, sulla base degli argomenti sviluppati riguardo alla progettazione concettuale, possiamo dire che è opportuno modellare il concetto di fornitore per mezzo di una entità, con identificatore costituito dall'attributo **PartitaIVA** e ulteriori attributi **NomeFornitore** e **Indirizzo**.

Poiché nello schema originario gli attributi di **Prodotto** e **Fornitore** compaiono in una stessa entità, è evidente che se viceversa li separiamo in due entità è opportuno che tali entità siano correlate, cioè che esista un'associazione che le collega. Si tratta chiaramente di un'associazione binaria (in questo siamo aiutati dal fatto che consideriamo l'entità in esame separatamente da tutto il resto dello schema), per le cardinalità della quale possiamo ragionare come segue. Poiché esiste una dipendenza funzionale fra **Codice** del prodotto e **PartitaIVA** del fornitore, siamo certi che ogni prodotto ha al più un fornitore, e quindi la partecipazione dell'entità **PRODOTTO** all'associazione deve avere cardinalità massima pari a 1. Poiché viceversa non sussiste alcuna dipendenza fra **PartitaIVA** e **Codice**, abbiamo una cardinalità massima non limitata (pari a N) per la partecipazione dell'entità **Fornitore** all'associazione. Per le cardinalità minime, possiamo ragionare sulla base delle proprietà dell'applicazione. Per esempio, se supponiamo che per ciascun prodotto il fornitore debba essere sempre noto, mentre possiamo avere fornitori che (al momento) non forniscono alcun prodotto, le cardinalità sono quelle in Figura 11.14, in cui è riportato lo schema finale.

Possiamo osservare come la decomposizione ottenuta soddisfi le due proprietà fondamentali: è una decomposizione senza perdita, perché sulla base dei fornitori (la cardinalità massima della partecipazione dell'entità **Prodotto** all'associazione è pari a 1) è possibile ricostruire i valori degli attributi dell'entità originaria, e conserva le dipendenze, perché ciascuna delle dipendenze è contenuta in una delle entità o è ricostruibile da esse (per esempio, la dipendenza fra i codici dei prodotti e i nomi dei fornitori è ricostruibile tramite l'associazione

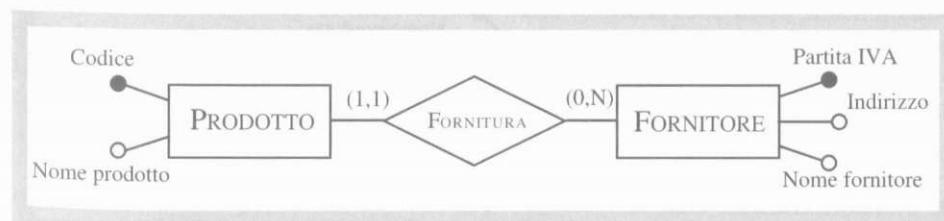


Figura 11.14 Il risultato della decomposizione di una entità

FORNITURA, che associa a un prodotto uno solo fornitore, e la dipendenza funzionale PartitaVA → NomeFornitore è definita nell'entità Fornitore). Potremmo rendere questi ragionamenti ancora più precisi, facendo riferimento agli schemi di relazione ottenuti come traduzione, ma lasciamo lo sviluppo per esercizio.

11.7.2 Verifiche di normalizzazione su associazioni

Per quanto riguarda le associazioni, il ragionamento è per certi aspetti più semplice, perché l'insieme delle occorrenze di ciascuna associazione è una relazione, e quindi è possibile applicare direttamente i concetti connessi con le forme normali, ma per altri più complesso, perché i domini su cui tale relazione è definita sono gli insiemi delle occorrenze delle entità coinvolte. Di conseguenza, per verificare il soddisfacimento della terza forma normale, è necessario individuare le dipendenze funzionali che sussistono, nell'ambito dell'associazione in esame, fra le entità coinvolte. Poiché, come è facile vedere, ogni relazione binaria è in terza forma normale (e anche in forma normale di Boyce e Codd), la verifica di normalizzazione va effettuata solo sulle associazioni non binarie, cioè su quelle che coinvolgono almeno tre entità.

Consideriamo per esempio l'associazione TESI in Figura 11.15, che coinvolge le entità STUDENTE, PROFESSORE, CORSODILAUREA e DIPARTIMENTO, il cui scopo è descrivere il fatto che gli studenti, iscritti ai corsi di laurea, svolgono tesi presso i dipartimenti sotto la guida di professori.

Esaminando in dettaglio l'associazione, possiamo arrivare alle seguenti conclusioni:

- ogni studente è iscritto a un solo corso di laurea;
- ogni studente svolge una tesi sotto la supervisione di un solo professore (che non è necessariamente legato al corso di laurea);
- ogni professore afferisce a un solo dipartimento e gli studenti sotto la sua supervisione svolgono la tesi presso tale dipartimento.

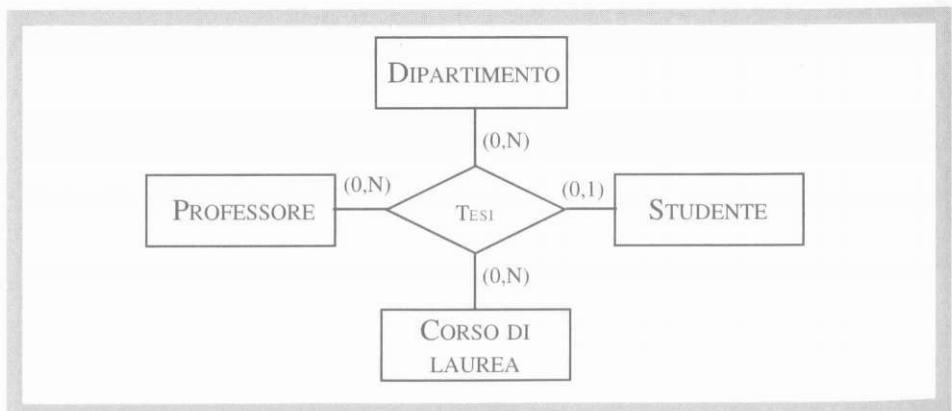


Figura 11.15 Un'associazione da sottoporre a verifica di normalizzazione

Supponendo che non sia rilevante ai fini della tesi di laurea l'afferenza del professore al corso di laurea cui lo studente è iscritto, possiamo dire che le proprietà dell'applicazione di interesse sono descritte in modo esauriente dalle seguenti tre dipendenze funzionali:

STUDENTE → CORSODILAUREA

STUDENTE → PROFESSORE

PROFESSORE → DIPARTIMENTO

La chiave (unica) della relazione risulta essere costituita da STUDENTE: dato uno studente sono univocamente individuati il corso di laurea, il professore e il dipartimento. Di conseguenza, la terza dipendenza funzionale, ovvero PROFESSORE → DIPARTIMENTO, causa una violazione della terza forma normale. In effetti, l'afferenza di un professore a un dipartimento è un concetto indipendente dall'esistenza di studenti che svolgono la tesi con il professore stesso. Ragionando come nei casi precedenti, possiamo concludere che l'associazione presenta aspetti indesiderabili e che va quindi decomposta, separando le dipendenze funzionali con primi membri diversi. In tal modo, possiamo ottenere lo schema in Figura 11.16, che contiene due associazioni, entrambe in terza forma normale (e anche in forma normale di Boyce e Codd). Anche qui, abbiamo decomposizione senza perdita e conservazione delle dipendenze.

11.7.3 Ulteriori decomposizioni di associazioni

Sullo schema in Figura 11.16 possiamo fare alcune considerazioni aggiuntive, che vanno al di là della teoria della normalizzazione in senso stretto, ma rientrano nell'ambito dell'analisi e verifica di schemi concettuali per mezzo di strumenti formali, nel caso specifico le dipendenze funzionali. L'associazione TESI è in terza forma normale, perché la sua chiave è costituita dall'entità STUDENTE e le uniche

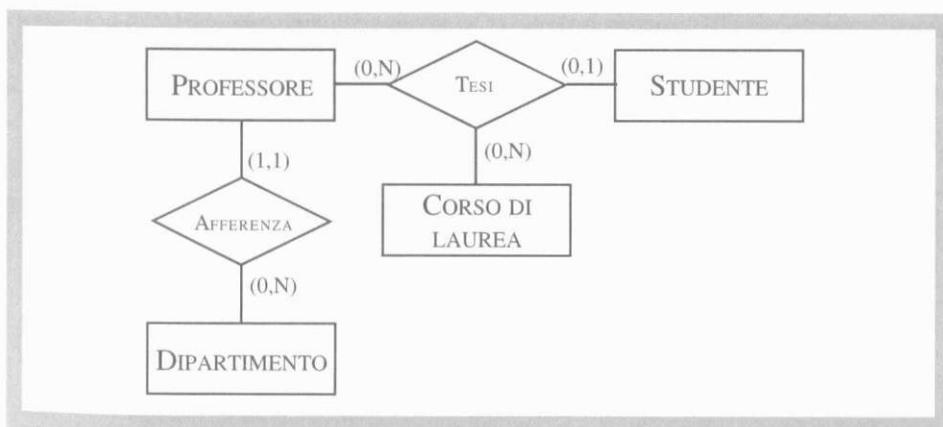


Figura 11.16 Il risultato della decomposizione di un'associazione

dipendenze sono quelle che hanno la chiave STUDENTE come primo membro, e cioè STUDENTE → PROFESSORE e STUDENTE → CORSODILAUREA. D'altra parte, le proprietà descritte dalle due dipendenze sono fra loro indipendenti: non tutti gli studenti stanno svolgendo una tesi e quindi non tutti hanno un relatore. Dal punto di vista della normalizzazione, questa situazione non presenta problemi, perché si assume che le relazioni possano contenere valori nulli, purché non nella chiave, e quindi è ragionevole accettare dipendenze diverse con lo stesso primo membro. D'altra parte, a livello di modellazione concettuale (cioè di schema entità-relazione) è necessario distinguere i vari concetti (peraltro non esiste, e non avrebbe senso introdurre, un concetto di "valore nullo in un'associazione"). Attraverso le dipendenze possiamo quindi notare che sarebbe opportuno decomporre ulteriormente l'associazione, ottenendo due associazioni, una per ciascuno dei due concetti. La Figura 11.17 mostra lo schema decomposto. La decomposizione è anche in questo caso accettabile, perché conserva le dipendenze ed è senza perdita.

Generalizzando l'argomento appena sviluppato, possiamo arrivare alla conclusione che è opportuno decomporre le associazioni non binarie (anche già normalizzate) sulle quali sia definita qualche dipendenza il cui secondo membro contiene più di una entità. In termini più semplici, poiché è raro incontrare associazioni che coinvolgano più di tre entità, possiamo affermare che è di solito opportuno decomporre un'associazione ternaria se su di essa è definita una dipendenza funzionale il cui primo membro è costituito da una entità e il secondo membro dalle altre due.

In alcuni casi la decomposizione può risultare non conveniente: per esempio se le due entità nel secondo membro della dipendenza sono fra loro strettamente correlate (nel caso esaminato, se interessano solo studenti che già svolgono una tesi e quindi per ogni studente iscritto a un corso di laurea esiste un professore con cui svolge la tesi), oppure se sull'associazione sono definite altre dipendenze funzionali che non verrebbero conservate nel caso di una decomposizione.

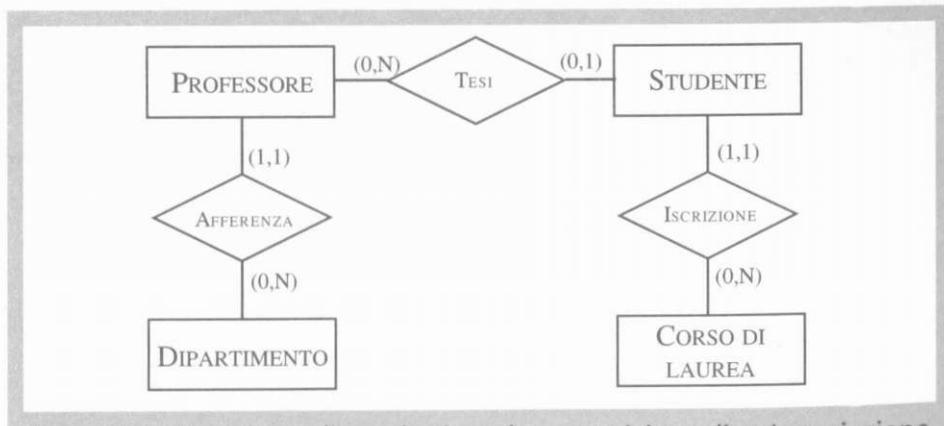


Figura 11.17 Il risultato di un'ulteriore decomposizione di un'associazione



Figura 11.18 Un'associazione difficile da decomporre

11.7.4 Ulteriori decomposizioni di schemi concettuali

Anche il caso discusso nel Paragrafo 11.5.1 di una relazione per la quale non esiste una buona decomposizione in forma normale di Boyce e Codd, può essere esaminato nell'ambito della progettazione concettuale. Supponiamo che, nel corso dell'analisi, abbiamo definito lo schema in Figura 11.18 per il quale valgono le seguenti dipendenze fra entità: **Dirigente → Sede** (ogni dirigente lavora presso un'unica sede) e **Progetto Sede → Dirigente** (per ogni sede, un progetto ha un solo dirigente).

In base alle considerazioni fatte nel Paragrafo 11.5.1, possiamo concludere che l'associazione non è in forma normale di Boyce e Codd e non può essere utilmente decomposta. Proprio in questo contesto, possiamo però individuare la possibilità di introdurre il concetto di reparto, per mezzo di una nuova entità, come mostrato nello schema Figura 11.19, che sostituisce la relazione ternaria.

Questa entità partiziona le singole sedi, come indicato dal suo identificatore esterno. Inoltre, i vincoli di cardinalità ci dicono che ogni reparto di una sede ha associato un direttore e diversi progetti. Dallo schema concettuale ottenuto, attra-

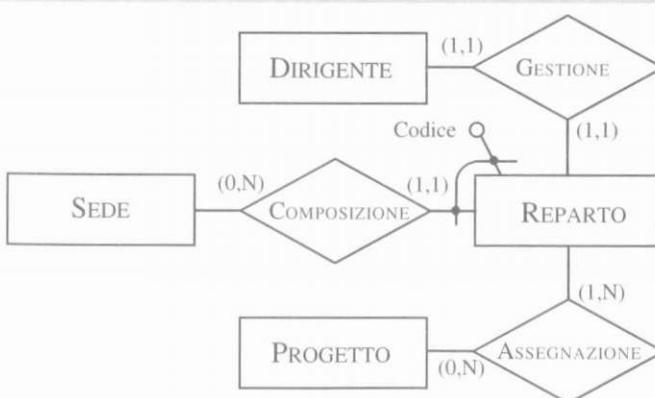


Figura 11.19 Una ristrutturazione dello schema in Figura 11.18

verso il processo di progettazione logica visto nel capitolo precedente, è possibile ottenere proprio gli schemi delle relazioni in Figura 11.12.

Note bibliografiche

Le nozioni di base sulla normalizzazione, con la definizione di terza forma normale, sono state proposte da Codd [25]. La teoria della normalizzazione può essere approfondita nel testo in italiano di Atzeni, Batini e De Antonellis [4] oppure nel testo in inglese di Atzeni e De Antonellis [6].

Altri tre testi che studiano in maniera approfondita e formale aspetti legati alle dipendenze funzionali e alla teoria della normalizzazione sono quelli di Maier [44], Ullman [67] e Abiteboul, Hull e Vianu [1].

Sul testo di Cabibbo, Torlone e Batini [11], si trovano diversi esercizi di normalizzazione che fanno riferimento alla forma normale di Boyce e Codd.

Soluzioni sul sito <http://www.ateneonline.it/atzeni>



Esercizi

11.1 Considerare la relazione in Figura 11.20 e individuare le proprietà della corrispondente applicazione. Individuare inoltre eventuali ridondanze e anomalie nella relazione.

11.2 Individuare la chiave e le dipendenze funzionali della relazione considerata nell'Esercizio 11.1 e individuare poi una decomposizione in forma normale di Boyce e Codd.

11.3 Si consideri la relazione riportata in Figura 11.21 che rappresenta alcune informazioni sui prodotti di una falegnameria e i relativi componenti. Vengono indicati: il tipo del componente di un prodotto (attributo Tipo), la quantità del componente necessaria per un certo prodotto (attributo Q), il prezzo unitario del componente di un certo prodotto (attributo PC), il fornitore del componente (attributo Fornitore) e il prezzo totale del singolo prodotto (attributo PT). Individuare le dipendenze funzionali e la chiave di questa relazione.

Docente	Dipartimento	Facoltà	Preside	Corso
Verdi	Matematica	Ingegneria	Neri	Analisi
Verdi	Matematica	Ingegneria	Neri	Geometria
Rossi	Fisica	Ingegneria	Neri	Analisi
Rossi	Fisica	Scienze	Bruni	Analisi
Bruni	Fisica	Scienze	Bruni	Fisica

Figura 11.20 Relazione per l'Esercizio 11.1

Prodotto	Componente	Tipo	Q	PC	Fornitore	PT
Libreria	Legno	Noce	50	10 000	Forrest	400 000
Libreria	Bulloni	B212	200	100	Bolt	400 000
Libreria	Vetro	Cristal	3	5000	Clean	400 000
Scaffale	Legno	Mogano	5	15 000	Forrest	300 000
Scaffale	Bulloni	B212	250	100	Bolt	300 000
Scaffale	Bulloni	B412	150	300	Bolt	300 000
Scrivania	Legno	Noce	10	8000	Wood	250 000
Scrivania	Maniglie	H621	10	20 000	Bolt	250 000
Tavolo	Legno	Noce	4	10 000	Forrest	200 000

Figura 11.21 Una relazione contenente dati di una falegnameria

11.4 Con riferimento alla relazione in Figura 11.21 si considerino le seguenti operazioni di aggiornamento:

- inserimento di un nuovo prodotto;
- cancellazione di un prodotto;
- aggiunta di un componente a un prodotto;
- modifica del prezzo di un prodotto.

Discutere i tipi di anomalia che possono essere causati da tali operazioni.

11.5 Si consideri sempre la relazione in Figura 11.21. Descrivere le ridondanze presenti e individuare una decomposizione della relazione che non presenti tali ridondanze. Fornire infine l'istanza dello schema così ottenuto, corrispondente all'istanza originale. Verificare poi che sia possibile ricostruire l'istanza originale a partire da tale istanza.

11.6 Individuare le dipendenze funzionali definite sulla relazione in Figura 11.21 e decomporre la relazione con l'algoritmo di sintesi di schemi in terza forma normale illustrato nel Paragrafo 11.6.3.

11.7 Considerare uno schema di relazione $R(ENLCSDMPA)$, con le dipendenze $E \rightarrow NS, NL \rightarrow EMD, EN \rightarrow LCD, C \rightarrow S, D \rightarrow M, M \rightarrow D, EPD \rightarrow AE, NLCP \rightarrow A$. Calcolare una copertura ridotta per tale insieme e decomporre la relazione in terza forma normale.

11.8 Si consideri lo schema della relazione in Figura 11.22. La chiave di questa relazione è costituita dagli attributi Titolo e Copia, e su di esso è definita la dipendenza Titolo \rightarrow Autore Genere. Verificare se lo schema è o meno in terza forma normale e, in caso negativo, decomporlo opportunamente.

11.9 Si consideri la relazione in Figura 11.23 in cui CM e CD sono, rispettivamente, abbreviazioni di CodiceMateria e CodiceDocente e l'attributo CS assume valori di tipo stringa che indicano in qualche modo il corso di studio o i corsi di studio cui un corso è destinato. Individuare la chiave (o le chiavi) e le dipendenze funzionali definite su di essa (ignorando quelle che si ritiene siano eventualmente "occasionali") e spiegare perché essa non soddisfa la forma normale di Boyce e Codd. Decomporla in forma normale di Boyce e Codd nel modo che si ritiene più opportuno.

11.10 Considerare la relazione in Figura 11.24, che contiene informazioni relative ai ristoranti di una città, da riportare in una guida turistica. Si noti che CT, CC e CZ

Titolo	Autore	Genere	Copia	Scaffale
Decamerone	Boccaccio	Novelle	1	A75
Divina Commedia	Dante	Poema	1	A90
Divina Commedia	Dante	Poema	2	A90
I Malavoglia	Verga	Romanzo	1	A90
I Malavoglia	Verga	Romanzo	2	A75
I Promessi Sposi	Manzoni	Romanzo	1	B10
Adelchi	Manzoni	Tragedia	1	B20

Figura 11.22 Relazione per l'Esercizio 11.8

CM	Materia	CS	Sem.	CD	NomeDoc	Dipartimento
I01	Analisi I	Inf	I	NR1	Neri	Matematica
I01	Analisi I	El	I	NR2	Neri	Matematica
I02	Analisi II	El-Inf	I	NR1	Neri	Matematica
I04	Fisica I	El	II	BN1	Bianchi	Fisica
I04	Fisica I	Mec	I	BR1	Bruni	Meccanica
I04	Fisica I	Inf	I	BR1	Bruni	Meccanica
I05	Fisica II	El	II	BR1	Bruni	Meccanica
I06	Chimica	Tutti	I	RS1	Rossi	Fisica

Figura 11.23 Relazione per l'Esercizio 11.9

sono, rispettivamente, abbreviazioni di CodiceTipo, CodiceCarta e CodiceZona. Individuare la chiave (o le chiavi) della relazione e le dipendenze funzionali definite su di essa (ignorando quelle che si ritiene siano eventualmente "occasionali") e spiegare perché essa non soddisfa la forma normale di Boyce e Codd. Decomporla in forma normale di Boyce e Codd nel modo che si ritiene più opportuno.

11.11 Si consideri lo schema Entità-Relazione in Figura 11.25. Sui dati descritti da questo schema valgono le seguenti proprietà:

Cod	Nome	Indirizzo	T	Tipo	CC	Carta	CZ	Zona
342	Da Piero	V. Larga 32	R	Region.	V	VISA	C	Centro
342	Da Piero	V. Larga 32	R	Region.	A	AmEx	C	Centro
421	Buono	Vic. Corto 1	R	Region.	A	AmEx	C	Centro
425	Paris	V. Lunga 4	I	Internaz.	D	Diners	N	Nord
425	Paris	V. Lunga 4	I	Internaz.	A	AmEx	N	Nord
655	Canton	V. Breve 2	C	Cinese	V	VISA	O	Ovest

Figura 11.24 Relazione per l'Esercizio 11.10

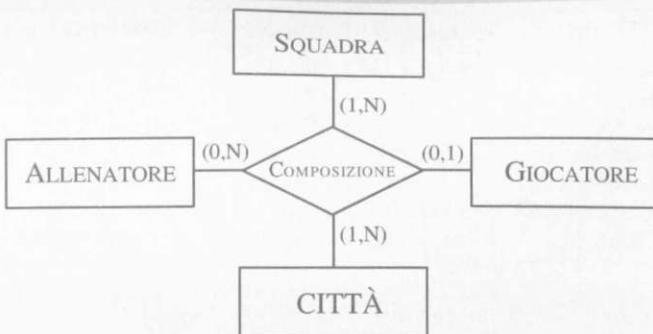


Figura 11.25 Uno schema da sottoporre a verifica di normalizzazione

- un giocatore può giocare per una sola squadra (o per nessuna);
- un allenatore può allenare una sola squadra (o nessuna);
- una squadra ha un solo allenatore, diversi giocatori e appartiene a un'unica città.

Verificare se lo schema soddisfa la forma normale di Boyce e Codd e, in caso negativo, ristrutturarlo in un nuovo schema in maniera che soddisfi tale forma normale.

11.12 Consideriamo la relazione in Figura 11.26 e le sue seguenti possibili decomposizioni:

- Reparto, Cognome in una relazione e Cognome, Nome, Indirizzo nell'altra;
- Reparto, Cognome, Nome in una relazione e Nome, Indirizzo nell'altra;
- Reparto, Cognome, Nome in una relazione e Cognome, Nome, Indirizzo nell'altra.

Individuare, con riferimento sia all'istanza di relazione specifica sia all'insieme delle istanze sullo stesso schema (con le proprietà naturalmente associate), quali di tali decomposizioni sono senza perdita.

11.13 Consideriamo nuovamente la relazione in Figura 11.26. Individuare quali delle seguenti decomposizioni conservano le sue dipendenze.

- Una relazione sugli attributi Reparto, Cognome e Nome e l'altra sugli attributi Cognome e Indirizzo.
- Una relazione su Reparto, Cognome e Nome e l'altra su Cognome, Nome e Indirizzo.
- Una relazione su Reparto e Indirizzo e l'altra su Reparto, Cognome e Nome.

Reparto	Cognome	Nome	Indirizzo
Vendite	Rossi	Mario	Via Po 20
Acquisti	Rossi	Mario	Via Po 20
Bilancio	Neri	Luca	Via Taro 12
Personale	Rossi	Luigi	Via Taro 12

Figura 11.26 Relazione per l'Esercizio 11.12