

ARGOMENTO 9

Metodi di storage & Modello di costo

Introduzione

- Le basi di dati sono normalmente memorizzate in modo persistente su disco (magnetico, SSD)
 - Ai dati si accede mediante la struttura fisica dei file della base di dati
- Gerarchia di memorizzazione
 - Primaria
 - CPU, memoria principale, cache
 - Secondaria
 - Dischi magnetici, memoria flash, dischi a stato solido
 - Terziaria
 - Media rimovibili

Organizzazione della memoria delle basi di dati

- Dati persistenti
 - La base di dati vera e propria
- Dati temporanei
 - Esistono solo durante l'esecuzione di programmi
- Organizzazione dei file
 - Determina come le tuple (o *record*) sono fisicamente memorizzate sul disco
 - Determina come si può accedere ai *record* sul disco

Memorizzazione dei record su disco

- Record: collezione di valori tra loro collegati
 - Ogni valore corrisponde a un campo del record
- Data types:
 - Numerico
 - Stringa
 - Booleano
 - Data/ora
- Binary Large Objects (BLOBs)
 - Oggetti non strutturati

...

- Ovviamente, la lunghezza di un record può variare, anche di molto
- Esempi di ragioni per avere record di lunghezza variabile
 - Uno o più campi hanno lunghezza variabile
 - Uno o più campi sono opzionali
 - ...

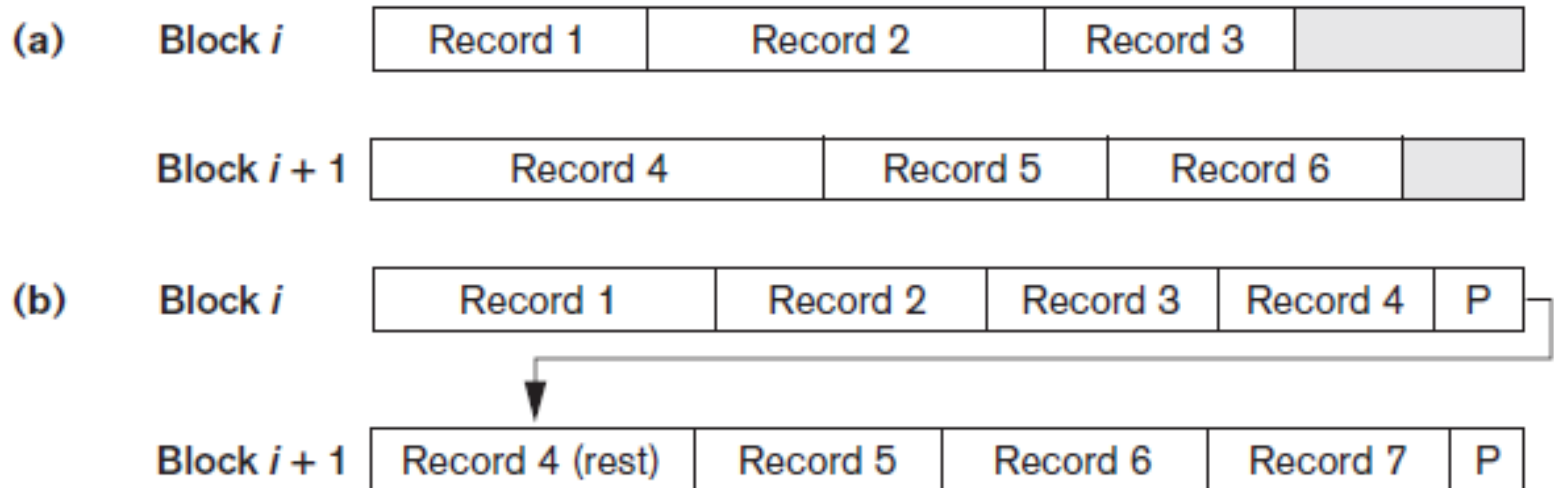
Record e blocchi del disco: allocazione

- I file contenenti record sono allocati in blocchi del disco (spesso chiamati **pagine** quando si parla di gestione di basi di dati)
- Record **esteso** (*spanned block*)
 - Quando un record supera lo spazio disponibile in un blocco, viene parzialmente memorizzato su due blocchi diversi
 - Un puntatore alla fine del primo blocco punta al blocco contenente il resto del record
- Record **non esteso** (*unspanned block*)
 - Record che non può superare le dimensioni di un singolo blocco

Record e blocchi del disco (cont.)

(a) Unspanned blocks

(b) Spanned blocks



Tuple, tabelle, pagine

Prendiamo la seguente relazione R (tabella):

- La prima tupla occupa 18 byte (4+5+5+4)
- Per semplicità, nel seguito assumeremo che ogni tupla occupi lo stesso spazio (quello della tupla più lunga, qui 22)
- Indichiamo con t_R la dimensione di una tupla t appartenente a una relazione R

id	name	city	age
1	Marco	Trento	33
2	Andrea	Cosenza	24
3	Giuseppe	Milano	27
4	Federica	Trento	20
5	Rossana	Cosenza	18
6	Laura	Trento	25

Tuple, tabelle, pagine (cont.)

- Il DBMS organizza logicamente il disco, raggruppando più pagine in un settore del disco
 - Ad esempio, in MariaDB e MySQL la dimensione predefinita di una pagina è di 16KB (se un settore è di 512 byte, sono 32 pagine per settore)
- Per ogni operazione da eseguire (lettura, scrittura), il DBMS carica sempre pagine intere (e mai solo parti di pagina)

id	name	city	age
1	Marco	Trento	33
2	Andrea	Cosenza	24
3	Giuseppe	Milano	27
4	Federica	Trento	20
5	Rossana	Cosenza	18
6	Laura	Trento	25

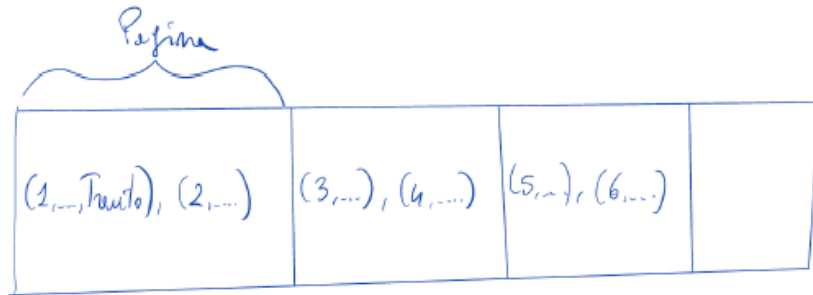
Costo delle operazioni

- Introduciamo ora un modello di costo basato sul numero di pagine che il DBMS deve leggere / scrivere per eseguire una certa operazione
- Essendo le operazioni di lettura / scrittura in memoria centrale MOLTO più veloci, *il modello trascura il costo delle operazioni in memoria centrale per concentrarsi solo sulle operazioni in memoria secondaria*

Metodi di memorizzazione di una relazione R su file

- *Heap (o pile) file*
 - Le tuple sono semplicemente scritte una dopo l'altra nell'ordine di inserimento
- *Sorted file (file di tuple ordinate)*
 - Le tuple sono ordinate in base al valore di un attributo (o insieme di attributi)
- *Indexed file*
 - Viene creato un indice separato rispetto al file che contiene le tuple vere e proprie della relazione

Heap file



- L'inserimento di nuove tuple in un heap file è molto facile e veloce:
 - Le tuple vengono memorizzate in pagine in base all'ordine di inserimento
 - Quando una pagina è piena, si passa alla successiva eventualmente lasciando spazio vuoto in fondo alla pagina precedente (così si evita di leggere due pagine per leggere una singola tupla a cavallo di due pagine)

Heap file: costo delle principali operazioni

SCAN

- Immaginiamo di voler leggere tutte le tuple di una relazione R con una query del tipo:

`SELECT * FROM R;`

- Se P_R è il numero di pagine che contengono le tuple di R , allora:

$$\text{Costo}_{\text{Scan}} = P_R$$

[ovvero il costo di leggere tutte le pagine che contengono le tuple di R]

Heap file - Costo delle principali operazioni

EQUALITY SEARCH

- Immaginiamo di voler trovare tutte le tuple di una relazione R che corrispondono a un filtro:

```
SELECT * FROM R WHERE city = 'Trento';
```

dove $city$ è la *chiave di ricerca*.

- Se P_R è il numero di pagine che contengono le tuple di R , allora anche in questo caso:

$$\mathbf{Costo_{EqSearch} = P_R}$$

[ovvero il costo di leggere tutte le pagine che contengono le tuple di R]

Heap file - Costo delle principali operazioni

INSERT

- Immaginiamo di voler inserire una o più nuove tuple in R.

$$\text{Costo}_{\text{Insert}} = 2$$

ovvero il costo di leggere l'ultima pagina del file (o eventualmente crearne una nuova se non ci fosse spazio per la/le nuove tuple) e poi scrivere la pagina modificata sul disco

NB: per trovare l'ultima pagina basta trovare il numero totale di pagine dividendo la dimensione S del file (nota) per la dimensione P delle singole pagine (fissa), ovvero $P_R = S/P$

Heap file: costo delle principali operazioni

DELETE

- Immaginiamo di voler cancellare delle tuple di una relazione R con una query del tipo:

```
DELETE FROM R WHERE city='Trento';
```
- Se P_R è il numero di pagine che contengono le tuple di R e $|R_{A=c}|$ è il numero di tuple in cui l'attributo A (es. `city`) ha valore c (es. `Trento`) allora:

$$\text{Costo}_{\text{Delete}} = P_R + |R_{A=c}|^*$$

* fino a un massimo di P_R : se $|R_{A=c}| > P_R$ ovviamente non posso leggere più pagine di quelle che in totale servono per memorizzare R

Heap file: costo delle principali operazioni

DELETE

- Cosa facciamo se non conosciamo a priori il valore di $|R_{A=c}|$ (per un qualsiasi attributo A di R e un qualsiasi valore c di A)?
- Il valore può essere approssimato come segue:
 - Sia $|R|$ il numero di tuple in R e $|R.A|$ il numero di valori diversi dell'attributo A in R
 - Possiamo assumere che *in media*

$$|R_{A=c}| = \left\lceil \frac{|R|}{|R.A|} \right\rceil$$

- Quindi il costo della DELETE sarà approssimato con la formula $\mathbf{P_R} + \left\lceil \frac{|R|}{|R.A|} \right\rceil$

DELETE: esempio

Prendiamo la tabella iniziale:

- $|R.city| = 3$ (perché l'attributo *city* ha 3 valore distinti

- Quindi $\frac{|R|}{|R.city|} = \frac{6}{3} = 2$

id	name	city	age
1	Marco	Trento	33
2	Andrea	Cosenza	24
3	Giuseppe	Milano	27
4	Federica	Trento	20
5	Rossana	Cosenza	18
6	Laura	Trento	25

[Ovviamente si assume una distribuzione uniforme di valori, che non sempre è garantita!].

Heap file: il *selectivity factor*

- Il rapporto tra $|R|$ e $|R.A|$ può essere usato per calcolare il cosiddetto *selectivity factor* (f) per l'attributo A , ovvero $\frac{1}{|R.A|}$
- Quindi il costo per il DELETE può essere riscritto come segue:

id	name	city	age
1	Marco	Trento	33
2	Andrea	Cosenza	24
3	Giuseppe	Milano	27
4	Federica	Trento	20
5	Rossana	Cosenza	18
6	Laura	Trento	25

$$\text{Costo}_{\text{Delete}} = P_R + |R_{A=c}| = P_R + [f \cdot |R|]$$

Sorted file

$(5_{1..n}, 'Lorenzina'), (2_{1..n}, 'Lorenza')$	$(3_{1..n}, 'Milano'), (1_{1..n}, 'Trento')$	$(6_{1..n}, 'Trento'), (4_{1..n}, 'Trento')$
--	--	--

- Per abbassare il costo di alcune delle operazioni viste sopra, possiamo immaginare di ordinare le tuple rispetto ai valori di qualche attributo (es. *city*)
- In questo caso, le tuple vengono memorizzate in pagine in base al valore dell'attributo *city*

Sorted file: costo delle principali operazioni

SCAN

- Immaginiamo di voler leggere tutte le tuple di una relazione R in un *sorted file* con una query del tipo:

`SELECT * FROM R;`

- Il costo è identico a quello della stessa operazione su *heap file*:

$$\text{Costo}_{\text{Scan}} = P_R$$

[ovvero il costo di leggere tutte le pagine che contengono le tuple di R]

Sorted file - Costo delle principali operazioni

EQUALITY SEARCH

- Costo della query:

```
SELECT * FROM R WHERE city = 'Trento';
```

- Possiamo usare la ricerca binaria:

- Leggiamo la pagina in mezzo al file

- Se il valore 'Trento' segue alfabeticamente il valore di *city* in quella pagina, escludiamo la pagina letta e tutte quelle che la precedono
 - Se il valore 'Trento' precede alfabeticamente il valore di *city* in quella pagina, escludiamo la pagina letta e tutte quelle che la seguono

- Ripetiamo l'operazione sulle pagine rimanenti fino a trovare la/e pagina/e che contengono il valore 'Trento'

Sorted file - Costo delle principali operazioni

EQUALITY SEARCH

- Se P_R è il numero di pagine che contengono le tuple di R , allora:

$$\text{CostoEqSearch} = \lceil \log_2(P_R) \rceil + \left\lceil \frac{|R_{\text{city}='Trento'}|}{\left\lfloor \frac{P}{t_R} \right\rfloor} \right\rceil$$

- La prima parte è il numero di pagine che devo leggere per trovare la pagina dove iniziano le tuple con 'Trento' come valore di *city*
- La seconda parte calcola il numero di pagine che devo aprire per trovare tutte le tuple che hanno 'Trento' come valore per *city*.

Sorted file - Costo delle principali operazioni

RICERCA PER INTERVALLO

- Qual è il costo di una ricerca per intervallo, per esempio della query:


```
SELECT * FROM R WHERE age >= 18 AND <=30;
```

- Anche in questo caso, possiamo usare la ricerca binaria e poi leggere tutte le pagine che contengono valori compresi tra 18 e 30 per l'attributo *age*
- Quindi il costo non cambia, una volta che calcoliamo quante tuple contengono i valori cercati e quindi quante pagine possiamo ipotizzare di dover leggere.

Sorted file: costo delle principali operazioni

DELETE

- Per cancellare tuple, il ragionamento è molto simile alla ricerca:
 - Si esegue la ricerca binaria per trovare le tuple da cancellare (in tempo $\log_2(P_R)$)
 - Tuttavia va aggiunto il costo della scrittura delle pagine modificate per la cancellazione delle tuple:


$$\text{CostoDelete} = \lceil \log_2(P_R) \rceil + 2 \cdot \left\lceil \frac{|R_{\text{city}='Trento'}|}{\left\lfloor \frac{P}{t_R} \right\rfloor} \right\rceil$$

- Nel calcolo trascuriamo il costo del riempimento dello spazio liberato dalle tuple eliminate

Sorted file - Costo delle principali operazioni

INSERT

- Immaginiamo di voler inserire una o più nuove tuple in R in un *sorted file* (es. una nuova persona che vive a Verona)
- Dobbiamo trovare il punto in cui inserirle nel corretto ordine mediante ricerca binaria e poi riscrivere la pagina modificata per l'aggiunta della nuova tupla:

$$\text{Costo}_{\text{Insert}} = \lceil \log_2(P_R) \rceil + 1$$

Sorted file - Costo delle principali operazioni

INSERT

- Tuttavia, dobbiamo anche considerare il caso in cui nella pagina non ci sia spazio per aggiungere la nuova tupla
- In questo caso, l'operazione di INSERT potrebbe richiedere di leggere P_R pagine e scriverne altrettante (caso peggiore)
- Anche senza questo problema, è comunque chiaro che l'INSERT in un *sorted file* è più costoso della stessa operazione in un *heap file*