Università degli Studi di Napoli
"Parthenope"

Corso di Calcolo Parallelo e Distribuito

Progetto Matrice per Vettore

III Strategia

Giovanni Di Cecca
Matr. 108/1569

Indice

Definizione ed analisi del problema

Scopo: il software che si analizzerà di seguito ha lo scopo di effettuare il prodotto Matrice per Vettore usando un'architettura di tipo MIMD distribuendo il calcolo a $p \times q$ processi disposto secondo una griglia a topologia bidimensionale.

Una volta stabilito il numero di righe e di colonne che deve avere la nostra matrice, il programma genera dei numeri casuali che riempiono la matrice ed il vettore.

A seconda del numero di processori impiegato è possibile spezzare la matrice e redistribuire i blocchi di calcolo ai vari processori che effettuano i calcoli parziali ed infine totali.

Il programma contiene al suo interno le routines per calcolare lo speedup e l'efficienza dell'algoritmo

Per risolvere il problema, è stata usata l'infrastruttura del Message Passing Interface.

Descrizione dell'Algoritmo

Introduzione

La strategia usata per risolvere il calcolo del prodotto Matrice Vettore è quella di distribuire una matrice $A \in \Re^{m \times n}$ scorporandola in $p \times q$ processi su di una topologia di griglia bidimensionale.

Vediamo ora nel dettaglio le varie parti in gioco dell'algoritmo.

Per meglio gestire il problema il programma è stato scisso in due file: uno che contiene le routines del calcolo in senso stretto, ed un altro di funzioni ausiliarie

- decomposizione della matrice di input in blocchi di dimensione prefissata
- decomposizione del vettore di input
- assegnazione delle sottomatrici e dei sottovettori a ciascun processore situato lungo la griglia bidimensionale
- ciascun processore della griglia calcola parte del risultato
- scambio dei risultati parziali tra i processori che, dopo aver eseguito le opportune operazioni, ottengono il risultato finale

Descrizione dell'Algoritmo

L'algoritmo può essere suddiviso in cinque parti principali:

- Inizializzazione dell'ambiente di calcolo
- Inserimento dei dati
- Distribuzione dei dati
- Calcolo del prodotto mat vet parziale e totale
- Calcolo dei tempi

Per poter meglio analizzare le performances dell'algoritmo al suo interno è stato inserito il sistema di controllo del tempo.

Analizzeremo nel dettaglio le parti indicate

- **Inizializzazione dell'ambiente di calcolo**

```
// Dichiarazione di variabili
int menum, nproc;

//numero di righe e numero di colonne della matrice
int n_righe, n_colonne;

// offset_r=0   et   offset_c=0 determinazione del blocco delle righe e delle colonne da spedire
int offset_r=0, offset_c=0, dim_prod_par;

int N, Righe_Blocco, Colonne_Blocco, resto, i, j, k, tag;

// p=processori che si intendono usare per calcolare il prodotto righe x colonne
//  q=il  numero  di  righe  x  colonne  calcolato  dai  processori  p  inseriti precedentemente
int p, q;

int falg=0; //flag di controllo

float *A, *x, *y, *sub_x, *sub_y, *prod_par, *Blocco; // variabili puntatore
// *A = matrice
// *x = vettore
// *y = numero di colonne allocate dai processori
// *sub_x et *sub_y = sotto vettori x ed y
// *prod_par = prodotto parziale
// *Blocco = allocazione del blocco dati su tutti i processori

//variabili usate per rilevare le prestazioni dell'algoritmo
double t_inizio, t_fine, T1, Tp=0.F, speedup, Ep;

MPI_Status info;
```

```
// Comunicatori di griglia
MPI_Comm griglia, grigliar, grigliac;

int coordinate[2];
int dim_Blocco[2];
dim_Blocco[0]=0;
dim_Blocco[1]=0;

//Inizializzazione dell'ambiente MPI
MPI_Init(&argc, &argv);
MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &menum);
MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &nproc);
```

- **Inserimento dei dati**

Il processore P0, dopo aver inizializzato il vettore dinamicamente ed effettuato il broadcast alla rete viene effettuato l'inserimento dei dati con il metodo di generazione casuale Random, mediante la seguente funzione:

```
// Procedura di inserimento dati
while(falg==0)
{
      printf("\nInserire il numero di righe della matrice:");
      fflush(stdin); // pulisce lo standard input
      scanf("%d", &n_righe);

      printf("\nInserire il numero di colonne della matrice:");
      fflush(stdin);
      scanf("%d", &n_colonne);

      if(n_righe*n_colonne<nproc)
         printf("ERRORE: Il numero di elementi risulta inferiore al numero di
processori!\n");

       else if(primo(nproc) && n_righe<nproc && n_colonne<nproc)
            printf("ERRORE: Impossibile partizionare tale matrice per %d
processori\n", nproc);
       else
            falg=1; // esce dal ciclo while
```

```
}//end while
...
printf("\n**************************************\n");
printf("Inserimento elementi della matrice A\n");
printf("\n**************************************\n");
for(i=0;i<n_righe;i++)
{
      for(j=0;j<n_colonne;j++)
      {
            // Generazione automatica dei valori di A
            *(A+i*n_colonne+j)=(float)rand()/((float)RAND_MAX+(float)1);
      }
}

printf("\n**************************************\n");
printf("Inserimento elementi della matrice x");
printf("\n**************************************\n");
for(i=0;i<n_colonne;i++)
{
      // Generazione automatica dei valori del vettore x
      *(x+i)=(float)rand()/((float)RAND_MAX+(float)1);
}
```

È possibile inserire i dati manualmente per eventuali operazioni di calcolo con dati reali, sostituendo le due funzioni in grassetto con le seguenti

```
// dati matrice
printf("Digita elemento A[%d][%d]: ", i, j);
scanf("%f", A+i*num_c+j);

// dati vettore
printf("Digita elemento x[%d]: ", i);
scanf("%f", x+i);
```

- **Distribuzione dei dati**

Il processore P0 invia i dati ai vari processori della rete:

```
//Il processore P0 esegue un Broadcast per comunicare agli altri processori
//del comunicatore il numero di righe e di colonne della matrice
MPI_Bcast(&n_righe, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
MPI_Bcast(&n_colonne, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);


// Carica la funzione crea_griglia (dal file mxv-aux.c)  per creare la griglia
in cui ripartire i dati
crea_griglia(&griglia, &grigliar, &grigliac, menum, p, q, coordinate);
```

`crea_griglia` è una funzione che fa parte delle routines ausiliarie

```
//FUNZIONE crea_griglia
//crea una griglia bidimensionale non periodica utile a combinare i
//risultati parzali ottenuti da tutti i processori
void crea_griglia(MPI_Comm *griglia, MPI_Comm *grigliar, MPI_Comm *grigliac, int
menum, int righe, int colonne, int*coordinate)
{
      int menum_griglia, reorder;
      int *ndim, *period, dim=2; //Le dimensioni della griglia sono 2
      int vc[2];

      ndim=(int*)calloc(dim, sizeof(int)); //Specifica il numero di processori
in ogni dimensione
      ndim[0]=righe;
      ndim[1]=colonne;

      period=(int*)calloc(dim, sizeof(int));
      period[0]=period[1]=0; // La griglia non è periodica
      reorder=0;

      MPI_Cart_create(MPI_COMM_WORLD, dim, ndim, period, reorder, griglia);

      MPI_Comm_rank(*griglia, &menum_griglia);
```

```
	//Il processore di id menum calcola le proprie coordinate...
	//..nel comunicatore griglia creato
	MPI_Cart_coords(*griglia, menum_griglia, dim, coordinate);

	vc[0]=0;
	vc[1]=1;

	MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliar); //Partiziona il communicator nel sottogruppo griglia riga

	vc[0]=1;
	vc[1]=0;
	MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliac); //Partiziona il communicator nel sottogruppo griglia colonna
}
```

- **Calcolo delle prodotto matriciale parziale e totale**

  A questo punto i dati sono stati inseriti e spediti.

  Ora attendiamo la ricezione da parte dei processori

```
//*****************************************************
// Inizio fase di ricezione  dei risultati parziali
//*****************************************************
if(menum==0)
{
	//Il processore P0 riceve tutti i risultati parziali sub_y
	//dai processori che nella griglia sono sulla stessa colonna

	//Concatena prima il suo prodotto parziale in y
	for(i=0;i<Righe_Blocco;i++)
		*(y+i)=*(prod_par+i);

	//Poi attende i prodotti parziali dei restanti processori
	for(j=q;j<p*q;j=j+q)
	{
		tag=40+j;
		MPI_Recv(&dim_prod_par, 1, MPI_INT, j, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);
```

```
            //Ricevendoli li colloca nella posizione giusta in y
            for(k=0;k<dim_prod_par;k++)
            {
                  tag=50+j;
                  MPI_Recv(y+i, 1, MPI_FLOAT, j, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);
                  i++;
            }
      }
}// end if

//I processori in griglia sulla stessa colonna di P0 spediscono il prodotto
parziale

if(coordinate[1]==0&&coordinate[0]!=0)
{
      tag=40+menum;
      MPI_Send(&Righe_Blocco, 1, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD);

      for(k=0;k<Righe_Blocco;k++)
      {
            tag=50+menum;
            MPI_Send(prod_par+k, 1, MPI_FLOAT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD);
      }
}
```

Da questo punto in poi si tratta solo di visualizzare la nuova matrice con i dati calcolati

```
if(menum==0)
{
      printf("\n- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -\n");
      printf("- Stampa del risultato e dei parametri di valutazione -\n");
      printf("- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -\n");

      if (n_righe<100 || n_colonne<100)
      {
            printf("Vettore risultato:\n");
            for(k=0;k<n_righe;k++)
                  printf("%.2f\t", *(y+k));
      }
```

```
else
      printf("\n\n Risultato troppo grande per essere stampato");
```

Per ragioni di test, ho optato per la non visualizzazione dei dati, in quanto il tempo di trasmissione per valori notevoli sarebbe stato particolarmente oneroso.

Nell'algoritmo, inoltre, c'è una subroutine che consente di calcolare i tempi di Efficienza e SpeedUp, che si trova nella libreria di funzioni ausiliarie:

```
//Calcolo del prodotto con singolo processore e tempo
T1=mat_vet(A, x, n_righe, n_colonne, y);
speedup=T1/Tp; //Calcola lo speed up
Ep=speedup/nproc; //Calcola l'efficienza
```

Compilazione ed esecuzione

Il programma è studiato per essere il più possibile indipendente dalla piattaforma usata (Linux o Windows).

- Compilazione sotto Linux

Se il programma viene compilato in un sistema Linux, la sintassi è la seguente

```
$ mpicc mxv.c <invio>
```

Successivamente sarà generato un file a eseguibile

DEVE ESSERE PERESENTE NELLA CARTELLA DOVE SI COMPILA ANCHE IL FILE **MXV-AUX.C**

- Esecuzione del programma sotto Linux

Per eseguire il programma si deve seguire la seguente sintassi:

```
$ mpirun –np x –machinefile lista a.out <invio>
```

con *x* il numero di processori che si vuole usare.

lista è l'elenco di tutti processori della rete che coinvolgiamo nel calcolo

A questo punto il programma in esecuzione chiede quanti dati devono essere calcolati.

- Compilazione sotto Microsoft Windows XP

Se il programma viene compilato in Windows la sintassi è la seguente

Aprire il **Prompt dei comandi**[1]:

```
C:\>gcc mxv.c -lmpich
```

Successivamente sarà generato un file **a.exe**

- Esecuzione del programma sotto Microsoft Windows[2]

Per eseguire il programma si deve seguire la seguente sintassi:

```
C:\> mpirun –np x a <invio>
```

con *x* il numero di processori che si vuole usare.

A questo punto il programma in esecuzione chiede quanti dati devono essere calcolati.

[1] Si presuppone che sia stato installato il compilatore MingW, le librerie MPICH NT e le **Variabili d'ambiente** contengano il path del compialtore e delle librerie

[2] Si presuppone che il sistema abbia identificato la presesenza di 1 o più computer e che sia stato configurato il programma **MPICH Configuration tool**.

Indicatori di errore

La routine **`primo`** (nella libreria delle funzioni ausiliarie) calcola se il numero dei processori che si vanno ad usare è un numero primo o meno.

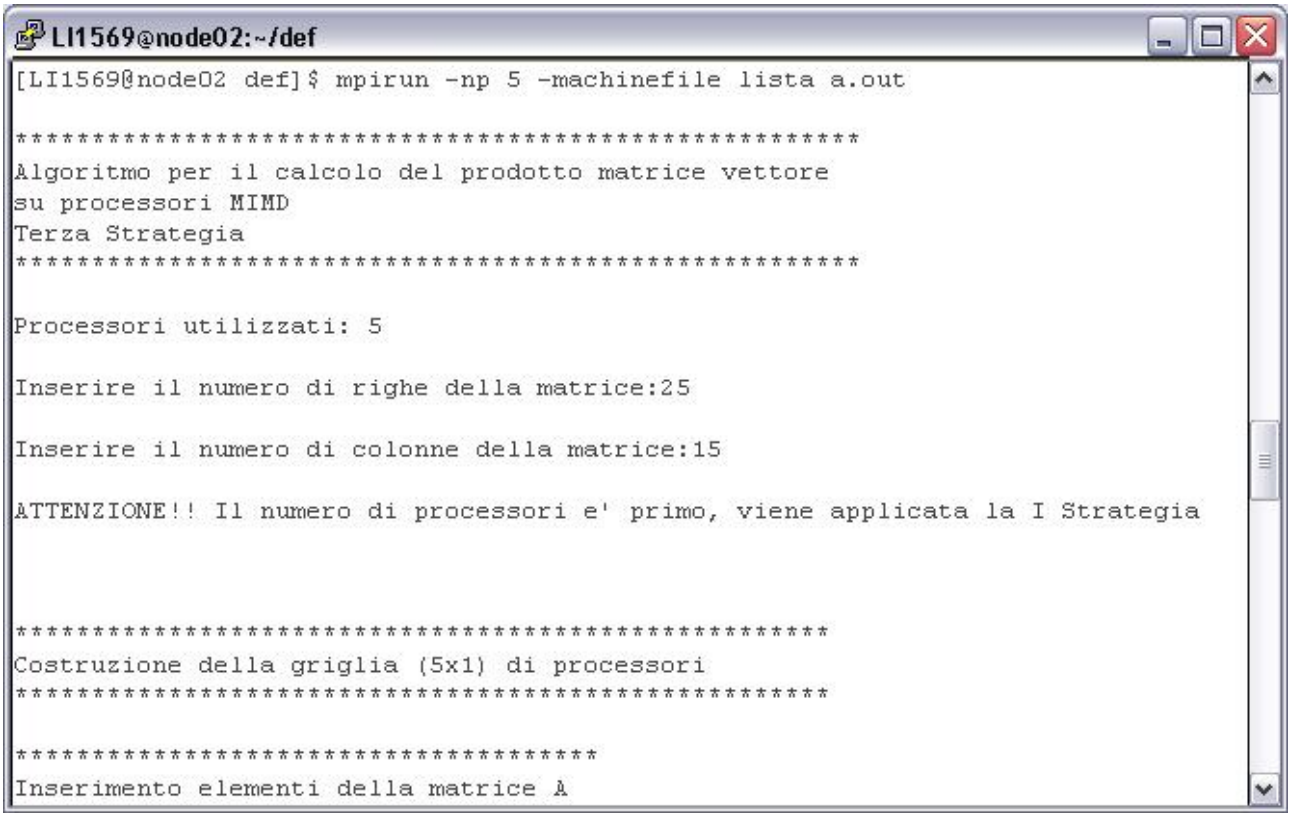
Nel caso si utilizzi un numero di processori pari a 1, 2, 3, 5, 7, 11,… (nel test reale riportato di seguito il numero massimo di processori è 8) il programma applica o la I o la II strategia.

La III strategia può essere applicata solo se il numero di processori non è primo, poiché si deve ripartire il numero di righe per i processori.

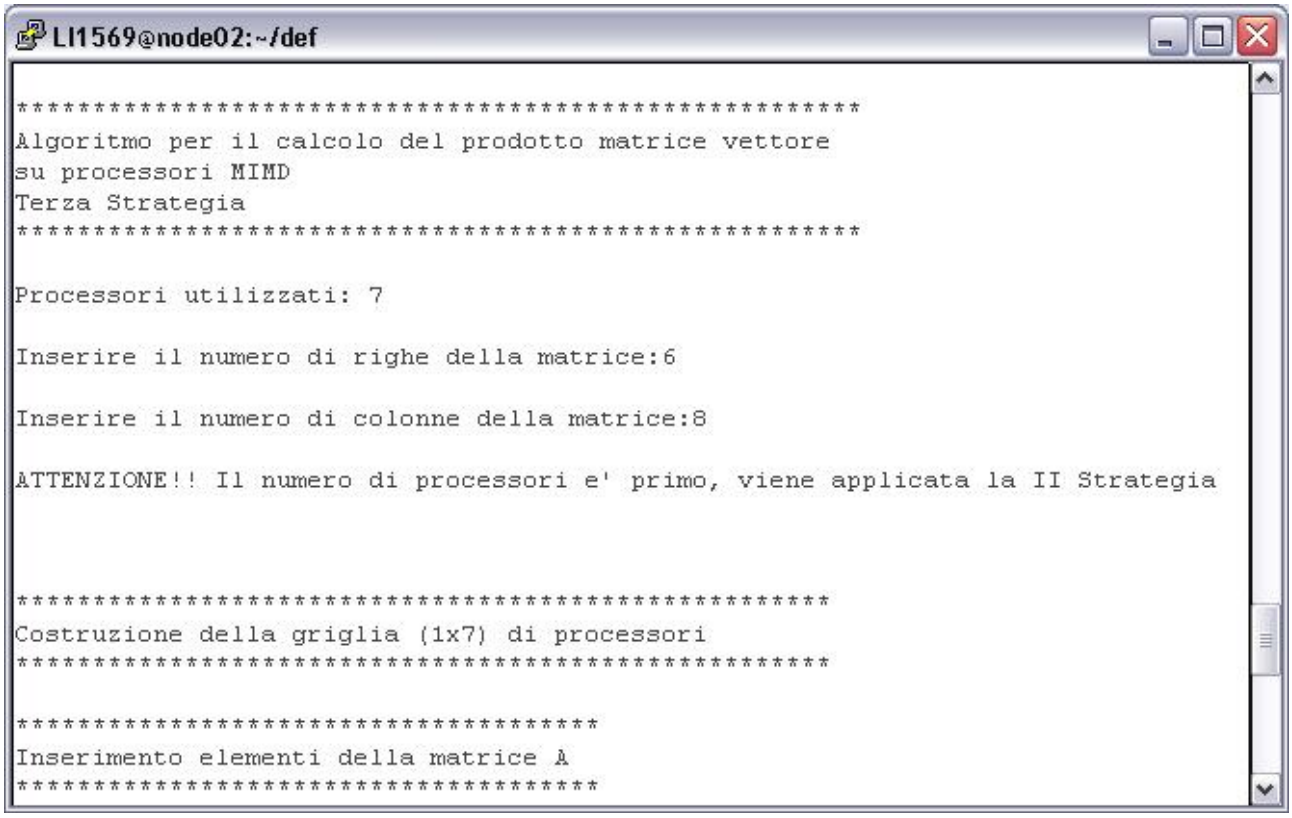
Inoltre come detto nell'analisi dell'algoritmo, per ridurre al massimo il tempo di attesa, sono stati evitati di inserire i dati e visualizzare la matrice.

Di seguito sono riportati alcuni screenshot di errori del programma:

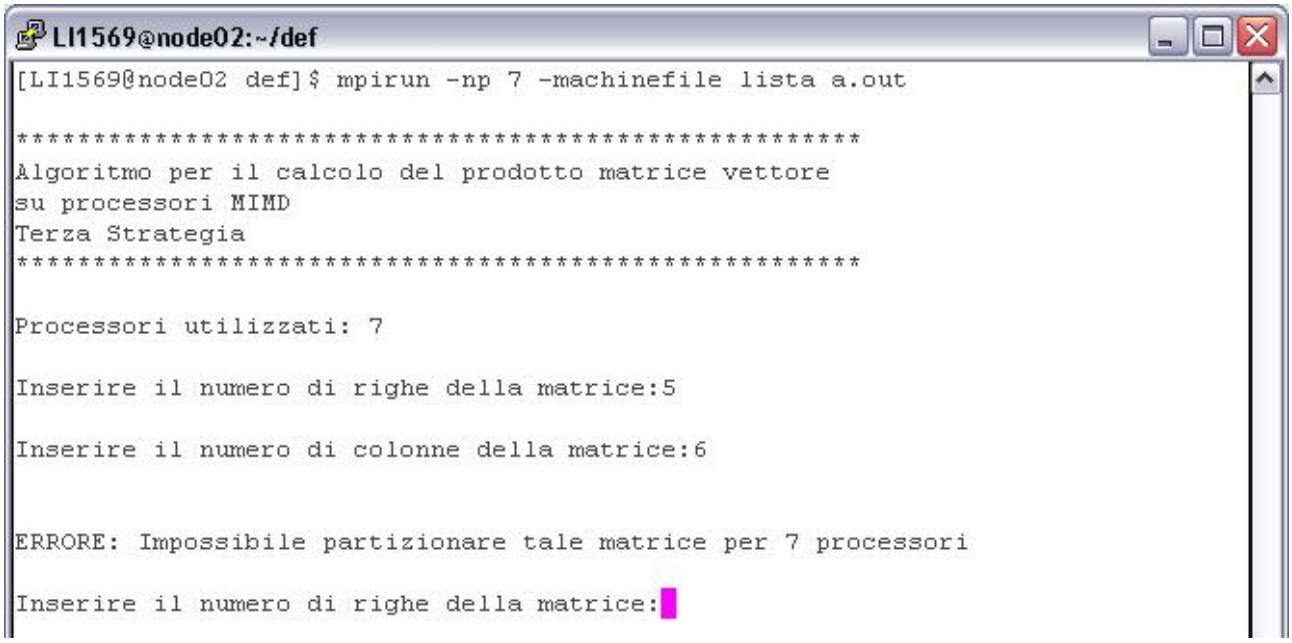
- Applicazione della I Strategia



- Applicazione della II Strategia



- Errore del Numero di righe inferiore ai processori



Si deve inseriri, quindi, un numero di righe maggiori o uguali al numero di processori usati.

Funzioni Utilizzate

Il software descritto si compone di 2 files.

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

- Funzioni per inizializzare l'ambiente MPI

- **MPI_Init (&argc, &argv);**
  argc et *argv* sono gli argomenti del main

- **MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &menum);**
  MPI_COMM_WORLD (input): identificativo del comunicatore entro cui avvengono le comunicazioni

  menum (output): identificativo di processore nel gruppo del comunicatore specificato

- **MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &nproc);**
  MPI_COMM_WORLD (input): nome del comunicatore entro cui avvengono le comunicazioni

  nproc (output): numero di processori nel gruppo del comunicatore specificato

Funzioni di comunicazione collettiva in ambiente MPI

- **MPI_Bcast(&n_righe, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);**

  comunicazione di un messaggio a tutti i processori appartenenti al comunicatore specificato.

  I parametri sono:

  n_righe: indirizzo dei dati da spedire
  1: numero dei dati da spedire
  MPI_INT: tipo dei dati da spedire
  0 : identificativo del processore che spedisce a tutti

MPI_COMM_WORLD : identificativo del comunicatore entro cui avvengono le comunicazioni

- Funzioni di comunicazione bloccante in ambiente MPI

- **MPI_Send (A+(j+1)*offset_r+offset_c+(n_colonne-offset_r)*j+k, 1, MPI_FLOAT, i,tag, MPI_COMM_WORLD);**

  spedizione di dati

  I parametri sono:
  *A+(j+1)*offset_r+offset_c+(n_colonne-offset_r)*j+k (input):* indirizzo del dato da spedire
  1 (input): numero dei dati da spedire
  MPI_FLOAT (input): tipo del dato inviato
  i (input): identificativo del processore destinatario
  tag (input): identificativo del messaggio inviato
  MPI_COMM_WORLD (input): comunicatore usato per l'invio del messaggio

- **MPI_Recv(dim_Blocco, 2, MPI_INT, i, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);**

  ricezione di dati

  I parametri sono:
  dim_blocco: indirizzo del dato su cui ricevere
  2 : numero dei dati da ricevere
  MPI_INT : tipo dei dati da ricevere
  0: identificativo del processore da cui ricevere
  tag (input): identificativo del messaggio
  MPI_COMM_WORLD (input): comunicatore usato per la ricezione del messaggio
  info: vettore che contiene informazioni sulla ricezione del messaggio

- Funzione di sincronizzazione MPI

- **MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);**

  La funzione fornisce un meccanismo sincronizzante per tutti i processori del comunicatore MPI_COMM_WORLD

- **MPI_Wtime( )**
  Tale funzione restituisce un tempo in secondi

- Funzioni per operazioni collettive in ambiente MPI

- **MPI_Allreduce(sub_y, prod_par, Righe_Blocco, MPI_FLOAT, MPI_SUM, grigliar);**

  sub_y : indirizzo dei dati su cui effettuare l'operazione
  prod_par : indirizzo del dato contenente il risultato
  1 : numero dei dati su cui effettuare l'operazione
  MPI_FLOAT : tipo degli elementi da spedire
  MPI_sum : operazione effettuata
  grigliar: identificativo del processore che conterrà il risultato
  MPI_COMM_WORLD: identificativo del comunicatore

- Funzione di chiusura ambiente MPI

- **MPI_Finalize( );**

La funzione determina la fine di un programma MPI. Dopo di essa non si può più chiamare nessuna altra routine MPI.

- Funzione di creazione e gestione della topologia a griglia bidimensionale in ambiente MPI

- **MPI_Cart_create(MPI_COMM_WORLD, dim, ndim, period, reorder, griglia);**

Operazione collettiva che restituisce un nuovo comunicatore in cui i processi sono organizzati in una griglia di dimensione *dim* .

I parametri sono:

MPI_COMM_WORLD: identificativo del comunicatore di input
dim: numero di dimensioni della griglia
ndim: vettore di dimensione dim contenente le lunghezze di ciascuna dimensione
period: vettore di dimensione dim contenente la periodicità di ciascuna dimensione
reorder: permesso di riordinare i menum processori (1=si, 0=no)

griglia: nuovo comunicatore di output associato alla griglia

- **MPI_Comm_rank(*griglia, &menum_griglia);**

Analogo alla chiamata in sede di inizializzazione dell'ambiente MPI. Restituisce l'identificativo del processore nella griglia

griglia (input): identificativo del comunicatore entro cui avvengono le comunicazioni

menum_griglia (output): identificativo di processore nel gruppo del comunicatore specificato

- **MPI_Cart_coords(*griglia, menum_griglia, dim, coordinate);**

ogni processo calcola le proprie due coordinate nel nuovo ambiente, cioè nella griglia.

I parametri sono:

griglia : identificativo del comunicatore entro cui avvengono le comunicazioni

menum : identificativo di processore nel gruppo del comunicatore specificato, cioè nella griglia

dim: numero di dimensioni della griglia

coordinate: vettore di dimensione dim i cui elementi rappresentano le coordinate del processore all'interno della griglia

- **MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliar);**
- **MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliac);**

crea sotto-griglie di dimensione inferiore a quella originale. Ciascuna sotto-griglia viene identificata da un comunicatore differente.
Partiziona il communicator nel sottogruppo grigliar (o grigliac).

I parametri sono:

griglia: comunicatore di griglia
vc: dimensioni della sottogriglia

grigliar (o *grigliac*): comunicatore che include la sottogriglia contenente i processi desiderati

La libreria di funzioni ausiliare comprende

// FUNZIONE primo

- **int primo(int N)**

ritorna 1 se il parametro in input è un numero primo.
Questa funzione controlla se il numero di processori (e le dimensioni della griglia) sono un numero primo. In tal caso, viene consigliata l'applicazione della prima o della seconda strategia.

Parametri:
N: dimensione della griglia (cfr. *N=n_righe*n_colonne;*)

// FUNZIONE crea_griglia

- **void crea_griglia(MPI_Comm *griglia, MPI_Comm *grigliar, MPI_Comm *grigliac, int menum, int righe, int colonne, int*coordinate)**

crea una griglia bidimensionale non periodica utile a combinare i risultati parziali ottenuti da tutti i processori

I parametri sono:

*griglia:*comunicatore che identifica la griglia
grigliar: comunicatore che identifica la sotto-griglia delle righe
grigliac: comunicatore che identifica la sotto-griglia delle colonne
menum: identificativo di processore
*righe,colonne:*dimensioni della griglia
coordinate: vettore di dimensione dim i cui elementi rappresentano le coordinate del processore all'interno della griglia

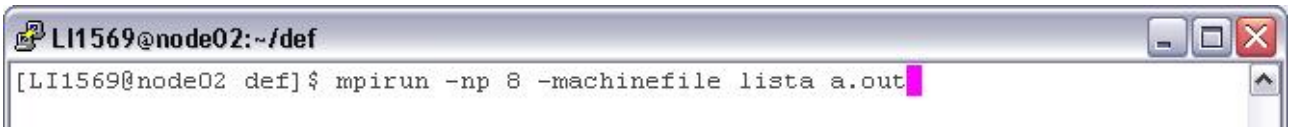
// Function per il CALCOLO DEL PRODOTTO MATRICE VETTORE

- **double mat_vet(float *A, float *B, int m, int n, float *C)**

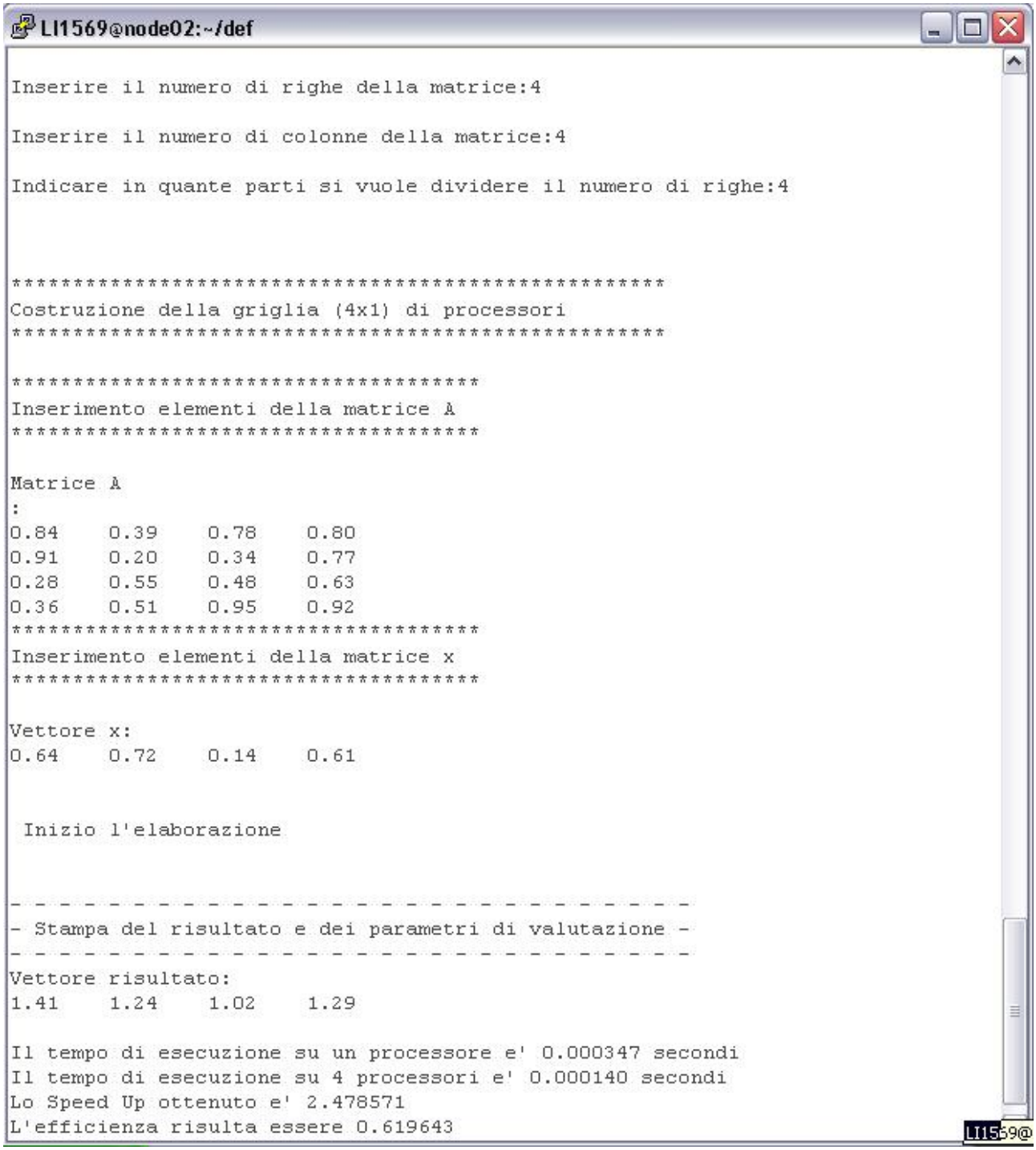
esegue il calcolo del prodotto matrice vettore
*A***:** sottoblocco della matrice di input
B: frazione del vettore di input
m,n : dimensioni del sottoblocco di matrice ricevuto
C:vettore risultato

Esempi d'uso

Esempio di lancio su 8 processori



La seguente schermata mostra una esecuzione del programma su un numero eccezionalmente esiguo di valori, ma utili per mostrare come il programma visualizza i dati.


LI1569@node02:~/def
Inserire il numero di righe della matrice:4
Inserire il numero di colonne della matrice:4
Indicare in quante parti si vuole dividere il numero di righe:4
****
Costruzione della griglia (4x1) di processori
****
****
Inserimento elementi della matrice A
****
Matrice A
:
0.84 0.39 0.78 0.80
0.91 0.20 0.34 0.77
0.28 0.55 0.48 0.63
0.36 0.51 0.95 0.92
****
Inserimento elementi della matrice x
****
Vettore x:
0.64 0.72 0.14 0.61
Inizio l'elaborazione
- -
- Stampa del risultato e dei parametri di valutazione -
- -
Vettore risultato:
1.41 1.24 1.02 1.29
Il tempo di esecuzione su un processore e' 0.000347 secondi
Il tempo di esecuzione su 4 processori e' 0.000140 secondi
Lo Speed Up ottenuto e' 2.478571
L'efficienza risulta essere 0.619643
LI1569@

Di seguito, è riportato un altro esempio di come il sistema gestisce matrici di dimensione pari o superiore a 100 elementi:

Esempio con esecuzione su un numero di processori primo

Analisi dei tempi

Introduzione

Ora osserveremo le prestazioni che ha il nostro algoritmo quando viene usato. Per fare ciò analizzeremo le seguenti caratteristiche:

- *Tempo di esecuzione utilizzando un numero p>1 processori.*
  Generalmente indicheremo tale parametro con il simbolo $\boldsymbol{T_p}$

- ***Speed – Up***
  riduzione del tempo di esecuzione rispetto all'utilizzo di un solo processore, utilizzando invece p processori.

  In simboli ……

$$S_p = \frac{T_1}{T_p}$$

  Il valore dello speedup ideale dovrebbe essere pari al numero p dei processori, perciò l'algoritmo parallelo risulta migliore quanto più S_p è prossimo a p.

- **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 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 E_p è vicina ad 1.

Nelle prossime pagine analizzeremo i tempi delle elaborazioni, presi direttamente dal calcolo, ed in seguito analizzeremo lo speed – up e l'efficienza.
Di seguito sono riportati i dati delle elaborazioni effettuate con il programma con test su valori significativi con matrici di dimensione quadrata pari a 2^7 (16.384 valori), 2^8 (65.536 valori), 2^{10} (1.048.576 valori).

Tempi delle elaborazioni

	128 x 128	256 x 256	1024 x 1024
NP=1	0,320008	1,293631	20,308637
NP=2	0,160344	0,647796	10,161322
NP=3	0,106318	0,429488	6,6963610
NP=4	0,079991	0,313194	5,0707320
NP=5	0,064122	0,254830	4,0862700
NP=6	0,055396	0,214021	3,3763450
NP=7	0,047403	0,184979	2,8833490
NP=8	0,04016	0,160845	2,5687240

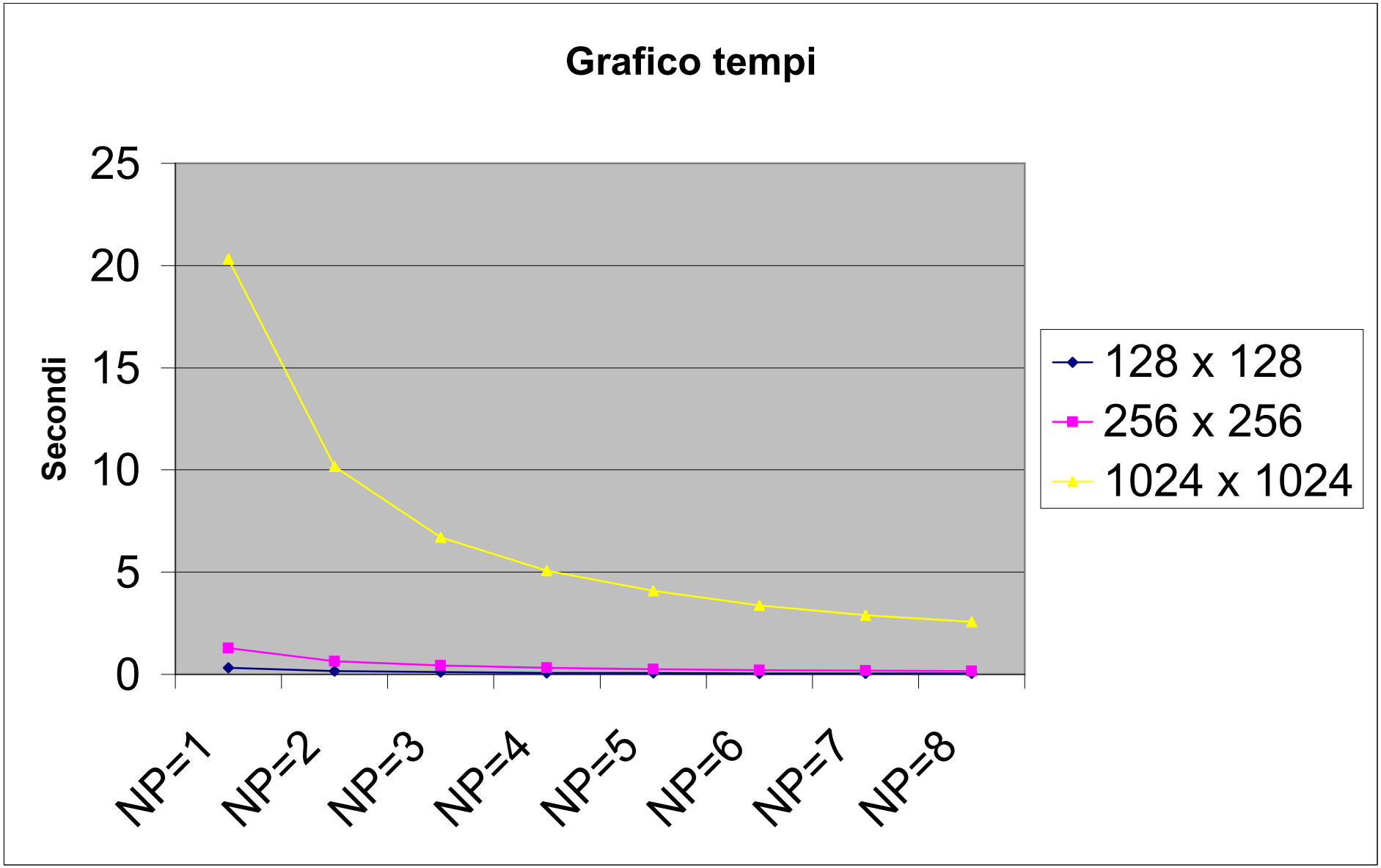


Grafico tempi
Secondi
25
20
15
10
5
0
NP=1
NP=2
NP=3
NP=4
NP=5
NP=6
NP=7
NP=8
128 x 128
256 x 256
1024 x 1024

Speed - Up

	128 x 128	256 x 256	1024 x 1024
Sp 1	1	1	1
Sp 2	1,995759118	1,996972812	1,998621538
Sp 3	3,009913655	3,012030604	3,032787062
Sp 4	4,000550062	4,130446305	4,005070077
Sp 5	4,990611647	5,076447043	4,969969434
Sp 6	5,776734782	6,044411530	6,014976846
Sp 7	6,750796363	6,993393845	7,043419648
Sp 8	7,968326693	8,042718145	7,906118758

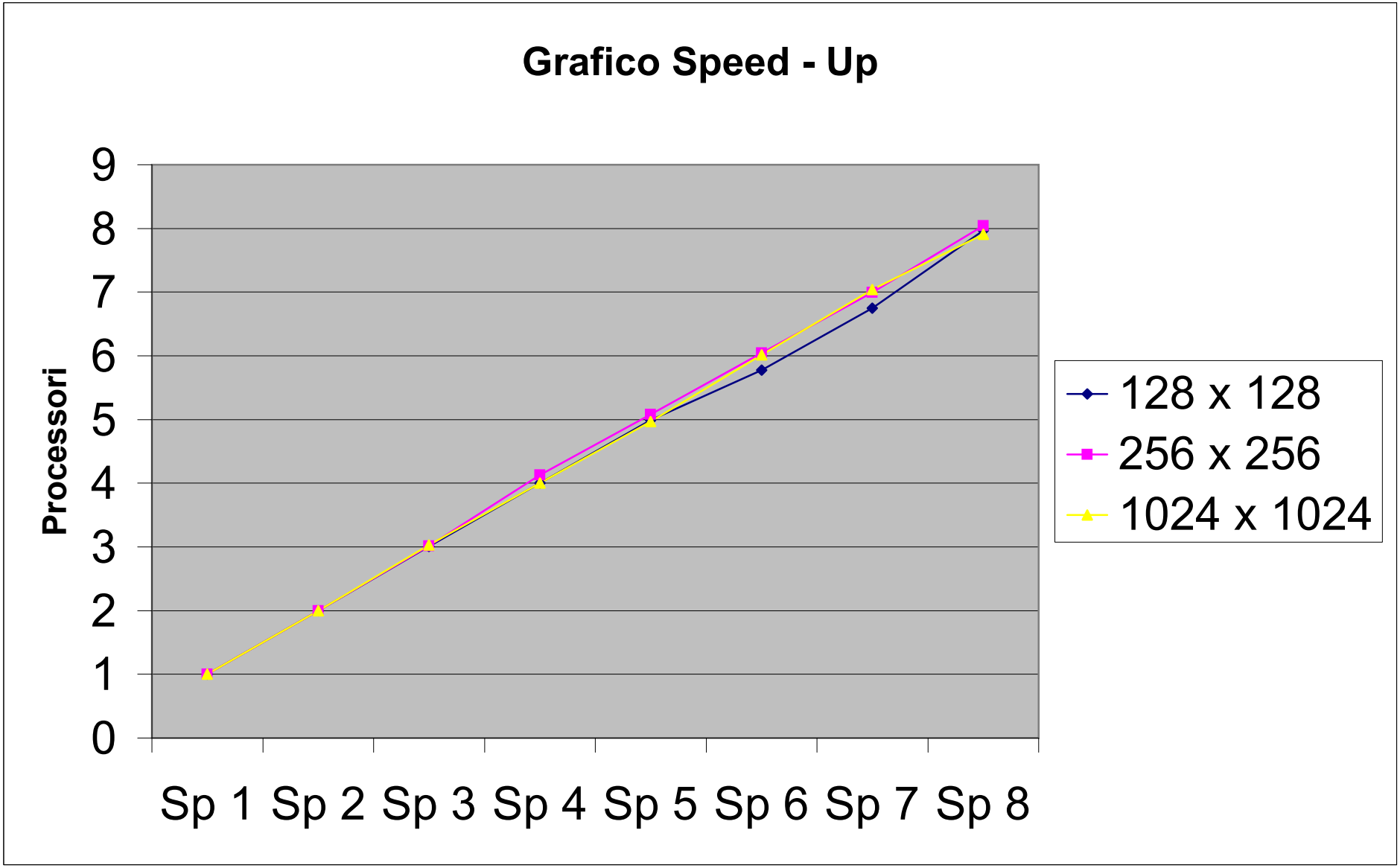


Grafico Speed - Up
Processori
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Sp 1
Sp 2
Sp 3
Sp 4
Sp 5
Sp 6
Sp 7
Sp 8
128 x 128
256 x 256
1024 x 1024

Efficienza

	128 x 128	256 x 256	1024 x 1024
Ep 1	1	1	1
Ep 2	0,997879559	0,998486406	0,999310769
Ep 3	1,003304552	1,004010201	1,010929021
Ep 4	1,000137515	1,032611576	1,001267519
Ep 5	0,998122329	1,015289409	0,993993887
Ep 6	0,96278913	1,007401922	1,002496141
Ep 7	0,96439948	0,999056264	1,006202807
Ep 8	0,996040837	1,005339768	0,988264845

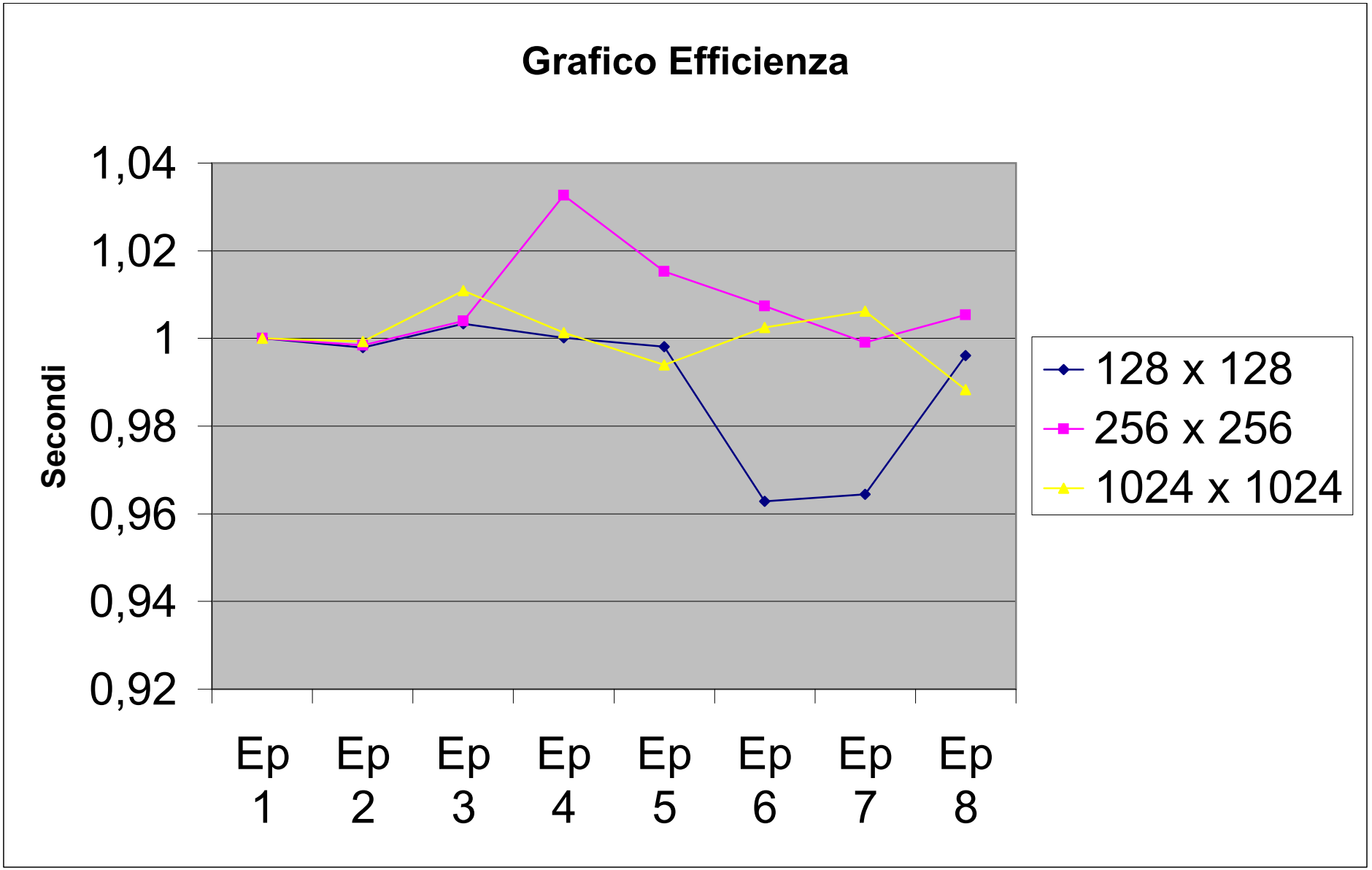


Grafico Efficienza
Secondi
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
Ep 1
Ep 2
Ep 3
Ep 4
Ep 5
Ep 6
Ep 7
Ep 8
128 x 128
256 x 256
1024 x 1024

Come è possibile osservare dai test effettuati (pag. 31) per questo tipo di problema la parallellizzazione porta degli oggettivi incrementi di prestazioni nell'ambito dell'efficienza delle prestazioni.

Le curve discendeti di pag. 33 mostrano, soprattutto con valori elevati un miglioramento effettivo delle prestazioni.

Per valori pari a 1.048.576 elementi floating point si passa dai 20,308637 secondi di un singolo processore ai 2,8833490 secondi di 7 processori, ai 2,5687240 secondi di 8 processori.

Ovviamente diminuendo il tempo aumenta lo speed-up (pagg. 33 e 35) e, l'efficienza, tende a quel valore ottimale di 1 (pagg. 39 e 41)

Bibliografia

1. A.Murli – Lezioni di Calcolo Parallelo – Ed. Liguori

2. Slide del corso di Calcolo Parallelo e distribuito
   http://www.dma.unina.it/~murli/didattica/mat_didattico_nav_cp0708.html

3. www.mat.uniroma1.it/centro-**calcolo**/HPC/materiale-corso/sliMPI.pdf
   (consultato per interessanti approfondimenti su MPI)

4. www.orebla.it/module.php?n=**c**_num_**casuali**
   (consultato per approfondimenti sulla funzione rand per generare numeri casuali)

5. Aitken Peter G., Jones Bradley J. - Programmare in C – Apogeo
   (consultato per ripasso di alcune funzioni)

Codice Sorgente

Di seguito viene proposto il codice sorgente del programma sin qui descritto, nella visualizzazione dell'editor di testo Notepad++ Portable per Windows

```
/*
 ************************************************
 Algoritmo per il calcolo del prodotto matrice vettore,

 Progetto Realizzato da

 Giovanni Di Cecca
 Matr. 108/1569

 E-Mail: giovanni.dicecca@gmail.com

 Web Site: http://www.dicecca. net

 ************************************************
*/

// Preprocessore
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include "mpi.h" // Carica la lib MPI

// Funzione Ausiliaria del programma
#include "mxv-aux.c"


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

     //*****************************************************
     // Inizio fase di inizializzazione delle variabili
     //*****************************************************

     // Dichiarazione di variabili
     int menum, nproc;

     int n_righe, n_colonne; //numero di righe e numero di colonne della matrice

     int offset_r=0, offset_c=0, dim_prod_par;

     // offset_r=0  et  offset_c=0 determinazione del blocco delle righe e delle colonne da spedire

     int N, Righe_Blocco, Colonne_Blocco, resto, i, j, k, tag;

     int p, q;  // p=processori che si intendono usare per calcolare il prodotto righe x colonne
                // q=il numero di righe x colonne calcolato dai processori p inseriti precedentemente

     int falg=0; //flag di controllo

     float *A, *x, *y, *sub_x, *sub_y, *prod_par, *Blocco; // variabili puntatore
     // *A = matrice
     // *x = vettore
     // *y = numero di colonne allocate dai processori
     // *sub_x et *sub_y = sotto vettori x ed y
```

```
    // *prod_par = prodotto parziale
    // *Blocco = allocazione del blocco dati su tutti i processori

    //variabili usate per rilevare le prestazioni dell'algoritmo
    double t_inizio, t_fine, T1, Tp=0.F, speedup, Ep;

    MPI_Status info;

    //comunicatori di griglia
    MPI_Comm griglia, grigliar, grigliac;

    int coordinate[2];
    int dim_Blocco[2];

    dim_Blocco[0]=0;
    dim_Blocco[1]=0;

    //Inizializzazione dell'ambiente MPI
    MPI_Init(&argc, &argv);

    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &menum);

    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &nproc);


    //*****************************************************
    // Inizio fase di immissione dei dati
    //*****************************************************

    if(menum==0)
    {
        printf("\n*********************************************************\n");
        printf("Algoritmo per il calcolo del prodotto matrice vettore\n");
        printf("su processori MIMD\n");
        printf("Terza Strategia \n");
        printf("*********************************************************\n");

        printf("\nProcessori utilizzati: %d\n", nproc);

        // Procedura di inserimento dati
        while(falg==0)
        {

            printf("\nInserire il numero di righe della matrice:");
            fflush(stdin); // pulisce lo standard input
            scanf("%d", &n_righe);

            printf("\nInserire il numero di colonne della matrice:");
            fflush(stdin);
            scanf("%d", &n_colonne);

            if(n_righe*n_colonne<nproc)

               printf("\n\nERRORE: Il numero di elementi risulta inferiore al numero
di processori!\n");
```

```
            else if(primo(nproc) && n_righe<nproc && n_colonne<nproc)
                    printf("\n\nERRORE: Impossibile partizionare tale matrice per %d
processori\n", nproc);
                 else
                    falg=1; // esce dal ciclo while
        }//end while



        //VALUTAZIONE SE E' POSSIBILE APPLICARE LA PRIMA O LA SECONDA
        //STRATEGIA DI CALCOLO DEL PRODOTTO MAT X VET
        //Se il numero di processori è primo viene scelta una delle 2, che risulta più conveniente
        if(primo(nproc))
        {
            printf("\nATTENZIONE!! Il numero di processori e' primo, viene applicata
la ");
            if(n_righe>=nproc)
            {
                //ci sono abbastanza righe per applicare la  I Strategia
                printf("I Strategia\n");
                q=1;
                p=nproc;
            }
            else
            {
                printf("II Strategia\n");
                q=nproc;
                p=1;
            }

        }

        else

        //....se il numero di processori non è primo....
        //....si valuta se è possibile applicare la terza strategia
        {

            falg=0; // reiniziallizza la variabile per il ciclo while

            while(falg==0)
            {
                // Questa procedura serve a partizionare il calcolo delle righe
                printf("\nIndicare in quante parti si vuole dividere il numero di
righe:");
                fflush(stdin);
                scanf("%d", &p);

                q=nproc/p; //q è calcolato di conseguenza

                //Se ci sono errori ...
                if(n_righe<p || p>nproc || (p*q)%nproc!=0 || n_colonne<q)
                    printf("ERRORE: Impossibile partizionare i dati nel modo
indicato!\n\n Riprovare\n");
```

```
            else
                falg=1; // esci
        }

    }



    printf("\n\n\n*****************************************************\n");
    printf("Costruzione della griglia (%dx%d) di processori", p, q);
    printf("\n*****************************************************\n");

    //Allocazione dinamica della matrice A e del vettore x in P0
    x=(float *)calloc(n_colonne, sizeof(float));
    A=(float *)calloc(n_righe*n_colonne, sizeof(float));

    printf("\n************************************\n");
    printf("Inserimento elementi della matrice A");
    printf("\n************************************\n");
    for(i=0;i<n_righe;i++)
    {
        for(j=0;j<n_colonne;j++)
        {
            // Generazione automatica dei valori di A
            *(A+i*n_colonne+j)=(float)rand()/((float)RAND_MAX+(float)1);
        }
    }


    // Stampa della Matrice A solo se sono meno di 100 dati
    if (n_righe<100 || n_colonne<100)
    {
        printf("\nMatrice A \n:");
        for(i=0;i<n_righe;i++)
        {
            printf("\n");

            for(j=0;j<n_colonne;j++)
                printf("%.2f\t", *(A+i*n_colonne+j));

        }
    }
    else
        printf("\n\nMatrice troppo grande per essere stampata\n\n");



    printf("\n************************************\n");
    printf("Inserimento elementi della matrice x");
    printf("\n************************************\n");
    for(i=0;i<n_colonne;i++)
    {
        // Generazione automatica dei valori del vettore x
```

```
            *(x+i)=(float)rand()/((float)RAND_MAX+(float)1);
        }


        // Stampa del vettore x
        if (n_colonne<100)
        {
            printf("\nVettore x:\n");
            for(i=0;i<n_colonne;i++)
                printf("%.2f\t", *(x+i));
        printf("\n");
        }
        else
            printf("\n\n Vettore troppo grande per essere stampato\n\n");

        printf("\n\n Inizio l'elaborazione\n\n");

    }// end if iniziale



    //*****************************************************
    // Inizio fase di distribuzione e spedizione  dei dati
    //*****************************************************


    //Il processore P0 esegue un Broadcast per comunicare agli altri processori
    //del comunicatore il numero di righe e di colonne della matrice

    MPI_Bcast(&n_righe, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);

    MPI_Bcast(&n_colonne, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);


    // Tutti allocano il vettore y
    y=(float *)calloc(n_righe, sizeof(float));


    N=n_righe*n_colonne;


    MPI_Bcast(&p, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Bcast(&q, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);


    // Carica la funzione crea_griglia (dal file mxv-aux.c)  per creare la griglia  in cui ripartire i dati
    crea_griglia(&griglia, &grigliar, &grigliac, menum, p, q, coordinate);


    //Calcola il numero di righe di un blocco
    Righe_Blocco=n_righe/p;
    resto=n_righe%p;
    if(coordinate[0]<resto)  //Nel caso in cui n_righe non sia divisibile per p
        Righe_Blocco++;  //Alcuni blocchi avranno una riga in più
```

```
//Calcola il numero di colonne di un blocco
Colonne_Blocco=n_colonne/q;
resto=n_colonne%q;
if(coordinate[1]<resto)  //Nel caso in cui n_colonne non sia divisibile per q
     Colonne_Blocco++;  //Alcuni blcchi avranno una colonna in più


//Si memorizzano le dimensioni per spedirle a P0
dim_Blocco[0]=Righe_Blocco;
dim_Blocco[1]=Colonne_Blocco;

//Allocazione dinamica del blocco di righe e colonne su tutti i processori
Blocco=(float *)malloc(Righe_Blocco*Colonne_Blocco*sizeof(float));

//Allocazione dei sottovettori di x e y
sub_x=(float *)malloc(Colonne_Blocco*sizeof(float));
sub_y=(float *)calloc(Righe_Blocco, sizeof(float));
prod_par=(float *)calloc(Righe_Blocco, sizeof(float));


//Distribuzione da parte di P0 degli elementi ai vari processori
if(menum==0)
{
     //for di spedizione dati
     for(i=1;i<nproc;i++)
     {
          //Individua il blocco da spedire calcolando lo scostamento su
          //righe e colonne
          offset_r=offset_r+dim_Blocco[1];
          if(offset_r>=n_colonne)
               offset_c=offset_c+n_colonne*dim_Blocco[0];  //Scostamento sulle colonne
               offset_r=offset_r%n_colonne;  //Lo scostamento sulle righe

          tag=10+i;  // id di spedizione

          //Attende di conoscere le dimensioni del blocco del processore a
          //cui spedire
          MPI_Recv(dim_Blocco, 2, MPI_INT, i, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);

          //Ricevute le informazioni spedisce gli elementi uno alla volta
          for(j=0;j<dim_Blocco[0];j++)
          {
               for(k=0;k<dim_Blocco[1];k++)
               {
                    tag=20+i;
                    MPI_Send(A+(j+1)*offset_r+offset_c+(n_colonne-offset_r)*j+k, 1,
                              MPI_FLOAT, i,tag, MPI_COMM_WORLD);
               }
          }

          //Spedisce anche gli elementi di x
          tag=30+i;  // id di spedizione
          MPI_Send(x+offset_r, dim_Blocco[1], MPI_FLOAT, i, tag, MPI_COMM_WORLD);
```

```
        }//end for di spedizione dati


        //P0 inizializza il suo blocco
        for(j=0;j<Righe_Blocco;j++){
            for(k=0;k<Colonne_Blocco;k++)
                *(Blocco+Colonne_Blocco*j+k) = *(A+n_colonne*j+k);
        }
        //P0 inizializza il suo sottovettore di x
        for(j=0;j<Colonne_Blocco;j++)
            *(sub_x+j)=*(x+j);


    }
    // Altrimenti ricevi i dati
    else
    {
        //Tutti i processori spediscono a P0 le dimensioni del proprio blocco
        tag=10+menum;
        MPI_Send(dim_Blocco, 2, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD);
        //E ricevono gli elementi di tale blocco da P0
        for(j=0;j<Righe_Blocco;j++)
        {
            for(k=0;k<Colonne_Blocco;k++)
            {
                tag=20+menum;
                MPI_Recv(Blocco+Colonne_Blocco*j+k, 1, MPI_FLOAT, 0, tag,
MPI_COMM_WORLD, &info);
            }
        }
        //Ricevono anche il sottovettore x
        tag=30+menum;
        MPI_Recv(sub_x, Colonne_Blocco, MPI_FLOAT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);

    }

    //*****************************************************
    // Inizio fase di calcolo locale per valutazione dei tempi
    //*****************************************************

    //Calcola il prodotto Blocco*sub_x=sub_y e il tempo per eseguirlo
    Tp=mat_vet(Blocco, sub_x, Righe_Blocco, Colonne_Blocco, sub_y);

    t_inizio=MPI_Wtime(); //inizio del cronometro per il calcolo del tempo di inizio

    //Con la routine MPI si sommano i vettori parziali sulle righe della griglia
    MPI_Allreduce(sub_y, prod_par, Righe_Blocco, MPI_FLOAT, MPI_SUM, grigliar);

    t_fine=MPI_Wtime(); // calcolo del tempo di fine

    Tp=Tp+t_fine-t_inizio; //Rileva il tempo della Allreduce

    //*****************************************************
    // Fine fase di calcolo locale per valutazione dei tempi
```

```
//*****************************************************


//*****************************************************
// Inizio fase di ricezione  dei risultati parziali
//*****************************************************


if(menum==0)
{    //Il processore P0 riceve tutti i risultati parziali sub_y
     //dai processori che nella griglia sono sulla stessa colonna

     for(i=0;i<Righe_Blocco;i++)  //Concatena prima il suo prodotto parziale in y
          *(y+i)=*(prod_par+i);

     for(j=q;j<p*q;j=j+q)  //Poi attende i prodotti parziali dei restanti processori
     {
          tag=40+j;
          MPI_Recv(&dim_prod_par, 1, MPI_INT, j, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);
          //Ricevendoli li colloca nella posizione giusta in y
          for(k=0;k<dim_prod_par;k++)
          {
               tag=50+j;
               MPI_Recv(y+i, 1, MPI_FLOAT, j, tag, MPI_COMM_WORLD, &info);
               i++;
          }
     }
}
//I processori in griglia sulla stessa colonna di P0 spediscono
//il prodotto parziale
if(coordinate[1]==0&&coordinate[0]!=0)
{
     tag=40+menum;
     MPI_Send(&Righe_Blocco, 1, MPI_INT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD);

     for(k=0;k<Righe_Blocco;k++)
     {
          tag=50+menum;
          MPI_Send(prod_par+k, 1, MPI_FLOAT, 0, tag, MPI_COMM_WORLD);
     }
}

//*****************************************************
// Fase di stampa del risultato e dei tempi
//*****************************************************

if(menum==0)
{

     printf("\n- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -\n");
     printf("- Stampa del risultato e dei parametri di valutazione -\n");
     printf("- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -\n");

     if (n_righe<100 || n_colonne<100)
     {
```

```
            printf("Vettore risultato:\n");
                for(k=0;k<n_righe;k++)
                    printf("%.2f\t", *(y+k));
        }
        else
            printf("\n\n Risultato troppo grande per essere stampato\n\n");

        //Calcolo del prodotto con singolo processore e tempo
        T1=mat_vet(A, x, n_righe, n_colonne, y);
        speedup=T1/Tp; //Calcola lo speed up
        Ep=speedup/nproc; //Calcola l'efficienza

        // Stampa i tempi
        printf("\n\nIl tempo di esecuzione su un processore e' %f secondi\n", T1);
        printf("Il tempo di esecuzione su %d processori e' %f secondi\n", nproc, Tp);
        printf("Lo Speed Up ottenuto e' %f\n", speedup);
        printf("L'efficienza risulta essere %f\n\n", Ep);
       }

    MPI_Finalize();
    return(0);
}
```

```
/*
 ************************************************
 Algoritmo per il calcolo del prodotto matrice vettore,

 FUNZIONI AUSILIARIE AL PROGRAMMA

 Progetto Realizzato da

 Giovanni Di Cecca
 Matr. 108/1569

 E-Mail: giovanni.dicecca@gmail.com

 Web Site: http://www.dicecca. net

 ************************************************
*/

//PROTOTIPI DELLE FUNZIONI UTILIZZATE
void crea_griglia(MPI_Comm *, MPI_Comm *, MPI_Comm *, int, int, int, int *);

double mat_vet(float *, float *, int, int, float *);

int primo(int);



//FUNZIONE primo
//ritorna 1 se il parametro in input è un numero primo
int primo(int N){
    int primo=1;
    int i=2;

    if(N==1)
        primo=0;
    else
    {
        while(primo==1  && i<=sqrt(N))  //La complessità è O(sqrt(N))
        {

            //Se viene trovato un solo divisore di N il ciclo si arresta
            if(N%i==0)
            {
                primo=0;
                break;
            }
            i++;
        }
    }
    return primo;
}



//FUNZIONE crea_griglia
```

```
//crea una griglia bidimensionale non periodica utile a combinare i
//risultati parzali ottenuti da tutti i processori
void crea_griglia(MPI_Comm *griglia, MPI_Comm *grigliar, MPI_Comm *grigliac, int menum,
                  int righe, int colonne, int*coordinate)
{

    int menum_griglia, reorder;
    int *ndim, *period, dim=2; //Le dimensioni della griglia sono 2
    int vc[2];

    ndim=(int*)calloc(dim, sizeof(int)); //Specifica il numero di processori in ogni dimensione
    ndim[0]=righe;
    ndim[1]=colonne;

    period=(int*)calloc(dim, sizeof(int));
    period[0]=period[1]=0; //La griglia non è periodica
    reorder=0;

    MPI_Cart_create(MPI_COMM_WORLD, dim, ndim, period, reorder, griglia);

    MPI_Comm_rank(*griglia, &menum_griglia);


    //Il processore di id menum calcola le proprie coordinate...
    //..nel comunicatore griglia creato
    MPI_Cart_coords(*griglia, menum_griglia, dim, coordinate);

    vc[0]=0;
    vc[1]=1;
    MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliar); //Partiziona il communicator nel sottogruppo grigliar

    vc[0]=1;
    vc[1]=0;
    MPI_Cart_sub(*griglia, vc, grigliac); //Partiziona il communicator nel sottogruppo grigliac


}



//Function per il calcolo del prodotto matrice vettore
double mat_vet(float *A, float *B, int m, int n, float *C)

{
    double tempo=0.F, t_inizio, t_fine;
    int i, j;
    for(i=0;i<m;i++)
    {
        *(C+i)=0.F; //Per più attivazioni della function, azzeramento indispensabile
        for(j=0;j<n;j++)
        {
            t_inizio=MPI_Wtime();
            *(C+i)=*(C+i)+*(A+i*n+j)*(*(B+j));
            t_fine=MPI_Wtime();
```

```
                //Si accumula l'incremento ad ogni ciclo
                tempo=tempo+t_fine-t_inizio;
            }
        }
        return tempo; //Ritorna il tempo impiegato

}
```