

Analisi Matematica
Foglio di esercizi n. 10
SOLUZIONI

Esercizio 1.a. Calcolare

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\log(1-x) - x)^2 - 2 \sin(2x^2 + x^3)}{e^{-x^2} - \cos(\sqrt{2}x)}.$$

Per $x \rightarrow 0$,

$$\log(1-x) = (-x) - \frac{(-x)^2}{2} + \frac{(-x)^3}{3} + o((-x)^3) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + o(x^3).$$

e quindi

$$\begin{aligned} (\log(1-x) - x)^2 &= \left(2x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + o(x^3)\right)^2 = 4x^2 + 2x^3 + \frac{x^4}{4} + \frac{4x^4}{3} + o(x^4) \\ &= 4x^2 + 2x^3 + \frac{19x^4}{4} + o(x^4) \end{aligned}$$

Inoltre

$$\begin{aligned} \sin(2x^2 + x^3) &= (2x^2 + x^3) + o(x^4) \\ e^{-x^2} &= 1 - x^2 + \frac{(-x^2)^2}{2} + o(x^4) = 1 - x^2 + \frac{x^4}{2} + o(x^4) \\ \cos(\sqrt{2}x) &= 1 - \frac{(\sqrt{2}x)^2}{2} + \frac{(\sqrt{2}x)^4}{4!} + o(x^4) = 1 - x^2 + \frac{x^4}{6} + o(x^4). \end{aligned}$$

Infine

$$\begin{aligned} \frac{(\log(1-x) - x)^2 - 2 \sin(2x^2 + x^3)}{e^{-x^2} - \cos(\sqrt{2}x)} &= \frac{4x^2 + 2x^3 + \frac{19x^4}{12} + o(x^4) - 2(2x^2 + x^3 + o(x^4))}{1 - x^2 + \frac{x^4}{2} + o(x^4) - \left(1 - x^2 + \frac{x^4}{6} + o(x^4)\right)} \\ &= \frac{\frac{19x^4}{12} + o(x^4)}{\frac{x^4}{3} + o(x^4)} \rightarrow \frac{19}{4}. \end{aligned}$$

Esercizio 2.a. Calcolare

$$\int_0^2 \frac{3x^3 + 2x^2}{\sqrt{4-x^2}} dx.$$

Ponendo $x = 2 \sin(t)$ abbiamo che $dx = 2 \cos(t) dt$ e

$$\begin{aligned} \int_0^2 \frac{3x^3 + 2x^2}{\sqrt{4-x^2}} dx &= \int_0^{\pi/2} \frac{24 \sin^3(t) + 8 \sin^2(t)}{2 \cos(t)} (2 \cos(t) dt) \\ &= 24 \int_0^{\pi/2} (1 - \cos^2(t)) \sin(t) dt + 4 \int_0^{\pi/2} (1 - \cos(2t)) dt \\ &= 24 \left[-\cos(t) + \frac{\cos^3(t)}{3} \right]_0^{\pi/2} + 4 \left[t - \frac{\sin(2t)}{2} \right]_0^{\pi/2} \\ &= 24 \cdot \frac{2}{3} + 4 \cdot \frac{\pi}{2} = 16 + 2\pi \end{aligned}$$

dove $2 \sin^2(t) = 1 - \cos(2t)$.

Esercizio 2.b. Calcolare

$$\int_0^1 \frac{\log(x+3)}{\sqrt{x}} dx.$$

Iniziamo integrando per parti e poi poniamo $t = \sqrt{x}$, così $dx = 2t dt$ e

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\log(x+3)}{\sqrt{x}} dx &= 2 \int_0^1 \log(x+3) d(\sqrt{x}) \\ &= 2 \left[\sqrt{x} \log(x+3) \right]_0^1 - 2 \int_0^1 \frac{\sqrt{x}}{x+3} dx \\ &= 2 \log(4) - 4 \int_0^1 \frac{t^2 \pm 3}{t^2 + 3} dt \\ &= 2 \log(4) - 4 \int_0^1 dt + 12 \int_0^1 \frac{dt}{t^2 + 3} \\ &= 4 \log(2) - 4 + 12 \left[\frac{\arctan(t/\sqrt{3})}{\sqrt{3}} \right]_0^1 \\ &= 4 \log(2) - 4 + \frac{2\pi}{\sqrt{3}}. \end{aligned}$$

Esercizio 2.c. Calcolare

$$\int_0^{+\infty} \frac{x+5}{(x+3)(x^2+3x+2)} dx.$$

Abbiamo che

$$\frac{x+5}{(x+3)(x^2+3x+2)} = \frac{x+5}{(x+1)(x+2)(x+3)} = \frac{A}{x+1} + \frac{B}{x+2} + \frac{C}{x+3}$$

dove

$$A = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{x+5}{(x+2)(x+3)} = 2, \quad B = \lim_{x \rightarrow -2} \frac{x+5}{(x+1)(x+3)} = -3, \quad C = \lim_{x \rightarrow -3} \frac{x+5}{(x+1)(x+2)} = 1.$$

Allora

$$\begin{aligned} \int_0^{+\infty} \frac{x+5}{(x+3)(x^2+3x+2)} dx &= \int_0^{+\infty} \left(\frac{2}{x+1} - \frac{3}{x+2} + \frac{1}{x+3} \right) dx \\ &= \left[2 \log|x+1| - 3 \log|x+2| + \log|x+3| \right]_0^{+\infty} \\ &= \left[\log \left(\frac{(x+1)^2(x+3)}{(x+2)^3} \right) \right]_0^{+\infty} \\ &= \log(8/3). \end{aligned}$$

Esercizio 2.d. Calcolare

$$\int_0^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{x+x^2}} dx.$$

Poniamo $t = \sqrt{x}$, allora $t^2 = x$, $2t dt = dx$ e

$$\int_0^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{x+x^2}} dx = \int_0^{+\infty} \frac{1}{t+t^4} (2t dt) = 2 \int_0^{+\infty} \frac{1}{t^3+1} dt.$$

Ora $t^3 + 1 = (t+1)(t^2 - t + 1)$ e

$$\frac{1}{t^3+1} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{t+1} - \frac{t-2}{t^2-t+1} \right).$$

Inoltre se $s = t - 1/2$ allora

$$\begin{aligned} \int \frac{t-2}{t^2-t+1} dt &= \int \frac{s-3/2}{s^2+3/4} ds \\ &= \int \frac{s}{s^2+3/4} ds - \frac{3}{2} \int \frac{1}{s^2+(\sqrt{3}/2)^2} ds \\ &= \frac{1}{2} \log(s^2+3/4) - \sqrt{3} \arctan(2s/\sqrt{3}) + c \\ &= \frac{1}{2} \log(t^2-t+1) - \sqrt{3} \arctan \left(\frac{2t-1}{\sqrt{3}} \right) + c. \end{aligned}$$

Quindi,

$$\begin{aligned}
 \int_0^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{x+x^2}} dx &= 2 \int_0^{+\infty} \frac{1}{t^3+1} dt \\
 &= \frac{2}{3} \left[\log(t+1) - \frac{1}{2} \log(t^2-t+1) + \sqrt{3} \arctan\left(\frac{2t-1}{\sqrt{3}}\right) \right]_0^{+\infty} \\
 &= \frac{2}{3} \left[\log\left(\frac{t+1}{\sqrt{t^2-t+1}}\right) + \sqrt{3} \arctan\left(\frac{2t-1}{\sqrt{3}}\right) \right]_0^{+\infty} \\
 &= \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{3}\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}\pi}{6} \right) = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}}.
 \end{aligned}$$

Esercizio 2.e. Calcolare

$$\int_0^{\pi/4} \tan(x) \tan(2x) dx.$$

Notiamo che la funzione integranda è non-negativa sull'intervallo di integrazione. Inoltre per $x \rightarrow (\pi/4)^-$, $t = \pi/4 - x \rightarrow 0^+$,

$$\tan(x) \tan(2x) = \tan(\pi/4 - t) \tan(\pi/2 - 2t) = \frac{\tan(\pi/4 - t)}{\tan(2t)} \sim \frac{1}{2t}.$$

e dato che l'integrale di $1/t$ in un intorno destro di 0 è divergente a $+\infty$ possiamo concludere, senza determinare una primitiva di $\tan(x) \tan(2x)$, che anche l'integrale improprio in questione diverge,

$$\int_0^{\pi/4} \tan(x) \tan(2x) dx = +\infty.$$

Esercizio 2.f. Calcolare

$$\int_0^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{e^{4x}-1}} dx.$$

Poniamo $t = \sqrt{e^{4x}-1}$, allora $x = \frac{1}{4} \log(1+t^2)$, $dx = \frac{tdt}{2(1+t^2)}$ e

$$\begin{aligned}
 \int_0^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{e^{4x}-1}} dx &= \int_0^{+\infty} \frac{1}{t} \cdot \frac{tdt}{2(1+t^2)} \\
 &= \frac{1}{2} \left[\arctan(t) \right]_0^{+\infty} = \frac{\pi/2 - 0}{2} = \frac{\pi}{4}.
 \end{aligned}$$

Esercizio 2.g. Calcolare

$$\int_0^1 \frac{\arccos(x)}{\sqrt{1-x}} dx.$$

Abbiamo che

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\arccos(x)}{\sqrt{1-x}} dx &= \int_0^1 \arccos(x) d(-2\sqrt{1-x}) \\ &= -2 \left[\arccos(x)\sqrt{1-x} \right]_0^1 + 2 \int_0^1 \sqrt{1-x} d(\arccos(x)) \\ &= \pi - 2 \int_0^1 \frac{\sqrt{1-x}}{\sqrt{1-x^2}} dx = \pi - 2 \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{1+x}} dx \\ &= \pi - 2 \left[2\sqrt{1+x} \right]_0^1 = \pi + 4 - 4\sqrt{2}. \end{aligned}$$

Esercizio 2.h. Calcolare

$$\int_0^{+\infty} e^{-[x]} dx.$$

Dato che

$$e^{-[x]} = e^{-k} \quad \text{se } x \in [k, k+1),$$

per ogni intero $n \geq 0$,

$$\int_0^n e^{-[x]} dx = \sum_{k=0}^{n-1} \int_k^{k+1} e^{-[x]} dx = \sum_{k=0}^{n-1} \int_k^{k+1} e^{-k} dx = \sum_{k=0}^{n-1} (e^{-1})^k = \frac{1 - e^{-n}}{1 - e^{-1}}.$$

allora per ogni numero reale $t \geq 0$

$$\int_0^t e^{-[x]} dx = \int_0^{[t]} e^{-[x]} dx + \int_{[t]}^t e^{-[x]} dx = \frac{1 - e^{-[t]}}{1 - e^{-1}} + e^{-[t]}(t - [t])$$

infine per $t \rightarrow +\infty$.

$$\begin{aligned} \int_0^{+\infty} e^{-[x]} dx &= \lim_{t \rightarrow +\infty} \int_0^t e^{-[x]} dx \\ &= \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1 - e^{-[t]}}{1 - e^{-1}} + \lim_{t \rightarrow +\infty} e^{-[t]}(t - [t]) \\ &= \frac{1}{1 - e^{-1}} + 0 = \frac{e}{e - 1}. \end{aligned}$$

Esercizio 3.a. Discutere la convergenza dell'integrale improprio

$$\int_0^{\pi/2} \frac{\sqrt{\sin(x)(1-\sin(x))}}{\tan^a(x) \cos^2(x)} dx$$

al variare del parametro $a \in \mathbb{R}$.

Sia

$$f(x) = \frac{\sqrt{\sin(x)(1-\sin(x))}}{\tan^a(x) \cos^2(x)}.$$

Nell'intervallo $(0, \pi/2)$ i punti da indagare sono due: 0^+ e $(\pi/2)^-$.

Per $x \rightarrow 0^+$,

$$f(x) \sim \frac{x^{1/2}}{x^a} \sim \frac{1}{x^{a-1/2}}.$$

Per la convergenza, $a - 1/2 < 1$ ossia $a < 3/2$.

Per $x \rightarrow (\pi/2)^-$, si ha che $t = \pi/2 - x \rightarrow 0^+$, $\sin(x) = \cos(t)$, $\cos(x) = \sin(t)$, $\tan(x) = 1/\tan(t)$ e

$$f(x) \sim \frac{(1 - \cos(t))^{1/2}}{\tan^{-a}(t) \sin^2(t)} \sim \frac{(t^2/2)^{1/2}}{t^{2-a}} = \frac{2^{-1/2}}{t^{1-a}}.$$

Per la convergenza, $1 - a < 1$ ossia $a > 0$.

Così l'integrale improprio dato è convergente se e solo se $0 < a < 3/2$.

Esercizio 3.b. Discutere la convergenza dell'integrale improprio

$$\int_{\pi/4}^{\pi/2} \frac{\tan(x)}{(\tan^2(x) - 1)^a} dx$$

al variare del parametro $a \in \mathbb{R}$.

Sia

$$f(x) = \frac{\tan(x)}{(\tan^2(x) - 1)^a} = \frac{\tan(x)}{(\tan(x) + 1)^a (\tan(x) - 1)^a}.$$

Nell'intervallo $(\pi/4, \pi/2)$ i punti da indagare sono due: $(\pi/4)^+$ e $(\pi/2)^-$.

Per $x \rightarrow (\pi/4)^+$, si ha che $t = x - \pi/4 \rightarrow 0^+$ e

$$f(x) \sim \frac{1}{2^a (2t)^a} = \frac{1}{4^a t^a}$$

dove si è usato lo sviluppo di $\tan(x)$ in $x = \pi/4$

$$\tan(x) = \tan(\pi/4) + \tan'(\pi/4)(x - \pi/4) + o(x - \pi/4) = 1 + 2t + o(t).$$

Quindi, per la convergenza, $a < 1$.

Per $x \rightarrow (\pi/2)^-$, si ha che $t = \pi/2 - x \rightarrow 0^+$, $\tan(x) = 1/\tan(t) \sim 1/t$ e

$$f(x) \sim \frac{t^{-1}}{(t^{-2} - 1)^a} = \frac{t^{-1}}{t^{-2a}(1 - t^2)^a} \sim \frac{1}{t^{1-2a}}.$$

Per la convergenza, $1 - 2a < 1$ ossia $a > 0$.

Così l'integrale improprio dato è convergente se e solo se $0 < a < 1$.

Esercizio 3.c. Discutere la convergenza dell'integrale improprio

$$\int_0^3 \frac{\sqrt{x+2} \log(x+2)}{(6+x-x^2)^a} dx$$

al variare del parametro $a \in \mathbb{R}$.

Sia

$$f(x) = \frac{\sqrt{x+2} \log(x+2)}{(6+x-x^2)^a} = \frac{\log(x+2)}{(3-x)^a (x+2)^{a-1/2}}.$$

Nell'intervallo $[0, 3)$ è necessario indagare solo in 3^- .

Per $x \rightarrow 3^-$, si ha che $t = 3 - x \rightarrow 0^+$ e

$$f(x) \sim \frac{\log(5)}{t^a 5^{a-1/2}} = \frac{C}{t^a}$$

e quindi l'integrale di f su $[0, 3)$ converge se e solo se $a < 1$.

Esercizio 3.d. Discutere la convergenza dell'integrale improprio

$$\int_0^1 \frac{|\sin(ax) - \log(1+2x)|}{x^2(\sqrt{4+x} + \sqrt{x} - 2)} dx$$

al variare del parametro $a \in \mathbb{R}$.

Sia

$$f(x) = \frac{|\sin(ax) - \log(1+2x)|}{x^2(\sqrt{4+x} + \sqrt{x} - 2)}$$

Nell'intervallo $(0, 1)$ è necessario indagare solo in 0^+ .

Per $x \rightarrow 0^+$,

$$f(x) = \frac{|ax + o(x^2) - (2x - 2x^2 + o(x^2))|}{x^2(2(1 + \frac{x/4}{2} + o(x)) + x^{1/2} - 2)} = \frac{|(a-2)x + 2x^2 + o(x^2)|}{x^2(x^{1/2} + \frac{x}{4} + o(x))}.$$

Quindi se $a \neq 2$,

$$f(x) \sim \frac{|a-2|x}{x^{5/2}} = \frac{|a-2|}{x^{3/2}}$$

e l'integrale non è convergente. Invece se $a = 2$ allora

$$f(x) \sim \frac{2x^2}{x^{5/2}} = \frac{2}{x^{1/2}}$$

e l'integrale è convergente.

Quindi la convergenza si ha solo per $a = 2$.

Esercizio 4.a. Calcolare la somma della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{3 \cdot 4^k - 2 \cdot 5^k}{20^{k-1}}.$$

La serie può essere riscritta nel modo seguente:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(3 \cdot \frac{4^k}{20^{k-1}} - 2 \cdot \frac{5^k}{20^{k-1}} \right) = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{3 \cdot 4}{5^{k-1}} - \frac{2 \cdot 5}{4^{k-1}} \right).$$

Per la linearità possiamo scomporre la serie in due serie geometriche convergenti:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{\infty} \left(3 \cdot \frac{4^k}{20^{k-1}} - 2 \cdot \frac{5^k}{20^{k-1}} \right) &= 12 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{5} \right)^{k-1} - 10 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{4} \right)^{k-1} \quad (j = k - 1) \\ &= 12 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{1}{5} \right)^j - 10 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{1}{4} \right)^j \\ &= \frac{12}{1 - \frac{1}{5}} - \frac{10}{1 - \frac{1}{4}} = \frac{5}{3}. \end{aligned}$$

Esercizio 4.b. Calcolare la somma della serie

$$\sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{1}{k-1} - \frac{1}{k} \right).$$

Osserviamo che la somma parziale S_n per $n \geq 2$ diventa

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=2}^n \left(\frac{1}{k-1} - \frac{1}{k} \right) = \sum_{k=2}^n \frac{1}{k-1} - \sum_{k=2}^n \frac{1}{k} \quad (j = k - 1) \\ &= \sum_{j=1}^{n-1} \frac{1}{j} - \sum_{k=2}^n \frac{1}{k} = 1 + \sum_{j=2}^{n-1} \frac{1}{j} - \sum_{k=2}^{n-1} \frac{1}{k} - \frac{1}{n} \\ &= 1 - \frac{1}{n}. \end{aligned}$$

Così

$$\sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{1}{k-1} - \frac{1}{k} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n} \right) = 1.$$

Esercizio 5.a. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^{1+\frac{1}{k}}}$$

La serie è a termini positivi e per $k \rightarrow \infty$,

$$\frac{1}{k^{1+\frac{1}{k}}} = \frac{1}{k \underbrace{\sqrt[k]{k}}_{\rightarrow 1}} \sim \frac{1}{k}.$$

Quindi, per il confronto asintotico, dato che $\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k} = +\infty$, anche la serie data diverge a $+\infty$.

Esercizio 5.b. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(1/k)}{\log(k^2 + k + 1)}.$$

Per $k \rightarrow \infty$,

$$\frac{\sin(1/k)}{\log(k^2 + k + 1)} \sim \frac{1/k}{\log(k^2)} = \frac{1}{2k \log(k)}.$$

Dato che $\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k \log(k)} = +\infty$ ($\alpha = \beta = 1$), per confronto asintotico la serie data diverge a $+\infty$.

Esercizio 5.c. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sqrt{k^2 + 1} - k}{e^{-k} + \log^2(k)}.$$

Abbiamo che, per $k \rightarrow \infty$,

$$\frac{\sqrt{k^2 + 1} - k}{e^{-k} + \log^2(k)} = \frac{k \left(\sqrt{1 + \frac{1}{k^2}} - 1 \right)}{\log^2(k) \left(1 + \frac{e^{-k}}{\log^2(k)} \right)} \sim \frac{k \cdot \frac{1}{2k^2}}{\log^2(k)} = \frac{1}{2k \log^2(k)}$$

Così, per il confronto asintotico, dato che $\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k \log^2(k)}$ converge ($\alpha = 1, \beta = 2 > 1$), anche la

serie data è convergente.

Esercizio 5.d. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} k^k e^{-k^2}.$$

Sia $a_k = k^k e^{-k^2} > 0$ allora, per $k \rightarrow \infty$,

$$\sqrt[k]{a_k} = (k^k e^{-k^2})^{1/k} = k e^{-k} \rightarrow 0 < 1$$

e quindi la serie converge per il criterio della radice.

Esercizio 5.e. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=0}^{\infty} \cos(\pi k) \arctan(1/k).$$

Abbiamo che $\cos(\pi k) = (-1)^k$. Inoltre $\arctan(1/k)$ è decrescente perché $\arctan(x)$ è una funzione crescente e

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \arctan(1/k) = 0.$$

Dunque, per il criterio di Leibniz, la serie è convergente.

Esercizio 5.f. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\sqrt{k^3 + 1} - \sqrt{k^3 - 1} \right).$$

Per $k \rightarrow \infty$,

$$\begin{aligned} \sqrt{k^3 + 1} - \sqrt{k^3 - 1} &= k^{3/2} \left(\sqrt{1 + \frac{1}{k^3}} - \sqrt{1 - \frac{1}{k^3}} \right) \\ &= k^{3/2} \left(1 + \frac{1}{2k^3} + o(1/k^3) - \left(1 - \frac{1}{2k^3} + o(1/k^3) \right) \right) \\ &= k^{3/2} \left(\frac{1}{k^3} + o(1/k^3) \right) \sim \frac{k^{3/2}}{k^3} = \frac{1}{k^{3/2}}. \end{aligned}$$

Così, per il confronto asintotico, dato che $\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k^{3/2}}$ converge ($\alpha = 3/2$), anche la serie data è

convergente.

Esercizio 5.g. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(k!)^2}{(2k)!}.$$

Sia $a_k = (k!)^2/(2k)! > 0$ allora, per $k \rightarrow \infty$,

$$\frac{a_{k+1}}{a_k} = \frac{((k+1)!)^2}{(2(k+1))!} \cdot \frac{(2k)!}{(k!)^2} = \frac{((k+1)(k!))^2}{(2k+2)(2k+1)(2k)!} \cdot \frac{(2k)!}{(k!)^2} = \frac{(k+1)^2}{(2k+2)(2k+1)} \rightarrow \frac{1}{4} < 1$$

e quindi la serie converge per il criterio del rapporto.

Esercizio 5.h. Studiare il comportamento della serie

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2^{\log(k)}}.$$

Si ha che

$$\frac{1}{2^{\log(k)}} = \frac{1}{\exp(\log(k) \log(2))} = \frac{1}{k^{\log(2)}}.$$

Dato che $\alpha = \log(2) < 1$, la serie diverge a $+\infty$.

Esercizio 6.a. Sapendo che $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} = e$, calcolare $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{k}{k!}$ e $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^2}{k!}$.

Per la prima serie si ha che

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{k}{k!} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{k!} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(k-1)!} = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{j!} = e$$

dove $j = k - 1$.

Per la seconda serie si ha che

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^2}{k!} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^2 - k + k}{k!} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k(k-1)}{k!} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k}{k!} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-2)!} + e = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{j!} + e = 2e$$

dove $j = k - 2$.

Esercizio 6.b. Fare un esempio di una funzione f positiva e derivabile in $(0, +\infty)$ tale che $\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = +\infty$, $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0$ e $\int_0^{+\infty} f(x) dx$ sia convergente.

Ad esempio la funzione

$$f(x) = \frac{1}{x^a + x^b}$$

con $0 < a < 1 < b$, ha le proprietà richieste (si veda anche l'esercizio 2.d).

Tale funzione è derivabile in $(0, +\infty)$,

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = +\infty \quad \text{e} \quad \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0.$$

Quindi, per il teorema dei valori intermedi, $f((0, +\infty)) = (0, +\infty)$. Inoltre l'integrale improprio di f su $(0, 1)$ è convergente perché per

$$\text{per } x \rightarrow 0^+, f(x) = \frac{1}{x^a} \text{ con } a < 1 \quad \text{e} \quad \text{per } x \rightarrow +\infty, f(x) = \frac{1}{x^b} \text{ con } b > 1.$$