UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

LA STATALE

Progettazione fisica

Strutture e metodi d'accesso ai dati su disco

Prof. Stefano Montanelli

DBMS e sistema operativo

- I dati sono memorizzati su **memoria secondaria** per questioni di persistenza
- I dati in memoria secondaria sono organizzati in **blocchi** di dimensione fissa
- L'elaborazione dei dati avviene in **memoria principale**
- Il **buffer** i) permette la gestione dei dati in memoria principale, ii) applica strategie per minimizzare il trasferimento dei dati da elaborare da/verso la memoria secondaria
- Il buffer è organizzato in **pagine** che hanno dimensione pari a X blocchi

Fattore di blocco (blocking factor)

- Il fattore di blocco (***bfr***) è il numero di record contenuti in un blocco

$$bfr = \left\lfloor \frac{B}{R} \right\rfloor$$

- **B** è la dimensione del blocco, **R** è la dimensione media del record

- Se i record hanno tutti la stessa dimensione in byte, allora parliamo di *record a lunghezza fissa*, altrimenti di *record a lunghezza variabile*

Strutture primarie dei file

- La struttura primaria stabilisce il criterio che determina la disposizione delle tuple/record nei file
- Le strutture primarie possono essere suddivise in tre tipologie in base al metodo d'accesso ai dati:
  - Sequenziale (non ordinato, ad array, ordinato)
  - Calcolato (hash)
  - Albero

Strutture ad accesso sequenziale

- Nelle strutture sequenziali, i file sono costituiti da blocchi logicamente consecutivi e le tuple sono inserite rispettando un criterio sequenziale:

  A. Struttura non ordinata (file **heap**)

     - Sequenza indotta dall'ordine di inserimento
     - Inserimento efficiente (ma attenzione ai vincoli di chiave)
     - Ricerca lineare (migliorabile con strutture secondarie)
     - Cancellazione logica con periodiche ristrutturazioni

Strutture ad accesso sequenziale

- Nelle strutture sequenziali, i file sono costituiti da blocchi logicamente consecutivi e le tuple sono inserite rispettando un criterio sequenziale:

  B. Struttura sequenziale ad array

  - Possibile solo con record a lunghezza fissa
  - Il file occupa *n* blocchi e ciascun blocco ospita *m* posizioni dell'array
  - Ogni tupla ha un indice *i* che determina la posizione della tupla nel file (condizione raramente soddisfatta dai dati)
  - Inserimenti e ricerche efficienti

Strutture ad accesso sequenziale

- Nelle strutture sequenziali, i file sono costituiti da blocchi logicamente consecutivi e le tuple sono inserite rispettando un criterio sequenziale:

C. Struttura sequenziale ordinata

  - Ordinamento fisico dei dati nel file coerente con l'ordinamento di un campo detto chiave (*pseudochiave*)
  - Operazioni efficienti sul campo chiave (sia per *ricerche puntuali* sia per *selezioni su intervallo*)
  - Richiede l'uso di indici per ricerche efficienti (i.e., dicotomiche)
  - Inserimenti e cancellazioni possono i) essere costose, ii) avvenire su un file di overflow, iii) richiedere periodiche ristrutturazioni

Campi di ordinamento (pseudochiavi)

- Il campo di ordinamento di una struttura ordinata può essere costituito da uno o più attributi della relazione
- L'ordinamento avviene sul primo attributo, quindi sui successivi a parità di valore sul primo attributo (e successivamente sui precedenti)
- Il campo di ordinamento della struttura NON è necessariamente la chiave primaria della relazione

Strutture ad accesso calcolato (hash)

- Nelle strutture ad accesso calcolato, la posizione di una tupla nel file dipende dal valore assunto da un campo chiave
- Si utilizza una **funzione hash** *h* per trasformare il valore del campo chiave *k* in un indice di posizione nel file (e.g., h(k) = k mod N, dove *N* è la numerosità delle posizioni a disposizione)
- La soluzione è applicabile solo con record a lunghezza fissa
- Ricerca puntuale efficiente, ricerca per intervallo non efficiente
- Richiede strategie di gestione delle collisioni (*catene di overflow*)

Alberi (indici)

- L'organizzazione ad albero può essere impiegata sia per realizzare strutture primarie (i.e., strutture contenenti i dati) sia strutture secondarie (i.e., strutture ausiliarie mirate a favorire l'accesso ai dati memorizzati in altre strutture)

- Quindi distinguiamo:

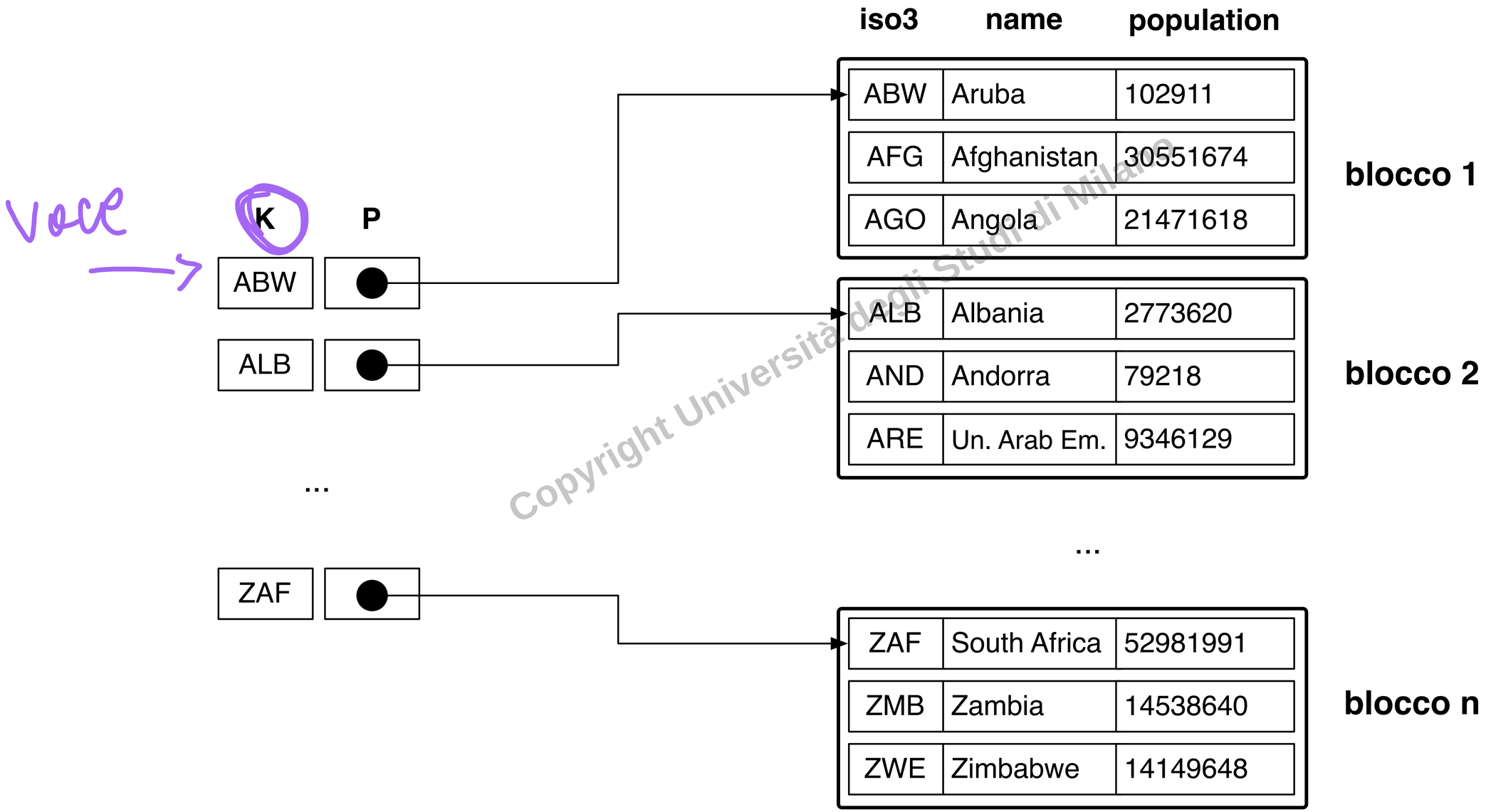
  - **Indici primari**

  - **Indici secondari**

Indici primari

- Un indice primario contiene i dati della relazione (i.e., i record) al suo interno
- Un indice primario garantisce accesso ai dati in base alla pseudochiave usata come campo di ordinamento dei record e ne determina la posizione
- Ciascuna voce dell'indice ha la forma $< k, p >$ dove k è il valore della pseudochiave e p è un puntatore a un'area di memoria
- Il puntatore p può fare riferimento all'inizio del blocco dove il record con chiave k è memorizzato, oppure può tenere conto dell'offset all'interno del blocco

Indici primari



Indici primari

- Il numero delle voci dell'indice primario è uguale al numero di blocchi che costituiscono il file
- In genere, gli indici possono essere **densi**, ovvero contenere una voce per ogni valore della pseudochiave, oppure **sparsi**, ovvero contenere voci solo per alcuni dei valori della pseudochiave
- **Un indice primario è sempre un indice sparso**, poiché un blocco contiene più record

Esempi su indici primari

- **Esempio 1**
  - Record di dimensione fissa R = 100 byte
  - File con r = 30.000 record e blocchi B = 1024 byte
  - Quante voci conterrà l'indice?
- **Esempio 2**
  - I valori della pseudochiave dell'indice occupano 3 byte
  - Il puntatore al blocco è un indirizzo di 6 byte
  - Quanti blocchi occupa l'indice?

$bfr = \lfloor \frac{B}{R} \rfloor = \frac{1024}{100} = 10$

$N = \frac{30'000}{bfr} = 3000$

↓

di blocchi che compone il file

30000

ogni voce dell'ind.ic primario punta ad un blocco

9 byte x voce

3000 · 9 byte = 27'000 B

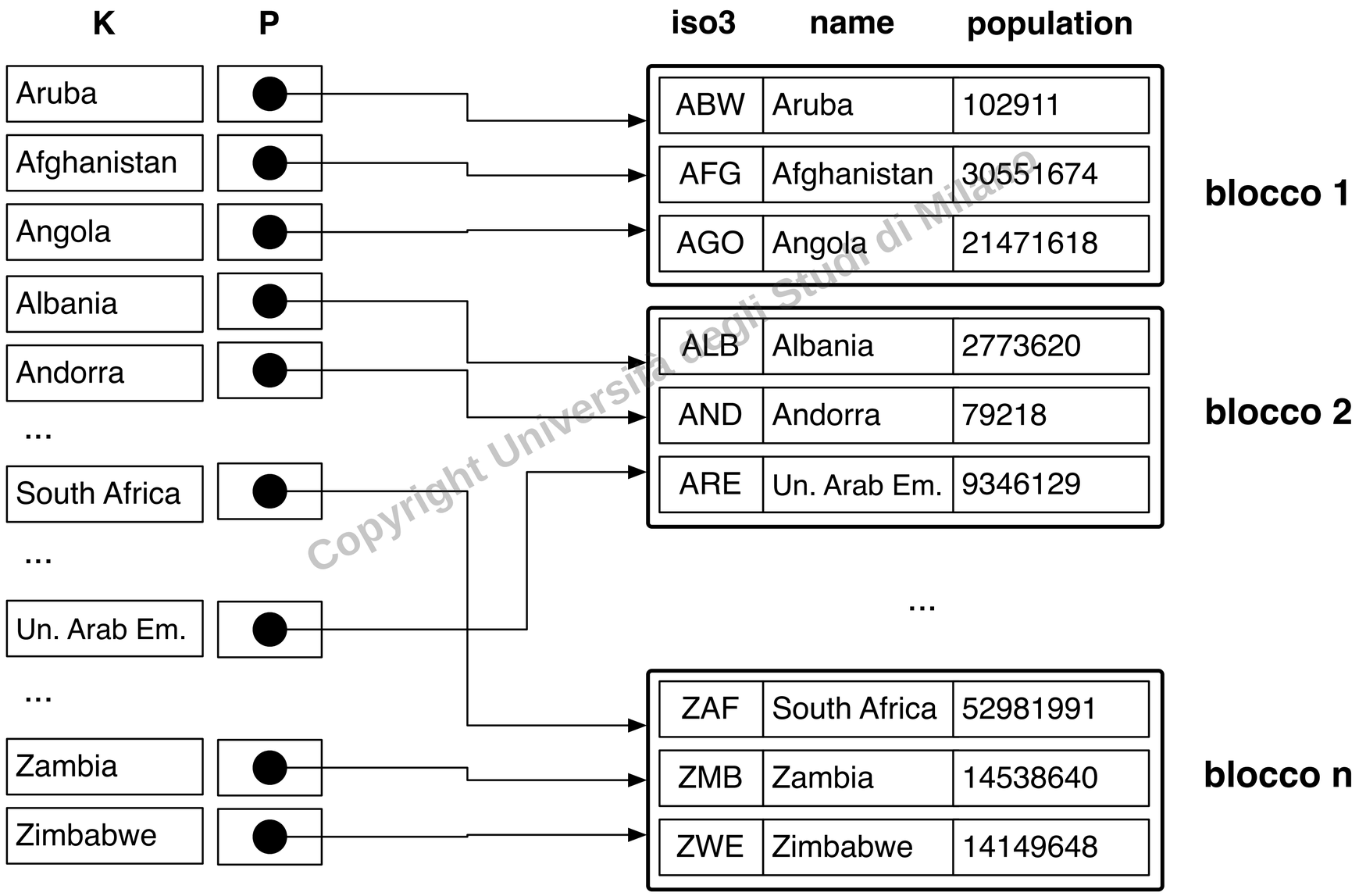
$\lceil 27000/1024 \rceil = 27$ blocchi

dimensione blocco

Indici secondari

- Un indice secondario fornisce un'ulteriore struttura di accesso a un file per il quale ci sia già un indice primario
- Il file contenente i record può essere non ordinato, ad accesso calcolato (hash) o ordinato, ma non rispetto al campo di indicizzazione secondaria
- Il campo di ordinamento dell'indice secondario può essere una chiave (ovvero avere valori univoci) o un qualsiasi attributo della relazione (anche non univoco)
- Un indice secondario deve necessariamente contenere tutti i valori del campo di ordinamento, quindi **gli indici secondari sono sempre indici densi**

Indici secondari



Esempi su indici secondari

record x blocco

$bfr = \lfloor \frac{1024}{100} \rfloor = 10$

- **Esempio**
  - Consideriamo un file che abbia r = 30.000 record di dimensione R = 100 byte e B = 1024 byte per blocco

$\lceil 30000 / bfr \rceil = 3000$ blocch. 1file

  - Quanti accessi sarebbero mediamente necessari con una ricerca lineare su un file non ordinato?

$3000/2 = 1500$

  - Quanti accessi sarebbero necessari con una ricerca binaria assumendo una dimensione di R = 15 byte per ciascuna voce dell'indice?

$bfr = \lfloor \frac{1024}{15} \rfloor \neq 68$

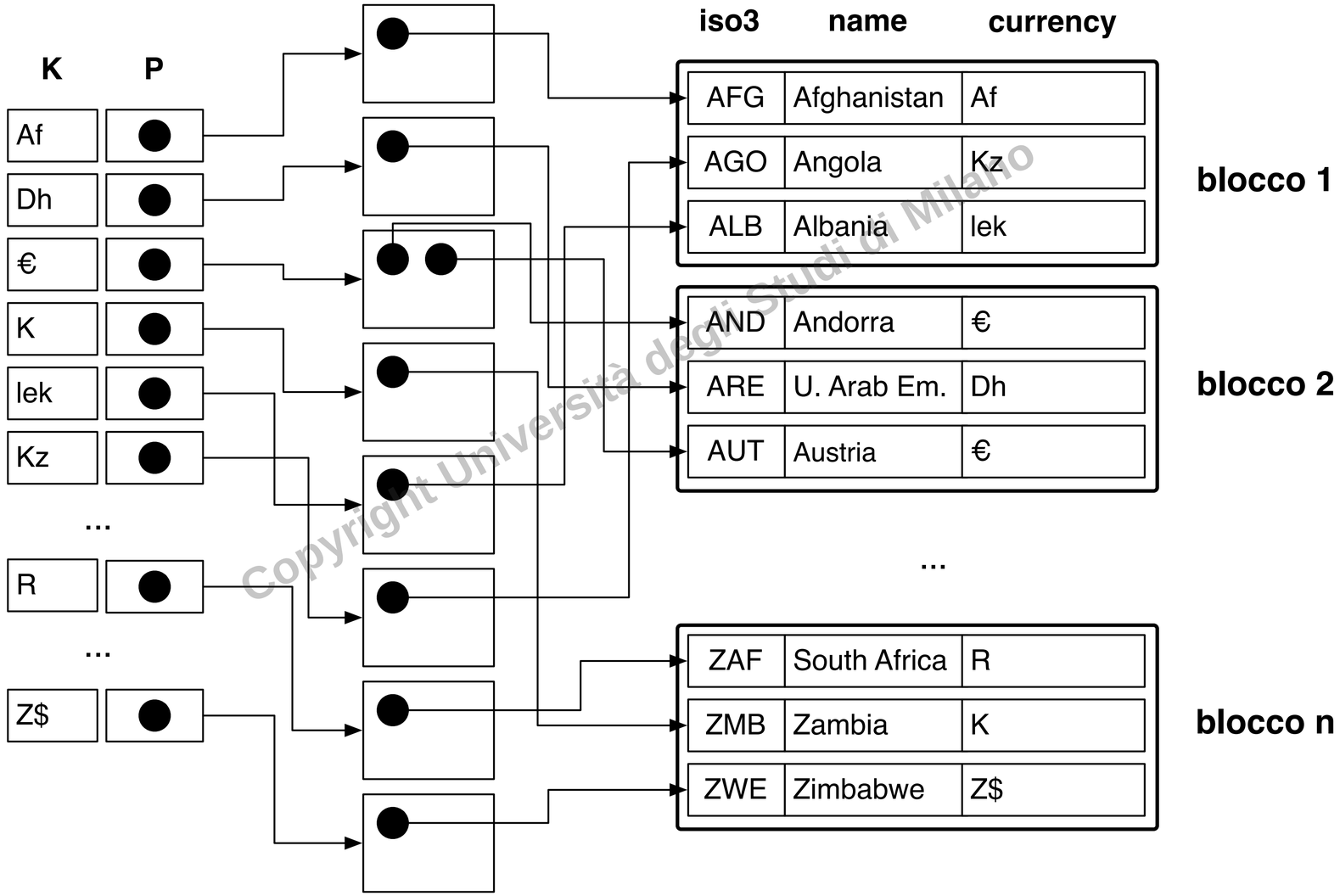
$N = \lceil 30.000 / bfr \rceil = 442$

$\log_2(N)$?

Indici secondari su campi non chiave

- Se il campo di indicizzazione secondario può avere valori duplicati, vi sono tre opzioni di memorizzazione dell'indice:
  - Inserire più voci dell'indice con medesimo valore di K
  - Usare un record a lunghezza variabile per l'indice in modo da inserire più puntatori per ogni voce dell'indice
  - Mantenere voci a lunghezza fissa, ma inserendo un ulteriore livello per i puntatori (si veda lo schema della slide successiva per un esempio)

Indici secondari su campi non chiave



Considerazioni

- Un file può avere un solo indice primario (che determina la posizione dei record nei blocchi di memoria secondaria)
- Un file organizzato con accesso sequenziale non ordinato può essere affiancato da un indice primario per favorire le ricerche puntuali sulla pseudochiave
- Un file organizzato con accesso hash o sequenziale ordinato NON può avere un indice primario
- Un file può avere numerosi indici secondari

Considerazioni

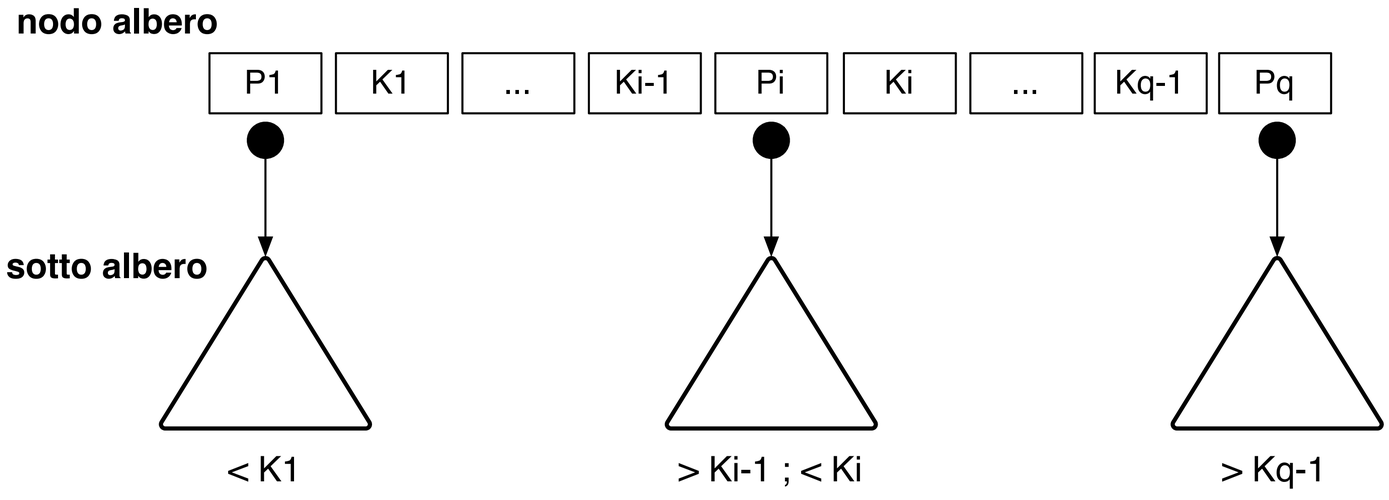
- Gli indici sono file di piccole dimensioni
- Le ricerche sui file di indice sono efficienti (occupano poche pagine e possono essere interamente caricati nel buffer)
- Essendo ordinati, gli indici rendono efficienti sia le ricerche puntuali sia le ricerche per intervallo
- Gli indici hanno tempi di accesso logaritmico in funzione del numero di blocchi occupati

Alberi di ricerca

- Un albero di ricerca di ordine *p* è un albero tale per cui ogni nodo contiene al massimo *p – 1* valori di ricerca e i *p* puntatori sono definiti come segue:

$$\langle P_1, K_1, P_2, K_2, \ldots, P_{q-1}, K_{q-1}, P_q \rangle$$

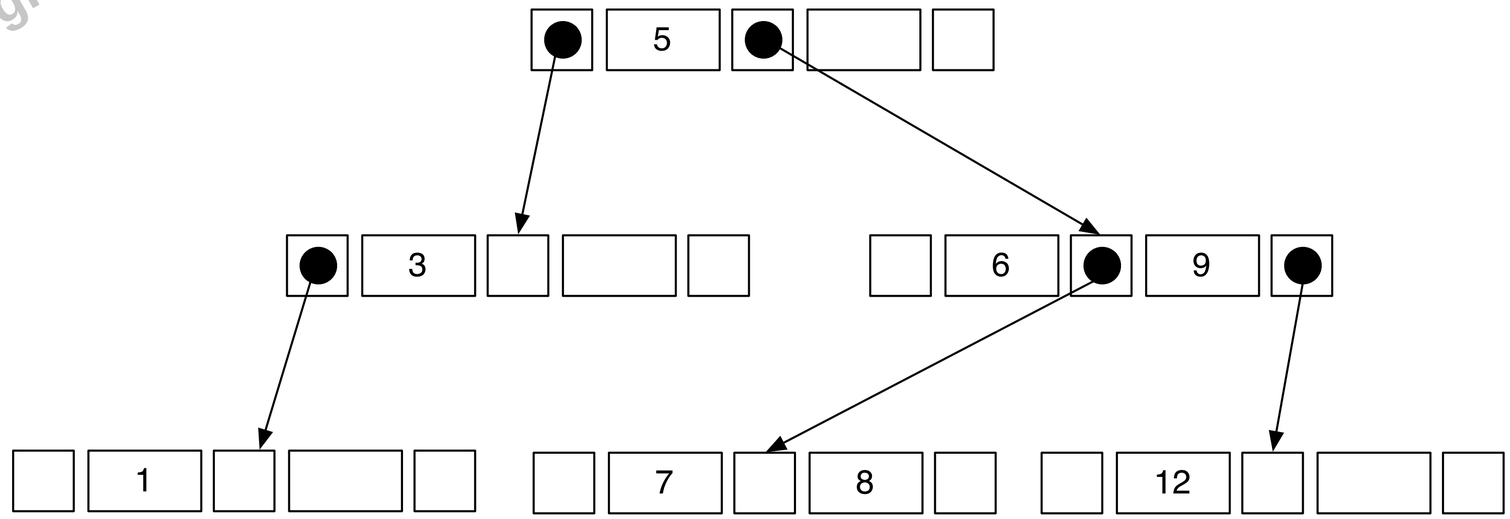
- Vincoli:
  - in ciascun nodo: $K_1 < K_2 < \ldots < K_{q-1}$
  - per tutti i valori X del sottoalbero a cui si riferisce P_i si ha $K_{i-1} < X < K_i$



Alberi di ricerca

- La caratteristica più importante nella gestione di un albero di ricerca è **mantenerne il bilanciamento** in modo che:
  - i nodi siano distribuiti uniformemente e la profondità dell'albero sia minimizzata
  - rendere uniforme la velocità di ricerca in modo che il tempo medio per trovare una qualsiasi chiave sia lo stesso

Albero di ricerca di ordine p=3



Alberi B-tree

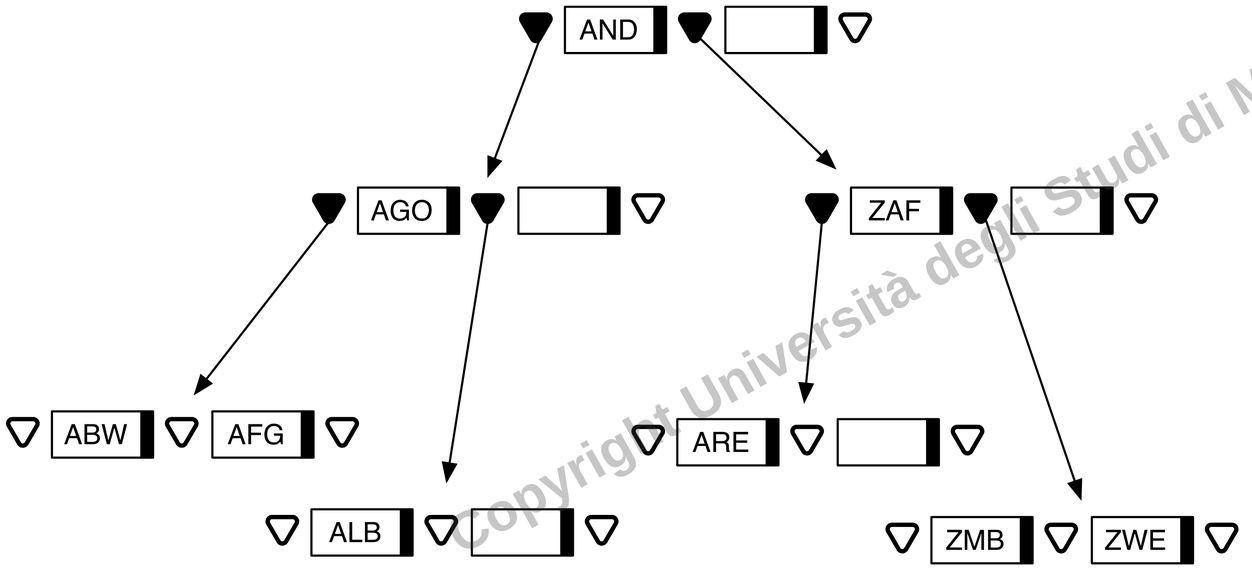
- Un albero B (B-tree, balanced tree) è un albero di ricerca con ulteriori vincoli che ne garantiscono il bilanciamento.
- Consideriamo un B-tree di ordine *p*:
  - ogni nodo interno ha forma $\langle P_1, \langle K_1, Pr_1\rangle, P_2, \langle K_2, Pr_2\rangle, \ldots, \langle K_{q-1}, Pr_{q-1}\rangle, P_q\rangle$, in cui Pr_i è il puntatore al record o blocco corrispondente a K_i, mentre P_i è un puntatore al sotto-albero.
  - all'interno di ogni nodo $K_1 < K_2 < \ldots < K_{q-1}$
  - per tutti i valori X del campo chiave nel sottoalbero puntato da P_i si ha
    - $K_{i-1} < X < K_i$ per $1 < i < q$;
    - $X < K_i$ per i = 1;
    - K_{i-1} per i = q

Alberi B-tree

- Consideriamo un B-tree di ordine *p*:
  - ogni nodo contiene al massimo p puntatori dell'albero
  - ogni nodo tranne radice e foglie ha almeno ⌈p/2⌉ puntatori dell'albero
  - il nodo radice ha almeno due puntatori all'albero salvo che sia l'unico nodo dell'albero
  - un nodo con *q* puntatori a albero (con q ≤ p) contiene *q – 1* valori del campo chiave e, quindi, *q – 1* puntatori ai dati
  - tutti i nodi foglia sono allo stesso livello e hanno la medesima struttura dei nodi intermedi a parte il fatto che tutti i loro puntatori a albero sono nulli

Alberi B-tree

B-TREE di ordine p = 3 (p definisce il numero di puntatori)



FILE DATI

ABW	Aruba	102911
AFG	Afghanistan	30551674
AGO	Angola	21471618
ALB	Albania	2773620
AND	Andorra	79218
ARE	Un. Arab Em.	9346129
ZAF	South Africa	52981991
ZMB	Zambia	14538640
ZWE	Zimbabwe	14149648

LEGENDA

ABW	campo chiave
●	puntatore a dati
▲	puntatore a albero
△	puntatore nullo

Alberi B+

- In un albero B+ i puntatori ai dati sono memorizzati solo nei nodi foglia
- I nodi foglia contengono tutti i valori, mentre i nodi intermedi contengono solo alcuni valori *K* che sono usati per guidare la ricerca come in un B-tree
- I nodi foglia contengono ulteriori puntatori che permettono di accedere da una foglia direttamente alla successiva

Ricerca su alberi B e B+

- La **ricerca su B-tree** è simile alla ricerca su albero binario: si cerca il valore desiderato nel nodo radice dell'albero. Se il valore non è trovato, si ripete ricorsivamente l'operazione sull'albero a cui di riferisce il puntatore a sinistra del primo valore maggiore alla chiave. Se non ci sono valori maggiori della chiave di ricerca si procede con il puntatore a destra dell'ultimo valore del nodo

- La ricerca di una chiave *K* su alberi B+ prevede:

  - Cercare nel nodo radice il più piccolo valore di chiave maggiore di *K*

  - Se il valore esiste, seguire il puntatore subito precedente, altrimenti seguire l'ultimo puntatore del nodo

  - Se raggiungiamo un nodo foglia, cercare *K* nel nodo, altrimenti passare al nodo foglia successivo

Considerazioni su alberi B e B+

- Apparentemente, il fatto di non avere puntatori diretti ai dati nei nodi intermedi può apparire svantaggioso rispetto all'uso dei B-tree

- Poiché nei nodi intermedi occorre memorizzare solo puntatori ai sottoalberi e chiavi e non anche i puntatori ai dati, il numero di puntatori a sottoalberi memorizzabili in un nodo intermedio di un albero B+ è superiore rispetto a un B-tree; ciò comporta un vantaggio in termini di accessi al disco necessari per attraversare l'albero