L’Algebra Relazionale

[alcune slide tratte da http://www-db.disi.unibo.it/courses/SIG/algebra2.pdf
e https://dbdmg.polito.it/wordpress/wp-content/uploads/2010/12/2.2-AlgebraRelazionale-PS.pdf]

Linguaggi di interrogazione per il modello relazionale

- Un linguaggio di interrogazione (*query language*) per il modello relazionale è un linguaggio specializzato per manipolare (tipicamente estrarre) dati di una base di dati relazionale
- Tali linguaggi possono essere distinti in:
  - **Procedurali**: ogni interrogazione descrive passo a passo cosa fare per ottenere la risposta desiderata
  - **Dichiarativi**: l'interrogazione descrive il risultato desiderato, senza però descrivere cosa deve essere fatto per ottenere la risposta
- L'Algebra Relazionale (AR) è un linguaggio procedurale

Perché studiare l'Algebra Relazionale?

- **Fondamenta teoriche per le operazioni sui dati**
  - Base teorica solida per comprendere e utilizzare le operazioni fondamentali sui dati
- **Ottimizzazione delle query**
  - Ottimizzazione delle query per migliorare le prestazioni del database
- **Portabilità tra sistemi di database**
  - L'algebra relazionale è un modello teorico che non dipende da un particolare sistema di gestione di database (DBMS)
- **Comprensione degli algoritmi di esecuzione**
  - Comprendere come i DBMS eseguono fisicamente le operazioni sui dati

AR: concetti generali

- In AR, input e output di ogni interrogazione sono *relazioni* (nel senso del modello relazionale)
- Il risultato di un'operazione è una *nuova relazione*, che viene generata a partire da una o più relazioni in *input*
- Questa proprietà rende l'AR un'algebra "chiusa"
  - Tutti gli oggetti in AR sono relazioni

AR: concetti generali (cont.)

- Le relazioni ottenute da una qualsiasi operazione di AR possono a loro volta diventare input di nuove operazioni della stessa algebra
- Una sequenza di operazioni di AR forma un'**espressione di AR**. Per esempio:

$$\pi_{sname}(\pi_{sid}((\pi_{bid}\sigma_{color='red'}Boats) \bowtie Reserves) \bowtie Sailors)$$

- Il risultato di un'espressione di AR è a sua volta una relazione che rappresenta il risultato di un'interrogazione a una base di dati

Le operazioni dell'AR

- Operazioni unarie
  - SELECT (simbolo: **σ** (sigma))
  - PROJECT (simbolo: **π** (pi greco))
  - RENAME (simbolo: **ρ** (rho))
- Operazioni insiemistiche di AR
  - UNIONE (**∪**), INTERSEZIONE (**∩**), DIFFERENZA o SOTTRAZIONE (**–**)
  - PRODOTTO CARTESIANO (**x**)
- Operazioni binarie
  - JOIN
  - DIVISIONE
- Altre operazioni (che vedremo solo in parte)
  - OUTER JOINS, OUTER UNION
  - FUNZIONI AGGREGATE (come SUM, COUNT, AVG, MIN, MAX)

ESEMPIO

- Nel seguito useremo il seguente schema:

Sailors(*sid:* `integer`, *sname:* `string`, *rating:* `integer`, *age:* `real`)
Boats(*bid:* `integer`, *bname:* `string`, *color:* `string`)
Reserves(*sid:* `integer`, *bid:* `integer`, *day:* `date`)

assumendo che contenga i seguenti dati:

S1

sid	sname	rating	age
22	dustin	7	45.0
31	lubber	8	55.5
58	rusty	10	35.0

S2

sid	sname	rating	age
28	yuppy	9	35.0
31	lubber	8	55.5
44	guppy	5	35.0
58	rusty	10	35.0

101	Interlake	blue
102	Interlake	red
103	Clipper	green
104	Marine	red

R1

sid	bid	day
22	101	10/10/96
58	103	11/12/96

Selezione

- L'operatore di selezione, σ, permette di selezionare un sottoinsieme delle tuple di una relazione, applicando a ciascuna di esse una formula booleana F

Espressione: $\sigma_F(R)$

Schema	R(X)	X
Istanza	r	$\sigma_F(r) = \{ t \mid t \in r \text{ AND } F(t) = \text{vero} \}$
	Input	Output

- F si compone di predicati connessi da AND ($\wedge$), OR ($\vee$) e NOT ($\neg$)
- Ogni predicato è del tipo $A\ \theta\ c$ o $A\ \theta\ B$, dove:
  - A e B sono attributi in X
  - $c \in dom(A)$ è una costante
  - θ è un operatore di confronto, $\theta \in \{=, \neq, <, >, \leq, \geq\}$

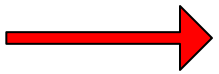
SELECT: esempio

- Trovare in S2 tutti i SAILOR che hanno giudizi superiori a 8:

$$\sigma_{rating > 8}(S2)$$

- Risultato:

sid	sname	rating	age
28	yuppy	9	35.0
31	lubber	8	55.5
44	guppy	5	35.0
58	rusty	10	35.0



sid	sname	rating	age
28	yuppy	9	35.0
58	rusty	10	35.0

- Stesso numero di attributi, selezionate le due (sole) tuple che soddisfano la condizione specificata nel SELECT (ovvero *rating* > *8*)

Proprietà dell'operatore SELECT

- $\sigma_{<select\_cond>}(R)$ produce una relazione S che ha lo stesso schema (cioè gli stessi attributi) di R
- SELECT è commutativo:
  - $\sigma_{<cond1>}(\sigma_{<cond2>}(R)) = \sigma_{<cond2>}(\sigma_{<cond1>}(R))$
- Di conseguenza, l'ordine di applicazioni non conta:
  - $\sigma_{<cond1>}(\sigma_{<cond2>}(\sigma_{<cond3>}(R)) = \sigma_{<cond2>}(\sigma_{<cond3>}(\sigma_{<cond1>}(R)))$
- Una sequenza di SELECT può essere sostituita da una singola operazione con congiunzione delle condizioni:
  - $\sigma_{<cond1>}(\sigma_{<cond2>}(\sigma_{<cond3>}(R)) = \sigma_{<cond1> \text{ AND } <cond2> \text{ AND } <cond3>}(R))$
- Il numero di tuple prodotte dal SELECT è =< al numero di tuple dell'istanza della relazione R in input

Selezione: esempi (1)

Esami

Matricola	CodCorso	Voto	Lode
29323	483	28	NO
39654	729	30	SÌ
29323	913	26	NO
35467	913	30	NO
31283	729	30	NO

$\sigma_{(Voto = 30)\ AND\ (Lode = NO)}(Esami)$

Matricola	CodCorso	Voto	Lode
35467	913	30	NO
31283	729	30	NO

$\sigma_{(CodCorso = 729)\ OR\ (Voto = 30)}(Esami)$

Matricola	CodCorso	Voto	Lode
39654	729	30	SÌ
35467	913	30	NO
31283	729	30	NO

Selezione: esempi (2)

Partite

Giornata	Casa	Ospite	GolCasa	GolOspite
4	Venezia	Bologna	0	1
5	Brescia	Atalanta	3	3
5	Inter	Bologna	1	0
5	Lazio	Parma	0	0

$\sigma_{(Giornata = 5)\ AND\ (GolCasa = GolOspite)}(Partite)$

Giornata	Casa	Ospite	GolCasa	GolOspite
5	Brescia	Atalanta	3	3
5	Lazio	Parma	0	0

$\sigma_{(Ospite = Bologna)\ AND\ (GolCasa < GolOspite)}(Partite)$

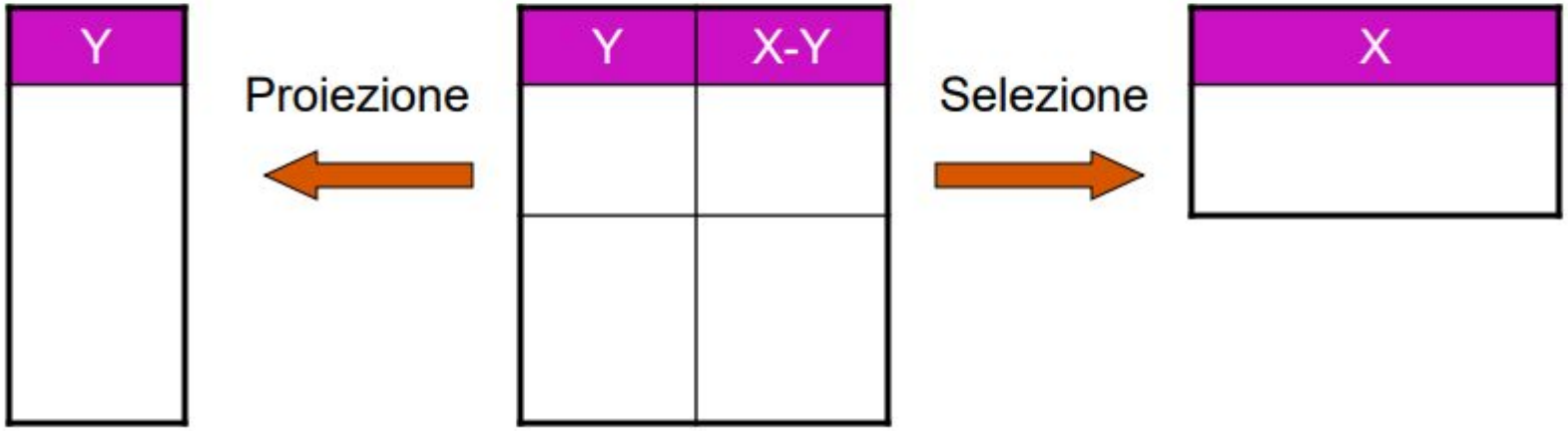
Giornata	Casa	Ospite	GolCasa	GolOspite
4	Venezia	Bologna	0	1

Proiezione

- L'operatore di proiezione, π, è ortogonale alla selezione, in quanto permette di selezionare un sottoinsieme Y degli attributi di una relazione

Espressione: $\pi_Y(R)$

	Input	Output
Schema	R(X)	Y
Istanza	r	$\pi_Y(r) = \{ t[Y] \mid t \in r \}$



PROJECT: esempio

- Trovare nome e giudizio di tutti i SAILORS (istanza S2):

$$\pi_{\text{sname,rating}}(S2)$$

- Risultato:

sid	*sname*	*rating*	*age*
28	yuppy	9	35.0
31	Lubber	8	55.5
44	guppy	5	35.0
58	Rusty	10	35.0

sname	*rating*
yuppy	9
Lubber	8
guppy	5
Rusty	10

PROJECT: proprietà

- La forma generale dell'operazione *project* è:

$$\pi_{<\text{lista\_di\_attributi}>}(R)$$

  - π è l'operatore di proiezione
  - <lista_di_attributi> è la lista degli attributi di R che si vogliono mantenere nella relazione in output

- L'operatore PROJECT **rimuove le tuple duplicate**!!
  - Questo perché **il risultato del PROJECT deve essere un insieme di tuple**
    - Matematicamente, un insieme non ammette elementi duplicati!

PROJECT: proprietà

- Il numero di tuple in $\pi_{<list>}(R)$ è uguale al numero di tuple di R o minore (se sono stati eliminati eventuali duplicati)
  - Se *list* include una *chiave* di R, allora il numero di tuple restituite da PROJECT sarà sempre *uguale* al numero di tuple di R

- PROJECT **non è commutativo!**
  - $\pi_{<list1>}(\pi_{<list2>}(R)) = \pi_{<list2>}(\pi_{<list1>}(R))$ solo se <list2> contiene gli attributi di <list1>

Proiezione: esempi (1)

Corsi

CodCorso	Titolo	Docente	Anno
483	Analisi	Biondi	1
729	Analisi	Neri	1
913	Sistemi Informativi	Castani	2

$\pi_{CodCorso,Docente}(Corsi)$

CodCorso	Docente
483	Biondi
729	Neri
913	Castani

$\pi_{CodCorso,Anno}(Corsi)$

CodCorso	Anno
483	1
729	1
913	2

Proiezione: esempi (2)

Corsi

CodCorso	Titolo	Docente	Anno
483	Analisi	Biondi	1
729	Analisi	Neri	1
913	Sistemi Informativi	Castani	2

$\pi_{Titolo}(Corsi)$

Titolo
Analisi
Sistemi Informativi

$\pi_{Docente}(Corsi)$

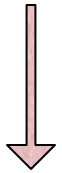
Docente
Biondi
Neri
Castani

Espressioni in AR

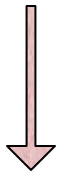
- E’ possibile applicare in sequenza diversi operatori di AR:
  - Un’espressione può essere ottenuta:
    1. annidando (*nesting*) gli operatori in un’unica espressione, o
    2. applicando gli operatori uno alla volta, creando di volta in volta **relazioni intermedie** (vedremo come quando introdurremmo la ridenominazione)
- Nel secondo caso, dobbiamo assegnare nomi alle relazioni intermedie.

Espressioni in AR

$$\pi_{sname,rating}(\sigma_{rating>8}(S2))$$



sid	sname	rating	age
28	yuppy	9	35.0
58	rusty	10	35.0



sname	rating
yuppy	9
rusty	10

Operazioni insiemistiche

- **UNIONE** (R ∪ S): è la relazione che include tutte le tuple che sono in R o in S o in entrambe
  - I duplicati sono eliminati
- **INTERSEZIONE** (R ∩ S): è la relazione che include tutte le tuple che sono sia in R sia in S
- **DIFFERENZA** (R – S): è la relazione che include tutte le tuple che sono in R ma non in S
  - Per convenzione, se i nomi degli attributi sono diversi in R e in S, l'output utilizza i nomi di R
- **PRODOTTO CARTESIANO** (R·S): è la relazione che ha come schema l'unione degli attribute di R e S e una tupla <*r,s*> (la concatenazione di *r* e *s*) per ogni coppia di tuple *r* ∈ R e *s* ∈ S

UNIONE, INTERSEZIONE, DIFFERENZA: compatibilità dei domini

NOTA BENE:

- Le relazioni in input R e S devono essere “compatibili”, ovvero:
  - R ed S devono avere lo stesso numero *n* di attributi
  - gli attributi corrispondenti di R e S devono avere lo stesso dominio (o domini compatibili)

$$dom(A_i) = dom(B_i) \text{ per } i=1, 2, \ldots, n)$$

Esempi:

S1

sid	sname	rating	age
22	dustin	7	45.0
31	lubber	8	55.5
58	rusty	10	35.0

S2

sid	sname	rating	age
28	yuppy	9	35.0
31	lubber	8	55.5
44	guppy	5	35.0
58	rusty	10	35.0

INPUT

OUTPUT

sid	sname	rating	age
22	dustin	7	45.0
31	lubber	8	55.5
58	rusty	10	35.0
44	guppy	5	35.0
28	yuppy	9	35.0

$S1 \cup S2$

sid	sname	rating	age
31	lubber	8	55.5
58	rusty	10	35.0

$S1 \cap S2$

sid	sname	rating	age
22	dustin	7	45.0

$S1 - S2$

Unione e differenza: esempi

VoliCharter

Codice	Data
XY123	21/07/2001
SC278	28/07/2001
XX338	18/08/2001

VoliNoSmoking

Codice	Data
SC278	28/07/2001
SC315	30/07/2001

VoliCharter ∪ VoliNoSmoking

Codice	Data
XY123	21/07/2001
SC278	28/07/2001
XX338	18/08/2001
SC315	30/07/2001

VoliCharter - VoliNoSmoking

Codice	Data
XY123	21/07/2001
XX338	18/08/2001

VoliNoSmoking - VoliCharter

Codice	Data
SC315	30/07/2001

Alcune proprietà

- UNION e INTERSECTION sono operazioni *commutative*:
  - $R \cup S = S \cup R$ e $R \cap S = S \cap R$
- UNION e INTERSECTION sono operazioni *associative* e possono quindi essere pensate come operazioni *n-arie*:
  - $R \cup (S \cup T) = (R \cup S) \cup T$
  - $(R \cap S) \cap T = R \cap (S \cap T)$
- SET DIFFERENCE non è commutativa, per cui in generale:
  - $R - S \neq S - R$

Operazioni insiemistiche: il PRODOTTO CARTESIANO (cross product)

- Serve a combinare tuple di due relazioni e si indica con il simbolo x

$$R(A_1, \ldots, A_n) \times S(B_1, \ldots, B_m)$$

- Il risultato è una nuova relazione Q di grado $n + m$:

$$Q(A_1, \ldots, A_n, B_1, \ldots, B_m)$$

  con gli attributi esattamente in questo ordine

- Se R ha n_R tuple ($|R| = n_R$) e S ha n_S tuple ($|S| = n_S$), allora R x S avrà $n_R * n_S$ tuple ($|R \times S| = n_R * n_S$).

IL PRODOTTO CARTESIANO: esempio

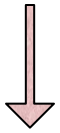
S1

sid	sname	rating	age
22	dustin	7	45.0
31	lubber	8	55.5
58	rusty	10	35.0

X

R1

sid	bid	day
22	101	10/10/96
58	103	11/12/96



S1 x R1

(sid)	sname	rating	age	(sid)	bid	day
22	dustin	7	45.0	22	101	10/10/96
22	dustin	7	45.0	58	103	11/12/96
31	lubber	8	55.5	22	101	10/10/96
31	lubber	8	55.5	58	103	11/12/96
58	rusty	10	35.0	22	101	10/10/96
58	rusty	10	35.0	58	103	11/12/96

L’operatore RENAME

- Nell’esempio di PRODOTTO CARTESIANO, è chiaro che c’è un conflitto di nomi tra gli attributi della relazione S1xR1 (sulla colonna *sid*)

- Per risolvere problemi di questo tipo, viene introdotto un operatore di ridenominazione (*rename*), denotato dal simbolo ρ (rho)

RENAME (cont.)

- L'operatore di ridenominazione (RENAME) ha la seguente forma:
  - $\rho(R(F_1, \ldots, F_n), E)$ dove:
    - E è una qualunque espressione in algebra relazionale
    - R è una nuova relazione che ha le stesse tuple di E ma con alcuni attributi rinominati
    - $(F_1, \ldots, F_n)$ è la *lista di ridenominazione* e contiene espressioni della forma *vecchionome* □ *nuovonome* o *posizione* □ *nuovonome*
- Se il nome degli attributi non viene modificato, si può omettere la lista di ridenominazione

Esempio di ridenominazione

S1 x R1

(sid)	sname	rating	age	(sid)	bid	day
22	dustin	7	45.0	22	101	10/10/96
22	dustin	7	45.0	58	103	11/12/96
31	lubber	8	55.5	22	101	10/10/96
31	lubber	8	55.5	58	103	11/12/96
58	rusty	10	35.0	22	101	10/10/96
58	rusty	10	35.0	58	103	11/12/96

$\rho(C(1 \rightarrow sid1, 5 \rightarrow sid2),\ S1 \times R1)$

sid	sname	rating	age	sid	bid	day
22	dustin	7	45.0	22	101	10/10/96
22	dustin	7	45.0	58	103	11/12/96
31	lubber	8	55.5	22	101	10/10/96
31	lubber	8	55.5	58	103	11/12/96
58	rusty	10	35.0	22	101	10/10/96
58	rusty	10	35.0	58	103	11/12/96

Operazioni insiemistiche: il JOIN

- L'operazione di JOIN di due relazioni R e S ($R \bowtie_c S$) può essere definita in termini di PRODOTTO CARTESIANO e SELEZIONE come segue:

$$\sigma_c(R \times S)$$

dove *c* è una condizione espressa con una formula booleana

- Il risultato è l'insieme delle combinazioni di tuple di R e S che soddisfano la condizione (il predicato) *c*

- Questa forma di JOIN (a.k.a. θ-join / theta-join) è la forma più generale e permette di combinare in modo semanticamente sensato tuple che appartengono a relazioni diverse

Alcune proprietà del JOIN

- Il JOIN è commutativo e associativo

- La cardinalità | $R \bowtie_c S$ | della relazione risultante dal JOIN sarà <= della cardinalità del prodotto cartesiano delle due relazioni (|R x S|), grazie al fatto che alcune delle combinazioni di tuple di RxS potrebbero non rispettare la condizione *c* del JOIN (e normalmente è così!)

Esempio di JOIN

S1 x R1

(sid)	sname	rating	age	(sid)	bid	day
22	dustin	7	45.0	22	101	10/10/96
22	dustin	7	45.0	58	103	11/12/96
31	lubber	8	55.5	22	101	10/10/96
31	lubber	8	55.5	58	103	11/12/96
58	rusty	10	35.0	22	101	10/10/96
58	rusty	10	35.0	58	103	11/12/96

$S1 \times_{S1.sid < R1.sid} R1$

(sid)	sname	rating	age	(sid)	bid	day
22	dustin	7	45.0	58	103	11/12/96
31	lubber	8	55.5	58	103	11/12/96

Variante 1: EQUIJOIN

- È la forma di JOIN più comunemente utilizzata
- La condizione *c* include **soltanto** confronti di uguaglianza (=)
- Esempio:

sid	sname	rating	age	bid	day
22	dustin	7	45.0	101	10/10/96
58	rusty	10	35.0	103	11/12/96

$$S1 \bowtie_{R.sid=S.sid} R1$$

- NB: la colonna usata nella condizione dell'EQUIJOIN compare solo una volta nel risultato (nella parte di tupla che appartiene alla relazione di sinistra)

Variante : il NATURAL JOIN

- Il NATURAL JOIN (denotato da $R \bowtie S$) è un EQUIJOIN in cui l'uguaglianza è automaticamente definite su **tutti** gli attributi comuni di R e S

- La definizione standard assume che tutte le coppie di attributi su cui si effettua il JOIN abbiano lo stesso nome in entrambe le relazioni (es. *S1.sid* e *R1.sid*)

- Se così non fosse, va applicata prima un'operazione di ridenominazione

Join naturale: definizione

- Ogni tupla che compare nel risultato del join naturale di r_1 e r_2, istanze rispettivamente di $R_1(X_1)$ e $R_2(X_2)$, è ottenuta come combinazione ("match") di una tupla di r_1 con una tupla di r_2 sulla base dell'uguaglianza dei valori degli attributi comuni (cioè quelli in $X_1 \cap X_2$)
- Inoltre, lo schema del risultato è l'unione degli schemi degli operandi

Espressione: $R_1 \bowtie R_2$

	Input	Output
Schema	$R_1(X_1), R_2(X_2)$	X_1X_2
Istanza	r_1, r_2	$r_1 \bowtie r_2 = \{ t \mid t[X_1] \in r_1 \text{ AND } t[X_2] \in r_2 \}$

Join naturale: osservazioni

- È possibile che una tupla di una delle relazioni operande non faccia match con nessuna tupla dell'altra relazione; in tal caso tale tupla viene detta "dangling"
- Nel caso limite è quindi possibile che il risultato del join sia vuoto; all'altro estremo è possibile che ogni tupla di r_1 si combini con ogni tupla di r_2
- Ne segue che

  la cardinalità del join, $| r_1 \bowtie r_2 |$, è compresa tra 0 e $| r_1 | * | r_2 |$

- Se il join è eseguito su una superchiave di $R_1(X_1)$, allora ogni tupla di r_2 fa match con al massimo una tupla di r_1, quindi $| r_1 \bowtie r_2 | \leq | r_2 |$
- Se $X_1 \cap X_2$ è la chiave primaria di $R_1(X_1)$ e foreign key in $R_2(X_2)$ (e quindi c'è un vincolo di integrità referenziale) allora $| r_1 \bowtie r_2 | = | r_2 |$

Operazioni binarie: la DIVISIONE

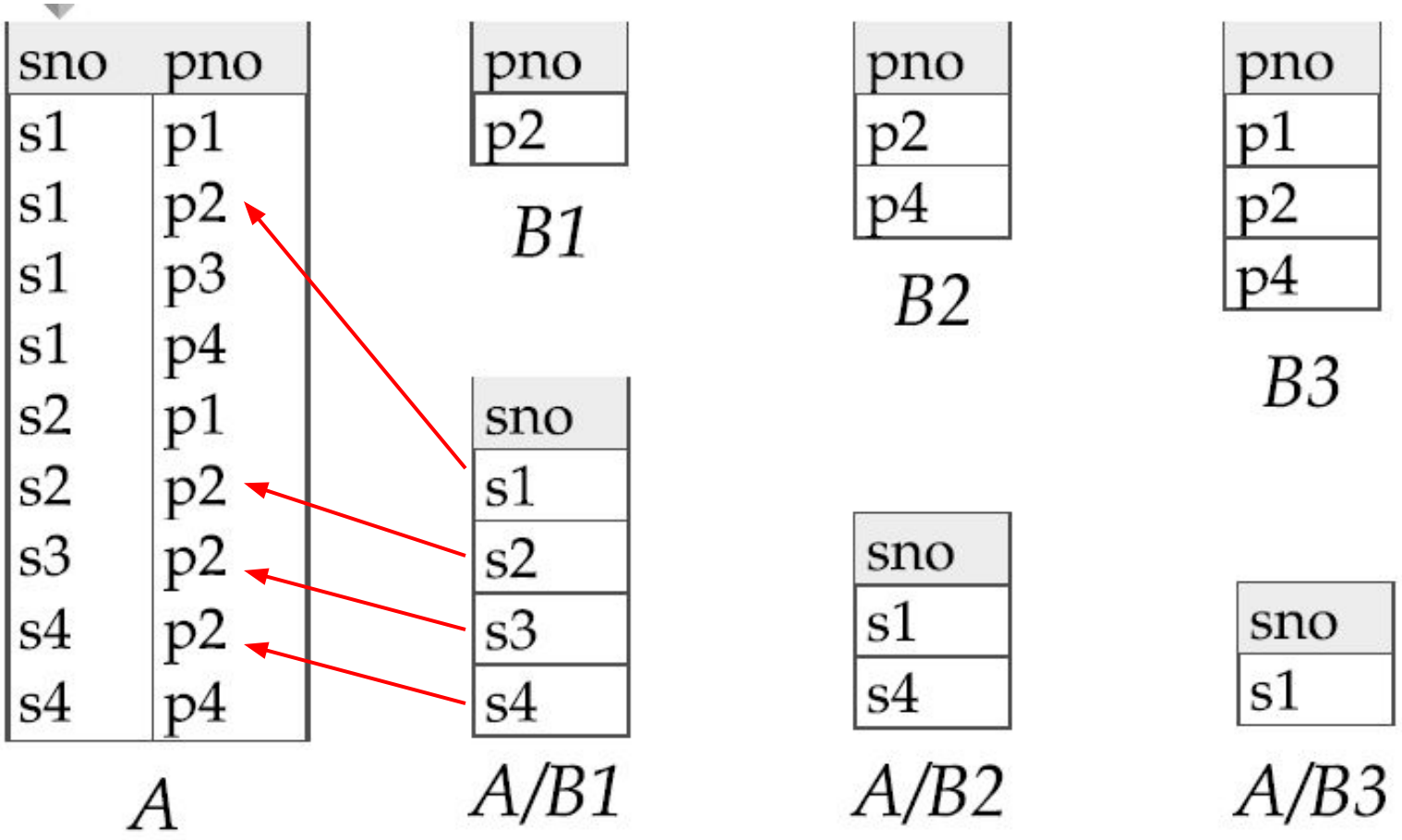
- La DIVISIONE non è un operatore primitivo e non tutti i DBMS la supportano
- Tuttavia, può essere utile per rappresentare query del tipo:

  Trovare i marinai che hanno prenotato tutte le barche

- Data una relazione A con due colonne x e y e B con una sola colonna y:

$$A/B = \{\langle x \rangle \mid \exists \langle x, y \rangle \in A \ \forall \langle y \rangle \in B\}$$

Esempio di DIVISIONE



OUTER JOIN

- Nel NATURAL JOIN e EQUIJOIN, le tuple che **non** soddisfano le condizioni del JOIN vengono eliminate dal risultato.
  - Anche le tuple con valore NULL negli attributi del JOIN sono eliminate Perdita di informazione

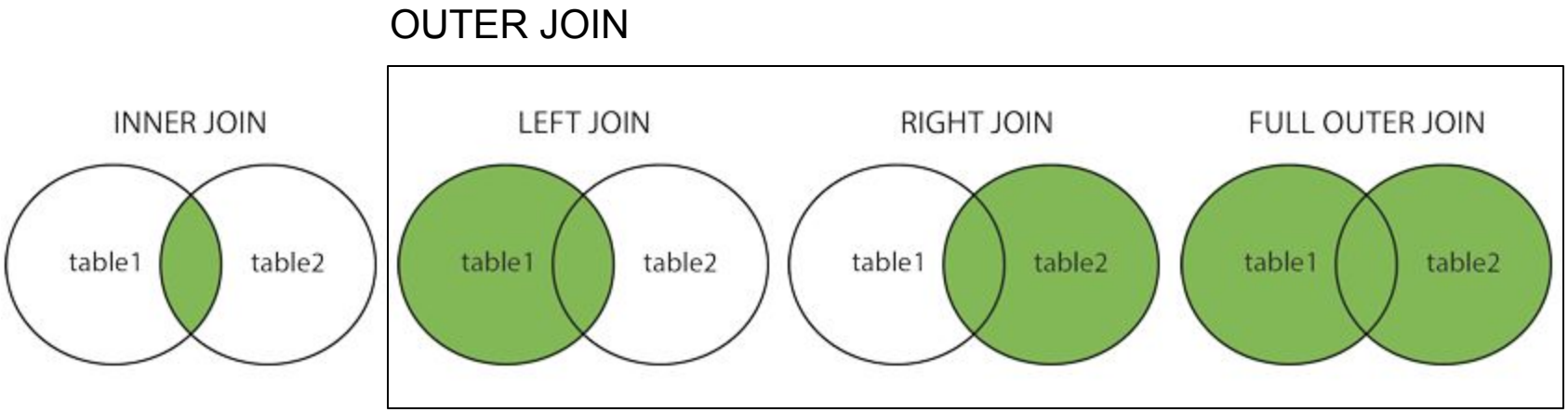
- Per superare questo limite, sono state introdotte delle operazioni, chiamate OUTER JOIN, che servono a mantenere alcune (o tutte) le tuple che non hanno un *match* nelle altre forme di JOIN

OUTER JOIN

- Esistono 3 varianti dell'OUTER JOIN:
  - **LEFT OUTER JOIN**: vengono mantenute tutte le tuple del primo operando
  - **RIGHT OUTER JOIN**: vengono mantenute tutte le tuple del secondo operando
  - **FULL OUTER JOIN**: vengono mantenute le tuple di entrambi gli operandi
- In tutti e tre i casi, nella relazione risultante i valori mancanti sono sostituiti con il valore NULL

I tre tipi di OUTER JOIN

- Dal punto di vista insiemistico, possiamo rappresentare come segue l'OUTER JOIN nelle sue possibili varianti:



Outer join: esempi

Ricercatori

Nome	CodProgetto
Rossi	HK27
Bianchi	HK27
Verdi	HK28

Progetti

CodProgetto	Responsabile
HK27	Bianchi
HAL2000	Neri

Ricercatori =▷◁ Progetti

Nome	CodProgetto	Responsabile
Rossi	HK27	Bianchi
Bianchi	HK27	Bianchi
Verdi	HK28	NULL

Ricercatori ▷◁= Progetti

Nome	CodProgetto	Responsabile
Rossi	HK27	Bianchi
Bianchi	HK27	Bianchi
NULL	HAL2000	Neri

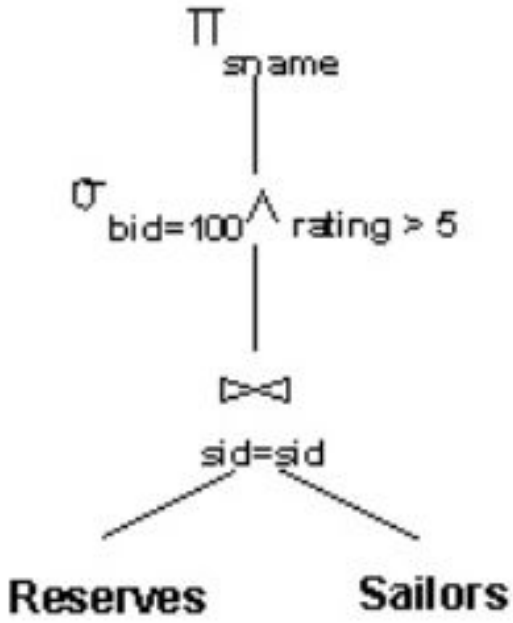
Ricercatori =▷◁= Progetti

Nome	CodProgetto	Responsabile
Rossi	HK27	Bianchi
Bianchi	HK27	Bianchi
Verdi	HK28	NULL
NULL	HAL2000	Neri

Query Tree

- E’ una struttura dati interna per rappresentare i passi di esecuzione di una query
- Standard per stimare il lavoro necessario per eseguire una query, la generazione di risultati intermedi e l’ottimizzazione dell’esecuzione
- I nodi stanno per le operazioni (selezione, proiezione, join, ….)
- Le foglie rappresentano la/le relazione/i di partenza
- Un albero dà una buona rappresentazione visiva della complessità della query e delle operazioni coinvolte

Esempio di Query Tree



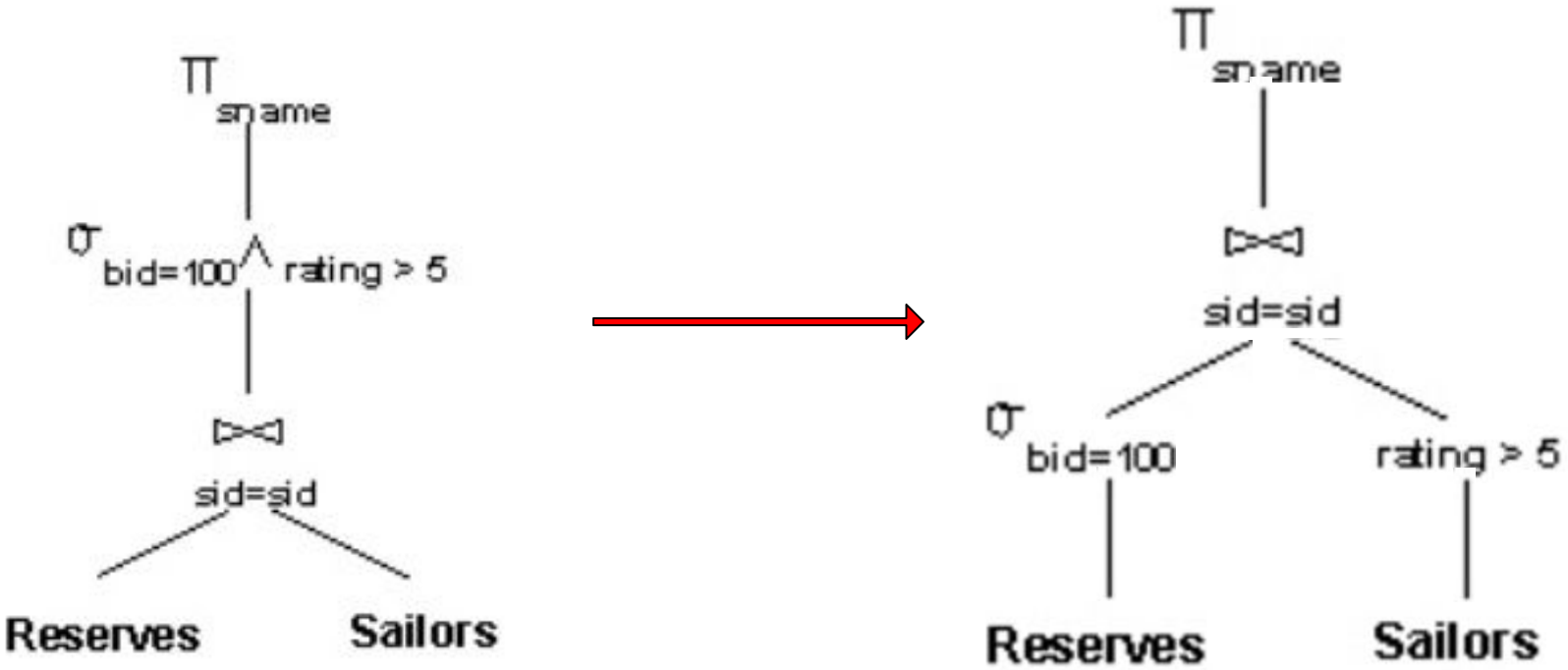
A quale domanda corrisponde questo Query Tree?

Ottimizzazione algebrica dell'esecuzione di una query

- Obiettivo: minimizzare i costi di esecuzione di una query
- Si parte da un piano di esecuzione (rappresentato da un query tree)
- Si verifica se esista un altro piano di esecuzione che
  - produca lo stesso risultato di quello originale
  - abbia costi inferiori

Ottimizzazione di esecuzione di query

- Possiamo ottimizzare il piano di esecuzione a sinistra?



- Perché (intuitivamente) il piano di esecuzione a destra è migliore di quello a sinistra?

Esempi di (semplici) regole di ottimizzazione

- **Anticipazione delle selezioni** (*push selections down*):
  - spostare le operazioni di **selezione** il più vicino possibile alle tabelle di origine applicare i filtri subito riduce il numero di righe coinvolte nelle operazioni successive, come i join o le proiezioni
- **Anticipazione delle proiezioni** (*push projections down*):
  - eliminando le colonne non necessarie prima di effettuare altre operazioni riduce lo spazio di memoria necessario per memorizzare i dati temporanei
- **Riordino dei join**
  - spesso è possibile riordinare le operazioni di join per eseguire prima quelle che producono meno righe intermedie, riducendo il numero di combinazioni da elaborare