

Basi di dati

UniVR - Dipartimento di Informatica

Fabio Irimie

1° Semestre 2025/2026

Indice

1 Introduzione	3
2 Sistema informativo	3
2.1 Base di dati	3
2.1.1 Modello dei dati	4
3 Progettazione di una base di dati	5
3.1 Progettazione dei dati	5
3.2 Requisiti	6
3.2.1 Progettazione concettuale	6
3.2.2 Progettazione logica	6
3.2.3 Progettazione fisica	6
3.3 Strategie di progettazione	6
3.3.1 Analisi di qualità dello shema	7
4 Progettazione Concettuale (Modello Entità - Relazione)	8
4.1 Entità	8
4.1.1 Istanza	8
4.2 Relazione	9
4.2.1 Istanza	9
4.2.2 Relazione ricorsiva	10
4.3 Attributo	10
4.3.1 Attributo opzionale e multivaleore	11
4.3.2 Attributo composto	11
4.4 Identificatore	11
4.5 Cardinalità	13
4.5.1 Valori possibili per MIN _i	13
4.5.2 Valori possibili per MAX _i	13
4.6 Generalizzazione di entità	14
4.6.1 Proprietà delle istanze generalizzate	15
4.6.2 Classificazione delle generalizzazioni	15
4.6.3 Relazioni ternarie	15
5 Progettazione logica	16
5.1 Modello relazionale	16
5.2 Domini di base	17
5.3 Relazione	17
5.3.1 Accesso ai valori di una ennupla	18
5.4 Progettazione nel modello relazionale	19
5.4.1 Progettazione dei dati	19
5.4.2 Relazione unica	20
5.4.3 Anomalie	20
5.4.4 Decomposizione della relazione unica	21
5.4.5 Proprietà del modello relazionale	24
5.4.6 Terminologia	25
5.5 Valori nulli	25
5.5.1 Osservazioni	26
5.6 Vincoli di integrità	26

5.6.1	Classificazione	27
5.6.2	Vincoli di dominio	27
5.6.3	Vincoli di tupla	27
5.6.4	Vincoli di intrarelazionali	28

1 Introduzione

Le basi di dati sono raccolte di dati strutturati, organizzati in modo tale da permettere un facile accesso. Questi dati sono persistenti, ovvero rimangono memorizzati anche dopo la chiusura del programma che li ha creati.

2 Sistema informativo

Un sistema informativo è l'insieme delle attività umane e dei dispositivi di memorizzazione ed elaborazione che organizza e gestisce l'informazione di interesse per un'organizzazione di dimensioni qualsiasi. Non contiene necessariamente dati memorizzati in un computer.

Un sistema informativo è composto da:

- **Dato:** è l'elemento di conoscenza di base costituito da simboli che devono essere elaborati
- **Informazione:** è l'interpretazione dei dati che permette di ottenere una conoscenza più o meno esatta di fatti e situazioni

2.1 Base di dati

Definizione 2.1. Una **base di dati** è una **collezione di dati persistenti** utilizzati per rappresentare **con tecnologia informatica** le informazioni di interesse per un **sistema informativo**

La soluzione convenzionale per la gestione dei dati è l'uso di file, ma questa presenta alcuni problemi:

- Scarsa efficienza nell'accesso ai dati (accesso sequenziale)
- Ridondanza nei dati
- Inconsistenza nei dati (aggiornamenti parziali)
- Progettazione dei dati replicata per ogni applicazione

Per risolvere questi problemi si è creato un livello di astrazione maggiore tra le applicazioni e il filesystem, ovvero il **Data Base Management System (DBMS)**.

Definizione 2.2. Un **DBMS** è un sistema che gestisce su **memoria secondaria** collezioni di dati (chiamate "basi di dati"). Le caratteristiche principali sono:

- Grandi
- Condivise, cioè accessibili da più utenti
- Persistenti

Un DBMS assicura:

- Affidabilità, cioè nessuna perdita di dati
- Privatezza
- Accesso efficiente

2.1.1 Modello dei dati

Un **modello dei dati** è un insieme di strutture che permettono di descrivere una base di dati. Per accedere a questi dati si usano delle **interrogazioni**, cioè delle richieste, in un linguaggio dichiarativo specifico, che permettono di ottenere i dati desiderati.

Ci sono diversi linguaggi per interagire con un DBMS:

- Linguaggio per la definizione dei dati (DDL), consente di definire la struttura della base di dati
- Linguaggio per l'interrogazione e aggiornamento dei dati (DML), consente di interrogare e aggiornare i dati
 - Linguaggio di interrogazione: estrae informazioni da una base di dati, ad esempio SQL, algèbre relazionale, calcolo relazionale
 - Linguaggio di manipolazione: popola la base di dati, modifica il suo contenuto con aggiunge, cancellazioni e variazioni sui dati, ad esempio SQL

Il modello di dati è un insieme di **costrutti** forniti dal DBMS per descrivere la struttura e le proprietà dell'informazione contenute in una base di dati.

Ci sono diversi tipi di modelli di dati:

- **Modelli di dati del passato:**
 - Modello reticolare
 - modello gerarchico
- **Modelli di dati attuali:**
 - Modello relazionale
 - Modello ad oggetti
 - Modello a oggetti-relazionale
 - Modello basato su documenti (JSON)
 - Modelli NoSQL

I modelli vengono utilizzati per creare:

- **Schema di una base di dati:** è la descrizione della struttura e delle proprietà di una specifica base di dati fatta utilizzando i costrutti del modello dei dati (lo schema di una base di dati è invariante nel tempo)
- **Istanza di una base di dati:** è costituita dai **valori effettivi** che in un certo istante popolano le strutture dati (l'istanza di una base di dati varia nel tempo)

Lo schema di una base di dati è diviso in tre livelli:

- **Schema esterno**: è la visione dell'utente della base di dati, cioè la parte di base di dati che interessa a un particolare utente o gruppo di utenti
- **Schema logico**: è la visione globale della base di dati, cioè la struttura logica della base di dati che descrive tutti i dati e le relazioni tra essi
- **Schema interno**: è la rappresentazione fisica della base di dati, cioè il modo in cui i dati sono effettivamente memorizzati nella memoria secondaria

Le proprietà dello schema sono:

- **Indipendenza fisica**: lo schema logico della base di dati è completamente indipendente dallo schema interno
- **Indipendenza logica**: gli schemi esterni della base di dati sono indipendenti dallo schema logico

3 Progettazione di una base di dati

Il ciclo di vita di un processo di automazione di un sistema informativo è diviso in diverse fasi:

- **Studio di fattibilità**: si valuta se l'automazione del sistema informativo è possibile e conveniente
- **Raccolta e analisi dei requisiti**: si individuano proprietà e funzionalità del sistema (dati e applicazioni) producendo una descrizione completa ma informale
- **Progettazione**: si produce una descrizione formale del sistema informativo

La progettazione si divide in due parti principali che vanno di pari passo:

- **Progettazione dei dati**: si produce una descrizione formale dei dati (schema). Una volta progettati i dati vengono implementati in un DBMS
- **Progettazione delle applicazioni**: si produce una descrizione formale delle applicazioni (specifiche)

Una volta implementati i dati e le applicazioni si passa alla fase di **validazione e collaudo**

3.1 Progettazione dei dati

Una metodologia di progettazione dei dati è costituita da:

- **Decomposizione**: dividere in passi le attività di progetto
- **Strategie**: individuare un insieme di strategie e criteri di scelta da seguire
- **Modelli di riferimento**: utilizzare modelli di dati e tecniche di progettazione consolidate

Una buona metodologia deve essere:

- Generale
- Facile da usare
- Deve produrre un risultato di qualità

3.2 Requisiti

3.2.1 Progettazione concettuale

La progettazione concettuale è la prima fase della progettazione dei dati. Lo scopo è quello di produrre una descrizione formale dei dati (schema concettuale). Lo schema deve essere **indipendente dall'implementazione**.

Non è solo un progetto intermedio, ma costituisce anche una porzione del risultato finale perché rappresenta una descrizione di **alto livello** del contenuto della base di dati, comprensibile anche per utenti poco esperti.

3.2.2 Progettazione logica

La progettazione logica è la seconda fase della progettazione dei dati. Lo scopo è quello di tradurre lo schema concettuale in uno schema logico in modo da poterlo utilizzare su un sistema specifico. Lo schema logico infatti è dipendente dalle tecnologie utilizzate. Bisogna tenere anche in considerazione le operazioni più frequenti che le applicazioni effettueranno sulla base di dati.

3.2.3 Progettazione fisica

La progettazione fisica è la terza fase della progettazione dei dati. L'obiettivo è quello di ottimizzare l'accesso ai dati completando lo schema logico con i parametri relativi alla memorizzazione fisica dei dati e con gli opportuni metodi d'accesso (**indici**).

3.3 Strategie di progettazione

Lo sviluppo di uno schema concettuale può essere visto come un processo di ingegnerizzazione ed è quindi possibile applicare anche a tale processo le strategie classiche:

- **Top-Down:** consiste nel considerare le specifiche **globalmente** e produrre uno schema iniziale completo ma con **pochi concetti** molto astratti. Si va poi a **raffinare** i concetti astratti fino ad arrivare allo schema concettuale completo in ogni dettaglio
- **Bottom-Up:** consiste nel **decomporre** le specifiche iniziali in parti elementari e produrre uno schema iniziale dettagliato
- **Inside-Out:** consiste nell'individuare nelle specifiche alcuni concetti importanti (detti concetti guida) e partendo da quelli generare gli schemi per i relativi concetti. Si procede fondendo gli schemi precedenti per generare lo schema finale.

3.3.1 Analisi di qualità dello shema

L'analisi della qualità dello schema concettuale prodotto può essere suddivisa in diverse fasi:

- **Verifica della correttezza:** Uno schema concettuale è corretto se utilizza correttamente i costrutti del modello concettuale adottato (nel nostro caso E-R). I possibili errori sono:

- Errori sintattici: si verificano quando i costrutti vengono usati senza seguire le regole sintattiche
- Errori semantici: si verificano quando i costrutti vengono usati senza seguire le regole semantiche, cioè la loro definizione

- **Verifica della completezza:** Uno schema concettuale è completo se rappresenta tutti i requisiti espressi nelle specifiche.

- **Verifica di minimalità:** Uno schema è minimale quando tutti i concetti descritti nei requisiti sono rappresentati nello schema **una volta sola**. Uno schema non minimale contiene delle **ridondanze**. I casi di probabile ridondanza sono:

- Ereditarietà nelle relazioni: si manifesta quando due entità padri sono in relazione e le loro entità figlie sono anch'esse in relazione. Per far sì che non ci sia ridondanza in questo caso bisogna verificare che le due relazioni non rappresentino lo stesso concetto
- Cicli di relazioni: si manifesta quando esistono dei cicli tra le relazioni di più entità. Non è detto che ci sia sicuramente ridondanza, ma per evitarla bisogna verificare se la relazione R_i si possa ottenere dalla composizione delle altre relazioni. Se è così allora R_i va eliminata in quanto ridondante.

- **Verifica di leggibilità:** Uno schema concettuale è leggibile quando rappresenta tutti i requisiti in modo naturale e facilmente comprensibile. Alcuni consigli per migliorare la leggibilità sono:

- Curare la scelta dei nomi delle componenti dello schema
- Disegnare bene lo schema

Si può migliorare la leggibilità anche semplificando lo schema. Le relazioni ternarie non sono facili da leggere e interpretare, quindi solitamente la loro eliminazione può comportare una migliore leggibilità dello schema. Le operazioni possibili sono:

- Trasformare una relazione ternaria in un'entità (sempre applicabile)
- Riduzione di una relazione ternaria a due relazioni binarie
(**precondizione:** una delle entità partecipa alla relazione ternaria con cardinalità (1,1) (spiegata nel capitolo 4.5))
- Trasformare una relazione sovrapposta in una generalizzazione esclusiva esplicitando l'entità che rappresenta la sovrapposizione

4 Progettazione Concettuale (Modello Entità - Relazione)

È un modello, formale e non ambiguo, utilizzato per la progettazione concettuale di una base di dati. Fornisce strumenti formali (costrutti), con sintassi grafica, per specificare la struttura e le proprietà dei dati da rappresentare indipendentemente dalla tecnologia.

Ogni costrutto viene definito specificando:

- Il suo significato (o semantica)
- La sua sintassi grafica
- La rappresentazione delle sue istanze (o occorrenze)

Progettare indipendentemente dalle tecnologie significa:

- **Non considerare** eventuali ottimizzazioni
- **Considerare** tutti i requisiti senza semplificazioni o convenzioni
- **Considerare** sempre i processi di generazione e modifica dei dati per verificare che ogni situazione sia rappresentabile da un'istanza "pulita" della base di dati

4.1 Entità

Un'entità E rappresenta una **classe di oggetti** che hanno le seguenti caratteristiche:

- **Proprietà comuni**
- **Esempio 4.1.** **Rappresentiamo con il costrutto entità il concetto di persona.** Bisogna gestire nella base di dati le informazioni che descrivono un gruppo di persone.
- **Esempio 4.1.** **Rappresentiamo con il costrutto entità il concetto di persona.** Bisogna gestire nella base di dati le informazioni che descrivono un gruppo di persone.

Un entità si rappresenta con un rettangolo che contiene il nome dell'entità:



Figura 1: Rappresentazione grafica di un'entità

4.1.1 Istanza

Un'istanza dell'entità E è un **oggetto** appartenente alla classe rappresentata da E. Si indica con $I(E)$ l'insieme delle istanze di E che esistono nella base di dati in un certo istante e alla creazione della base di dati è vuota: $I(E) = \emptyset$.

Esempio 4.1. Rappresentiamo con il costrutto entità il concetto di **persona**. Bisogna gestire nella base di dati le informazioni che descrivono un gruppo di persone.

Figura 2: Rappresentazione grafica dell'entità Persona

L'insieme delle istanze dell'entità Persona è il seguente:

$$I(\text{Persona}) = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$$

4.2 Relazione

Una relazione R rappresenta un **legame logico** tra **due o più entità**. Può esserci anche una relazione all'entità stessa (relazione ricorsiva).

Una relazione si rappresenta nello schema con un rombo a cui si collegano attraverso delle linee le entità coinvolte nella relazione. Il nome della relazione viene scritto a fianco al rombo:



Figura 3: Rappresentazione grafica di una relazione tra due entità

4.2.1 Istanza

Data una relazione R tra n entità E_1, \dots, E_n un'istanza della relazione R è una **ennupla di istanze di entità**:

$$(e_1, \dots, e_n) \text{ dove } e_i \in I(E_i) \text{ per } 1 \leq i \leq n$$

La popolazione di R rappresenta l'insieme delle coppie di istanze delle entità E e F che sono in relazione in un certo istante:

$$I(R) = \{(e_i, f_j) \mid e_i \in I(E), f_j \in I(F)\}$$

Esempio 4.2. Supponiamo che nello schema ci siano le entità **Persona** e **Comune**, bisogna gestire la **Residenza** delle persone nei comuni italiani.

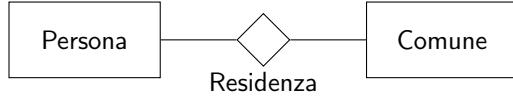


Figura 4: Rappresentazione grafica della relazione Residenza

Ciò implica che per esistere un'istanza di residenza devono esistere un'istanza

di persona e un'istanza di comune.

Data una relazione R tra n entità $\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ vale **sempre** la seguente proprietà sull'insieme delle istanze $I(R)$:

$$I(R) \subseteq I(E_1) \times I(E_2) \times \dots \times I(E_n)$$

La conseguenza di questa proprietà è che non è possibile rappresentare la stessa ennupla più volte.

4.2.2 Relazione ricorsiva

È una relazione binaria sulla stessa entità:

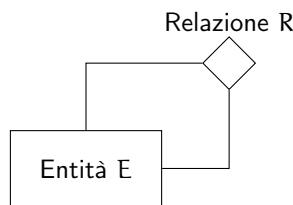


Figura 5: Rappresentazione grafica di una relazione ricorsiva

4.3 Attributo

Rappresenta una proprietà elementare di un'entità o di una relazione. Ogni attributo di un'entità o di una relazione associa ad ogni istanza **un solo** valore appartenente ad un dominio di valori ammissibili. Può essere visto come una funzione che ha come dominio le istanze dell'entità (o relazione) e come codominio l'insieme dei valori ammissibili:

$$f_A : I(E) \rightarrow D$$

dove a è un attributo dell'entità E, mentre $I(E)$ l'insieme delle istanze di E e D è l'insieme dei valori ammissibili.

La sintassi grafica di un attributo è un cerchio vuoto collegato con una linea all'entità con accanto il nome dell'attributo:

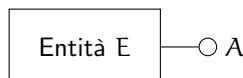


Figura 6: Rappresentazione grafica di un attributo di un'entità



Figura 7: Rappresentazione grafica di un attributo di una relazione

Esempio 4.3. Rappresentiamo il concetto di persona tramite un'entità, bisogna gestire nella base di dati il nome e il cognome di un gruppo di persone.

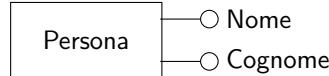


Figura 8: Rappresentazione grafica dell'entità Persona con gli attributi Nome e Cognome

4.3.1 Attributo opzionale e multivaleore

L'attributo opzionale o multivaleore si ottiene da un attributo normale specificando un vincolo di cardinalità (spiegato più avanti per le relazioni 4.5) sui valori che l'attributo può assumere (il default è (1,1)). I valori possibili sono i seguenti:

- (0,1): attributo opzionale
- (1,N): attributo multivaleore obbligatorio
- (0,N): attributo multivaleore opzionale

La sintassi grafica per rappresentare un attributo opzionale o multivaleore è la seguente:

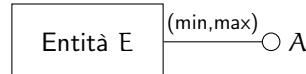


Figura 9: Rappresentazione grafica di un attributo opzionale o multivaleore

4.3.2 Attributo composto

Permette di raggruppare gli attributi di un'entità o di una relazione che hanno un significato comune.

La sintassi grafica per rappresentare un attributo composto è la seguente:

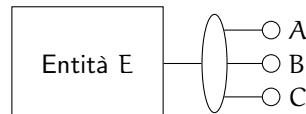


Figura 10: Rappresentazione grafica di un attributo composto

4.4 Identificatore

Data un'entità E, un identificatore è un insieme di proprietà (attributi e/o relazioni) che **identificano univocamente** ogni istanza di E. Un insieme di proprietà identifica univocamente le istanze di un'entità E se **non esistono** due istanze di E che presentano gli stessi valori o istanze nelle proprietà dell'insieme.

La sintassi grafica di un identificatore per un'entità con un solo attributo a è la seguente:



Figura 11: Rappresentazione grafica di un identificatore con un solo attributo

Per un identificatore costituito da più attributi a, b la sintassi grafica è la seguente:



Figura 12: Rappresentazione grafica di un identificatore con più attributi

Può anche esistere un identificatore costituito da una relazione R (deve essere una funzione):

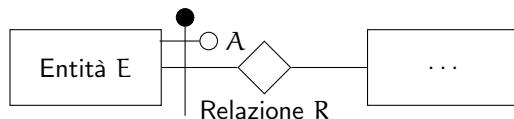


Figura 13: Rappresentazione grafica di un identificatore costituito da un attributo e una relazione

Oppure un identificatore può essere costituito soltanto da una relazione R :



Figura 14: Rappresentazione grafica di un identificatore costituito da una relazione

Ci sono due tipi di identifieri:

- **Identifieri interni:** sono costituiti solo da attributi dell'entità
- **Identifieri esterni:** sono costituiti da almeno una relazione con un'altra entità

Attenzione: Non esistono identifieri sulle relazioni perché ogni relazione è già univocamente identificata dalle istanze delle entità coinvolte.

Esempio 4.4. Rappresentiamo il concetto di persona tramite un'entità, bisogna gestire nella base di dati il codice fiscale, il nome, il cognome e la data di nascita di un gruppo di persone

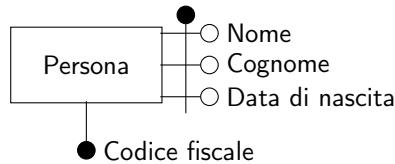


Figura 15: Esempio di identificatore interno

Definizione 4.1. Un **vincolo di identificazione** limita la popolazione di un'entità impedendo l'esistenza di due istanze con gli stessi valori nelle proprietà che costituiscono l'identificatore.

La scelta dell'identificatore va sempre fatta considerando le proprietà significative per il sistema informativo. A **livello concettuale** è quindi da **evitare** l'introduzione di nuovi attributi identificatori (ad esempio l'ID).

4.5 Cardinalità

Tra due relazioni esistono dei vincoli di cardinalità che limitano il numero di istanze di una entità che possono essere in relazione con una singola istanza dell'altra entità. Data una relazione R i vincoli di cardinalità vengono specificati per ogni entità E_i coinvolta nella relazione R e specificano il numero **minimo** e **massimo** di istanze di R a cui un'istanza di E_j deve o può partecipare.

La sintassi grafica per rappresentare i vincoli di cardinalità è la seguente:

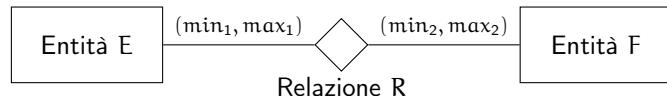


Figura 16: Rappresentazione grafica dei vincoli di cardinalità

4.5.1 Valori possibili per MIN_i

I possibili valori che il minimo MIN_i può assumere sono:

- 0: Indica che la partecipazione alla relazione R delle istanze di E_i è **opzionale**
- 1: Indica che la partecipazione alla relazione R delle istanze di E_i è **obbligatoria**
- $num > 1$: Indica che per ogni istanza di E_i devono essere presenti almeno num occorrenze della relazione R che la coinvolgono

4.5.2 Valori possibili per MAX_i

- 1: Indica che un'istanza di E_i può **al massimo** partecipare a una sola occorrenza della relazione R (se R è binaria questo indica che R è **una funzione**)

- N: Indica che un'istanza di E_i può partecipare a più occorrenze della relazione R senza limite massimo
- num > 1: Indica che per ogni istanza di E_i possono essere presenti **al massimo** num occorrenze della relazione R che la coinvolgono

Esempio 4.5. Rappresentiamo il concetto di persona e comune tramite due entità, bisogna gestire la residenza delle persone nei comuni italiani. Questi requisiti non rappresentano la realtà perché una persona deve avere obbligatoriamente una residenza e può avere al massimo una residenza, mentre un comune può avere zero o più persone residenti.

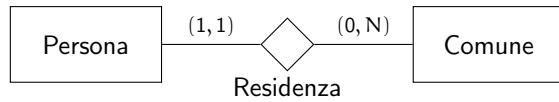


Figura 17: Esempio di Residenza con i vincoli di cardinalità

Definizione 4.2. Una relazione R può partecipare ad un identificatore esterno di un'entità E **solo se** tale entità partecipa alla relazione R con vincolo di cardinalità (1, 1), quindi se R è una **funzione** che associa ad ogni istanza di E una e una sola istanza dell'altra entità coinvolta in R. Questo vale anche quando R è la sola proprietà che partecipa all'identificatore.

Si potrebbe utilizzare anche il diagramma UML per rappresentare i concetti del modello Entità-Relazione, ma questa rappresentazione segue regole diverse, ad esempio la posizione dove specificare nel diagramma UML i vincoli di cardinalità è invertita rispetto all'ER.

4.6 Generalizzazione di entità

La generalizzazione è un legame logico (simile ad un'ereditarietà tra classi) tra un'entità padre E e n ($n > 0$) entità figlie E_1, E_2, \dots, E_n dove E rappresenta una classe di oggetti più generale rispetto alle classi di oggetti rappresentate dalle entità figlie.

La sintassi grafica per rappresentare una generalizzazione è la seguente:

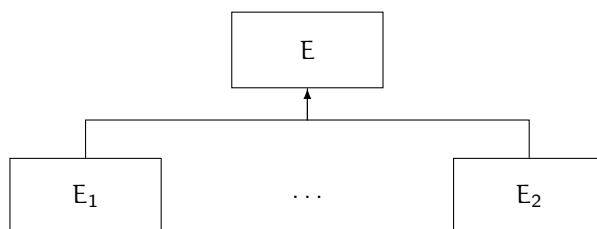


Figura 18: Esempio di Residenza con i vincoli di cardinalità

4.6.1 Proprietà delle istanze generalizzate

- Ogni istanza di un'entità figlia E_i è anche istanza dell'entità padre E
- Ogni proprietà (attributi, identificatori e relazioni) dell'entità padre E è anche proprietà di ogni entità figlia E_i

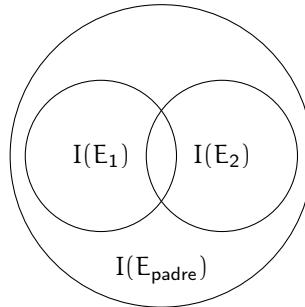


Figura 19: Istanze di entità generalizzate

4.6.2 Classificazione delle generalizzazioni

Una generalizzazione può essere classificata secondo due criteri:

- **Totale** se ogni istanza dell'entità padre E è anche istanza di **almeno una** delle entità figlie E_i , altrimenti si dice **parziale**
- **Esclusiva** se ogni istanza dell'entità padre E è anche istanza di **al massimo una** delle entità figlie E_i , altrimenti si dice **sovrapposta**

Per indicare la classificazione di una generalizzazione si mettono le seguenti notazioni accanto alla freccia della generalizzazione:

- (p,s): parziale e sovrapposta:
- (p,e): parziale ed esclusiva: non si possono avere istanze comuni tra le entità figlie
- (t,s): totale e sovrapposta: non si possono avere istanze dell'entità padre che non siano istanze di almeno una delle entità figlie
- (t,e): totale ed esclusiva: ogni istanza dell'entità padre è istanza di **esattamente una** delle entità figlie

4.6.3 Relazioni ternarie

Una relazione ternaria è una relazione che coinvolge tre entità e si usa quando:

- Un'istanza del concetto per esistere nel sistema informativo richiede sempre la presenza di tre istanze di entità (una per ogni entità coinvolta nella relazione)
- Non esistono eccezioni al punto precedente

- Non esistono situazioni nelle quali la terna di entità debba essere rappresentata più volte

La sintassi grafica per rappresentare una relazione ternaria è la seguente (i vincoli di cardinalità sono richiesti, ma qua sono omessi):

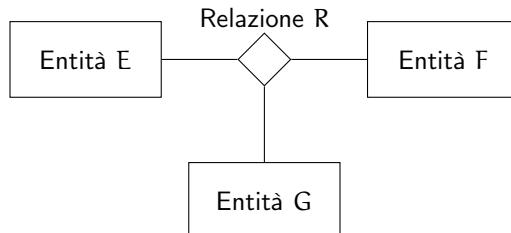


Figura 20: Rappresentazione grafica di una relazione tra due entità

Un uso errato avviene quando per rappresentare lo stato del sistema informativo sarebbe necessario che un'istanza della relazione **contenga solo una coppia e non una terna** di istanze di entità (cioè quando manca un attore). Quindi in questo caso si può sostituire la relazione ternaria con 3 relazioni binarie indipendenti.

L'utilizzo delle relazioni ternarie è utile per "storicizzare" le relazioni binarie. Nella rappresentazione di una relazione binaria storizzata è necessario poter rappresentare più volte **la stessa coppia in tempi diversi**. Pertanto la relazione binaria può essere trasformata in una relazione ternaria includendo l'entità **Tempo** come nuovo attore nella relazione in modo da poter rappresentare più volte la stessa coppia in istanti di tempo diversi.

5 Progettazione logica

5.1 Modello relazionale

Il **modello relazionale** è un modello dei dati, quindi permette di definire le proprietà che la popolazione di una base di dati deve rispettare. I costrutti principali del modello relazionale sono:

- **Domini di base**: insieme di valori atomici (non scomponibili) che rappresentano i tipi di dati elementari
- **Relazione (o tabella)**: rappresenta un insieme di entità o di relazioni tra entità. Sono definite come un insieme di ennuple o tuple.
- **Superchiavi, chiavi e chiavi primarie**: insieme di attributi che identificano univocamente ogni ennupla di una relazione
- **Vincoli di integrità referenziale**: vincoli che garantiscono la coerenza tra i dati memorizzati in relazioni diverse
- **Vincoli di integrità generici**: vincoli che garantiscono la coerenza dei dati memorizzati in una singola relazione

5.2 Domini di base

Sono i domini da cui si scelgono i valori delle proprietà delle istanze di informazione da rappresentare. I domini tipici sono:

- Caratteri
- Stringhe di caratteri
- Numeri interi
- Numeri decimali a virgola fissa
- Numeri decimali a virgola mobile
- Domini del tempo, per rappresentare istanti e intervalli di tempo
- ecc...

I domini presenti variano a seconda del sistema, ma in questo corso vedremo il linguaggio SQL nel sistema PostgreSQL.

5.3 Relazione

Una relazione può essere vista come una tabella.

Esempio 5.1. Ad esempio:

Milano	20100	1.300.000
Verona	37100	350.000
Brescia	25100	250.000

Tabella 1: Esempio di tabella che rappresenta alcune città italiane

Una tabella è un contenitore di dati la cui struttura è caratterizzata da una lista di colonne:

- I dati sono scritti nelle righe dove **ogni riga** descrive le caratteristiche di **un'istanza dell'informazione da rappresentare**
- I valori contenuti nell' **colonne** descrivono sempre la **stessa proprietà delle istanze** di informazione da rappresentare

Definizione 5.1 (Definizione di relazione come insieme di ennuple (Lists)). Dati n insiemi di valori (domini) D_1, \dots, D_n , con $n > 0$ e indicato con $D_1 \times \dots \times D_n$ il loro prodotto cartesiano:

$$D_1 \times \dots \times D_n = \{(v_1, \dots, v_n) \mid v_1 \in D_1 \wedge \dots \wedge v_n \in D_n\}$$

una relazione ρ di grado n è un qualsiasi **sottoinsieme** di $D_1 \times \dots \times D_n$:

$$\rho \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$$

dove (v_1, \dots, v_n) è una ennupla della relazione e $|\rho|$ è la cardinalità della relazione (numero di ennupla).

Nota:

- I domini D_1, \dots, D_n possono essere a **cardinalità infinita**, mentre le relazioni sono sempre a **cardinalità finita**
- Dalla definizione si deduce inoltre che:
 - **Non è definito alcun ordinamento** sulle ennupla di una relazione
 - **Non sono ammessi duplicati** di una ennupla
 - Nella definizione di relazione come insieme di ennupla, i valori delle ennupla sono ordinati

Esempio 5.2. Riprendendo l'esempio 5.1, la relazione può essere vista come insieme di ennupla (relazione città):

$$\rho = \left\{ (\text{Milano}, 20100, 1300000), \quad \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$\left\{ (\text{Verona}, 37100, 350000), \quad \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$\left\{ (\text{Brescia}, 25100, 250000) \quad \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

dove:

$$\rho \subseteq D_1 \times D_2 \times D_3$$

5.3.1 Accesso ai valori di una ennupla

Se t è una ennupla (v_1, \dots, v_n) il valore posto in i -esima posizione si indica con la notazione:

$$t[i]$$

Questa modalità di accesso ai valori però non è efficace per l'uso pratico delle relazioni. Si preferisce quindi assegnare un **nome alle colonne**; ciò conduce all'introduzione della definizione di relazione come insieme di **tuple**.

Definizione 5.2 (Definizione di relazione come insieme di tuple (Mappings)). Sia X un insieme di nomi e sia Δ l'insieme di tutti i domini di base ammessi dal modello. Si definisce la funzione:

$$\text{DOM} : X \rightarrow \Delta$$

Tale funzione associa ad ogni nome $A \in X$ un dominio $\text{DOM}(A) \in \Delta$. I nomi di X si definiscono **attributi**. Una tupla t su X è una funzione:

$$t : X \rightarrow \bigcup_{A \in X} \text{DOM}(A)$$

dove:

$$t[A] = v \in \text{DOM}(A)$$

Quindi una relazione su X è un **insieme di tuple su X**, dove X è l'insieme di attributi della relazione.

Nota:

- Una relazione è un **insieme** di tuple e quindi **non può contenere tuple duplicate**
- I domini per gli attributi possono essere solo domini di base, **non sono ammessi altri domini, né il prodotto cartesiano di domini**. Essenzialmente non sono ammessi attributi anidati
- In generale una base di dati relazionale è composta da **più relazioni**

Esempio 5.3. Consideriamo l'esempio 5.1. Definiamo l'insieme di attributi:

$$X = \{\text{Nome}, \text{CAP}, \text{Abitanti}\}$$

Definiamo il dominio di ciascun attributo:

$$\text{DOM}(\text{Nome}) = \text{Stringhe di caratteri}$$

$$\text{DOM}(\text{CAP}) = \text{Numeri interi}$$

$$\text{DOM}(\text{Abitanti}) = \text{Numeri interi}$$

La tabella della relazione è rappresentata come un insieme di tuple:

$$\rho_X = \{t_1, t_2, t_3\}$$

dove:

$$t_1[\text{Nome}] = \text{Milano} \quad t_1[\text{CAP}] = 20100 \quad t_1[\text{Abitanti}] = 1300000$$

$$t_2[\text{Nome}] = \text{Verona} \quad t_2[\text{CAP}] = 37100 \quad t_2[\text{Abitanti}] = 350000$$

$$t_3[\text{Nome}] = \text{Brescia} \quad t_3[\text{CAP}] = 25100 \quad t_3[\text{Abitanti}] = 250000$$

5.4 Progettazione nel modello relazionale

5.4.1 Progettazione dei dati

Nel modello relazionale lo schema è costituito da un insieme di relazioni (o tabelle). Le dipendenze tra proprietà elementari (attributi) sono costituite dalle **dipendenze funzionali** che in questo corso sono sostituite dalla progettazione concettuale. Consideriamo i seguenti requisiti da implementare nel modello relazionale:

Vogliamo rappresentare in una base di dati relazionale le informazioni sulla proprietà degli appartamenti siti nel comune di Verona.

- Per ogni appartamento vogliamo memorizzare: il codice ecografico (univoco), la categoria catastale e l'indirizzo composto da: via, numero civico, subalterno.

- Per ogni proprietario si registra: il codice fiscale, il nome, il cognome e la data di nascita.
- Un appartamento può essere in comproprietà e un proprietario può possedere più appartamenti

5.4.2 Relazione unica

Una soluzione possibile è rappresentata da un'unica relazione che contiene tutte le informazioni sugli appartamenti e sui proprietari:

Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO	Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
A1	Roma	23	A	RMAXXX	RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
A1	Roma	23	A	RMAXXX	BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
A3	Milano	9		MILYYY	BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
A3	Milano	9		MILYYY	BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977
A1	Torino	2	C	TORZZZ	BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977
A2	Garibaldi	33		GARWWW	RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975

Figura 21: Schema relazionale con una sola relazione Proprietà

Questa tabella associa ogni appartamento ad un proprietario perché i dati dell'appartamento e della persona fanno parte della stessa riga. Il problema è che non c'è distinzione tra queste due categorie di informazioni. Questo porta a diversi problemi:

1. **Mancata separazione delle informazioni:** le due categorie di informazione non possono esistere separatamente.
2. **Ridondanza dei dati:** se un proprietario possiede più appartamenti i suoi dati vengono memorizzati più volte. Questo comporta un aumento dello spazio di memorizzazione e una possibile inconsistenza dello stesso dato.

5.4.3 Anomalie

Le problematiche descritte nel paragrafo precedente portano sono descritte in modo più dettagliato come **anomalie** che si dividono in:

- **Anomalia di aggiornamento:** per aggiornare il valore di un attributo si è obbligati a modificare tale valore su più tuple
- **Anomalia di inserimento:** per inserire una nuova tupla è necessario inserire valori al momento sconosciuti (sostituibili da valori nulli) per gli attributi non disponibili
- **Anomalia di cancellazione:** per cancellare una tupla è necessario cancellare valori ancola validi oppure inserire valori nulli per gli attributi da cancellare

5.4.4 Decomposizione della relazione unica

Riprendiamo l'esempio precedente con una singola relazione e decomponiamola separando le diverse categorie di informazioni in relazioni distinte. Ci sono diversi modi per effettuare questa decomposizione:

1. Separazione in due relazioni distinte per Appartamento e Proprietario

APPARTAMENTO					PROPRIETARIO			
Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO	Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
A1	Roma	23	A	RMAXXX	RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
A3	Milano	9		MILYYY	BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
A1	Torino	2	C	TORZZZ	BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977
A2	Garibaldi	33		GARWWW				

Figura 22: Schema relazionale con relazioni distinte per Appartamento e Proprietario

Questa separazione risolve i problemi di ridondanza e anomalie di aggiornamento. Però manca l'informazione che mette in relazione la persona con l'appartamento. Quindi siccome si è persa un'informazione, questa decomposizione è detta **decomposizione con perdita**.

2. Separazione in due relazioni distinte per Appartamento e Proprietario con l'aggiunta di un'informazione identificante per la relazione Appartamento, in questo caso è

- codice fiscale della Persona nella relazione Appartamento

APPARTAMENTO					
Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO	Codice Fiscale
A1	Roma	23	A	RMAXXX	RSSMRR75D
A1	Roma	23	A	RMAXXX	BNCMRA80F
A3	Milano	9		MILYYY	BNCMRA80F
A3	Milano	9		MILYYY	BNCPLO77A
A1	Torino	2	C	TORZZZ	BNCPLO77A
A2	Garibaldi	33		GARWWW	RSSMRR75D

Figura 23: Relazione Appartamento con codice fiscale

PROPRIETARIO			
Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977

Figura 24: Relazione Proprietario con codice ecografico

Siccome non esistono i puntatori bisogna duplicare i valori identificanti nelle due relazioni. Anche questa decomposizione ha dati ridondanti.

3. Separazione in due relazioni distinte per Appartamento e Proprietario con l'aggiunta di un informazione identificante per la relazione Proprietario, in questo caso è:

- codice ecografico dell'Appartamento nella relazione Proprietario

APPARTAMENTO					
Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO	Codice Fiscale
A1	Roma	23	A	RMAXXX	RSSMRR75D
A1	Roma	23	A	RMAXXX	BNCMRA80F
A3	Milano	9		MILYYY	BNCMRA80F
A3	Milano	9		MILYYY	BNCPLO77A
A1	Torino	2	C	TORZZZ	BNCPLO77A
A2	Garibaldi	33		GARWWW	RSSMRR75D

Figura 25: Relazione Appartamento con codice fiscale

PROPRIETARIO			
Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977

Figura 26: Relazione Proprietario

Siccome non esistono i puntatori bisogna duplicare i valori identificanti nelle due relazioni. Anche questa decomposizione ha dati ridondanti.

4. Separazione in due relazioni distinte per Appartamento e Proprietario con l'aggiunta di un informazione identificante per ciascuna relazione, in questo caso sono:

- codice fiscale nella relazione Appartamento
- codice ecografico nella relazione Proprietario

PROPRIETARIO				
Codice ECO	Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
RMAXXX	RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
RMAXXX	BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
MILYYY	BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
MILYYY	BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977
TORZZZ	BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977
GARWWW	RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975

Figura 27: Relazione Appartamento

APPARTAMENTO				
Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO
A1	Roma	23	A	RMAXXX
A3	Milano	9		MILYYY
A1	Torino	2	C	TORZZZ
A2	Garibaldi	33		GARWWW

Figura 28: Relazione Proprietario con codice ecografico

Anche in questo caso si presentano le stesse problematiche del punto precedente.

5. Separazione in tre relazione distinte:

- Appartamento
- Persona
- Proprietà (relazione tra Appartamento e Persona)

Per rappresentare la relazione tra Appartamento e Persona si introduce una nuova relazione chiamata Proprietà che contiene i valori degli attributi identificanti di entrambe le relazioni.

APPARTAMENTO				
Categoria	Via	Civico	Sub	Codice ECO
A1	Roma	23	A	RMAXXX
A3	Milano	9		MILYYY
A1	Torino	2	C	TORZZZ
A2	Garibaldi	33		GARWWW

Figura 29: Relazione Appartamento

PROPRIETARIO			
Codice Fiscale	Nome	Cognome	Data Nas
RSSMRR75D	Mario	Rossi	1/1/1975
BNCMRA80F	Maria	Bianchi	10/9/1980
BNCPLO77A	Paolo	Bianchi	3/1/1977

Figura 30: Relazione Persona

Codice ECO	Codice Fiscale
RMAXXX	RSSMRR75D
RMAXXX	BNCMRA80F
MILYYY	BNCMRA80F
MILYYY	BNCPLO77A
TORZZZ	BNCPLO77A
GARWWW	RSSMRR75D

Figura 31: Relazione Proprietà

In questa decomposizione non esistono ridondanze e non si perdono informazioni. Quindi questa è la decomposizione corretta e **senza perdita**. L'unica ridondanza è quella degli attributi identificanti che però è necessaria per rappresentare la relazione tra le due entità.

5.4.5 Proprietà del modello relazionale

- I legami tra relazioni si realizzano attraverso la replicazione di un insieme di attributi, dove il legame tra due tuple si intende stabilito quando esse presentano gli stessi valori negli attributi replicati.
- Il modello relazionale è **value-based** (basato sui valori). Il modello non prevede l'uso di puntatori per rappresentare legami tra i dati. Questo implica:

- Completa indipendenza dall'implementazione e dallo schema fisico
- Facilità di trasferimento dei dati tra sistemi
- Viene rappresentato solo ciò che è rilevante per il sistema informativo

5.4.6 Terminologia

- **Schema di una relazione:** è costituito dal nome della relazione e da un insieme di nomi per i suoi attributi:

$$R(X) \text{ oppure } R(A_1, \dots, A_n) \text{ oppure } R(A_1 : D_1, \dots, A_n : D_n)$$

- **Schema di una base di dati relazionale:** è costituito da un insieme di schemi di relazioni:

$$S = \{R_1(X_1), \dots, R_n(X_n)\}$$

con $R_1 \neq \dots \neq R_n$

- **Istanza di un relazione di schema $R(X)$:** è un insieme r di tuple su X :

$$r = \{t_1, \dots, t_k\}$$

- **Istanza di una base di dati relazionale di schema**

$S = \{R_1(X_1), \dots, R_n(X_n)\}$: è costituito da un insieme di istanze delle relazioni $R_1(X_1), \dots, R_n(X_n)$:

$$db = \{r_1, \dots, r_n\}$$

5.5 Valori nulli

Dalla definizione di relazione si ha che ogni tupla deve sempre contenere nei propri attributi valori significativi appartenenti ai domini di base del modello. Non sempre però in una base di dati reale esistono i valori per tutti gli attributi di una tupla. Un valore può mancare nei seguenti casi:

- Il valore di un attributo A è **inesistente** (attributo opzionale a livello concettuale), cioè non esiste per questa tupla un valore per l'attributo A .
- Il valore di un attributo A è **sconosciuto**, cioè esiste un valore per l'attributo A di questa tupla ma non è noto alla base di dati.
- Il valore di un attributo A è inesistente o sconosciuto.

Per poter gestire tali situazioni viene introdotto nel modello relazionale un valore speciale detto **valore nullo**. Quindi gli attributi di una tupla possono assumere un valore del dominio oppure il valore nullo. Il valore nullo non dovrebbe essere abusato.

Definizione 5.3 (Tupla con valore nullo). Una tupla su X con valori nullo è definita come una funzione:

$$t : X \rightarrow \{\text{NULL}\} \cup \left(\bigcup_{A \in X} \text{DOM}(A) \right)$$

dove:

$$t[A] = v \in \text{DOM}(A) \vee t[A] = \text{NULL}$$

5.5.1 Osservazioni

- La presenza di valori nulli è accettabile **solo in alcuni attributi** (non è possibile avere tuple di soli valori nulli).
- In particolare, negli **attributi replicati per rappresentare legami tra tuple** la presenza di valori nulli può rendere inutilizzabile l'informazione

Esempio 5.4. Rappresentare attraverso un insieme di relazioni le informazioni contenute in un orario ferroviario dove si riportino per ogni treno in partenza dalla stazione di Verona Porta Nuova: il numero, l'orario di partenza, la destinazione finale, la categoria, le fermate intermedie (con orario di fermata) e l'orario di arrivo alla destinazione finale.

Lo schema relazionale risultante è il seguente:

TRENO(Numer, Categoria, OraPart, Destinazione, OraArr)
FERMATA(NumTreno, Stazione, Orario)

In progettazione concettuale equivale a due entità (Treno e Stazione) collegate da una relazione (Fermata).

5.6 Vincoli di integrità

Consentono di precisare quali sono le condizioni (vincoli) che le istanze delle relazioni devono rispettare per essere considerate valide.

Definizione 5.4. Un vincolo di integrità è una condizione, espressa da un **predicato**, che deve essere **sempre** soddisfatta da **ogni istanza** della base di dati.

Esempio 5.5. Consideriamo l'esempio 5.4, i predicati che esprimono possibili

vincoli sono:

$$\begin{aligned}
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{OraPart}] \in \{0, 1, \dots, 23\} \\
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{MinutoPart}] \in \{0, 1, \dots, 59\} \\
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{Numero}] > 0 \\
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{Numero}] > 5000 \Rightarrow t[\text{Categoria}] = \text{'Regionale'} \\
 & \forall t, t' \in \text{TRENO} : t \neq t' \Rightarrow t[\text{Numero}] \neq t'[\text{Numero}] \\
 & \forall f \in \text{FERMATA} : \exists t \in \text{TRENO} : f[\text{NumTreno}] = t[\text{Numero}] \\
 & \quad \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{Categoria}] = \text{'Regionale'} \\
 & \quad \Rightarrow \exists f \in \text{FERMATA} : f[\text{NumTreno}] = t[\text{Numero}]
 \end{aligned}$$

5.6.1 Classificazione

I vincoli di integrità si possono classificare in:

- Vincoli di dominio
- Vincoli di tupla
- Vincoli intrarelazionali
 - Chiavi (vincolo strutturale)
- Vincoli interrelazionali
 - Vincoli di integrità referenziale (vincolo strutturale)

Ci sono anche vincoli che hanno più importanza degli altri in quanto garantiscono **proprietà generali valide per tutti gli schemi relazionali**. Questi vincoli sono detti **vincoli strutturali**.

5.6.2 Vincoli di dominio

Impongono una restrizione sui valori che un attributo può assumere. Ad esempio:

$$\begin{aligned}
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{OraPart}] \in \{0, 1, \dots, 23\} \\
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{MinutoPart}] \in \{0, 1, \dots, 59\} \\
 & \forall t \in \text{TRENO} : t[\text{Numero}] > 0
 \end{aligned}$$

5.6.3 Vincoli di tupla

Impongono una restrizione alla **combinazione di valori che una tupla della relazione** può assumere indipendentemente dalle altre tuple, ad esempio:

$$\forall t \in \text{TRENO} : t[\text{Numero}] > 5000 \Rightarrow t[\text{Categoria}] = \text{'Regionale'}$$

5.6.4 Vincoli di intrarelazionali

Impongono una restrizione al contenuto di una relazione e specificano una condizione che **ogni tupla della relazione deve soddisfare rispetto alle altre tuple della medesima relazione**. Una sottocategoria importante di questi vincoli include i **vincoli di chiave**:

- **Superchiave:** Data una relazione di schema $R(X)$, un insieme di attributi K sottoinsieme di X è **superchiave** per $R(X)$ se per ogni istanza r di $R(X)$ vale la seguente condizione:

$$\forall t, t' \in r : t \neq t' \Rightarrow t[K] \neq t'[K]$$

dove:

$$t[K] \neq t'[K] \equiv \exists A_i \in K : t[A_i] \neq t'[A_i]$$

- **Chiave candidata:** Data una relazione di schema $R(X)$, un insieme di attributi K sottoinsieme di X è **chiave candidata** (o chiave) per $R(X)$ se K è superchiave per $R(X)$ e vale la seguente condizione:

$$\neg \exists K' \subseteq K : K' \text{ è superchiave per } R(X)$$

Teorema 5.1. Esiste sempre una chiave candidata K per una relazione $R(X)$

- **Chiave primaria:** Data una relazione di schema $R(X)$ la sua **chiave primaria** è la chiave candidata scelta per **identificare le tuple della relazione**. La chiave primaria viene usata per rappresentare i legami tra le relazioni e ha le seguenti caratteristiche:

- Non contiene **mai valori nulli**
- Su K il sistema genera una struttura d'accesso ai dati (o indice) per supportare le interrogazioni

Esempio 5.6. Consideriamo l'esempio 5.4. I seguenti sottoinsiemi di X sono:

$K_1 = \{\text{Numero}\}$ è una superchiave e chiave candidata

$K_2 = \{\text{Numero}, \text{Categoria}\}$ è una superchiave ma non chiave candidata

$K_3 = \{\text{OraPart}, \text{MinutoPart}, \text{Destinazione}, \text{Categoria}\}$

è una superchiave e chiave candidata