Università di Roma "Tor Vergata" – Corso di Laurea in Ingegneria

Analisi Matematica I – Prova scritta del 17-02-2025 – I turno

Cognome: (in STAMPATELLO)	
Nome: (in STAMPATELLO)	
Matricola:	
Titolare del corso:	
Prova orale:	

Esercizio	**Punteggio**
1	
2	
3	
4	
5	
Totale	

A/B/C/D

Esercizio 1. [8 punti] Tracciare il grafico della funzione

$$f(x) = (x-a)e^{-\frac{x+1}{ax}}$$

$[a = 4, 2, 3, 1]$ specificando: dominio, eventuali asintoti, intervalli di monotonia, eventuali punti di massimo/minimo relativo, eventuali punti di non derivabilità. **Non è richiesto lo studio della derivata seconda.**

Esercizio 2. [5 punti] Studiare la continuità e la derivabilità della seguente funzione.

$$f(x) = (x^2 + x(1-a) - a)^{1/3} \cdot \ln(1 + |x+1|)$$

$[a = 2, -2, 3, -3]$

Esercizio 3. [6 punti] Data l'equazione differenziale

$$\dot{x} = (x^2 + (a-1)x - a) \cdot \frac{2t}{1+a}$$

risolvere il problema di Cauchy $x(0) = b$ specificandone l'intervallo massimale di esistenza. $[(a,b) = (3,2), (3,3), (2,2), (2,3)]$.

Esercizio 4. [7 punti] Calcolare il seguente limite:

$$\lim_{x\to 0^+} \frac{e^{x-x^2/2} + \ln(1-x)\cdot\cos(ax) - \cos(x)}{x\cdot(1-ax^2)^{-1} - \sin(x) + e^{-1/x}}$$

$[a = 1, 2, 3, 4]$

Esercizio 5. [6 punti] Calcolare il seguente integrale definito in senso improprio

$$I = \int_0^\infty \frac{(2\sqrt{x} + a + 1)\ln(\sqrt{x}+1)}{(x + (a+1)\sqrt{x} + a)^2 x^{1/2}}\, dx$$

$[a = 2, 3, 4, 5]$

Soluzioni

Esercizio 1. Tracciare il grafico della funzione

$$f(x) = (x-a)e^{-\frac{x+1}{ax}}$$

$[a = 4, 2, 3, 1]$ specificando: dominio, eventuali asintoti, intervalli di monotonia, eventuali punti di massimo/minimo relativo, eventuali punti di non derivabilità. **Non è richiesto lo studio della derivata seconda.**

Svolgimento Il dominio di definizione è l'insieme $\mathbb{R} \setminus \{0\}$.

• Calcolo dei limiti ed eventuali asintoti nei punti di frontiera del dominio.

Per $\boxed{x \to \pm\infty}$ si ha

$$\begin{aligned} f(x) &= (x-a)e^{-\frac{x+1}{ax}} = (x-a)e^{-1/a-1/(ax)} = e^{-1/a}(x-a)e^{-1/(ax)} \\ &= e^{-1/a}(x-a)\left(1 - \frac{1}{ax} + o(x^{-1})\right) = e^{-1/a}\left(x - a - \frac{1}{a} + o(1)\right) \ . \end{aligned}$$

Quindi $\boxed{y = e^{-1/a}\left(x - a - a^{-1}\right)}$ è asintoto obliquo a $\pm\infty$.

Per $\boxed{x \to 0^\pm}$ si ha

$$\lim_{x\to 0^+} f(x) = -ae^{\frac{-1}{0^+}} = -ae^{-\infty} = 0^- \quad , \quad \lim_{x\to 0^-} f(x) = -ae^{\frac{-1}{0^-}} = -ae^{\infty} = -\infty$$

Quindi c'è un asintoto verticale in 0^-.

• Derivabilità e monotonia. Chiaramente la funzione è continua e derivabile nel suo dominio di definizione. In particolare per $x \neq 0$ si ha

$$f'(x) = e^{-\frac{x+1}{ax}}\left(1 + \frac{1}{a}\frac{(x-a)}{x^2}\right) = \frac{e^{-\frac{x+1}{ax}}}{ax^2} \cdot (ax^2 + x - a)$$

che è ben definita per $x \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$. Il segno della derivata prima dipende dal polinomio $ax^2 + x - a$ le cui radici sono

$$x_\pm = \frac{-1 \pm \sqrt{1+4a^2}}{2a}$$

con $x_- < 0$ mentre $0 < x_+ < a$ Quindi per $x \in (-\infty, 0) \cup (0, +\infty)$ si ha

$$f'(x) = \begin{cases} \begin{array}{cccccc} + & 0 & - & - & 0 & + \\ (-\infty, x_-) & x_- & (x_-, 0) & (0, x_+) & x_+ & (x_+, +\infty) \end{array} \end{cases}$$

Quindi x_-, x_+ sono rispettivamente un **massimo ed un minimo relativo**. Si osservi inoltre che per $x \to 0^+$

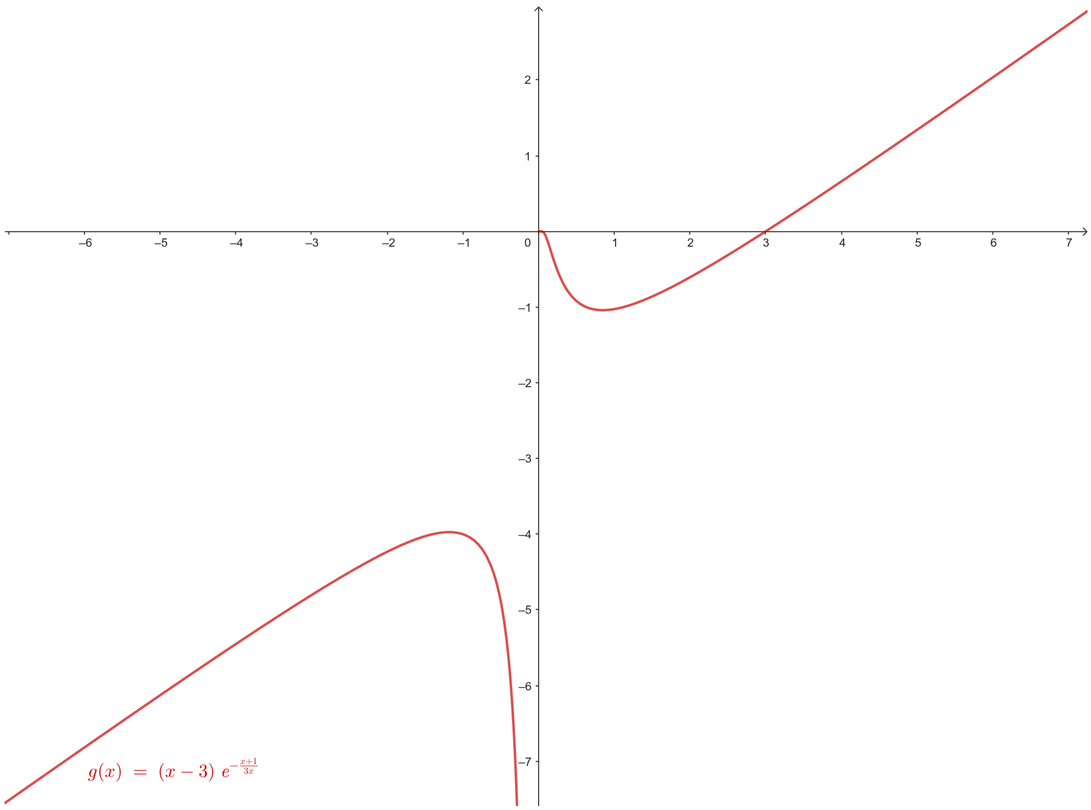
$$f'(x) = -\frac{e^{-\frac{x+1}{ax}}}{x^2}(1 + o(1)) = -\frac{e^{-\frac{1}{ax}}}{x^2}(1 + o(1)) \to 0^-$$

per il confronto esponeziale potenze in quanto $e^{-\frac{1}{ax}} \overset{x\to 0^+}{\to} 0^+$, mentre per $x \to 0^-$

$$f'(x) = -\frac{e^{-\frac{1}{ax}}}{x^2}(1 + o(1)) \to -\infty$$

in quanto $e^{-\frac{1}{ax}} \overset{x\to 0^-}{\to} +\infty$.

Il grafico della funzione per $a = 3$ è



Esercizio 2. Studiare la continuità e la derivabilità della seguente funzione.

$$f(x) = (x^2 + x(1-a) - a)^{1/3} \cdot \ln(1 + |x+1|)$$

$[a = 2, -2, 3, -3]$

Svolgimento Continuità. La funzione è chiaramente continua in tutto $\mathbb{R}$ in quanto composizione e prodotto di funzioni continue.

• Derivabilità. Per quanto riguarda la derivabilità gli unici problemi si possono avere nei punti in cui si azzera l'argomento della radice cubica e del modulo. Dato che $x^2 + x(1-a) - a = (x-a)(x+1)$ gli zeri dell'argomento della radice cubica sono $x = a$ e $x = -1$ mentre l'argomento del modulo è 0 in $x = -1$. Nel resto dei punti del dominio la funzione è derivabile: $x \neq a, -1$ si ha

$$f'(x) = \frac{1}{3} \frac{2x + (1-a))}{((x-a)(x+1))^{2/3}} \ln(1 + |x+1|) + ((x-a)(x+1))^{1/3} \cdot \frac{segno(x+1)}{1 + |x+1|}$$

Per la derivabilità in $x = a$ e $x = -1$ si studia il limite del rapporto incrementale. Per $\boxed{x \to a}$

$$\begin{aligned}\frac{f(x) - f(a)}{x - a} &= \frac{((x-a)(x+1))^{1/3} \cdot \ln(1 + |x+1|)}{x - a} \\ &= \frac{(a+1)^{1/3} \ln(1 + |a+1|)}{(x-a)^{2/3}} (1 + o(1)) \to segno(a+1)\infty\end{aligned}$$

Quindi la funzione non è derivabile in a (si tratta di un punto a tangente verticale). Per $\boxed{x \to -1}$

$$\begin{aligned}\frac{f(x) - f(-1)}{x + 1} &= \frac{((x-a)(x+1))^{1/3} \cdot \ln(1 + |x+1|)}{x + 1} \\ &= \frac{(-1-a)^{1/3} \ln(1 + |x+1|)}{(x+1)^{2/3}} (1 + o(1)) = -(1+a)^{1/3} \frac{|x+1|}{(x+1)^{2/3}} (1 + o(1)) \\ &= -(1+a)^{1/3} |x+1|^{1/3} (1 + o(1)) \to 0\end{aligned}$$

quindi in $x = -1$ la funzione è derivabile con derivata 0.

Esercizio 3. Data l'equazione differenziale

$$\dot{x}(t) = (x^2(t) + (a-1)x(t) - a) \cdot \frac{2t}{1+a}$$

risolvere il problema di Cauchy $x(0) = b$ specificandone l'intervallo massimale di esistenza.$[(a,b) = (3,2),(3,3),(2,2),(2,3)]$.

Svolgimento Si tratta di una equazione a variabili separabili:

$$\dot{x}(t) = h(x(t))\,g(t) \quad \text{dove} \quad h(x) = x^2 + (a-1)x - a = (x-1)(x+a) \quad , \quad g(t) = \frac{2t}{1+a}$$

Per quanto riguarda il problema di Cauchy, separando le variabili si ha

$$\int \frac{1}{(x-1)(x+a)} = \frac{t^2}{1+a} + C \iff \frac{1}{1+a}\int \left(\frac{1}{x-1} - \frac{1}{(x+a)}\right) = \frac{t^2}{1+a} + C \iff \ln\left|\frac{x-1}{x+a}\right| = t^2 + C$$

quindi

$$\frac{x-1}{x+a} = Ke^{t^2} \iff x - 1 = Ke^{t^2}(x+a) \iff x(1 - Ke^{t^2}) = 1 + aKe^{t^2} \iff$$

$$x(t) = \frac{1 + aKe^{t^2}}{1 - Ke^{t^2}}$$

$x(0) = b \Rightarrow K = \frac{b-1}{b+a}$ quindi

$$x_{Cauchy}(t) = \frac{b + a + a(b-1)e^{t^2}}{b + a - (b-1)e^{t^2}}$$

Per calcolare il l'intervallo massimale di esistenza studiamo gli zeri del denominatore:

$$b + a = (b-1)e^{t^2} \iff \frac{b+a}{b-1} = e^{t^2} \iff t = \pm \ln^{1/2}\left(\frac{b+a}{b-1}\right)$$

Considerando il dato iniziale $t = 0$ l'intervallo massimale di esistenza è

$$t \in \left(-\ln^{1/2}\left(\frac{b+a}{b-1}\right), \ln^{1/2}\left(\frac{b+a}{b-1}\right)\right)$$

Esercizio 4. Calcolare il seguente limite:

$$\lim_{x\to 0^+} \frac{e^{x-x^2/2} + \ln(1-x)\cdot\cos(ax) - \cos(x)}{x\cdot(1-ax^2)^{-1} - \sin(x) + e^{-1/x}}$$

$[a = 1, -1, 2, -2]$

Svolgimento

Si tratta di una forma indeterminata $\frac{0}{0}$. Il numeratore $n(x)$ si tratta di un infinitesimo di ordine 3. Infatti

$$\begin{aligned} e^{x-x^2/2} &= 1 + (x - x^2/2) + \frac{1}{2}(x-x^2/2)^2 + \frac{1}{6}(x-x^2/2)^3 + o(x^3) \\ &= 1 + x - \frac{x^3}{2} + \frac{x^3}{6} + o(x^3) = 1 + x - \frac{x^3}{3} + o(x^3) \end{aligned}$$

mentre

$$\begin{aligned} \ln(1-x)\cdot\cos(ax) &= \left(-x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + o(x^3)\right)\left(1 - \frac{(ax)^2}{2} + o(x^3)\right) \\ &= -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + \frac{a^2x^3}{2} + o(x^3) \\ &= -x - \frac{x^2}{2} + \frac{(3a^2-2)x^3}{6} + o(x^3) \end{aligned}$$

Quindi il numeratore diventa

$$n(x) = 1 + x - \frac{x^3}{3} + o(x^3) - x - \frac{x^2}{2} + \frac{(3a^2-2)x^3}{6} + o(x^3) - 1 + \frac{x^2}{2} + o(x^3) = \frac{(3a^2-4)x^3}{6} + o(x^3)$$

Per quanto riguarda il denominatore $d(x)$, la funzione $e^{-1/x}$ per $x \to 0^+$ tende a zero più velocemente di ogni potenza i.e. $e^{-1/x} = o(x^\alpha)$ per ogni $\alpha > 0$. Quindi possiamo trascurarla:

$$\begin{aligned} d(x) &= x\cdot(1 - a\cdot x^2)^{-1} - \sin(x) + e^{-1/x} = x(1 + ax^2 + o(x^3)) - x + \frac{x^3}{6} + o(x^3) + o(x^\alpha) \\ &= \frac{(1+6a)x^3}{6} + o(x^3) \end{aligned}$$

Quindi

$$f(x) = \frac{\frac{(3a^2-4)x^3}{6} + o(x^3)}{\frac{(1+6a)x^3}{6} + o(x^3)} = \frac{3a^2-4}{(1+6a)}(1 + o(1)) \overset{x\to 0^+}{\to} \frac{3a^2-4}{1+6a}$$

Esercizio 5. Calcolare il seguente integrale definito in senso improprio

$$I = \int_0^{\infty} \frac{(2\sqrt{x}+a+1)\ln(\sqrt{x}+1)}{(x+(a+1)\sqrt{x}+a)^2 x^{1/2}} dx$$

$[a = 2, 3, 4, 5]$

Svolgimento. Sostituendo $y = \sqrt{x}$ si ha

$$\int_0^{\infty} \frac{2y+(a+1)}{(y^2+(a+1)y+a)^2 y} \ln(y+1) 2y dy = \int_0^{\infty} \frac{2y+(a+1)}{(y^2+(a+1)y+a)^2} 2\ln(y+1) dy$$

ed integrando per parti

$$\begin{aligned}\int_0^{\infty} \frac{2y+(a+1)}{(y^2+(a+1)y+a)^2} 2\ln(y+1) dy &= -\frac{2\ln(y+1)}{(y^2+(a+1)y+a)} + \int \frac{2}{(y^2+(a+1)y+a)(y+1)}\, dy \\ &= -\frac{2\ln(y+1)}{(y^2+(a+1)y+a)} + \int \frac{2}{(y+a)(y+1)^2}\, dy\end{aligned}$$

che decomposto in fratti semplici

$$\frac{2}{(y+a)(y+1)^2} = \frac{A}{y+a} + \frac{B}{y+1} + \frac{C}{(y+1)^2}$$

si ha

$$A = \frac{2}{(1-a)^2} \quad , \quad C = \frac{2}{a-1} \quad , \quad B = -A = -\frac{2}{(1-a)^2}$$

Quindi

$$\int \frac{2}{(y+a)(y+1)^2}\, dy = \frac{2}{(1-a)^2} \ln\left|\frac{y+a}{y+1}\right| - \frac{2}{a-1}\frac{1}{y+1} + C\ .$$

Una primitiva nella variabile y è la funzione

$$F(y) = -\frac{2\ln(y+1)}{(y^2+(a+1)y+a)} + \frac{2}{(1-a)^2} \ln\left|\frac{y+a}{y+1}\right| - \frac{2}{a-1}\frac{1}{y+1}$$

e l'integrale risulta

$$I_{1/2} = \lim_{y\to\infty} F(y) - \lim_{y\to 0} F(y) = -\frac{2}{(1-a)^2}\ln(a) + \frac{2}{a-1}$$