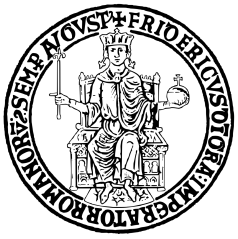
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA

CALCOLO DELLA SOMMA DI N NUMERI REALI, IN AMBIENTE DI CALCOLO PARALLELO SU ARCHITETTURA MIMD A MEMORIA DISTRIBUITA, UTILIZZANDO LA LIBRERIA MPI

Professori

Prof. ssa Valeria Mele

Prof. Giuliano Laccetti

Studenti

Francesco Jr. Iaccarino – N97000440

Fabiola Salomone – N86002870

Anno Accademico - 2023-2024

INDICE

1. Introduzione al problema

Si vuole realizzare un algoritmo per il calcolo della somma di N numeri reali, in ambiente di calcolo parallelo su architettura MIMD a memoria distribuita, utilizzando la libreria MPI.

L'algoritmo deve implementare le tre strategie di comunicazione relative alla somma e prendere in input le seguenti informazioni :

1. **Numero di valori da sommare (N):** Questo valore rappresenta quanti numeri reali devono essere sommati. L'utente deve fornire questo numero come input;

2. **Valori da sommare:** Nel caso in cui il numero di valori da sommare (N) sia minore o uguale a 20, l'utente deve fornire direttamente i valori (numeri reali) da sommare come parte dell'input. In caso contrario, se N è maggiore di 20, l'algoritmo deve generare casualmente i valori reali da sommare;

3. **Numero di strategia da utilizzare (I, II, III):** L'utente deve specificare quale delle tre strategie di comunicazione (I, II o III) desidera utilizzare per calcolare la somma dei valori;

Inoltre, l'algoritmo deve gestire i casi in cui l'utente scelga le strategie II o III ma non siano applicabili (ad esempio, a causa del numero di processori disponibili). In questi casi, l'algoritmo dovrebbe automaticamente applicare la strategia I.

2. Descrizione dell’algoritmo

In questo capitolo, viene descritto l’algoritmo suddividendolo in quattro fasi e dettagliata ognuna di essa e descritta la terza strategia mettendola a confronto con le altre due .

2.1 Descrizione dell’algoritmo

L'algoritmo è strutturato in quattro fasi distinte:

1. **Fase 1**: Distribuzione dell'input tra i vari processi;
2. **Fase 2**: Calcolo delle somme parziali;
3. **Fase 3**: Strategie di comunicazione;
4. **Fase 4**: Stampa del risultato.

Nella prima fase il processo con rank 0 prende in input il valore N, la strategia da utilizzare, l’id del processo che dovrà stampare il risultato e gli eventuali valori da sommare e gli invii agli altri. Gli altri processi riceveranno solo una parte divisa equamente di valori da sommare (N fratto numero di processi ciascun processo, con al massimo una differenza di 1 elemento tra i var processi).

La seconda fase sussiste in una normale somma locale di valori, eseguita da ciascun processo.

Nella terza fase, in base alla strategia di comunicazione e l’id del processo che dovrà stampare poi il risultato, verrà completata la somma.

Nella quarta fase verrà stampato il risultato così come richiesto dall’input. Nel caso in cui debbano stampare tutti i processi, per convenzione il processo ricevente nella strategia 1 e 2 sarà rank 0, per poi inviare in broadcast, prima

della stampa, la somma a tutti gli altri processi.

2.2 Strategie e confronti

In questa sezione, analizzeremo in dettaglio la terza strategia di comunicazione utilizzata nel programma. Questa stategia mira a garantire che, al termine della computazione tutti i processi abbiano accesso alla somma totale dei valori passati in input. Tuttavia ciò comporta un aumento significcativo del numero di comunicazioni tra i processi.

In questa strategia, i valori in input vengono suddivisi equamente tra i vari processi, ciascuno dei quali calcola la sua somma parziale. Dopo aver completato le sonne parziali, i processi iniziano a comunicare tra loro in coppie distinte.

La modalità usata, per effettuare questa comunicazione, è la seguente : entrambi i processi comunicano le rispettive somme parziali e aggiungono il valore ricevuto alla propria somma.

Durante ciascuna interazione di comunicazione, ogni processo con un determinato rank comunicherà con un altro processo che ha un rank di $i+(2^{passo})$ oppure $i-(2^{passo})$, a seconda del risultato della divisione tra il suo rank e $2^{(i+1)}$.

È importante notare che questa strategua comporta un certo numero di comunicazioni ridondanti, ma questa comunicazioni avvengono in parallelo durante ogni interazione. Questa strategia è preferibile quando è essenzile che tutti i processi abbiano accesso alla somma totale dei valori

A differenza della strategia 2, che coinvolge comunicazioni a coppie di processi senza comunicazione bidirezionali, la stategia 3 coinvolge comunicazioni bidirezionali tra i processi. Al fine della stategia2, solo uno dei processi avrà la somma totale, mentre gli altri avranno somma parziali. È possibile selezionare quale processo otterrà il risultato finale ruotando l'albero delle comunicazioni dei processi,

La strategia 1, d'altra parte, prevede che ciascun processo calcoli la sua somma parziale e la comunichi al processo P0, che successivamente somma tutte le somme parziali ricevute. Anche in questo caso è possibile selezionare il processo ricevente. Tuttavia questa strtegia comporta un aumento esponensiale del numero di comunicazioni sequenziali tra i processi e il processo ricevente all'aumentare del numero dei processi.

Ad esempio, con 16 processi, il processo ricevente dovrà ricevere 15 somme parziali in modo sequenziale, mentre con 128 processi dovrà gestire 127 somme parziali e cosi via.

3 Input, Output ed errori

3.1 Input e restrizioni

Come descritto nel capitolo relativo all'introduzione, i parametri in input da passare
sono i seguenti:

- **Numero di valori da sommare (N):** Questo valore rappresenta quanti numeri reali devono essere sommati. L'utente deve fornire questo numero come input;

- **Valori da sommare:** Nel caso in cui il numero di valori da sommare (N) sia minore o uguale a 20, l'utente deve fornire direttamente i valori (numeri reali) da sommare come parte dell'input. In caso contrario, se N è maggiore di 20, l'algoritmo deve generare casualmente i valori reali da sommare;

- **Numero di strategia da utilizzare (I, II, III):** L'utente deve specificare quale delle tre strategie di comunicazione (I, II o III) desidera utilizzare per calcolare la somma dei valori;

Inoltre, abbiamo scelto di includere l'opzione di specificare l'ID del processo responsabile della stampa del risultato. Tenendo conto che l'utente possa desiderare gli stampare il risultato di tutti i processi e in tal caso è sufficiente impostare l'ID su -1.

I parametri devono essere passati tutti come argomento all'interno del file PBS, alla riga corrispondente l'esecuzione del programma, nel seguente ordine:

1. ID processo stampa;
2. Strategia da utilizzare;
3. Numero di valori da sommare N;
4. Eventuali valori da sommare se N<=20;

Per comprendere meglio dove inserire tali parametri, la riga del file PBS è la seguente:

/usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile $PBS_NODEFILE -n $NCPU $PBS_O_WORKDIR/out <ID> <Strategia> <N> <Val1>…<Valn>

3.2 Restrizioni

I parametri devono rispettare determinate restizioni/costrizioni:

- L'ID del processo deve rientrare nell'intervallo compreso tra -1 e il rank del processo più alto. Ad esempio, se ci sono 8 processi, l'ID deve essere compreso tra -1 e 7.

- La strategia deve essere compresa fra 1 e 3. Come descritto in precedenza, nel caso in cui il l'utente indica la 2 o la 3 stategia ma esse non sono applicabili il sistema applica autonomamente la 1 stategia.

- Il numero di valori da sommare passati deve combaciare con il numero N indicato. Nel caso N fosse > 20 e vengono indicati valori da sommare il programma andrà in errore. Nel caso in cui N<=20 e il numero di valori da sommare è diverso da N il programma andrà in errore.

Vengono inoltre eseguiti controlli su tutti i valori passati come parametri, e in caso di qualsiasi violazione di queste restrizioni, il programma genererà un messaggio a video indicando l'errore corrispondente.

3.3 Output

Vediamo ora alcuni esempi di output che possiamo aspettarci in caso di determinati input di esempio. Esempi mostrati con due processori. Ordine input come indicato in precedenza: <ID>, <Strategia>, <N>, <Val1>,…,<Valn>

- INPUT: 0 1 6 2 3 2 3 3 4
- OUTPUT: "Somma calcolata da 0 è: 17.000000"

- INPUT: -1 1 6 8 3 3 5 5 4
- OUTPUT: "Somma calcolata da 1 è: 28.000000" "Somma calcolata da 0 è: 28. 000000"

- INPUT: -1 1 6 8 3 2 7 7
- OUTPUT: “ERRORE. VALORE N INDICATO NON CORRISPONDENTE AI PARAMETRI PASSATI IN INPUT”

- INPUT: -1 3 21
- OUTPUT: “Somma calcolata da 0 è: 98.400000” “Somma calcolata da 1 è: 98.400000” (L’output potrebbe variare in quanto con 21 numeri i valori da sommare sono generati casualmente)

- INPUT: 1 1 6 1 2 3 4 5 6
- OUTPUT: “Somma calcolata da 1 è: 21.000000”

Tutti gli output verranno stampati all’interno del file “*output.out*” mentre eventuali errori relativi a compilazione o esecuzione verranno stampati nel file “*error.err*” (non sono incusi i messaggi di violazione delle restrizioni degli input che sono invece presenti nel file “*output.out*”).

4 Descrizione delle routine

4.1 Routine della libreria MPI

Il software descritto, si avvale dell'ausilio di alcune routine della libreria MPI per il calcolo parallelo.

Di seguito, per ognuna di esse si fornisce il prototipo utilizzato nel programma
e la descrizione dei relativi parametri di input e di output.

4.1.2 Routine – MPI_Send

La funzione MPI_send viene utilizzata per inviare dati da un processo a un altro processo all'interno dell'ambiente MPI.

Si occupa di bloccare il mittente fino a quando il messaggio è stato accettato dal processo destinatatio. Il processo destinatario può ricevere il messaggio utilizzando la funzione MPI_Recv. La sua firma è :

int MPI_Send(const void *buf, int count, MPI_Datatype datatype, int dest, int tag, MPI_Comm comm)

In cui :

- buf : indirizzo iniziale del buffer di invio;
- count : numero di elementi da inviare dal buffer;
- datatype : tipo di ogni dato del buffer da inviare ;
- dest : tag del messaggio;
- comm : Communicator che specifica il gruppo di processi coinvolti nella comunicazione.

4.1.3 Routine – MPI_Recv

La funzione MPI_Recv viene utilizzata per ricevere dati da un processo mittente a all'interno dell'ambiente MPI.

Si occupa il processo ricevente fino a quando il messaggio è stato ricevuto dal processo mittente. La sua firma è :

int MPI_Recv(void *buf, int count, MPI_Datatype datatype, int source, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Status *status)

In cui :

- count : massimo numero di elementi da ricevere nel buffer;
- datatype : tipo di ogni dato da ricevere nel buffer
- source : rank della sorgente
- tag : target del messaggio
- comm : communicator
- buf : indirizzo iniziale del buffer di ricezione (parametro di output)
- status : oggetto status (parametro di output)

4.1.4 Routine – MPI_Comm_rank

La funzione MPI_Comm_rank viene utilizzata per ottenere il proprio rank o indentificatore all'interno di un comunicatore specifico. Il "rank" è un numero univoco assegnato a ciascun processo all'interno del comunicatore, che serve a identificare univocamente ciascun processo all'interno del gruppo. La firma è :

int MPI_Comm_rank(MPI_Comm comm, int *rank)

In cui :

- comm : Communicator
- rank : Rank del processo chimante nel gruppo comm (parametro di output)

4.1.5 Routine – MPI_Comm_size

La funzione MPI_Comm_size viene utilizzata per ottenere il numero totale di processi all'interno di un comunicatore specifico. Questo comunicatore rappresenta un gruppo di processi che possono comunicare tra loro. La firma è:

int MPI_Comm_size(MPI_Comm comm, int *size)

In cui:

- comm : Communicator
- size : numero di processi nel gruppo comm (parametri di output)

4.1.6 Routine – MPI_Reduce

La funzione MPI_Reduce si occupa di ridurre i dati distribuiti tra processi, tale funzione nello specifico aggrega i dati da tutti i processi coinvolti in una singola operazione e restituisce un risultato al processo specificato come destinazione della riduzione. La firma è:

int MPI_Reduce(const void *sendbuf, void *recvbuf, int count, MPI_Datatype datatype, MPI_Op op, int root, MPI_Comm comm)

In cui :

- sendbuf: Indirizzo del buffer di invio
- count: Numero di elementi del buffer da inviare
- datatype: Tipo di dato degli elementi nel buffer
- op: Operazione di riduzione
- root: Rank del processo che deve ricevere il dato
- comm: Communicator
- recvbuf: Indirizzo del buffer di ricezione (parametro di output)

4.1.7 Routine – MPI_Init

La funzione MPI_Init consente a processi separati di comunicare tra loro in un ambiente di calcolo distribuito o parallelo. In particolare tale funzione è utilizzata per inizializzare l'ambiente MPI prima di iniziare a utilizzare altre funzioni MPI. La firma è:

int MPI_Init(int *argc, char ***argv)

In cui:

- argc : puntatore al numero di argomenti
- argv : puntatore al vettore degli argomenti

4.1.8 Routine – MPI_Finalize

La funzione MPI_Finalize consente a processi separati di comunicare tra loro in un ambiente di calcolo distribuito o parallelo. È importante chiamare la funzione alla fine di ogni programma MPI per garantire che l'ambiente MPI sia pulito prima dell'uscita. La firma è :

int MPI_Finalize(void)

4.1.9 Routine – MPI_Wtime

La funzione MPI_Wtime è utilizzata per calcolare il tempo trascorso tra due èunti del codice e valutare le prestazioni di un sistema parallelo. In particolare questa funzione restituisce il tempo trascorso in secondi dalla "mezzanotte" fino al momento della chiamata. La firma è:

double MPI_Wtime(void)

4.1.10 Routine – MPI_Abort

La funzione MPI_Abort viene utilizzata per interrompere l'esecuzione del programma stesso. Essa è utile in situazioni in cui si verifica un errore grave o una condizione eccezionale che richede l'interruzione immediata del sistema parallelo. La firma è:

int MPI_Abort(MPI_Comm comm, int errorcode)

In cui:

- Comm : Communicator del task da abortire
- Errorcode : codice di errore

4.1.11 Routine – fmod

La funzione MPI_fmod viene utilizzata per calcolare il resto della divisione tra due numeri in virgola mobile ("double"). La firma è:

double fmod(double x, double y)

In cui :

- x : Valore floating point al numeratore della divisione
- y : Valore floating point al denominatore della divisione

4.1.12 Routine – pow

Questa funione restituisce la base elevata a potenza dell'esponente. La firma è

double pow (double base, double exponent)

In cui:

- Base: valore della base

- Exponent: valore dell'esponente

4.1.13 Routine - malloc

La funzione alloca un blocco di memoria, restituendo un puntatore all'inizio del blocco. Il contenuto del blocco di memoria appena allocato non viene inizializzato e rimane con valori indeterminati. In caso di successo, viene restituito un puntatore al blocco di memoria allocato dalla funzione.

Il tipo di questo puntatore è sempre void*, che attraverso il casting può diventare del tipo desiderato per essere dereferenziabile.
Se la funzione non è riuscita ad allocare il blocco di memoria richiesto, viene restituito un puntatore nullo. La firma è:

void* malloc (size_t size)

In cui:

- size: Dimensione del blocco di memoria, in byte.

4.1.14 Routine – atof

Analizza la stringa C str, interpretando il suo contenuto come un numero in virgola mobile e restituendo il suo valore come un doppio.

La funzione scarta innanzitutto tutti i caratteri di spazio bianco (come in isspace) necessari fino a trovare il primo carattere non di spazio bianco. Poi, a partire da questo carattere, prende il maggior numero possibile di caratteri validi, seguendo una sintassi simile a quella dei letterali in virgola, e li interpreta come un valore numerico. Il resto della stringa dopo l'ultimo carattere valido viene ignorato e non ha alcun effetto sul comportamento di questa funzione. La firma è:

double atof (const char* str)

In cui:

- str: stringa C che inizia con la rappresentazione di un numero in virgola mobile.

4.1.15 Routine – srand

Il generatore di numeri pseudocasuali viene inizializzato utilizzando l'argomento passato come seed.

Per ogni diverso valore di seme utilizzato in una chiamata a srand, si può prevedere che il generatore di numeri pseudocasuali generi una diversa successione di risultati nelle successive chiamate a rand.

Due inizializzazioni diverse con lo stesso seed genereranno la stessa successione di risultati nelle chiamate successive a rand.

Se il seed è impostato a 1, il generatore viene reinizializzato al suo valore iniziale e produce gli stessi valori di prima di qualsiasi chiamata a rand o srand.
Per generare numeri simili a quelli casuali, srand viene solitamente inizializzato a un valore caratteristico del tempo di esecuzione, come il valore restituito dalla funzione time (dichiarato nell'intestazione <ctime>). Questo valore è abbastanza distintivo per la maggior parte delle esigenze di randomizzazione banali. La firma è:

void srand (unsigned int seed)

In cui:

- seed: un valore intero da utilizzare come seme per l'algoritmo del generatore di numeri pseudocasuali

4.1.16 Routine – rand

Restituisce un numero intero pseudocasuale nell'intervallo compreso tra 0 RAND_MAX (RAND_MAX è una costante definita in <cstdlib>.).

Questo numero è generato da un algoritmo che restituisce una sequenza di numeri apparentemente non correlati ogni volta che viene chiamato. Questo algoritmo utilizza un seed per generare la serie, che deve essere inizializzato a un valore distintivo utilizzando la funzione srand. La firma è:

int rand (void)

4.1.17 Routine – atoi

Analizza la stringa C interpretando il suo contenuto come un numero intero, che viene restituito come valore di tipo int.

La funzione scarta innanzitutto tutti i caratteri di spazio bianco (come in isspace) necessari fino a trovare il primo carattere non di spazio bianco. Quindi, a partire da questo carattere, prende un segno iniziale opzionale più o meno seguito dal maggior numero possibile di cifre in base 10 e le interpreta come un valore numerico. La firma è:

int atoi (const char * str)

In cui:

- str: stringa C che inizia con la rappresentazione di un numero integrale.

4.2 Subroutine personali

4.2.2 Subroutine – check_pointer

La routine verifica che gli argomenti passati nel vettore "*argv*" rispettino tutte le restizioni imposte nel capitolo 2. Nel caso in cui venga individuata una violazione di una qualsiasi delle restrizioni, la procedura stamperà un messaggio appropriato su standard output e chiamera la funzione "MPI_Abort(comm, err)" interrompendo l'esecuzione del programma. La firma è :

void check_input(int argc, char* argv[], int nproc)

In cui :

- argc : per il numero di argomenti
- argv : vettore degli argomenti
- nproc : numero di processi totale

5 Descrizione dei test

5.1 Scirpt PBS utilizzato per l'esecuzione dell'algoritmo

```
#!/bin/bash

#PBS -q studenti
#PBS -l nodes=8
#PBS -N elaborato1
#PBS -o output.out
#PBS -e error.err

NCPU=`wc -l < $PBS_NODEFILE`
echo ----------------------------------------------------
echo ' This job is allocated on '${NCPU}' cpu(s)'
echo 'Job is running on node(s): '
cat $PBS_NODEFILE
PBS_O_WORKDIR=$PBS_O_HOME/Somma
echo ----------------------------------------------------
echo PBS: qsub is running on $PBS_O_HOST
echo PBS: originating queue is $PBS_O_QUEUE
echo PBS: executing queue is $PBS_QUEUE
echo PBS: working directory is $PBS_O_WORKDIR
echo PBS: execution mode is $PBS_ENVIRONMENT
echo PBS: job identifier is $PBS_JOBID
echo PBS: job name is $PBS_JOBNAME
echo PBS: node file is $PBS_NODEFILE
echo PBS: current home directory is $PBS_O_HOME
echo PBS: PATH = $PBS_O_PATH
echo ----------------------------------------------------
echo "Eseguo/usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o $PBS_O_WORKDIR/out
$PBS_O_WORKDIR/elaborato1.c"
/usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o $PBS_O_WORKDIR/out
$PBS_O_WORKDIR/elaborato1.c
echo "Eseguo:/usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -np 8 -machinefile
$PBS_NODEFILE $PBS_O_WORKDIR/out"
/usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -np 8 -machinefile $PBS_NODEFILE
$PBS_O_WORKDIR/out 0 1 1000
```

Questo file ci permette di compilare ed eseguire il programma C denominato "elaborato1.c" che si occupa di calcolare la sonna di n numeri (reali) facendo uso di 1°, 2° e 3° strategia su un cluster di 8 nodi con un totale di 4 processi. Le uscite dell'esecuzione vengono reindirizzate ai file "output.out" ed "error.out".

Descriviamo brevemente i vari parametri presenti nel file pbs :

1. Definizione delle direttive PBS :
    - ' #PBS -q studenti ' : specifica la coda su cui verrà eseguito il job

- ‘ #PBS -l nodes=8 ‘ : richiede l’allocazione di 8 nodi

- ‘ #PBS -N elaborato1 ‘ : assegna un nome al job, in questo caso “elaborato1”.

- ‘ #PBS -o output.out ‘ e ‘ #PBS -e error.err ‘ : specifica i file in cui verranno indirizzati i messaggi di output e gli errori

2. Calcolo del numero di CPU

    - ‘ NCPU = ‘wc -l < $PBS_NODEFILE’’: utilizza il file ‘$PBS_NODEFILE’ per determinare il nomero di CPU assegnate al job

3. Visualizzazione delle infomazioni del job :

    - Il blocco seguente stampa varie informazioni sul job, tra cui il numero di CPU, i nodi assegnati e altre variabili di ambiente rilevanti

4. Impostazione della directory di lavoro

    - ‘PBS_O_WORKDIR=$PBS_O_HOME/Somma’ : imposta la directory di lavoro del job come ‘=$PBS_O_HOME/Somma’

5. Compilazione del codice C

    - ‘echo "Eseguo /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o $PBS_O_WORKDIR/out$PBS_O_WORKDIR/elaborato1.c" : stampa un messaggio relativo alla compilazione del file C ‘elaborato1.c’ utilizzando il compilatore ‘mpicc’, e il risultato verrà salvato in ‘$PBS_O_WORKDIR/out’

6. Esecuzione del programma

    - ‘usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -np 8 -machinefile $PBS_NODEFILE $PBS_O_WORKDIR/out 0 1 1000’ : stampa un messaggio relativo all’esecuzione del programma compilato con ‘mpiexece’. Il

```
programma accetta alcuni argomenti come ‘ 0
1 1000’
```

Il primo passo per eseguire e compilare il programma “elaborato1.c” è eseguire il file pbs, ciò viene fatto accedendo al cluster, posizionandoci nella cartella contenente tale file e eseguendo sul terminale il comando “*qsub elaborato1.pbs*”. Alla sua esecuzione si generano diversi file, in particolare:

1. L’secutore relativo al programma scritto in linguaggio C;

2. Un file “output.out” contenente l’output del programma. Questo output è generato dai valori dati in input nell’ultima riga del file “Elaborato1.pbs” e include informaizoni come il numero di processori paralleli utilizzati, il file eseguibile, l’ID del processo (dove -1 richiama tutti i processi), la strategia utilizzata e in fine il numero di valori da sommare;

3. Un file “error.err” contenente eventuali errori del programma. In caso di esecuzione senza errore, questo file rimarrà vuoto, come in questo caso.

5.2 Esempi d’uso

Vengono riportati alcuni esempi d’uso, partendo dall’esecuzione del file PBS fino a mostrare l’output del programma.

5.2.2 Esempi 1

Tenendo conto del file “Elaborato1.pbs” , definito nel paragrago 5.1, abbaimo un primo esempio d’output del programma, dove diamo in input :

1. Id : 0
2. Strategia : 1
3. N (numeri da sommare) : 100

L’output del programma è il seguente :

```
STRATEGIA UTILIZZATA PER LA SOMMA: 1
Somma calcolata da 0 è 463.802320
Tempo massimo 0.000077
```

Figura 1 - Output esempio 1

Dove viene visualizzato anche il tempo calcolato in quanto è stato usato l'algoritmo che preleva anche i tempi di esecuzione.

5.2.3 Esempi 2

Altro esempi, in cui usiamo :

1. Processori : 4
2. Id : -1
3. Strategia : 3
4. N (numeri da sommare) : 3
5. Valori (da sommare) : 2 1 5

Eseguiamo lo stesso file, con *qsub,* con estensione pbs solo modifichiamo l'ultima riga del codice con:

```
1. /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile
$PBS_NODEFILE -n 4 $PBS_O_WORKDIR/out -1 3  2 1 5
```

L'output prodotto in tal caso sarà:

```
STRATEGIA UTILIZZATA PER LA SOMMA: 3
Somma calcolata da 2 è 8.000000
Somma calcolata da 0 è 8.000000
Tempo massimo 0.000058
Somma calcolata da 1 è 8.000000
Somma calcolata da 3 è 8.000000
```

Figura 2 - Output esempio 2

5.2.4 Esempi 3

Altro esempi, in cui usiamo :

1. Processori : 8
2. Id : -1
3. Strategia : 2
4. N (numeri da sommare) : 1000

Eseguiamo lo stesso file, con *qsub,* con estensione pbs solo modifichiamo l'ultima riga del codice con:

```
2. /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile
$PBS_NODEFILE -n 8 $PBS_O_WORKDIR/out -1 2  1000
```

L'output prodotto in tal caso sarà:

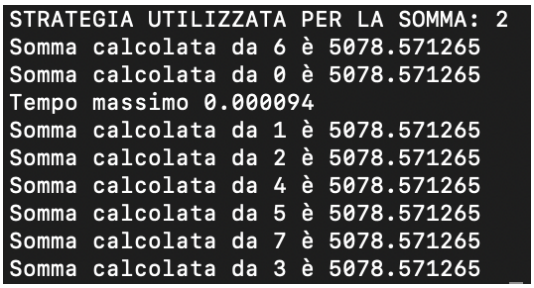


Figura 3 - Output esempio 3

5.2.5 Esempi 4

Altro esempi, in cui usiamo :

1. Processori : 5
2. Id : -1
3. Strategia : 2
4. N (numeri da sommare) : 1000

Eseguiamo lo stesso file, con *qsub,* con estensione pbs solo modifichiamo l'ultima riga del codice con:

3. /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile $PBS_NODEFILE -n 5 $PBS_O_WORKDIR/out -1 2 1000

L'output prodotto in tal caso sarà:

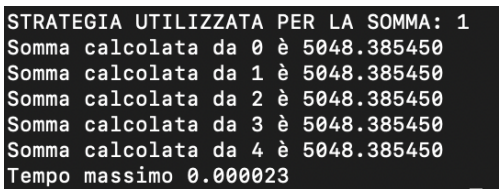


Figura 4 - Output esempio 4

Questo è un caso in cui viene in input indicata la seconda strategia dall'utente ma evidentemente tutti gli i processori sono già occupati e il sistema applica automaticamente la prima stategia per garantire che il programma possa essere eseguito senza interruzioni dovute alla mancanza di risorse.

5.2.6 Esempi 5

Altro esempi, in cui usiamo :

5. Processori : 5
6. Id : -1
7. Strategia : 3
8. N (numeri da sommare) : 3000

Eseguiamo lo stesso file, con *qsub,* con estensione pbs solo modifichiamo l'ultima riga del codice con:

4. /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile $PBS_NODEFILE -n 5 $PBS_O_WORKDIR/out -1 3 3000

L'output prodotto in tal caso sarà:

```
STRATEGIA UTILIZZATA PER LA SOMMA: 1
Somma calcolata da 0 è 15028.959708
Somma calcolata da 2 è 15028.959708
Somma calcolata da 1 è 15028.959708
Tempo massimo 0.000023
Somma calcolata da 4 è 15028.959708
Somma calcolata da 3 è 15028.959708
```

Figura 5 - Output esempio 5

Questo è un caso in cui viene in input indicata la terza strategia dall'utente ma evidentemente tutti gli i processori sono già occupati e il sistema applica automaticamente la prima stategia per garantire che il programma possa essere eseguito senza interruzioni dovute alla mancanza di risorse.

6 Analisi delle performance

In questo capitolo andremo a a valutare le prestazioni del nostro tramite i seguenti parametri : tempo d'esecuzione (T(p)), speed-up (E(p)) ed efficienza (E(p)).

È importante sottolineare che questi sono parametri utilizzati per valutare un software parallelo.

6.1 Tempo di esecuzione utilizzando un numero p>1 processori

Sia :

$$T(P): N \longrightarrow N$$

una funzione che, dato in ingresso la dimensione dell'input n ∈ N, fornisca il tempo di esecuzione (passi temporali) di un algoritmo in ambiente parallelo dotato di p processori.

Dunque, si ha che:

- T(1): tempo di esecuzione utilizzando un solo processore (equivalente al tempo di esecuzione dell'algoritmo sequenziale);
- T(2): tempo di esecuzione utilizzando 2 processori;
- T(p): tempo di esecuzione utilizzando p processori.

Generalmente, notiamo che, indicheremo tale parametro con il simbolo $\mathbf{T_p}$.

Inoltre la formula relativa a tal parametro varia se si considera la prima, la seconda o la terza strategia, infatti :

Strategia 1:

- T(p) = (n/p + p – 2) Tcalc

Strategia 2:

- T(p) = (n/p – 1 + log2(p)) Tcalc

Strategia 3:

- T(p) = (n/p – 1 + log2(p)) Tcalc

6.2 Speed – Up

Lo Speed-UP indica la riduzione del tempo di esecuzione rispetto all'utilizzo di un solo processore, utilizzando invece ***p*** processori.

In simboli:

$$S_p = \frac{T_1}{T_p} \quad \text{con} \quad T1 = (n-1)T\_calc$$

Il valore dello speed-up ideale dovrebbe essere pari al numero p dei processori,
perciò l'algoritmo parallelo risulta migliore quanto più $\boldsymbol{S_p}$ è prossimo a ***p***.

Ciò vale per la prima, seconda e terza strategia.

6.3 Efficienza

Calcolare solo lo speed-up spesso non basta per effettuare una valutazione corretta, poiché occorre "rapportare lo speed-up al numero di processori", e questo può essere effettuato valutando l'efficienza.
Siano dunque ***p*** il numero di processori ed $\boldsymbol{S_p}$ lo speed-up ad esso relativi.
Si definisce efficienza il parametro:

$$E_p = \frac{S_p}{p}$$

Essa fornisce un'indicazione di quanto sia stato usato il parallelismo nel calcolatore.
Idealmente, dovremmo avere che:

$$E_p = 1$$

e quindi l'algoritmo parallelo risulta migliore quanto più Ep è vicina ad 1.
Ciò vale per la prima, seconda e terza strategia.

6.4 Analisi preliminare dei tempi

6.4.1 Analisi preliminare strategia 1

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	30	29 Tcalc	1,0	1,0
2	30	15 Tcalc	1,94	0,97
4	30	9,5 Tcalc	3,05	0,76
8	30	9,75 Tcalc	2,97	0,371

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	800.000	799999 Tcalc	1	1
2	800.000	400000 Tcalc	1,9999975	0,99999875
4	800.000	200002 Tcalc	3,999955	0,99998875
8	800.000	100006 Tcalc	7,99951003	0,99993875

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	80.000.000	79999999 Tcalc	1	1
2	80.000.000	40000000 Tcalc	1,99999998	0,99999999
4	80.000.000	20000002 Tcalc	3,99999955	0,99999989
8	80.000.000	10000006 Tcalc	7,9999951	0,99999939

6.4.2 Analisi preliminare strategia 2 e 3

Vengono considerate entrambe le strategie in quanto le formule sono le stesse.

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	30	29 Tcalc	1,0	1,0
2	30	14,3 Tcalc	2,03	1,015
4	30	7,10 Tcalc	4,08	1,02
8	30	3,65 Tcalc	7,94	0,9925

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	800.000	799999 Tcalc	1	1
2	800.000	400000 Tcalc	1,9999975	0,99999875
4	800.000	200001 Tcalc	3,999975	0,99999375
8	800.000	100002 Tcalc	7,99983	0,99997875

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	80.000.000	79999999 Tcalc	1	1
2	80.000.000	40000000 Tcalc	1,99999998	0,99999999
4	80.000.000	20000001 Tcalc	3,99999975	0,99999994
8	80.000.000	10000002 Tcalc	7,9999983	0,99999979

6.4 Analisi tempo reale algoritmo

Di seguito, mostreremo i gragici dei tempi di esecuzione media al variare del numero di processi (p), considerando solo input di dimensioni significativi (non input piccoli come 100 in quanto in quel caso il tempo delle comunicazioni è molto maggiore rispetto ai tempi delle somme, di conseguenza il tempo calcolato andrebbe a dipendere di molto dal tempo delle comunicazioni. Di conseguenza otterremo che all'aumentare del numero p il tempo aumenterebbe).

I gradici sono basati su dieci misurazioni di tempo e rappresentano la media di tali tempi per ciascun valore di p, dove p può essere 1, 2, 4, o 8.

L'obiettivo è visualizzare come i tempi di esecuzione cambiano al variare del numero di processi utilizzati.

6.4.1 Strategia 1

Viene analizzato il tempo di esecuzione dell'algoritmo utilizzando la strategia 1 :

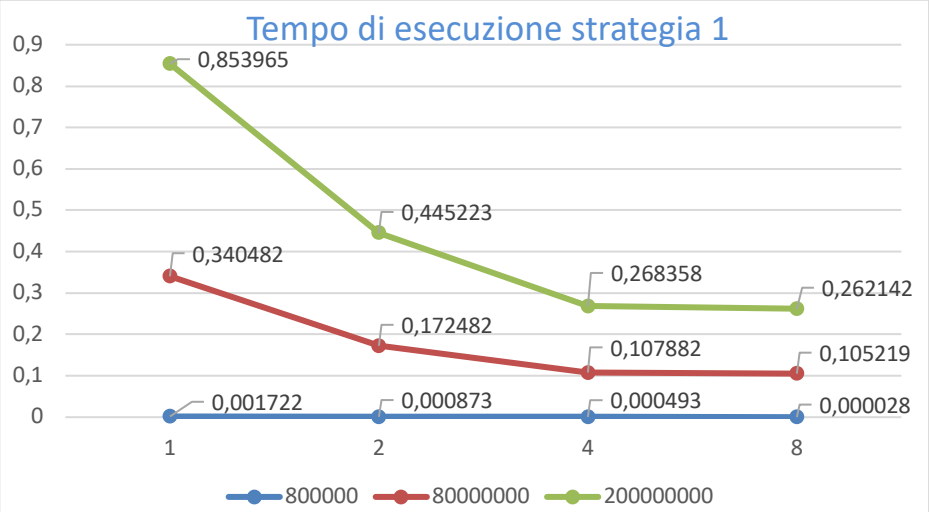
p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	800.000	0,001722 s	1	1
2	800.000	0,000873 s	1,97250859	0,9862543
4	800.000	0,000493 s	3,49290061	0,87322515
8	800.000	0,000028 s	61,5	7,6875

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	80.000.000	0,340482 s	1	1
2	80.000.000	0,172482 s	1,97401468	0,98700734
4	80.000.000	0,107882 s	3,1560594	0,78901485
8	80.000.000	0,105219 s	3,23593648	0,40449206

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	200.000.000	0,853965 s	1	1
2	200.000.000	0,445223 s	1,91806129	0,95903064
4	200.000.000	0,268358 s	3,18218574	0,79554643
8	200.000.000	0,262142 s	3,2576428	0,40720535

In tutte e tre le configurazione, l'uso di più processi porta a notevoli miglioramenti delle prestazioni, ma l'efficienza può diminuire quandi si usano un numero molto elevato di processori.

Rappresentiamo i seguenti dati su un piano cartesiano in cui sulll'asse orizzontale rappresentiamo il numero dei processori (1, 2, 4, 8) mentre sull'asse verticale il tempo d'esecuzione dell'algoritmo T(p) :



Dal grafico si evince che con 1 processore, all'aumentare di N otteniamo un numero significativo dei tempi. Man mano che ci avviciniamo a 8 processori, il tempo tende a convergere verso un valore basso. Questo suggerisce che l'uso di più processori può accelerare notevolmente l'esecuzione del programma, specialmente per problemi di dimensione più grandi.

Tuttavia, è importante notare che per input di dimensioni molto piccole (come N=100), i tempi di comunicazione tra i processi possono avere un impatto significativo sui tempi totale, portando a risultati non lineari. Pertanto, per tali input, l'aumento del numero di processori potrebbe non comportare un miglioramento significativo delle prestazioni.

6.4.2 Strategia 2

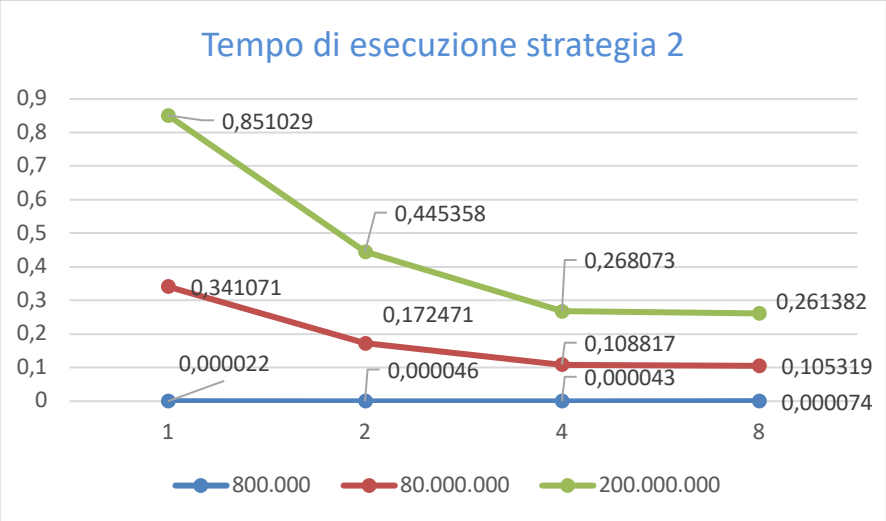
Viene analizzato il tempo di esecuzione dell'algoritmo utilizzando la strategia 2 :

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	800.000	0,000022 s	1	1
2	800.000	0,000046 s	1,97250859	0,9862543
4	800.000	0,000043 s	3,49290061	0,87322515
8	800.000	0.000074 s	61,5	7,6875

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	80.000.000	0,341071 s	1	1
2	80.000.000	0,172471 s	1,97401468	0,98700734
4	80.000.000	0,108817 s	3,1560594	0,78901485
8	80.000.000	0,105319 s	3,23593648	0,40449206

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	200.000.000	0,851029 s	1	1
2	200.000.000	0,445358 s	1,91806129	0,95903064
4	200.000.000	0,268073 s	3,18218574	0,79554643
8	200.000.000	0,261382 s	3,2576428	0,40720535

Rappresentiamo i seguenti dati su un piano cartesiano in cui sulll'asse orizzontale rappresentiamo il numero dei processori (1, 2, 4, 8) mentre sull'asse verticale il tempo d'esecuzione dell'algoritmo T(p). Dove mettiamo a confronto T(p) al cambiare dell'input N.



Si evince che l'aumento del numero di processori porta a un miglioramento significativo delle prestazioni in tutte e tre le configurazioni, con una diminuzione del tempo di esecuzione e un aumento di S(P). Tuttavia, è importante notare che l'efficienza E(P) può variare e può essere influenzata da fattori come la comunicaizone tra i processi.

6.4.3 Strategia 3

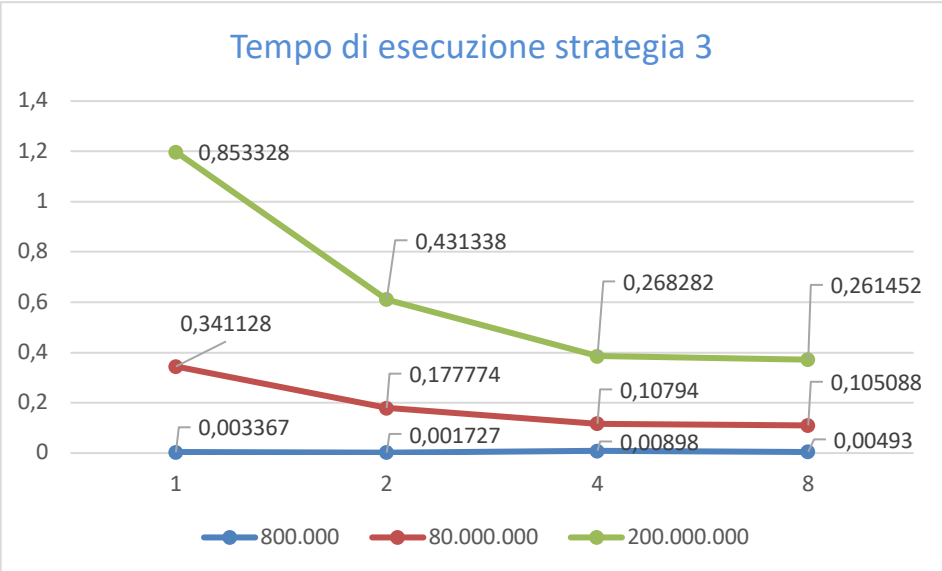
Viene analizzato il tempo di esecuzione dell'algoritmo utilizzando la strategia 3 :

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	800.000	0,003367	1	1
2	800.000	0,001727	1,949623625	0,974811812
4	800.000	0,00898	0,374944321	0,09373608
8	800.000	0,00493	0,68296146	0,085370183

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	80.000.000	0,341128	1	1
2	80.000.000	0,177774	1,918885776	0,959442888
4	80.000.000	0,10794	3,160348342	0,790087085
8	80.000.000	0,105088	3,24611754	0,405764692

p	n	T(p)	S(p)	E(p)
1	200.000.000	0,853328	1	1
2	200.000.000	0,431338	1,978327901	0,98916395
4	200.000.000	0,268282	3,180712832	0,795178208
8	200.000.000	0,261452	3,26380368	0,40797546

Rappresentiamo i seguenti dati su un piano cartesiano in cui sulll'asse orizzontale rappresentiamo il numero dei processori (1, 2, 4, 8) mentre sull'asse verticale il tempo d'esecuzione dell'algoritmo T(p). Dove mettiamo a confronto T(p) al cambiare dell'input N.



Possiamo notare che in tutte e tre le configurazioni, l'aumento del numero di processori da 1 a 2 porta a un notevole miglioramente delle prestazioni. Tuttavia, l'aumento ulteriore a 4 o 8 processori, può portare a un aumento dei costi dovuti all'overhead di gestione dei processi, che può superare i benefici dell'elaborazione parallela.

7 Codice Sorgente

```
 1. #include <stdio.h>
 2. #include <stdlib.h>
 3. #include <math.h>
 4. #include "mpi.h"
 5. #include <time.h>
 6.
 7. /*Algoritmo per il calcolo della somma di N numeri reali,
 8. in ambiente di calcolo parallelo su architettura MIMD a memoria
distribuita*/
 9.
10. /*-------------------------------------------------------------
11. I parametri in input vanno inseriti in questo ordine:
12.    1. Numero strategia da utilizzare
13.    2. Numero di valori totali in input N
14.    3. Se N<=20 inserire i valori da sommare, altrimenti inserire solo i 3
parametri precedenti
15. -------------------------------------------------------------*/
16.
17.
18. void check_input(int argc, char *argv[], int nproc);
19.
20. int main(int argc, char *argv[]) {
21.     MPI_Init(&argc, &argv);
22.
23.     int menum, nproc, n, nloc, tag, i, rest, strategia, id, start, tmp,
id_tot_sum;
24.     double *x;
25.     double *xloc;
26.     double t0, t1, timep, timetot, sum_parz, sum = 0.0;
27.     MPI_Status status;
28.
29.     MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &menum); // Prendo il rank
30.     MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &nproc); // Prendo il numero di
processi
31.
32.     // --- INIZIO DISTRIBUZIONE INPUT
33.     if (menum == 0) {
34.
35.         check_input(argc, argv, nproc); // Verifico che i parametri
rispettino le restrizioni indicate. In caso contrario MPI_Abort().
36.
37.         n = atoi(argv[3]); // Assegno il numero di valori alla variabile
n
38.         x = (double *)malloc(n * sizeof(double)); // Alloco l'array x
39.
40.         // --- ASSEGNO VALORI IN ARRAY x A SECONDA DEL NUMERO DI DATI
CONSIDERATI
41.         if (n > 20) {
42.             srand(time(NULL));
43.             for (i = 0; i < n; i++)
44.                 x[i] = ((double)rand() * 10.0) / (double)RAND_MAX; //
Genero un double random compreso tra 0 e 10
45.         } else {
46.             for (i = 0; i < n; i++)
47.                 x[i] = atof(argv[i + 4]); // Assegno i valori passati
come argomento ad x
48.         }
49.
```

```
50.         id = atoi(argv[1]); // Assegno rank processo che dovrà stampare
il risultato
51.         strategia = atoi(argv[2]); // Assegno la strategia da utilizzare
52.
53.         if (strategia != 1 && (nproc & (nproc - 1)) != 0) // SE LA
STRATEGIA E' DIVERSA DA 1 E "nproc" NON E' UNA POTENZA DI 2 ALLORA FORZO
STRATEGIA A 1
54.             strategia = 1;
55.         printf("STRATEGIA UTILIZZATA PER LA SOMMA: %d\n", strategia); //
STAMPO STRATEGIA UTILIZZATA (STAMPA SOLO PROCESSO RANK 0)
56.
57.         // --- FINE ASSEGNAZIONE
58.
59.         for (i = 1; i < nproc; i++) {
60.             tag = 10 + i;
61.             MPI_Send(&n, 1, MPI_INT, i, tag, MPI_COMM_WORLD); // INVIO
VALORE n AI PROCESSI DIVERSI DA 0
62.             tag = 11 + i;
63.             MPI_Send(&strategia, 1, MPI_INT, i, tag, MPI_COMM_WORLD); //
INVIO STRATEGIA AI PROCESSI DIVERSI DA 0
64.             tag = 12 + i;
65.             MPI_Send(&id, 1, MPI_INT, i, tag, MPI_COMM_WORLD); // INVIO
ID PROCESSO CHE DEVE STAMPARE AI PROCESSI DIVERSI DA 0
66.         }
67.     } else {
68.         tag = 10 + menum;
69.         MPI_Recv(&n, 1, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD, &status); //
RICEZIONE VALORE n DA PROCESSO 0
70.         tag = 11 + menum;
71.         MPI_Recv(&strategia, 1, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD,
&status); // RICEZIONE STRATEGIA DA PROCESSO 0
72.         tag = 12 + menum;
73.         MPI_Recv(&id, 1, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD, &status); //
RICEZIONE ID PROCESSO STAMPA DA PROCESSO 0
74.     }
75.     // --- INIZIO DISTRIBUZIONE INPUT
76.
77.     nloc = n / nproc; // Calcolo n locale
78.     rest = n % nproc; // calcolo eventuale resto divisione
79.     if (menum < rest) nloc = nloc + 1; // fix n locale
80.     xloc = (double *)malloc(nloc * sizeof(double)); // Alloco array xloc
per quanti valori il processo i-esimo ne ha bisogno (nloc)
81.
82.     // --- INIZIO DISTRIBUZIONE VALORI DA SOMMARE AI VARI PROCESSI
83.     if (menum == 0) {
84.         xloc = x;
85.         tmp = nloc;
86.         start = 0;
87.         for (i = 1; i < nproc; i++) {
88.             start = start + tmp;
89.             tag = 22 + i;
90.             if (i == rest) tmp = tmp - 1;
91.             MPI_Send(&x[start], tmp, MPI_DOUBLE, i, tag, MPI_COMM_WORLD);
92.         }
93.     } else {
94.         tag = 22 + menum;
95.         MPI_Recv(xloc, nloc, MPI_DOUBLE, 0, tag, MPI_COMM_WORLD,
&status);
96.     }
97.     // --- FINE DISTRIBUZIONE VALORI DA SOMMARE
98.
99.     MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD); // BARRIERA PER CALCOLARE POI I TEMPI
```

```
100.      t0 = MPI_Wtime(); // Prendo il primo tempo
101.
102.      // --- INIZIO CALCOLO SOMMA LOCALE
103.      for (i = 0; i < nloc; i++) {
104.          sum = sum + xloc[i];
105.      }
106.      // --- FINE CALCOLO SOMMA LOCALE
107.
108.      // --- INIZIO PRIMA STRATEGIA
109.      if (strategia == 1) {
110.          id_tot_sum = id;
111.          if (id_tot_sum == -1) id_tot_sum = 0; // Se devono stampare
tutti, rank 0 avrà la somma totale
112.          if (menum == id_tot_sum) {
113.              for (i = 0; i < nproc; i++) {
114.                  if (menum != i) { // ricevo solo dai processi diversi da
me stesso
115.                      tag = 80 + i;
116.                      MPI_Recv(&sum_parz, 1, MPI_DOUBLE, i, tag,
MPI_COMM_WORLD, &status); // Ricevo dal processo i
117.                      sum = sum + sum_parz; // Aggiungo la somma parziale
inviatami alla mia somma parziale
118.                  }
119.              }
120.          } else {
121.              tag = 80 + menum;
122.              MPI_Send(&sum, 1, MPI_DOUBLE, id_tot_sum, tag,
MPI_COMM_WORLD); // Invio sum al processo che dovrà stampare alla fine (se -1
invio a 0)
123.          }
124.      }
125.      // --- FINE PRIMA STRATEGIA
126.      // --- INIZIO SECONDA STRATEGIA (STRATEGIA COSTRUITA IN MANIERA TALE
CHE L'ALBERO RUOTI NEL CASO IN CUI DEBBANO STAMPARE
127.      //                                 PROCESSI DIVERSI DA 0)
128.      else if (strategia == 2) {
129.          int recv, send;
130.          id_tot_sum = id;
131.          if (id_tot_sum == -1) id_tot_sum = 0; // Se devono stampare
tutti, rank 0 avrà la somma totale
132.          for (i = 0; i < (log10(nproc) / log10(2)); i++) {
133.              if (fmod((menum - id_tot_sum + nproc) % nproc, (pow(2, i)))
== 0) { // chi partecipa (rotazione data dal primo membro di fmod)
134.                  if (fmod((menum - id_tot_sum + nproc) % nproc, (pow(2, i
+ 1))) == 0) { // decido chi deve ricevere e chi inviare
135.                      tag = menum;
136.                      recv = (int)(menum + pow(2, i)) % nproc; // da chi
ricevo la somma parziale
137.                      MPI_Recv(&sum_parz, 1, MPI_DOUBLE, recv, tag,
MPI_COMM_WORLD, &status);
138.                      sum = sum + sum_parz;
139.                  } else {
140.                      send = (((int)(menum - pow(2, i)) % nproc) + nproc) %
nproc; // a chi invio la somma parziale (formula modulo non negativo)
141.                      tag = send;
142.                      MPI_Send(&sum, 1, MPI_DOUBLE, send, tag,
MPI_COMM_WORLD);
143.                  }
144.              }
145.          }
146.      }
147.      // --- FINE SECONDA STRATEGIA
```

```
148.     // --- INIZIO TERZA STRATEGIA. Send e Recv sono invertite negli if
per evitare Dead Lock.
149.     // I processi nell'else non fanno nessuna somma ma aggiornano solo il
proprio "sum" col valore prelevato dalla Recv
150.     else if (strategia == 3) {
151.         for (i = 0; i < (log10(nproc) / log10(2)); i++) {
152.             if (fmod(menum, (pow(2, i + 1))) < pow(2, i)) {
153.                 tag = menum;
154.                 MPI_Recv(&sum_parz, 1, MPI_DOUBLE, menum + pow(2, i),
tag, MPI_COMM_WORLD, &status);
155.                 tag = menum + pow(2, i);
156.                 MPI_Send(&sum, 1, MPI_DOUBLE, menum + pow(2, i), tag,
MPI_COMM_WORLD);
157.             } else {
158.                 tag = menum - pow(2, i);
159.                 MPI_Send(&sum, 1, MPI_DOUBLE, menum - pow(2, i), tag,
MPI_COMM_WORLD);
160.                 tag = menum;
161.                 MPI_Recv(&sum_parz, 1, MPI_DOUBLE, menum - pow(2, i),
tag, MPI_COMM_WORLD, &status);
162.             }
163.             sum = sum + sum_parz; // Ogni processo fa la somma col valore
sum_parz che ha ricevuto dall'apposito processo
164.         }
165.     }
166.     // --- FINE TERZA STRATEGIA
167.
168.     t1 = MPI_Wtime(); // Prendo il secondo tempo
169.     timep = t1 - t0; // Calcolo la differenza per capire il tempo
impiegato dal singolo processo
170.     MPI_Reduce(&timep, &timetot, 1, MPI_DOUBLE, MPI_MAX, 0,
MPI_COMM_WORLD); // Calcolo il tempo massimo e lo pongo in "timetot" al
processo 0
171.
172.     // --- INIZIO STAMPA RISULTATI
173.     if (id == -1) {
174.         if (strategia != 3)
175.             MPI_Bcast(&sum, 1, MPI_DOUBLE, 0, MPI_COMM_WORLD); // Invio
in broadcast da 0 la somma a tutti (quando id = -1 la somma totale la ha solo
rank 0 per convenzione)
176.
177.         printf("Somma calcolata da %d è %lf\n", menum, sum); // stampano
tutti i processi la somma totale
178.     } else if (menum == id) {
179.         printf("Somma calcolata da %d è %lf\n", menum, sum); // stampa
solo il processo "id" che avrà la somma totale
180.     }
181.     // --- FINE STAMPA RISULTATI
182.
183.     if (menum == 0) {
184.         printf("Tempo massimo %lf\n", timetot); // Stampo tempo massimo
di somma + strategia adottata
185.     }
186.
187.     MPI_Finalize();
188.     return 0;
189. }
190.
191. void check_input(int argc, char *argv[], int nproc) {
192.     if (argc < 4) {
193.         printf("INSERIRE ALMENO 3 ARGOMENTI:\n1. ID processo stampa\n2.
Strategia da utilizzare\n3. Numero di dati in input\n");
```

```
194.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 1);
195.      }
196.      if (atoi(argv[1]) >= nproc) {
197.          printf("NUMERO PROCESSO NON VALIDO!!! INSERIRE UN VALORE COMPRESO
TRA -1 e %d\n", nproc - 1);
198.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 2);
199.      }
200.      if (atoi(argv[2]) < 1 || atoi(argv[2]) > 3) {
201.          printf("NUMERO STRATEGIA NON VALIDO!!! INSERIRE VALORE COMPRESO
TRA 1 E 3\n");
202.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 3);
203.      }
204.      if (atoi(argv[3]) <= 0) {
205.          printf("NUMERO DATI INPUT NON VALIDO!!! INSERIRE UN VALORE NON
NEGATIVO\n");
206.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 4);
207.      }
208.      if (atoi(argv[3]) > 20 && argc > 4) {
209.          printf("INSERITI DATI IN INPUT CON VALORE N MAGGIORE DI 20. NON
INSERIRE NESSUN DATO IN INPUT\n");
210.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 5);
211.      }
212.      if ((atoi(argv[3]) > 0 && atoi(argv[3]) <= 20) && argc - 4 !=
atoi(argv[3])) {
213.          printf("NUMERO DI DATI IN INPUT NON CORRETTO CON IL VALORE
INDICATO N\n");
214.          MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 6);
215.      }
216. }
217.
218.
```