

# Laboratorio didattico di matematica computazionale

Beatrice Meini

Lezione 9 - 22/5/2013

## 1 Calcolo di integrali mediante il metodo dei trapezi

Ci poniamo il problema di calcolare il valore dell'integrale

$$\int_a^b f(x)dx$$

dove  $f(x) : R \rightarrow R$  è continua nell'intervallo  $[a, b]$ .

Il metodo dei trapezi consiste nel suddividere l'intervallo  $[a, b]$  in  $N$  sottointervalli  $[t_i, t_{i+1}]$ , con  $t_i = a + (i-1)h$ ,  $i = 1, \dots, N+1$ , di ampiezza  $h = (b-a)/N$  e nell'approssimare l'integrale in ciascun sottointervallo come l'area del trapezio di altezza  $t_{i+1} - t_i = h$ , e le cui basi sono il segmento di estremi  $(t_i, 0)$ ,  $(t_i, f(t_i))$  e il segmento di estremi  $(t_{i+1}, 0)$ ,  $(t_{i+1}, f(t_{i+1}))$ . La formula di approssimazione che ne deriva è la seguente:

$$\int_a^b f(x)dx \approx h \left( \frac{f(a) + f(b)}{2} + \sum_{j=1}^{N-1} f(a + jh) \right), \quad (1)$$

dove  $h = (b-a)/N$ .

*Esercizio 1.* Si scriva una function **S=trapezi(f, a, b, N)** che approssima l'integrale con la formula (1), prendendo in input la funzione **f**, gli estremi di integrazione **a, b**, il numero dei sottointervalli **N**, e dando in output l'approssimazione **S** dell'integrale. *Attenzione:* per valutare la funzione **f** in un punto, all'interno della function **trapezi** occorre usare l'istruzione **feval**; ad esempio per calcolare  $f(a)$  si deve dare il comando **feval(f, a)**.

Per verificare la correttezza dell'implementazione calcoliamo

$$\int_0^1 e^x dx$$

mediante la function **trapezi**:

```
octave:4> format long e
octave:8> S=trapezi(@exp,0,1,100)
S = 1.71829614745042e+00
octave:9> S-(exp(1)-exp(0))
```

```

ans = 1.43189913719421e-05
octave:6> S=trapezi(@exp,0,1,1000)
S = 1.71828197164920e+00
octave:7> S-(exp(1)-exp(0))
ans = 1.43190151069561e-07
octave:10> S=trapezi(@exp,0,1,10000)
S = 1.71828182989095e+00
octave:11> S-(exp(1)-exp(0))
ans = 1.43190215240452e-09

```

Si osserva che l'accuratezza del risultato cresce con il numero  $N$  delle suddivisioni. Possiamo verificare sperimentalmente che l'errore converge a zero come  $h^2$  scrivendo il seguente script:

```

# Visualizza la decrescita errore nel metodo dei Trapezi
for k=1:15;
    err(k) = abs(exp(1)-1-trapezi(@exp,0,1,2^k));
end
loglog(1./2.^[1:15],err,'x-');
title('Metodo dei trapezi, f(x) = exp(x)');
xlabel('Ampiezza h dei sottointervalli');
ylabel('Errore');

```

*Esercizio 2.* Si calcoli mediante la function `trapezi` l'integrale

$$\int_0^1 \left( \frac{1}{(x-0.3)^2 + 0.01} + \frac{1}{(x-0.9)^2 + 0.04} - 6 \right) dx$$

scegliendo  $N$  opportunamente grande, in modo che il valore approssimato dell'integrale non cambi nelle prime 5 cifre significative.

## 2 Calcolo di integrali mediante il metodo di Simpson

Un'alternativa al metodo dei trapezi è il metodo di Simpson composto, che consiste ancora nel suddividere l'intervallo  $[a, b]$  in  $N$  sottointervalli  $[t_i, t_{i+1}]$ , con  $t_i = a + (i-1)h$ ,  $i = 1, \dots, N+1$ , di ampiezza  $h = (b-a)/N$ , dove  $N$  è pari. In ciascun sottointervallo l'integrale viene approssimato mediante l'integrale di un opportuno polinomio di grado 2 (per maggiori dettagli si cerchi su Wikipedia "Simpson's rule"). La formula di approssimazione risultante è:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left( f(a) + f(b) + 2 \sum_{j=1}^{N/2-1} f(a+2jh) + 4 \sum_{j=1}^{N/2} f(a+(2j-1)h) \right), \quad (2)$$

dove  $h = (b-a)/N$ .

*Esercizio 3.* Si scriva una function `S=simpson(f, a, b, N)` che approssima l'integrale con la formula (2).

Per verificare la correttezza dell'implementazione calcoliamo come prima

$$\int_0^1 e^x dx$$

```

octave:25> S=simpson(@exp,0,1,100)
S = 1.71828182855450e+00
octave:26> S-(exp(1)-exp(0))
ans = 9.54585299695054e-11
octave:27> S=simpson(@exp,0,1,1000)
S = 1.71828182845906e+00
octave:28> S-(exp(1)-exp(0))
ans = 1.08801856413265e-14

```

Si osserva che il metodo di Simpson, a parità di  $N$ , è più accurato del metodo dei trapezi.

*Esercizio 4.* Si visualizzi graficamente, come è stato fatto per il metodo dei trapezi, la decrescita dell'errore in funzione di  $h$ .

*Esercizio 5.* Si calcoli l'integrale dell'Esercizio 2 con il metodo di Simpson. Quale valore di  $N$  si deve scegliere per ottenere la stessa accuratezza del metodo dei trapezi?

### 3 Calcolo di integrali mediante la function quad

La funzione `quad` di Octave permette di approssimare l'integrale di funzioni  $f: R \rightarrow R$ . L'uso più elementare consiste nel definire una function  $y=f(x)$  che rappresenta la funzione integranda, e nel dare l'istruzione `y=quad(@f, a, b)`, dove  $a$  e  $b$  sono gli estremi dell'intervallo d'integrazione:  $a$  e  $b$  possono essere reali, oppure infinito (`Inf`) o meno infinito (`-Inf`).

*Esercizio 6.* Utilizzando la funzione `quad`, si calcoli

$$\int_0^{\infty} e^{-x^2} dx.$$

Si calcoli l'errore dell'approssimazione, sapendo che il valore esatto è  $\pi^{1/2}/2$ .

*Esercizio 7.* [Integrale di Fresnel] Consideriamo le funzioni

$$x(t) = \int_0^t \cos(u^2) du, y(t) = \int_0^t \sin(u^2) du.$$

Si disegni il grafico della curva  $(x(t), y(t))$ , con  $t \in [-4\pi, 4\pi]$ , calcolando l'integrale con la funzione `quad`.

*Esercizio 8.* Si usino le function `trapezi`, `simpson` e `quad` per calcolare il valore di  $\pi$  approssimando l'integrale

$$\pi = \int_{-1}^1 \frac{2}{1+x^2} dx$$

Quale valore di  $N$  occorre per avere per avere le prime 6 cifre esatte con `trapezi` e `simpson`? Qual è l'errore dell'approssimazione ottenuta con `quad`?

### 4 Esercizi da inviare al docente

Inviare per e-mail, con subject "LDMC: cognome/nome":

1. La figura ottenuta nell'Esercizio 7
2. Le functions `trapezi` e `simpson`.
3. Il valore di  $N$  ottenuto all'Esercizio 8, applicando `trapezi` e `simpson`.