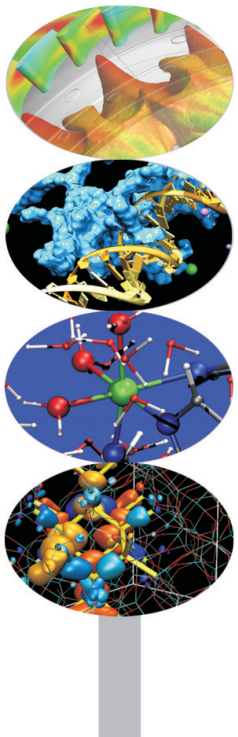
CINECA SCAI
SuperComputing Applications and Innovation

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

A Fortran Survey

F. Salvadore

CINECA Roma - SCAI Department



Roma, 2015

CINECA

Outline

Le basi
- Introduzione
- Il mio primo programma Fortran
- Tipi intrinseci e derivati
- Array e cicli
- Input/output

Unità di programma

Array e allocazione dinamica

Fortran + C = *iso_c_binding*

Bibliografia

Outline

For(mula) Tran(slator)

- Sviluppato negli anni ’50: il primo linguaggio di alto livello! (HLL)
- Rapidamente diffuso nell’area del calcolo scientifico e tecnico:
  - Le regole del linguaggio permettono un’ottimizzazione efficiente dei calcoli
  - Molte funzioni e tipi matematici fanno parte del linguaggio
- Gli standard definiscono le evoluzioni del linguaggio:
  - Fortran 66: il primo standard di linguaggio in assoluto
  - Fortran 77: diffusissimo, tuttora molti codici lo seguono
  - Fortran 90 e poi 95: aggiunge l’allocazione dinamica, l’array-*syntax*, ADT etc.
  - Fortran 2003: aggiunge programmazione OO e varie altre cose, quasi completamente implementato dai compilatori
  - Fortran 2008: pubblicato nel 2010 e implementato solo in parte dai compilatori

Fortran & C a confronto

- A favore del C
  - codici Fortran correnti seguono almeno quattro “stili” (legati agli standard) oltre a istruzioni non standard più o meno diffuse
  - il Fortran può essere terribilmente scomodo per applicazioni non di calcolo numerico (GUI, accessi a DB,...)
  - ci sono più programmatori C che non programmatori Fortran
  - lo standard C99 ha soddisfatto alcune esigenze numeriche del C
- A favore del Fortran
  - Fortran è più rigido del C: è più facile scrivere codice con buone prestazioni rispetto a quanto accade nel C
  - dal 2003 il Fortran dispone di feature Object Oriented
  - dal 2003 ci sono modalità standard di interoperabilità con C e altri linguaggi
  - il Fortran gestisce meglio del C i tipi definiti dall’utente

Outline

Le basi

- Introduzione
- Il mio primo programma Fortran
- Tipi intrinseci e derivati
- Array e cicli
- Input/output

Unità di programma

Array e allocazione dinamica

Fortran + C = *iso_c_binding*

Bibliografia

Media e varianza di un array

C

```c
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

int main() {
    const int N=10;
    double a[N];
    double avg,var;

    for(int i=0;i<N;i++) { // inizializzazione
       a[i] = i;
    }

    avg = 0.; var = 0.;
    for(int i=0;i<N;i++) { // calcolo
       avg += a[i];
       var += a[i]*a[i];
    }
    avg = avg/N;
    var = var/N - avg*avg;

    printf("media: %lf \n",avg); // output
    printf("varianza: %lf \n", var);
    return 0;
}
```

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **[program *nome*]** e termina con l'istruzione **end [program [*nome*]]**

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **[program *nome*]** e termina con l'istruzione **end [program [*nome*]]**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **[program *nome*]** e termina con l'istruzione **end [program [*nome*]]**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni
  - **implicit none** evita l'assegnazione automatica dei tipi alle variabili non definite ([i-n] interi, reali le altre)

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **[program *nome*]** e termina con l'istruzione **end [program [*nome*]]**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni
  - **implicit none** evita l'assegnazione automatica dei tipi alle variabili non definite ([i-n] interi, reali le altre)
- I commenti dopo il **!** e per proseguire una linea **&**

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **[program *nome*]** e termina con l'istruzione **end [program [*nome*]]**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni
  - **implicit none** evita l'assegnazione automatica dei tipi alle variabili non definite ([i-n] interi, reali le altre)
- I commenti dopo il **!** e per proseguire una linea **&**
- Non servono i **;** a fine istruzione se si va a capo…

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **`[program nome]`** e termina con l'istruzione **`end [program [nome]]`**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni
  - **`implicit none`** evita l'assegnazione automatica dei tipi alle variabili non definite ([i-n] interi, reali le altre)
- I commenti dopo il **`!`** e per proseguire una linea **`&`**
- Non servono i **`;`** a fine istruzione se si va a capo…
- …e la riga è lunga al massimo 132 colonne

Il programma principale (*main*)

C

```
// Media e varianza di array
int main() {
    const int N=10;
    ...
    for(int i=0;i<N;i++)
    ...
}
```

Fortran

```
! Media e varianza di array
program avg_var
   implicit none
   integer, parameter :: N=10
   ...
   do i=1,N
   ...
end program avg_var
```

- Il main, uno e uno solo, inizia con l'istruzione **`[program nome]`** e termina con l'istruzione **`end [program [nome]]`**
- Seguono in ordine: dichiarazione di variabili e istruzioni
  - **`implicit none`** evita l'assegnazione automatica dei tipi alle variabili non definite ([i-n] interi, reali le altre)
- I commenti dopo il **`!`** e per proseguire una linea **`&`**
- Non servono i **`;`** a fine istruzione se si va a capo…
- …e la riga è lunga al massimo 132 colonne
- Il Fortran è case InSENsitIVE!

Outline

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10
```

- **integer** per gli interi

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer, parameter :: N=10
```

- **integer** per gli interi
  - l'attributo **parameter** definisce una costante

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10

real :: a(N)
real :: avg,var
```

- **integer** per gli interi
  - l'attributo **parameter** definisce una costante
- **real** per i *floating-point* in singola precisione

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10

real :: a(N)
real :: avg,var
```

- **`integer`** per gli interi
  - l'attributo **`parameter`** definisce una costante
- **`real`** per i *floating-point* in singola precisione
- Per la doppia precisione:

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10

real*8 :: a(N)
real*8 :: avg,var
```

- **`integer`** per gli interi
  - l'attributo **`parameter`** definisce una costante
- **`real`** per i *floating-point* in singola precisione
- Per la doppia precisione:
  - **`real*8`** (**non-standard** ma molto usato)

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10
integer, parameter :: myk=kind(1.d0)
real(myk) :: a(N)
real(kind(1.d0)) :: avg,var
```

- **`integer`** per gli interi
  - l'attributo **`parameter`** definisce una costante
- **`real`** per i *floating-point* in singola precisione
- Per la doppia precisione:
  - **`real*8`** (**non-standard** ma molto usato)
  - **`real(kind(1.d0))`** in cui **`kind(1.d0)`** restituisce il "kind" del reale in doppia precisione **`1.d0`**

Interi e reali

C

```
const int N=10;

double a[N];
double avg,var;
```

Fortran

```
integer :: N=10
integer, parameter :: myk=kind(1.d0)
real(myk) :: a(N)
real(kind(1.d0)) :: avg,var
```

- **`integer`** per gli interi
  - l'attributo **`parameter`** definisce una costante
- **`real`** per i *floating-point* in singola precisione
- Per la doppia precisione:
  - **`real*8`** (**non-standard** ma molto usato)
  - **`real(kind(1.d0))`** in cui **`kind(1.d0)`** restituisce il "kind" del reale in doppia precisione **`1.d0`**
  - **`real(selected_real_kind(12))`** in cui **`selected_real_kind(12)`** restituisce il "kind" di un reale con una precisione di almeno 12 cifre

Ancora sui tipi intrinseci

- Attenzione alle costanti letterali: **`1.2`** in C è un **`double`**, in Fortran è del tipo reale di default (di fatto in singola), quindi come **`1.2F`**
- Per usare costanti in doppia precisione, come visto, **`1.2d0`** oppure modi più raffinati usando i kind definiti (**`1.2_myk`**)
- Il Fortran fornisce i tipi intrinseci **`logical`** per i booleani e **`complex`** per i complessi, analoghi dei tipi C **`bool`** e **`complex`** (solo in C99)
- Per i caratteri:
  - **`character :: c`** definisce una variabile contenente un singolo carattere
  - **`character(len=80) :: s`** definisce una variabile contenente fino a 80 caratteri
- Regole analoghe a quelle del C valgono anche per il Fortran riguardo i *cast* impliciti

Tipi derivati

- L'equivalente di **`struct`** in C è **`type`**

```
type position
  real :: x, y, z
end type position
```

- **`type(position) :: r`** dichiara una variabile di tipo **`position`**
- Tipi derivati possono contenere altri tipi derivati
- L'operatore `%` permette di accedere alle componenti: **`r%y = 0.0; p%v%z=0.0`**
- Il nome del tipo è il costruttore di default: **`r=position(1.,2.,3.)`**
- L'assegnazione `=` è disponibile intrinsecamente
- **`interface operator(op-name)`** permette di definire gli altri operatori

Outline

Array 1D

- Array monodimensionali si dichiarano con la dimensione tra parentesi tonde **`real :: a(N)`**
  o specificando l'attributo **`dimension`**
  `real, dimension(N) :: a,b,c,d`
- Di default le componenti dell'array vanno da 1 a N ma è possibile specificarlo **`real :: a(-N/2:N/2-1)`**
- Per accedere all'array si usano sempre parentesi tonde e indici interi
- I compilatori non fanno *bound checking* né in compilazione né a run-time a meno di usare opzioni specifiche

Cicli condizionali

- **`do`**
  blocco di istruzioni
  `end do`
  1. Esegue il blocco di istruzioni per sempre . . .
  2. . . . fino a quando non incontra l'istruzione **`exit`**, che porta a eseguire il codice dopo l'**`end do`**
  3. . . . mai permettere che un ciclo vada avanti all'infinito
- **`do while (`***condizione logica*`)`**
  blocco di istruzioni
  `end do`
  1. Valuta la *condizione logica*
  2. Se è falsa, va al 5
  3. Esegue il *blocco di istruzioni*
  4. Va al passo 1
  5. L'esecuzione procede all'istruzione seguente **`end do`**

Cicli numerati

C

```
avg = 0.; var = 0.;
for(int i=0;i<N;i++) {
   avg += a[i];
   var += a[i]*a[i];
}
```

Fortran

```
avg = 0.d0; var = 0.d0;
do i=1,N
   avg = avg + a(i);
   var = var + a(i)*a(i);
end do
```

- **do *var* =** *init*, *limit* [, *step*]
  blocco di istruzioni
  end do
  1. Pone *step* pari 1, se non specificato
  2. Assegna a ***var*** il valore *init*
  3. Calcola $n_{iter} = \max\{0, \lfloor (limit - init + step)/step \rfloor\}$ (**diverso dal C**, l'iteratore non si puó modificare!)
  4. Se n_{iter} vale zero va a 6
  5. Esegue n_{iter} volte il *blocco di istruzioni*, aggiungendo *step* a ***var*** al termine di ogni *blocco di istruzioni*
  6. L'esecuzione procede all'istruzione che segue **end do**

Outline

Input/Output formattato

C

```
printf("numero: %d \n",N);
scanf("media: %lf \n",&avg);
printf("media: %lf \n",avg);
```

Fortran

```
write(*,*) N
read(*,*) avg
write(*,'(F20.12)') avg
```

- Le istruzioni **`write`** e **`read`** hanno due argomenti:

Input/Output formattato

C

```
printf("numero: %d \n",N);
scanf("media: %lf \n",&avg);
printf("media: %lf \n",avg);
```

Fortran

```
write(*,*) N
read(*,*) avg
write(*,'(F20.12)') avg
```

- Le istruzioni **`write`** e **`read`** hanno due argomenti:
- Il secondo argomento è il formato
  - **`*`** sta per un formato di default (*compiler dependent*)
  - altrimenti il formato si specifica con una stringa che inizia e termina con parentesi tonde
  - **`(F20.12)`** per un reale con 20 cifre di cui 12 dopo la virgola
  - **`(I4)`** per un intero usando al più 4 cifre

Input/Output formattato

C

```
printf("numero: %d \n",N);
scanf("media: %lf \n",&avg);
printf("media: %lf \n",avg);
```

Fortran

```
write(*,*) N
read(*,*) avg
write(*,'(F20.12)') avg
```

- Le istruzioni **`write`** e **`read`** hanno due argomenti:
- Il secondo argomento è il formato
  - **`*`** sta per un formato di default (*compiler dependent*)
  - altrimenti il formato si specifica con una stringa che inizia e termina con parentesi tonde
  - **`(F20.12)`** per un reale con 20 cifre di cui 12 dopo la virgola
  - **`(I4)`** per un intero usando al più 4 cifre
- Le **`read`** assegnano le variabili perchè in Fortran di default il passaggio degli argomenti è per riferimento

Input/Output su file

C

```
FILE *hFile;
hFile = fopen('par.dat',"r");
fscanf(hfile,"%d",N);
fclose(hFile);
printf("Fine Input\n");
```

Fortran

```
open(unit=15,file='par.dat')
read(15,*) N
close(15)
write(*,*) 'Fine input'
```

- Il primo argomento di **`read`** e **`write`** è l'unità su cui scrivere

Input/Output su file

C

```
FILE *hFile;
hFile = fopen('par.dat',"r");
fscanf(hfile,"%d",N);
fclose(hFile);
printf("Fine Input\n");
```

Fortran

```
open(unit=15,file='par.dat')
read(15,*) N
close(15)
write(*,*) 'Fine input'
```

- Il primo argomento di **`read`** e **`write`** è l'unità su cui scrivere
- **`*`** sta per standard output/input

Input/Output su file

C

```
FILE *hFile;
hFile = fopen('par.dat',"r");
fscanf(hfile,"%d",N);
fclose(hFile);
printf("Fine Input\n");
```

Fortran

```
open(unit=15,file='par.dat')
read(15,*) N
close(15)
write(*,*) 'Fine input'
```

- Il primo argomento di **`read`** e **`write`** è l'unità su cui scrivere
- **`*`** sta per standard output/input
- Per leggere e scrivere su file è necessario precollegarlo assegnandogli un'unità tramite l'istruzione **`open`**

Input/Output su file

C

```
FILE *hFile;
hFile = fopen('par.dat',"r");
fscanf(hfile,"%d",N);
fclose(hFile);
printf("Fine Input\n");
```

Fortran

```
open(unit=15,file='par.dat')
read(15,*) N
close(15)
write(*,*) 'Fine input'
```

- Il primo argomento di **`read`** e **`write`** è l'unità su cui scrivere
- **`*`** sta per standard output/input
- Per leggere e scrivere su file è necessario precollegarlo assegnandogli un'unità tramite l'istruzione **`open`**
- Non è necessario specificare se l'utilizzo è in lettura o scrittura (ma è possibile farlo con **`action='write'`**)

Input/Output su file

C

```
FILE *hFile;
hFile = fopen('par.dat',"r");
fscanf(hfile,"%d",N);
fclose(hFile);
printf("Fine Input\n");
```

Fortran

```
open(unit=15,file='par.dat')
read(15,*) N
close(15)
write(*,*) 'Fine input'
```

- Il primo argomento di **`read`** e **`write`** è l'unità su cui scrivere
- **`*`** sta per standard output/input
- Per leggere e scrivere su file è necessario precollegarlo assegnandogli un'unità tramite l'istruzione **`open`**
- Non è necessario specificare se l'utilizzo è in lettura o scrittura (ma è possibile farlo con **`action='write'`**)
- Si può gestire correttamente l'errore aggiungendo agli argomenti di open **`status=ierr`**

Input/Output binario

Fortran

```
open(unit=15 , file='campi.dat' ,  &
      status=ierr , form='unformatted' )
if(ierr /= 0) STOP 'Reading parametri.dat failed'
write(15) a
close(15)
```

- Per I/O binario specificare **`form='unformatted'`** e poi omettere il formato nelle **`write`** e **`read`**

Input/Output binario

Fortran

```
open(unit=15 , file='campi.dat' ,  &
      status=ierr , form='unformatted' )
if(ierr /= 0) STOP 'Reading parametri.dat failed'
write(15) a
close(15)
```

- Per I/O binario specificare **`form='unformatted'`** e poi omettere il formato nelle **`write`** e **`read`**
- Il Fortran inserisce un *record-marker* tra una scrittura e un'altra per permettere la navigazione nel file con comandi tipo **`rewind`** e **`backspace`**

Input/Output binario

Fortran

```
open(unit=15 , file='campi.dat' ,  &
      status=ierr , form='unformatted' , access='stream')
if(ierr /= 0) STOP 'Reading parametri.dat failed'
write(15) a
close(15)
```

- Per I/O binario specificare **`form='unformatted'`** e poi omettere il formato nelle **`write`** e **`read`**
- Il Fortran inserisce un *record-marker* tra una scrittura e un'altra per permettere la navigazione nel file con comandi tipo **`rewind`** e **`backspace`**
- Per evitare *record marker* e avere file compatibili con quelli C si può specificare nell'open **`access=stream`**

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Media e varianza di un array

Fortran

```
!-Calculate average and variance of array data-
program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var
!   Inizialization of a array
    do i=1,N
       a(i) = i-1
    end do
!   Calculation
    avg = 0.d0; var = 0.d0;
    do i=1,N
       avg = avg + a(i)
       var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N
    var = var/N - avg*avg
!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg
    write(*,'("variance",F20.12)') var
end program avg_var
```

Hands-on 1

- Copiare la versione Fortran del codice di calcolo di media e varianza su un file `media_varianza.f90`
- Compilare
  `gfortran media_varianza.f90 -o media_varianza`
- Eseguire `./media_varianza`
- Controllare che i risultati siano corretti

Outline

Outline

Uso di Funzioni

C

```
double avg_var_fun(int N, double *a, double *var) {

    double avg;
    avg = 0.;
    *var = 0.;
    for(int i=0;i<N;i++) {
       avg += a[i];
       *var += a[i]*a[i];
    }
    avg = avg/N;
    *var = *var/N - avg*avg;
    return avg;
}

//  main program...
int main() {
    const int N=10;
    double a[N];
    double avg,var;
    ...
    avg = avg_var_fun(N,a,&var);
    ...
}
```

Funzioni e subroutine

- Il Fortran fornisce due tipi di procedure: funzioni e subroutine

Funzioni e subroutine

- Il Fortran fornisce due tipi di procedure: funzioni e subroutine
- Le funzioni
  - restituiscono una variabile (anche un array)
  - il nome della funzione va dichiarato come variabile a cui assegnare il valore da ritornare
  - il comando **`return`** permette di uscire dalla funzione prima della fine
  - è buona pratica evitare *side effects* (modifica degli argomenti passati)

Funzioni e subroutine

- Il Fortran fornisce due tipi di procedure: funzioni e subroutine
- Le funzioni
  - restituiscono una variabile (anche un array)
  - il nome della funzione va dichiarato come variabile a cui assegnare il valore da ritornare
  - il comando **`return`** permette di uscire dalla funzione prima della fine
  - è buona pratica evitare *side effects* (modifica degli argomenti passati)
- Le subroutine non restituiscono nulla
  - si chiamano con il comando **`call`** ***`nome-subroutine`***
  - a differenza delle funzioni non possono essere usate in espressioni
  - corrispondono alle funzioni che restituiscono **`void`** del C

Procedure e argomenti

- Gli argomenti di una procedura si dicono
  - parametri formali (*dummy arguments*): nel contesto delle dichiarazioni della procedura
  - parametri effettivi (*actual arguments*): nel contesto del programma che invoca la procedura
- In Fortran di default le procedure passano gli argomenti per riferimento, *actual* e *dummy arguments* condividono la stessa area di memoria (diverso dal C!)
- È possibile specificare l'utilizzo che si intende fare delle variabili passate usando l'attributo **`intent`** per i parametri formali

```
real, intent(in) ::  a
real, intent(out) ::  b
real, intent(inout) ::  c
```

Uso di funzioni

Fortran

```
function avg_var_fun(N, a, var)
    implicit none
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i, N
    real(myk) :: avg_var_fun, avg, var, a(N)
    avg = 0.d0;    var = 0.d0
    do i=1,N
       avg = avg + a(i); var = var + a(i)*a(i)
    end do
    avg = avg/N;   var = var/N - avg*avg
    avg_var_fun = avg
end function avg_var_fun

program avg_var
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
    integer :: i
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg, var, avg_var_fun
    ...
    avg = avg_var_fun(N,a,var)
    ...
end program avg_var
```

Interfacce

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(a, var)
      integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
      real(myk) :: avg_var_fun
      real(myk), intent(in) :: a(:)
      real(myk), intent(out) :: var
      end function avg_var_fun
end interface
```

- Programmi o procedure possono dichiarare tramite **`interface`** le procedure chiamate con i loro argomenti
  - necessarie per costrutti Fortran avanzati
  - assicurano il controllo sui tipi a *compile-time*
  - permettono di passare le funzioni come argomento di altre funzioni
  - permettono l'*overloading* delle procedure e degli operatori
- Svolgono in parte la funzione dei prototipi del C

Procedure e array

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(a, var)
      integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
      real(myk) :: avg_var_fun
      real(myk), intent(in) :: a(:)
      real(myk), intent(out) :: var
   end function avg_var_fun
end interface
```

- Specificando l'interfaccia è possibile passare vettori come *assumed-size*
  - nella procedura (e nell'interfaccia) si dichiara un vettore di lunghezza imprecisata scrivendo **`a(:)`**
  - la lunghezza viene quindi presa dal parametro attuale...
  - . . . e si può estrarre con la funzione intrinseca **`size`**
- È possibile dichiarare variabili locali di lunghezza dipendente dai parametri effettivi: **`real::work(size(a)) !automatic object`**

Funzioni intrinseche

- Il Fortran ha oltre 100 funzioni intrinseche
  - Funzioni di conversione di tipo: **`int`**, **`real`**, **`cmplx`**, **`...`**
  - Funzioni matematiche: **`sin`**, **`exp`**, **`log`**, **`max`**, **`mod`**, **`...`**
  - Funzioni di *inquiry*: **`huge`**, **`digits`**, **`associated`**, **`...`**
  - Molte altre per gestione stringhe, bit, tipi, random, array, *reduce*, *timing*, **`...`**
- L'interfaccia è esplicita
- Le funzioni matematiche sono generiche cioè lavorano correttamente con diversi tipi che ricevono come argomenti
- Molte funzioni sono **`elemental`** ovvero si applicano ad array elemento per elemento e restituiscono un array
- Possono essere usate nelle inizializzazioni, ad esempio:

```
real(kind(1.d0)), parameter :: pi=acos(-1.d0)
```

Outline

Usare i moduli

Fortran

```
module statistics
    implicit none
    integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
contains
    subroutine init(a)
        real(myk) :: a(:) ; integer i
        do i=1,size(a)
           a(i) = i-1
        enddo
    end subroutine init
    function avg_var_fun(a, var)
        real(myk) :: avg_var_fun,avg,var,a(:)
        integer :: N,i
        N = size(a)
        avg = 0.; var = 0.
        do i=1,N
           avg = avg + a(i)
           var = var + a(i)*a(i)
        enddo
        avg = avg/N
        var = var/N - avg*avg
        avg_var_fun = avg
    end function avg_var_fun
end module statistics
```

Moduli

- I moduli permettono di organizzare efficacemente codici
- Inserendo una procedura dentro un modulo l'interfaccia viene automaticamente generata in compilazione
- Per chiamare le procedure di un modulo, occorre usare il modulo tramite il comando **`use nome-modulo`** da porre prima sia di **`implicit none`** che di tutte le altre dichiarazioni
  - **`use statistics, only : average`** dichiara solo la funzione **`average`** del modulo **`statistics`**
  - **`use statistics, only : media=>average`** inoltre rinomina la funzione **`average`** in **`media`**
- Un modulo può contenere variabili che condividono la memoria con tutti i programmi che lo usano
  - In Fortran *antico* a tal fine si usavano le **`common`**

Uso del modulo `statistics`

Fortran

```
program avg_var
    use statistics
    implicit none
    integer, parameter :: N=10
    real(myk) :: a(N)
    real(myk) :: avg,var

!   SUBROUTINE CALL: Initialization of a array
    call init(a)

!   FUNCTION CALL: Calculation
    avg = avg_var_fun(a,var)

!   Output
    write(*,*) 'average: ',avg, ' ; variance: ', var

end program avg_var
```

Hands-on 2

- Scrivere e testare le tre possibili evoluzioni del codice che calcola media e varianza
  - versione che utilizza una funzione per eseguire il calcolo vero e proprio
  - versione che utilizza una funzione e specifica l'interfaccia di tale funzione al chiamante
  - versione che utilizza un modulo all'interno del quale é inserita la funzione
- A che serve specificare l'interfaccia? In che modo i moduli aiutano?

Outline

L'equazione di Laplace

- Formula discreta su griglia 2D con condizioni al contorno di Dirichelet

$$\begin{cases} f(x_{i+1,j}) + f(x_{i-1,j}) - 2f(x_{i,j}) + \\ f(x_{i,j+1}) + f(x_{i,j-1}) - 2f(x_{i,j}) = 0 & \forall x_{i,j} \in (a,b)^2 \\ f(x_{i,j}) = \alpha(x_{i,j}) & \forall x_{i,j} \in \partial[a,b]^2 \end{cases}$$

- Soluzione iterativa con il metodo di Jacobi

$$\begin{cases} f_{n+1}(x_{i,j}) = \frac{1}{4}[& f_n(x_{i+1,j}) + f_n(x_{i-1,j}) + \\ & f_n(x_{i,j+1}) + f_n(x_{i,j-1}) \quad] & \forall n > 0 \\ f_0(x_{i,j}) = 0 & \forall x_{i,j} \in (a,b)^2 & \\ f_n(x_{i,j}) = \alpha(x_{i,j}) & \forall x_{i,j} \in \partial[a,b]^2, & \forall n > 0 \end{cases}$$

Outline

Laplace: Implementazione statica

C

```
int main() {
  unsigned n=100, n2=n+2, maxIter=100000, i, j, iter=0;
  double T[n2][n2], Tnew[n2][n2]; // array di array
  double tol=0.0001, var = DBL_MAX, top = 100.0;
  for (i=0; i<=n; ++i)
    for (j=0; j<=n; ++j)
      T[i][j] = 0.0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    T[n+1][i] = i * top / (n+1); T[i][n+1] = i * top / (n+1);
  }
  while(var > tol && iter <= maxIter) {
    ++iter;    var = 0.0;
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j) {
        Tnew[i][j] = 0.25*( T[i-1][j] + T[i+1][j] +
                            T[i][j-1] + T[i][j+1] );
        var = fmax(var, fabs(Tnew[i][j] - T[i][j]));
      }
    if(iter%100==0)printf("iter: %8u, var=%12.4lE\n",iter,var);
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j)
        T[i][j]=Tnew[i][j];
  }
  ...
```

Laplace: versione statica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1;   var = 0.d0
      do j = 1, n
         do i = 1, n
            Tnew(i,j) = 0.25d0*( T(i-1,j) + T(i+1,j) + &
                                 T(i,j-1) + T(i,j+1) )
            var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
         end do
      end do
      if (mod(iter,100)==0) &
        write(*,"(a,i8,e12.4)") ' iter, variation:', iter, var
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      end do
   end do
end program laplace
```

Laplace: Implementazione statica

C

```
int main() {
  unsigned n=100, n2=n+2, maxIter=100000, i, j, iter=0;
  double T[n2][n2], Tnew[n2][n2]; // array di array
  double tol=0.0001, var = DBL_MAX, top = 100.0;
  for (i=0; i<=n; ++i)
    for (j=0; j<=n; ++j)
      T[i][j] = 0.0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    T[n+1][i] = i * top / (n+1); T[i][n+1] = i * top / (n+1);
  }
  while(var > tol && iter <= maxIter) {
    ++iter;    var = 0.0;
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j) {
        Tnew[i][j] = 0.25*( T[i-1][j] + T[i+1][j] +
                            T[i][j-1] + T[i][j+1] );
        var = fmax(var, fabs(Tnew[i][j] - T[i][j]));
      }
    if(iter%100==0)printf("iter: %8u, var=%12.4lE\n",iter,var);
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j)
        T[i][j]=Tnew[i][j];
  }
  ...
```

Laplace: versione statica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1;   var = 0.d0
      do j = 1, n
         do i = 1, n
            Tnew(i,j) = 0.25d0*( T(i-1,j) + T(i+1,j) + &
                                 T(i,j-1) + T(i,j+1) )
            var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
         end do
      end do
      if (mod(iter,100)==0) &
        write(*,"(a,i8,e12.4)") ' iter, variation:', iter, var
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      end do
   end do
end program laplace
```

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**

Laplace: Implementazione statica

C

```
int main() {
  unsigned n=100, n2=n+2, maxIter=100000, i, j, iter=0;
  double T[n2][n2], Tnew[n2][n2]; // array di array
  double tol=0.0001, var = DBL_MAX, top = 100.0;
  for (i=0; i<=n; ++i)
    for (j=0; j<=n; ++j)
      T[i][j] = 0.0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    T[n+1][i] = i * top / (n+1); T[i][n+1] = i * top / (n+1);
  }
  while(var > tol && iter <= maxIter) {
    ++iter;    var = 0.0;
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j) {
        Tnew[i][j] = 0.25*( T[i-1][j] + T[i+1][j] +
                            T[i][j-1] + T[i][j+1] );
        var = fmax(var, fabs(Tnew[i][j] - T[i][j]));
      }
    if(iter%100==0)printf("iter: %8u, var=%12.4lE\n",iter,var);
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j)
        T[i][j]=Tnew[i][j];
  }
  ...
```

Laplace: versione statica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1;   var = 0.d0
      do j = 1, n
         do i = 1, n
            Tnew(i,j) = 0.25d0*( T(i-1,j) + T(i+1,j) + &
                                 T(i,j-1) + T(i,j+1) )
            var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
         end do
      end do
      if (mod(iter,100)==0) &
        write(*,"(a,i8,e12.4)") ' iter, variation:', iter, var
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      end do
   end do
end program laplace
```

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**
- Gli elementi sono referenziati specificando la lista di indici: **`T(n+1,n+1)= top`**

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**
- Gli elementi sono referenziati specificando la lista di indici: **`T(n+1,n+1)= top`**
- Si può inoltre referenziare un sottoinsieme di un array in un colpo solo: **`T(start:end[:step],:)=0.d0`**

Laplace: versione statica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1;   var = 0.d0
      do j = 1, n
         do i = 1, n
            Tnew(i,j) = 0.25d0*( T(i-1,j) + T(i+1,j) + &
                                 T(i,j-1) + T(i,j+1) )
            var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
         end do
      end do
      if (mod(iter,100)==0) &
        write(*,"(a,i8,e12.4)") ' iter, variation:', iter, var
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      end do
   end do
end program laplace
```

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**
- Gli elementi sono referenziati specificando la lista di indici: **`T(n+1,n+1)= top`**
- Si può inoltre referenziare un sottoinsieme di un array in un colpo solo: **`T(start:end[:step],:)=0.d0`**
- Il costruttore di default per gli array è: **`(/ ... /)`**
  - può contenere una sequenza di valori: **`1,2,4`**
  - che può anche essere definita da un *loop* implicito: **`(expr, indice=inzio,fine [,incremmento])`**

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**
- Gli elementi sono referenziati specificando la lista di indici: **`T(n+1,n+1)= top`**
- Si può inoltre referenziare un sottoinsieme di un array in un colpo solo: **`T(start:end[:step],:)=0.d0`**
- Il costruttore di default per gli array è: **`(/ ... /)`**
  - può contenere una sequenza di valori: **`1,2,4`**
  - che può anche essere definita da un *loop* implicito: **`(expr, indice=inzio,fine [,incremmento])`**
- La sequenza degli *extent* di un array è detta *shape*, e.g. se **`T`** è **`real::T(3,2:5)`** allora:
  - **`shape(T)`** restituisce l'array **`(/3,4/)`**
  - **`size(T)`** restituisce 12

Array multidimensionali

- Si possono definire array fino a 7 dimensioni
- Se non specificato l'indice inferiore è 1, ma può essere specificato diversamente: **`real::T(0:n+1,-n:n)`**
- Gli elementi sono referenziati specificando la lista di indici: **`T(n+1,n+1)= top`**
- Si può inoltre referenziare un sottoinsieme di un array in un colpo solo: **`T(start:end[:step],:)=0.d0`**
- Il costruttore di default per gli array è: **`(/ ... /)`**
  - può contenere una sequenza di valori: **`1,2,4`**
  - che può anche essere definita da un *loop* implicito: **`(expr, indice=inzio,fine [,incremmento])`**
- La sequenza degli *extent* di un array è detta *shape*, e.g. se **`T`** è **`real::T(3,2:5)`** allora:
  - **`shape(T)`** restituisce l'array **`(/3,4/)`**
  - **`size(T)`** restituisce 12
- Per definire un array di costanti potremo usare l'attributo **`parameter`**

Outline

Laplace: versione statica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1;   var = 0.d0
      do j = 1, n
         do i = 1, n
            Tnew(i,j) = 0.25d0*( T(i-1,j) + T(i+1,j) + &
                                 T(i,j-1) + T(i,j+1) )
            var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
         end do
      end do
      if (mod(iter,100)==0) &
        write(*,"(a,i8,e12.4)") ' iter, variation:', iter, var
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      end do
   end do
end program laplace
```

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

- Le operazioni vanno intese elemento per elemento

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

- Le operazioni vanno intese elemento per elemento
  - senza un ordine specificato

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

- Le operazioni vanno intese elemento per elemento
  - senza un ordine specificato
  - e come se l'intera espressione a destra venisse valutata prima dell'assegnazione

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

- Le operazioni vanno intese elemento per elemento
  - senza un ordine specificato
  - e come se l'intera espressione a destra venisse valutata prima dell'assegnazione
- Le espressioni devono essere conformi

```
real :: t(1,1), s, u(4,4), v(4,4), w(4,4)
t = s ! it's right
s = t ! it's wrong
w = s*u+v+2.3 ! it's OK
w = u+v(1:2,1:2)  ! it's wrong
```

Array *expression*

- Array multidimensionali (*rank*>1) e sue sezioni possono essere usati in espressioni

```
Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                           T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
```

- Gli operatori e gran parte delle procedure intrinseche possono essere applicate ad array

```
var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
```

- Le operazioni vanno intese elemento per elemento
  - senza un ordine specificato
  - e come se l'intera espressione a destra venisse valutata prima dell'assegnazione
- Le espressioni devono essere conformi

```
real :: t(1,1), s, u(4,4), v(4,4), w(4,4)
t = s ! it's right
s = t ! it's wrong
w = s*u+v+2.3 ! it's OK
w = u+v(1:2,1:2)  ! it's wrong
```

- Espressioni non conformi possono non essere rilevate anche abilitando il *bound checking*

Laplace in Array-*syntax*

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0*( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                               T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      if (mod(iter,100)==0) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
                    ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   open(10, file="results")
   write(10, "(i8,i8,e18.9)") (( i, j, T(i,j), i=1,n), j=1,n)
   close(10)
end program laplace
```

Laplace in Array-*syntax*

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0*( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                               T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      if (mod(iter,100)==0) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
                    ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   open(10, file="results")
   write(10, "(i8,i8,e18.9)") (( i, j, T(i,j), i=1,n), j=1,n)
   close(10)
end program laplace
```

Istruzioni condizionali

- **`if (`***condizione logica***`) then`**
  blocco di istruzioni
  `end if`
  - Esegue il *blocco di istruzioni* solo se la *condizione logica* è vera
  - Operatori relazionali: **`==`** (uguale), **`/=`** (diverso), **`>`**, **`<`**, **`>=`**, **`<=`**
  - Per condizioni che si applicano ad una singla istruzione si può usare la forma su un'unica linea
    `if (`*condizione logica***`)`** *istruzione*

Istruzioni condizionali

- **`if (`***condizione logica***`) then`**
  blocco di istruzioni
  `end if`
  - Esegue il *blocco di istruzioni* solo se la *condizione logica* è vera
  - Operatori relazionali: **`==`** (uguale), **`/=`** (diverso), **`>`**, **`<`**, **`>=`**, **`<=`**
  - Per condizioni che si applicano ad una singla istruzione si può usare la forma su un'unica linea
    `if (`*condizione logica***`)`** *istruzione*
- Forme complete prevedono **`else`** e/o **`else if`** all'interno di **`if () then`**/**`end if`**

Istruzioni condizionali

- **`if (`***condizione logica***`) then`**
  blocco di istruzioni
  `end if`
  - Esegue il *blocco di istruzioni* solo se la *condizione logica* è vera
  - Operatori relazionali: **`==`** (uguale), **`/=`** (diverso), **`>`**, **`<`**, **`>=`**, **`<=`**
  - Per condizioni che si applicano ad una singla istruzione si può usare la forma su un'unica linea
    `if (`*condizione logica***`)`** *istruzione*
- Forme complete prevedono **`else`** e/o **`else if`** all'interno di **`if () then`**/**`end if`**
- L'analogo dello **`switch`** del C in Fortran è il **`select case`**

Laplace in Array-*syntax*

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0), n = 100
   integer            :: maxIter = 100000, i, j, iter = 0
   real(dp), dimension(0:n+1,0:n+1) :: T, Tnew
   real(dp)           :: tol = 1.d-4, var = 1.d0, top = 100.d0
   T(0:n,0:n) = 0.d0
   T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0*( T(0:n-1,1:n) + T(2:n+1,1:n) + &
                               T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      if (mod(iter,100)==0) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
                    ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   open(10, file="results")
   write(10, "(i8,i8,e18.9)") (( i, j, T(i,j), i=1,n), j=1,n)
   close(10)
end program laplace
```

Istruzioni condizionali

- **`if (`***condizione logica***`) then`**
  blocco di istruzioni
  `end if`
  - Esegue il *blocco di istruzioni* solo se la *condizione logica* è vera
  - Operatori relazionali: **`==`** (uguale), **`/=`** (diverso), **`>`**, **`<`**, **`>=`**, **`<=`**
  - Per condizioni che si applicano ad una singla istruzione si può usare la forma su un'unica linea
    `if (`*condizione logica***`)`** *istruzione*
- Forme complete prevedono **`else`** e/o **`else if`** all'interno di **`if () then`**/**`end if`**
- L'analogo dello **`switch`** del C in Fortran è il **`select case`**

- I *loop* impliciti posso essere annidati
  - e usati in istruzioni di I/O

Outline

Laplace: versione dinamica

C

```
int main() {
  double *T, *Tnew, *Tmp;
  double tol, var = DBL_MAX, top = 100.0;
  unsigned n, n2, maxIter, i, j, iter = 0;
  printf("Enter mesh size, max iterations and tolerance: ");
  scanf("%u ,%u ,%lf", &n, &maxIter, &tol);
  n2 = n+2;
  T = calloc(n2*n2, sizeof(*T));
  Tnew = calloc(n2*n2, sizeof(*T));
  init_and_set_bc(T,top,'linear');
  while(var > tol && iter <= maxIter) {
    ++iter;    var = 0.0;
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j) {
        Tnew[i*n2+j] = 0.25*( T[(i-1)*n2+j] + T[(i+1)*n2+j]
                            + T[i*n2+(j-1)] + T[i*n2+(j+1)] );
        var = fmax(var, fabs(Tnew[i*n2+j] - T[i*n2+j]));
      }
    Tmp=T; T=Tnew; Tnew=Tmp;
  }
  free(T); free(Tnew);
  ...
  return 0;
}
```

Laplace: versione dinamica

C

```
int main() {
  double *T, *Tnew, *Tmp;
  double tol, var = DBL_MAX, top = 100.0;
  unsigned n, n2, maxIter, i, j, iter = 0;
  printf("Enter mesh size, max iterations and tolerance: ");
  scanf("%u ,%u ,%lf", &n, &maxIter, &tol);
  n2 = n+2;
  T = calloc(n2*n2, sizeof(*T));
  Tnew = calloc(n2*n2, sizeof(*T));
  init_and_set_bc(T,top,'linear');
  while(var > tol && iter <= maxIter) {
    ++iter;    var = 0.0;
    for (i=1; i<=n; ++i)
      for (j=1; j<=n; ++j) {
        Tnew[i*n2+j] = 0.25*( T[(i-1)*n2+j] + T[(i+1)*n2+j]
                            + T[i*n2+(j-1)] + T[i*n2+(j+1)] );
        var = fmax(var, fabs(Tnew[i*n2+j] - T[i*n2+j]));
      }
    Tmp=T; T=Tnew; Tnew=Tmp;
  }
  free(T); free(Tnew);
  ...
  return 0;
}
```

Laplace: versione dinamica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), allocatable :: T, Tnew
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   deallocate(T,Tnew)
end program laplace
```

Laplace: versione dinamica

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), allocatable :: T, Tnew
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      T(1:n,1:n) = Tnew(1:n,1:n)
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   deallocate(T,Tnew)
end program laplace
```

Memoria dinamica

- L'attributo *allocatable* permette di dichiarare un array specificando solo il suo *rank*, ad esempio
  `real, allocatable :: T(:,:)`
- Lo *statement* **`allocate`** esegue l'allocazione della memoria e definisce gli *extent*, ad esempio: **`allocate(T(3,5)[, stat=integer_var])`**
  - Se l'allocazione fallisce il programma termina
  - Specificando la clausola opzionale **`stat=integer_var`** il programma non termina e la variabile **`integer_var`** assume valore nullo se l'allocazione ha avuto successo, altrimenti un valore positivo
- Lo *statement* **`deallocate`** permette di liberare la memoria precedentemente riservata all'array
- La funzione **`allocated()`** permette di controllare lo stato di una array *allocatable*

Outline

Puntatori

- L'attributo *pointer* permette di dichiarare una variabile da usare come alias di un altro oggetto
  - un puntatore è associato ad un dato oggetto tramite l'istruzione di assegnazione di puntatore **=>**
  - se un puntatore è associato ad una variabile questa dovrebbe avere l'attributo **`target`**
- Gli operatori operano sui puntati senza bisogno di dereferenziare, ad esempio
  - l'istruzione di assegnazione **=** equivale all'assegnazione dei puntati
- Lo stato di un puntatore può essere
  - associato, se è associato ad un *target*
  - disassociato, se **`=> null()`**
  - indefinito, altrimenti
- La funzione **`associated(ptr)`** permette di controllare lo stato di un puntatore a meno che questo sia indefinito

Allocazione di puntatori

- Si possono dichiarare puntatori multidimensionali
  - si deve specificare solo il *rank*
  - e il tipo deve essere lo stesso del *target*
- Come per gli array si possono usare sottoinsiemi
- È inoltre possibile allocare un puntatore di cui si sia specificato *rank* e tipo
  - La funzione **`allocate()`** crea un array senza nome, associato al puntatore, di tipo e *rank* del puntatore
  - La funzione **`deallocate()`** libera la memoria riservata dal puntato e disassocia il puntatore
- L'allocazione dei puntatori è diversa dagli array e può causare *memory leak*:

```
real, dimension(:,:), pointer :: p
real :: a
!...
allocate(p(n,m))
p=1
a=p(1,1)
allocate(p(n,m))
! ...
```

Laplace con puntatori

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), pointer :: T, Tnew, Tmp=>null()
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   Tnew = T
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      Tmp =>T; T =>Tnew; Tnew => Tmp;
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   deallocate (T, Tnew)
   nullify(Tmp)
end program laplace
```

Laplace con puntatori

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), pointer :: T, Tnew, Tmp=>null()
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   Tnew = T
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      Tmp =>T; T =>Tnew; Tnew => Tmp;
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   deallocate (T, Tnew)
   nullify(Tmp)
end program laplace
```

Laplace con puntatori

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), pointer :: T, Tnew, Tmp=>null()
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   Tnew = T
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      Tmp =>T; T =>Tnew; Tnew => Tmp;
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   deallocate (T, Tnew)
   nullify(Tmp)
end program laplace
```

Laplace con puntatori

Fortran

```
program laplace
   implicit none
   integer, parameter :: dp=kind(1.d0)
   integer            :: n, maxIter, i, j, iter = 0
   real (dp), dimension(:,:), pointer :: T, Tnew, Tmp=>null()
   real (dp)          :: tol, var = 1.d0, top = 100.d0
   write(*,*) 'Enter mesh size, max iterations and tollerance:'
   read(*,*)  n, maxIter, tol
   allocate (T(0:n+1,0:n+1), Tnew(0:n+1,0:n+1))
   call init_and_set_bc(T, top, 'linear')
   Tnew = T
   do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
      iter = iter + 1
      Tnew(1:n,1:n) = 0.25d0 * ( T(0:n-1,1:n) + &
         T(2:n+1,1:n) + T(1:n,0:n-1) + T(1:n,2:n+1) )
      var =  maxval(abs( Tnew(1:n,1:n) - T(1:n,1:n) ))
      Tmp =>T; T =>Tnew; Tnew => Tmp;
      if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
         ' iter, variation:', iter, var
   end do
   ...
   deallocate (T, Tnew)
   nullify(Tmp)
end program laplace
```

Hands-on 3

- Scrivere e testare due possibili evoluzioni del codice che evolve l'equazione di Laplace
  - versione che utilizza memoria dinamica tramite **`allocatable`**.
  - versione che utilizza memoria dinamica tramite **`pointers`**
- Provare a enucleare pregi e difetti di ognuna, anche dal punto di vista delle performance

Outline

Le basi

Unità di programma

Array e allocazione dinamica

Fortran + C = *iso_c_binding*

- Fortran chiama C
- Modulo *iso_c_binding*
- C chiama Fortran

Bibliografia

Calcolo di media e varianza

C

```
int init(int, double*);
double avg_var_fun(int , double*, double*);

int main(int argc, char *argv[]) {
    int N, i;
    double *a, avg, var;
    if(argc != 2){
      fprintf(stderr,"Usage: %s  size\n", argv[0]); exit(1); }
    N=atoi(argv[1]);
    a = (double*)malloc(N*sizeof(double));
    init(N,a);
    avg = avg_var_fun(N,a, &var);
    printf("average: %lf ; variance: %lf \n",avg, var);
    return 0;
}
int init(int N, double* a) {
   for(int i=0;i<N;i++) a[i] = i; return 0;
}
double avg_var_fun(int N, double* a, double* var) {
    double avg=0.; *var = 0.;
    for(int i=0;i<N;i++) { avg += a[i]; *var += a[i]*a[i]; }
    ...
    return avg;
}
```

Versione con i moduli

Fortran

```
module statistics
   implicit none
   integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
contains
   subroutine init(a)
      real(myk) :: a(:)
      integer :: i
      do i=1,size(a)
         a(i) = i-1
      enddo
   end subroutine init
   function avg_var_fun(a, var)
      real(myk) :: avg_var_fun,avg,var,a(:)
      integer :: N, i
      N = size(a)
      avg = 0.; var = 0.
      do i=1,N
         avg = avg + a(i)
         var = var + a(i)*a(i)
      end do
      ...
      avg_var_fun = avg
   end function avg_var_fun
end module statistics
```

Media e varianza: *main*

Fortran

```
program avg_var
   use statistics
   implicit none
   integer :: N
   real(myk), allocatable :: a(:)
   real(myk) :: avg,var
   character(len=128) :: command
   character(len=80) :: arg

   call get_command_argument(0,command)
   if (command_argument_count() /= 1) then
     write(0,*) 'Usage:', trim(command), '   size'
     stop
   else
     call get_command_argument(1,arg)
     read(arg,*) n
   endif

   allocate(a(n))
   call init(a)
   avg = avg_var_fun(a,var)
   write(*,*) 'average: ',avg, ' ; variance: ', var

end program avg_var
```

Outline

Chiamare funzioni C da Fortran

- Può essere utile chiamare una funzione C da un programma Fortran

Chiamare funzioni C da Fortran

- Può essere utile chiamare una funzione C da un programma Fortran
  - soprattutto se la funzione non è semplice da riscrivere

Chiamare funzioni C da Fortran

- Può essere utile chiamare una funzione C da un programma Fortran
  - soprattutto se la funzione non è semplice da riscrivere
  - oppure nel caso di una funzione di libreria per la quale non si possiede il sorgente

Chiamare funzioni C da Fortran

- Può essere utile chiamare una funzione C da un programma Fortran
  - soprattutto se la funzione non è semplice da riscrivere
  - oppure nel caso di una funzione di libreria per la quale non si possiede il sorgente
- Supponiamo di voler chiamare la funzione C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var) {
   double avg = 0.; *var = 0.;
   for(int i=0;i<n;i++) {
      avg += a[i];  *var += a[i]*a[i];
   }
   avg = avg/n    ; *var = *var/n - avg*avg;
   return avg;
}
```

dal Fortran

```
avg = avg_var_fun(n,a,var)
```

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente
  - tipicamente aggiunge un underscore ma dipende dall'implementazione e con i moduli le cose peggiorano

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente
  - tipicamente aggiunge un underscore ma dipende dall'implementazione e con i moduli le cose peggiorano
  - prima del Fortran 2003, si scrivevano le funzioni C usando nomi che includessero tali suffissi

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente
  - tipicamente aggiunge un underscore ma dipende dall'implementazione e con i moduli le cose peggiorano
  - prima del Fortran 2003, si scrivevano le funzioni C usando nomi che includessero tali suffissi
- L'altra difficoltà per linkare sorgenti C e Fortran è il *matching* tra i tipi delle variabili

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente
  - tipicamente aggiunge un underscore ma dipende dall'implementazione e con i moduli le cose peggiorano
  - prima del Fortran 2003, si scrivevano le funzioni C usando nomi che includessero tali suffissi
- L'altra difficoltà per linkare sorgenti C e Fortran è il *matching* tra i tipi delle variabili
  - non è garantito che **`int`** corrisponda a **`integer`** ...

Linking di oggetti C e Fortran

- Sorgenti C e Fortran devono essere compilati separatamente e poi linkati

```
user@caspur$> gcc -c stat_libc.c
user@caspur$> gfortran -c stat_mainf.f90
user@caspur$> gfortran stat_libc.o stat_mainf.o -o stat_mainf
```

- Così si ottiene però un *undefined reference error* dovuto a un problema di *name mangling*:
  - il compilatore Fortran modifica il nome degli *objects* rispetto ai nomi del sorgente
  - tipicamente aggiunge un underscore ma dipende dall'implementazione e con i moduli le cose peggiorano
  - prima del Fortran 2003, si scrivevano le funzioni C usando nomi che includessero tali suffissi
- L'altra difficoltà per linkare sorgenti C e Fortran è il *matching* tra i tipi delle variabili
  - non è garantito che **`int`** corrisponda a **`integer`** ...
  - ...e **`float`** a **`real`**

Outline

Module *iso_c_binding*

- Fortran 2003 fornisce un modulo intrinseco per “interoperare” col C: **module iso_c_binding**

Module *iso_c_binding*

- Fortran 2003 fornisce un modulo intrinseco per “interoperare” col C: **module iso_c_binding**
- Procedure, variabili e tipi possono essere dichiarate interoperabili a *compile time*

Module *iso_c_binding*

- Fortran 2003 fornisce un modulo intrinseco per “interoperare” col C: **module iso_c_binding**
- Procedure, variabili e tipi possono essere dichiarate interoperabili a *compile time*
- **`iso_c_binding`** contiene costanti contenenti i *kind* da usare per i tipi intrinseci, e.g.

  `integer(c_int)` corrisponde a **`int`**

Module *iso_c_binding*

- Fortran 2003 fornisce un modulo intrinseco per “interoperare” col C: **module iso_c_binding**
- Procedure, variabili e tipi possono essere dichiarate interoperabili a *compile time*
- **`iso_c_binding`** contiene costanti contenenti i *kind* da usare per i tipi intrinseci, e.g.

  `integer(c_int)` corrisponde a **`int`**

- Alcuni di questi

Type	Named constant	C type or types
`integer`	**`c_int`**	**`int`**
	`c_short`	**`short int`**
`real`	**`c_float`**	**`float`**
	`c_double`	**`double`**
`complex`	**`c_float_complex`**	**`float _Complex`**
	`c_double_complex`	**`double _Complex`**
`logical`	**`c_bool`**	**`_Bool`**
`character`	**`c_char`**	**`char`**

Variabili

- Usando i tipi interoperabili

Variabili

- Usando i tipi interoperabili
  - variabili scalari, a parte i puntatori, interoperano

Variabili

- Usando i tipi interoperabili
  - variabili scalari, a parte i puntatori, interoperano
  - array interoperano se di *shape* esplicita (o *assumed size*): *allocatable* o *pointers* non interoperano direttamente col C!

Variabili

- Usando i tipi interoperabili
  - variabili scalari, a parte i puntatori, interoperano
  - array interoperano se di *shape* esplicita (o *assumed size*): *allocatable* o *pointers* non interoperano direttamente col C!

- Per array multidimensionali, le regole sono abbastanza intuitive

Variabili

- Usando i tipi interoperabili
  - variabili scalari, a parte i puntatori, interoperano
  - array interoperano se di *shape* esplicita (o *assumed size*): *allocatable* o *pointers* non interoperano direttamente col C!

- Per array multidimensionali, le regole sono abbastanza intuitive

  - **`integer(c_int) ::  f_arr(18,3:7,4)`**
    corrisponde a
    `int c_arr[4][5][18]`

Variabili

- Usando i tipi interoperabili
  - variabili scalari, a parte i puntatori, interoperano
  - array interoperano se di *shape* esplicita (o *assumed size*): *allocatable* o *pointers* non interoperano direttamente col C!

- Per array multidimensionali, le regole sono abbastanza intuitive
  - **`integer(c_int) :: f_arr(18,3:7,4)`**
    corrisponde a
    `int c_arr[4][5][18]`
  - **`integer(c_int) :: f_arr(18,3:7,*)`**
    corrisponde a
    `int c_arr[][5][18]`

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

- è interoperabile con

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

- è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

- è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

- Si può anche specificare una *binding label* (di default è la versione *lower-case* del codice Fortran), i.e. il nome da usare in C

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

- è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

- Si può anche specificare una *binding label* (di default è la versione *lower-case* del codice Fortran), i.e. il nome da usare in C

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c, name="AVG_VAR_FUN")
```

Procedure

- Il *name mangling* viene gestito dall'attributo (Fortran 2003) **`bind`**

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c)
```

- è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

- Si può anche specificare una *binding label* (di default è la versione *lower-case* del codice Fortran), i.e. il nome da usare in C

Fortran

```
function avg_var_fun(n, a, var) bind(c, name="AVG_VAR_FUN")
```

- È richiesta l'interfaccia esplicita!

Interfaccia

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(n,a,var) bind(c,name="avg_var")
      use iso_c_binding
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(*)
      real(c_double) :: var
      real(c_double) :: avg_var
   end function avg_var_fun
end interface
```

è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

Specificare l'interfaccia

- Fortran di default passa gli argomenti per riferimento mentre C per valore

Interfaccia

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(n,a,var) bind(c,name="avg_var")
      use iso_c_binding
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(*)
      real(c_double) :: var
      real(c_double) :: avg_var
   end function avg_var_fun
end interface
```

è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

Specificare l'interfaccia

- Fortran di default passa gli argomenti per riferimento mentre C per valore
- L'attributo **`value`** specifica di passare le variabili per valore e quindi di interoperare con le variabili C

```
integer(c_int), value ::  n
```

Interfaccia

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(n,a,var) bind(c,name="avg_var")
      use iso_c_binding
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(*)
      real(c_double) :: var
      real(c_double) :: avg_var
   end function avg_var_fun
end interface
```

è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

Specificare l'interfaccia

- Fortran di default passa gli argomenti per riferimento mentre C per valore
- L'attributo **`value`** specifica di passare le variabili per valore e quindi di interoperare con le variabili C

```
integer(c_int), value ::  n
```

- Altrimenti un *dummy argument* in Fortran corrisponde a un parametro formale di tipo puntatore e può interoperare con il parametro formale dereferenziato

Interfaccia

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(n,a,var) bind(c,name="avg_var")
      use iso_c_binding
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(*)
      real(c_double) :: var
      real(c_double) :: avg_var
   end function avg_var_fun
end interface
```

è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[], double *var)
```

Specificare l'interfaccia

- Fortran di default passa gli argomenti per riferimento mentre C per valore
- L'attributo **`value`** specifica di passare le variabili per valore e quindi di interoperare con le variabili C

```
integer(c_int), value ::  n
```

- Altrimenti un *dummy argument* in Fortran corrisponde a un parametro formale di tipo puntatore e può interoperare con il parametro formale dereferenziato
- Un array Fortran interopera naturalmente con un array C (che è di fatto un puntatore)

Interfaccia : C99 e VLA

Fortran

```
interface
   function avg_var_fun(n,a,var) bind(c,name="avg_var")
      use iso_c_binding
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(n)
      real(c_double) :: var
      real(c_double) :: avg_var
   end function avg_var_fun
end interface
```

è interoperabile con

C

```
double avg_var_fun(int n, double a[n], double *var)
```

- Notare che nel *main* Fortran l'array **a** può essere un array *allocatable*

Specificare l'interfaccia

- Fortran di default passa gli argomenti per riferimento mentre C per valore
- L'attributo **`value`** specifica di passare le variabili per valore e quindi di interoperare con le variabili C

```
integer(c_int), value ::  n
```

- Altrimenti un *dummy argument* in Fortran corrisponde a un parametro formale di tipo puntatore e può interoperare con il parametro formale dereferenziato
- Un array Fortran interopera naturalmente con un array C (che è di fatto un puntatore)
- Funzioni C che restituiscono **`void`** corrispondono a subroutine

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**
- Tuttavia i puntatori Fortran hanno una semantica più ricca dei puntatori C

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**
- Tuttavia i puntatori Fortran hanno una semantica più ricca dei puntatori C
  - array multidimensionali

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**
- Tuttavia i puntatori Fortran hanno una semantica più ricca dei puntatori C
  - array multidimensionali
  - memoria non contigua

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**
- Tuttavia i puntatori Fortran hanno una semantica più ricca dei puntatori C
  - array multidimensionali
  - memoria non contigua
- Per questo motivo **`iso_c_binding`** fornisce funzioni di collegamento

Puntatori C e Fortran

- Per gestire i puntatori in modo esplicito il modulo **`iso_c_binding`** definisce il tipo **`C_PTR`**: **`type(C_PTR)`**
- Tuttavia i puntatori Fortran hanno una semantica più ricca dei puntatori C
  - array multidimensionali
  - memoria non contigua
- Per questo motivo **`iso_c_binding`** fornisce funzioni di collegamento
- **`c_loc(x)`** ritorna un puntatore C al contenuto della variabile ***`x`***
- **`c_f_pointer(cptr,fptr[,shape])`** fa l'operazione inversa, scrivendo il risultato in un puntatore Fortran ***`fptr`***
  - Un argomento opzionale ***`shape`*** come **`(/n/)`** oppure **`(/l,m,n/)`** definisce la *shape*

Wrapper

- Per lasciare immutato il *main* Fortran e le funzioni C è possibile usare dei *wrapper* che hanno il compito di chiamare le funzioni C

Fortran - Interfacce

```
module statistics
  use iso_c_binding
  integer, parameter :: myk = kind(1.d0)
  interface
    function init_c(n,a) bind(c,name='init')
       use iso_c_binding
       integer(c_int) :: init_c
       integer(c_int), value :: n
       real(c_double) :: a(n)
    end function init_c
  end interface
contains
  subroutine init(a)
      real(kind(1.d0)) :: a(:)
      integer :: i,n
      n = size(a)
      i = init_c(n,a)
  end subroutine init
end module statistics
```

Outline

C chiama Fortran

- L'interfaccia deve essere esplicita e dichiarata con l'attributo **`bind`**. I *wrapper* evitano di modificare le procedure Fortran che si vogliono chiamare

Fortran - Wrapper

```
module statistics_c
   use iso_c_binding
   use statistics, only : init,  avg_var_fun
   implicit none
contains
   function init_c(n,a) bind(c, name='init')
      integer(c_int) :: init_c
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: a(n)
      call init(a)
      init_c = 0
   end function init_c
   function avg_var_fun_c(n, a, var) bind(c,name='avg_var_fun')
      integer(c_int), value :: n
      real(c_double) :: avg_var_fun_c,avg,var,a(n)
      avg_var_fun_c=avg_var_fun(a,var)
   end function avg_var_fun_c
end module statistics_c
```

C chiama Fortran: *linking*!

- Se si usa il compilatore C, si possono ottenere degli *undefined reference* a causa di alcune chiamate Fortran
  - soluzione: linkare esplicitamente le *run-time libraries* del Fortran, ad esempio con il compilatore GNU

```
user@caspur$> gcc -lgfortran procedures.o main.c
```

- Se si usa il compilatore Fortran con GNU funziona mentre con Intel si ottiene *multiple definition of 'main'*
  - la *multiple definition of 'main'* si risolve linkando con l'opzione **`-nofor-main`**

```
user@caspur$> ifort  procedures.o main.o -nofor-main
```

Outline

Bibliografia

- J3 US Fortran Standards Committee
  `http://www.j3-fortran.org/`
- ISO WG5 Committee
  `http://www.nag.co.uk/sc22wg5/`
- Fortran 2003 Standard Final Draft
  Search Internet for `n3661.pdf`
- M. Metcalf, J. Reid, M. Cohen
  Fortran 95/2003 Explained Oxford University Press, corrected ed., 2008
- M. Metcalf, J. Reid, M. Cohen
  Modern Fortran Explained, Oxford University Press, 4th ed., 2011
- Adams, J.C., Brainerd, W.S., Hendrickson, R.A., Maine, R.E., Martin, J.T., Smith, B.T.
  The Fortran 2003 Handbook, Springer, 2009

Esempi di Codici in Fortran avanzato

- Parallel Sparse Basic Linear Algebra Subroutines
  `www.ce.uniroma2.it/psblas/index.html`
- Portable Fortran Interfaces to the Trilinos C++ Package
  `trilinos.sandia.gov/packages/fortrilinos/`