

ELABORATO 2 OPEN MP - PRODOTTO MATRICE VETTORE

LO BRUTTO FABIO / MAIONE PAOLO

DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

Si vuole progettare un algoritmo in OpenMP per risolvere il prodotto vettoriale tra una matrice, di dimensioni $M \times N$, e un vettore di reali, di dimensione N , su p thread.

In particolare si utilizza l'infrastruttura S.C.o.P.E. per permettere l'esecuzione del software in un ambiente parallelo. Tuttavia, a differenza degli elaborati MPI, il software è eseguibile anche su una macchina multicore locale.

DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO

In particolare l'algoritmo, implementato nel file *eLaborato_2.c*, consiste nel calcolo del prodotto matrice vettore in parallelo utilizzando le direttive e le clausole fornite da OpenMP.

Si è scelto di misurare i tempi di esecuzione nel thread 0 (master) usando la primitiva `omp_get_wtime()` prima e dopo il calcolo parallelo scegliendo il minimo tra 3 misurazioni ripetute.

Infine, si osservi che i controlli di robustezza del software sono stati interamente delegati al master thread.

INPUT, OUTPUT E CONDIZIONI DI ERRORE

- **Input:** la matrice e il vettore di cui effettuare il prodotto vettoriale, le loro dimensioni M , N e `dim_vett`.
- **Output:** il vettore risultato del prodotto vettoriale tra la matrice e il vettore.
- **Condizioni di errore:** la dimensione delle righe della matrice deve essere uguale al numero di colonne del vettore e devono essere interi positivi.

ESEMPIO DI FUNZIONAMENTO

Nell'immagine seguente vi è un esempio di funzionamento, con 4 processori, matrice di dimensione 7×8 e dimensione del vettore pari a 8.

```
%esempio di funzionamento
```

Esempio di funzionamento con 4 processori e dimensione della matrice 7x8

```

M63000769@ui-studenti~$ ./elaborati_open_mpi/elaborato_2
/mpi-v0_38/bin:/home/.../M63000769/bin
[Thread 0] Il programma sarà eseguito con 4 threads
[Thread 0] Matrice :
1.000000 1.000000 1.000000 1.000000 1.000000 1.000000 1.000000 1.000000
2.000000 2.000000 2.000000 2.000000 2.000000 2.000000 2.000000 2.000000
3.000000 3.000000 3.000000 3.000000 3.000000 3.000000 3.000000 3.000000
4.000000 4.000000 4.000000 4.000000 4.000000 4.000000 4.000000 4.000000
5.000000 5.000000 5.000000 5.000000 5.000000 5.000000 5.000000 5.000000
6.000000 6.000000 6.000000 6.000000 6.000000 6.000000 6.000000 6.000000
7.000000 7.000000 7.000000 7.000000 7.000000 7.000000 7.000000 7.000000
[Thread 0] Vettore :
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
3.1415926535897931
[Thread 0] Il vettore risultato è pari a
25.1327412287183449
50.2654824574366899
75.3982226861550206
100.5309649148733797
125.6637061435917389
150.7964473723100411
175.9291886010284429
Il tempo di esecuzione totale è stato di 0.0041790000032051 secondi.
M63000769@ui-studenti elaborato 2]$
M63000769@ui-studenti elaborato 2]$
M63000769@ui-studenti elaborato 2]$

```

ESEMPI DI ERRORE

Nelle successive immagini, invece, sono mostrati i messaggi di errore al verificarsi delle condizioni sopra citate.

%un esempio per ciascuna condizione di errore
errori

100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

Errore: le dimensioni dei dati di input non sono valori positivi

```
M63000769@ui-studenti~elaborati_open_mp/elaborato_2
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$ cat elaborato_2.out
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job is running on node(s):
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati_open_mp/elaborato_2
PBS: execution mode is PBS_BATCH
PBS: job identifier is 3929718.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_2
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3929718.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt
/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpiirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel
64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debu
gger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bi
n:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MPJExpress
/mpi-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
Errore! Le dimensioni dei dati di input non sono valori positivi.
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
```

Errore: le dimensioni non sono coerenti

```
M63000769@ui-studenti~elaborati_open_mp/elaborato_2
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$ cat elaborato_2.out
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job is running on node(s):
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati_open_mp/elaborato_2
PBS: execution mode is PBS_BATCH
PBS: job identifier is 3929719.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_2
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3929719.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt
/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpiirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel
64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debu
gger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bi
n:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MPJExpress
/mpi-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
Errore! Le dimensioni non sono coerenti
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
[M63000769@ui-studenti elaborato_2]$
```

ANALISI DELLE PRESTAZIONI (T(p), S(p), E(p))

Tempo di esecuzione - T(p)

Si è scelto di misurare i tempi di esecuzione usando la primitiva `omp_get_wtime()` prima e dopo il calcolo parallelo.

Si è scelto inoltre di considerare tre casi diversi che rappresentano le tre possibilità per le dimensioni della matrice: il caso in cui il numero di righe è maggiore numero di colonne, il caso in cui il numero di righe è minore del numero di colonne ed, infine, il caso in cui la matrice è quadrata.

Per ciascuno di questi tre casi è stato considerato il minimo tra 3 esecuzioni ripetute, eseguite in momenti diversi ed in particolare:

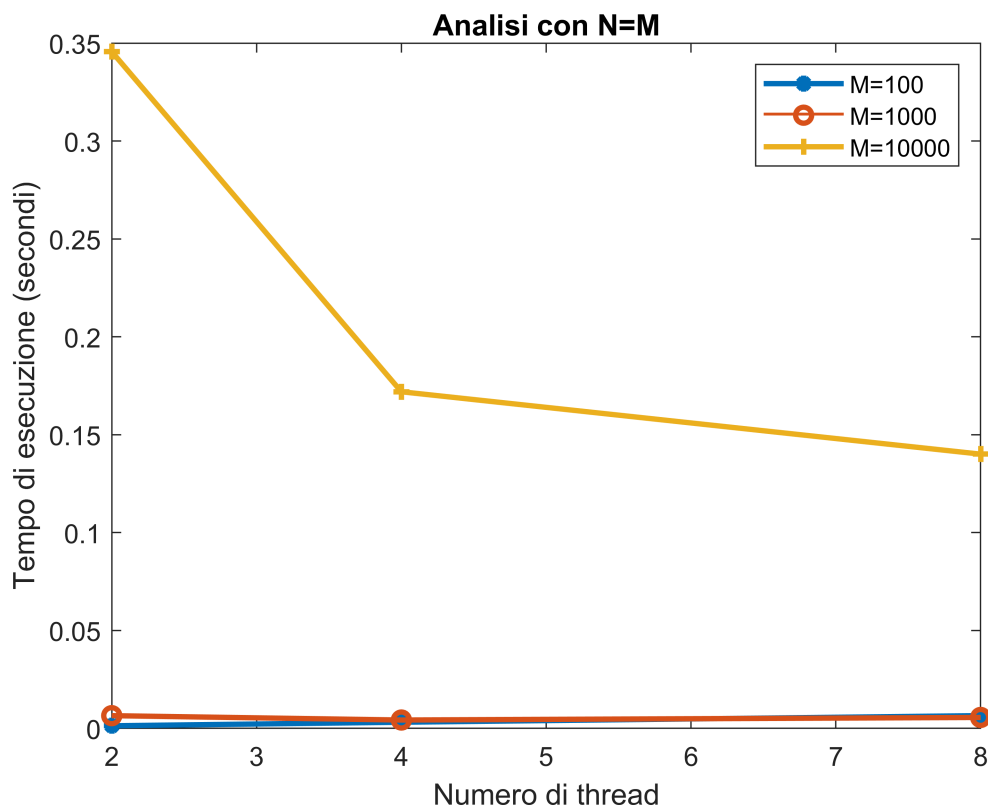
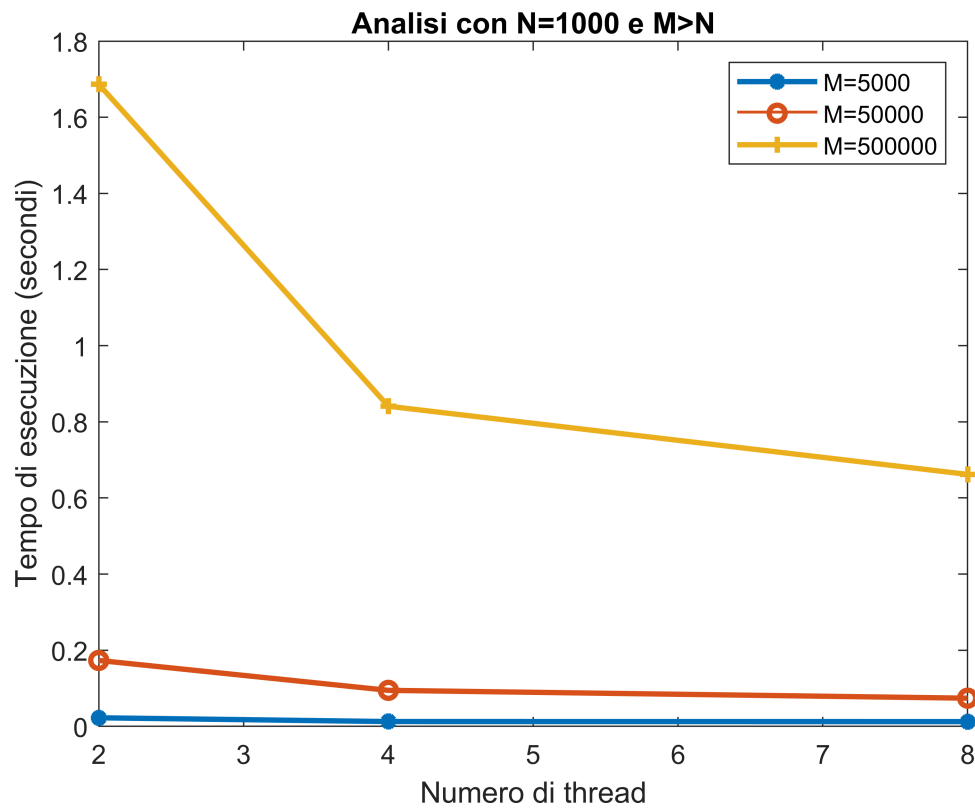
- quando il numero di righe M è maggiore del numero di colonne N si fa variare M da 5000 a 500000 con N fissato a 1000
- quando il numero di righe M è minore del numero di colonne N si fa variare N da 5000 a 500000 con M fissato a 1000
- quando la matrice è quadrata si fa variare M=N da 100 a 10000

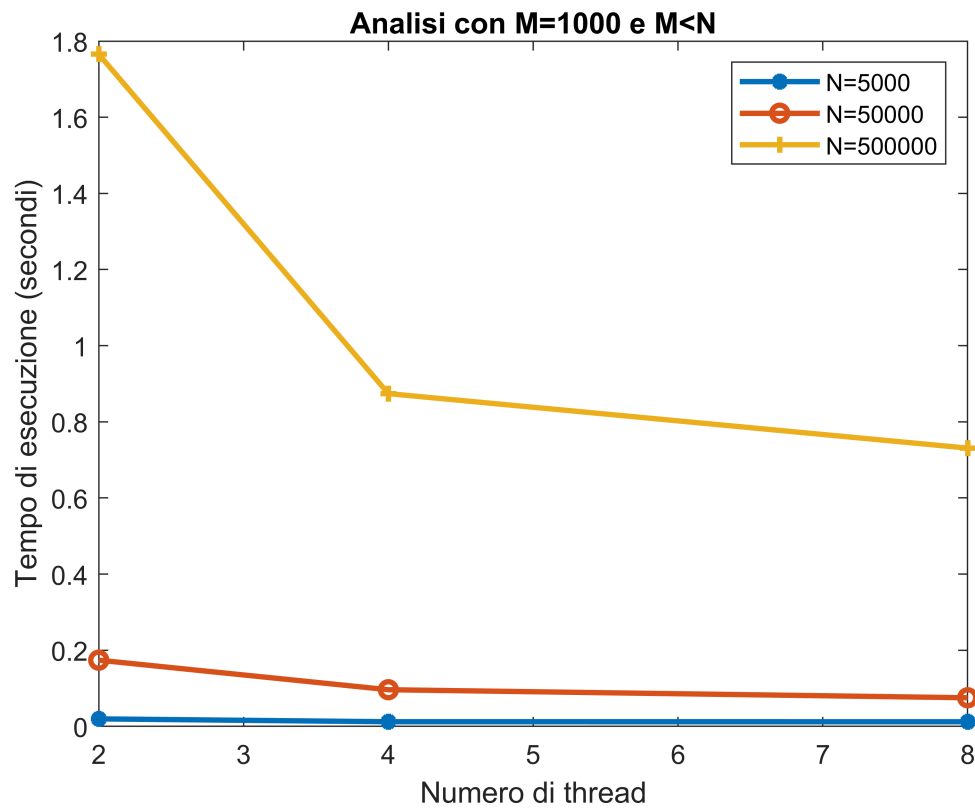
Si noti che nel caso di matrici quadrate si è scelta una diversa configurazione rispetto al caso di matrici sbilanciate data l'impossibilità di eseguire sul cluster il programma con dimensioni 50000 x 50000. Pertanto è parso ragionevole, solo nel caso di matrici quadrate, ridurre la dimensione massima.

I grafici e le tabelle riassumono i risultati ottenuti per tutti i possibili valori di M,N e p.

```
%esecuzione script per tabelle e grafici  
tempi
```

Tempi			
PROVA M>N	N=1000		
	5000	50000	500000
2	0,0226600000023609	0,1732849999971220	1,686645999987370
4	0,0127540000103181	0,09473300000053626	0,840965000000665
8	0,0125709999992978	0,0741370000032475	0,661951000001863
PROVA M=N			
	100	1000	10000
2	0,0013409999955911	0,00650600000051744	0,345633000004454
4	0,0031579999922542	0,00428300000020331	0,171935000000521
8	0,0065279999980703	0,00560000000040513	0,140079000004334
PROVA M<N	M=1000		
	5000	50000	500000
2	0,0197770000086166	0,1739700000003464	1,765531999990340
4	0,0122559999872465	0,096347999991849	0,8741030000009190
8	0,0121520000102464	0,075253999995766	0,730965999999898





Per considerazioni più di dettaglio su questi risultati si rimanda alla sezione Conclusioni.

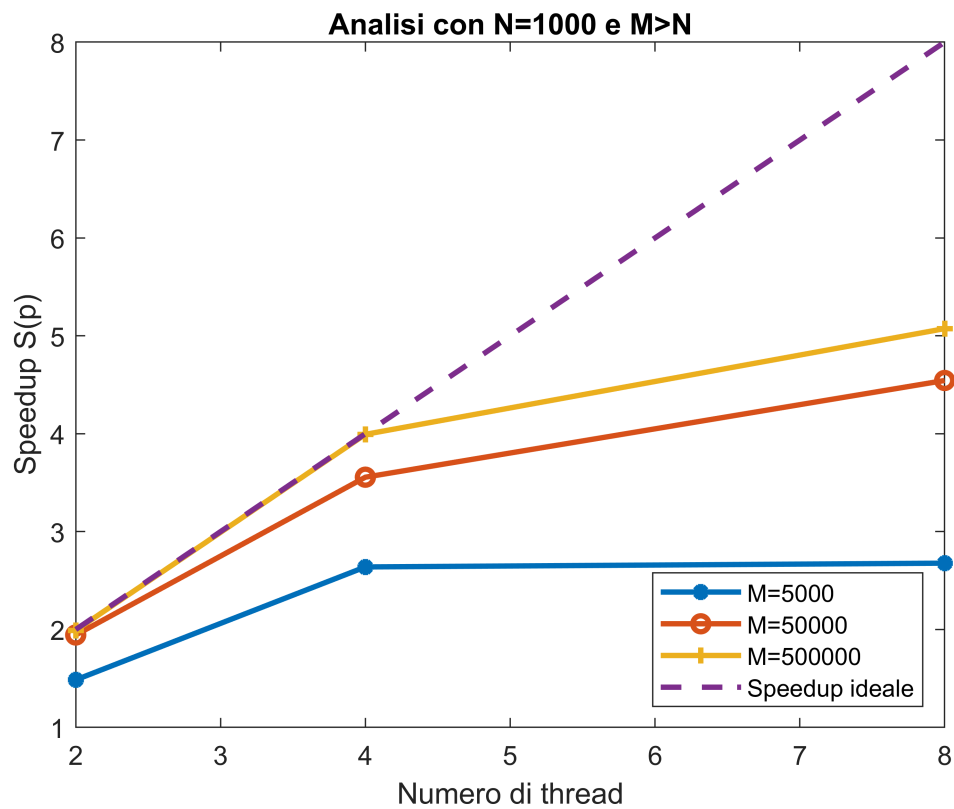
Speed up ed Efficienza - $S(p)$ ed $E(p)$

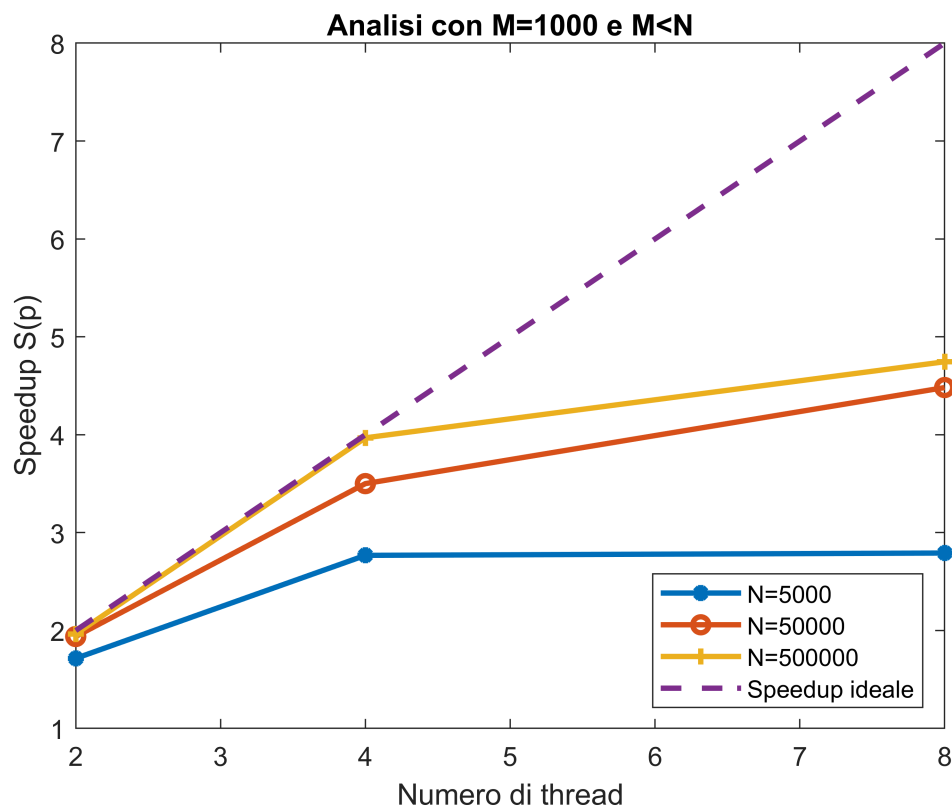
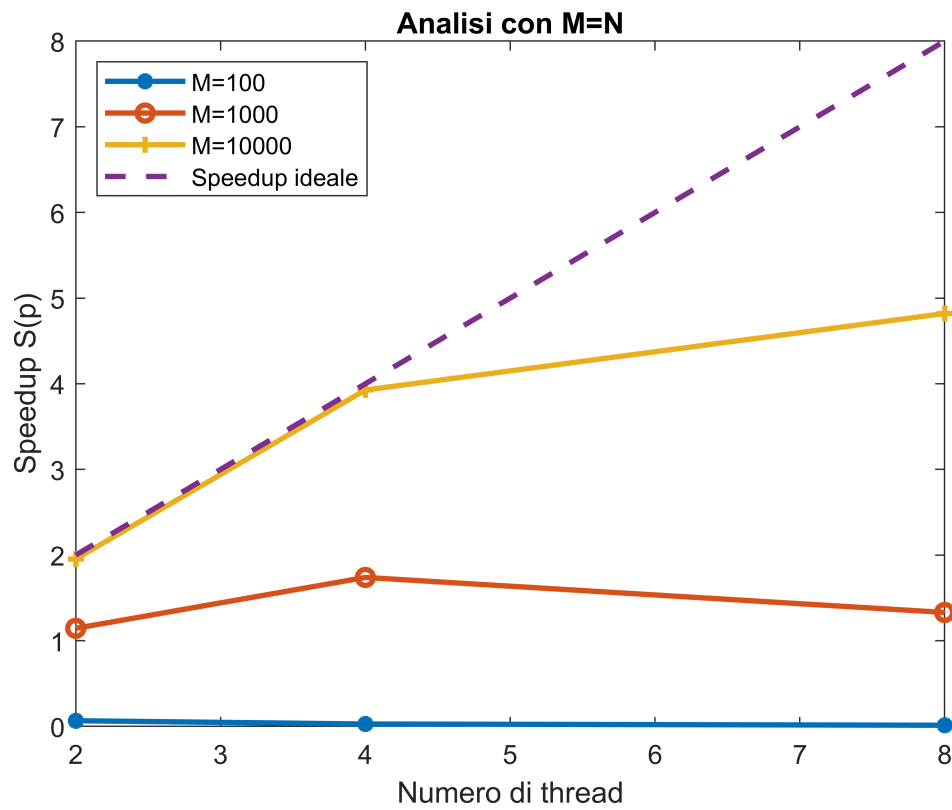
Si è calcolato, inoltre, il tempo di riferimento $T(1)$ che corrisponde al tempo di esecuzione su un processo single-thread.

A partire dai tempi misurati nella sezione precedente e da $T(1)$ è stato calcolato lo speed-up al variare di M , N e p .

```
%esecuzione script per tabelle e grafici
speedup
```

Speed up			
PROVA M>N	N=1000		
	5000	50000	500000
2	1,4855	1,9440	1,9911
4	2,6393	3,5559	3,9934
8	2,6777	4,5437	5,0734
PROVA M=N			
	100	1000	10000
2	0,0664	1,1449	1,9536
4	0,0282	1,7392	3,9272
8	0,0136	1,3302	4,8203
PROVA M<N	M=1000		
	5000	50000	500000
2	1,7152	1,9386	1,9646
4	2,7677	3,5005	3,9682
8	2,7914	4,4817	4,7452

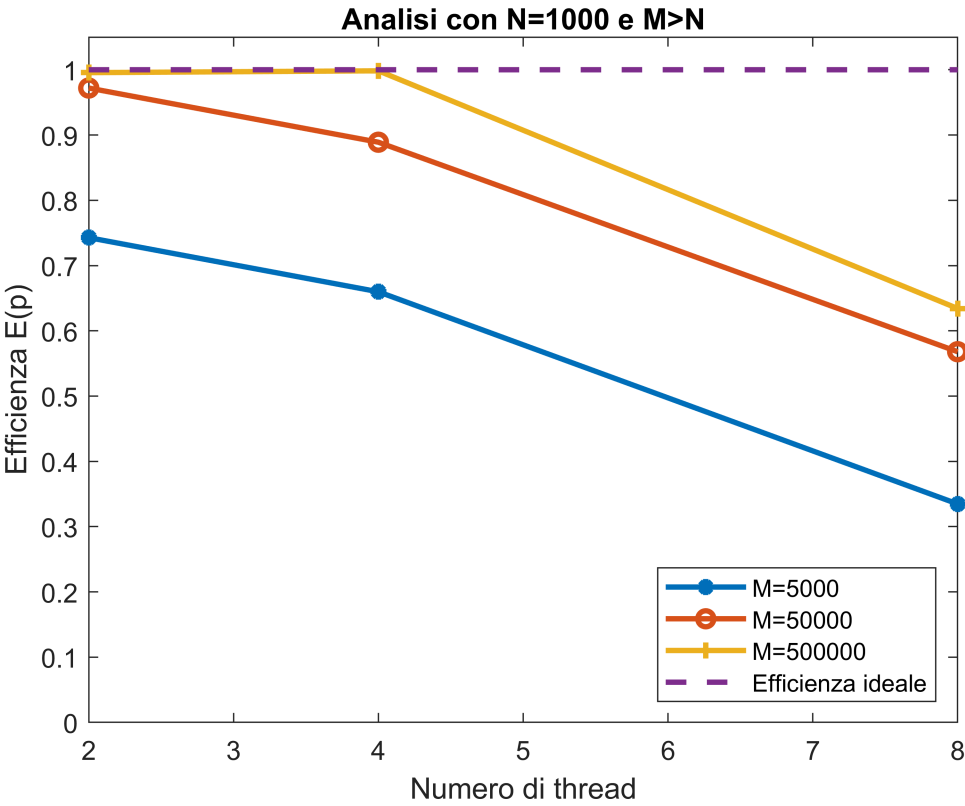


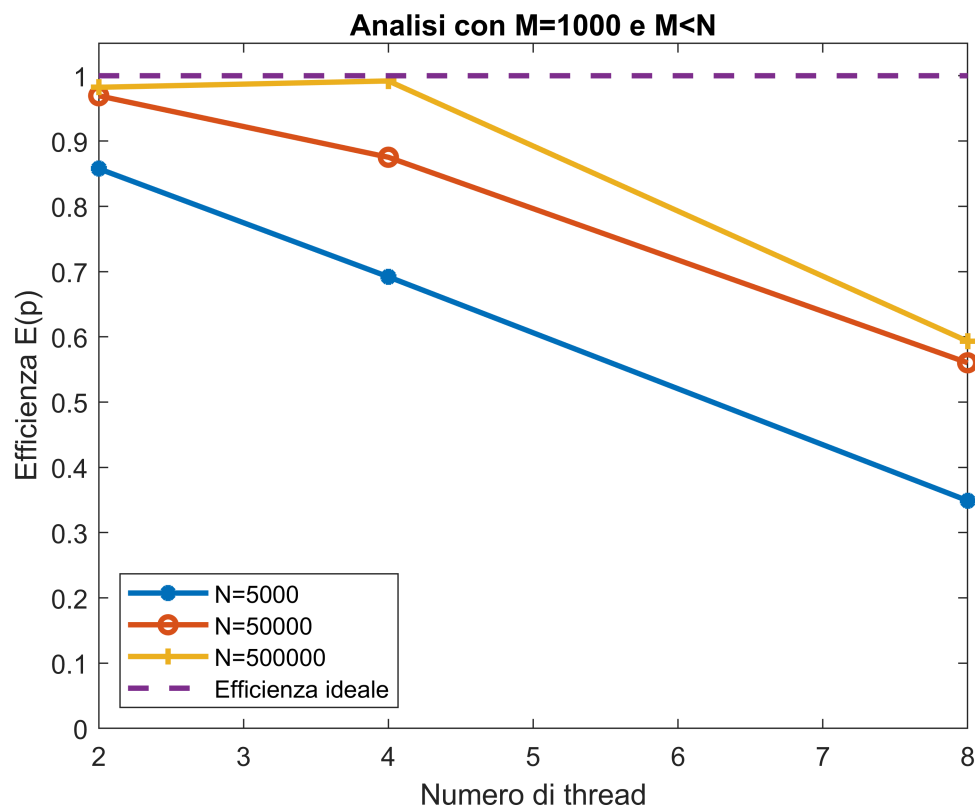
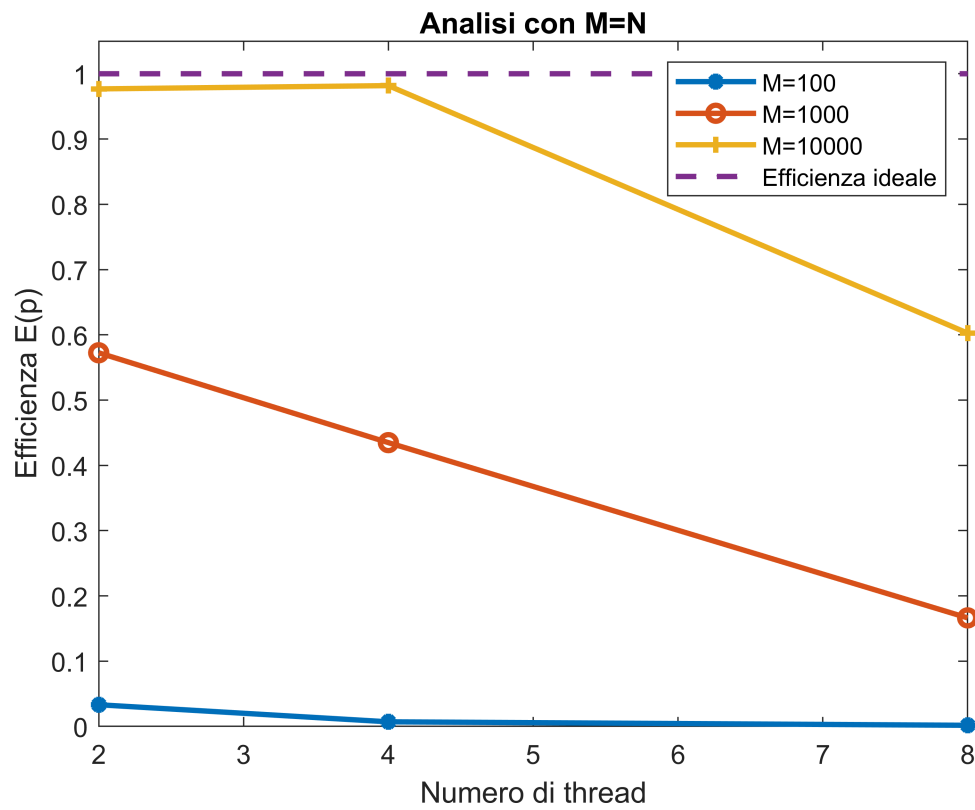


Infine si è calcolata l'efficienza rapportando lo speed-up $S(p)$ al numero di thread p .

%esecuzione script per tabelle e grafici
efficienza

Efficienza			
PROVA M>N	N=1000		
	5000	50000	500000
2	0,7427	0,9720	0,9956
4	0,6598	0,8890	0,9984
8	0,3347	0,5680	0,6342
PROVA M=N			
	100	1000	10000
2	0,0332	0,5725	0,9768
4	0,0070	0,4348	0,9818
8	0,0017	0,1663	0,6025
PROVA M<N	M=1000		
	5000	50000	500000
2	0,8576	0,9693	0,9823
4	0,6919	0,8751	0,9920
8	0,3489	0,5602	0,5932





Conclusioni

Dai grafici e dalle tabelle appena presentate si possono trarre considerazioni diverse nei tre casi prima citati:

- in tutte le configurazioni l'efficienza migliore si ha per 2 thread quando $M < 500000$ o $N < 500000$. Se $M = 500000$ o $N = 500000$ invece il numero ottimo di thread risulta pari a 4.
- l'efficienza risulta complessivamente maggiore nella configurazione in cui $M > N$
- se $M = N$ l'efficienza degrada rapidamente all'aumentare del numero di thread date le dimensioni ridotte del problema.

Si possono fare ulteriori considerazioni notando che, per una dimensione fissata del problema, l'efficienza peggiora dopo un certo valore di p (ciò verifica sperimentalmente la legge di Amdahl), e che, in generale, all'aumentare sia della dimensione del problema che di p , l'efficienza migliora (verificando la legge di Gustafson).

Analoghe considerazioni per i tempi e lo speedup.

ANALISI DELL' ACCURATEZZA

Confrontando il risultato ottenuto sul cluster Scope e quello ottenuto su MATLAB si ottiene il seguente errore relativo (tramite il comando `norm`), fissando a 4 il numero di thread con dimensione della matrice pari a 7×8 .

In particolare, nel test seguente, sono stati usati un vettore e una matrice inizializzati nel modo seguente

$$\text{matrice}[i][j] = \pi * (i + 1)$$

$$\text{vettore}[i] = 1$$

```
%esecuzione script per i test di accuratezza
accuratezza
```

```
risultato_scope = 7x1
102 x
    0.251327412287183
    0.502654824574366
    0.753982236861550
    1.005309649148730
    1.256637061435910
    1.507964473723100
    1.759291886010280
risultato_matlab = 7x1
102 x
    0.251327412287183
    0.502654824574367
```

```
0.753982236861550
1.005309649148734
1.256637061435917
1.507964473723100
1.759291886010284
errore_relativo =
    3.210969507161735e-15
```