Programmi

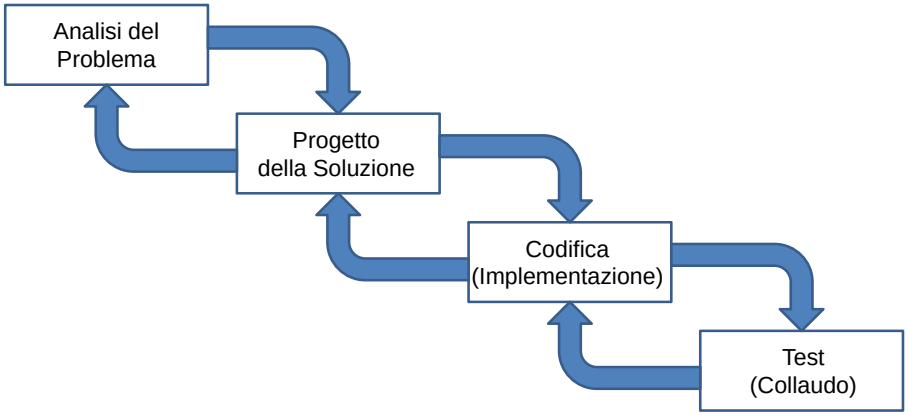
Sommario

- Obiettivo della programmazione e ciclo di sviluppo di programmi
- Istruzioni variabili e tipi
- Sottoprogrammi
- Strutture di controllo
- Ricorsione

Obiettivo

- Risoluzione di un problema mediante un calcolatore
  - Partire dalla descrizione del problema
    - in linguaggio naturale
  - per giungere alla stesura di un programma
    - nel linguaggio di programmazione scelto

Ciclo di sviluppo di programmi



Fasi di Sviluppo

- (Studio di fattibilità)
- Analisi
  - Chiarifica del problema
    - COSA si ha a disposizione ?
    - COSA si deve ottenere ?
- Progettazione
  - Individuazione di una strategia di soluzione
    - COME raggiungere l'obiettivo dato quello di cui si dispone ?
  - Scelta delle strutture di dati
- Codifica
  - Scrittura del programma
- Verifica (e correzione)
  - (Test) del programma
    - Rimanda ad una delle fasi precedenti
- Manutenzione
  - Correttiva, Adattativa, Migliorativa

Sviluppo di un Programma (1)

- Accumulo degli errori
  - Gli errori in ciascuna fase si ripercuotono su tutte le fasi successive
    - Più costosi se rinvengono da fasi più lontane
  - Ciascuna fase può aggiungere errori a quelli delle fasi precedenti
- Vari approcci
  - Differente sequenza di esecuzione delle fasi di sviluppo

Sviluppo di un Programma (2)

- Documentazione di ogni fase
  - Necessaria per chi riprenderà in seguito il programma per modificarlo
    - Gli autori stessi
    - Altri sviluppatori
- La documentazione prodotta in ciascuna fase rappresenta l'input per le fasi successive

Comunicazione dell'algoritmo all'elaboratore

- Linguaggi non ambigui e sequenziali
  - Comprensibili alla macchina
- Requisiti per la descrizione
  - Univoca
    - Non dà adito ad interpretazioni errate
  - Completa
    - Prevede tutte le azioni necessarie
  - Ripetibile
    - Garantisce un buon risultato se eseguita da più esecutori con medesime caratteristiche

Programmazione (1)

- Descrizione del procedimento di soluzione di un problema ad un esecutore meccanico
- Poiché l'esecutore è meccanico, consiste nel
  - Ricondurre il problema da risolvere a problemi primitivi
    - Eseguibili come insieme di azioni primitive
  - Organizzare ed utilizzare le "risorse" dell'elaboratore

Programmazione (2)

- Trasformazione della descrizione di un algoritmo in un messaggio
  - Insieme di istruzioni codificate in un linguaggio interpretabile da un esecutore
- Passa attraverso un'astrazione
  - Sia delle operazioni che il procedimento prevede
  - Sia degli oggetti su cui il procedimento deve operare

Programma (1)

- Traduzione della procedura di soluzione in un linguaggio comprensibile alla macchina con indicazioni sui dati di ingresso e uscita
- Comunica al calcolatore istruzioni operative
  - Quali dati di ingresso deve trattare
  - Come deve operare su questi dati
  - Quali dati deve dare come risultato

Programma (2)

- Procedura eseguibile su calcolatore, che rappresenta una soluzione ad un problema
  - Risultato di un lavoro di analisi e progetto che inizia dalla formulazione del problema
  - Corrisponde alla tripla
    (Dati, Algoritmo, Risultati)
    - [Wirth] Algoritmi + Strutture Dati = Programmi

Programma (3)

- Traduzione di un metodo di soluzione eseguibile in un linguaggio comprensibile alla macchina
  - Descrive come vanno elaborati insiemi di valori che rappresentano le entità del problema
  - Usa rappresentazioni simboliche per estendere l'applicabilità del metodo di soluzione a valori diversi
    - Uso di variabili

Dati

- Entità su cui lavora il programma
  - Costanti
  - Variabili
- Rappresentati come sequenze di bit
  - Nei linguaggi ad alto livello il programmatore può ignorare i dettagli della rappresentazione
    - Tipo di dato

Istruzioni

- Operative
  - Lavorano su rappresentazioni delle entità del problema
- Dichiarative
  - Consentono di definire come interpretare e rappresentare tali entità in termini di variabili nel programma
    - Totale caratterizzazione mediante la definizione di:
      - Un nome
      - Un tipo

Istruzioni Dichiarative

- Definiscono le aree di memoria in cui sono conservati i dati cui fa riferimento un algoritmo
  - Predispongono le posizioni di memoria da utilizzare
  - Associano un nome a ciascuna di esse
    - Identificatore
  - Determinano il tipo di dati che vi possono essere memorizzati
    - Insieme dei valori permessi
    - Insieme delle operazioni applicabili

Tipi di Istruzioni

- Un linguaggio di programmazione dispone di:
  - Istruzioni di ingresso
    - Permettono all'esecutore di conoscere informazioni fornite dall'esterno
  - Istruzioni di uscita
    - Permettono all'esecutore di notificare all'utente i risultati ottenuti dall'elaborazione
  - Istruzioni operative
    - Permettono di effettuare calcoli o, comunque, operazioni sulle entità astratte rappresentanti gli elementi del problema
  - Strutture di controllo

Istruzioni di Ingresso/Uscita

- Livello di descrizione dell'algoritmo
  - Necessità di indicare i dati su cui operare
- Livello di programma
  - Necessità di comunicare i dati e i risultati
    - Istruzioni di lettura e scrittura

Istruzioni di Uscita

- Consentono di notificare all'utente il valore di una variabile del programma
  - Visualizzazione, stampa, …
- Attivano un'operazione di scrittura
  - Copiatura su un supporto esterno
    - carta, nastri e dischi magnetici, display, …
  - del contenuto di un'area di memoria denotata dal nome della variabile che compare nell'istruzione di scrittura
- Esempio: print y

Istruzioni Dichiarative Variabili

- Forniscono una lista contenente i nomi scelti per le variabili e i tipi corrispondenti
  - Convenzione: indicare tutte le variabili
- Necessarie nei linguaggi di programmazione
  - Nel programma si fa riferimento agli indirizzi delle aree di memoria in cui sono conservati i dati

Variabile (1)

- Nome simbolico per denotare un'area di memoria e, tramite essa, il valore contenuto
  - Contiene una rappresentazione di un oggetto su cui l'algoritmo opera
  - Memorizzazione di un valore
    - Istruzioni di ingresso
    - Istruzioni di assegnamento

Variabile (2)

- Caratterizzata da
  - Un nome
    - Identificatore
  - Un valore
  - Un tipo
    - Attributo che specifica l'insieme di valori che la variabile può assumere

Variabile (3)

- Rappresenta una locazione di memoria del computer, contraddistinta da uno specifico indirizzo, che contiene il valore su cui applicare le istruzioni del programma
- Un identificatore denota una coppia
  - Posizione di memoria
  - Quantità in essa contenuta
    - Una limitazione nel rappresentare dati di tipo numerico o alfanumerico viene dalle dimensioni limitate della memoria

Tipo

- Attributo di una variabile che ne specifica ed individua:
  - L'insieme dei valori che la var. può assumere
  - L'insieme di operazioni effettuabili sulla var.
  - Il modo con cui ci si può riferire alla var.
- Per parlarne in termini formali è utile introdurre il concetto di algebra di dati
  - Esempio:
    Stipendio: numero intero non negativo

Algebra di Dati

- Famiglia di insiemi
  - Insiemi di dati
- Famiglia di operatori sui dati
  - Operatori
- Repertorio di simboli per indicare l'insieme dei dati
  - Nomi
- Repertorio di simboli per indicare gli operatori
- Repertorio di simboli per indicare elementi singoli degli insiemi di dati

Algebra di Dati: Esempio (1)

- Famiglia di insiemi
  - Numeri interi
  - Valori logici
- Famiglia di operatori
  - Operatori aritmetici
    - Somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione, modulo
  - Operatori per i valori logici
    - Negazione, congiunzione, disgiunzione, ...
  - Operatori di confronto fra interi
    - Maggiore (stretto), minore (stretto), uguale, diverso

Algebra di Dati: Esempio (2)

- Nomi
  - int, float, char — per gli insiemi di dati
  - +, –, *, / — per gli operatori aritmetici
  - !, &&, || — per gli operatori logici
  - <, ==, >, <=, >=, != — per i confronti fra interi
- Costanti
  - Ogni intero è indicato da una sequenza di cifre decimali, eventualmente precedute da + o –
    - Interpretata secondo la notazione decimale
  - I valori logici sono di solito indicati dalle costanti true e false

Algebra di Dati

- Ogni linguaggio di programmazione propone
  - Dati
  - Operatori
    - Funzioni che
      - Prendono come argomenti dei dati
      - Restituiscono dati come risultati
    - Argomenti e risultati sono dati di tipo prestabilito all'atto della definizione dell'operatore

Algebra di Dati

- Caratteristiche dipendenti da
  - la famiglia di insiemi
  - la famiglia di operatori
    - Possono essere combinati per ottenere espressioni
- Dunque:
  - Un dato indica un valore che una variabile può assumere
  - Un tipo di dato è un modello matematico che sta ad indicare una collezione di valori sui quali sono ammesse certe operazioni

Tipo

- Tripla
  T = <D, C, O>
  - Dominio
  - Costanti
  - Operatori
    - Funzioni
    - Predicati

Tipo: Esempio

- Tipo dei complessi
  - Dominio
    - Sottoinsieme dei numeri complessi
  - Costanti
    - Parte reale
    - Parte immaginaria
  - Operazioni
    - Addizione + : (complesso X complesso) → complesso
  - Non ci interessiamo della rappresentazione interna dei valori e delle operazioni

Dichiarazione di Tipo: Utilità

- Definizione del dominio di applicazione del programma
- Comprensione funzionamento dell'algoritmo
- Verifica correttezza del programma
  - Compilatore
  - Programmatore
- Definizione dello spazio di memoria necessario
- Rappresentazione interna
  - Esempio: 18 e 18.0

Definizione di Tipo
Meccanismi Linguistici

- Istruzioni e costrutti linguistici necessari per informare l'esecutore su
  - dominio della variabile
  - insieme di operazioni effettuabili su di essa
  - modo attraverso cui ci si può riferire ad essa
- Esempio: Indicazione esplicita dei valori permessi per ogni variabile
  - Costanti di tipo

Definizione di Tipo
nei Ling. di Programmazione

- I moderni linguaggi di programmazione mettono a disposizione
  - Un insieme di tipi di uso più comune
    - Tipi predefiniti
  - Gli strumenti per poter costruire qualunque tipo di dati

Tipi Standard

- Tipi più comuni di variabili
  - Interi
  - Reali
  - Logici
  - Caratteri
- Valori rappresentabili limitati
  - Dimensioni della memoria che dovrà ospitarne le variabili
    - Tipo numerico
    - Tipo alfanumerico

Tipo degli Interi (1)

- Valori nell'insieme dei numeri interi
  - Stringa di cifre, eventualmente preceduta dal segno
    - Positivi
    - Negativi
- Operazioni basilari
  - somma, prodotto, differenza, quoziente, resto, elevamento a potenza

Tipo degli Interi (2)

- Non sono in numero infinito nell'aritmetica dei calcolatori
  - Per ogni macchina esistono
    - il più grande intero
    - il più piccolo intero
  - rappresentabile in una locazione di memoria
- Alcune proprietà dell'aritmetica non restano valide in generale
    - Risultato di un'operazione non rappresentabile
      - Overflow

Tipo dei Reali (1)

- Valori nell'insieme dei numeri reali
  - Parte intera
  - Parte decimale
    - Differenza tra il numero e la sua parte intera (< 1)
    - Sequenza potenzialmente infinita di cifre
      - In alcuni casi esiste un'ultima cifra diversa da zero, seguita da una successione infinita di zeri

Tipo dei Reali (2)

- Non formano un continuo nell'aritmetica dei calcolatori
  - Ciascuno rappresenta un intervallo del continuo
    - Insieme di infiniti valori reali
  - Ad ogni numero reale è associata una rappresentazione
    - Intervallo in cui ricade
- Forma un sottoinsieme dei numeri reali

Tipo dei Reali (3)

- Rappresentazione ottenuta per troncamento o arrotondamento
  - Possibili errori di precisione anche consistenti
- Esiste un valore massimo
  - Overflow
    - Rappresentazione indefinita per tutti i valori maggiori

Tipo dei Valori Logici

- Rappresentano valori di verità
  - Falso, Vero
    - Falso < Vero
- Usati tipicamente nelle condizioni
  - Ottenibili come risultato di confronti

Tipo dei Valori Logici - Operatori

- Per priorità decrescente:
  - not
  - and
  - or

x	*y*	not *x*	*x* and *y*	*x* or *y*
F	*F*	*V*	*F*	*F*
F	*V*	*V*	*F*	*V*
V	*F*	*F*	*F*	*V*
V	*V*	*F*	*V*	*V*

- Sottoinsieme completo
  - Può simulare tutti gli altri operatori logici

Tipo dei Caratteri

- Insieme finito ed ordinato di simboli
  - Lettere dell'alfabeto
  - Cifre decimali
  - Punteggiatura
  - Simboli speciali
    - Spaziatura (blank), Ritorno carrello, A capo, Separatore di linea (EOL), …
- Costanti di tipo Carattere racchiuse tra apici
  - Esempi: 'a' '8' '?' '@'

Tipo dei Caratteri - Rappresentazione

- Corrispondenza biunivoca tra l'insieme dei caratteri e un sottoinsieme degli interi
  - Standard ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
  - UNICODE

Tipo dei Caratteri - Proprietà

- Funzioni di trasferimento
  - ord(c)
    - numero d'ordine del simbolo c nella tavola di codifica
  - chr(i)
    - Simbolo il cui numero d'ordine è i
  - Proprietà
    - ord(chr(i))=i chr(ord(c))=c
    - SE c1 < c2 ALLORA ord(c1) < ord(c2)
  - Relazione d'ordine totale
    - Coerente con i sottoinsiemi delle lettere e delle cifre

Tipo dei Caratteri - Note

- Alcuni caratteri non sono stampabili
  - Esempio: campanello (bell)
- NB: caratteri delle cifre diversi dalle cifre
  - Hanno come rappresentazione interna un valore diverso dalla cifra che rappresentano
- Relazione d'ordine totale
  - Proprietà riflessiva, antisimmetrica, transitiva

Istruzioni

- Nella maggior parte dei linguaggi di programmazione sono presenti diverse tipologie di istruzioni
  - Ingresso/Uscita
  - Assegnamento
  - Strutture di controllo

Istruzioni di Ingresso

- Permettono di acquisire informazioni dall'esterno, inserendole in opportune variabili del programma
- Attivano un'operazione di lettura
  - Assegnazione del valore letto su un supporto di memorizzazione esterno
    - schede, nastri e dischi magnetici, …
  - ad un'area di memoria individuata dal nome che compare nell'istruzione di lettura
- Esempio: get x

Assegnamento di valori a variabili

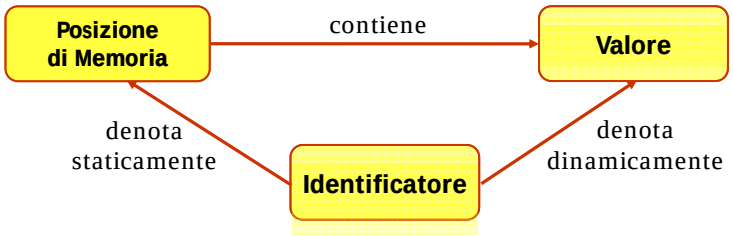
- Avviene in 2 passi
  - Produzione di un nuovo valore
  - Assegnamento di quel valore alla variabile
- L'operazione di assegnamento è indicata con simboli diversi a seconda dei diversi linguaggi di programmazione
  - := (Pascal)
  - = (C, C++, Java, ...)
  - ...
- Confusione fra uguaglianza e assegnazione

Assegnamento

- Per produrre il valore si possono usare espressioni (aritmetiche o logiche) il cui risultato è un singolo valore
- Il valore prodotto dall'espressione a destra viene memorizzato nell'area di memoria riservata alla variabile a sinistra
  - La memorizzazione del valore ottenuto nella locazione di memoria riservata alla variabile implicata nell'assegnamento rimpiazza qualunque valore contenuto in precedenza

Legami degli Identificatori

- Identificatore – Posizione di memoria
  - Statico
- Identificatore – Valore
  - Dinamico nel programma



Legami degli Identificatori

- La dinamicità del legame identificatore-valore consente di scrivere senza contraddizioni assegnazioni del tipo
- x = x + 1
  - Alla posizione di memoria identificata da x assegna il valore ottenuto calcolando la somma del valore già memorizzato e 1

Assegnamento
Computo dei Valori

- Le operazioni di assegnazione possono implicare calcoli complessi
  - Espressioni aritmetiche
  - Espressioni logiche e predicati

Espressioni Aritmetiche

- Formate da associazioni di variabili e costanti secondo regole opportune e attraverso l'applicazione di definiti operatori numerici

Simbolo	Tipo di valore cui dà luogo	Operazione
+	Numerico	Somma
−, ...	"	Differenza
*, ·, ...	"	Prodotto
/, ÷, DIV,	"	Divisione
**, ^, ...	"	Potenza

Espressioni Logiche o Predicati

- Usate in:
  - Assegnazioni fatte ad una variabile logica
  - Strutture di controllo che comportano la verifica di condizioni

Simbolo	Tipo di valore cui dà luogo	Operazione
NOT, AND, OR	Logico	Connettivi logici
=	"	Uguaglianza
≠	"	Diversità
<	"	Minoranza
>	"	Maggioranza
≤	"	Minore o uguale
≥	"	Maggiore o uguale

Costanti

- Dati il cui valore viene definito inizialmente e non varia per tutta l'esecuzione del programma
  - Accessibili solo in lettura
- Garanzia nell'uso
  - Impossibile eseguire assegnazioni sugli identificatori corrispondenti

Strutture di Controllo

- Obbligatorie
  - Sequenza
  - Selezione binaria
  - Una Iterazione illimitata
- Opzionali
  - Selezione multipla
  - L'altra iterazione illimitata
  - Iterazione limitata

Definizione di Tipo

- Fornisce, tramite le istruzioni dichiarative:
  - L'indicazione di tutti i valori che caratterizzano il tipo
  - L'eventuale strutturazione di insiemi di valori
- Esempio: tipo t : T
  - t è il nome che indica il tipo
  - T ne è la descrizione

Tipi Semplici

- I cui elementi sono singoli valori
  - primitivi (forniti dal linguaggio)
  - definiti dall'utente

Tipi Scalari

- Corrispondenza uno-a-uno fra i valori e un intervallo di interi
  - Ordinali dei relativi valori
- Operazioni consentite:
  - Confronto
  - Assegnamento
  - Funzioni predecessore-successore
  - pred(X)
  - succ(Y)

Tipi Scalari

- Sono tipi scalari quelli usati più di frequente
  - Solitamente predefiniti in ogni linguaggio
    - Interi, Logici, Caratteri
- Altri sono definibili dal programmatore
  - Enumerativi (il più spontaneo)
    - Elenco dei valori
  - Sottocampo di un tipo scalare
    - Valori estremi (min/max)

Dati Strutturati

- Insiemi di valori correlati
  - Indicati collettivamente da un unico nome
  - Si presuppone che tra essi esista una struttura legata
    - all'organizzazione
    - al tipo di valori che compongono l'insieme
    - alle operazioni per estrarre i dati dall'insieme
  - È fondamentale il modo in cui vengono individuati i dati componenti

Variabili Strutturate

- I cui valori sono aggregazioni di componenti
  - La dichiarazione prevede l'indicazione di
    - Nome
    - Tipo di struttura
- I linguaggi di programmazione offrono costruttori per le strutture più comuni
  - Operatori già definiti
    - Alcuni linguaggi consentono operazioni su intere variabili strutturate
- Strutture più complesse definibili attraverso il costrutto di tipo

Struttura di Dati

- Agglomerato (significativo) in cui sono riuniti dati da elaborare
  - Particolare tipo di dato
    - Caratterizzato più dall'organizzazione imposta agli elementi componenti che dal tipo degli elementi stessi
- Consiste di
  - Un modo sistematico di organizzare i dati
  - Un insieme di operatori per
    - Manipolare elementi della struttura
    - Aggregare elementi per costruire altre strutture

Strutture di dati
Esempi

- Tabelle
  - Orario delle Lezioni
  - Orario Ferroviario
  - Matrici
- Date
- Schede
  - Patente e altri documenti di riconoscimento
  - Schede di biblioteca

Strutture di Dati

- I moderni linguaggi di programmazione mettono a disposizione
  - Un insieme di strutture di uso più comune (predefinite)
    - Sufficiente l'indicazione di
      - Dimensione
      - Tipo delle componenti
  - Gli strumenti per poter costruire qualunque tipo di struttura
    - Costruttori di tipo

Strutture di Dati
Dimensioni di Classificazione

- Disposizione dei dati componenti
  - Lineari
    - Dati disposti in sequenza
      - Primo elemento, secondo elemento, …
  - Non lineari
    - Non è individuata una sequenza
- Numero di dati componenti
  - A dimensione fissa
    - Il numero di elementi della struttura rimane costante nel tempo
  - A dimensione variabile
    - Il numero di elementi può variare nel tempo

Strutturare i Dati

- Applicazioni
  - Vettore/Matrice
- Prodotto Cartesiano
  - Record
- Insieme Potenza
  - Set
- Sequenze
  - File

Vettore

- Tabella monodimensionale
  - Struttura lineare
  - A dimensione fissa
- Sequenza di elementi dello stesso tipo
  - Operazioni consentite:
    - Lettura (selezione)
      - Reperimento del valore di un elemento
    - Scrittura (sostituzione)
      - Sostituzione del valore di un elemento con un nuovo valore

Vettore

- Numero fissato di componenti
  - Tutte dello stesso tipo
    - Tipo base
  - Ciascuna esplicitamente denotata ed indirizzata tramite un selettore (indice)
    - Non si è legati ad uno specifico tipo di indice
- Definito da:
  - Tipo degli elementi
  - Numero degli indici
  - Tipo degli indici

Vettore

- vettore (tipo_indice) di tipo_base
- Accesso a qualunque componente
  - Specificandone la posizione
    - Nome della variabile vettore seguito dall'indice
  - In un tempo indipendente dal valore dell'indice
    - Accesso diretto (random)
- Un elemento di un vettore può essere a sua volta di un tipo strutturato

Vettori
Rappresentazione

- Componenti allocate in locazioni contigue
  - Ordinatamente
  - Consecutivamente
- Occupazione totale di memoria d * n
  - Tipo base d parole di memoria
    - Dipendente dal tipo di componenti
  - Vettore n elementi
- Posizione della prima componente: I0
  - j-esima componente I0 + (j – 1) * d

Vettori

- Dipendono dal linguaggio di programmazione:
  - Modalità di
    - Dichiarazione
    - Definizione dell'intervallo di variabilità dell'indice
    - Scrittura degli indici
  - Possibilità di operazioni multiple
    - Agiscono su tutti gli elementi della struttura
      - Purché abbiano uguali dimensioni
    - Se non definite, necessarie iterazioni

Vettori

- Solo tipo strutturato disponibile in alcuni linguaggi
- Indici solo interi positivi in alcuni linguaggi di programmazione
- Nei linguaggi a tipizzazione forte esistono
  - Dichiarativa di tipo vettore
  - Dichiarativa di variabile vettore (diretta)
- In altri linguaggi la dichiarativa di vettore è diretta e con notazioni implicite

Vettori
Elaborazione

- Sequenziale
- Su tutte le componenti
  - Uso di strutture iterative
    - Numero di ripetizioni noto a priori
      - For
    - Controllo della condizione sull'indice della struttura, rispetto alla dimensione massima del vettore
      - While
      - Do - while

Vettori Multidimensionali

- Vettori di Vettori
- Esempio: tipo materia : (informatica, analisi, geometria, algebra)
  - orario : vettore (lun … sab) di
    vettore (8 … 13) di materia
- Abbreviazione:
  - orario : vettore(lun … sab, 8 … 13) di materia

Vettori Multidimensionali Rappresentazione

- Linearizzazione
  - Componenti memorizzate in sequenza
    - Si inizia da quelle più interne
- Esempio
  - A(1…l, 1…m, 1…n) 3 dimensioni
  - Memorizzazione per righe
    - A(i, j, k)
      - (i – 1) * m * n *d + (j – 1) * n * d + (k – 1) * d

Vettori Esempio

- In matematica, matrici
  - A una dimensione (vettori) o a più dimensioni
    - Sono fondamentali le dimensioni
  - Variabili sottoscritte o con indici
    - Considerate come un tutto unico
      - Operazioni tra matrici (algebra matriciale)
    - Indici interi
      - Rappresentano la posizione che quella variabile occupa in una struttura di variabili
      - Servono ad indicare univocamente quella variabile

Record - Struct

- Registra in una n-pla di dati le principali caratteristiche di un'entità
  - Struttura non lineare
  - A dimensione fissa
- Insieme di dati non omogenei
  - Operazioni consentite:
    - Lettura (selezione)
      - Reperimento del valore di un elemento
    - Scrittura (sostituzione)
      - Sostituzione del valore di un elemento con un nuovo valore

Record - Struct

- Numero fissato di componenti
  - Tipi potenzialmente diversi
  - Ciascuna esplicitamente denotata ed indirizzata tramite un selettore (campo)
    - Paragonabile ad una variabile ordinaria
    - Denotato da un identificatore
- Definito dalla descrizione, per ogni singola componente, di:
  - Tipo
    - Limiti di variabilità del valore che può assumere
  - Identificatore per accedervi

Record - Struct

- record identificatore : tipo;
- …
- identificatore : tipo
- Accesso a qualunque componente
  - Specificandone il campo
    - Nome della variabile record seguito dall'identificatore del campo
- Un elemento di un record può essere a sua volta di un tipo strutturato

Record - Struct Rappresentazione

- Componenti allocate
  - In posizioni di memoria contigue
  - Nell'ordine in cui sono specificate nella dichiarazione
- Occupazione di memoria complessiva
  - Somma dell'occupazione di ciascun campo
    - Note in fase di compilazione
- Posizione di memoria di un campo
  - Somma della posizione iniziale del record e della somma delle dimensioni dei campi precedenti

Record - Struct

- Variabile strutturata a molte componenti
  - Aggregazioni di dati
  - Tipi potenzialmente differenti
  - Accesso alle componenti tramite nome
- Astrazione delle modalità di memorizzazione dei dati usate a livello di linguaggio macchina

Record - Struct Esempi

- Data
  - Giorno, Mese, Anno
- Scheda bibliografica
  - Autore, Titolo, Prezzo, Anno, Prestito
- Indirizzo
  - Via, N. civico, CAP, Città, Provincia
- Scheda anagrafica
  - Nome, Cognome, Data di nascita, Stato civile

Array vs. Record

- Dimensione fissa
- Tipo componenti omogeneo
- Sequenza
  - Ordine
- Accesso diretto
  - Indice
    - Uso di espressioni
      - Flessibilità

- Dimensione fissa
- Tipi componenti diversi
  - Più generale
- Insieme
- Accesso diretto
  - Identificatore di campo

Array & Record

- Spesso si ha a che fare con strutture formate da array di record
  - Sequenza di schede
    - Simili fra loro
    - Distinguibili in base alla chiave:
      un campo (o sottoinsieme dei campi) che identifica univocamente un record
  - Esempi
    - Schedario di dipendenti (Chiave: Codice Fiscale)
    - Orario Ferroviario (Chiave: Numero Treno)

Programmazione Modulare (1)

- Tecnica basata sul metodo di scomposizione di un problema in sottoproblemi logicamente indipendenti tra loro
  - Ad ogni sottoproblema corrisponde un modulo
    - Codificati separatamente
    - Compilati separatamente (talvolta)
    - Integrati solo alla fine per formare il programma complessivo

Programmazione Modulare (2)

- Un problema caratterizzato da
  - un algoritmo A
  - che opera sull'insieme dei dati di partenza D
  - per produrre l'insieme dei risultati R
- viene suddiviso in un insieme finito di n problemi a differenti livelli caratterizzati dalla tripla: (Di, Ai, Ri)
  - Interazione e ordine di esecuzione degli algoritmi secondari per ottenere la soluzione del problema originario gestita da un algoritmo coordinatore

Programmazione Modulare (3)

- Algoritmo coordinatore = programma principale
- Algoritmi secondari = sottoprogrammi
  - Diversi livelli
  - Gerarchia di macchine astratte, ciascuna delle quali
    - Realizza un particolare compito in modo completamente autonomo
      - Proprie definizioni di tipi, dichiarazioni di variabili e istruzioni
    - Fornisce la base per il livello superiore
    - Si appoggia su un livello di macchina inferiore (se esiste)

Programmazione Modulare Tecniche

- Basate sul metodo di soluzione di problemi consistente nello scomporre un problema in sottoproblemi più semplici
  - Sviluppo top-down
    - Approccio step-wise refinement
  - Sviluppo bottom-up
  - Sviluppo “a sandwich”

Raffinamenti Successivi

- Metodo Basato su
  - Raffinamento di un passo della procedura di soluzione
    - Legato alle modalità di esecuzione conseguenti una certa suddivisione in sottoproblemi
      - Necessario concentrarsi sul “cosa” piuttosto che sul “come”
  - Raffinamento della descrizione dei dati
    - Definizione della struttura e tipo
    - Definizione delle modalità di comunicazione
      - Come renderli comuni a più sottoproblemi

Sviluppo Top-Down

- Costruzione del programma per livelli successivi
  - Corrispondenza con la scomposizione del problema cui è relativo
    - Strumento concettuale per la costruzione di algoritmi
  - Dettagliamento successivo delle parti in cui viene scomposto (sottoprogrammi) fino al codice finale
    - Strumento operativo per l’organizzazione e lo sviluppo di programmi complessi
- Metodo trial and error
  - Prova e riprova alla ricerca della scomposizione ottimale

Sviluppo Bottom-Up

- Partendo dalle istruzioni del linguaggio
  - Costruzione di programmi molto semplici
  - Collegamento successivo in programmi più complessi
- fino ad ottenere il programma finale
- Usato soprattutto nell'adattamento di algoritmi codificati già esistenti a nuove situazioni

Metodo a Sandwich

- Basato su una cooperazione fra le tecniche top-down e bottom-up
  - Necessità di raffinare via via la soluzione del problema principale
    - Scomposizione in algoritmi che ne risolvono delle sottoparti
  - Disponibilità di algoritmi di base per problemi semplici
    - Raggruppamento in algoritmi via via più complessi

Sottoprogramma

- Insieme di istruzioni
  - Individuate da un nome
  - Che concorrono a risolvere un problema
    - Ben definito
      - Sensato
    - Non necessariamente fine a sé stesso
      - Supporto per la risoluzione di problemi più complessi
- Esempi:
  - Scambio, Ricerca del Minimo, Ordinamento, …

Sottoprogrammi

- Un programma viene strutturato in sottoprogrammi:
  - Per rispettare la decomposizione ottenuta con il metodo di progettazione dell'algoritmo
  - Per strutturarne in maniera chiara l'architettura
  - Perché lo stesso tipo di elaborazione deve essere ripetuto più volte in diversi punti del programma

Sottoprogrammi
Utilità

- Necessità di risolvere uno stesso problema
  - Più volte
    - All'interno dello stesso programma
    - In programmi diversi
  - Su dati eventualmente diversi
- Unicità dello sforzo creativo
  - Modifiche
  - Riuso

Astrazioni Funzionali

- Fornite dai linguaggi di programmazione ad alto livello
  - Consentono di creare unità di programma
    - Dando un nome ad un gruppo di istruzioni
    - Stabilendo le modalità di comunicazione tra l'unità di programma creata ed il resto del programma in cui essa si inserisce
  - Assumono nomi diversi a seconda del linguaggio di programmazione
    - Subroutine
    - Procedure
    - Metodi
    - …

Astrazioni Funzionali

- Paragonabili a nuove istruzioni che si aggiungono al linguaggio
  - Definite dall'utente
    - Specifiche per determinate applicazioni o esigenze
  - Più complesse delle istruzioni base del linguaggio
    - Analogia con il rapporto fra linguaggi ad alto livello e linguaggio macchina
  - Ciascuna risolve un ben preciso problema o compito
    - Analogia con un programma

Astrazioni Funzionali

- Struttura risultante di un programma:
  - Intestazione di programma
  - Definizione di tipi
  - Dichiarazioni di variabili
  - Dichiarazione di macchine astratte
  - Corpo di istruzioni operative
  - Le dichiarazioni di macchine astratte rispecchiano le regole di struttura di un programma

Sottoprogramma

- Indipendentemente dalle regole sintattiche del particolare linguaggio di programmazione
  - Individuabile con un nome
    - Identificatore
  - Prevede l'uso di un certo insieme di risorse
    - Variabili, costanti, …
  - Costituito da istruzioni
    - Semplici o, a loro volta, composte
  - Differisce da un programma nelle istruzioni di inizio
    - Specificano che (e come) altri pezzi di programma possono sfruttarlo

Chiamata di Sottoprogrammi

- Esecuzione delle istruzioni di un sottoprogramma
  - Modalità: deve essere comandata dal programma chiamante
    - Specifica del nome associato
  - Effetto: si comporta come se il sottoprogramma fosse copiato nel punto in cui è stato chiamato
    - Eliminazione di ridondanza

Chiamata di Sottoprogrammi

- All'atto dell'attivazione (su chiamata) dell'unità di programma
  - Viene sospesa l'esecuzione del programma (o unità) chiamante
  - Il controllo passa all'unità attivata
- All'atto del completamento della sua esecuzione
  - L'attivazione termina
  - Il controllo torna al programma chiamante

Sottoprogrammi

- Definizione
  - Titolo o intestazione
    - Identificatore
    - Specifica delle risorse usate
  - Corpo
    - Sequenza di istruzioni denotata dal nome della procedura
- Comunicazione
  - Come si connettono i sottoprogrammi tra di loro?
  - Come si scambiano dati?
  - Come comunicano col programma principale?

Sottoprogrammi
Nidificazione

- Le risorse di cui fa uso un sottoprogramma possono includere altri sottoprogrammi
  - Completa analogia con i programmi
- Si viene a creare una gerarchia di sottoprogrammi
  - Struttura risultante ad albero
    - Relazione padre-figlio riferita alla dichiarazione

Sottoprogrammi
Comunicazione

- Un sottoprogramma può comunicare
  - Con l'ambiente esterno
    - Attraverso istruzioni di lettura e/o scrittura
  - Con l'ambiente chiamante
    - Implicitamente
      - Operando direttamente sulle stesse variabili
    - Esplicitamente
      - Attraverso l'uso di parametri
        - » Evidenziano le variabili che il sottoprogramma ha in input e, opportunamente elaborate, vengono tramutate in output del sottoprogramma

Vista

- Insieme di risorse cui il sottoprogramma ha accesso
  - Dati
  - Altri sottoprogrammi
- Definita da
  - Nidificazione nella dichiarazione dei sottoprogrammi
    - Statica
  - Sequenza di chiamata dei sottoprogrammi
    - Dinamica
- Utile per limitare l'accesso alle risorse ai soli interessati

Vista
Sottoprogrammi

- Ciascun sottoprogramma può richiamare solo i sottoprogrammi
  - Che esso dichiara direttamente
  - Dichiarati dallo stesso sottoprogramma che lo dichiara
    - Incluso se stesso
      - Ricorsione
- Visibilità definita esclusivamente in base alla nidificazione

Vista
Variabili

- Ciascun sottoprogramma può usare esclusivamente
  - Le proprie variabili
  - Le variabili dichiarate dai sottoprogrammi attualmente in esecuzione
    - Visibilità dipendente
      - Dalla struttura della gerarchia di dichiarazione dei sottoprogrammi (statica)
      - Dall'ordine di chiamata dei sottoprogrammi precedenti (dinamico)

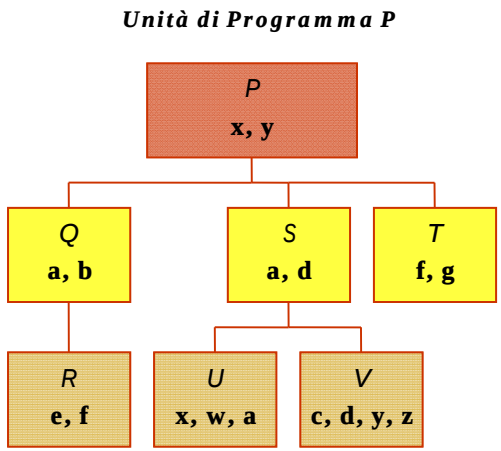
Vista: Shadowing

- Può capitare che diversi sottoprogrammi dichiarino risorse con lo stesso nome
  - Oggetti diversi, totalmente scorrelati
    - Possono avere tipi diversi
- Può capitare che, fra i sottoprogrammi attivi in un certo istante, alcuni abbiano dichiarato risorse con lo stesso nome
  - Ciascun sottoprogramma attivo ha accesso solo al sinonimo "più vicino"
    - Visibilità dipendente esclusivamente dall'ordine di chiamata dei sottoprogrammi precedenti

Sottoprogrammi
Tipi di Variabili

- Variabili locali
  - Interne al sottoprogramma
  - Temporanee
    - Create quando il sottoprogramma entra in azione
    - Distrutte quando il sottoprogramma è stata eseguita
      - Liberazione del relativo spazio di memoria
- Variabili non locali
  - Definite nel resto del programma, al di fuori del sottoprogramma
    - Dette globali se definite nel programma principale

Vista
Esempio



Effetti Collaterali

- Effetti di un sottoprogramma che altera il valore di una variabile non locale
  - La presenza di tali variabili impedisce che il sottoprogramma possa essere considerato come un'entità completa e autoconsistente
    - Non si riferisce esclusivamente alle sue costanti, variabili e parametri
  - Valutare attentamente l'uso, all'interno di un sottoprogramma procedura, di variabili non locali
    - Chiarezza
    - Sicurezza

Parametri Formali

- Segnaposto utili ad indicare simbolicamente
  - gli oggetti su cui il sottoprogramma lavora
  - il loro tipo e struttura
- I loro nomi appaiono nell'intestazione della funzione
  - Non hanno alcuna connessione con nomi usati altrove
- All'atto della chiamata vengono sostituiti dai parametri effettivi (o reali)
  - Dati su cui effettivamente il sottoprogramma deve operare

Parametri Formali

- Specificati all'atto della definizione del sottoprogramma
  - Legati al sottoprogramma
  - Simbolici
  - Consentono di definire
    - Quale tipo di dato deve essere passato alla procedura
    - Quale argomento deve essere trasmesso alla funzione
  - quando queste sono invocate

Parametri Effettivi (actual parameters)

- Alla chiamata di un sottoprogramma, si specificano i dati effettivi su cui esso dovrà operare
  - valori costanti, variabili, espressioni, …
  - conformità con i parametri formali
    - Numero, tipo e ordine
- L'esecuzione dell'istruzione di chiamata (o invocazione) comporta la sostituzione dei parametri formali con quelli reali

Parametri
Tipi di Passaggio

- La sostituzione può essere:
  - Per valore
    - Si calcola il valore del parametro reale e lo si sostituisce al corrispondente parametro formale (assegnazione)
  - Per riferimento
    - Il parametro effettivo è una variabile ed ha a disposizione una locazione di memoria il cui indirizzo viene "passato" al parametro formale
  - Per nome (o valore-risultato)
    - Il nome del parametro formale, all'occorrenza, viene sostituito col nome del parametro reale

Passaggio di Parametri
per Valore

- Generalmente usato per parametri che
  - Rappresentano un argomento di una funzione/sottoprogramma e non il risultato
    - Inutile (anzi potenzialmente dannoso) consentirne la modifica

Passaggio di Parametri
per Riferimento

- Usato più spesso quando il parametro
  - rappresenta un risultato
    - necessità di conoscere la modifica
  - ha dimensioni notevoli
    - computazionalmente costoso ricopiarlo interamente
- Minore leggibilità
  - stessa variabile usata sotto diverse denominazioni
- Potenziale fonte di errori
  - errori nel sottoprogramma non più recuperabili

Funzioni

- Sottoprogrammi che hanno come risultato il calcolo di un valore
  - hanno un'istruzione che ritorna il risultato
- L'intestazione di funzione prevede una lista di parametri formali
- String cercaNome(Studente[] v, int matricola)
  - Nome della funzione: cercaNome
    - Il designatore di funzione specifica l'attivazione della funzione
  - Lista di parametri: (Studente[] v, int matricola)
  - Tipo del risultato: String

Funzioni dichiarazione

- Prevede un costrutto linguistico del tipo
- funzione <id> <lista-argomenti> : <tipo-risultato>
  - In <lista-argomenti> si rappresentano i parametri di entrata (con i loro tipi)
    - Come tali, teoricamente andrebbero sempre passati per valore al fine di evitare effetti collaterali
  - Come per le procedure, è possibile avere nella funzione una sezione delle dichiazioni delle variabili locali

Sottoprogrammi come Parametri

- Nella classe dei parametri di sottoprogrammi rientrano anche altri sottoprogrammi
  - Usare un sottoprogramma F come parametro di sottoprogramma G:
    F eseguito durante l'esecuzione di G
- Il parametro formale corrispondente ad un sottoprogramma
  - Riporta l'intestazione
    - I nomi del sottoprogramma e dei parametri possono cambiare
  - Vincolo: deve avere esclusivamente parametri passati per valore

Sottoprogrammi come Parametri

- All'invocazione di un sottoprogramma avente come parametri altri sottoprogrammi
  - parametro effettivo = identificatore (o riferimento) relativo a un sottoprogramma avente i medesimi requisiti riguardo a parametri o tipo del risultato
  - durante l'esecuzione del sottoprogramma invocato, ogni occorrenza del parametro formale implica l'uso corrispondente del sottoprogramma fornito come parametro effettivo

Ricorsione

- Si dimostra che
  - Ogni problema ricorsivo è computabile per mezzo di un programma
- e, viceversa,
  - Ogni problema computabile per mezzo di un programma è esprimibile in forma ricorsiva
- Le scomposizioni ricorsive implicano, a livello di codice, programmi in grado di invocare se stessi
  - procedure o funzioni ricorsive

Ricorsione
Esempio

- Calcolo del fattoriale
- n! = n * (n – 1) * (n – 2) * … * 2 * 1
  - esprimibile ricorsivamente come

$$n! = \begin{cases} 1 & \text{se } n = 0 \\ n * (n-1)! & \text{se } n > 0 \end{cases}$$

Ricorsione
Esempio

- Sia nfatt(n) la funzione che calcola il fattoriale di n per ogni intero n >= 0
  - Se n = 0
    - allora nfatt(n) = 1
    - altrimenti nfatt(n) = n * nfatt(n – 1)
- L'esecuzione della funzione nfatt causa chiamate ricorsive della stessa funzione
  - Sovrapposizione di ambienti di programmazione nello stack in fase di esecuzione

Ricorsione
Esempio

- 4!: poiché 4 > 0, 4! = 4 * 3! = 4 * ?…
  - 3!: poiché 3 > 0, 3! = 3 * 2! = 3 * ?…
    - 2!: poiché 2 > 0, 2! = 2 * 1! = 2 * ?…
      - 1!: poiché 1 > 0, 1! = 1 * 0! = 1 * ?…
        - » 0!: è noto che 0! = 1
      - … = 1 * 1 = 1
    - … = 2 * 1 = 2
  - … = 3 * 2 = 6
- … = 4 * 6 = 24

Mutua Ricorsione

- Insieme di sottoprogrammi che si chiamano a vicenda, l'ultimo dei quali chiama il primo
  - A chiama B che chiama C … che chiama Z che chiama A
- Caso più semplice
  - 2 sottoprogrammi
    - A chiama B
    - B chiama A

Mutua Ricorsione

- È un caso (più complesso) di ricorsione
  - La chiamata di un sottoprogramma a se stesso avviene attraverso una serie di chiamate intermedie
- Correttezza dipendente da 2 fattori
  - È necessario un livello assiomatico
    - Soluzione nota senza chiamata ricorsiva
  - Bisogna assicurarsi che la chiamata ricorsiva avvenga su un problema di ordine inferiore
    - Più vicino alla base

Mutua Ricorsione Esempio

- Definizione dei numeri pari e dispari
  - Base: 0 è un numero pari
  - Passo:
    - Il successore di un numero pari è dispari
    - Il successore di un numero dispari è pari
- Ricorsiva
  - pari definito in termini di dispari, definito a sua volta in termini di pari
  - Parità di un numero (pari o dispari) definita in termini di proprietà del suo predecessore
    - Avvicinamento progressivo al caso noto (0)

Torri di Hanoi

- Dati
  - 3 pioli
  - n dischi, tutti di diametro diverso, impilati su un piolo per diametro decrescente
- Obiettivo: Spostare la pila di dischi da un piolo a un altro
- Vincoli
  - Si può spostare un solo disco per volta
  - Qualunque impilamento di dischi su un piolo deve rispettare l'ordinamento per diametro decrescente

Torri di Hanoi
Soluzione Iterativa

- Finché non raggiungi la configurazione finale
  - Determina il disco da muovere
  - Determina il piolo su cui metterlo
  - Effettua lo spostamento
- Lo spostamento è un'azione primitiva
  - Per la scelta del piolo, notiamo che
    - I dischi di ordine pari percorrono i pioli in ordine alfabetico
    - Quelli di ordine dispari in senso contrario

Torri di Hanoi
Soluzione Iterativa

- Determina il disco da muovere
  - Se i dischi sono tutti in un piolo si muove quello in alto
  - Se i dischi sono tutti in 2 pioli non si muove il disco mosso per ultimo
  - Se i dischi sono in tre pioli si muove il più piccolo disco che non è stato mosso per ultimo
- Determina il piolo su cui metterlo
  - Determina se il disco è di ordine pari o dispari
    - Se è pari spostare il disco nel piolo che segue in ordine alfabetico
    - Se è dispari spostarlo sul piolo che segue in un ordine antialfabetico

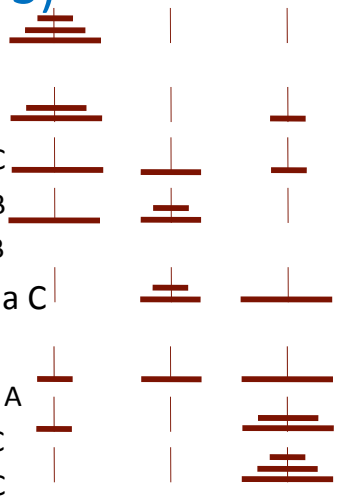
Torri di Hanoi
Soluzione Ricorsiva

- Notazione P(ndischi; partenza, servizio, arrivo)
  - Sposta ndischi dischi dal piolo partenza al piolo arrivo usando il piolo servizio come appoggio
    - Problema iniziale: P(n; A, B, C)
- Se n = 1: muovi il disco da partenza ad arrivo
- Se n > 1:
  - Sposta n – 1 dischi da partenza a servizio usando arrivo come appoggio
  - Sposta il disco rimanente da partenza ad arrivo
  - Sposta gli n – 1 dischi da servizio ad arrivo usando partenza come appoggio

Torri di Hanoi
Esempio (n=3)

pila

tempo



- P(3; A, B, C)
  - P(2; A, C, B)
    - P(1; A, B, C) immediato da A a C
    - P(1; A, C, B) immediato da A a B
    - P(1; C, A, B) immediato da C a B
  - P(1; A, B, C) immediato da A a C
  - P(2; B, A, C)
    - P(1; B, C, A) immediato da B ad A
    - P(1; B, A, C) immediato da B a C
    - P(1; A, B, C) immediato da A a C

Allocazione Dinamica della Memoria

- Consiste nell'allocare memoria durante l'esecuzione invece che all'atto della traduzione
  - Il compilatore alloca una quantità fissata di memoria per contenere l'indirizzo della componente allocata dinamicamente invece che la componente stessa
    - Si supera il problema della contiguità delle locazioni relativa ad una medesima struttura o programma
    - La memoria, così, è allocata automaticamente non appena la componente è referenziata

Allocazione Dinamica della Memoria

- Tecnica basata sull'uso di un puntatore
  - Variabile il cui valore è il nome di un'altra variabile creata dinamicamente
- Operazioni disponibili sul puntatore p
  - Accesso alla locazione il cui indirizzo è in p
  - Richiesta di nuova locazione e memorizzazione di tale indirizzo in p
  - Rilascio della locazione il cui indirizzo è in p

Tipo Puntatore

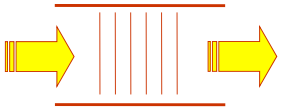
- Variabile contenente un indirizzo di memoria
  - Indirizzamento indiretto
- Necessità di specificare il tipo di dato che sarà contenuto a quell'indirizzo
  - Riservare lo spazio di memoria

Sequenze in Memoria Centrale

- Pila (Stack): Sono possibili solo operazioni di accodamento e di estrazione dell'ultimo elemento inserito. Last In, First Out (LIFO)
- Coda (Queue): Comportamento tale che il primo elemento inserito è il primo ad essere elaborato. First In, First Out (FIFO)
- Lista concatenata (Linked List): Ciascun elemento conosce la posizione del successivo
  - Generico elemento raggiungibile tramite scansione

Pile Operatori

- Push(x,e)
  - Impilamento di un elemento e alla pila x
- Pop(x)
  - Estrazione dell'elemento in cima alla pila x
- Top(x)
  - Lettura dell'elemento in cima alla pila x
    - Non lo rimuove
- Empty(x)
  - Funzione booleana che controlla se la pila x è vuota



Code Operatori

- Enqueue(x,e)
  - Accodamento di un elemento e alla coda x
- Dequeue(x,b)
  - Estrazione dell'ultimo elemento della coda x
- Empty(x)
  - Funzione booleana che controlla se la coda x è vuota

Liste Concatenate

- Memorizzata la posizione del primo elemento
- Ciascun elemento composto da due parti
  - Dato vero e proprio
  - Posizione dell'elemento successivo
- Ultimo elemento segnalato da un terminatore