

## Lezione XXVII Lu 14-Nov-2005

### ADT Coda (Queue)

1

### Coda (*queue*)



- In una *coda* (*queue*) gli oggetti possono essere inseriti ed estratti secondo un comportamento definito **FIFO** (*First In, First Out*)
  - il primo oggetto inserito è il primo a essere estratto
  - il nome è stato scelto in analogia con persone in *coda*
- L'unico oggetto che può essere ispezionato è quello che verrebbe estratto
- Esistono molti possibili utilizzi di una struttura dati con questo comportamento
  - la simulazione del funzionamento di uno sportello bancario con più clienti che arrivano in momenti diversi userà una coda per rispettare la priorità di servizio

2

### Coda (*queue*)

- I metodi che caratterizzano una coda sono
  - `enqueue()` per inserire un oggetto nella coda
  - `dequeue()` per esaminare ed eliminare dalla coda l'oggetto che vi si trova da più tempo
  - `getFront()` per esaminare l'oggetto che verrebbe eliminato da `dequeue()`, senza estrarlo
- Infine, ogni ADT di tipo "contenitore" ha i metodi
  - `isEmpty()` per sapere se il contenitore è vuoto
  - `makeEmpty()` per vuotare il contenitore

3

### Coda (*queue*)

```
public interface Queue extends Container
{
    void enqueue(Object obj);
    Object dequeue();
    Object getFront();
}
```

- Si notino le similitudini con la pila
  - `enqueue()` corrisponde a `push()`
  - `dequeue()` corrisponde a `pop()`
  - `getFront()` corrisponde a `top()`

4

### Coda (*queue*)

```
public interface Queue extends Container
{
    /**
     * inserisce un elemento all'ultimo posto della coda
     * @param obj l'elemento da inserire
     */
    void enqueue(Object obj);

    /**
     * rimuove l'elemento in testa alla coda
     * @return l'elemento rimosso
     * @throws QueueEmptyException se la coda e' vuota
     */
    Object dequeue() throws EmptyQueueException;

    /**
     * restituisce l'elemento in testa alla coda
     * @return l'elemento in testa alla coda
     * @throws EmptyQueueException se la coda e' vuota
     */
    Object getFront() throws EmptyQueueException;
}
```

### Coda (*queue*)

- Per realizzare una coda si può usare una struttura di tipo *array* "riempito solo in parte", in modo simile a quanto fatto per realizzare una pila
- Mentre nella pila si inseriva e si estraeva allo stesso estremo dell'*array* (l'estremo "destro"), qui dobbiamo inserire ed estrarre ai due diversi estremi
  - decidiamo di inserire a destra ed estrarre a sinistra

6

### Coda (queue)

- ❑ Come per la pila, anche per la coda bisognerà segnalare l'errore di accesso a una coda vuota e gestire la situazione di coda piena (segnalando un errore o ridimensionando l'array)
- ❑ Definiamo
  - **EmptyQueueException** e **FullQueueException**

```
public class FullQueueException extends
    RuntimeException
{ }
```

```
public class SlowFixedArrayQueue implements Queue
{
    private Object[] v;
    private int vSize;

    public SlowFixedArrayQueue()
    { v = new Object[100];
      makeEmpty();
    }

    public void makeEmpty()
    { vSize = 0;
    }

    public boolean isEmpty()
    { return (vSize == 0);
    }
    ...// continua
}
```

```
... // continua
public void enqueue(Object obj)
{ if (vSize == v.length)
  throw new FullQueueException();
  v[vSize++] = obj;
}

public Object getFront() throws EmptyQueueException
{ if (isEmpty())
  throw new EmptyQueueException();
  return v[0];
}

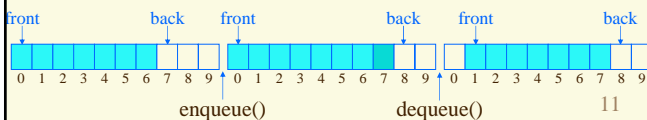
public Object dequeue() throws EmptyQueueException
{ Object obj = getFront();
  vSize--;
  for (int i = 0; i < vSize-1; i++)
    v[i] = v[i+1];
  return obj;
}
```

### Coda (queue)

- ❑ Questa semplice realizzazione con array, che abbiamo visto essere molto efficiente per la pila, è al contrario assai inefficiente per la coda
  - il metodo **dequeue()** è  $O(n)$ , perché bisogna spostare tutti gli oggetti della coda per fare in modo che l'array rimanga "compatto"
  - la differenza rispetto alla pila è dovuta al fatto che nella coda gli inserimenti e le rimozioni avvengono alle due estremità diverse dell'array, mentre nella pila avvengono alla stessa estremità

### Coda (queue)

- ❑ Per realizzare una coda più efficiente servono **due indici** anziché uno soltanto
  - un indice punta al primo oggetto della coda (front) e l'altro indice punta al primo posto libero dopo l'ultimo oggetto della coda (back)
- ❑ In questo modo, aggiornando opportunamente gli indici, si ottiene la realizzazione di una coda con un **"array riempito solo nella parte centrale"** in cui tutte le operazioni sono  $O(1)$ 
  - la gestione dell'array pieno ha le due solite soluzioni, ridimensionamento o eccezione



```
public class FixedArrayQueue implements Queue
{
    protected Object[] v;
    protected int front, back;

    public FixedArrayQueue()
    { v = new Object[100];
      makeEmpty();
    }

    public void makeEmpty()
    { front = back = 0;
    }

    public boolean isEmpty()
    { return (back == front);
    }
    // continua
}
```

```

... // continua
public void enqueue(Object obj)
{ if (back == v.length)
  throw new FullQueueException();
  v[back++] = obj;
}

public Object getFront() throws EmptyQueueException
{ if (isEmpty())
  throw new EmptyQueueException();
  return v[front];
}

public Object dequeue() throws EmptyQueueException
{ Object obj = getFront();
  v[front] = null; //garbage collector
  front++;
  return obj; }
}
    
```

13

### Coda (queue)

- Per rendere la coda ridimensionabile, usiamo la stessa strategia vista per la pila, estendendo la classe **FixedArrayQueue** e sovrascrivendo il solo metodo **enqueue()**

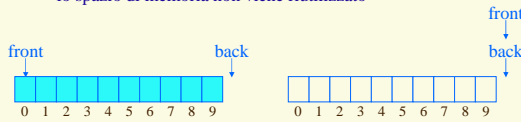
```

public class GrowingArrayQueue
  extends FixedArrayQueue
{ public void enqueue(Object obj)
  { if (back == v.length)
    v = resize(v, 2*v.length);
    super.enqueue(obj);
  }
}
    
```

14

### Prestazioni della coda

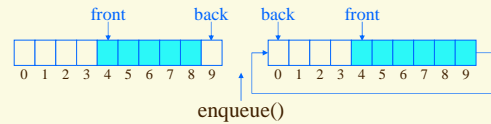
- La realizzazione di una coda con un array e due indici ha la massima efficienza in termini di prestazioni temporali, tutte le operazioni sono  $O(1)$ , ma ha ancora un punto debole
- Se l'array ha N elementi, proviamo a
  - effettuare N operazioni **enqueue()**
 e poi
  - effettuare N operazioni **dequeue()**
- Ora la coda è vuota, ma alla successiva operazione **enqueue()** l'array sarà pieno
  - lo spazio di memoria non viene riutilizzato



15

### Coda con array circolare

- Per risolvere quest'ultimo problema si usa una tecnica detta **"array circolare"**
  - i due indici, dopo essere giunti alla fine dell'array, possono ritornare all'inizio se si sono liberate delle posizioni
  - in questo modo l'array risulta pieno solo se la coda ha effettivamente un numero di oggetti uguale alla dimensione dell'array
  - le prestazioni temporali rimangono identiche



16

### Coda con array circolare

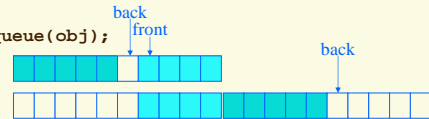
```

public class FixedCircularArrayQueue extends
  FixedArrayQueue
{ // il metodo increment() fa avanzare un indice di una
  // posizione, tornando all'inizio dell'array se si
  // supera la fine
  protected int increment(int index)
  { return (index + 1) % v.length;
  }
  public void enqueue(Object obj)
  { if (increment(back) == front)
    throw new FullQueueException();
    v[back] = obj;
    back = increment(back);
  }
  public Object dequeue()
  { Object obj = getFront();
    front = increment(front);
    return obj;
  }
  // non serve sovrascrivere getFront() perché non
  // modifica le variabili back e front
}
    
```

### Coda con array circolare

```

public class GrowingCircularArrayQueue
  extends FixedCircularArrayQueue
{ public void enqueue(Object obj)
  { if (increment(back) == front)
    { v = resize(v, 2*v.length);
      // se si ridimensiona l'array e la zona utile
      // della coda si trova attorno alla sua fine,
      // la seconda metà del nuovo array rimane vuota
      // e provoca un malfunzionamento della coda,
      // che si risolve spostandovi la parte della
      // coda che si trova all'inizio dell'array
      if (back < front)
        { System.arraycopy(v, 0, v, v.length/2, back);
          back += v.length/2;
        }
    }
    super.enqueue(obj);
  }
}
    
```



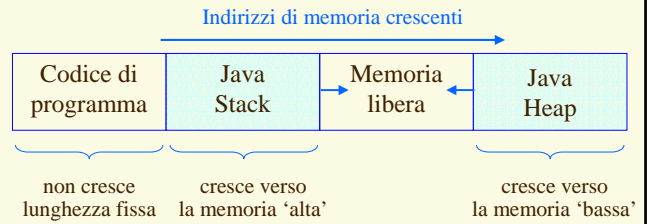
### Allocazione della memoria in Java

- ❑ Il java Stack non è l'unico tipo di memoria disponibile per i programmi java.
- ❑ Durante l'esecuzione dei metodi di un programma vengono creati dinamicamente oggetti (allocazione dinamica) usando lo speciale operatore new di java
  - `BankAccount acct = new BankAccount()` crea dinamicamente un oggetto di classe BankAccount
- ❑ Questo oggetto continua a esistere anche quando l'invocazione del metodo è terminata e quindi non può essere allocato nel Java stack
- ❑ Per l'allocazione dinamica Java usa memoria da un'altra area denominata **java heap**
- ❑ La memoria nello **java heap** è suddivisa in blocchi che sono formati da locazioni contigue (come negli array) e possono essere di lunghezza fissa o variabile
- ❑ I blocchi non usati sono mantenuti in una coda di blocchi

19

### Allocazione della memoria in Java

- ❑ Schema della disposizione degli indirizzi di memoria nella Java Virtual Machine



20

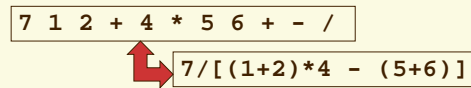
### Esercizio: Calcolatrice

- ❑ Vogliamo risolvere il problema di calcolare il risultato di un'espressione aritmetica (ricevuta come **String**) contenente somme, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni
- ❑ Se l'espressione usa la classica notazione (detta **infixa**) in cui i due operandi di un'operazione si trovano ai due lati dell'operatore, l'ordine di esecuzione delle operazioni è determinato dalle regole di precedenza tra gli operatori e da eventuali parentesi
- ❑ Scrivere un programma per tale compito è piuttosto complesso, mentre è molto più facile calcolare espressioni che usano una diversa notazione

21

### Notazione postfissa

- ❑ Un'espressione aritmetica può anche usare la notazione **postfissa**, detta anche **notazione polacca inversa (RPN, Reverse Polish Notation)**



- ❑ In tale notazione non sono ammesse parentesi (né sarebbero necessarie)
- ❑ I due operandi di ciascun operatore si trovano alla sua sinistra

22

### Notazione postfissa

- ❑ Esiste un semplice algoritmo che usa una pila per valutare un'espressione in notazione postfissa
- ❑ Finché l'espressione non è terminata
  - leggi da sinistra il primo simbolo o valore non letto
  - se è un valore, inseriscilo sulla pila
  - altrimenti (è un operatore...)
    - estrai dalla pila l'operando destro
    - estrai dalla pila l'operando sinistro
    - esegui l'operazione
    - inserisci il risultato sulla pila
- ❑ Alla fine, se la pila contiene più di un valore, l'espressione contiene un errore
- ❑ L'unico valore presente sulla pila è il risultato

23

```
public static double evaluateRPN(String s)
{
    Stack st = new GrowingArrayStack();
    StringTokenizer tk = new StringTokenizer(s);
    while (tk.hasMoreTokens())
    {
        String x = tk.nextToken();
        try
        {
            Double.parseDouble(x);
            // è un valore numerico
            st.push(x);
        }
        catch (NumberFormatException e)
        {
            // è un operatore
            double r = evalOperator(x,
                (String)st.pop(), (String)st.pop());
            st.push(Double.toString(r));
        }
    }
    double r = Double.parseDouble((String)st.pop());
    if (!st.isEmpty()) throw new RuntimeException();
    return r;
}
```

```
private static double evalOperator(String op,
                                   String right,
                                   String left)
{
    double opLeft = Double.parseDouble(left);
    double opRight = Double.parseDouble(right);
    double result;

    if (op.equals("+"))
        result = opLeft + opRight;
    else if (op.equals("-"))
        result = opLeft - opRight;
    else if (op.equals("*"))
        result = opLeft * opRight;
    else if (op.equals("/"))
        result = opLeft / opRight;
    else throw new RuntimeException();

    return result;
}
```

## Esercizio: Controllo di parentesi

26

## Esercizio: Controllo parentesi

- Vogliamo risolvere il problema di verificare se in un'espressione algebrica (ricevuta come **String**) le parentesi tonde, quadre e graffe sono utilizzate in maniera corretta
- In particolare, vogliamo verificare che a ogni parentesi aperta corrisponda una parentesi chiusa dello stesso tipo
- Risolviamo prima il problema nel caso semplice in cui non siano ammesse parentesi annidate

27

## Esercizio: Algoritmo

- Inizializza la variabile booleana **x** a **false** (vale **true** quando ci si trova all'interno di una coppia di parentesi)
- Finché la stringa non è finita
  - leggi nella stringa il carattere più a destra non ancora letto
  - se è una parentesi
    - se è una parentesi aperta
      - se **x** è **false** poni **x = true** e memorizza il tipo di parentesi
      - altrimenti errore (parentesi annidate...)
    - altrimenti (è una parentesi chiusa...)
      - se **x** è **false** errore (parentesi chiusa senza aperta...)
      - altrimenti se corrisponde a quella memorizzata poni **x = false** (la parentesi è stata chiusa...)
      - altrimenti errore (parentesi non corrispondenti)
- Se **x** è **true**, errore (parentesi aperta senza chiusa)

28

```
public static int checkWithoutNesting(String s)
{
    boolean inBracket = false;
    char bracket = '0'; // un valore qualsiasi
    for (int i = 0; i < s.length(); i++)
    {
        char c = s.charAt(i);
        if (isBracket(c))
        {
            if (isOpeningBracket(c))
            {
                if (!inBracket)
                {
                    inBracket = true;
                    bracket = c;
                }
            }
            else return 1; //Errore
        }
        else
        {
            if (!inBracket) return 2; //Errore
            else if (areMatching(bracket, c))
                inBracket = false;
            else return 3; //Errore
        }
    }
    if (inBracket) return 4; //Errore
    return 0; // OK }
}
```

29

```
private static boolean isOpeningBracket(char c)
{
    return c == '(' || c == '[' || c == '{';
}
private static boolean isClosingBracket(char c)
{
    return c == ')' || c == ']' || c == '}';
}
private static boolean isBracket(char c)
{
    return isOpeningBracket(c)
        || isClosingBracket(c);
}
private static boolean areMatching(char c1,
                                    char c2)
{
    return c1 == '(' && c2 == ')' ||
           c1 == '[' && c2 == ']' ||
           c1 == '{' && c2 == '}';
}
```

30

### Esercizio: Controllo parentesi

- ❑ Cerchiamo di risolvere il caso più generale, in cui le parentesi di vario tipo possono essere annidate

```
a + [ c + ( g + h ) + ( f + z ) ]
```

- ❑ In questo caso non è più sufficiente memorizzare il tipo dell'ultima parentesi che è stata aperta, perché ci possono essere più parentesi aperte che sono in attesa di essere chiuse
  - quando si chiude una parentesi, bisogna controllare se corrisponde al tipo della parentesi in attesa che è stata aperta *più recentemente*

31

### Esercizio: Controllo parentesi

- ❑ Possiamo quindi risolvere il problema usando una pila
- ❑ Effettuando una scansione della stringa da sinistra a destra
  - inseriamo nella pila le parentesi aperte
  - quando troviamo una parentesi chiusa, estraiamo una parentesi dalla pila (che sarà quindi l'ultima ad esservi stata inserita) e controlliamo che i tipi corrispondano, segnalando un errore in caso contrario
    - se ci troviamo a dover estrarre da una pila vuota, segnaliamo l'errore (parentesi chiusa senza aperta)
  - se al termine della stringa la pila non è vuota, segnaliamo l'errore (parentesi aperta senza chiusa)

32

```
public static int checkWithNesting(String s)
{
    Stack st = new GrowingArrayStack();
    for (int i = 0; i < s.length(); i++)
    {
        char c = s.charAt(i);
        if (isBracket(c))
            if (isOpeningBracket(c))
                st.push(new Character(c));
            else
                try
                {
                    Object obj = st.pop();
                    Character ch = (Character)obj;
                    char cc = ch.charValue();
                    if (!areMatching(cc, c))
                        return 3; //Errore
                } catch (EmptyStackException e)
                {
                    return 2; } //Errore
    }
    if (!st.isEmpty()) return 4; //Errore
    return 0;
}
```

33

### Estrarre oggetti da una struttura dati

- ❑ Abbiamo visto che le strutture dati generiche, definite in termini di **Object**, sono molto comode perché possono contenere oggetti di qualsiasi tipo
- ❑ Sono però un po' scomode nel momento in cui effettuiamo l'estrazione (o l'ispezione) di oggetti in esse contenuti
  - viene sempre restituito un riferimento di tipo **Object**, indipendentemente dal tipo di oggetto effettivamente restituito
  - si usa un cast per ottenere un riferimento del tipo originario

```
Object obj = st.pop();
Character ch = (Character)obj;
```

34

### Estrarre oggetti da una struttura dati

```
Character ch = (Character)st.pop();
```

- ❑ Sappiamo che serve il cast perché l'operazione di assegnamento è potenzialmente pericolosa
- ❑ Il programmatore si assume la responsabilità di inserire nella struttura dati oggetti del tipo corretto
- ❑ Cosa succede se è stato inserito un oggetto che NON sia di tipo **Character**?
  - viene lanciata l'eccezione **ClassCastException**
- ❑ Possiamo scrivere codice che si comporti in modo più sicuro?

35

### Estrarre oggetti da una struttura dati

- ❑ Ricordiamo che le eccezioni la cui gestione non è obbligatoria, come **ClassCastException**, possono comunque essere gestite!

```
try
{
    Character ch = (Character)st.pop();
}
catch (ClassCastException e)
{
    // gestione dell'errore
}
```

- ❑ In alternativa si può usare l'operatore **instanceof**

```
Object obj = st.pop();
if (obj instanceof Character)
    Character ch = (Character)obj;
else
    // gestione dell'errore
```

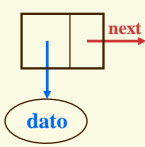
36

## Lezione XXVIII Ma 15-Nov-2005

# Lista Concatenata (Linked List)

37

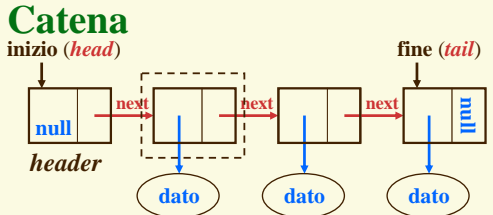
## Catena (linked list)



- ❑ La *catena* o *lista concatenata* (*linked list*) non è un nuovo ADT, ma è una **struttura dati** alternativa all'array per la realizzazione di ADT
- ❑ Una catena è un insieme *ordinato* di *nodi*
  - ogni nodo è un oggetto che contiene
    - un riferimento a un elemento (*il dato*)
    - un riferimento al nodo *successivo* nella catena (*next*)

38

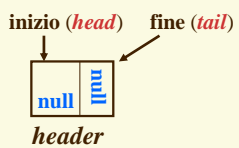
## Catena



- ❑ Per agire sulla catena è sufficiente memorizzare il **riferimento al suo primo nodo**
  - è comodo avere anche un riferimento all'ultimo nodo
- ❑ Il campo **next** dell'ultimo nodo contiene **null**
- ❑ Vedremo che è comodo avere un primo nodo senza dati, chiamato *header*

39

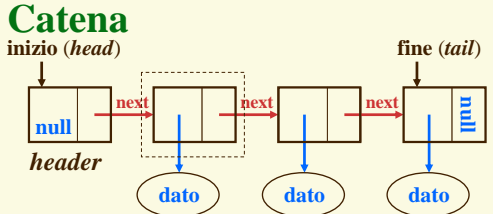
## Catena vuota



- ❑ Per capire bene il funzionamento della catena, è necessario avere ben chiara la rappresentazione della *catena vuota*
  - contiene il solo nodo *header*, che ha **null** in entrambi i suoi campi
  - **head** e **tail** puntano entrambi a tale *header*

40

## Catena



- ❑ Per accedere in sequenza a tutti i nodi della catena si parte dal riferimento **inizio** e si seguono i riferimenti contenuti nel campo **next** di ciascun nodo
  - non è possibile scorrere la lista in senso inverso
  - la scansione termina quando si trova il nodo con il valore **null** nel campo **next**

41

## Nodo di una catena

```

public class ListNode
{
    private Object element;
    private ListNode next; //stranezza

    public ListNode(Object e, ListNode n)
    {
        element = e;
        next = n;
    }

    public ListNode()
    {
        this(null, null);
    }

    public Object getElement() { return element; }
    public ListNode getNext() { return next; }
    public void setElement(Object e) { element = e; }
    public void setNext(ListNode n) { next = n; }
}
    
```

## Auto-riferimento

```
public class ListNode
{
    ...
    private ListNode next; //stranezza
}
```

- Nella definizione della classe **ListNode** notiamo una “stranezza”
  - la classe definisce e usa *referimenti a oggetti del tipo che sta definendo*
- Ciò è perfettamente lecito e *si usa molto spesso* quando si rappresentano “strutture a definizione ricorsiva” come la catena

43

## Incapsulamento eccessivo?

- A cosa serve l’incapsulamento in classi che hanno lo stato completamente accessibile tramite metodi?
  - *apparentemente a niente...*
- Supponiamo di essere in fase di debugging e di aver bisogno della visualizzazione di un messaggio ogni volta che viene modificato il valore di una variabile di un nodo
  - se non abbiamo usato l’incapsulamento, occorre aggiungere enuncianti in tutti i punti del codice dove vengono usati i nodi...
  - elevata probabilità di errori o dimenticanze

44

## Incapsulamento eccessivo?

- Se invece usiamo l’incapsulamento
  - è sufficiente inserire l’enunciato di visualizzazione all’interno dei metodi **set()** che interessano
  - le variabili di esemplare possono essere modificate **SOLTANTO** mediante l’invocazione del corrispondente metodo **set()**
  - terminato il debugging, per eliminare le visualizzazioni è sufficiente modificare il solo metodo **set()**, senza modificare di nuovo moltissime linee di codice

45

## Catena

- I metodi utili per una catena sono
  - **addFirst()** per inserire un oggetto all’inizio della catena
  - **addLast()** per inserire un oggetto alla fine della catena
  - **removeFirst()** per eliminare il primo oggetto della catena
  - **removeLast()** per eliminare l’ultimo oggetto della catena
- Spesso si aggiungono anche i metodi
  - **getFirst()** per esaminare il primo oggetto
  - **getLast()** per esaminare l’ultimo oggetto
- Si osservi che non vengono mai restituiti né ricevuti riferimenti ai **nodi**, ma sempre ai **dati** contenuti nei nodi

46

## Catena

- Infine, dato che anche la catena è un contenitore, ci sono i metodi
  - **isEmpty()** per sapere se la catena è vuota
  - **makeEmpty()** per rendere vuota la catena
- Si definisce l’eccezione **EmptyLinkedListException**
- Si noti che, non essendo la catena un ADT, non viene definita un’interfaccia
  - la catena non è un ADT perché nella sua definizione abbiamo esplicitamente indicato **COME** la struttura dati deve essere realizzata, e non semplicemente il suo comportamento

47

## Catena

```
public class LinkedList implements Container
{
    // parte privata
    private ListNode head, tail;

    public LinkedList()
    {
        makeEmpty();
    }

    public void makeEmpty()
    {
        head = tail = new ListNode();
    }

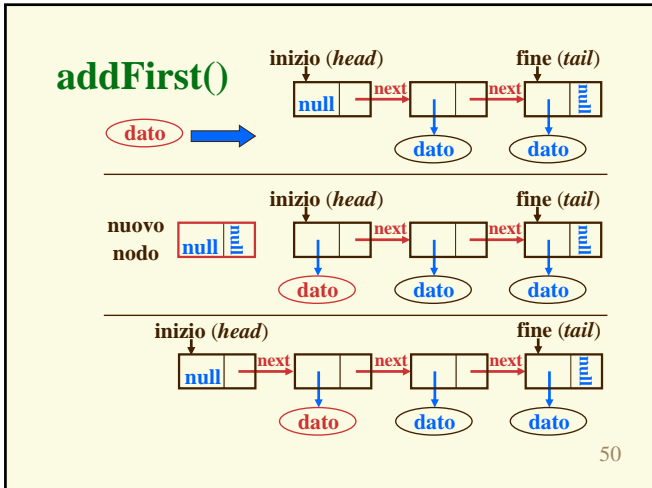
    public boolean isEmpty()
    {
        return (head == tail);
    }
    ...
}
```



### Catena

```

public class LinkedList implements Container
{
    ...
    public Object getFirst() // operazione O(1)
    {
        if (isEmpty())
            throw new EmptyLinkedListException();
        return head.getNext().getElement();
    }
    public Object getLast() // operazione O(1)
    {
        if (isEmpty())
            throw new EmptyLinkedListException();
        return tail.getElement();
    }
    ...
}
    
```



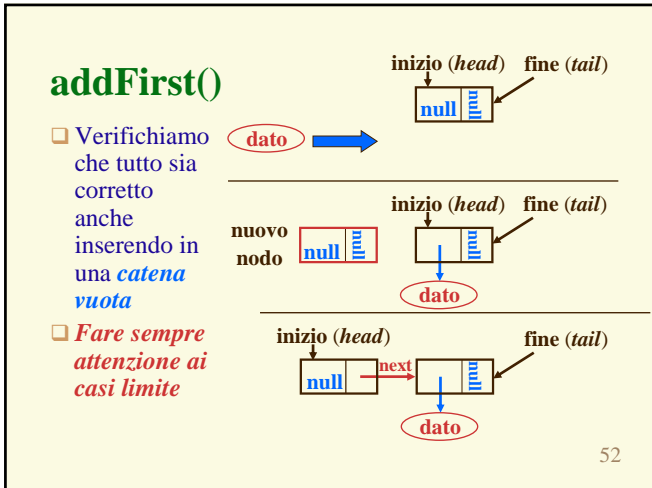
### addFirst()

```

public class LinkedList ...
{
    ...
    public void addFirst(Object e) {
        // inserisco il dato nell'header attuale
        head.setElement(e);
        // creo un nodo con due riferimenti null
        ListNode newNode = new ListNode();
        // collego il nuovo nodo all'header attuale
        newNode.setNext(head);
        // il nuovo nodo diventa il nodo header
        head = newNode;
        // tail non viene modificato
    }
}
    
```

- Non esiste il problema di "catena piena"
- L'operazione è  $O(1)$

51



### addFirst()

```

public void addFirst(Object e) {
    head.setElement(e);
    ListNode n = new ListNode();
    n.setNext(head);
    head = n;
}
    
```

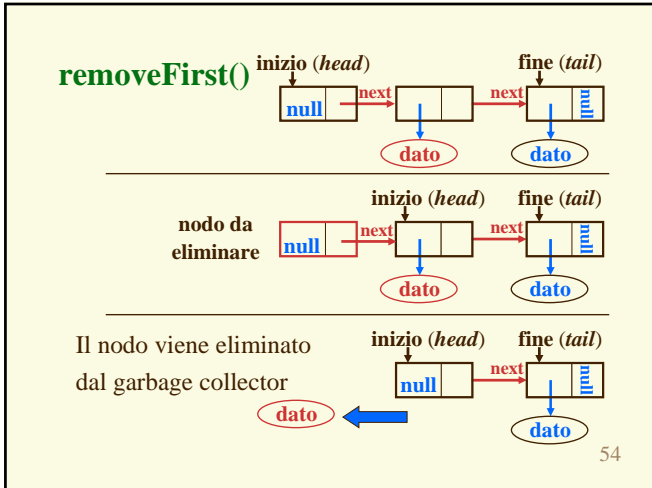
- Il codice di questo metodo si può esprimere anche in modo più conciso

```

public void addFirst(Object e) {
    head.setElement(e);
    // funziona perché prima head viene USATO
    // (a destra) e solo successivamente viene
    // MODIFICATO (a sinistra)
    head = new ListNode(null, head);
}
    
```

- È più "professionale", anche se meno leggibile

53



### removeFirst()

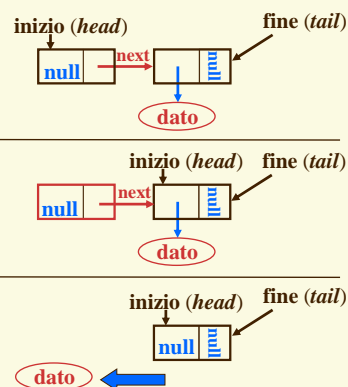
```
public class LinkedList ...
{
    ...
    public Object removeFirst() {
        // delega a getNext il
        // controllo di lista vuota
        Object e = getFirst();

        // aggiorno l'header
        head = head.getNext();
        head.setElement(null);
        return e;
    }
}
```

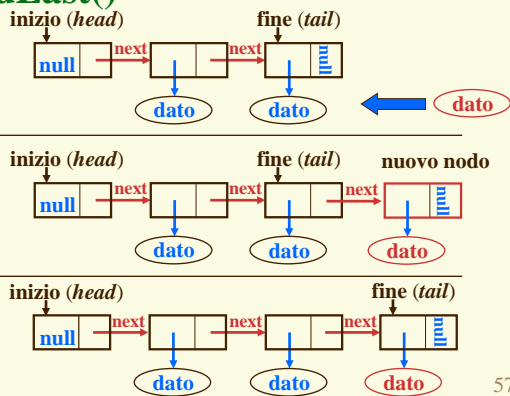
□ L'operazione è  $O(1)$

### removeFirst()

- Verifichiamo che tutto sia corretto anche rimanendo con una **catena vuota**
- Fare sempre attenzione ai **casi limite**



### addLast()



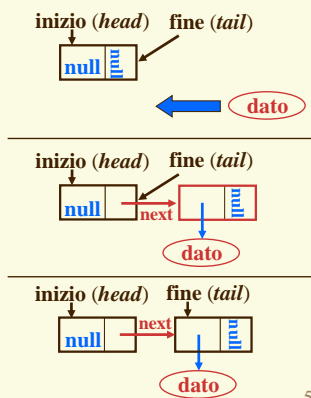
### addLast()

```
public class LinkedList ...
{
    ...
    public void addLast(Object e) {
        tail.setNext(new ListNode(e, null));
        tail = tail.getNext();
    }
}
```

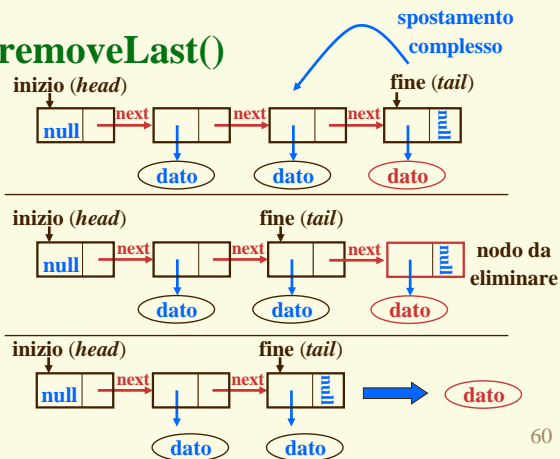
- Non esiste il problema di "catena piena"
- Anche questa operazione è  $O(1)$

### addLast()

- Verifichiamo che tutto sia corretto anche inserendo in una **catena vuota**
- Fare sempre attenzione ai **casi limite**



### removeLast()

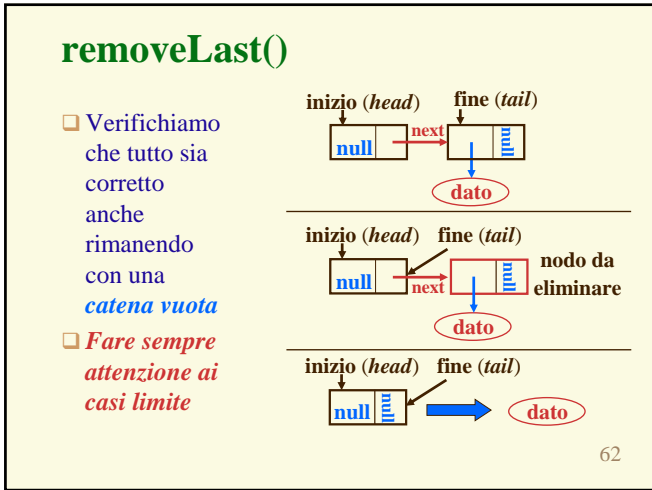


### removeLast()

```

public class LinkedList ...
{
    ...
    public Object removeLast() {
        Object e = getLast();
        // bisogna cercare il penultimo nodo
        // partendo dall'inizio e finché non si
        // arriva alla fine della catena
        ListNode temp = head;
        while (temp.getNext() != tail)
            temp = temp.getNext();
        // a questo punto temp si riferisce al
        // penultimo nodo
        tail = temp;
        tail.setNext(null);
        return e;
    }
}
    
```

Operazione  $O(n)$



### Header della catena

- La presenza del nodo *header* nella catena rende più semplici i metodi della catena stessa
  - in questo modo, non è necessario gestire i casi limite in modo diverso dalle situazioni ordinarie
- Senza usare il nodo *header*, le prestazioni asintotiche rimangono comunque le stesse
- Usando il nodo *header* si “spreca” un nodo
  - per valori elevati del numero di dati nella catena questo spreco, in percentuale, è trascurabile

63

### Prestazioni della catena

- Tutte le operazioni sulla *catena* sono  $O(1)$  tranne *removeLast()* che è  $O(n)$ 
  - si potrebbe pensare di tenere un riferimento anche al *penultimo* nodo, ma per *aggiornare* tale riferimento sarebbe comunque necessario un tempo  $O(n)$
- Se si usa una catena con il solo riferimento *head*, anche *addLast()* diventa  $O(n)$ 
  - per questo è utile usare il riferimento *tail*, che migliora le prestazioni di *addLast()* senza peggiorare le altre e non richiede molto spazio di memoria

64

### Prestazioni della catena

- Non esiste il problema di “catena piena”
  - non bisogna mai “ridimensionare” la catena
  - la JVM lancia l’eccezione **OutOfMemoryError** se viene esaurita la memoria disponibile (heap)
- Non c’è spazio di memoria sprecato (come negli array “riempiti solo in parte”)
  - un nodo occupa però più spazio di una cella di array, almeno il doppio (contiene due riferimenti anziché uno)

65

### Catena

```

public class LinkedList
{
    private ListNode head, tail;

    public LinkedList(){... }
    public void makeEmpty(){ } // O(1)
    public boolean isEmpty(){ } // O(1)
    public Object getFirst(){ } // O(1)
    public Object getLast(){ } // O(1)
    public void addFirst(Object obj) { } // O(1)
    public Object removeFirst() { } // O(1)
    public void addLast(Object obj) { } // O(1)
    public Object removeLast(){ } // O(n)
}
    
```

66

## Classi interne

- ❑ Osserviamo che la classe **ListNode**, usata dalla catena, non viene usata al di fuori della catena stessa
  - la catena non restituisce mai riferimenti a **ListNode**
  - la catena non riceve mai riferimenti a **ListNode**
- ❑ Per il principio dell'incapsulamento (*information hiding*) sarebbe preferibile che questa classe e i suoi dettagli non fossero visibili all'esterno della catena
  - in questo modo una modifica della struttura interna della catena e/o di **ListNode** non avrebbe ripercussioni sul codice scritto da chi usa la catena

67

## Classi interne

- ❑ Il linguaggio Java consente di *definire classi all'interno di un'altra classe*
  - tali classi si chiamano *classi interne (inner classes)*
- ❑ L'argomento è molto vasto
- ❑ A noi interessa solo il fatto che se una classe interna viene definita
  - **private** essa è accessibile (in tutti i sensi) soltanto all'interno della classe in cui è definita
  - dall'esterno non è nemmeno possibile creare oggetti di tale classe interna

```
public class LinkedList ...
{
    ...
    private class ListNode
    { ... }
}
```

## Catena

```
public class LinkedList
{
    private ListNode head, tail;

    public LinkedList(){ }
    public void makeEmpty(){ } // O(1)
    public boolean isEmpty(){ } // O(1)
    public Object getFirst(){ } // O(1)
    public Object getLast(){ } // O(1)
    public void addFirst(Object obj) { } // O(1)
    public Object removeFirst() { } // O(1)
    public void addLast(Object obj) { } // O(1)
    public Object removeLast(){ } // O(n)

    private class ListNode
    {
        ...
    }
}
```

## Utilizzo di catene

70

## Pila realizzata con una catena

- ❑ Una pila può essere realizzata usando una catena invece di un array
- ❑ Si noti che entrambe le estremità di una catena hanno, prese singolarmente, il comportamento di una pila
  - si può quindi realizzare una pila usando una delle due estremità della catena
  - è più efficiente usare l'*inizio* della catena, perché le operazioni su tale estremità sono **O(1)**

71

## Pila realizzata con una catena

```
public class LinkedListStack implements Stack
{
    private LinkedList list;

    public LinkedListStack()
    {
        list = new LinkedList();
    }
    public void push(Object obj)
    {
        list.addFirst(obj);
    }
    public Object pop()
    {
        return list.removeFirst();
    }
    public Object top()
    {
        return list.getFirst();
    }
    public void makeEmpty()
    {
        list.makeEmpty();
    }
    public boolean isEmpty()
    {
        return list.isEmpty();
    }
}
```

## Coda realizzata con una catena

- Anche una coda può essere realizzata usando una catena invece di un array
- È sufficiente inserire gli elementi a un'estremità della catena e rimuoverli all'altra estremità per ottenere il comportamento di una coda
- Perché tutte le operazioni siano  $O(1)$  bisogna *inserire alla fine e rimuovere all'inizio*

73

## Coda realizzata con una catena

```
public class LinkedListQueue implements Queue
{
    private LinkedList list;

    public LinkedListQueue()
    {
        list = new LinkedList();
    }
    public void enqueue(Object obj)
    {
        list.addLast(obj);
    }
    public Object dequeue()
    {
        return list.removeFirst();
    }
    public Object getFront()
    {
        return list.getFirst();
    }
    public void makeEmpty()
    {
        list.makeEmpty();
    }
    public boolean isEmpty()
    {
        return list.isEmpty();
    }
}
```

## Algoritmi per catene

75

## Catena: conteggio elementi

- Per contare gli elementi presenti in una catena è necessario scorrere tutta la catena

```
public class LinkedList ...
{
    ...
    public int getSize()
    {
        ListNode temp = head.getNext();
        int size = 0;
        while (temp != null)
        {
            size++;
            temp = temp.getNext();
        }
        // osservare che size è zero
        // se la catena è vuota (corretto)
        return size;
    }
}
```

## Algoritmi per catene

- Osserviamo che per eseguire algoritmi sulla catena è necessario *aggiungere metodi all'interno della classe LinkedList*, che è l'unica ad avere accesso ai nodi della catena
  - ad esempio, un metodo che verifichi la presenza di un particolare oggetto nella catena (algoritmo di ricerca)
- Questo limita molto l'utilizzo della catena come struttura dati definita una volta per tutte...
  - vogliamo che la catena fornisca *uno strumento per accedere ordinatamente a tutti i suoi elementi*

77

## Algoritmi per catene

- L'idea più semplice è quella di fornire un metodo `getHead()`

```
public class LinkedList ...
{
    ...
    public ListNode getHead()
    {
        return head;
    }
}
```

ma questo viola completamente l'incapsulamento, perché diventa possibile modificare direttamente lo stato interno della catena, anche in modo da non farla più funzionare correttamente

- Fortunatamente **non funziona**, perché `ListNode` è una classe interna

78

## Lezione XXIX Me 16-Nov-2005

### Iteratore in una Lista Concatenata

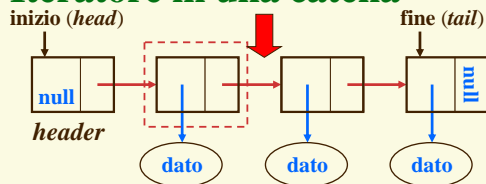
79

### Iteratore in una catena

- La soluzione del problema della scansione della lista senza interagire con i nodi è quella di fornire all'utente della catena uno strumento con cui interagire con la catena per scandire i suoi nodi
- Tale oggetto si chiama *iteratore* e ne definiamo prima di tutto il comportamento astratto
  - un iteratore rappresenta in astratto *il concetto di posizione* all'interno di una catena
  - un iteratore si trova sempre **DOPO** un nodo e **PRIMA** del nodo successivo (che può non esistere se l'iteratore si trova dopo l'ultimo nodo)
    - all'inizio l'iteratore si trova dopo il nodo **header**

80

### Iteratore in una catena



- Un iteratore rappresenta in astratto *il concetto di posizione* all'interno di una catena
  - la posizione è rappresentata concretamente da un riferimento a un nodo (il nodo precedente alla posizione dell'iteratore)

81

### Iteratore in una catena

```
public interface ListIterator
{
    // Funzionamento del costruttore:
    // quando viene costruito, l'iteratore si
    // trova nella prima posizione,
    // cioè DOPO il nodo header

    // se l'iteratore si trova alla fine della
    // catena, lancia NoSuchElementException,
    // altrimenti restituisce l'oggetto che si
    // trova nel nodo posto DOPO la posizione
    // attuale e sposta l'iteratore di una
    // posizione in avanti lungo la catena
    Object next();

    // verifica se è possibile invocare next()
    // senza che venga lanciata un'eccezione
    boolean hasNext();
}
```

### Iteratore in una catena

- A questo punto, è sufficiente che la catena fornisca un metodo per creare un iteratore

```
public class LinkedList
{
    ...
    public ListIterator getIterator()
    { return ...; } // dopo vediamo come fare
}
```

e si può scandire la catena senza accedere ai nodi

```
LinkedList list = new LinkedList();
...
ListIterator iter = list.getIterator();
while(iter.hasNext())
    System.out.println(iter.next());
```

83

### Iteratore in una catena

- Come realizzare il metodo `getIterator()` nella catena?
  - osserviamo che restituisce un riferimento ad una interfaccia, per cui dovrà creare un oggetto di una classe che realizzi tale interfaccia
  - definiamo la classe `LinkedListIterator` che realizza `ListIterator`
- Gli oggetti di tale classe vengono costruiti soltanto all'interno di `LinkedList` e vengono restituiti all'esterno soltanto tramite riferimenti a `ListIterator`
  - quindi possiamo usare una classe interna

84

## Iteratore in una catena

- ❑ Per un corretto funzionamento dell'iteratore occorre concedere a tale oggetto il pieno accesso alla catena
  - in particolare, alla sua variabile di esemplare **head**
  - non vogliamo però che l'accesso sia consentito anche ad altre classi
- ❑ Questo è consentito dalla definizione di **classe interna**
  - una classe interna può accedere agli elementi **private** della classe in cui è definita
  - essendo tali elementi definiti **private**, l'accesso è impedito alle altre classi

85

```
public class LinkedList ...
{
    ...
    public ListIterator getIterator()
    {
        return new LinkedListIterator(head);
    }
    private class LinkedListIterator
    implements ListIterator
    {
        // nodo che precede la posizione attuale
        // (non è mai null)
        private ListNode current;
        // nodo precedente
        private ListNode previous;

        public LinkedListIterator(ListNode h)
        {
            current = h; previous = null;
        }
    }
    ...
}
```

```
import java.util.NoSuchElementException
public class LinkedList ...
{
    ...
    private class LinkedListIterator
    implements ListIterator
    {
        public boolean hasNext()
        {
            return current.getNext() != null;
        }
        public Object next()
        {
            if (!hasNext())
                throw new NoSuchElementException();
            previous = current;
            current = current.getNext();
            return current.getElement();
        }
    }
}
```

## Catena: conteggio elementi

- ❑ Possiamo quindi riscrivere il metodo di conteggio degli elementi contenuti in una catena, ma al di fuori della catena stessa, in una classe qualsiasi

```
public static int getSize(LinkedList list)
{
    ListIterator iter = list.getIterator();
    int size = 0;
    while (iter.hasNext())
    {
        size++;
        iter.next(); //ignoro l'oggetto ricevuto
    }
    return size;
}
```

88

## Catena: inserimento e rimozione

- ❑ Abbiamo visto l'inserimento e la rimozione di un elemento all'inizio e alla fine della catena
  - addFirst(), addlast()
- ❑ Vogliamo estendere le modalità di funzionamento della catena per poter inserire e rimuovere elementi in qualsiasi punto della catena stessa
  - abbiamo di nuovo il problema di **rappresentare il concetto di posizione**, la posizione in cui inserire il nuovo nodo nella catena o da cui rimuovere il nodo
- ❑ Usiamo di nuovo l'**iteratore**
  - dobbiamo però estenderne le funzionalità

89

## Iteratore in una catena

```
public interface ListIterator
{
    boolean hasNext();
    Object next();

    // inserisce l'oggetto x in un nuovo nodo
    // che si aggiunge alla catena PRIMA della
    // posizione attuale,
    // senza modificare la posizione dell'iteratore
    void add(Object x);

    //elimina l'ultimo nodo esaminato da next()
    //senza modificare la posizione dell'iteratore;
    //può essere invocato solo dopo un'invocazione
    //di next() (lancia IllegalStateException)
    void remove();
}
```

90

```
private class LinkedListIterator . . .
{ private ListNode previous;
  //non fa avanzare l'iteratore
  //diverso da C. S. Horstmann pp 610
  public void add(Object obj)
  { ListNode n = new ListNode(obj, current.getNext());
    current.setNext(n);
    previous = null;
  }
}
```

```
private class LinkedListIterator . . .
{ private ListNode previous;
  ...
  public void remove()
  { if (previous == null)
    { throw new IllegalStateException();
      previous.setNext(current.getNext());
      current = previous;
      previous = null; // non si puo' chiamare
                      // remove() due volte
                      // di seguito
    }
  }
}
```

### Copia da una catena all'altra

```
//Copia da una lista a un'altra
public static void copy(LinkedList from,
  LinkedList to)
{
  //le due liste sono lo stesso oggetto
  if(from == to) return;

  to.makeEmpty(); //Vuoto la seconda
  ListIterator fromItr = from.getIterator();
  ListIterator toItr = to.getIterator();
  while (fromItr.hasNext())
  {
    toItr.add(fromItr.next());
    toItr.next();
  }
}
```

### Più iteratori sulla stessa lista

- Se vengono creati *più iteratori che agiscono sulla stessa lista*
  - cosa perfettamente lecita, invocando più volte il metodo **getIterator()**
  - ciascuno di essi mantiene il proprio stato*, cioè memorizza la propria posizione nella lista
- Ciascun iteratore può muoversi nella lista indipendentemente dagli altri
  - occorre però usare qualche cautela quando si usano gli iteratori per *modificare* la lista

### Più iteratori sulla stessa lista

```
List list = new LinkedList()
ListIterator iter1 = list.getIterator();
iter1.add(new Integer(1));
ListIterator iter2 = list.getIterator();
// iter2 punta al primo elemento in lista, 1
ListIterator iter3 = list.getIterator();
iter3.add(new Integer(2));
// il primo elemento della lista è diventato 2
System.out.println(iter2.next()); // 1
// iter2 non funziona correttamente!!
```

- L'argomento è molto complesso, ma viene qui soltanto accennato per invitare alla cautela nell'uso di più iteratori contemporaneamente
  - nessun problema se si usano solo in lettura*

### Catena doppia (doubly linked list)

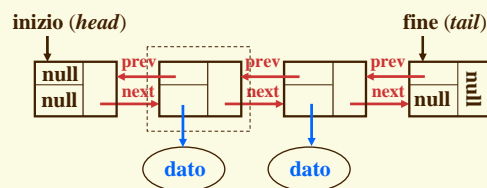


### Catena doppia

- ❑ La *catena doppia* (lista doppiamente concatenata, *doubly linked list*) non è un nuovo ADT, ma è una struttura dati per la realizzazione di ADT
- ❑ Una catena doppia è un insieme *ordinato* di *nodi*
  - ogni nodo è un oggetto che contiene
    - un riferimento ad un elemento (*il dato*)
    - un riferimento al nodo successivo della lista (*next*)
    - un riferimento al nodo precedente della lista (*prev*)

97

### Catena doppia



- ❑ Dato che la struttura è ora simmetrica, si usano due nodi che non contengono dati, uno a ciascun estremo della catena

98

### Catena doppia

- ❑ Tutto quanto detto per la catena (semplice) può essere agevolmente esteso alla catena doppia
- ❑ Il metodo `removeLast()` diventa **O(1)** come gli altri metodi
- ❑ L'iteratore per la catena doppia avrà anche un metodo per retrocedere di una posizione, oltre a quello per avanzare
  - i metodi di inserimento e rimozione si complicano

99

### ADT Lista

100

### Lista

- ❑ Dopo aver introdotto l'*iteratore* completo per una catena, possiamo osservare che l'interfaccia `ListIterator`, oltre a consentire la manipolazione di una catena, definisce anche il comportamento astratto di un contenitore in cui
  - i dati sono disposti in sequenza (cioè per ogni dato è definito un precedente e un successivo)
  - nuovi dati possono essere inseriti in ogni punto della sequenza
  - dati possono essere rimossi da qualsiasi punto della sequenza

101

### Lista

- ❑ Un contenitore avente un tale comportamento può essere molto utile, per cui si definisce un tipo di dati astratto, detto *lista*, con la seguente interfaccia

```
public interface List extends Container
{
    ListIterator getIterator();
}
```

- ❑ **Attenzione a non confondere la *lista* con la *lista concatenata* (o catena)**

102

## Lista

- A questo punto potremmo ridefinire la catena

```
public class LinkedList implements List
{
    ...
}
```

ma si noti che non è necessario realizzare una lista mediante una catena, perché *nella definizione della lista non vengono menzionati i nodi*

- è infatti possibile definire una lista che usa un array come struttura di memorizzazione dei dati

103

## Dati in sequenza

- Abbiamo quindi visto diversi tipi di contenitori per dati in sequenza, rappresentati dagli *ADT*
  - pila
  - coda
  - lista con iteratore
- Per realizzare questi ADT, abbiamo usato diverse *strutture dati*
  - array
  - Lista concatenata

104

## Liste con rango e posizionali

Da F. Bombi

Modificato da A. Luchetta

105

## Rango e posizione

- Continuiamo a parlare delle liste aggiungendo qualche particolare
- Le operazioni più generali che vogliamo effettuare su di una lista riguardano l'inserimento e l'eliminazione di un nuovo elemento in una posizione qualsiasi
- La posizione di un elemento nella lista può essere indicata in modo assoluto attraverso il *rango* di un elemento
- Il rango è un *indice* che assume il valore *0* (zero) per l'elemento in testa alla lista e assume il valore *i+1* per l'elemento che segue l'elemento di rango *i*

106

## Una lista con rango = vettore

- Conveniamo di chiamare *vettore* una lista con rango
- Il *vettore* è una generalizzazione del concetto di array in quanto:
  - Ha una lunghezza variabile
  - È possibile aggiungere e togliere elementi in qualsiasi posizione del vettore
  - È possibile accedere (in lettura e scrittura) al valore di un elemento noto il suo rango
- Un modo naturale per rappresentare un vettore è quello di utilizzare un *array parzialmente riempito*
- In `java.util` esiste la classe `Vector` caratterizzata da una ricca dotazione di funzionalità che realizza una *lista con rango*

107

## Limiti nell'uso di un vettore

- La realizzazione di un *vettore* utilizzando un *array* soffre di un limite
- Mentre le operazioni di *accesso* ad un elemento dato il rango (`get` e `set`) richiedono un tempo  $O(1)$ , le operazioni di *inserimento* e di *eliminazione* di un elemento dato il rango (`add` e `remove`) richiedono, in media, un tempo  $O(n)$
- Perché ci preoccupiamo di questo?
- Rispondiamo con un esempio: vogliamo eliminare gli elementi ripetuti da una lista con il seguente algoritmo:
  - Consideriamo gli elementi della lista dal primo al penultimo
  - Per ogni elemento consideriamo gli elementi che lo seguono, se troviamo un elemento uguale all'elemento corrente lo eliminiamo dalla lista

108

## Eliminare i doppieni - analisi

- Se la lista contiene inizialmente  $n$  elementi al primo passo effettuiamo  $n-1$  operazioni, al successivo  $n-2$ , al passo  $i$ -esimo  $n-i$  operazioni
- L' algoritmo richiede  $O(n^2)$  passi e quindi ha una complessità temporale  $O(n^2)$  (!?)
- Mentre la prima affermazione è vera la seconda è sbagliata perché, nel caso si debba eliminare un elemento, l'operazione elementare non richiede un tempo costante (indipendente dalla taglia del problema) ma un tempo  $O(n)$  e quindi l' algoritmo avrà una complessità temporale  $O(n^3)$
- La conclusione è dunque: vorremmo una rappresentazione della lista per la quale le operazioni elementari richiedano sempre un tempo costante, abbiano quindi una complessità temporale  $O(1)$

109

## Classi e interfacce di java.util

- Le interfacce introdotte sono versioni ridotte a scopo didattico di interfacce e classi di java.util quali
  - List
  - LinkedList
  - Iterator
  - ListIterator
- Quando si debbano risolvere problemi reali si dovrà fare ricorso alle classi di libreria, in modo analogo a quanto suggerito con riferimento alla classe Vector discussa per la realizzazione di liste con rango
- Notare in particolare che il codice presentato a lezione è molto debole in presenza di errori nell'uso dell' iteratore

110

## Uso di array bidimensionali

111

## Uso di array bidimensionali

- Problema
  - stampare una tabella con i valori delle potenze  $x^y$ , per ogni valore di  $x$  tra 1 e 4 e per ogni valore di  $y$  tra 1 e 5

|   |    |    |     |      |
|---|----|----|-----|------|
| 1 | 1  | 1  | 1   | 1    |
| 2 | 4  | 8  | 16  | 32   |
| 3 | 9  | 27 | 81  | 243  |
| 4 | 16 | 64 | 256 | 1024 |

e cerchiamo di risolverlo in modo generale, usando un array bidimensionale

112

```
/**
 * visualizza una tabella con i valori delle potenze "x
 * alla y", con x e y che variano indipendentemente tra 1
 * e un valore massimo assegnato dall'utente. I dati
 * relativi a ciascun valore di x compaiono su una riga,
 * con y crescente da sx a dx e x dall'alto in basso.
 */
import java.util.Scanner;

public class TableOfPowers
{
    public static void main(String[] args)
    {
        Scanner in = new Scanner(System.in);
        System.out.println(
            "Calcolo dei valori di x alla y");
        System.out.print("Valore massimo di x: ");
        int maxX = in.nextInt();
        System.out.print("Valore massimo di y: ");
        int maxY = in.nextInt(); // (continua)
    }
}
```

113

## Uso di array bidimensionali

```
int maxValue =
    (int)Math.round(Math.pow(maxX, maxY));

int columnWidth = 1 +
    Integer.toString(maxValue).length();

int[][] powers = genPowers(maxX, maxY);
printPowers(powers, columnWidth);
}

// (continua)
```

- Notare l'utilizzo di metodi private per la scomposizione di un problema in sottoproblemi più semplici

- in genere non serve preoccuparsi di pre-condizioni perché il metodo viene invocato da chi l'ha scritto

114

## Uso di array bidimensionali

```
(continua)
/**
 * Genera un array bidimensionale con i
 * valori delle potenze di x alla y
 */
private static int[][] genPowers(int x,int y)
{
    int[][] powers = new int[x][y];
    for (int i = 0; i < x; i++)
        for (int j = 0; j < y; j++)
            powers[i][j] =
                (int)Math.round(Math.pow(i+1,j+1));
    return powers;
}
(continua)
```

115

## Uso di array bidimensionali

```
/** (continua)
 * Visualizza un array bidimensionale di
 * numeri interi con colonne di larghezza
 * fissa e valori allineati a destra.
 */
private static void printPowers(int[][] v, int width)
{
    for (int i = 0; i < v.length; i++)
    {
        for (int j = 0; j < v[0].length; j++)
        {
            String s = Integer.toString(v[i][j]);
            while (s.length() < width)
                s = " " + s;

            System.out.print(s);
        }
        System.out.println(); //vado a capo
    }
} //chiude la classe TableOfPowers
```

## Esempio di programma ricorsivo

117

## Esercizio: Permutazioni

- Vogliamo risolvere il problema di determinare tutte le possibili permutazioni dei caratteri presenti in una stringa
  - facciamo l'ipotesi che non ci siano caratteri ripetuti
- Ricordiamo dalla matematica combinatoria che il numero di permutazioni di  $N$  simboli è  $N!$
- Esempio: **ABC**
  - **ABC ACB BAC BCA CAB CBA**

118

## Esercizio: Permutazioni

- Esiste un semplice algoritmo ricorsivo per trovare le permutazioni di una stringa di lunghezza  $N$
- Se  $N$  vale 1, l'unica permutazione è la stringa stessa
- Altrimenti
  - estrai il primo carattere dalla stringa
  - calcola le  $(N-1)!$  permutazioni della stringa rimanente
  - per ognuna delle permutazioni (incomplete) ottenute
    - genera  $N$  permutazioni (complete) inserendo il carattere precedentemente estratto in ognuna delle posizioni possibili nella permutazione incompleta


119

## Esercizio: Permutazioni

- Analizziamo meglio questo punto
  - calcola le  $(N-1)!$  permutazioni della stringa rimanente
  - per ognuna delle permutazioni (incomplete) ottenute
    - genera  $N$  permutazioni (complete) inserendo il carattere precedentemente estratto in ognuna delle posizioni possibili nella permutazione incompleta
- Le posizioni in cui si può inserire un carattere in una delle permutazioni incomplete, che ha dimensione  $N-1$ , sono le  $N-2$  posizioni che si trovano tra due caratteri, più la posizione iniziale e la posizione finale
  - sono quindi  $N$  posizioni diverse

120

```
public static String[] permutations(String p)
{
    // gestiamo i casi base
    if (p == null || p.length() == 0)
        return new String[0]; // oppure return null
    if (p.length() == 1) return new String[] {p};
    // isoliamo il primo carattere
    String c = p.substring(0,1);
    // passo ricorsivo: permutazioni incomplete
    String[] cc = permutations(p.substring(1));
    // numero di permutazioni da generare
    String[] r = new String[p.length() * cc.length];
    for (int i = 0; i < p.length(); i++)
        for (int j = 0; j < cc.length; j++)
            {
                String s = cc[j];
                String sLeft = s.substring(0,i);
                String sRight = s.substring(i);
                r[i*cc.length+j] = sLeft + c + sRight;
            }
    return r;
}
```



121

### Esempio: Permutazioni

- Alcuni commenti generali sulla gestione delle condizioni "eccezionali"
  - il metodo riceve un riferimento a una stringa: tale riferimento può essere **null** oppure la stringa può essere vuota (cioè avere lunghezza zero)
    - in entrambi i casi il metodo ricorsivo non funzionerebbe correttamente, quindi li inseriamo come casi base della ricorsione
  - cosa restituiamo?
    - quando un metodo deve restituire un oggetto, nei casi in cui riceve un parametro non corretto di solito restituisce **null**

```
if (p == null || p.length() == 0)
    return null;
```

122

### Esempio: Permutazioni

```
if (p == null || p.length() == 0)
    return new String[0];
```

- In questo caso il metodo deve restituire un oggetto di tipo un po' particolare, in quanto è un array
- Sarebbe comunque corretto restituire **null**, ma di solito si preferisce restituire un array di lunghezza zero (perfettamente lecito), in modo che il metodo invocante riceva un array valido, seppure vuoto
- In questo modo, il codice seguente funziona...

```
String[] x = permutations("");
for (int i = 0; i < x.length; i++)
    System.out.println(x[i]);
```

123

### Esempio: Permutazioni

```
if (p == null || p.length() == 0)
    return new String[0];
```

- Notiamo che anche *l'ordine in cui vengono valutate le due condizioni è molto importante*
- Se **p** è **null**, la prima condizione è vera e per la strategia di cortocircuito nella valutazione dell'operatore **||** *la seconda condizione non viene valutata*
  - se venisse valutata, verrebbe lanciata l'eccezione **NullPointerException** !!

124

### Esempio: Permutazioni

```
// isoliamo il primo carattere
String c = p.substring(0,1);
// passo ricorsivo
String[] cc = permutations(p.substring(1));
// numero di permutazioni da generare
String[] r = new String[p.length() *
    cc.length];
```

- Per calcolare la dimensione del vettore che conterrà le permutazioni, sfruttiamo le informazioni ottenute dall'invocazione ricorsiva
  - il numero di permutazioni è uguale alla dimensione della stringa moltiplicata per il numero di permutazioni (incomplete) già generate
    - $n = p.length(), (n-1)! = cc.length$
    - $p.length * cc.length = n * (n-1)!$

125

### Esempio: Permutazioni

```
for (int i = 0; i < p.length(); i++)
    for (int j = 0; j < cc.length; j++)
        {
            String s = cc[j];
            String sLeft = s.substring(0,i);
            String sRight = s.substring(i);
            r[i*cc.length+j] = sLeft + c + sRight;
        }
```

- Per completare le permutazioni inseriamo il carattere **c** in tutte le posizioni possibili in ciascuna permutazione incompleta **s**
- Per ogni **s**, calcoliamo le sottostringhe che verranno concatenate a sinistra e a destra di **c**
- Sfruttiamo il fatto che il metodo **substring()** gestisce in modo congruente le situazioni "anomale"

126

## Esempio: Permutazioni

```
String sLeft = s.substring(0,i);
```

- Quando  $i$  vale 0, `substring` restituisce una stringa vuota, che è proprio ciò che vogliamo

```
String sRight = s.substring(i);
```

- Quando  $i$  vale `p.length()-1` (suo valore massimo), allora  $i$  è anche uguale a `s.length()`
  - in questo caso particolare, `substring()` non lancia eccezione, ma restituisce una stringa vuota, che è proprio ciò che vogliamo

127

## Esempio: Permutazioni

```
r[i*cc.length+j] = sLeft + c + sRight;
```

- Analizziamo meglio questa espressione dell'indice
- Globalmente, tale indice deve andare da 0 a `p.length() * cc.length` (escluso)
- Verifichiamo innanzitutto i limiti
  - per  $i = 0$  e  $j = 0$ , l'indice vale 0
  - per  $i = p.length()-1$  e  $j = cc.length-1$ , l'indice vale  $(p.length()-1)*cc.length + cc.length - 1 = p.length()*cc.length - 1$  (come volevamo)

128

## Esercizio: Permutazioni

```
r[i*cc.length+j] = sLeft + c + sRight;
```

- Alla prima iterazione di  $i$ , l'indice varia tra 0 e `cc.length-1` (perché  $i$  vale 0)
- Alla seconda iterazione di  $i$ , l'indice varia tra  $1*cc.length+0 = cc.length$  e  $1*cc.length+cc.length-1 = 2*cc.length-1$
- Si osserva quindi che gli indici vengono generati consecutivamente, senza nessun valore mancante e senza nessun valore ripetuto

129

## Ma 22-Nov-2005

FI1: ore 14:15 - 16:15  
MAT\_A: ore 16:15 - 18:15

130

## Lezione XXX Gi 17-Nov-2005

## ADT Dizionario

131

## Dizionario

- Un *dizionario* è un ADT con le seguenti proprietà
  - è un contenitore
  - consente l'inserimento di coppie di dati di tipo
    - chiave / valore (attributo)*
 con la *chiave* che deve essere *confrontabile* e *unica* nell'insieme dei dati memorizzati
    - non possono esistere nel dizionario due valori con identica chiave
  - consente di effettuare in modo efficiente la ricerca e la rimozione di valori *usando la chiave come identificatore*

132

## Dizionario

- L'analogia con il dizionario di uso comune è molto forte
- In un comune dizionario
  - le chiavi sono le singole parole
  - il valore corrispondente a una chiave è la definizione della parola nel dizionario
  - tutte le chiavi sono distinte
  - a ogni chiave è associato uno e un solo valore
  - la ricerca di un valore avviene tramite la sua chiave

133

## Dizionario

```
public interface Dictionary extends Container
{
    // l'inserimento va sempre a buon fine;
    // se la chiave non esiste, la coppia
    // key/value viene aggiunta al dizionario;
    // se la chiave esiste già, il valore ad
    // essa associato viene sovrascritto con
    // il nuovo valore
    void insert(Comparable key, Object value);

    // la rimozione della chiave rimuove anche
    // il corrispondente valore
    void remove(Comparable key);

    // la ricerca per chiave restituisce
    // soltanto il valore ad essa associato
    Object find(Comparable key);
}
```

## Dizionario in un array

- Un *dizionario* può anche essere realizzato con un *array*
  - ogni cella dell'array contiene un riferimento ad una coppia chiave/valore
    - un oggetto di tipo **Pair**
- Ci sono due strategie possibili
  - mantenere le chiavi *ordinate* nell'array
  - mantenere le chiavi *non ordinate* nell'array

135

## Dizionario in un array ordinato

- Se le **n** chiavi vengono conservate *ordinate* nell'array
  - la **ricerca** ha prestazioni **O(log n)**
    - si può usare la *ricerca per bisezione*
  - l'**inserimento** ha prestazioni **O(n)**
    - Si verifica la presenza della chiave (ricerca binaria)
    - si usa l'ordinamento per *inserzione in un array ordinato*
    - con altre strategie, occorre invece ordinare l'intero array, con prestazioni, in generale, **O(n log n)**
  - la **rimozione** ha prestazioni **O(n)**
    - bisogna fare una ricerca binaria
    - spostare *mediamente n/2* elementi per mantenere l'ordinamento

136

## Dizionario in un array non ordinato

- Se le **n** chiavi vengono conservate *disordinate* nell'array
  - la **ricerca** ha prestazioni **O(n)**
    - Si deve usare la *ricerca lineare*
  - l'**inserimento** ha prestazioni **O(n)**
    - Si verifica la presenza della chiave (ricerca lineare)
    - è sufficiente inserire il nuovo elemento nell'ultima posizione dell'array
  - la **rimozione** ha prestazioni **O(n)**
    - bisogna fare una ricerca, e poi spostare nella posizione trovata l'ultimo elemento dell'array, perché l'ordinamento non interessa

137

## Prestazioni di un dizionario

| Dizionario  | array ordinato | array non ordinato |
|-------------|----------------|--------------------|
| ricerca     | <b>O(lg n)</b> | <b>O(n)</b>        |
| inserimento | <b>O(n)</b>    | <b>O(n)</b>        |
| rimozione   | <b>O(n)</b>    | <b>O(n)</b>        |

138

### Prestazioni di un dizionario

- La scelta di una realizzazione piuttosto di un'altra dipende dall'utilizzo tipico del dizionario nell'applicazione
- Ad esempio
  - se nel dizionario si fanno frequenti inserimenti e sporadiche ricerche e rimozioni
    - la scelta più opportuna è l'array non ordinato
  - se il dizionario viene costruito una volta per tutte, poi viene usato per fare soltanto ricerche
    - la scelta più opportuna è l'array ordinato

139

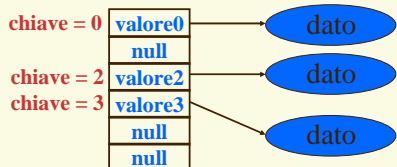
### Chiavi numeriche

- Se imponiamo una restrizione al campo di applicazione di un dizionario
  - supponiamo che le chiavi siano *numeri interi* appartenenti a un intervallo noto a priori
 allora si può realizzare molto semplicemente un dizionario con prestazioni **O(1)** per tutte le operazioni
- Si usa un array che contiene soltanto i riferimenti ai valori, usando *le chiavi come indici nell'array*
  - le celle dell'array che hanno come indice una chiave che non appartiene al dizionario hanno il valore **null**

140

### Tabella

- Un dizionario con chiavi numeriche intere viene detto *tabella* o tavola (*table*)
- L'analogia è la seguente
  - un valore è una riga nella tabella
  - le righe sono numerate usando le chiavi
  - alcune righe possono essere *vuote* (senza valore)



141

### Tabella

- Definiamo il tipo di dati astratto **Table** con un comportamento identico al dizionario
  - l'unica sostanziale differenza è che le chiavi non sono riferimenti a oggetti di tipo **Comparable**, ma sono *numeri interi* (che evidentemente sono confrontabili)

```
public interface Table extends Container
{
    void insert(int key, Object value);
    void remove(int key);
    Object find(int key);
}
```

142

### Tabella

```
public class ArrayTable100 implements Table
{
    private Object[] v;
    private int count; //count rende isEmpty O(1)

    public ArrayTable100()
    { makeEmpty(); }

    public void makeEmpty()
    { count = 0;
      v = new Object[100];
    }
    public boolean isEmpty()
    { return (count == 0); }

    private void check(int key)
    { if (key < 0 || key >= v.length)
      throw new
        InvalidPositionTableException();
    }
    ...
}
```

143

```
public class ArrayTable100 implements Table
{
    ...
    public void insert(int key, Object value)
    { check(key);
      if (v[key] == null)
        count++;

      v[key] = value;
    }

    public void remove(int key)
    { check(key);
      if (v[key] != null)
      { count--;
        v[key] = null;
      }
    }

    public Object find(int key)
    { check(key);
      return v[key];
    }
}
```

144



## Tabella

- La tabella potrebbe avere *dimensione variabile*, cioè utilizzare un *array di dimensione crescente* quando sia necessario
  - l'operazione di *inserimento* richiede, però, un tempo  $O(n)$  ogni volta che è necessario un ridimensionamento
  - in questo caso non si può utilizzare l'analisi ammortizzata perché non si può prevedere quali siano le posizioni richieste dall'utente
  - non è più vero che il ridimensionamento avviene “una volta ogni tanto”, può avvenire anche tutte le volte
  - le prestazioni nel caso peggiore sono quindi  $O(n)$

145

## Tabella

- La tabella non utilizza la memoria in modo efficiente
  - l'occupazione di memoria richiesta per contenere  $n$  dati non dipende da  $n$  in modo lineare
    - come invece avviene per tutti gli altri ADT ma dipende dal contenuto informativo presente nei dati
    - in particolare, dal valore della chiave massima
- Può essere necessario un array di milioni di elementi per contenere poche decine di dati
  - si definisce *fattore di riempimento (load factor)* della tabella il numero di dati contenuti nella tabella diviso per la dimensione della tabella stessa

146

## Tabella

- La tabella è un dizionario con prestazioni ottime
  - tutte le operazioni sono  $O(1)$
 ma con le seguenti limitazioni
  - le *chiavi* devono essere *numeri interi* (non negativi)
    - in realtà si possono usare anche chiavi negative, sottraendo ad ogni chiave il valore dell'estremo inferiore dell'intervallo di variabilità
  - *l'intervallo di variabilità delle chiavi deve essere noto a priori*
    - per dimensionare la tabella
  - se il fattore di riempimento è molto basso, si ha un grande *spreco di memoria*
    - ciò avviene se le chiavi sono molto “disperse” nel loro insieme di variabilità

147

## Tabella

- Cerchiamo di eliminare una delle limitazioni
  - *l'intervallo di variabilità delle chiavi deve essere noto a priori*
    - per dimensionare la tabella
- Risolviamo il problema in modo diverso
  - fissiamo la dimensione della tabella in modo arbitrario
    - in questo modo si definisce di conseguenza l'intervallo di variabilità delle chiavi utilizzabili
  - per usare chiavi esterne all'intervallo, si usa una *funzione di trasformazione delle chiavi*
    - *funzione di hash*

148

## Funzione di hash

- Una funzione di hash ha
  - come *dominio* l'insieme delle chiavi che identificano univocamente i dati da inserire nel dizionario
  - come *codominio* l'insieme degli indici validi per accedere a elementi della tabella
    - il risultato dell'applicazione della funzione di hash a una chiave si chiama *chiave ridotta*
- Se manteniamo la limitazione di usare numeri interi come chiavi
  - una semplice funzione di hash è il calcolo del *resto della divisione intera tra la chiave  $k$  e la dimensione della tabella  $n$*

$$k_r = k \% n$$

149

## Funzione di hash

- Per come è definita, la funzione di hash è generalmente *non biunivoca*, cioè non è invertibile
  - *chiavi diverse possono avere lo stesso valore per la funzione di hash*
- Per questo si chiama funzione di *hash*
  - è una funzione che “*fa confusione*”, nel senso che “mescola” dati diversi...
- In generale, non è possibile definire una funzione di hash biunivoca, perché la dimensione del dominio è maggiore della dimensione del codominio

150

### Funzione di hash

- Il fatto che la funzione di hash non sia univoca genera un problema nuovo
  - inserendo un valore nella tabella, può darsi che la sua chiave ridotta sia uguale a quella di un valore già presente nella tabella e avente una *diversa* chiave, ma la stessa chiave ridotta
  - usando l'algoritmo già visto per la tabella, il nuovo valore andrebbe a sostituire il vecchio
    - questo non è corretto perché i due valori hanno, in realtà, chiavi diverse
  - questo fenomeno si chiama *collisione* nella tabella e si può risolvere in molti modi diversi
    - una tabella che usa chiavi ridotte si chiama *tabella hash (hash table)*

151

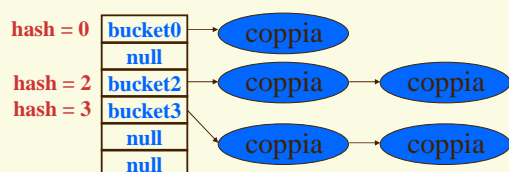
### Risoluzione delle collisioni

- Quando si ha una collisione, bisognerebbe inserire il nuovo valore nella stessa cella della tabella (dell'array) che già contiene un altro valore
  - i due valori hanno chiavi diverse, ma la stessa chiave ridotta
  - ciascun valore deve essere memorizzato insieme alla sua vera chiave, per poter fare ricerche correttamente
- Possiamo risolvere il problema usando una lista per ogni cella dell'array
  - l'array è un array di riferimenti a liste
  - ciascuna lista contiene le coppie chiave/valore che hanno la stessa chiave ridotta

152

### Risoluzione delle collisioni

- Questo sistema di risoluzione delle collisioni si chiama *tabella hash con bucket*
  - un *bucket* è una delle liste associate a una chiave ridotta



153

### Tabella hash con bucket

- Le prestazioni della tabella hash con bucket non sono più, ovviamente,  $O(1)$  per tutte le operazioni
- *Le prestazioni dipendono fortemente dalle caratteristiche della funzione di hash*
  - *caso peggiore*: la funzione di hash restituisce sempre la stessa chiave ridotta, per ogni chiave possibile
  - tutti i dati vengono inseriti in un'unica lista
    - le prestazioni della tabella hash degenerano in quelle di una lista
    - tutte le operazioni sono  $O(n)$

154

### Tabella hash con bucket

- *caso migliore*: la funzione di hash restituisce chiavi ridotte che si distribuiscono uniformemente nella tabella
  - tutte le liste hanno la stessa lunghezza media
    - se  $M$  è la dimensione della tabella
    - la lunghezza media di ciascuna lista è  $n/M$
    - tutte le operazioni sono  $O(n/M)$
  - per avere prestazioni  $O(1)$  occorre dimensionare la tabella in modo che  $M$  sia dello stesso ordine di grandezza di  $n$

155

### Tabella hash con bucket

- Riassumendo, in una *tabella hash con bucket* si ottengono prestazioni ottimali (tempo-costanti) se
  - la dimensione della tabella è circa uguale al numero di dati che saranno memorizzati nella tabella
    - fattore di riempimento circa unitario
    - così si riduce al minimo anche lo spreco di memoria
  - la funzione di hash genera chiavi ridotte uniformemente distribuite
    - liste di lunghezza quasi uguale alla lunghezza media
    - le liste hanno quasi tutte lunghezza uno!
- Se le chiavi vere sono uniformemente distribuite
  - la funzione di hash che "*calcola il resto della divisione intera*" genera chiavi ridotte uniformemente distribuite

156

### Tabella hash con chiave generica

- ❑ Rimane da risolvere un solo problema
  - le **chiavi** devono essere **numeri interi** (non negativi)
- ❑ Vogliamo cercare di realizzare una tabella hash con bucket che possa gestire coppie chiave/valore in cui **la chiave** non è un numero intero, ma un **dato generico**
  - ad esempio, una stringa
  - applicazione
    - contenitore di oggetti di tipo **PersonaFisica**
    - chiave: **codice fiscale**

157

### Tabella hash con chiave generica

- ❑ Se vogliamo usare **chiavi generiche** (qualsiasi tipo di oggetto, in teoria...)
  - è sufficiente progettare una **adeguata funzione di hash**
    - se la funzione di hash ha come dominio l'insieme delle chiavi generiche che interessano e come codominio un sottoinsieme dei numeri interi
      - cioè se **le chiavi ridotte sono numeri interi** allora la tabella hash con bucket funziona correttamente senza modifiche

158

### Funzione di hash per chiave generica

- ❑ *Come si può trasformare una stringa in un numero intero?*
- ❑ Ricordiamo il significato della notazione posizionale nella rappresentazione di un numero intero
 

$434 = 4 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$
- ❑ Ciascuna cifra rappresenta un numero che dipende
  - dal suo valore intrinseco
  - dalla sua posizione
- ❑ Possiamo usare la stessa convenzione per una stringa, dove ciascun carattere rappresenta un numero che dipende
  - dal suo valore intrinseco come carattere
    - nella codifica Unicode
  - dalla sua posizione nella stringa

159

### Funzione di hash per chiave generica

- ❑ Possiamo usare la stessa convenzione per una stringa, dove ciascun carattere rappresenta un numero che dipende
  - dal suo valore intrinseco come carattere
    - nella codifica Unicode
  - dalla sua posizione nella stringa
- ❑ La base del sistema sarà il numero di simboli diversi (come nella base decimale), che per la codifica Unicode è 65536
 

$"ABC" \Rightarrow 'A' \cdot 65536^2 + 'B' \cdot 65536^1 + 'C' \cdot 65536^0$
- ❑ In Java è molto semplice, perché un **char** è anche un numero intero...

160

### Funzione di hash per stringa

$"ABC" \Rightarrow 'A' \cdot 65536^2 + 'B' \cdot 65536^1 + 'C' \cdot 65536^0$

```
public int hashCode()
//ritorna un intero
{
    int final BASE = 65536;
    int h = 0;
    for (int i = 0; i < length(); i++)
        h = BASE * h + charAt(i);

    return h;
}
```

e l'overflow?  
Una volta tanto e' utile!

161

### Funzione di hash per stringa

- ❑ La libreria standard usa per le stringhe la seguente funzione di hash

```
public int hashCode()
{
    final int HASH_MULTIPLIER = 31;
    int h = 0;
    for (int i = 0; i < length(); i++)
        h = HASH_MULTIPLIER * h + charAt(i);
    return h;
}
```

- ❑ Usiamo un numero primo come moltiplicatore di hash perché si ritiene che distribuisca meglio i valori.

Attenzione l'hash code puo' essere negativo a causa dell'overflow!

162

## Funzione di hash per chiave generica

- Come fare per oggetti generici?
  - la classe **Object** mette a disposizione il metodo `hashCode()` che restituisce un `int` con buone proprietà di distribuzione uniforme
  - se il metodo `hashCode()` non viene ridefinito, viene calcolata una chiave ridotta a partire dall'indirizzo dell'oggetto in memoria
  - l'esistenza di questo metodo rende possibile l'utilizzo di qualsiasi oggetto come chiave in una tabella hash
    - invocando `hashCode()` si ottiene un valore di tipo `int`
      - calcolando il resto della divisione intera di tale valore per la dimensione della tabella, si ottiene finalmente la chiave ridotta

`int hash = obj.hashCode() % MAX; // hash ∈ [-MAX+1, MAX-1]`

163

## Funzione di hash per chiave generica

- Per calcolare la funzione di hash di un oggetto che abbia due variabili di istanza:
 

```
String nome; double d;
```
- Si fa generalmente come segue

```
public int hashCode()
{
    final int HASH_MULTIPLIER = 29;
    int h1 = nome.hashCode();
    int h2 = (new Double(d)).hashCode();
    int h = HASH_MULTIPLIER * h1 + h2;
    return h;
}
```

- `HASH_MULTIPLIER` e' come al solito un numero primo
- Se ci sono variabili di istanza intere, si usa generalmente il numero intero nella generazione del `hashCode`

164

## Tabella hash per chiave generica

```
public interface HashTable
    extends Container
{
    void insert(Object key, Object value);
    void remove(Object key);
    Object find(Object key);
}
```

165