

# Analisi Matematica 2 e Complementi

## Soluzioni prova scritta n. 1

Corso di studio in Ingegneria Chimica, Elettrica ed Energetica  
a.a. 2009-2010

5 giugno 2010

1. Si consideri la successione di funzioni

$$f_k(x) = x^2 \operatorname{arctg}(kx).$$

Trovare il limite puntuale. Dimostrare che su tutto  $\mathbb{R}$  non c'è convergenza uniforme. Dimostrare che c'è convergenza uniforme sugli intervalli limitati  $[-M, M]$ .

*Soluzione.* Per calcolare il limite bisogna distinguere in base al segno di  $x$ . Si trova infatti

$$f(x) = \lim_{k \rightarrow \infty} f_k(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{2}x^2 & \text{se } x \geq 0 \\ -\frac{\pi}{2}x^2 & \text{se } x \leq 0. \end{cases}$$

Per quanto riguarda la convergenza uniforme, osserviamo che

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} |f_x(x) - f(x)| &= \lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 \left( \operatorname{arctg}(kx) - \frac{\pi}{2} \right) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\operatorname{arctg}(kx) - \frac{\pi}{2}}{\frac{1}{x^2}} \\ &\stackrel{(H)}{=} \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{k}{1+k^2x^2}}{-\frac{2}{x^3}} = -\infty \end{aligned}$$

e quindi non ci può essere convergenza uniforme su tutto  $\mathbb{R}$ .

Consideriamo ora la convergenza nell'intervallo limitato  $[-M, M]$ . Osserviamo innanzitutto che per motivi di simmetria possiamo considerare solo l'intervallo  $[0, M]$ . In tal caso si può stimare

$$\begin{aligned} g(x) &= |f(x) - f_k(x)| = x^2 \left( \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}(kx) \right) \\ &\leq \begin{cases} \frac{1}{k} \frac{\pi}{2} & \text{se } 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt{k}} \\ M^2 \left( \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{k} \right) & \text{se } \frac{1}{\sqrt{k}} \leq x \leq M \end{cases} \end{aligned}$$

e vediamo quindi che c'è convergenza uniforme, visto che entrambe le espressioni, nell'ultima disuguaglianza, tendono a zero in  $k$  e non dipendono da  $x$ .

2. Dopo aver disegnato l'insieme

$$D = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2: |x| + |y| \leq 1\}$$

trovare il valore massimo e minimo assunti su  $D$  dalla funzione

$$f(x, y) = x^2 + y^3.$$

*Soluzione.* L'insieme è un quadrato di vertici  $(\pm 1, 0)$ ,  $(0, \pm 1)$ . Innanzitutto cerchiamo eventuali punti critici interni a  $D$ . Si ha

$$f_x = 2x, \quad f_y = 3y^2$$

dunque l'unico punto critico è il punto  $(0, 0)$  che effettivamente è interno al dominio  $D$ . Osserviamo però che  $f(0, y) = y^3$  non ha né massimo né minimo in  $0$ . Dunque  $(0, 0)$  non è né massimo né minimo.

Guardiamo ora cosa succede sui lati del quadrato  $D$ . Osserviamo innanzitutto che la funzione è simmetrica rispetto all'asse delle  $y$ , e dunque basterà considerare i due lati contenuti nel semipiano  $x \geq 0$ .

Sul lato  $y = 1 - x$ ,  $x \in [0, 1]$  si ha

$$g(x) = f(x, 1 - x) = x^2 + (1 - x)^3$$

da cui

$$g'(x) = 2x - 3(1 - x)^2 = -(3x^2 - 8x + 3)$$

che si annulla nei punti

$$x_{12} = \frac{4 \pm \sqrt{7}}{3}$$

ed è positiva per valori compresi tra  $x_1$  e  $x_2$ . Osserviamo ora che  $x_1 \in (0, 1)$  mentre  $x_2 > 1$ . Dunque  $x_1$  è un punto di locale per  $g(x)$ . Notiamo però che  $g(x) \geq 0$  per ogni  $x \in [0, 1]$  in quanto  $x^2 \geq 0$  e  $1 - x \geq 0$ . Dunque  $f(x_1, 1 - x_1) \geq 0$  non può essere un minimo assoluto in quanto si ha  $f(0, -1) = -1 < 0$ . I valori  $g(0) = f(0, 1) = 1$  e  $g(1) = f(1, 0) = 1$  sono invece candidati massimi.

Sul lato  $y = x - 1$ ,  $x \in [0, 1]$  si ha

$$h(x) = f(x, x - 1) = x^2 + (x - 1)^3$$

e quindi

$$h'(x) = 2x + 3(x - 1)^2 = 3x^2 - 4x + 3.$$

Calcolando il discriminante del polinomio di secondo grado si osserva che  $h'(x) \geq 0$  per ogni  $x$ . Dunque la funzione  $h(x)$  sull'intervallo  $[0, 1]$  ha minimo in  $x = 0$  e massimo in  $x = 1$ . I corrispondenti valori sono  $f(0, -1) = h(0) = -1$  e  $f(1, 0) = h(1) = 1$ .

In conclusione il valore massimo assunto da  $f$  su  $D$  si ha nei punti  $(\pm 1, 0)$  e  $(0, 1)$  ed è 1. Il valore minimo si ha nel punto  $(0, -1)$  ed è  $-1$ .

3. Disegnare sul piano complesso la curva

$$\gamma(t) = \sin t - i \sin(2t), \quad t \in [-\pi, \pi]$$

e calcolare l'integrale

$$\int_{\gamma} \frac{1}{4z^2 - 1} dz.$$

*Soluzione.* La funzione olomorfa

$$f(z) = \frac{1}{4z^2 - 1}$$

ha due poli semplici nei punti  $z = \pm \frac{1}{2}$ . Studiando la parte reale ed immaginaria della curva  $\gamma$  si riesce a capire che tale curva ha la forma di un "otto" che compie un giro in senso antiorario intorno al polo  $z = \frac{1}{2}$  e compie un giro in senso orario intorno al polo  $z = -\frac{1}{2}$ . Dunque si ha

$$\int_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i (\text{Res}(f, \frac{1}{2}) - \text{Res}(f, -\frac{1}{2})).$$

È poi facile calcolare

$$\text{Res}(f, \pm \frac{1}{2}) = \frac{1}{8z} \Big|_{z=\pm \frac{1}{2}} = \pm \frac{1}{4}.$$

In conclusione l'integrale richiesto vale  $2\pi i (\frac{1}{4} + \frac{1}{4}) = \pi i$ .

4. Sia  $y(t)$  la soluzione del problema di Cauchy

$$\begin{cases} y'''(t) + y''(t) = t^2 \\ y''(0) = 1 \\ y'(0) = 0 \\ y(0) = 0. \end{cases}$$

Calcolare

$$\int_0^{\infty} e^{-t} y(t) dt.$$

*Soluzione.* Passando alle trasformate di Laplace l'equazione diventa

$$s^3Y(s) - 1 + s^2Y(s) = \frac{2}{s^3}$$

da cui

$$(s^3 + s^2)Y(s) = \frac{2}{s^3} + 1$$

e quindi

$$Y(s) = \frac{2 + s^3}{s^3(s^3 + s^2)}.$$

L'integrale richiesto non è altro che  $Y(1) = \frac{3}{2}$ .