Summer School on PARALLEL COMPUTING

Soluzioni

OpenMP

Cristiano Padrin (c.padrin@cineca.it)
Neva Besker (n.besker@cineca.it)

CINECA

1. Accedere a Marconi con le credenziali assegnate:
   `ssh username@login.marconi.cineca.it`

2. Scaricare dal repository il file `OpenMP_Exercises.tar.gz`:

3. Decomprimere il file:
   `tar -xzvf OpenMP_Exercises.tar.gz`

4. Accedere, nella cartella appena decompressa, al percorso:
   `OpenMP_Exercises/C`
   oppure
   `OpenMP_Exercises/Fortran`
   a seconda del linguaggio di programmazione preferito.

5. Caricare il modulo intel:
   `module load intel`

Esercizio 1

Hello world!

To do:

(1) Compilare e lanciare “**Hello world**”.

(2) Se si riscontrano errori, correggerli.

(3) Lanciare l’eseguibile varie volte con valore di OMP_NUM_THREADS differenti

1. Accedere alla cartella **`Hello`**.

2. Compilare il file `hello.<ext>` senza aggiungere alcuna opzione:
   ```
   icc hello.c -o hello_s.exe
   ```
   oppure
   ```
   ifort hello.F90 -o hello_s.exe
   ```

3. Lanciare l'eseguibile appena generato:
   ```
   ./hello_s.exe
   ```
   per ottenere il messaggio dal codice seriale.

4. Ricompilare il file aggiungendo l'opzione di compilazione per OpenMP:
   ```
   icc -qopenmp hello.c -o hello_p.exe
   ```
   oppure
   ```
   ifort -qopenmp hello.F90 -o hello_p.exe
   ```

5. Lanciare l'eseguibile appena generato:
   ```
   ./hello_p.exe
   ```
   per ottenere il messaggio dal codice parallelo.

1. Quanti messaggi sono stati ottenuti?
2. Il numero di messaggi è quello atteso?
3. I messaggi sono corretti?
4. Cosa c'è che non va?
5. Aprire il file `hello.<ext>` con un editor; ad esempio:
   ```
   vi hello.c
   ```
   oppure
   ```
   vi hello.F90
   ```
6. Correggere, salvare e ricompilare il file con l'opzione di compilazione per OpenMP.
7. Lanciare l'eseguibile appena generato:
   ```
   ./hello_p.exe
   ```
   per ottenere il messaggio dal codice parallelo.

hello.c

```
#include <stdio.h>
#ifdef _OPENMP
#include <omp.h>
#endif

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

#ifdef _OPENMP
        int We_are_in;
        int Who_am__I;
        #pragma omp parallel
  { /*  The parallel block starts here  */
        We_are_in = omp_get_num_threads();
        Who_am__I =  omp_get_thread_num();
        #pragma omp critical
        printf("Hello from thread %d of %d\n", Who_am__I, We_are_in);

  } /*  The parallel block ends here    */

#else
    /*  The serial block starts here    */
        printf("Hello, this is a serial program.\n");
        printf("I am alone.... :(\n");
    /*  The serial block ends here      */
#endif

    return 0;
}
```

hello.F90

```
Program Hello
#ifdef _OPENMP
      use omp_lib
#endif

      implicit none
      integer :: We_are_in, Who_am__I

#ifdef _OPENMP
!$omp parallel
!     The parallel block starts here
      We_are_in = omp_get_num_threads()
      Who_am__I =  omp_get_thread_num()
!$omp critical
      write(*,*) 'Hello from thread ', Who_am__I, ' of ', We_are_in
!$omp end critical
!     The parallel block ends here
!$omp end parallel
#else
!     The serial block starts here
      write(*,*) 'Hello, this is a serial program.'
      write(*,*) 'I am alone.... :('
!     The serial block ends here
#endif
end program Hello
```

1. Ora va meglio?
2. Quanti messaggi sono stati ottenuti?
3. Il numero di messaggi è quello atteso?
4. Verificare il valore della variabile d'ambiente OMP_NUM_THREADS:
   ```
   echo $OMP_NUM_THREADS
   ```
5. Cosa c'è che non va?
6. Impostare il valore per la variabile d'ambiente OMP_NUM_THREADS:
   ```
   export OMP_NUM_THREADS=4          [oppure 8, 16, 32 o 64]
   ```
7. Lanciare l'eseguibile generato in precedenza:
   ```
   ./hello_p.exe
   ```
   per ottenere il messaggio dal codice parallelo.
8. Ora va meglio?

Esercizio 2

Prodotto tra matrici

To do:

(1) Compilare e lanciare il codice seriale del prodotto **Matrice-Matrice**:
l'eseguibile va lanciato dichiarando la taglia della matrice;
ad esempio: `./MM.exe 100 .`

(2) Prendere nota del tempo impiegato.

(3) Parallelizzare il ciclo principale del codice seriale.

(4) Confrontare i tempi della versione seriale e parallela.

(5) Ripetere il confronto compilando con -O0 ed scegliendo 1000 per la taglia.

MM.c

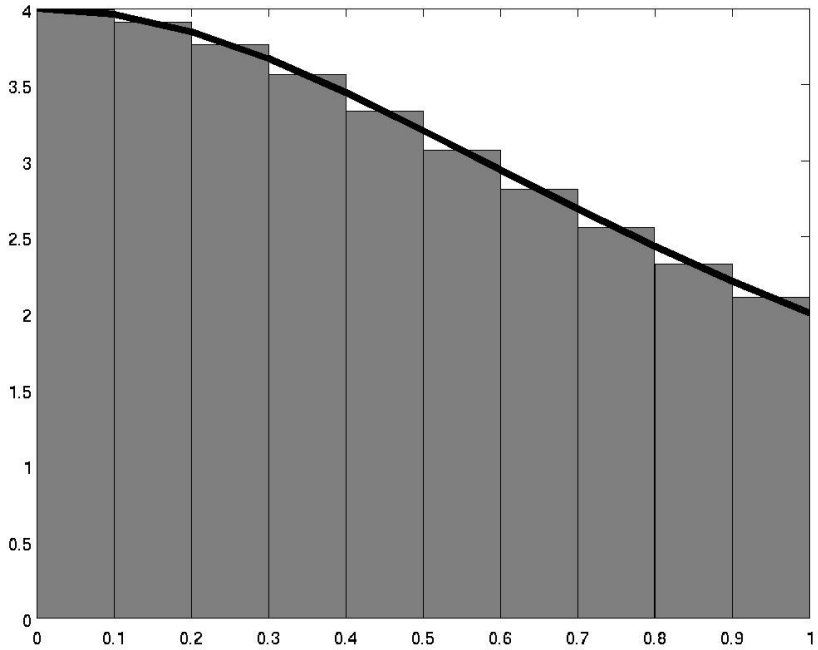
```
#include <stdio.h>
      …

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

      time_t time1 = clock();

      for (i=0; i<n; i++)
        for (k=0; k<n; k++)
          for (j=0; j<n; j++)
            c[i][j] += a[i][k]*b[k][j];

      time2 = (clock() - time1) / (double)CLOCKS_PER_SEC;

      …

}
```

MM.F90

```
Program MM
      …

      real :: time1, time2

      …

      call cpu_time(time1)

      do j = 1,n
        do k = 1,n
          do i = 1,n
            c(i,j) = c(i,j) + a(i,k)*b(k,j)
          end do
        end do
      end do

      call cpu_time(time2)

      …

end program MM
```

Esercizio 3

Calcolo di π



To do:

(1) Compilare e lanciare il codice seriale del calcolo di π.

(2) Prendere nota del tempo impiegato.

(3) Parallelizzare il ciclo principale del codice seriale.

(4) Confrontare i tempi della versione seriale e parallela.

(5) Ripetere il confronto compilando con -O0 e variando il numero di threads.

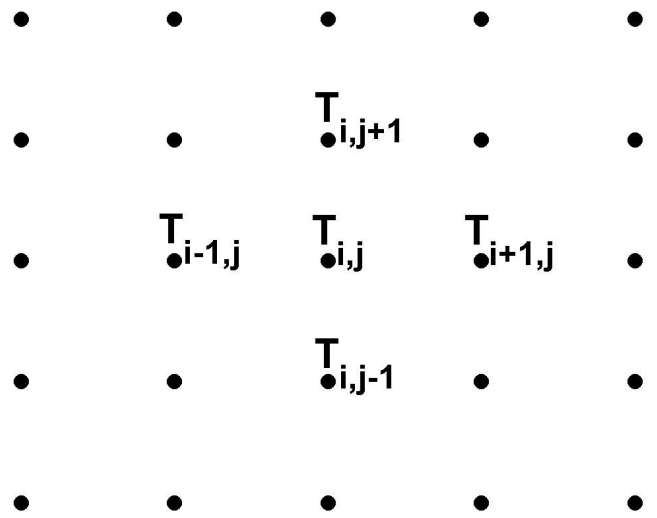
pi.c

```
#include <stdio.h>
      …

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

      time_t time1 = clock();

      …

      for (i=1; i<=intervals; i++) {
         x = dx * ((double)(i - 0.5));
         f = 4.0 / (1.0 + x*x);
         sum = sum + f;
      }

      time2 = (clock() - time1) / (double)CLOCKS_PER_SEC;

      …

}
```

pi.F90

```
program pigreco

      …

      real :: time1, time2
      call cpu_time(time1)

      …

      do i = 1,intervals
        x = dx*(i-0.5d0)
        f = 4.d0/(1.d0+x*x)
        psum = psum + f
      end do

      …

      call cpu_time(time2)

      …

end program pigreco
```

Esercizio 4
Laplace (v1)



To do:

(1) Compilare e lanciare il codice seriale del calcolo del Laplace.

(2) Prendere nota del tempo impiegato.

(3) Parallelizzare il ciclo principale del codice seriale.

(4) Confrontare i tempi della versione seriale e parallela.

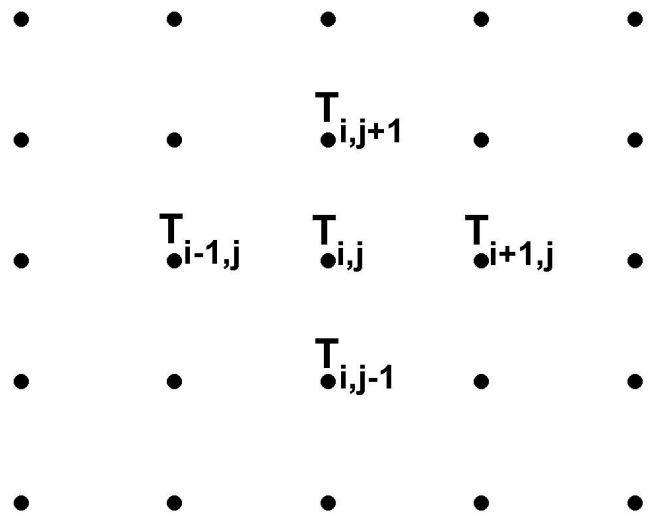
laplace.c

```
#include <stdio.h>
      …
int main()
{
      …
   time_t startTime = clock();
      …
   while(var > tol && iter <= maxIter) {
      ++iter;
      Var = 0.0;
      for (i=1; i<=n; i++)
        for (j=1; j<=n; j++) {
           Tnew[i*n2+j] = 0.25*(
                        T[(i-1)*n2+j] + T[(i+1)*n2+j]
                      + T[i*n2+(j-1)] + T[i*n2+(j+1)] );
            var = fmax(var, fabs(Tnew[i*n2+j] - T[i*n2+j]));
         }
     Tmp=T; T=Tnew; Tnew=Tmp;
     if (iter%100 == 0)
       printf("iter: %8u, variation = %12.41E\n", iter, var);
   }
      …
   endTime = (clock() - startTime) / (double)CLOCKS_PER_SEC;
      …
}
```

laplace.F90

```
…
call cpu_time(startTime)
…
T(0:n,0:n) = 0.d0
T(n+1,1:n) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))
T(1:n,n+1) = (/ (i, i=1,n) /) * (top / (n+1))

Tnew = T

do while (var > tol .and. iter <= maxIter)
   iter = iter + 1
   var = 0.d0
   do j = 1, n
      do i = 1, n
         Tnew(i,j) = 0.25d0 * ( T(i-1,j) + T(i+1,j) + T(i,j-1) + T(i,j+1) )
         var = max(var, abs( Tnew(i,j) - T(i,j) ))
      end do
   end do
   Tmp =>T; T =>Tnew; Tnew => Tmp;
   if( mod(iter,100) == 0 ) write(*,"(a,i8,e12.4)") &
      ' iter, variation:', iter, var
end do
…
call cpu_time(startTime)
…
```

Esercizio 5
Laplace (v2)



To do:

(1) Copiare il precedente file Laplace.

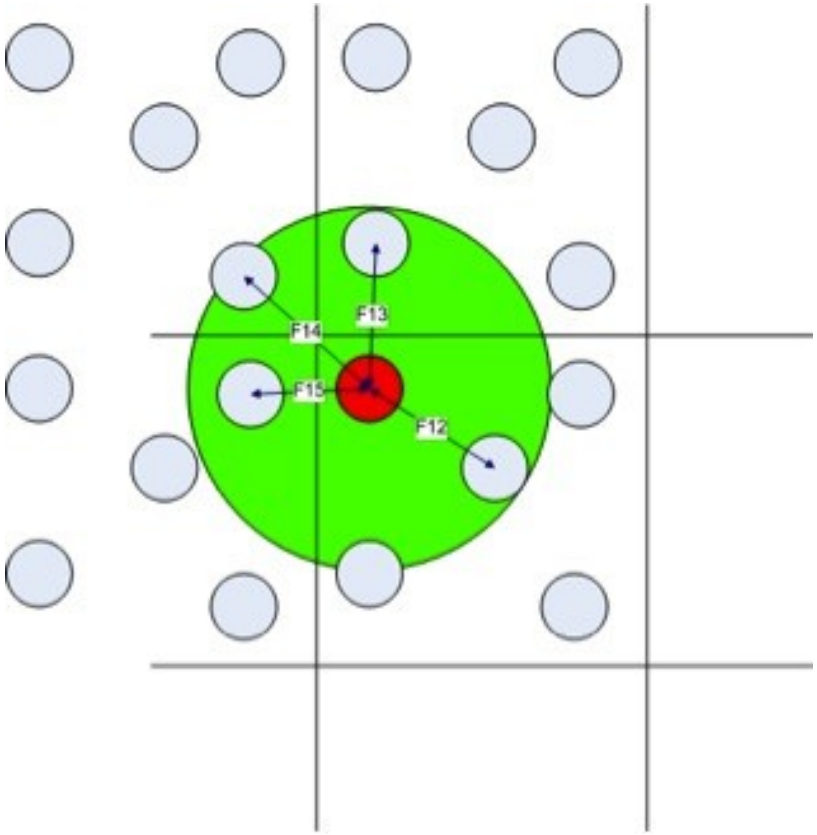
(2) Parallelizzare il ciclo while esterno al ciclo principale.

(3) Confrontare i tempi delle due versioni.

(4) FAC: introdurre il costrutto `workshare` nell'ultima versione (solo Fortran).

Esercizio 6

N-body



To do:

(1) Compilare e lanciare il codice seriale:

```
icc -O3 -DDIM=55000 Nbody.c -o Nbody_ser.exe
```

(2) Parallelizzare il codice seriale aggiornando le forze atomicamente.

(3) Parallelizzare il codice seriale aggiornando le forze con una riduzione.

(4) Provare differenti schemi tramite `schedule` e valutare le prestaioni.

Nbody.c

```
#include <stdio.h>
      …
        for(i=0; i<nbodies; ++i)
            for(j=i+1; j<nbodies; ++j)
        {
                d2 = 0.0;
                for(k=0; k<3; ++k)
                {
                    rij[k] = pos[i][k] - pos[j][k];
                       d2 += rij[k]*rij[k];
                }
                if (d2 <= cut2)
                {
                     d = sqrt(d2);
                    d3 = d*d2;
                    for(k=0; k<3; ++k)
                    {
                       double f = -rij[k]/d3;
                       forces[i][k] += f;
                       forces[j][k] -= f;
                    }
                    ene += -1.0/d;
                }
        }
      …
}
```

Nbody.F90

```
program Nbody
   …

   do i = 1, DIM
      do j = i+1, DIM
         rij(:) = pos(:,i) - pos(:,j)
         d2 = 0.d0
         do k = 1, 3
            d2 = d2 + rij(k)**2
         end do
         if (d2 .le. cut2) then
            d = sqrt(d2)
            f(:) = - 1.d0 / d**3 * rij(:)
            forces(:,i) = forces(:,i) +  f(:)
            forces(:,j) = forces(:,j) -  f(:)
            ene = ene + (-1.d0/d)
         end if
      end do
   end do

    …
end program Nbody
```