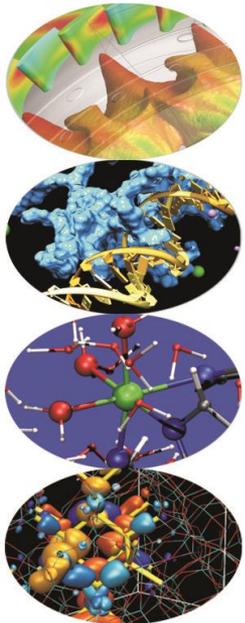


Calcolo Parallelo con MPI (2^a parte)

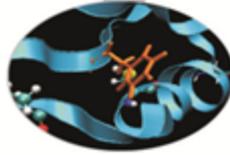


Claudia Truini
c.truini@cineca.it

Vittorio Ruggiero
v.ruggiero@cineca.it

Cristiano Padrin
c.padrin@cineca.it

Calcolo parallelo con MPI (2^a parte)



Approfondimento sulle comunicazioni
point-to-point

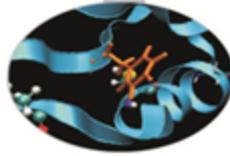
La comunicazione non *blocking*

Laboratorio n° 3

MPI virtual topologies

Laboratorio n° 4

Modalità di comunicazione



Una comunicazione tipo *point-to-point* può essere:

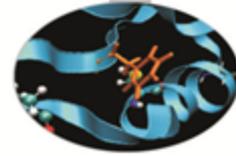
✦ **Blocking:**

- ✦ il controllo è restituito al processo che ha invocato la primitiva di comunicazione solo quando la stessa è stata completata

✦ **Non blocking:**

- ✦ il controllo è restituito al processo che ha invocato la primitiva di comunicazione quando la stessa è stata eseguita
- ✦ il controllo sull'effettivo **completamento della comunicazione** deve essere fatto in seguito
- ✦ nel frattempo il processo può eseguire altre operazioni

Criteri di completamento della comunicazione

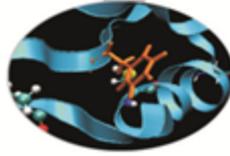


- Dal punto di vista non locale, ovvero di entrambi i processi coinvolti nella comunicazione, è rilevante il criterio in base al quale si considera completata la comunicazione

Funzionalità	Criterio di completamento
<i>Synchronous send</i>	è completa quando è terminata la ricezione del messaggio
<i>Buffered send</i>	è completa quando è terminata la scrittura dei dati da comunicare sul buffer predisposto (non dipende dal receiver!)
<i>Standard send</i>	Può essere implementata come una <i>synchronous</i> o una <i>buffered send</i>
<i>Receive</i>	è completa quando il messaggio è arrivato

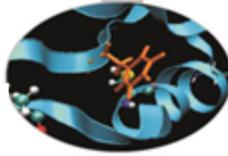
- Nella libreria MPI esistono diverse primitive di comunicazione *point-to-point*, che combinano le modalità di comunicazione ed i criteri di completamento

Synchronous SEND blocking: MPI_Ssend



- † Per il completamento dell'operazione il *sender* deve essere informato dal *receiver* che il messaggio è stato ricevuto
- † Gli argomenti della funzione sono gli stessi della **MPI_Send**
- † **Pro:** è la modalità di comunicazione *point-to-point* più semplice ed affidabile
- † **Contro:** può comportare rilevanti intervalli di tempo in cui i processi coinvolti non “*hanno nulla di utile da fare*”, se non attendere che la comunicazione sia terminata

Synchronous Send: un esempio



```
#include <stdio.h>
#include <mpi.h>
#define MSIZE 10

int main(int argc, char *argv[]) {

    MPI_Status status;
    int rank, size;

    int i;
    /* data to communicate */
    double matrix[MSIZE];

    /* Start up MPI */
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);

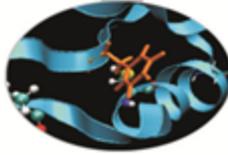
    if (rank == 0) {
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            matrix[i] = (double) i;
        MPI_Ssend(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE, 1, 666, MPI_COMM_WORLD);
    } else if (rank == 1) {
        MPI_Recv(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE, 0, 666, MPI_COMM_WORLD, &status);
        printf("Process 1 receives an array of size %d from process 0.\n", MSIZE);
    }

    /* Quit MPI */
    MPI_Finalize();

    return 0;
}
```



Buffered SEND blocking: MPI_Bsend



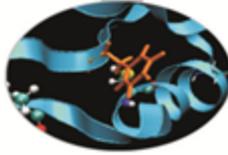
- † Una **buffered send** è completata immediatamente, non appena il processo ha copiato il messaggio su un opportuno *buffer* di trasmissione

- † Il programmatore non può assumere la presenza di un *buffer* di sistema allocato per eseguire l'operazione, ma deve effettuare un'operazione di
 - ‡ **BUFFER_ATTACH** per definire un'area di memoria di dimensioni opportune come buffer per il trasferimento di messaggi
 - ‡ **BUFFER_DETACH** per rilasciare le aree di memoria di *buffer* utilizzate

- † **Pro**
 - ‡ ritorno immediato dalla primitiva di comunicazione

- † **Contro**
 - ‡ È necessaria la gestione esplicita del *buffer*
 - ‡ Implica un'operazione di copia in memoria dei dati da trasmettere

Gestione dei buffer: MPI_Buffer_attach



In C

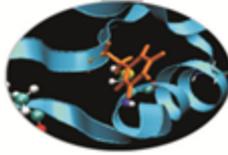
```
MPI_Buffer_attach(void *buf, int size)
```

In Fortran

```
MPI_BUFFER_ATTACH(BUF, SIZE, ERR)
```

- Consente al processo *sender* di allocare il *send* buffer per una successiva chiamata di **MPI_Bsend**
- Argomenti:
 - **buf** è l'indirizzo iniziale del buffer da allocare
 - **size** è un **int** (**INTEGER**) e contiene la dimensione in byte del buffer da allocare

Gestione dei buffer: MPI_Buffer_detach



In C

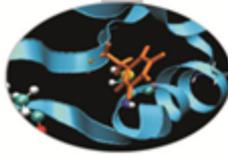
```
MPI_Buffer_detach(void *buf, int *size)
```

In Fortran

```
MPI_BUFFER_DETACH(BUF, SIZE, ERR)
```

- † Consente di rilasciare il buffer creato con `MPI_Buffer_attach`
- † Argomenti:
 - † `buf` è l'indirizzo iniziale del buffer da deallocare
 - † `size` è un `int*` (`INTEGER`) e contiene la dimensione in byte del buffer deallocato

Buffered Send: un esempio



```
#include <stdio.h>
#include <mpi.h>
#define MSIZE 10

int main(int argc, char *argv[]) {

    MPI_Status status;
    int rank, size, i;
    double *mpibuffer;
    int mpibuffer_length;

    double matrix[MSIZE];

    /* Start up MPI environment */
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);

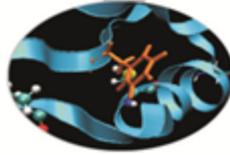
    if (rank == 0) {
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            matrix[i] = (double) i;

        mpibuffer_length = (MSIZE*sizeof(double) + MPI_BSEND_OVERHEAD);
        mpibuffer = (double *) malloc (mpibuffer_length);

        MPI_Buffer_attach(mpibuffer, mpibuffer_length);
        MPI_Bsend(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE, 1, 666, MPI_COMM_WORLD);
    } else if (rank == 1) {
        MPI_Recv(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE, 0, 666, MPI_COMM_WORLD, &status);
    }

    /* Quit MPI environment */
    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```

Buffered Send: un esempio (FORTRAN)



```

program main
  implicit none
  include 'mpif.h'
  integer ierr, rank, nprocs
  integer i, status(MPI_STATUS_SIZE)
  integer, parameter :: MSIZE=10
  double precision matrix(MSIZE)

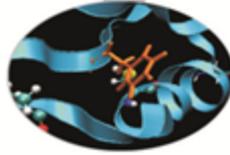
  INTEGER mpibuffer_length, typesize
  REAL(kind=8), DIMENSION(:), ALLOCATABLE :: mpibuffer

  call MPI_INIT(ierr)
  call MPI_COMM_RANK(MPI_COMM_WORLD, rank, ierr)
  call MPI_COMM_SIZE(MPI_COMM_WORLD, nprocs, ierr)

  if (rank .eq. 0) then
    do i=1,MSIZE
      matrix(i)= dble(i)
    enddo
    mpibuffer_length = msize + MPI_BSEND_OVERHEAD
    ALLOCATE(mpibuffer(mpibuffer_length))
    CALL MPI_TYPE_SIZE(MPI_DOUBLE_PRECISION, typesize, ierr)
    CALL MPI_BUFFER_ATTACH(mpibuffer, typesize*mpibuffer_length, ierr)

    CALL MPI_BSEND(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE_PRECISION, 1, 666, &
      MPI_COMM_WORLD,ierr)
  else if (rank .eq. 1) then
    CALL MPI_RECV(matrix, MSIZE, MPI_DOUBLE_PRECISION, 0, 666, &
      MPI_COMM_WORLD, status, ierr)
  endif
  call MPI_FINALIZE(ierr)
end program main
  
```

Calcolo parallelo con MPI (2^a parte)



Approfondimento sulle comunicazioni *point-to-point*

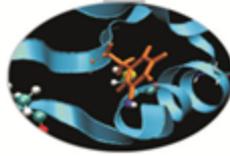
La comunicazione non *blocking*

Laboratorio n° 3

MPI virtual topologies

Laboratorio n° 4

Comunicazioni non-blocking



Una comunicazione *non-blocking* è tipicamente costituita da tre fasi successive:

1. L'inizio della operazione di *send* o *receive* del messaggio
2. Lo svolgimento di un'attività che non implichi l'accesso ai dati coinvolti nella operazione di comunicazione avviata
3. Controllo/attesa del completamento della comunicazione

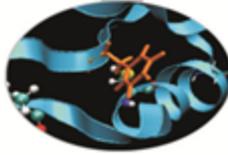
Pro

- *Performance*: una comunicazione *non-blocking* consente di:
 - sovrapporre fasi di comunicazioni con fasi di calcolo
 - ridurre gli effetti della latenza di comunicazione
- Le comunicazioni *non-blocking* evitano situazioni di *deadlock*

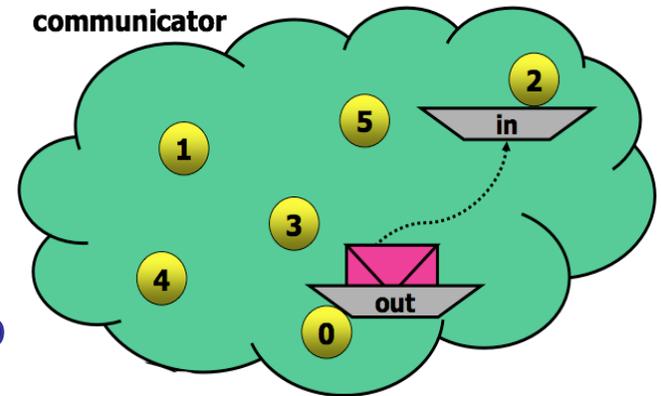
Contro

- La programmazione di uno scambio di messaggi con funzioni di comunicazione *non-blocking* è (leggermente) più complicata

SEND non-blocking: MPI_Isend

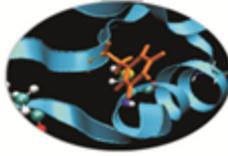


- ⌚ Dopo che la spedizione è stata avviata il controllo torna al processo *sender*
- ⌚ Prima di riutilizzare le aree di memoria coinvolte nella comunicazione, il processo *sender* deve controllare che l'operazione sia stata completata, attraverso opportune funzioni della libreria MPI
- ⌚ Anche per la *send non-blocking*, sono previste le diverse modalità di completamento della comunicazione

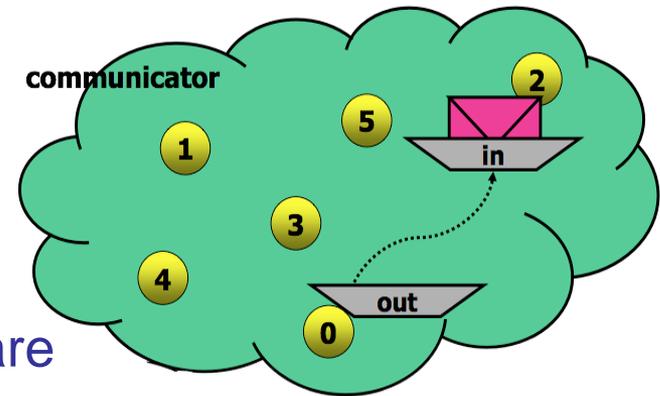


RECEIVE non-blocking :

MPI_Irecv

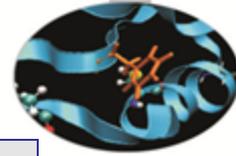


- Dopo che la fase di ricezione è stata avviata il controllo torna al processo *receiver*
- Prima di utilizzare in sicurezza i dati ricevuti, il processo *receiver* deve verificare che la ricezione sia completata, attraverso opportune funzioni della libreria MPI
- Una *receive non-blocking* può essere utilizzata per ricevere messaggi inviati sia in modalità *blocking* che non *blocking*



Binding di

MPI_Isend e MPI_Irecv



In C

```
int MPI_Isend(void *buf, int count, MPI_Datatype dtype,  
             int dest, int tag, MPI_Comm comm, MPI_request *req)
```

```
int MPI_Irecv(void *buf, int count, MPI_Datatype dtype,  
             int src, int tag, MPI_Comm comm, MPI_request *req)
```

In Fortran

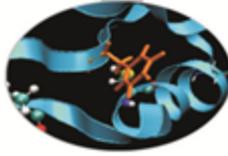
```
MPI_ISEND(buf, count, dtype, dest, tag, comm, req, err)
```

```
MPI_IRecv(buf, count, dtype, src, tag, comm, req, err)
```

Le funzione `MPI_Isend` e `MPI_Irecv` prevedono un argomento aggiuntivo rispetto alle `MPI_Send` e `MPI_Recv`:

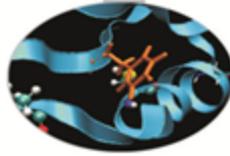
- un handler di tipo `MPI_Request` (INTEGER) è necessario per referenziare l'operazione di *send/receive* nella fase di controllo del completamento della stessa

Comunicazioni non blocking: completamento



- Quando si usano comunicazioni *point-to-point* non blocking è essenziale assicurarsi che la fase di comunicazione sia completata per:
 - utilizzare i dati del buffer (dal punto di vista del *receiver*)
 - riutilizzare l'area di memoria coinvolta nella comunicazione (dal punto di vista del *sender*)
- La libreria MPI mette a disposizione dell'utente due tipi di funzionalità per il test del completamento di una comunicazione:
 - tipo *WAIT* : consente di fermare l'esecuzione del processo fino a quando la comunicazione in argomento non sia completata
 - tipo *TEST*: ritorna al processo chiamante un valore *TRUE* se la comunicazione in argomento è stata completata, *FALSE* altrimenti

Binding di MPI_Wait



In C

```
int MPI_Wait(MPI_Request *request, MPI_Status *status)
```

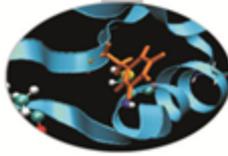
In Fortran

```
MPI_WAIT (REQUEST, STATUS, ERR)
```

Argomenti:

- 📌 [IN] **request** è l'*handler* necessario per referenziare la comunicazione di cui attendere il completamento (INTEGER)
- 📌 [OUT] **status** conterrà lo stato (*envelope*) del messaggio di cui si attende il completamento (INTEGER)

Binding di MPI_Test



In C

```
int MPI_Test(MPI_Request *request,  
             int *flag, MPI_Status *status)
```

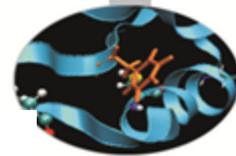
In Fortran

```
MPI_TEST (REQUEST, FLAG, STATUS, ERR)
```

Argomenti

- 📌 [IN] **request** è l'*handler* necessario per referenziare la comunicazione di cui controllare il completamento (INTEGER)
- 📌 [OUT] **flag** conterrà **TRUE** se la comunicazione è stata completata, **FALSE** altrimenti (LOGICAL)
- 📌 [OUT] **status** conterrà lo stato (*envelope*) del messaggio di cui si attende il completamento (INTEGER (*))

La struttura di un codice con *send non blocking*



```
/* ... Only a portion of the code */

MPI_Status status;
MPI_Request request;

int flag = 0;
double buffer[BIG_SIZE];

/* Send some data */
MPI_Isend(buffer, BIG_SIZE, MPI_DOUBLE, dest, tag,
          |MPI_COMM_WORLD, &request);

/* While the send is progressing, do some useful work */
while (!flag && have_more_work_to_do) {

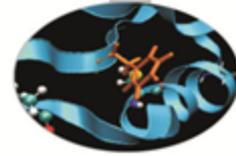
    /* ...do some work... */

    MPI_Test(&request, &flag, &status);
}

/* If we finished work but the send is still pending, wait */
if (!flag)
    MPI_Wait(&request, &status);

/* ... */
```

Calcolo parallelo con MPI (2^a parte)



Approfondimento sulle comunicazioni *point-to-point*

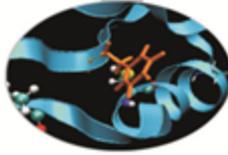
La comunicazione non *blocking*

Laboratorio n° 3

MPI virtual topologies

Laboratorio n° 4

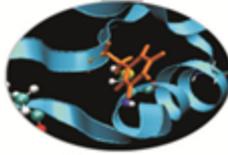
Programma della 3° sessione di laboratorio



- Modalità di completamento della comunicazione
 - Uso della *synchronous send*, della *buffered send* e delle funzioni di gestione dei buffer (Esercizio 12)
- Uso delle funzioni di comunicazione non-blocking
 - *Non blocking circular shift* (Esercizio 13)
 - *Array Smoothing* (Esercizio 14)



Funzioni per il timing: MPI_Wtime e MPI_Wtick

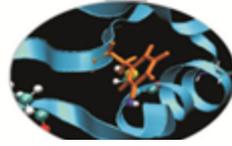


- È importante conoscere il tempo impiegato dal codice nelle singole parti per poter analizzare le performance
- MPI_Wtime: fornisce il numero floating-point di secondi intercorso tra due sue chiamate successive

```
double starttime, endtime;  
starttime = MPI_Wtime();  
.... stuff to be timed ...  
endtime = MPI_Wtime();  
printf("That took %f seconds\n",endtime-starttime);
```

- MPI_Wtick: ritorna la precisione di MPI_Wtime, cioè ritorna 10^{-3} se il contatore è incrementato ogni millesimo di secondo.
- NOTA: anche in FORTRAN sono funzioni

Synchronous Send blocking



† Modificare il codice dell'Esercizio 2, utilizzando la funzione

MPI_Ssend per la spedizione di un *array* di *float*

† Misurare il tempo impiegato nella *MPI_Ssend* usando la funzione *MPI_Wtime*

```

#include <stdio.h>
#include <mpi.h>
#define MSIZE 10

int main(int argc, char *argv[]) {

    MPI_Status status;
    int rank, size;
    int i, j;

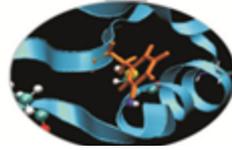
    /* data to communicate */
    float matrix[MSIZE];

    /* Start up MPI */
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);

    if (rank == 0) {
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            matrix[i] = (float)i;
        MPI_Send(matrix, MSIZE, MPI_FLOAT, 1, 666, MPI_COMM_WORLD);
    } else if (rank == 1) {
        MPI_Recv(matrix, MSIZE, MPI_FLOAT, 0, 666, MPI_COMM_WORLD, &status);
        printf("\nProcess 1 receives the following array from process 0.\n");
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            printf("%6.2f\n", matrix[i]);
    }

    /* Quit MPI */
    MPI_Finalize();
    return 0;
  
```





Send buffered blocking

- Modificare l'Esercizio 2, utilizzando la funzione `MPI_Bsend` per spedire un *array* di *float*
- N.B.: la `MPI_Bsend` prevede la gestione diretta del *buffer* di comunicazione da parte del programmatore
- Misurare il tempo impiegato nella `MPI_Bsend` usando la funzione `MPI_Wtime`

```

#include <stdio.h>
#include <mpi.h>
#define MSIZE 10

int main(int argc, char *argv[]) {

    MPI_Status status;
    int rank, size;
    int i, j;

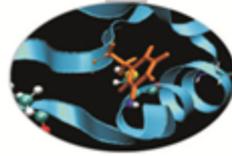
    /* data to communicate */
    float matrix[MSIZE];

    /* Start up MPI */
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);

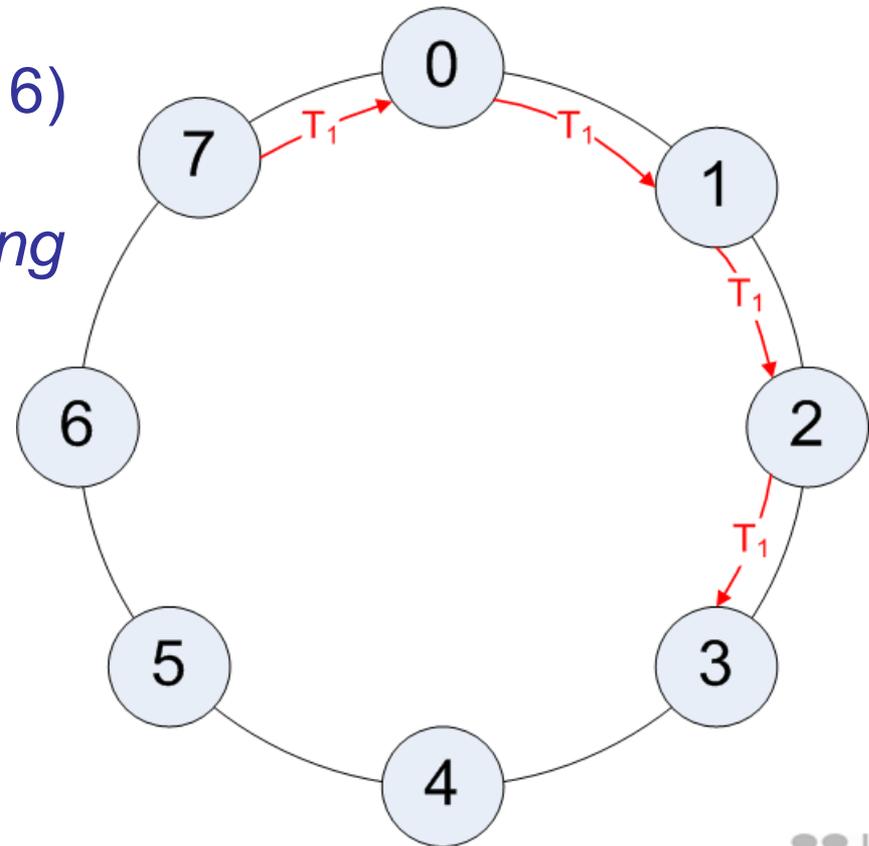
    if (rank == 0) {
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            matrix[i] = (float)i;
        MPI_Send(matrix, MSIZE, MPI_FLOAT, 1, 666, MPI_COMM_WORLD);
    } else if (rank ==1) {
        MPI_Recv(matrix, MSIZE, MPI_FLOAT, 0, 666, MPI_COMM_WORLD, &status);
        printf("\nProcess 1 receives the following array from process 0.\n");
        for (i = 0; i < MSIZE; i++)
            printf("%6.2F\n", matrix[i]);
    }

    /* Quit MPI */
    MPI_Finalize();
    return 0;
}
  
```

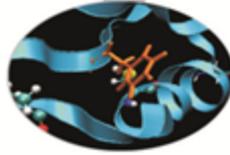
Circular Shift non-blocking



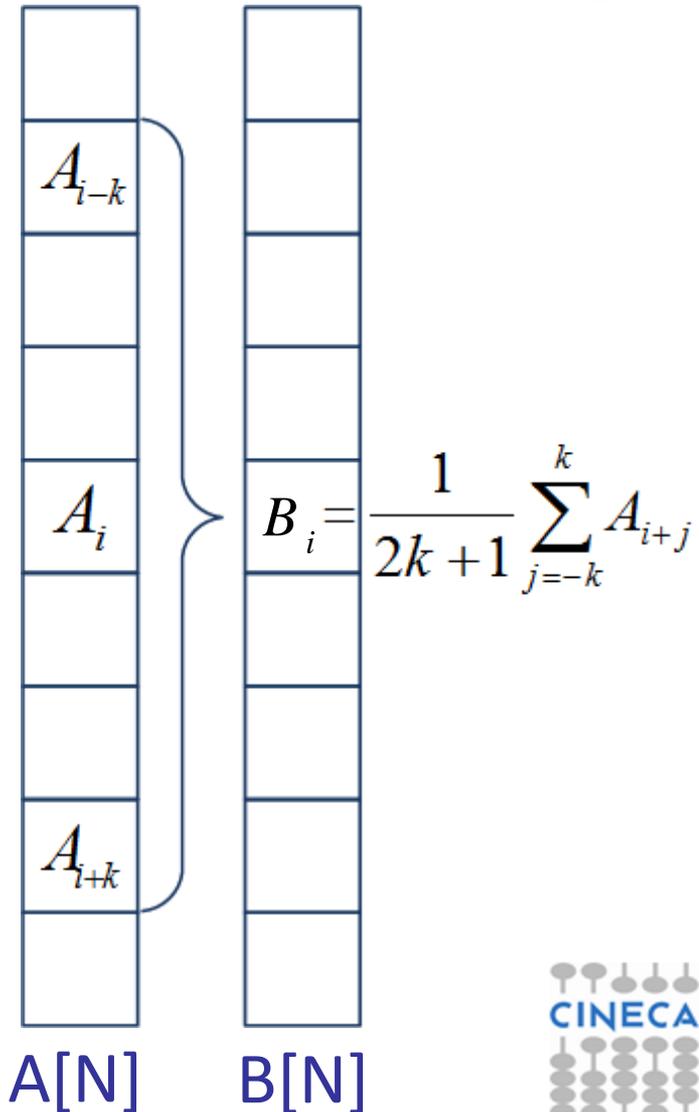
- Modificare il codice dello *shift* circolare periodico in “versione *naive*” (Esercizio 6) utilizzando le funzioni di comunicazione *non-blocking* per evitare la condizione *deadlock* per $N=2000$



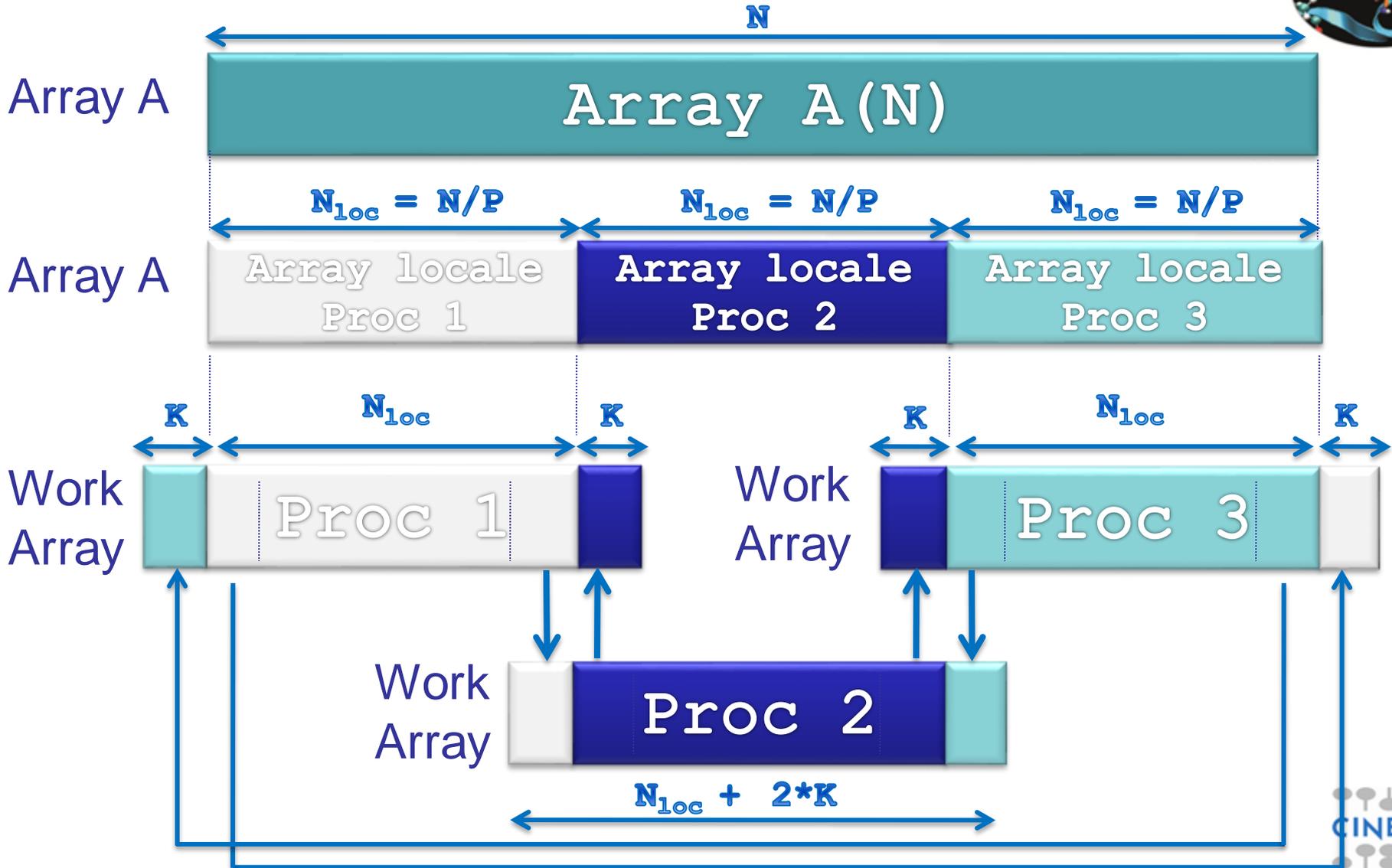
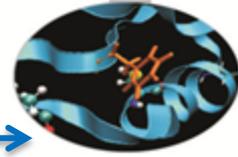
Array smoothing



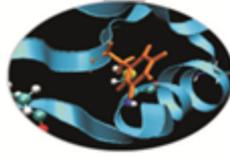
- dato un *array* $A[N]$
- stampare il vettore A
- per ITER volte:
 - calcolare un nuovo *array* B in cui ogni elemento sia uguale alla media aritmetica del suo valore e dei suoi K primi vicini al passo precedente
 - nota: l'array è periodico, quindi il primo e l'ultimo elemento di A sono considerati primi vicini
 - Stampare il vettore B
 - Copiare B in A e continuare l'iterazione



Array smoothing: algoritmo parallelo

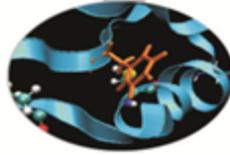


Array smoothing: algoritmo parallelo



- Il processo di *rank 0*
 - genera l'*array* globale di dimensione N , divisibile per il numero P di processi
 - inizializza il vettore A con $A[i] = i$
 - distribuisce il vettore A ai P processi i quali riceveranno N_{loc} elementi nell'*array* locale
- Ciascun processo ad ogni passo di *smoothing*:
 - Avvia le opportune *send non-blocking* verso i propri processi primi vicini per spedire i suoi elementi
 - Avvia le opportune *receive non-blocking* dai propri processi primi vicini per ricevere gli elementi dei vicini
 - Effettua lo *smoothing* dei soli elementi del vettore che non implicano la conoscenza di elementi di A in carico ad altri processi
 - Dopo l'avvenuta ricezione degli elementi in carico ai processi vicini, effettua lo *smoothing* dei rimanenti elementi del vettore
- Il processo di *rank 0* ad ogni passo raccoglie i risultati parziali e li stampa

Calcolo parallelo con MPI (2^a parte)



Approfondimento sulle comunicazioni *point-to-point*

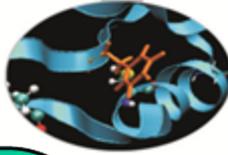
La comunicazione non *blocking*

Laboratorio n° 3

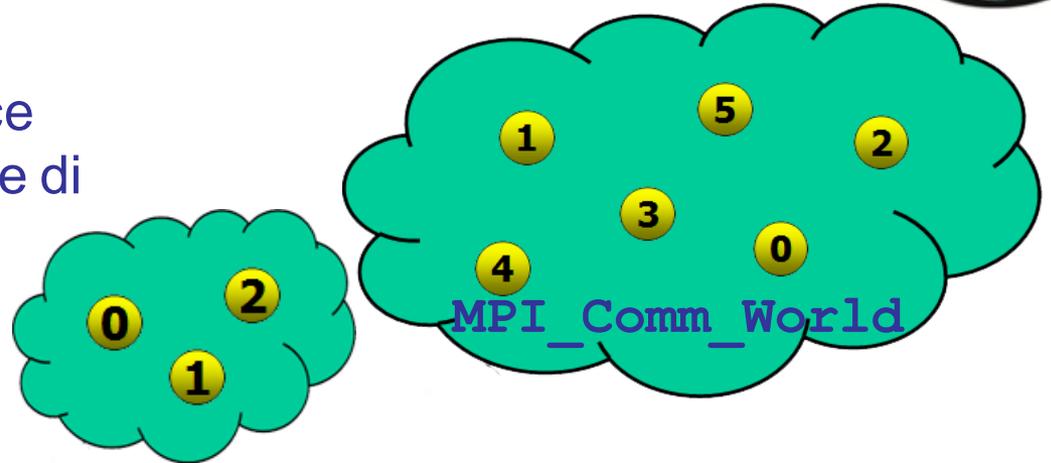
MPI virtual topologies

Laboratorio n° 4

Oltre MPI_Comm_World: i comunicatori

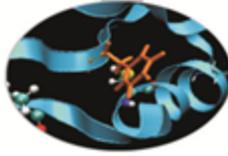


- Un **comunicatore** definisce l'universo di comunicazione di un insieme di processi



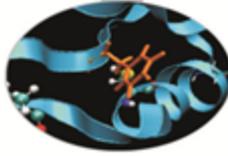
- Oltre ad **MPI_Comm_World**, in un programma MPI possono essere definiti altri comunicatori per specifiche esigenze, quali:
 - utilizzare funzioni collettive solo all'interno di un sotto insieme dei processi del comunicatore di default
 - utilizzare uno schema identificativo dei processi conveniente per un particolare pattern di comunicazione

Le componenti del comunicatore



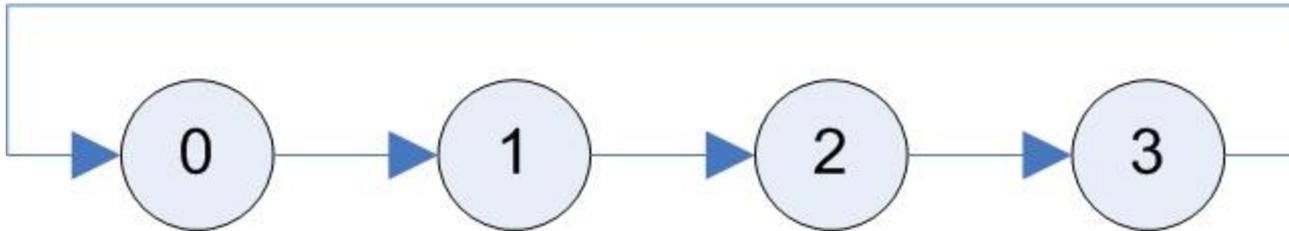
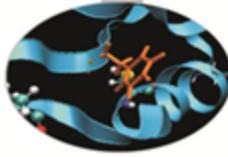
- † **Gruppo** di processi: *un set ordinato di processi*
 - ‡ il gruppo è usato per identificare i processi
 - ‡ ad ogni processo all'interno di un gruppo è assegnato un indice (*rank*), utile per identificare il processo stesso
- † **Contesto**: utilizzato dal comunicatore per gestire l'invio/ricezione di messaggi
 - ‡ Contiene, ad esempio, l'informazione sullo stato di un messaggio da ricevere inviato con una `MPI_Isend`
- † **Attributi**: ulteriori informazioni eventualmente associate al comunicatore
 - ‡ Il *rank* del processo in grado di eseguire operazioni di I/O
 - ‡ La topologia di comunicazione sottesa

Topologie virtuali di processi



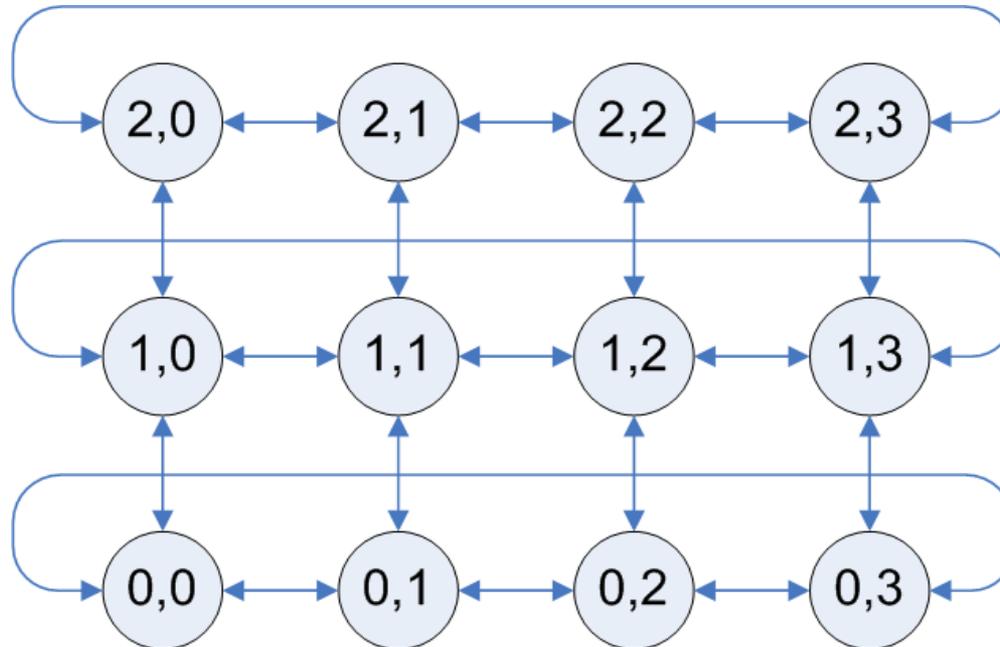
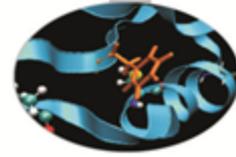
- Definizione di un nuovo schema identificativo dei processi *conveniente* per lavorare con uno specifico pattern di comunicazione:
 - semplifica la scrittura del codice
 - può consentire ad MPI di ottimizzare le comunicazioni
- Creare una topologia virtuale di processi in MPI significa definire un nuovo comunicatore, con attributi specifici
- Tipi di topologie:
 - Cartesiane:**
 - ogni processo è identificato da un set di coordinate cartesiane ed è connesso ai propri vicini da una griglia virtuale
 - Ai bordi della griglia può essere impostata o meno la periodicità
 - Grafo** (al di fuori di questo corso)

Circular shift: una topologia cartesiana 1D



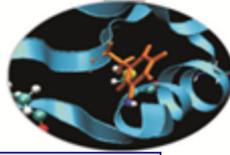
- † Ogni processo comunica alla sua destra un dato
- † L'ultimo processo del gruppo comunica il dato al primo

Topologia cartesiana 2D



- † Ad ogni processo è associata una coppia di indici che rappresentano le sue coordinate in uno spazio cartesiano 2D
- † Ad esempio, le comunicazioni possono avvenire
 - ‡ tra primi vicini *con periodicità* lungo la direzione X
 - ‡ tra primi vicini *senza periodicità* lungo la direzione Y

Creare un comunicatore con topologia cartesiana



In C

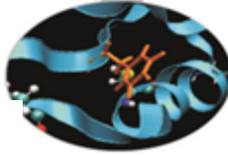
```
int MPI_Cart_create(MPI_Comm comm_old, int ndims, int *dims,  
                   int *periods, int reorder, MPI_Comm *comm_cart)
```

In Fortran

```
MPI_CART_CREATE(COMM_OLD, NDIMS, DIMS, PERIODS,  
                REORDER, COMM_CART, IERROR)
```

- [IN] **comm_old**: comunicatore dal quale selezionare il gruppo di processi (INTEGER)
- [IN] **ndims**: numero di dimensioni dello spazio cartesiano (INTEGER)
- [IN] **dims**: numero di processi lungo ogni direzione dello spazio cartesiano (INTEGER(*))
- [IN] **periods**: periodicità lungo le direzioni dello spazio cartesiano (LOGICAL(*))
- [IN] **reorder**: il ranking dei processi può essere riordinato per utilizzare al meglio la rete di comunicazione (LOGICAL)
- [OUT] **comm_cart**: nuovo comunicatore con l'attributo topologia cartesiana (INTEGER)

Come usare MPI Cart create



```

int main(int argc, char **argv)
{
  ...

  int dim[2], period[2], reorder;

  ...

  dim[0]=4;
  dim[1]=3;

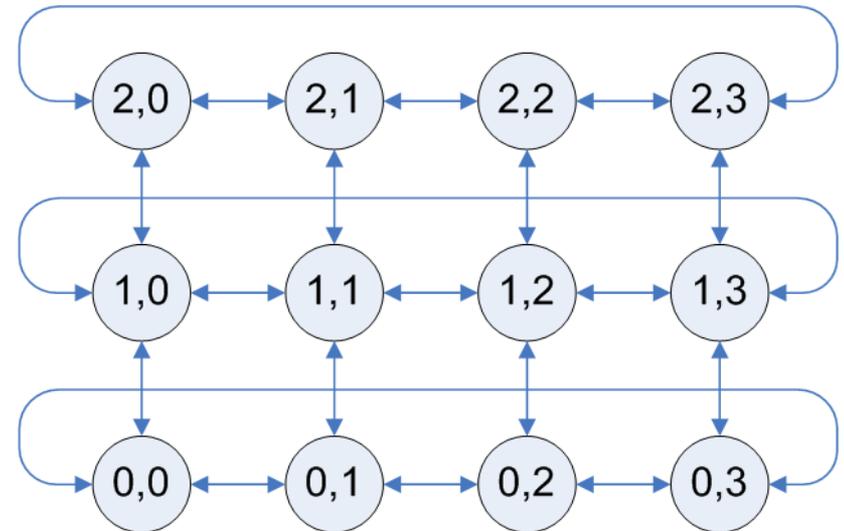
  period[0]=1;
  period[1]=0;
  reorder=1;

  MPI_Cart_create(MPI_COMM_WORLD,2,dim,period,reorder,&cart);

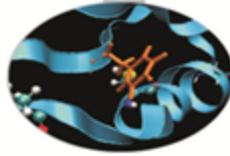
  ...

  return 0;
}

```



Alcune utili funzionalità

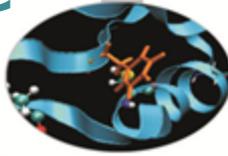


📍 **MPI_Dims_Create:**

- 📍 Calcola le dimensioni della griglia bilanciata ottimale rispetto al numero di processi e la dimensionalità della griglia dati in input
- 📍 Utile per calcolare un vettore `dims` di input per la funzione `MPI_Cart_Create`

📍 Mapping tra coordinate cartesiane e *rank*

- 📍 **MPI_Cart_coords:** sulla base della topologia definita all'interno del comunicatore, ritorna le coordinate corrispondenti al processo con un fissato *rank*
- 📍 **MPI_Cart_rank:** sulla base della topologia definita all'interno del comunicatore, ritorna il *rank* del processo con un fissato set di coordinate cartesiane



In C

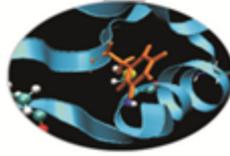
```
int MPI_Dims_create(int nnodes, int ndims, int *dims)
```

In Fortran

```
MPI_DIMS_CREATE(NNODES, NDIMS, DIMS, IERROR)
```

- 🔹 [IN] **nnodes**: numero totale di processi (INTEGER)
- 🔹 [IN] **ndims**: dimensionalità dello spazio cartesiano (INTEGER)
- 🔹 [IN] / [OUT] **dims**: numero di processi lungo le direzioni dello spazio cartesiano (INTEGER(*))
 - 🔹 Se una entry = 0 MPI_Dims_create calcola il numero di processi lungo quella direzione
 - 🔹 Se una entry ≠ 0 MPI_Dims_create calcola il numero di processi lungo le direzioni “libere” compatibilmente col numero totale di processi e i valori definiti dall’utente

Rank -> Coordinate: MPI_Cart_coords



In C

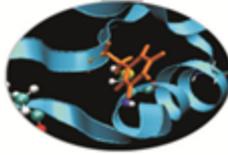
```
int MPI_Cart_coords(MPI_Comm comm, int rank,  
                   int maxdims, int *coords)
```

In Fortran

```
MPI_CART_COORDS(COMM, RANK, MAXDIMS, COORDS,  
                IERROR)
```

- Dato il *rank* del processo, ritorna le coordinate cartesiane associate
- Argomenti:
 - [IN] **comm**: comunicatore con topologia cartesiana (INTEGER)
 - [IN] **rank**: rank del processo del quale si vogliono conoscere le coordinate (INTEGER)
 - [IN] **maxdims**: dimensionalità dello spazio cartesiano (INTEGER)
 - [OUT] **coords**: coordinate del processo rank (INTEGER(*))

Coordinate -> Rank: MPI_Cart_rank



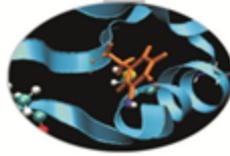
In C

```
int MPI_Cart_rank(MPI_Comm comm, int *coords, int *rank)
```

In Fortran

```
MPI_CART_RANK(COMM, COORDS, RANK, IERROR)
```

- 📌 Date le coordinate cartesiane del processo, ritorna il *rank* associato
- 📌 Argomenti:
 - 📌 [IN] **comm**: comunicatore con topologia cartesiana (INTEGER)
 - 📌 [IN] **coords**: coordinate del processo (INTEGER(*))
 - 📌 [OUT] **rank**: *rank* del processo di coordinate `coords` (INTEGER)



In C

```
int MPI_Cart_shift(MPI_Comm comm, int direction,  
                  int disp, int *rank_source, int *rank_dest)
```

In Fortran

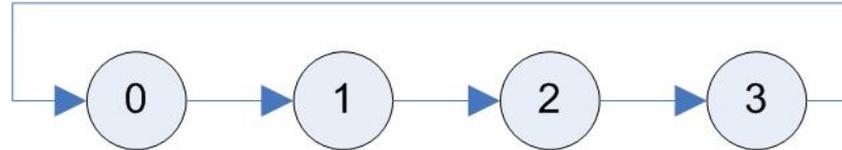
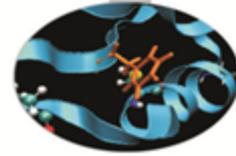
```
MPI_CART_SHIFT(COMM, DIRECTION, DISP, SOURCE,  
               DEST, IERROR)
```

Determina il rank del processo al/dal quale inviare/ricevere dati

Argomenti:

- † [IN] **comm**: comunicatore con topologia cartesiana (INTEGER)
- † [IN] **direction**: indice della coordinata lungo la quale fare lo shift (INTEGER)
N.B.: la numerazione degli indici parte da 0 (anche in Fortran)
- † [IN] **disp**: entità dello shift (> 0: upward , < 0: downward) (INTEGER)
- † [OUT] **source**: rank del processo dal quale ricevere i dati (INTEGER)
- † [OUT] **dest**: rank del processo al quale inviare i dati (INTEGER)

Shift Circolare con topologia cartesiana 1D in C



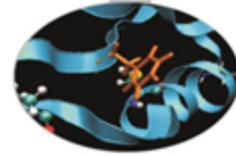
† Circular shift senza topologia

```
dest = (rank + 1) % size;  
source = (rank + size - 1) % size;  
MPI_Sendrecv(A, MSIZE, MPI_INT, dest, tag, B, MSIZE, MPI_INT, source,  
tag, MPI_COMM_WORLD, &status);
```

† Circular shift con topologia cartesiana

```
MPI_Cart_create(MPI_COMM_WORLD, 1, &size, periods, 0, &comm_cart);  
MPI_Cart_shift(comm_cart, 0, 1, &source, &dest);  
MPI_Sendrecv(A, MSIZE, MPI_INT, dest, tag, B, MSIZE, MPI_INT, source,  
tag, comm_cart, &status);
```

Calcolo parallelo con MPI (2^a parte)



Approfondimento sulle comunicazioni *point-to-point*

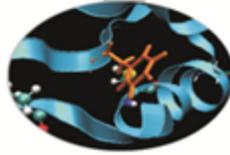
La comunicazione non *blocking*

Laboratorio n° 3

MPI virtual topologies

Laboratorio n° 4

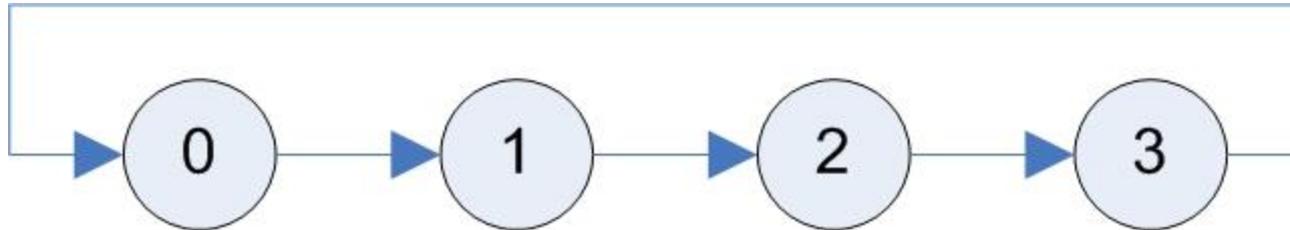
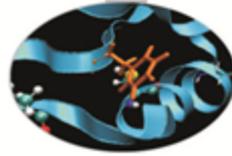
Programma della 4° sessione di laboratorio



- Topologie virtuali
 - *Circular shift* con topologia cartesiana 1D (Esercizio 15)
 - Media aritmetica sui primi vicini in una topologia cartesiana 2D (Esercizio 16)

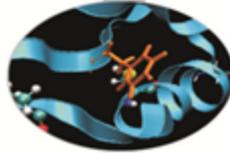


Circular shift con topologia cartesiana 1D



- † Modificare il codice *Shift Circolare* con `MPI_Sendrecv` (Esercizio 7), in modo che siano utilizzate le funzionalità di MPI per le *virtual topologies* per determinare gli argomenti della funzione `MPI_Sendrecv`
- † Nota: usare la funzione `MPI_Cart_shift` per determinare i processi sender /receiver della `MPI_Sendrecv`

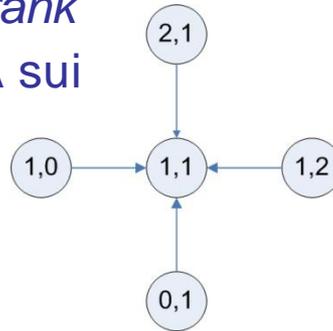
Media aritmetica sui primi vicini in topologia 2D



I processi sono distribuiti secondo una griglia rettangolare

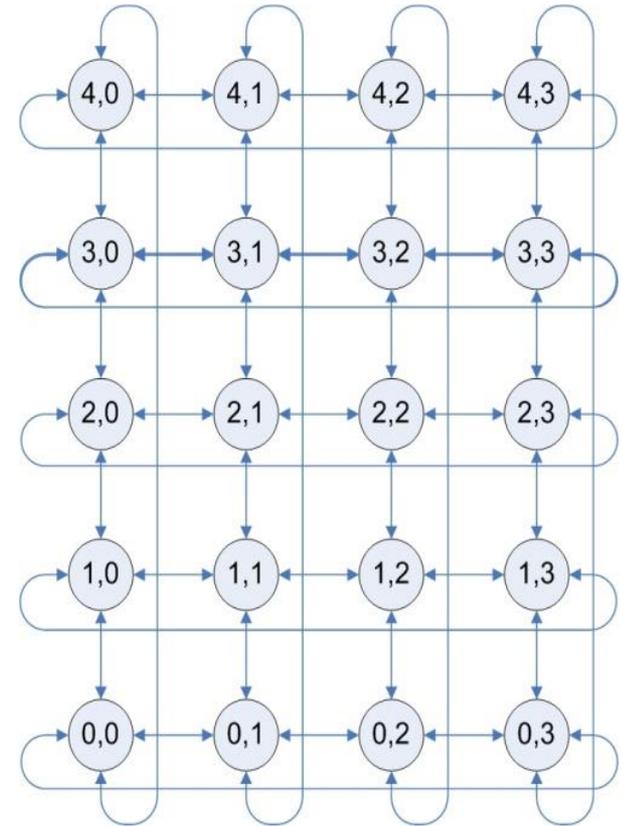
Ogni processo:

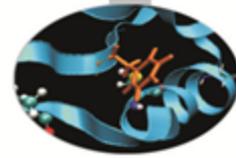
- Inizializza una variabile intera A con il valore del proprio $rank$
- calcola la media di A sui primi vicini



Il processo di rank 0:

- Raccoglie i risultati dagli altri processi
- Riporta in output i risultati raccolti utilizzando un formato tabella organizzato secondo le coordinate dei vari processi





Media aritm. sui primi vicini: flowchart delle comunicazioni

