



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

UNIVERSITÀ "SAPIENZA" DI ROMA  
FACOLTÀ DI INFORMATICA

---

## Basi di Dati II

---

Appunti integrati con il libro "Software Engineering, a Practitioner's Approach", R. Pressman, B.R. Maxim

*Author*  
Simone Bianco

20 marzo 2023

# Indice

<b>0</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Cenni di Ingegneria del Software</b>	<b>2</b>
1.1	Obiettivi e Contesto organizzativo . . . . .	2
1.2	Ciclo di vita del software . . . . .	4
1.2.1	Analisi dei requisiti . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Analisi concettuale dei requisiti</b>	<b>6</b>
2.1	Linguaggio Entity-Relationship . . . . .	6
2.1.1	Entity e Domini . . . . .	7
2.1.2	Relationship . . . . .	9
2.1.3	Ereditarietà e Generalizzazioni tra entity . . . . .	15
2.1.4	Ereditarietà tra relationship . . . . .	18
2.1.5	Vincoli di cardinalità, identificazione ed esterni . . . . .	21
2.2	Diagramma UML degli use-case . . . . .	24
2.2.1	Specifiche degli use-case . . . . .	26
2.3	Logica del primo ordine . . . . .	28
2.3.1	Sintassi . . . . .	28
2.3.2	Semantica . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Progetti svolti</b>	<b>35</b>
3.1	Università . . . . .	36
3.1.1	Specifica dei requisiti . . . . .	36
3.1.2	Raffinamento dei requisiti . . . . .	36
3.1.3	Diagramma ER . . . . .	38
3.1.4	Specifiche dei dati . . . . .	38
3.1.5	Diagramma degli use-case . . . . .	40
3.1.6	Specifiche (informali) degli use-case . . . . .	40

# Capitolo 0

## Introduzione

# Capitolo 1

## Cenni di Ingegneria del Software

### 1.1 Obiettivi e Contesto organizzativo

Durante lo sviluppo di software complessi, è impossibile passare direttamente allo sviluppo dell'applicazione senza prima effettuare un'attenta **analisi delle necessità** e delle **modalità di realizzazione** del software stesso.

Consideriamo i seguenti due esempi:

- Vogliamo progettare un database in grado di memorizzare informazioni su un insieme di contatti (telefonici e email).

Per ogni contatto è necessario mantenere:

- Nome e cognome
- Numeri di telefono di casa, ufficio e mobile
- Indirizzo email

I contatti possono appartenere a gruppi. L'applicazione deve permettere all'utente di aggiungere un nuovo contatto, modificare i dati di un contatto, cancellare un contatto, assegnare/rimuovere contatti a/da un gruppo e ricercare i contatti per nome e/o cognome

- Si vuole sviluppare un sistema che permetta ad una banca di gestire i conti correnti dei clienti, i loro investimenti, oltre che la propria rete di promotori finanziari.

Il sistema deve tenere traccia di tutti gli acquisti e vendite di azioni, obbligazioni, etc. effettuati dai clienti, e deve poter calcolare in tempo reale la valorizzazione corrente del loro portafoglio.

Inoltre, l'applicazione deve assistere i promotori finanziari nella scelta degli strumenti finanziari più adeguati da proporre ai clienti, e deve permettere ai responsabili di agenzia di controllare la professionalità dei promotori.

In questo caso, il primo esempio, trattandosi di un programma semplice e avente poche funzionalità, non richiede alcuna progettazione. Tuttavia, realizzare il secondo esempio senza effettuare una rigorosa analisi del software risulta essere **impossibile**.

Statisticamente, difatti, il progetto di un software complesso richiede:

- Una pool di ingegneri del software, progettisti, analisti e programmatori
- Circa **6 mesi** per l'analisi delle richieste
- Circa **9 mesi** per la progettazione del software
- Circa **3 mesi** per lo sviluppo effettivo del software
- Tempo aggiuntivo per testing e verifica funzionalità

Lo sviluppo effettivo del software, contro intuitivamente, risulta essere il **processo più breve**, semplice e lineare dell'intero progetto.

Il motivo di ciò è semplice: durante le fasi di analisi e progettazione sono state effettuate **tutte le scelte necessarie allo sviluppo**, coprendo qualsiasi ambito. Di conseguenza, una volta conclusa la progettazione, lo sviluppo del software risulta essere un semplice lavoro manuale richiedente solo la conversione da funzionalità concettuali a codice applicativo.

#### Definition 1. Attori del progetto

Nell'ambito della progettazione del software, definiamo come **attori** qualsiasi ente e/o persona coinvolta nel progetto. In particolare, identifichiamo i seguenti attori:

- Committente
- Esperto del dominio
- Analista
- Progettista
- Programmatore
- Utente finale
- Manutentore

Un ente/persona può ricoprire **uno o più ruoli**. Ad esempio, il committente potrebbe essere anche l'utente finale del programma.

#### Esempio:

- Il Comune di XYZ intende automatizzare la gestione delle informazioni relative alle contravvenzioni elevate sul suo territorio. In particolare, intende dotare ogni vigile di una app per smartphone che gli consenta di comunicare al sistema informatico il veicolo a cui è stata comminata la contravvenzione, il luogo in cui è stata elevata e la natura dell'infrazione.

Il sistema informatico provvederà a notificare, tramite posta ordinaria, la contravvenzione al cittadino interessato. Il Comune bandisce una gara per la realizzazione e manutenzione del sistema, che viene vinta dalla ditta ABC.

- In questo caso, gli attori coinvolti sono:
  - Committente: il comune di XYZ
  - Esperto del dominio: un funzionario del comune (o un altro professionista) esperto del codice della strada
  - Utenti finali: i vigili del comune
  - Analisti, progettisti, programmatori e manutentori: personale della ditta ABC commissionata

## 1.2 Ciclo di vita del software

All'interno del ciclo di vita di un software, identifichiamo **5 fasi principali**:

1. **Studio di fattibilità e raccolta dei requisiti**, ossia la valutazione dei costi e dei benefici, la pianificazione delle attività e delle risorse del progetto, l'individuazione dell'ambiente di programmazione e la raccolta dei **requisiti** per la realizzazione
2. **Analisi dei requisiti**, ossia l'analisi delle funzionalità del software, descrivendone il dominio e specificando le funzioni di ogni componente attraverso uno **schema concettuale**
3. **Progettazione e realizzazione**, ossia la definizione delle metodologie di realizzazione delle funzionalità individuate, definendo l'architettura del programma, scrivendo e documentando il codice effettivo
4. **Verifica e Testing**, ossia la verifica del corretto funzionamento del software
5. **Manutenzione**, ossia la correzione e l'aggiornamento del software

Idealmente, tali fasi dovrebbero essere realizzate seguendo un **modello a cascata**, ossia una successiva all'altra, senza mai tornare indietro. Tuttavia, ciò risulta impossibile, poiché durante ogni fase potrebbero insorgere eventuali problematiche o riprogettazioni dovute a migliorie o cambiamenti di idea del committente.

Nella pratica, quindi, viene utilizzato un **modello a spirale**, dove ogni fase viene realizzata poco per volta, passando il poco lavoro fatto alla fase successiva, la quale procederà analogamente. In tal modo, al termine di una "prima versione" di ogni fase, è possibile procedere già con la "seconda versione", la quale sarà più estensiva della precedente, e così via.

### 1.2.1 Analisi dei requisiti

Durante l'analisi dei requisiti, gli analisti si occupano di cogliere le implicazioni di ogni singolo requisito, specificandoli il più possibile con l'obiettivo di **formalizzarli**, eliminando **incompletezze**, **inconsistenze** ed **ambiguità**, fornendo una **specifica delle funzionalità** da realizzare ed elaborando uno **schema concettuale** che sarà di riferimento per tutte le successive fasi del ciclo di vita del software.

In particolare, lo schema concettuale è composto da:

- Diagrammi realizzati con opportuni linguaggi grafici di modellazione, ad esempio il linguaggio **Unified Modeling Language (UML)**
- Documenti di specifica

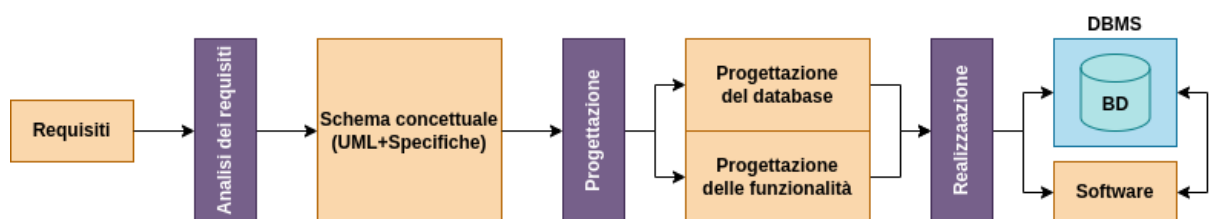
Tramite tali componenti, lo schema concettuale è in grado di descrivere completamente e precisamente il sistema da realizzare secondo diverse prospettive (quali sono e come organizzare i dati di interesse, le funzioanalità, ...)

Il **linguaggio UML** fornisce costrutti per modellare la gran parte degli aspetti, sia statici che dinamici, utilizzando un approccio **orientato agli oggetti**:

- Gli oggetti di interesse (ossia i dati) vengono organizzati secondo gerarchie di classi, descritte tramite un **diagramma delle classi**
- L'evoluzione possibile degli oggetti nel tempo viene descritta attraverso un **diagramma di transizione degli stati**
- Le funzionalità offerte dal sistema e i relativi attori che possono utilizzarle vengono descritte tramite un **diagramma degli use-case**
- Le interazioni tra gli oggetti e i processi del sistema vengono descritti in **diagrammi di sequenza, collaborazione ed attività**
- L'architettura del sistema viene progettata tramite **diagrammi di componenti e di deployment**

Nel caso della progettazione di una base di dati, l'approccio progettuale segue come:

1. Analisi tramite UML e documenti di specifica per modellare il sistema sotto le varie prospettive, decidendo quali siano i dati di interesse e la struttura di essi
2. Progettazione delle metodologie di memorizzazione di tali dati (ad esempio la scelta di un DBMS)



Dunque, nel linguaggio UML l'analisi degli aspetti relativi ai dati confluisce nel **diagramma delle classi**, il quale tuttavia contiene anche informazioni riguardo le operazioni svolte su tali dati, rendendo alcuni vincoli sui dati non sono esprimibili a pieno.

Di conseguenza, nella fase di analisi vengono utilizzati linguaggi di modellazione precursori dell'UML, orientati **esplicitamente a modellare solo i dati**. Il linguaggio più diffuso per tale scopo è il **linguaggio Entity-Relationship (ER)**.

# Capitolo 2

## Analisi concettuale dei requisiti

### 2.1 Linguaggio Entity-Relationship

#### Definition 2. Livello intensionale ed estensionale

Nella logica matematica, un oggetto, concetto o termine può essere descritto a:

- **Livello intensionale**, ossia specificandone le caratteristiche generali rispettate da ogni oggetto a cui il termine è associato
- **Livello estensionale**, ossia specificandone le caratteristiche specifiche di un oggetto, le quali lo differenziano da altri oggetti a cui il termine è associato

**Esempio:**

- Per riassumere tale concetto, nell'uso delle classi Java avremmo:

```
// Livello intensionale
public class Person {
    String name;
    String surname;
    public Persona(String n, String c){
        ...
    }
    ...
}

public static void main(String[] args){
    // Livello estensionale
    Person mario = new Person("Mario", "Rossi");
    ...
}
```



**Definition 3. Linguaggio Entity-Relationship**

Il **linguaggio Entity-Relationship (ER)** è un linguaggio grafico atto alla modellazione dei dati di interesse di un'applicazione, fornendo costrutti a cui è associata una sintassi ed una semantica di utilizzo.

Un **diagramma ER** descrive i dati solo a **livello intensionale**, ossia la **struttura** che essi assumono (dunque non al livello estensionale ossia i dati assunti da ogni istanza dell'oggetto, i quali possono variare nel tempo).

**2.1.1 Entity e Domini****Definition 4. Entity**

Un'**entity** rappresenta una **classe di oggetti** (ossia persone, cose, fatti, ...) di interesse per il dominio applicativo. Ogni istanza di un'entity possiede **proprietà comuni** (livello intensionale) ed hanno **esistenza autonoma** rispetto alle altre istanze (livello estensionale).

**Definition 5. Attributi di un'entity**

Un'entity può possedere degli **attributi**, ossia delle **proprietà locali**, i quali associano un valore ad un certo **dominio** (o tipo). I domini dei vari attributi vengono descritti all'interno di un **dizionario dei dati** esterno al diagramma ER.

**Proposition 1. Domini di attributi**

Principalmente, all'interno del linguaggio ER vengono utilizzati dei **domini elementari**, ossia **Stringa, Intero, Reale, Data, Ora, Dataora**.

Ognuno di tali domini può essere **ristretto** tramite dei **vincoli di dominio** (ad esempio, "intero > 0" corrisponde ad un attributo di tipo intero positivo).

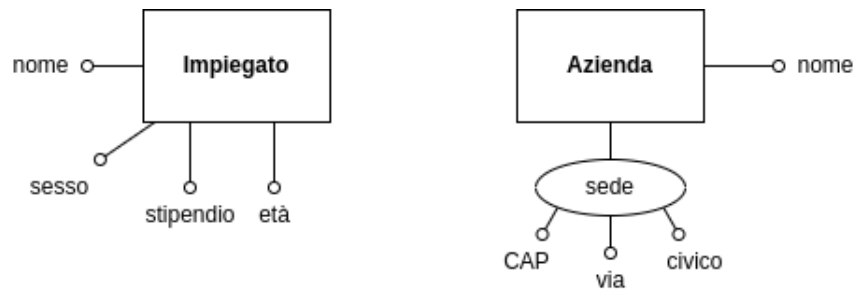
Ulteriori domini utilizzati nel linguaggio ER sono:

- **Dominio enumerativo**, il quale viene artificialmente deciso dall'analista e viene indicato come un **insieme di simboli** (ad esempio, {uomo, donna})
- **Dominio record**, il quale corrisponde ad una tupla di domini. Viene utilizzato per gli **attributi composti**.

**Esempio:**

- Consideriamo le seguenti due entity:
  - L'entity **Impiegato** possiede gli attributi **nome** (stringa), **sex** (enum di tipo uomo o donna), **stipendio** (intero positivo), età (intero positivo)

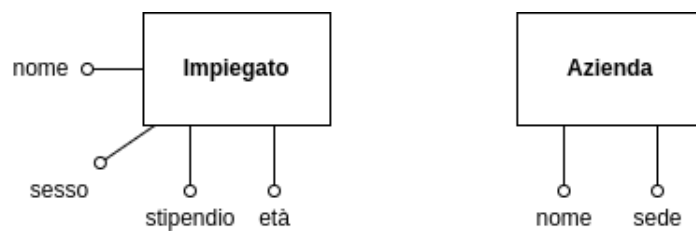
- L'entity **Azienda** possiede gli attributi **nome** (stringa), **sede** (**record** composto da CAP (intero positivo), via (stringa) e numero civico (intero positivo))
- In linguaggio ER, rappresenterebbero tali entity e tali attributi nel seguente modo:



mentre il relativo dizionario dei dati corrisponderebbe a:

Impiegato		Azienda	
Nome	Stringa	Nome	Stringa
Sesso	{Uomo, Donna}	Sede	Record( CAP: Intero >0, via: Stringa, civico: Intero >0)
Età	Intero > 0		
Stipendio	Intero > 0		

- Ad ogni istanza di Impiegato, dunque, verrà associato uno ed un solo valore di tipo stringa per l'attributo nome, uno ed un solo valore di tipo intero positivo per l'attributo età ed uno ed un solo valore di tipo intero positivo per l'attributo stipendio.
- Per comodità, i campi appartenenti ad un attributo composto vengono **omessi** dal diagramma ER, poiché essi sono già indicati nel dizionario dei dati:



- Consideriamo quindi le seguenti due istanze di Impiegato:
  - Nome: "Anna", sesso: "Donna", età: 35 e stipendio: 40000
  - Nome: "Anna", sesso: "Donna", età: 35 e stipendio: 40000

Poiché ogni istanza di un'entity possiede **esistenza autonoma**, tali istanze, seppur coincidenti nel valore di ogni attributo, sono **distinte tra loro**. Dunque, esse possono coesistere.

## 2.1.2 Relationship

### Definition 6. Relationship

Una **relationship** esprime un possibile legame tra istanze di due o più entity. Il numero di entity coinvolte nella relationship viene detto **grado** o **arità**.

A livello estensionale, una relationship  $r$  tra due entity  $E$  ed  $F$  corrisponde ad una **relazione matematica**, ossia un sottoinsieme del prodotto cartesiano tra le due entity

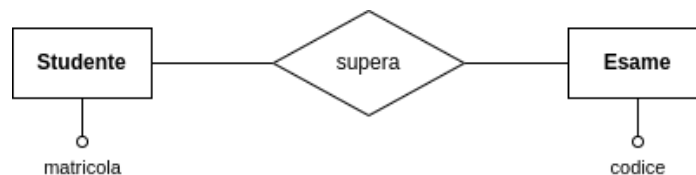
$$r \subseteq E \times F$$

### Observation 1

Sia  $r$  una relationship tra le entity  $E$  ed  $F$ . Poiché una relazione matematica è un insieme, ne segue che non possano esistere in  $r$  **due istanze** che legano la **stessa coppia di istanze** di  $E$  ed  $F$

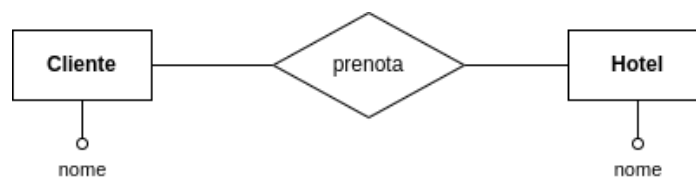
### Esempi:

1. Consideriamo la seguente relationship tra le entity Studente ed Esame:



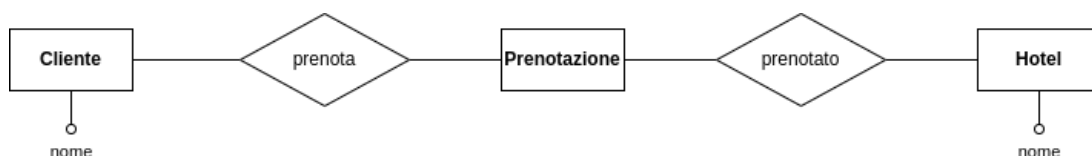
In tal caso, il vincolo di inesistenza di duplicati all'interno della relationship risulta essere **adeguato**, poiché ciò impedisce che lo stesso studente possa sostenere più volte lo stesso esame

2. Consideriamo la seguente relationship tra le entity Cliente ed Hotel:



In tal caso, il vincolo di inesistenza di duplicati all'interno della relationship risulta essere **inadatto**, poiché ciò impedisce che lo stesso cliente possa prenotare più volte lo stesso hotel.

Per risolvere tale problema, è necessario creare un'ulteriore entity Prenotazione che faccia da "ponte" tra le due relationship.



**Definition 7. Vincoli di integrità**

Definiamo come **vincoli di integrità** delle **restrizioni** sulle entity e sulle relationship a livello estensionale

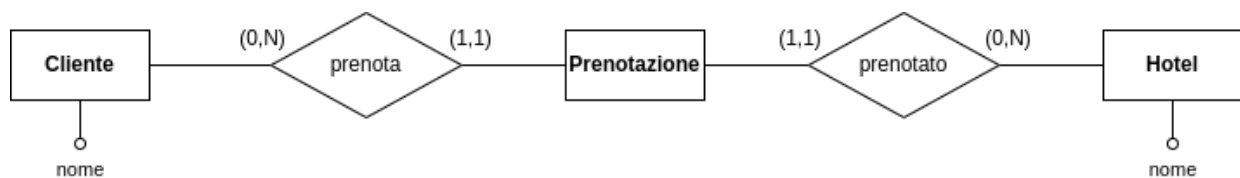
**Definition 8. Vincolo di molteplicità**

Definiamo come **vincolo di molteplicità** un vincolo di integrità che esprime il **numero volte** in cui un'istanza di un'entity può essere coinvolta in una relationship.

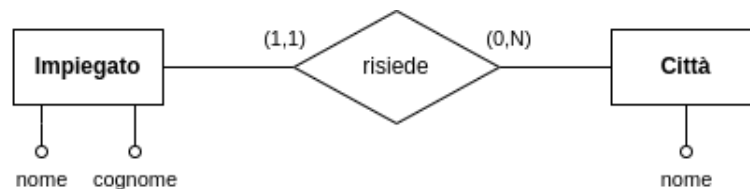
Tali vincoli vengono rappresentati con delle **coppie di interi**, rappresentanti il limite minimo e massimo della molteplicità di un'istanza dell'entity all'interno della relationship.

**Esempio:**

- Riprendendo l'esempio precedente inerente alle prenotazioni di hotel, i vincoli di molteplicità di tale diagramma ER corrispondono a:



- Consideriamo il seguente diagramma ER:



- In tale diagramma, il vincolo di molteplicità dell'entity Impiegato relativa alla relationship "risiede" risulta essere  $(1, 1)$ , indicante che ogni impiegato risiede in minimo una città e massimo una città (dunque ogni impiegato risiede in una città)
- Analogamente, il vincolo associato all'entity Città risulta essere  $(0, N)$ , indicante che in ogni città possa risiedere nessun impiegato o un numero indefinito di impiegati

**Observation 2**

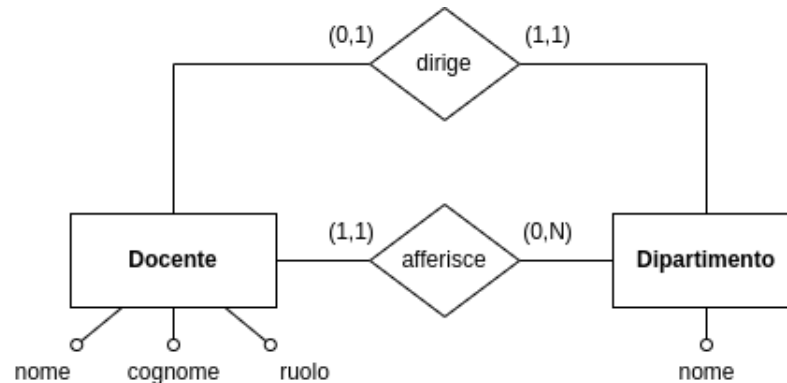
Due entity possono essere involte in **più relationship tra di esse**

**Esempio:**

- Vogliamo modellare i docenti di un ateneo. Di ogni docente vogliamo mantenere, il nome, il cognome, il ruolo assunto (il quale può essere RU, ossia ricercatore universitario, PA, ossia professore associato, e PO, ossia professore ordinario) e

di dipartimento a cui afferisce. Inoltre, vogliamo tenere traccia del nome di ogni dipartimento e del suo direttore, corrispondente ad un docente.

- Il diagramma ER corrispondente sarà:



### Definition 9. Ruoli di relationship

Nel caso in cui un'entity sia **involta più volte in una relationship**, per evitare ambiguità vengono assegnati dei **ruoli** assunti dalle possibili istanze di tale entity all'interno della relationship stessa, i quali vengono indicati all'interno delle istanze della relationship con un'**etichetta** indicandone il ruolo.

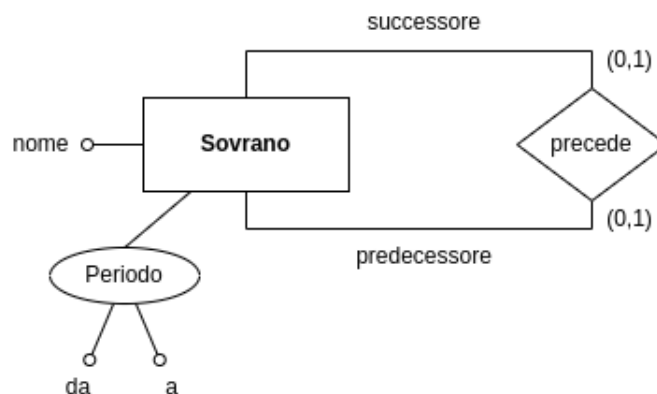
Nel caso in cui l'entity sia involta una sola volta nella relationship, le verrà assegnato automaticamente un ruolo corrispondente al suo nome.

### Observation 3

Il ruolo di un'entity può essere specificato anche in casi in cui non sia obbligatorio, rendendo più esplicito il suo compito all'interno della relationship

### Esempi:

- Nel seguente diagramma ER, l'entity Sovrano è involta due volte nella relationship "precede"

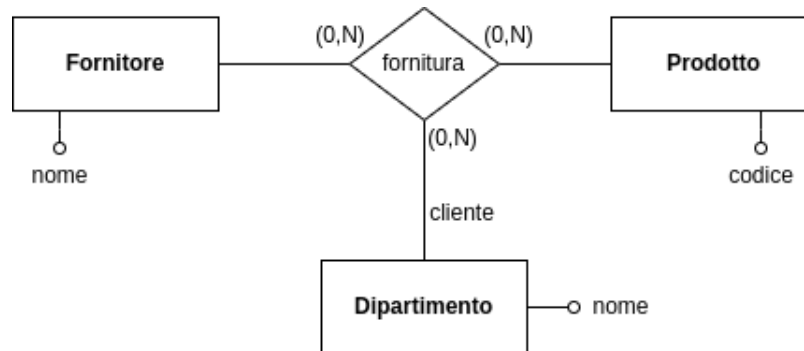


- In tal caso, le tuple rappresentanti le istanze della relationship avranno la seguente forma:

(predecessore:  $s_1$  , successore:  $s_2$  )

dove  $s_1, s_2 \in \text{Sovrano}$

- Nel seguente diagramma ER, viene assegnato il ruolo "cliente" all'entity Dipartimento, in modo da esplicitare il suo compito all'interno della relationship "fornitura"



### Proposition 2. Semantica di una relationship

A livello estensionale, una **relationship**  $r$  tra le entity  $E_1, \dots, E_n$ , aventi rispettivi ruoli  $u_1, \dots, u_n$ , corrisponde ad un insieme di  $n$  - *uple* nella forma:

$$(u_1 : x_1, u_2 : x_2, \dots, u_n : x_n)$$

dove  $x_1 \in E_1, x_2 \in E_2, \dots, x_n \in E_n$

**Nota:** le entity non devono essere necessariamente tutte distinte

### Definition 10. Attributi di una relationship

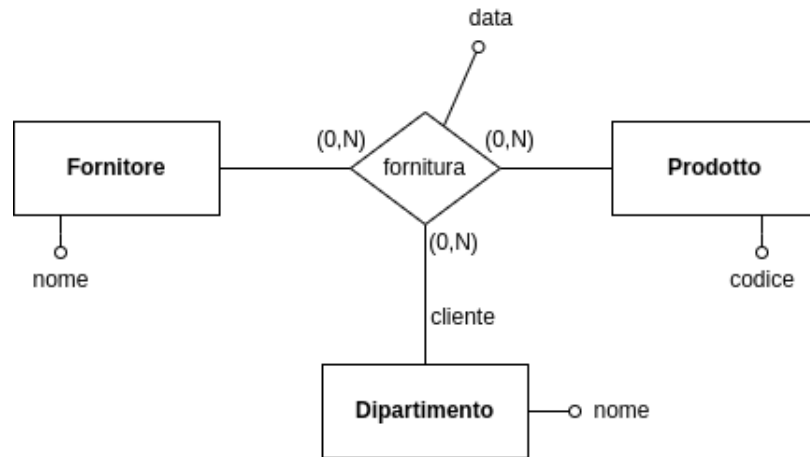
Una relationship può possedere degli **attributi**, ossia delle **proprietà locali**, i quali associano ad ogni istanza della relationship un valore in un certo dominio.

### Observation 4

Associare un attributo ad una relationship **non ne modifica la struttura**. Dunque, due istanze relative alle stesse istanze di due entity ma con valore diverso per un attributo non possono coesistere

### Esempi:

- Riprendiamo il precedente esempio inerente alle forniture effettuate ad un dipartimento, modificandolo al fine di creare uno storico delle forniture effettuate.
  - Come prima soluzione, aggiungiamo un attributo "data" alla relationship fornitura.



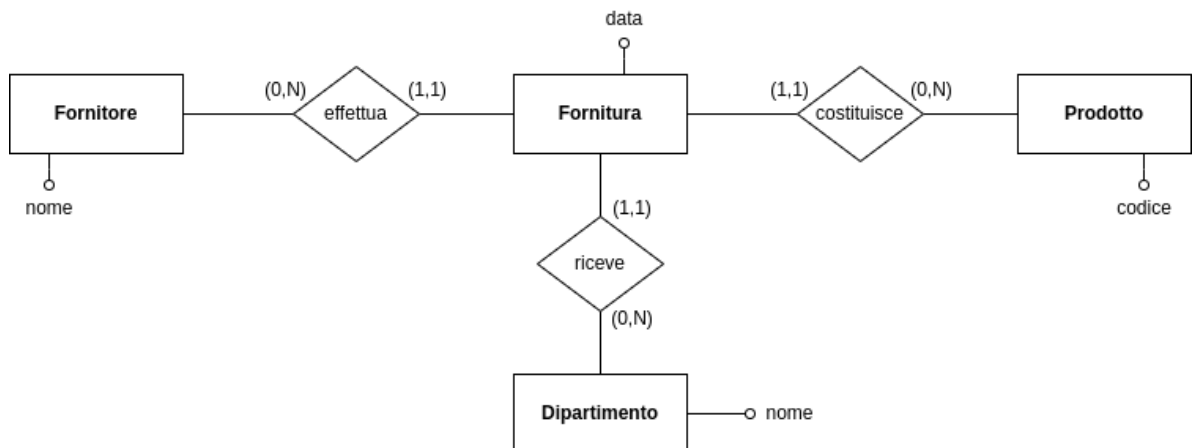
- Tuttavia, tale soluzione risulta essere **errata**: le tuple di tale relationship saranno comunque nella forma

Fornitore: f, cliente: d, Prodotto:p

e non

Fornitore: f, cliente: d, Prodotto:p, Data:data

- Di conseguenza, le triple (AziendaXYZ, Dip3, Cartone, 12/02/13) e (AziendaXYZ, Dip3, Cartone, 25/02/13) fanno riferimento alla stessa istanza, ossia l'istanza (AziendaXYZ, Dip3, Cartone), dunque **non possono coesistere**.
- Per realizzare lo storico delle forniture effettuate, dunque, è necessaria un'ulteriore entity Fornitura possedente un proprio attributo "data":



- Si vuole sviluppare un sistema informativo per la gestione dei dati sul personale di una certa azienda costituita da diversi dipartimenti. I dati di interesse per il sistema sono impiegati, dipartimenti, direttori dei dipartimenti e progetti aziendali.

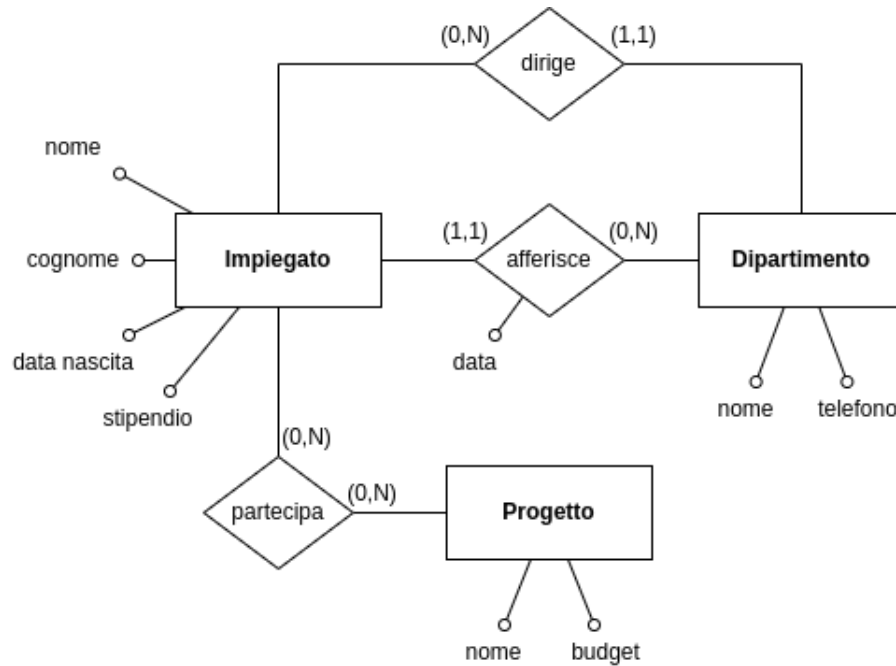
Di ogni impiegato interessa conoscere il nome, il cognome, la data di nascita e lo stipendio attuale, il dipartimento (esattamente uno) al quale afferisce.

Di ogni dipartimento interessa conoscere il nome, il numero di telefono del centralino, e la data di afferenza di ognuno degli impiegati che vi lavorano.

Di ogni dipartimento interessa conoscere inoltre il direttore, corrispondente ad uno degli impiegati dell'azienda.

Il sistema deve permettere di rappresentare i progetti aziendali nei quali sono coinvolti i diversi impiegati. Di ogni progetto interessa il nome ed il budget. Ogni impiegato può partecipare ad un numero qualsiasi di progetti.

- Il diagramma ER corrisponde a:



- Il dizionario dei dati corrisponde a:

Entity Impiegato		Entity Dipartimento		Entity Progetto	
Nome	Stringa	Nome	Stringa	Nome	Stringa
Cognome	Stringa	Telefono	Stringa	Budget	Reale > 0
Data Nascita	Data				
Stipendio	Reale > 0				

#### Rel. dirige

Impiegato (0,N) – (1,1) Dipartimento

#### Rel. afferisce

Impiegato (1,1) – (0,N) Dipartimento

Data Data

#### Rel. partecipa

Impiegato (0,N) – (0,N) Progetto



### 2.1.3 Ereditarietà e Generalizzazioni tra entity

#### Definition 11. Relazione is-a tra entity

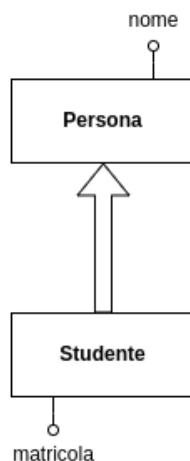
Definiamo come **relazione is-a tra due entity**  $E$  ed  $F$  una relazione indicante che  $F$  sia un'entity derivata da  $E$ , **ereditandone** tutte le istanze, estendendole con aggiuntivi attributi e relationship.

A livello estensionale, l'insieme delle istanze di  $F$  è un **sottoinsieme** dell'insieme delle istanze di  $E$ .

Inoltre, definiamo  $E$  come **entity base** e  $F$  come **entity derivata**

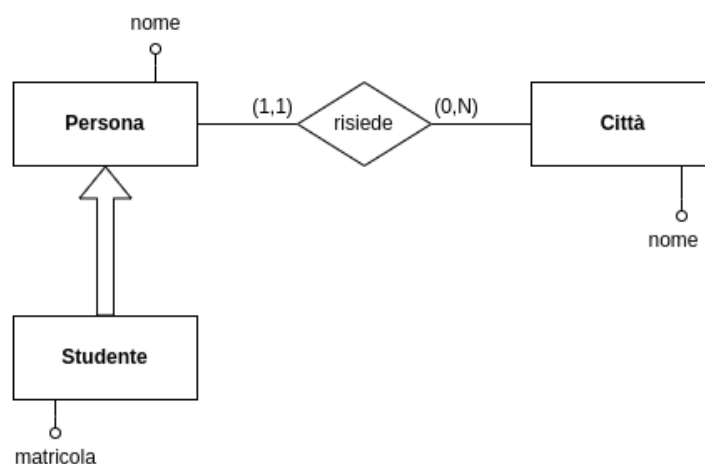
#### Esempio:

- Consideriamo il seguente diagramma ER:

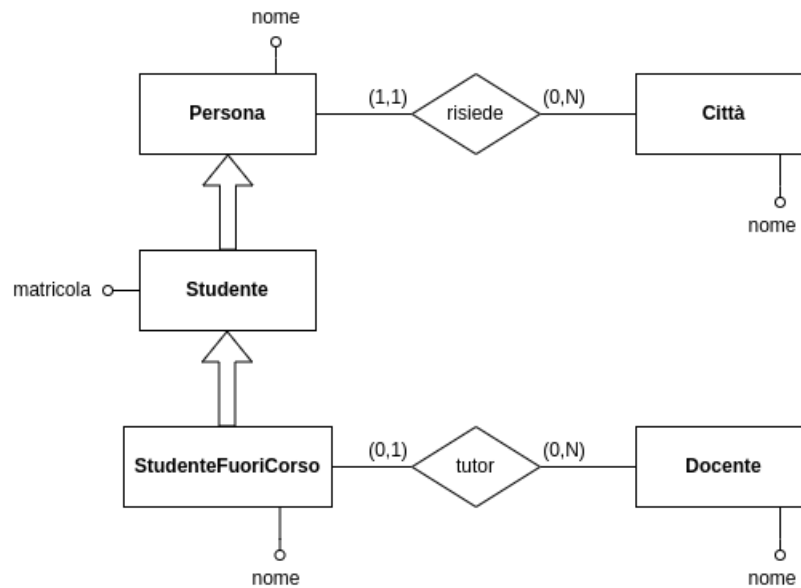


In tal caso, ogni istanza di *Studente* è anche un'istanza di *Persona*, dunque ogni studente possiede anche un nome, oltre alla matricola aggiuntiva. Ovviamente, il viceversa non vale, dunque una persona non è detto che sia uno studente.

- Nel caso in cui l'entity *Persona* sia in una relationship con un'altra entity, anche l'entity *Studente* sarà involta in tale relationship



- L'entity derivata **Studiante** può a sua volta essere base di altre entity. Inoltre, nel caso in cui le entity derivate da **Studiante** siano in una relationship con altre entity, l'entity **Studiante** **non** apparterrà a tale relationship



#### Observation 5. Derivazione multipla

Un'entity può essere **base per più entity derivate**, le quali possono avere istanze in comune

#### Esempio:

- Nel seguente diagramma ER, può esistere un'istanza di **Studiante** che è anche istanza di **Donna**



#### Observation 6. Ereditarietà singola

Un'entity non può essere derivata da **più di una entity base**

#### Esempio:

- Un'entity **StudianteLavoratore** non può essere derivata sia da un'entity **Studiante** sia da un'entity **Lavoratore**

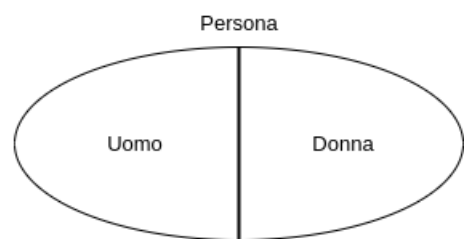
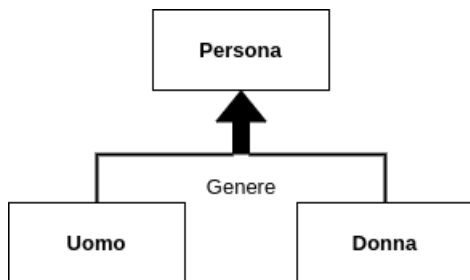
**Definition 12. Generalizzazione completa e non completa**

Definiamo come **generalizzazione** un particolare tipo di **relazione is-a** dove le entity derivate dalla base sono **disgiunte** tra loro.

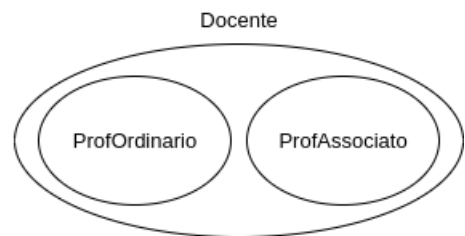
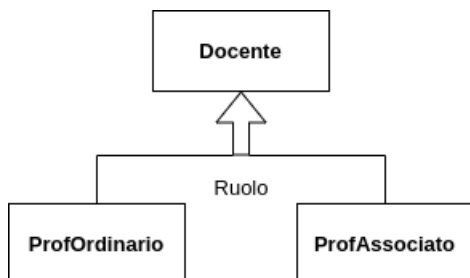
Una generalizzazione viene detta **completa** se su di essa vale il **vincolo di completezza**, ossia non possono esistere istanze dell'entity base non ricadenti in una delle entity derivate. In caso contrario, una generalizzazione viene detta **non completa**.

**Esempi:**

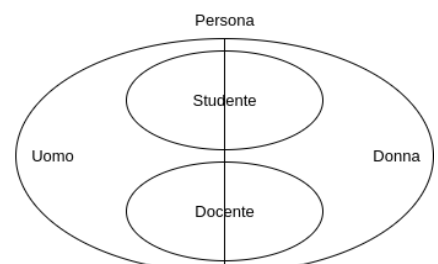
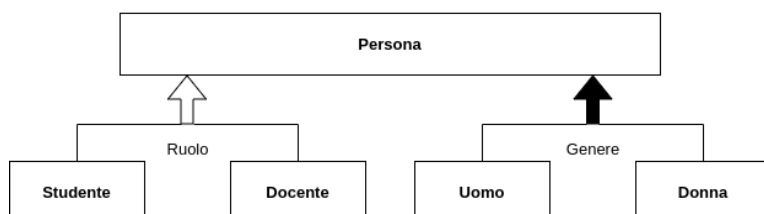
- Nel seguente diagramma ER, non può esistere un'istanza di Persona che non sia un'istanza di Uomo o un'istanza di Donna (generalizzazione completa)



- Nel seguente diagramma ER, può esistere un'istanza di Docente che non sia un'istanza di ProfOrdinario o un'istanza di ProfAssociato (generalizzazione non completa)



- Nel seguente diagramma ER, possono esistere:
  - Istanze di Persone Uomini oppure Donne
  - Istanze di Studenti Uomini oppure Donne
  - Istanze di Docenti Uomini oppure Donne



### 2.1.4 Ereditarietà tra relationship

#### Definition 13. Relazione is-a tra relationship

Definiamo come **relazione is-a tra due relationship**  $r$  ed  $q$  una relazione indicante che  $q$  sia una relationship derivata da  $r$ , **ereditandone** tutte leistanze, estendendole con aggiuntivi attributi e relationship.

A livello estensionale, l'insieme delle istanze di  $q$  è un **sottoinsieme** dell'insieme delle istanze di  $r$ .

Inoltre, definiamo  $r$  come **relationship base** e  $q$  come **relationship derivata**

#### Proposition 3. Condizioni necessarie per relazioni is-a tra relationship

Siano  $u$  e  $v$  i ruoli assunti dalle entity  $E_r^u$  ed  $E_r^v$  coinvolte nella relationship  $r$ .

Data una **relationship**  $q$  derivata da  $r$ , affinché tale relazione is-a possa esistere, è necessario che:

- Le relationship  $r$  e  $q$  abbiano la **stessa arità**
- Le entity  $E_q^u$  e  $E_q^v$  coinvolte nella relationship  $q$  assumano rispettivamente gli **stessi ruoli**  $u$  e  $r$
- $E_q^u$  deve essere un'**entity derivata** da  $E_r^u$  oppure  $E_q^u = E_r^u$
- $E_q^v$  deve essere un'**entity derivata** da  $E_r^v$  oppure  $E_q^v = E_r^v$
- Per le **molteplicità**  $(min_q^u, max_q^u)$  e  $(min_r^u, max_r^u)$  del ruolo  $u$  rispettivamente in  $q$  e in  $r$ , deve valere:

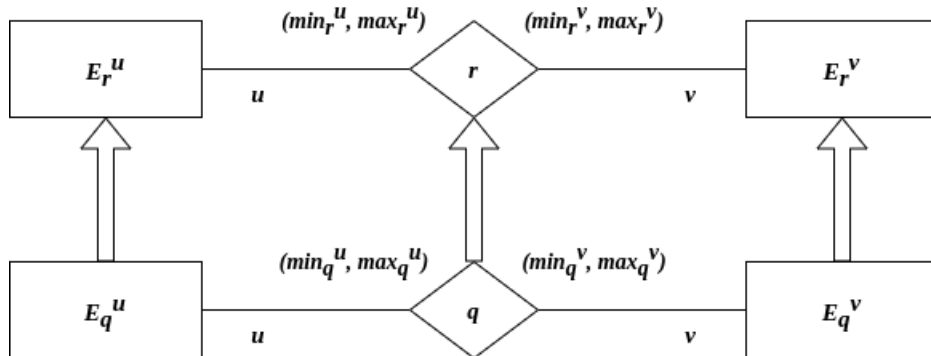
$$- max_q^u \leq max_r^u$$

$$- E_q^u = E_r^u \implies min_q^u \leq min_r^u$$

- Per le **molteplicità**  $(min_q^v, max_q^v)$  e  $(min_r^v, max_r^v)$  del ruolo  $v$  rispettivamente in  $q$  e in  $r$ , deve valere:

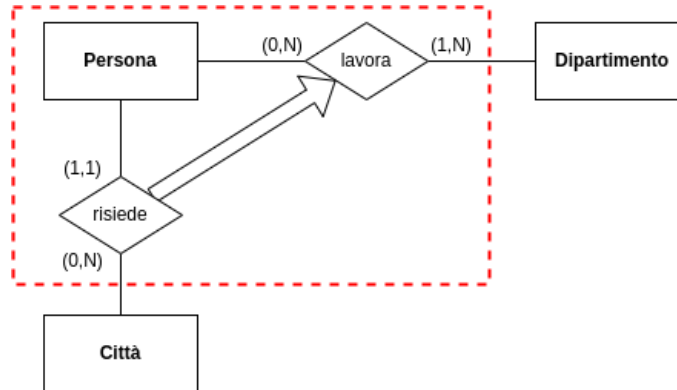
$$- max_q^v \leq max_r^v$$

$$- E_q^v = E_r^v \implies min_q^v \leq min_r^v$$

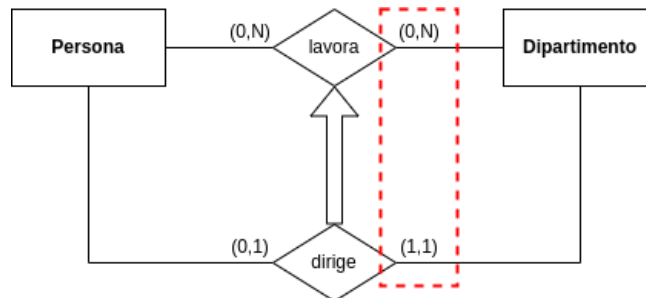


**Esempi:**

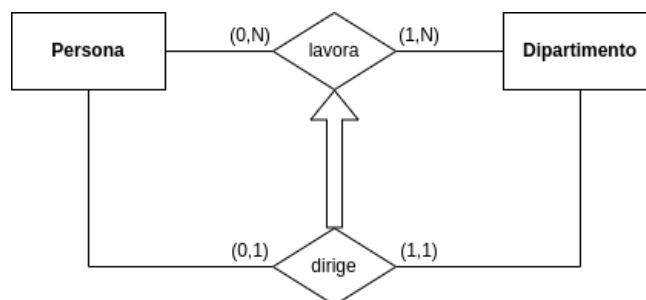
1. • Consideriamo il seguente diagramma ER. Notiamo facilmente come la realtà modellata violi le condizioni di esistenza della relazione is-a tra le relationship "risiede" e "lavora", poiché tali relationship sono chiaramente non dello stesso tipo, modellando una realtà non avente alcun senso logico.



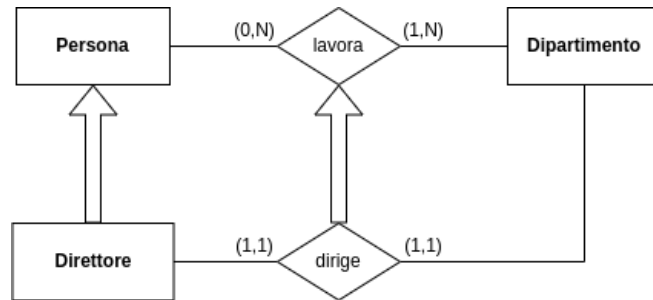
2. • Consideriamo il seguente diagramma ER. La realtà modellata è la seguente:
  - Ogni Persona può lavorare in nessuno o più dipartimenti
  - In ogni Dipartimento possono lavorare nessuna o più persone
  - Ogni Persona può dirigere nessuno o il dipartimento in cui lavora
  - Ogni Dipartimento deve essere diretto da una persona che vi lavora



- Sebbene la relazione is-a tra le relationship "dirige" e "lavora" rispetti le condizioni di esistenza, essa viola le condizioni di corretta modellazione: ogni Dipartimento deve avere un direttore che vi lavora, ma contemporaneamente in ogni Dipartimento potrebbe anche non lavorare alcuna persona.
- Restringendo il vincolo di molteplicità del ruolo dipartimento nella relationship "lavora", tale incongruenza logica viene risolta



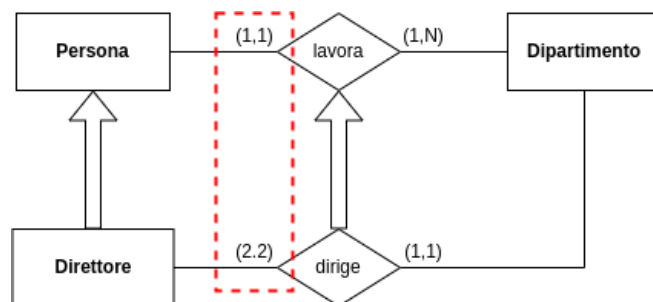
3. • Consideriamo il seguente diagramma ER. La realtà modellata è la seguente:
- Ogni Persona può lavorare in nessuno o più dipartimenti
  - In ogni Dipartimento possono lavorare una o più Persone
  - Ogni Direttore dirige il Dipartimento in cui lavora
  - Ogni Dipartimento è diretto da un Direttore che vi lavora



- A differenza dell'esempio precedente, in tal caso non vengono violate le condizioni di corretta modellazione, poiché le istanze dell'entity Direttore, nonostante esse siano un sottoinsieme delle istanze di Persona, esistono indipendentemente da quest'ultime.

Di conseguenza, non va a crearsi alcuna incongruenza logica: possono esistere delle istanze di Persona che non lavorano in alcun Dipartimento, ma ogni istanza di Direttore lavora nel dipartimento che dirige

4. • Consideriamo il seguente diagramma ER. La realtà modellata è la seguente:
- Ogni Persona lavora in un Dipartimento
  - In ogni Dipartimento lavorano una o più Persone
  - Ogni Dipartimento è diretto da un Direttore che vi lavora
  - Ogni Direttore dirige due Dipartimenti in cui lavora



- Anche in tal caso, è presente un'errore di pessima modellazione dovuto ad un'incongruenza logica: ogni Direttore deve dirigere due Dipartimenti in cui lavora, tuttavia, poiché ogni Direttore è anche una Persona, esso può lavorare massimo in un Dipartimento.

Di conseguenza, per via di tale problematica, non possono esistere istanze di Direttore fatta eccezione dell'istanza vuota

### 2.1.5 Vincoli di cardinalità, identificazione ed esterni

#### Definition 14. Vincolo di cardinalità su un attributo

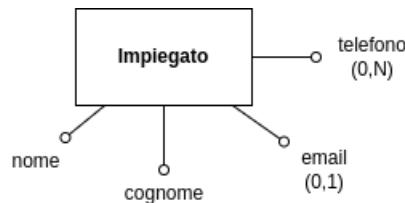
Definiamo come **vincolo di cardinalità su un attributo** un vincolo di integrità che esprime il **numero di valori** assunti dall'attributo designato di ogni istanza di un'entity.

Tali vincoli vengono rappresentati con delle **coppie di interi**, rappresentanti il limite minimo e massimo della cardinalità dell'attributo.

Se tale coppia non è indicata, viene assunto che range del vincolo sia  $(1, 1)$

#### Esempio:

- Nel seguente diagramma ER, ogni istanza dell'entity **Impiegato** può possedere nessuna o una sola email, nessun o più numeri di telefono e deve possedere obbligatoriamente un nome ed un cognome



#### Definition 15. Vincolo di identificazione

Definiamo come **vincolo di identificazione** un vincolo di integrità che definisce su un'entity un **identificatore**, ossia un insieme di attributi (di cardinalità  $(1, 1)$ ) e/o ruoli di relationship in cui tale entity è coinvolta (di molteplicità  $(1, 1)$ ) tale che non esistono due istanze dell'entity che coincidono in tutti i valori di tale insieme.

Tali vincoli vengono rappresentati da dei **pallini neri**

#### Observation 7

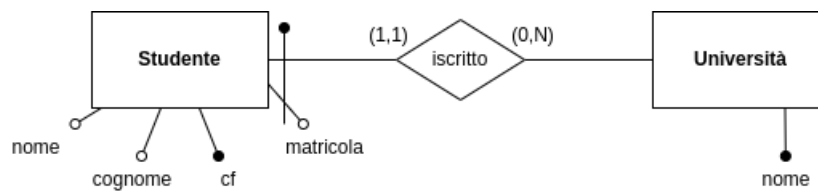
Gli identificatori utilizzati per un vincolo di identificazione devono essere **insiemi minimali di attributi**, ossia non deve poter esistere un sottoinsieme di attributi di tale identificatore che possa fungere a sua volta come identificatore

#### Esempi:

- Si vogliono rappresentare degli studenti, tenendo traccia di nome, cognome, matricola, codice fiscale e l'università di appartenenza, con il relativo nome dell'università.

In particolare, vogliamo che non esistano due studenti con lo stesso codice fiscale, non esistano due università con lo stesso nome e che non esistano due studenti aventi la stessa matricola frequentanti la stessa università

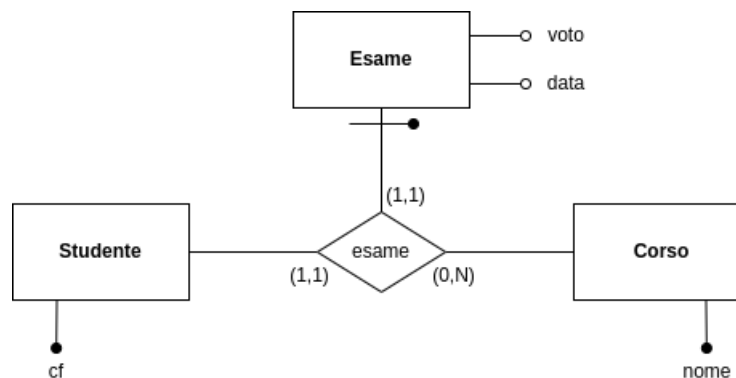
- Definiamo quindi tre identificatori:
  - Un identificatore {cf} sull'entity Studente
  - Un identificatore {nome} sull'entity Università
  - Un identificatore {matricola, studente}, dove matricola è un attributo dell'entity Studente e studente è il ruolo assunto da tale entity nella relationship "iscritto"
- Notiamo che, ad esempio, l'insieme {cf, nome, cognome} non è un identificatore minimale, poiché anche il sottoinsieme {cf} è in grado di identificare ogni istanza dell'entity Studente
- Il diagramma ER corrispondente sarà:



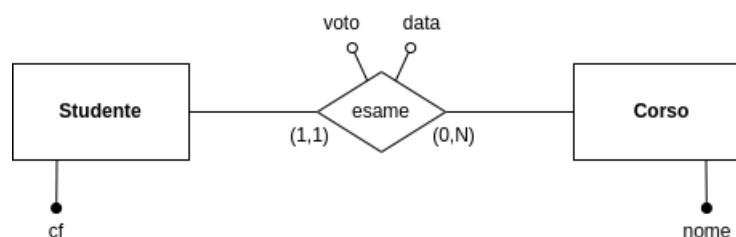
2. • Si vogliono rappresentare degli studenti (con relativo nome), dei corsi (con relativo nome) e gli esami sostenuti dagli studenti (con relativo voto e data)

In particolare, vogliamo che non esistano due studenti con lo stesso codice fiscale, non esistano due corsi con lo stesso nome e che ogni verbalizzazione sia relativa ad uno ed un solo esame

- Il diagramma ER corrispondente sarà:



- Notiamo che, a livello estenzionale, il diagramma sottostante sia esattamente coincidente al precedente. Tuttavia, rendendo esplicita l'entity **Esame** è possibile coinvolgere quest'ultima in ulteriori relationship (nel caso in cui vi fossero)





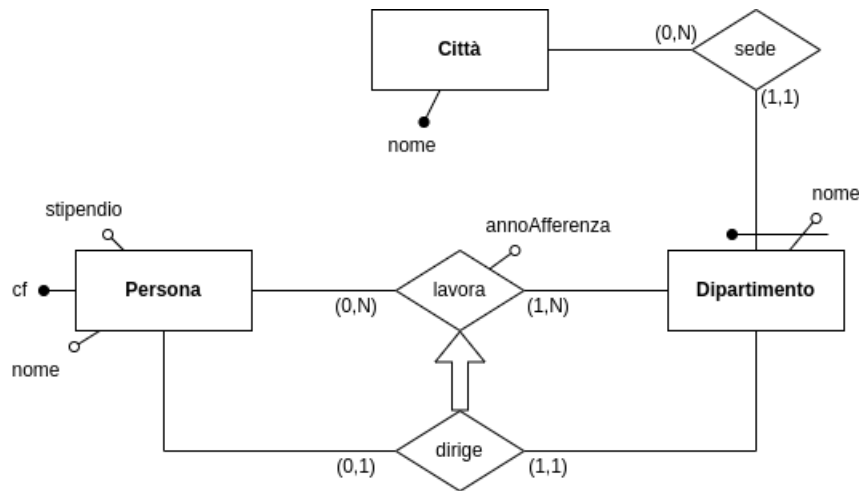
**Definition 16. Vincolo esterno**

Definiamo come **vincolo esterno** un vincolo di integrità inserito all'interno del dizionario dei dati e non rappresentabile attraverso il diagramma ER, imponendo ulteriori restrizioni ai livelli estensionali ammessi.

Ogni vincolo esterno è definito tramite un **identificatore univoco**, ossia un nome che lo rappresenti, ed un'**asserzione**, ossia la condizione imposta

**Esempio:**

- Consideriamo il seguente diagramma ER



- Alcuni vincoli esterni imponibili sono:
  - **V.dirige.afferenza**: Per ogni istanza ( $p$ : Persona,  $d$ : Dipartimento) della relationship "dirige", l'istanza ( $p$ : Persona,  $d$ : Dipartimento) deve avere un valore  $v$  per l'attributo annoAfferenza tale che  $v \leq \text{annoCorrente} - 5$ , dove annoCorrente denota l'istanza di tipo intero rappresentante l'anno corrente
  - **V.Persona.stipendio**: Per ogni istanza ( $dir$  : Persona,  $dip$  : Dipartimento) della relationship "dirige" e per ogni istanza ( $p$  : Persona,  $dip$  : Dipartimento) della relationship lavora relativa ad uno stesso dipartimento  $dip$ , dati:
    - \* I  $stip_{dir}$  il valore dell'attributo stipendio di  $dir$  e
    - \* I  $stip_p$  il valore dell'attributo stipendio di  $p$ .
 si deve avere  $stip_{dir} \geq stip_p$ .

**Observation 8**

Attualmente, i vincoli esterni risultano complessi da esprimere per via dell'utilizzo del linguaggio naturale.

In seguito, verrà utilizzata la **logica del primo ordine** per esprimere tali vincoli, eliminando le ambiguità e alleggerendo la sintassi.

## 2.2 Diagramma UML degli use-case

### Definition 17. Diagramma UML degli use-case

Il **diagramma UML degli use-case** rappresenta i vari **use-case** (o scenari di utilizzo) del sistema che si vuole modellare, dove ogni **use-case** racchiudente al suo interno un insieme omogeneo di **funzionalità** accedute ed accedibili da un gruppo omogeneo di **utenti** del sistema.

Ogni use-case viene rappresentato da un **nodo con titolo associato**.

### Definition 18. Attore

Definiamo come **attore** il **ruolo assunto da un utente** (il quale può essere sia umano sia un sistema esterno) all'interno del sistema che si vuole modellare.

In particolare, **ogni utente** può essere rappresentato da **più attori** e **più utenti** possono essere rappresentati dallo **stesso attore**.

All'interno del diagramma UML degli use-case, ogni attore viene rappresentato da un **omino con nome associato**.

### Definition 19. Associazione

All'interno del diagramma UML degli use-case, ogni attore del sistema viene **associato** ad uno use-case tramite un arco che li collega, modellando la **possibilità di accesso** da parte di tale attore alle **funzionalità** racchiuse in tale use-case.

Il nome di ogni associazione è, a meno di ambiguità, omissibile.

Esempio:



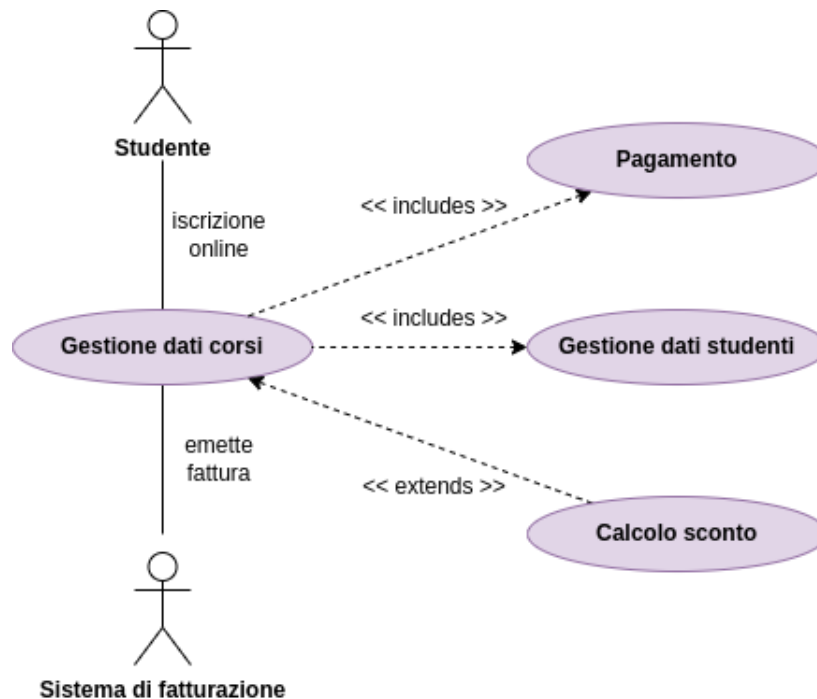
### Definition 20. Inclusione ed Estensione

All'interno del diagramma UML degli use-case, ogni use-case del sistema può:

- **Includere** un altro use-case, modellando la **necessità** di tale use-case di usufruire di alcune di funzionalità presenti in tale use-case.
- **Estendere** un altro use-case, modellando la **possibilità** di concedere a quest'ultimo l'accesso ad alcune funzionalità racchiuse in tale use-case solo nel caso in cui si verifichino condizioni particolari.

**Esempio:**

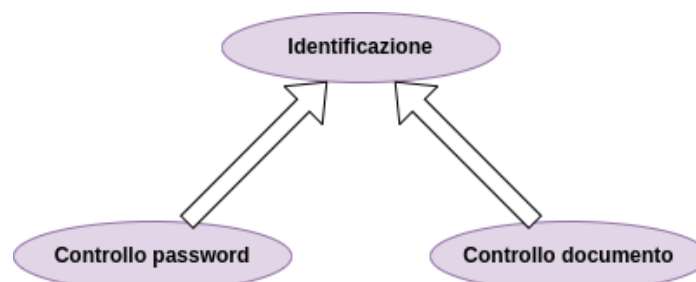
- Nel seguente diagramma degli use-case, si ha che:
  - La gestione dei dati corsi include il pagamento e la gestione dei dati degli studenti
  - Il calcolo di uno sconto estende, in alcuni casi, la gestione dei corsi

**Definition 21. Generalizzazione tra use-case**

Definiamo come **generalizzazione tra due use-case** una relazione indicante che uno use-case sia un **caso particolare di un altro use-case**, ereditandone tutte le funzionalità ed estendendole con aggiuntive o modificando il comportamento di quelle ereditate. In particolare, tale relazione indica che uno use-case possa, in alcuni casi, **sostituire** lo use-case da cui eredita le funzionalità.

**Esempio:**

- Il comune processo di identificazione di un individuo può, a seconda dei casi, essere sostituito sia dal controllo di una password o di un documento

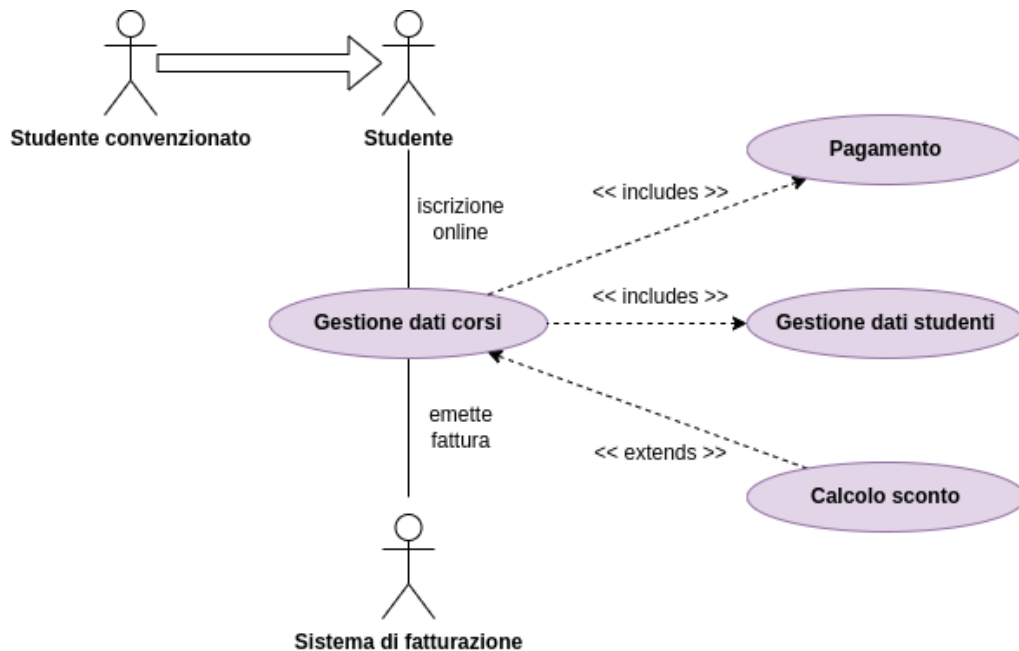


**Definition 22. Generalizzazione tra attori**

Definiamo come **generalizzazione tra due attori** una relazione indicante che un attore sia un **caso particolare di un altro attore**, **condividendone** tutti gli use-case associati a quest'ultimo, estenendoli con aggiuntivi.

**Esempio:**

- Riprendendo l'esempio precedente, uno **Studente Convenzionato** è un caso particolare dell'attore **Studente**, poiché esso è coinvolto negli stessi use-case di quest'ultimo

**2.2.1 Specifiche degli use-case****Definition 23. Specifiche di uno use-case**

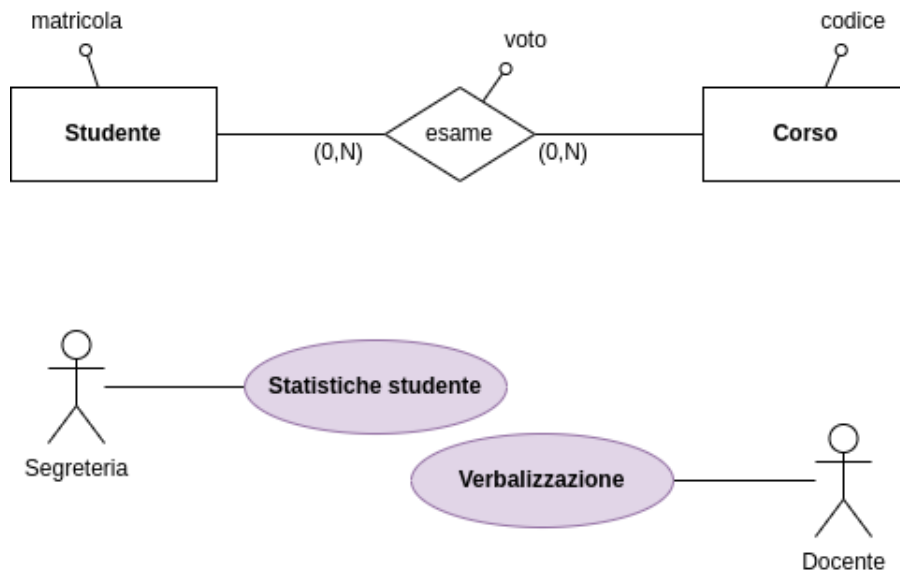
Dato uno use case, definiamo come **specifiche di uno use-case** un insieme di descrizioni di tutte le operazioni coinvolte in tale use-case.

Ogni descrizione di una operazione è composta da:

- Una **segnatura**, composta dal **nome** dell'operazione, un insieme di **argomenti**, il **dominio** di essi e del **valore di ritorno** dall'operazione (se esistente)
- Una serie di **precondizioni**, ossia le condizioni sugli argomenti e sul livello estensionale del sistema che devono valere all'avvio dell'esecuzione dell'operazione, affinché il suo comportamento sia definito
- Una serie di **postcondizioni**, ossia le condizioni sul livello estensionale del sistema che devono valere al termine dell'esecuzione dell'operazione e definizione dell'eventuale valore di ritorno

**Esempio:**

- Consideriamo il seguente diagramma ER e il seguente diagramma degli use-case



- Definiamo quindi le seguenti specifiche degli use-case:

**Statistiche studente:**

`mediaVoti(s: Studente): Reale [18, 31]`

Pre-condizione: l'istanza *s* è coinvolta in almeno un'istanza della relationship *esame*

Post-condizione: *result* è la somma dei valori dell'attributo *voto* di tutte le istanze di relationship *esame* definite nel livello estensionale nelle quali l'istanza *s* è coinvolta, diviso per il numero di tali istanze

`numMedioEsami(): Reale >= 0`

Pre-condizione: il livello estensionale dei dati definisce almeno una istanza di entity *Studente*

Post-condizione: *result* è pari al numero di istanze di relationship *esame* definite nel livello estensionale diviso per il numero di istanze di entity *Studente*

end

**Verbalizzazione:**

`verbalizzaEsame(s: Studente, c: Corso, v: [18, 31]):`

Pre-condizione: l'istanza *s* non è coinvolta in alcuna istanza della relationship *esame* con l'istanza *c*

Post-condizione: viene creata l'istanza (*s*: *Studente*, *c*: *Corso*) della relationship *esame* con valore *v* per l'attributo *voto*

end

## 2.3 Logica del primo ordine

### Definition 24. Logica del primo ordine

La **logica del primo ordine** (**first order logic - FOL**) è un linguaggio formale utilizzato per rappresentare informazioni e derivare conseguenze da esse.

In particolare, la FOL è definita da:

- **Sintassi**, ossia l'insieme delle sequenze finite di simboli ammesse dal linguaggio, dette **formule**, definendo la struttura di esse, dove ogni simbolo appartiene ad un insieme prefissato, detto **alfabeto**
- **Semantica**, ossia il significato assunto da ogni formula, in particolare la sua verità nei diversi mondi possibili

### 2.3.1 Sintassi

#### Proposition 4. Alfabeto della FOL

L'alfabeto utilizzato nella logica del primo ordine è costituito da:

- Un insieme  $\mathcal{V}$  di **variabili**
- Un insieme  $\mathcal{F}$  di **simboli di funzione**, ognuno dei quali ha associata la sua **arità**, ossia il numero di argomenti
- Un insieme  $\mathcal{P}$  di **simboli di predicato** (o **relazioni**), ognuno dei quali ha associata la sua **arità**, ossia il numero di argomenti.
- I **connettivi logici**  $\neg, \vee, \wedge, \rightarrow, \leftrightarrow$
- Il **quantificatore universale**  $\forall$  e il **quantificatore esistenziale**  $\exists$
- I simboli speciali di **parentesi**, ossia "(" e ")", e di **virgola**, ossia ",", "

#### Observation 9

Per convenzione, assumeremo che:

- Il **simbolo di funzione**  $f$  e la sua arità  $k$  viene rappresentato in  $\mathcal{F}$  con la notazione  $f/k$
- Il **simbolo di predicato**  $p$  e la sua arità  $h$  viene rappresentato in  $\mathcal{P}$  con la notazione  $p/h$
- I simboli di funzione di arità 0 vengono detti anche **simboli di costante**
- Il predicato  $=/2$  sia **sempre presente** in  $\mathcal{P}$

**Esempi:**

- Un esempio di insieme di simboli di funzione corrisponde a

$$\mathcal{F} = \{\text{zero}/0, \text{succ}/1, \text{socrate}/0, \text{padre}/1\}$$

dove:

- $\text{zero}/0$  è un simbolo di costante rappresentante il numero naturale 0
- $\text{succ}(X)$  rappresenta il numero naturale  $X + 1$
- $\text{socrate}/0$  è un simbolo di costante rappresentante l'individuo Socrate
- $\text{padre}(X)$  rappresenta il padre dell'individuo  $X$

- Un esempio di insieme di simboli di predicato corrisponde a:

$$\mathcal{P} = \{\text{doppio}/2, \text{somma}/3, \text{uomo}/1, \text{mortale}/1\}$$

dove:

- $\text{doppio}(X, Y)$  indica che il numero naturale  $Y$  è il doppio del numero naturale  $X$
- $\text{somma}(X, Y, Z)$  indica che  $X + Y = Z$
- $\text{uomo}(X)$  indica che l'individuo  $X$  è un uomo
- $\text{mortale}(X)$  indica che l'individuo  $X$  è un mortale

**Definition 25. Linguaggio dei termini**

L'insieme dei termini  $\mathcal{T}$  è definito induttivamente come:

- Ogni **variabile** in  $\mathcal{V}$  è un termine
- Ogni **simbolo di costante** in  $\mathcal{F}$  è un termine
- Se  $f/k \in \mathcal{F}$ , dove  $k > 0$ , e  $t_1, \dots, t_k \in \mathcal{T}$ , allora  $f(t_1, \dots, t_k) \in \mathcal{T}$

**Attenzione:** ogni termine denota un *oggetto di interesse* del mondo che si sta modellando. Tuttavia, *quale* oggetto di interesse sia denotato non è stabilito dalla sintassi, bensì dalla semantica.

**Esempi:**

- Dato  $\mathcal{V} = \{X, \text{MiaVariabile}\}$  e dato  $\mathcal{F} = \{\text{zero}/0, \text{succ}/1, \text{socrate}/0, \text{padre}/1\}$ , le seguenti sequenze di simboli sono termini:
  - zero
  - MiaVariabile
  - $\text{succ}(\text{zero})$
  - $\text{padre}(\text{padre}(\text{socrate}))$
  - $\text{padre}(\text{succ}(X))$
  - $\text{succ}(\text{succ}(\text{zero}))$

**Definition 26. Linguaggio delle formule**

Una **formula** è definita induttivamente come:

- Se  $p/k \in \mathcal{P}$  e  $t_1, \dots, t_k \in \mathcal{T}$ , allora  $p(t_1, \dots, t_k)$  è una formula
- Se  $\phi, \psi$  sono formule, allora
  - $(\phi)$  e  $\neg\phi$
  - $\phi \vee \psi$  e  $\phi \wedge \psi$
  - $\phi \rightarrow \psi$  e  $\phi \leftrightarrow \psi$
 sono formule
- Se  $\phi$  è una formula e  $X \in \mathcal{V}$ , allora  $\forall X\phi$  e  $\exists X\phi$  sono formule

**Observation 10**

Per convenzione, assumeremo che  $X = Y$  rappresenti la formula  $= (X, Y)$  e che  $X \neq Y$  rappresenti la formula  $\neg(= (X, Y))$

**Observation 11**

Alcune formule possono essere ben definite ma avere un significato logico completamente errato, il quale dipende dalla **semantica** della formula, non dalla sua sintassi

**Esempi:**

- Dati:
  - $\mathcal{F} = \{\text{zero}/0, \text{succ}/1, \text{socrate}/0, \text{padre}/1\}$
  - $\mathcal{P} = \{\text{doppio}/2, \text{somma}/3, \text{uomo}/1, \text{mortale}/1\}$
- le seguenti sequenze di simboli sono formule:
  - $\text{doppio}(\text{succ}(\text{succ}(\text{zero})), X)$
  - $\forall X \text{doppio}(\text{succ}(\text{succ}(\text{zero})), X)$
  - $\text{somma}(\text{succ}(\text{zero}), \text{zero}, \text{succ}(\text{zero}))$
  - $\forall X \forall Y \text{somma}(X, X, Y) \rightarrow \text{doppio}(X, Y)$
  - $(\forall X \exists Y \text{doppio}(X, Y)) \wedge (\forall I \forall J \exists K \text{somma}(I, J, K))$
  - $\text{mortale}(\text{socrate}) \wedge \text{mortale}(\text{padre}(\text{socrate}))$
  - $(\forall X \text{uomo}(X) \rightarrow \text{mortale}(X)) \wedge \text{uomo}(\text{socrate})$
  - $\forall X \text{uomo}(X) \rightarrow \text{uomo}(\text{padre}(X))$
  - $\forall X \text{uomo}(\text{socrate})$
  - $X = \text{socrate}$



### 2.3.2 Semantica

#### Definition 27. Semantica della logica proposizionale

Data una formula  $\varphi$ , nella **logica proposizionale** (dunque non del primo ordine), definiamo come:

- **Lettere proposizionali** l'insieme di **formule atomiche** che compongono  $\varphi$ , ossia le sottoformule prive di connettivi logici
- **Interpretazione** una funzione  $I$  che assegna un **valore di verità** ad ogni lettera proposizionale di  $\varphi$
- **Funzione di valutazione** una funzione che calcola il valore di verità della formula  $\varphi$  ricorsivamente tramite il valore di verità delle sottoformule  $\varphi_1, \dots, \varphi_n$  rispetto ad un'interpretazione  $I$ .

Se la formula  $\varphi$  è **vera** nell'interpretazione  $I$ , allora  $I$  è un **modello** di  $\varphi$ , indicato come  $I \models \varphi$ .

#### Definition 28. Soddisfacibilità, validità e insoddisfacibilità

Data una formula  $\varphi$ , nella **logica proposizionale** (dunque non del primo ordine), tale formula viene detta:

- **Soddisfacibile** se esiste un'interpretazione  $I$  tale che  $I \models \varphi$
- **Valida** se per ogni un'interpretazione  $I$  tale che  $I \models \varphi$
- **Insoddisfacibile** non esiste un'interpretazione  $I$  tale che  $I \models \varphi$

#### Esempio:

- Consideriamo la seguente formula  $\varphi : a \wedge (b \vee c)$ , dove lettere proposizionali di  $\varphi$  corrispondono a  $\{a, b, c\}$
- Data l'interpretazione  $I : I(a) = \text{true}, I(b) = \text{true}, I(c) = \text{false}$ , si ha che:
  - La formula atomica  $b$  è vera
  - La formula atomica  $c$  è vera
  - La sottoformula  $(b \vee c)$  è vera, per semantica del connettivo  $\vee$
  - La formula atomica  $a$  è vera
  - La formula  $a \wedge (b \vee c)$  è vera, per semantica del connettivo  $\wedge$
 dunque, ne segue che  $I \models \varphi$ , implicando che  $\varphi$  sia soddisfacibile

**Proposition 5. Semantica nella FOL**

Data una formula  $\varphi$ , nella **logica del primo ordine** viene:

1. Definita la nozione di **interpretazione** valutando le formule atomiche che costituiscono  $\varphi$
2. Definita la modalità di valutazione di  $\varphi$  **in base** ad una determinata interpretazione  $I$
3. Si stabilisce il significato di ogni formula **senza riferimento** ad una determinata interpretazione

A tal scopo, vengono evidenziati due nozioni di valutazione:

- **Valutazione dei termini**, ossia la valutazione dei termini atomici, composta da una **pre-interpretazione** ed un **assegnamento delle variabili**, e la valutazione dei termini complessi
- **Valutazione delle formule**, ossia la valutazione delle formule atomiche, in base ad un'interpretazione, e la valutazione della formula nel suo totale

**Definition 29. Pre-interpretazione**

Sia  $\mathcal{F}$  un insieme di simboli di funzione. Una **pre-interpretazione**  $\text{preI}$  per  $\mathcal{F}$  è costituita da:

- Un insieme  $\mathcal{D}$  non vuoto finito o non finito detto **dominio di interpretazione**
- Una corrispondenza che associa ad ogni  $f/k \in \mathcal{F}$  una **funzione totale**, intesa nel senso matematico, del tipo  $\mathcal{D}^k \rightarrow \mathcal{D}$ , indicato come  $\text{preI}(f)$ .

In particolare, se  $k = 0$ , dunque se  $f$  è un simbolo di costante, tale funzione associa a  $f/0$  un elemento di  $\mathcal{D}$

**Esempio:**

- Dato  $\mathcal{F} = \{\text{zero}/0, \text{succ}/1\}$ , definiamo la pre-interpretazione  $\text{preNAT}$  per  $\mathcal{F}$  come:
  - $\mathcal{D} = \mathbb{N}$
  - $\text{preNAT}(\text{zero}) = 0 \in \mathcal{D}$
  - $\text{preNAT}(\text{succ})$  è la funzione  $\mathcal{D}^1 \rightarrow \mathcal{D}$  definita come:
    - \*  $\text{preNAT}(\text{succ})(0) = 1$
    - \*  $\text{preNAT}(\text{succ})(1) = 2$
    - \*  $\text{preNAT}(\text{succ})(2) = 3$
    - \* ...

**Definition 30. Assegnamento delle variabili**

Sia  $\mathcal{V}$  un insieme di variabili e sia  $\text{preI}$  una pre-interpretazione con dominio  $\mathcal{D}$ . Un **assegnamento delle variabili**  $\mathcal{V}$  per  $\text{preI}$  è una funzione  $\mathcal{V} \rightarrow \mathcal{D}$  che assegna ad ogni variabile in  $\mathcal{V}$  un elemento di  $\mathcal{D}$

**Esempio:**

- Dato  $\mathcal{V} = \{X, Y, Z\}$  e data la pre-interpretazione  $\text{preNAT}$  vista nell'esempio precedente dove  $\mathcal{D} = \mathbb{N}$ , la funzione  $W : \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{D}$  tale che

$$- W(X) = 3$$

$$- W(Y) = 6$$

$$- W(Z) = 4$$

è un assegnamento delle variabili  $\mathcal{V}$  per  $\text{preNAT}$

**Definition 31. Valutazione dei termini**

Dati gli insiemi  $\mathcal{V}, \mathcal{F}$ , sia  $\mathcal{T}$  l'insieme di **tutti i termini generabili** tramite  $\mathcal{V}$  e  $\mathcal{F}$ .

Data una **pre-interpretazione**  $\text{preI}$  su un dominio  $\mathcal{D}$  e un **assegnamento di variabili**  $S$  per  $\text{preI}$ , la funzione

$$\text{pre-eval}^{\text{preI}, S} : \mathcal{T} \rightarrow \mathcal{D}$$

è definita induttivamente come:

- **Caso base (termini atomici):**

$$- \text{Se } X \in \mathcal{V}, \text{ allora } \text{pre-eval}^{\text{preI}, S}(X) = S(X)$$

$$- \text{Se } c/0 \in \mathcal{F}, \text{ allora } \text{pre-eval}^{\text{preI}, S}(c) = \text{preNAT}(c)$$

- **Caso induttivo (termini complessi):**

$$- \text{Se } f/k \in \mathcal{F}, \text{ dove } k > 0, \text{ e } t_1, \dots, t_k \text{ sono termini, allora}$$

$$\text{pre-eval}^{\text{preI}, S}(f(t_1, \dots, t_k)) = \text{preI}(f)(\text{pre-eval}^{\text{preI}, S}(t_1), \dots, \text{pre-eval}^{\text{preI}, S}(t_k))$$

**Esempio:**

- Riprendiamo l'interpretazione  $\text{preNAT}$  e l'assegnamento  $W$  dell'esempio precedente
- L'insieme  $\mathcal{T}$  dei termini generabili da  $\mathcal{V}$  e  $\mathcal{F}$  corrisponde a:

$$\begin{aligned} \mathcal{T} = \{ & \text{zero}, X, Y, Z, \text{succ}(\text{zero}), \text{succ}(X), \text{succ}(Y), \text{succ}(Z), \text{succ}(\text{succ}(\text{zero})), \\ & \text{succ}(\text{succ}(X)), \text{succ}(\text{succ}(Y)), \text{succ}(\text{succ}(Z)), \text{succ}(\text{succ}(\text{succ}(\text{zero}))), \\ & \text{succ}(\text{succ}(\text{succ}(X))), \text{succ}(\text{succ}(\text{succ}(Y))), \text{succ}(\text{succ}(\text{succ}(Z))), \dots \} \end{aligned}$$

- Poiché  $\text{zero}/0 \in \mathcal{F}$ , ne segue che:

$$\text{pre-eval}^{\text{preNAT}, W}(\text{zero}) = \text{preNAT}(\text{zero}) = 0$$

- Poiché  $\text{succ}/1 \in \mathcal{F}$  e poiché  $W(X) = 3$ , ne segue che:

$$\begin{aligned}\text{pre-eval}^{\text{preNAT}, W}(\text{succ}(\text{succ}(X))) &= \text{preNAT}(\text{succ})(\text{pre-eval}^{\text{preNAT}, W}(\text{succ}(X))) = \\ &= \text{preNAT}(\text{succ})(\text{preNAT}(\text{succ})(\text{pre-eval}^{\text{preNAT}, W}(X))) = \\ &= \text{preNAT}(\text{succ})(\text{preNAT}(\text{succ})(W(X))) = \\ &= \text{preNAT}(\text{succ})(\text{preNAT}(\text{succ})(3)) = \text{preNAT}(\text{succ})(4) = 5\end{aligned}$$

# Capitolo 3

## Progetti svolti

### *Disclaimer:*

Ogni progetto inserito nel seguente capitolo è svolto in modo **non** dettagliato e raffinato. Per tanto, vengono inseriti solo a fine di condivisione e di esempio pratico dei concetti teorici previsti dai capitoli precedenti. In caso di incorrettezze gravi rilevate in seguito, saranno soggetti a future modifiche e/o perfezionamenti.

## 3.1 Università

### 3.1.1 Specifica dei requisiti

I dati di interesse per il sistema sono studenti, facoltà, professori e corsi.

Di ogni studente interessa conoscere il nome, il codice fiscale, il numero di matricola, la data di nascita, il luogo di nascita (città e regione), la facoltà in cui è iscritto (con l'anno di iscrizione), e i corsi superati. Dei professori interessa il nome, la data di nascita, il codice fiscale, il luogo di nascita e il corso insegnato. Delle facoltà interessa il nome ed il tipo (scientifica, letteraria, etc.) Dei corsi interessa il codice, il nome, il numero di ore di lezione, e la facoltà a cui appartiene.

Il sistema è utilizzato da professori e da varie categorie di personale di segreteria. In particolare, il sistema deve permettere ai professori di verbalizzare gli esami superati dagli studenti relativi ai corsi di cui sono titolari. Ogni verbale andrà corredato con data e voto in trentesimi (con possibile lode).

I professori responsabili dei percorsi formativi devono poter consultare la carriera di ogni dato studente, ovvero la lista dei corsi da questi superati con relativi voto e data. Il personale della segreteria didattica deve invece poter creare nuovi corsi, incaricare i professori ad insegnare corsi, mentre la segreteria amministrativa deve poter iscrivere gli studenti e registrare i docenti assunti.

I responsabili della segreteria amministrativa devono poter usare il sistema per calcolare le seguenti statistiche: il numero di corsi previsti per ognuna delle diverse facoltà; il numero medio di esami superati dagli studenti per ognuna delle diverse facoltà; l'età media degli studenti iscritti in una data facoltà; la regione di nascita del maggior numero di studenti iscritti in un dato anno accademico.

### 3.1.2 Raffinamento dei requisiti

#### 1. Studenti

- (a) nome
- (b) cognome
- (c) codice fiscale
- (d) matricola
- (e) data di nascita
- (f) luogo di nascita (città e regione)
- (g) facoltà (con anno iscrizione)
- (h) corsi superati

#### 2. Facoltà

- (a) nome
- (b) tipologia

**3. Professori**

- (a) nome
- (b) data di nascita
- (c) codice fiscale
- (d) luogo di nascita
- (e) corso insegnato

**4. Corsi**

- (a) codice
- (b) nome
- (c) ore di lezione
- (d) facoltà

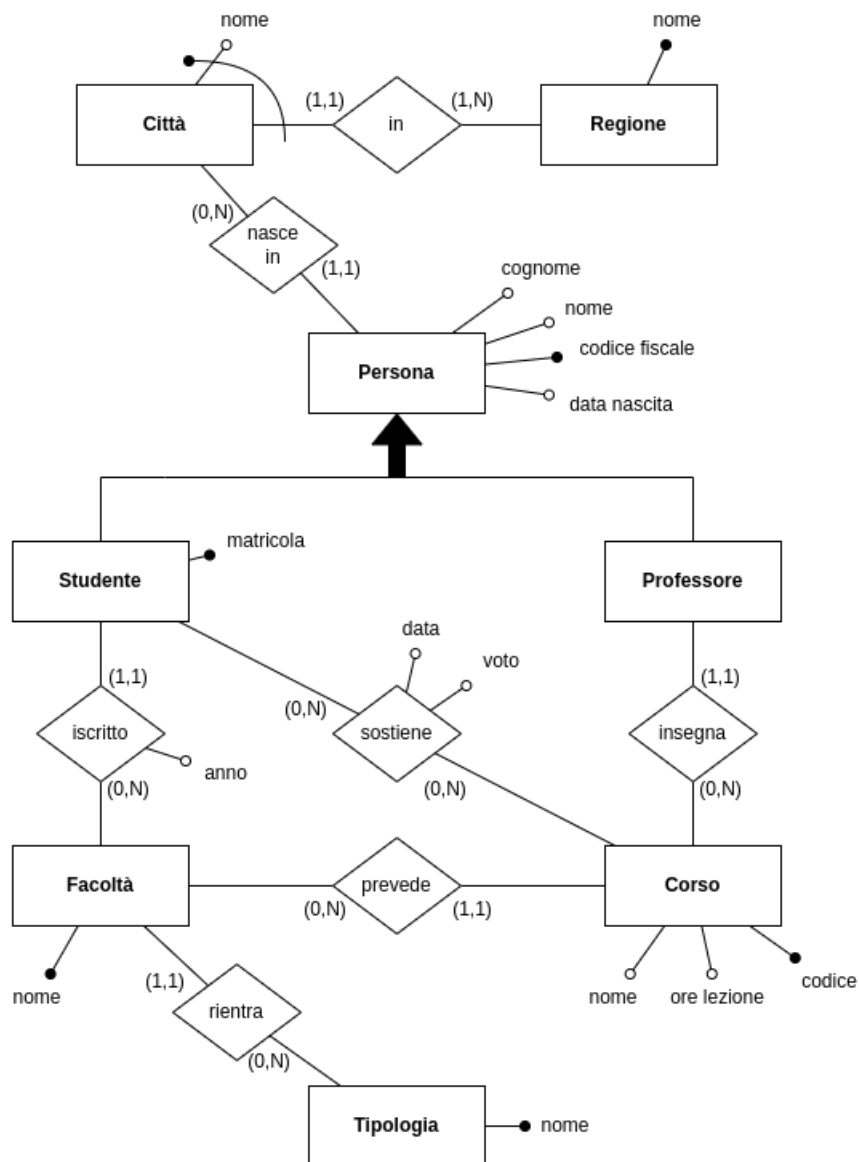
**5. Verballi**

- (a) data
- (b) voto in trentesimi (+ lode)
- (c) studente sostenitore
- (d) docente verbalizzante
- (e) corso relativo

**6. Funzionalità del sistema**

- (a) I professori titolari devono poter:
  - i. verbalizzare gli esami superati dagli studenti
- (b) I professori responsabili del piano formativo devono poter:
  - i. consultare la carriera di uno studente (lista corsi superati con voti e date)
- (c) La segreteria didattica deve poter:
  - i. creare nuovi corsi
  - ii. assegnare un professore ad un corso
- (d) La segreteria amministrativa deve poter:
  - i. registrare studenti e docenti assunti
- (e) I responsabili della segreteria amministrativa devono poter:
  - i. calcolare il numero di corsi previsti per ognuna delle facoltà
  - ii. calcolare il numero medio di esami superati e l'età media degli studenti di una data facoltà
  - iii. calcolare la regione di nascita del maggior numero di studenti iscritti in un dato anno accademico

### 3.1.3 Diagramma ER



### 3.1.4 Specifiche dei dati

#### Entity Persona

Attributi	Dominio	Molteplicità
Codice Fiscale	Stringa	
Nome	Stringa	
Cognome	Stringa	
Data nascita	Data	

#### Entity Regione

Attributi	Dominio	Molteplicità
Nome	Stringa	



**Entity Città**

Attributi	Dominio	Molteplicità
Nome	Stringa	

**Entity Studente**

Attributi	Dominio	Molteplicità
Matricola	Intero $> 0$	

**Entity Facoltà**

Attributi	Dominio	Molteplicità
Nome	Stringa	

**Entity Corso**

Attributi	Dominio	Molteplicità
Codice	Intero $> 0$	
Nome	Stringa	
Ore lezione	Intero $> 0$	

**Entity Tipologia**

Attributi	Dominio	Molteplicità
Nome	Stringa	

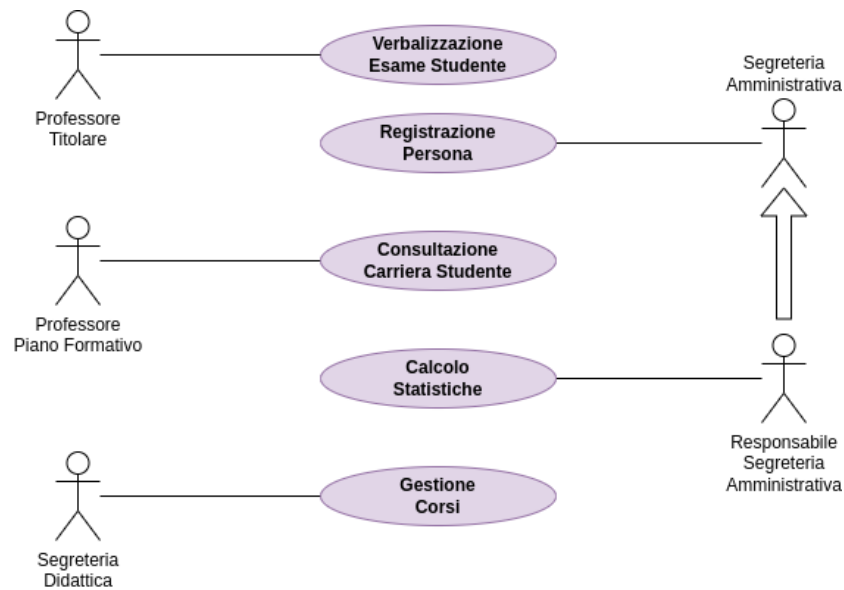
**Relationship sostiene**

Attributi	Dominio	Molteplicità	Descrizione
Data	Data		La data in cui è stato sostenuto l'esame
Voto	Intero $18 \leq x \leq 31$		La votazione ricevuta (31 se con lode)

**Relationship iscritto**

Attributi	Dominio	Molteplicità	Descrizione
Anno	Intero $> 0$		L'anno d'iscrizione dello studente

### 3.1.5 Diagramma degli use-case



### 3.1.6 Specifiche (informali) degli use-case

#### Verbalizzazione Esame Studente

`verbalizzazioneEsame(s: Studente, c: Corso, data: Data, voto: Intero [18, 31]):`

Pre-condizione: il valore di data non deve essere maggiore del giorno attuale

Post-condizione: viene creata un'istanza della relationship "sostiene" tra s e c con annessa data e voto di verbalizzazione

end

#### Registrazione Persona

`iscrizioneStudente(p: Persona, f: Facoltà, m: matricola):`

Pre-condizione: p non deve essere anche un'istanza di Studente, ma solo di Persona. Non deve esistere un'istanza di Studente avente matricola m.

Post-condizione: viene creata un'istanza di Studente avente gli attributi di p e un'istanza della relationship "iscritto" tra s' e f con annesso anno di iscrizione (l'anno attuale)

`registrazioneProfessore(p: Persona):`

Pre-condizione: p non deve essere anche un'istanza di Professore, ma solo di Persona.

Post-condizione: viene creata un'istanza di Professore avente gli attributi della persona p

end

### Consultazione Carriera Studente

consultaCarriera(s: Studente): Triple(Corso, voto, data)

Pre-condizione: nessuna

Post-condizione: result è un insieme di triple (Corso, voto, data) ottenuto dalle istanze della relationship "sostiene" associate a s con annessi voti e date di verbalizzazione

end

### Calcolo Statistiche

calcoloCorsiFacoltà(f: Facoltà): Intero  $\geq 0$

Pre-condizione: nessuna

Post-condizione: result è il numero di istanze della relationship "prevede" associate alla facoltà f

mediaEsamiSuperati(f: Facoltà): Reale  $> 0$

Pre-condizione: deve esserci almeno un'istanza della relationship "sostiene" per ogni corso associato ad un'istanza della relazione "prevede"

Post-condizione: result è la media dei voti annessi alle istanze della relationship "sostiene" associate ad ogni corso associato con f nella relationship "prevede"

mediaEtàStudenti(f: Facoltà): Reale  $> 0$

Pre-condizione: deve esserci almeno un'istanza della relationship "iscritto"

Post-condizione: la media dell'età degli studenti associati alle istanze della relationship "iscritto" associate alla facoltà f

maxRegioneAnnoAccademico(f: Facoltà, anno: Intero  $> 0$ ): Regione

Pre-condizione: anno deve essere minore o uguale all'anno attuale

Post-condizione: result è la regione associata al maggior numero di istanze della relationship "iscritto" associate alla facoltà f con data annessa equivalente ad a

end

**Gestione corsi:**

creazioneCorso(nome: Stringa, ore: Intero > 0, codice: Intero > 0):

Pre-condizione: non deve esistere un'istanza di Corso avente codice c

Post-condizione: viene creata un'istanza di Corso avente I dati in input come attributi

assegnamentoCorso(p: Professore, c: Corso):

Pre-condizione: p non deve essere già associato ad un'istanza della relationship "insegna"

Post-condizione: viene creata un'istanza della relationship "insegna" tra d e c

end