

Raccolta di esercizi di
ANALISI MATEMATICA
per il Corso di Laurea in Matematica
a.a. 2025/2026

Silvano Delladio

June 12, 2026

Chapter 1

Integrali multipli

1.1

Sia $B \subset \mathbb{R}^3$ la palla di raggio 2 centrata nell'origine e si consideri

$$E := \{(x, y, z) \in B \text{ tali che } z \geq 1\}.$$

Calcolare l'integrale

$$\int_E z \, dx dy dz.$$

$$[9\pi/4]$$

1.2

Sia E il cono avente per base il disco unitario in $\mathbb{R}_{xy}^2$ centrato nell'origine e per vertice il punto $(0, 0, 1)$. Calcolare

$$\int_E (x^2 + y^2) \, dx dy dz.$$

1.3

Si consideri il cilindro

$$E := \{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq 1, z \in [0, 1]\}$$

e si calcoli

$$\int_E \frac{1}{1 + \sqrt{x^2 + y^2}} \, dx dy dz.$$

1.4

Calcolare

$$\int_E y \, dx \, dy \, dz$$

dove E è il seguente cilindro con basi parallele al piano $\mathbb{R}_{xz}^2$:

$$E := \{(x, y, z) \mid x^2 + z^2 \leq 2, 0 \leq y \leq 1\}.$$

[π]

1.5

Calcolare il volume della regione compresa fra i piani coordinati e il piano di equazione $z+x+2y=2$.

1.6

Calcolare

$$\int_A xy \, dx \, dy$$

dove A è il quadrilatero di vertici $(0,0)$, $(1,0)$, $(1,1)$ e $(2,1)$.

[7/12]

1.7

Calcolare l'integrale

$$\int_A \frac{y}{x^4} \, dx \, dy$$

dove A è la regione limitata di piano racchiusa dalle le curve di equazione

$$y = x, \quad y = 2x, \quad y = x^2, \quad y = 2x^2.$$

1.8

Si calcoli l'integrale

$$\int_A (x-1)^2 y \, dx \, dy$$

dove

$$A := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid y \geq 0, x^2 - 2x + \frac{y^2}{4} \leq 0\}.$$

1.9

Calcolare l'integrale

$$\int_A x^2 y \, dx dy$$

dove

$$A := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, y \leq -|x|\}.$$

1.10

Calcolare

$$\int_A x \, dx dy dz,$$

dove

$$A := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 : x^2 + y^2 \leq 1, x \geq 0, x^2 + y^2 \leq z \leq 2\}.$$

1.11

Calcolare l'area dell'insieme

$$\{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid x \leq y \leq 3x, 1 \leq x + 3y \leq 3\}.$$

1.12

Calcolare il volume dell'insieme

$$\{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid (x-1)^2 + (y-1)^2 \leq 2, z^2 \leq x^2 + y^2\}.$$

1.13

Calcolare l'integrale

$$\int_A \frac{y}{\sqrt{x}} \, dx dy$$

dove

$$A := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid x \geq 0, \ 1/x \leq y \leq 2/x, \ \sqrt{x} \leq y \leq 2\sqrt{x}\}.$$

[2/3]

1.14

Calcolare l'integrale

$$\int_{C \cup S} (x^2 + y^2) \, dx dy dz$$

dove

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid 1 + \sqrt{3(x^2 + y^2)} \leq z \leq 2\}$$

e $S \subset \mathbf{R}^3$ è la sfera di raggio unitario centrata nel punto $(0, 0, 1)$.

1.15

Si consideri la seguente curva in $\mathbf{R}^3$

$$\gamma = \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid x = 0, \ y > 0, \ y^2 - z^2 = 1\},$$

e sia S la superficie ottenuta ruotando la curva γ attorno all'asse z . Chiamiamo E la regione semplicemente connessa dello spazio delimitata da S . Posto

$$A = \{(x, y, z) \in E \mid xy \geq 0, \ 0 \leq z \leq 1\},$$

si calcoli

$$\int_A \frac{1}{1 + z^2} \, dx dy dz.$$

$[\pi/2]$

1.16

Si consideri la funzione così definita:

$$f(x, y) := 1 - \frac{x^2}{4} - y^2, \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2.$$

Descrivere l'insieme

$$\Omega := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid f(x, y) \geq 0\}$$

e calcolare il volume di

$$\{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid (x, y) \in \Omega, \ 0 \leq z \leq f(x, y)\}.$$

1.17

Calcolare il volume dell'insieme

$$\{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid x + y \geq 0, x^2 + y^2 \leq 1, x^2 + y^2 \leq z \leq 1\}.$$

1.18

Si consideri il cono

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid (x^2 + y^2)^{1/2} \leq z \leq 1\}$$

e la palla B di raggio uno centrata nell'origine. Calcolare il volume di $C \setminus B$.

1.19

Calcolare l'integrale

$$\int_{\Gamma} \frac{1}{1 + \frac{y}{2} - (x^2 + y^2)^{1/2}} dx dy dz$$

dove Γ è la regione limitata compresa fra il cono di equazione

$$x^2 + y^2 = z^2$$

e il piano di equazione

$$2z - y = 2.$$

1.20

Calcolare l'integrale

$$\int_{\Gamma} (1 + \cos y) dx dy dz$$

dove Γ è la regione di spazio ottenuta facendo ruotare il sottografico della funzione

$$y \mapsto \sin y, \quad y \in [0, \pi]$$

intorno all'asse y .

$$[\pi^2/2]$$

1.21

Siano A e B , rispettivamente, il disco di raggio 2 centrato in $(0, 0)$ e il disco di raggio 1 centrato in $(1, 0)$. Calcolare

$$\int_D xy + 1$$

dove $D := \{(x, y) \in A \setminus B \mid x \geq 0\}$.

$[\pi]$

1.22

Calcolare

$$\int_T x^2 dx dy$$

dove T è il triangolo del piano di vertici $(0, 0)$, $(1, 0)$ e $(1, 1)$.

$[1/4]$

1.23

Sia F la regione ottenuta facendo ruotare intorno all'asse y il triangolo di vertici $(0, 0, 0)$, $(0, -2, 2)$ e $(0, 1, 2)$. Calcolare

$$\int_F xz dx dy dz.$$

$[0]$

1.24

Calcolare il volume della regione finita di spazio compresa fra il cono di equazione $z = \sqrt{2(x^2 + y^2)}$ e il piano di equazione $z = 1 + y$.

$[\pi\sqrt{2}/3]$

1.25

Siano a, b, h numeri reali tali che

$$b \geq a > 0, \quad h > 0.$$

Calcolare il volume della “botte ellissoidale”

$$\left\{ (x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid \frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} \leq 1, |z| \leq h \right\}$$

al variare di h .

$$\left[\text{Per } h \leq b : \pi a^2 \left(2h - \frac{2h^3}{3b^2} \right); \quad \text{Per } h > b : \frac{4}{3} \pi a^2 b \right]$$

1.26

Sia E la porzione limitata di spazio compresa fra il cilindro

$$x^2 + (y - 1)^2 = 1$$

e i piani

$$z = 0, \quad z = y.$$

Calcolare

$$\int_E (y - x) \, dx dy dz.$$

$$[5\pi/4]$$

1.27

Calcolare

$$\int_E [(x - y^{1/2}) \ln y + 1] \, dx dy$$

dove

$$E := \{(x, y) \mid y \in [0, 1], x \in [y^{1/2}, 1 + y^{1/2}]\}.$$

$$[1/2]$$

1.28

Calcolare

$$\int_E z \, dx dy dz$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 \leq 1, 0 \leq y \leq x, z \geq 0\}.$$

$$[\pi/32]$$

1.29

Calcolare

$$\int_E \ln(1 + x^2 + y^2)^z \, dx dy dz$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \mid 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, 0 \leq z \leq 1\}.$$

$$\left[\pi \left(\frac{5}{2} \ln 5 - \ln 2 - \frac{3}{2} \right) \right]$$

1.30

Calcolare il volume del solido ottenuto facendo compiere all'insieme

$$D := \{(x, y, 0) \in \mathbb{R}^3 \mid y \geq 0, \quad \sqrt{3}y \leq x, \quad (x-1)^2 + y^2 \leq 1\}$$

una rotazione completa intorno all'asse x .

$$\left[\frac{7\pi}{12} \right]$$

1.31

Posto

$$S := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, 0 \leq z \leq (1 + xy)^{1/2} \right\}$$

provare che

$$\int_S (x + y)z \, dx dy dz = 0.$$

1.32

Si calcoli il volume del solido ottenuto dalla rotazione, intorno all'asse z , del triangolo di vertici

$$(0, 0, 0), \quad (0, 2, 0), \quad (0, 1, 1).$$

$$[2\pi]$$

1.33

Calcolare il volume dell'insieme

$$\left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \left| x^2 + y^2 \leq 1, y \geq |x|, 0 \leq z \leq \frac{x^2 y}{x^2 + y^2 + 1} \right. \right\}.$$

$$\left[\frac{\pi\sqrt{2}}{24} - \frac{\sqrt{2}}{9} \right]$$

1.34

Calcolare

$$\int_{\Pi} z(x^2 + y^2) dx dy dz$$

dove Π è la piramide avente per base il quadrato $ABCD$ con

$$A = (1, 1, 0) \quad B = (-1, 1, 0) \quad C = (-1, -1, 0) \quad D = (1, -1, 0)$$

e il vertice nel punto $(0, 0, 1)$.

$$\left[\frac{4}{45} \right]$$

1.35

Sia T il triangolo di vertici

$$(1, 0, 0), \quad (3, 0, 0), \quad (2, 0, 1).$$

Calcolare il volume del solido ottenuto facendo compiere a T una intera rotazione intorno all'asse z .

$$[4\pi]$$

1.36

Calcolare

$$\int_D \frac{1}{2x+y} dx dy$$

dove D è la regione piana limitata dalle curve

$$y = x, \quad 2y = x, \quad y = -2x^2 + 2x, \quad y = -x^2 + 2x.$$

$$\left[2 \ln \frac{6}{5} - \frac{1}{4}\right]$$

1.37

Calcolare

$$\int_E e^{x^2+y^2} dx dy dz$$

dove E è la regione di spazio ottenuta da una rotazione completa intorno all'asse z dell'insieme

$$\{(0, y, z) \mid 0 \leq y \leq [\ln(1+z)]^{1/2}, 0 \leq z \leq 1\}.$$

$$\left[\frac{\pi}{2}\right]$$

1.38

Siano:

- E la regione limitata del piano yz racchiusa dalle curve

$$z = 0, \quad z = y^2, \quad z = 1 - y^2;$$

- V il solido ottenuto facendo ruotare E intorno all'asse z .

Calcolare

$$\int_V 2(x^2 + y^2 + z) dx dy dz.$$

$$\left[\frac{\pi}{3}\right]$$

1.39

Sia V il sottoinsieme di $\mathbb{R}^3$ ottenuto da una rotazione completa della regione piana

$$\{(0, y, z) \mid 1/2 \leq y \leq 1, 2y^2 \leq z \leq y^2 + 1\}$$

intorno all'asse y . Calcolare

$$\int_V \frac{y}{(x^2 + z^2)^{1/2}} dx dy dz.$$

$$\left[\frac{9\pi}{32} \right]$$

1.40

Sia P la regione convessa del piano yz avente per frontiera il poligono di vertici

$$(0, 0, 0), \quad (0, 1, 0), \quad (0, 2, 2), \quad (0, 0, 1).$$

Calcolare il volume della regione spaziale ottenuta facendo compiere a P una rotazione completa intorno all'asse y .

$$\left[\frac{10\pi}{3} \right]$$

1.41

Calcolare l'integrale

$$\int_D 1 - x^2 - y^2 dx dy$$

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

$$[\pi/2]$$

1.42

Sia A la regione compatta del piano limitata dalle rette

$$y = x, \quad y = 2x, \quad y + x = 1, \quad y + x = 2.$$

Determinare il volume dell'insieme

$$\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x, y) \in A, \quad 0 \leq z \leq (xy)^{-1}\}.$$

$$[\ln^2 2]$$

1.43

Sia A la regione compatta del piano yz compresa fra l'asse delle y e la curva $z = \sin y$, con $0 \leq y \leq 2\pi$. Calcolare il volume del solido ottenuto da una rotazione completa di A intorno all'asse z .

$$[8\pi^2]$$

1.44

Sia

$$B := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 0 \leq z \leq 1 - y^2\}.$$

Calcolare il volume della porzione di B compresa fra i piani di equazioni $x = 0$ e $y = x$.

$$[1/2]$$

1.45

Sia Γ il sottoinsieme di $\mathbb{R}^3$ ottenuto da una rotazione completa del triangolo di vertici

$$(0, 1, 0), \quad (0, 2, 0), \quad (0, 1, 1)$$

intorno all'asse z . Calcolare

$$\int_{\Gamma} z \sqrt{x^2 + y^2} \, dx dy dz.$$

$$[8\pi/15]$$

1.46

Sia D la regione connessa e limitata del primo quadrante di $\mathbb{R}^2$ compresa fra le rette $y = x/\sqrt{3}$, $y = x\sqrt{3}$ e le circonferenze $x^2 + y^2 = 1$, $x^2 + y^2 = 4$. Sia inoltre S il grafico di

$$(x, y) \mapsto x^2 + y^2, \quad (x, y) \in D.$$

Calcolare

$$\int_S \frac{(x+y)z}{(1+4z)^{1/2}} \, d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$[31(\sqrt{3} - 1)/5]$$

1.47

Sia V la regione di spazio ottenuta da una rotazione completa intorno all'asse z dell'insieme

$$\{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid y \in [0, 1], \sqrt{y} \leq z \leq 2 - y\}.$$

Calcolare

$$\int_V 2z \, dx dy dz.$$

$$[7\pi/6]$$

1.48

Calcolare

$$\int_E (1 - z)(x^2 + y^2)^{1/2} \, dx dy dz$$

dove E è la regione di spazio ottenuta da una rotazione completa intorno all'asse z dell'insieme

$$\{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 0 \leq y \leq (1 - z)^2, 0 \leq z \leq 1\}.$$

$$[\pi/12]$$

1.49

Calcolare il volume della regione

$$\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 1 \leq x^2 + z^2 \leq 4, 0 \leq y \leq \ln(x^2 + z^2)\}.$$

$$[\pi(8 \ln 2 - 3)]$$

1.50

Siano A e B , rispettivamente, il disco di raggio 2 centrato nell'origine e il disco di raggio 1 centrato in $(1, 0)$. Calcolare

$$\int_T (x^2 + y^2)^{-1/2} \, dx dy$$

dove

$$T := \{(x, y) \in A - B \mid 0 \leq y \leq x\sqrt{3}\}.$$

$$[2\pi/3 - \sqrt{3}]$$

1.51

Sia C il cono avente per base il disco di raggio 2 centrato nell'origine e contenuto nel piano xy e per vertice il punto $(0, 0, 2)$. Posto

$$T := \{(x, y, z) \in C \mid 0 \leq z \leq 1\}$$

calcolare

$$\int_T \frac{(x^2 + y^2)^{1/2}}{(2 - z)^2} dx dy dz.$$

$[\pi]$

1.52

Se $z \in \mathbb{R}$, indichiamo con D_z il disco unitario centrato in $(0, z, z)$ e parallelo al piano xy . Posto

$$\Gamma := \bigcup_{z \in [0, 1]} D_z$$

calcolare

$$\int_{\Gamma} 4 [(y - z)^2 + x^2] dx dy dz.$$

$[2\pi]$

1.53

Sia F la regione limitata del primo quadrante del piano yz racchiusa dalle curve

$$z = y^2, \quad y = z^2.$$

Calcolare

$$\int_V |xz| dx dy dz$$

dove V è ottenuto dalla rotazione di F intorno all'asse y .

$[1/9]$

1.54

Calcolare

$$\int_E z \sin(xy) \, dx dy dz$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x, y, z \in [-1, 1], x^2 + y^2 \geq 1\}.$$

[0]

1.55

Calcolare

$$\int_E \frac{1}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dx dy$$

dove

$$E := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x + y \geq 1, x^2 + y^2 \leq 1\}.$$

$[2 - \pi/2]$

1.56

Si considerino, nel piano xy di $\mathbb{R}^3$, due dischi di raggio 2 centrati rispettivamente in $(0, -1, 0)$ e $(0, 1, 0)$. Indichiamo con E la regione ottenuta da una rotazione completa dell'unione di questi due dischi intorno all'asse y . Calcolare

$$\int_E 2|y| \, dx dy dz.$$

$[45\pi]$

1.57

Si calcoli

$$\int_E \frac{2y}{x} \, dx dy$$

dove E è la regione compatta del semipiano $x > 1$ limitata dalle curve

$$y = \ln x, \quad y = 2 \ln x, \quad y \ln x = 1, \quad y \ln x = 2.$$

$[20/3 - 4\sqrt{2}]$

1.58

Sia E la regione compatta racchiusa dal paraboloide Π_1 di equazione $z = x^2 + y^2$ e dal paraboloide Π_2 di equazione $z = 1 - (x - 1)^2 - y^2$. Si usi il teorema della divergenza per calcolare il flusso del campo di vettori

$$F(x, y, z) := \left(xy, x - \frac{y^2}{2}, z \right), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

uscente dalla frontiera di E .

$[\pi/16]$

1.59

Per $t \in (0, 1)$, si consideri l'insieme

$$E_t := \left\{ (x, y, z) \mid 0 \leq z \leq 1 - \frac{x^2}{t^2} - \frac{y^2}{(1-t)^2} \right\}.$$

Disegnare il grafico della funzione $t \rightarrow m_3(E_t)$ e determinare per quale valore di t tale funzione raggiunge il suo massimo.

$[1/2]$

1.60

Si considerino

$$\Gamma_0 := \{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq 1, 0 \leq z \leq 1\}$$

e

$$\Gamma_1 := \{(x, y, z) \mid (x - 1)^2 + y^2 \leq 1, 0 \leq z \leq 1\}.$$

Calcolare il volume della regione formata dai punti di Γ_1 che non appartengono a Γ_0 .

$[\pi/3 + \sqrt{3}/2]$

1.61

Siano Σ_0 e Σ_1 , rispettivamente, la sfera di raggio 2 centrata nell'origine e la sfera di raggio 1 centrata in $(0, 2, 0)$. Calcolare il volume di $\Sigma_0 \cap \Sigma_1$.

$[13\pi/24]$

1.62

Sia E il solido ottenuto da una rotazione completa della regione piana

$$\{(x, y, 0) \in \mathbb{R}^3 \mid x \geq 0, y \geq 0, x + y \leq 1\}.$$

intorno all'asse delle x . Calcolare

$$\int_E \frac{yz}{(1+x)^\pi} + 1 \, dxdydz.$$

$$[\pi/3]$$

1.63

Posto

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1\}, \quad E := \{(x, y, z) \in C \mid y \leq z \leq y + 1\}$$

si svolgano i seguenti punti:

- (i) Calcolare $\mathcal{L}^3(E)$;
- (ii) Servirsi del risultato ottenuto in (i) e del teorema della divergenza per calcolare il flusso del campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (x, -y, z)$$

attraverso $\partial C \cap \partial E$ orientata dal campo normale esterno a E .

$$[\pi; 0]$$

1.64

Per $t \in (0, 1]$, sia E_t l'insieme dei punti (x, y) soddisfacenti la disequazione

$$x^2 + \frac{y^2}{t^2} \leq 1$$

e sia V_t il solido ottenuto da una rotazione completa di E_t intorno all'asse x . Rappresentare graficamente l'insieme E_t , calcolare esplicitamente il numero $\mathcal{L}^3(V_t)$ e disegnare il grafico della funzione $t \mapsto \mathcal{L}^3(V_t)$ per $t \in (0, 1]$.

$$[4\pi t^2/3]$$

1.65

Calcolare

$$\int_E (x^2 + y)z \, dx dy dz$$

dove E è l'insieme ottenuto da una rotazione completa di

$$\{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq \sqrt{y}\}$$

intorno all'asse delle z .

$$[\pi/10]$$

1.66

Calcolare $\mathcal{L}^3(E)$, dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, x \leq y \leq x\sqrt{3}, 0 \leq z \leq 1 - x^2 - y^2\}.$$

$$[\pi/48]$$

1.67

Calcolare

$$\int_{\Gamma} (x^2 + y^2 - 2y)e^z \, d\mathcal{L}^3(x, y, z)$$

dove

$$\Gamma := \{(x, y, z) \mid 1 \leq x^2 + (y - 1)^2 \leq 4, 0 \leq z \leq 2\}.$$

$$[9(e^2 - 1)\pi/2]$$

1.68

Calcolare

$$\int_E ye^x \, dx dy$$

dove E indica la regione limitata del piano racchiusa dalle curve

$$y = e^x, \quad y = 2e^x, \quad y = e^{-x}, \quad y = 3e^{-x}.$$

$$[2(2^{1/2} - 1)(3^{3/2} - 1)/3]$$

1.69

Calcolare

$$\int_E 2(y-x)(2x+1) d\mathcal{L}^2(x,y)$$

dove E è il sottoinsieme compatto del primo quadrante del piano cartesiano racchiuso dalle curve

$$y = x, \quad y = x + 1, \quad y = 2 - x^2, \quad y = 3 - x^2.$$

[1]

1.70

Siano A e B , rispettivamente, il disco di raggio 1 centrato in $(1,0)$ e il disco di raggio $1/2$ centrato in $(1/2,0)$. Calcolare

$$\int_{A \setminus B} x + \sin(xy) d\mathcal{L}^2(x,y).$$

$[7\pi/8]$

1.71

Calcolare il volume dell'insieme

$$E := \{(x,y,z) \in P \mid x^2 + y^2 \leq 1\}$$

dove P è la piramide avente come vertici i punti

$$(-1, -1, 0), \quad (1, -1, 0), \quad (1, 1, 0), \quad (-1, 1, 0), \quad (0, 0, 1).$$

$[\pi - \frac{4\sqrt{2}}{3}]$

1.72

Calcolare l'integrale

$$\int_A x dx dy$$

dove A è la regione piana compatta racchiusa dalle curve

$$x^2 + y^2 = 1, \quad y = x, \quad x = 1.$$

$$\left[\frac{1}{3} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right]$$

1.73

Calcolare

$$\int_C z \, dx dy dz$$

dove C è il cono avente per base l'ellisse

$$\{(x, y, 0) \mid x^2/4 + y^2 \leq 1\}$$

e il vertice in $(0, 0, 1)$.

$$[\pi/6]$$

1.74

Calcolare

$$\int_A \frac{1}{xy^2} \, dx dy$$

dove A è la regione limitata del piano compresa fra le rette

$$y = x, \quad y = 2x, \quad y = 1 - x, \quad y = 2 - 2x.$$

$$\left[\frac{\ln 2}{2} \right]$$

1.75

Calcolare

$$\int_A 4(x^2 + y^2) \, dx dy$$

dove A è la regione limitata del piano racchiusa dalle rette

$$y = x - 2, \quad y = x + 2, \quad y = -x - 1, \quad y = -x + 1.$$

$$[40/3]$$

1.76

Calcolare

$$\int_E x^2 y \, dx dy dz$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, y \geq x^2, z \in [0, 1]\}.$$

$$\left[\frac{a^3}{3} - \frac{a^5}{5} - \frac{a^7}{7} \cos a := \left(\frac{5^{1/2}-1}{2} \right)^{1/2} \right]$$

1.77

Calcolare

$$\int_E x^2 y \, dx dy$$

dove

$$E := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 \geq 1, 0 \leq y \leq x, x \leq 2\}.$$

$$\left[\frac{47}{15} + \frac{\sqrt{2}}{60} \right]$$

1.78

Calcolare

$$\int_E 3y \sqrt{x^2 + z^2} \, dx dy dz$$

dove E è il solido ottenuto dalla rotazione del triangolo di vertici $(0, 0, 0)$, $(0, 1, 2)$, $(0, 0, 1)$ intorno all'asse y .

$$[17\pi/10]$$

1.79

Calcolare

$$\int_E 4xyz \, dx dy dz$$

dove E è la piramide di vertici $(0, 0, 0)$, $(1, 0, 0)$, $(1, 1, 0)$, $(0, 1, 0)$, $(0, 1, 1)$.

$$[1/15]$$

1.80

Calcolare

$$\int_E \frac{2(x+y)z}{3x^2+2xy} d\mathcal{L}^3(x,y,z)$$

dove E è la regione limitata racchiusa dal cilindro

$$(x-2)^2 + (y-3)^2 \leq 1$$

e dai due piani

$$z = x + y, \quad z = 2x + y.$$

$$[5\pi]$$

1.81

Sia E il solido ottenuto ruotando l'insieme

$$\{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 1 \leq z \leq 2, z/2 \leq y \leq z\}$$

intorno all'asse z . Rappresentare graficamente E e calcolare

$$\int_E (x^2 + y^2)^{1/2} d\mathcal{L}^3(x, y, z).$$

$$[35\pi/16]$$

1.82

Calcolare l'integrale

$$\int_E \frac{2z}{x^2 + y^2 + 1} d\mathcal{L}^3(x, y, z)$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : x \geq 0, y \geq 0, x^2 + y^2 \leq 4, 0 \leq z \leq xy\}.$$

$$[(2 + \ln \sqrt{5})\pi/16]$$

1.83

Rappresentare graficamente l'insieme

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : 0 \leq y \leq x, 1 \leq x + y \leq 2, 0 \leq z \leq 2 - x - y\}$$

e calcolare l'integrale

$$\int_E (x + y + z) d\mathcal{L}^3(x, y, z).$$

[9/16]

1.84

Calcolare l'integrale

$$\int_{P \times [0,1]} \frac{z}{x+y} d\mathcal{L}^3$$

dove P è la regione limitata del piano xy racchiusa dalle rette

$$y = 8 - x, \quad y = 2 - x, \quad y = \frac{x}{2}, \quad y = 2 + \frac{x}{2}.$$

$\left[\frac{4 \ln 2}{3}\right]$

1.85

Rappresentare graficamente l'insieme

$$E := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \left| x \geq 0, y \geq 0, 1 \leq \frac{x^2}{4} + y^2 \leq 4, z \in [0, 2] \right. \right\}$$

e calcolare l'integrale

$$\int_E xyz dL^3(x, y, z).$$

[15]

1.86

Sia S l'insieme dei punti

$$(\sin \theta \cos \theta \cos \psi, \sin \theta \cos \theta \sin \psi, \sin^2 \theta) \in \mathbb{R}^3$$

con

$$\theta \in [0, \pi/2], \quad \psi \in [0, 2\pi].$$

- Provare che S è una superficie di rotazione intorno all'asse z ;
- Descrivere e rappresentare graficamente l'intersezione di S con il piano yz ;
- Indicato con E la regione limitata di spazio tale che $\partial E = S$, calcolare $L^3(E)$.

[L'intersezione di S con il piano yz è la curva di equazione $|y| = [z(1-z)]^{1/2}$. $L^3(E) = \pi/6$.]

1.87

Sia E la regione piana costituita dai punti $(x, y) \in (0, +\infty) \times (0, +\infty)$ tali che

$$4 \leq x^2 + y^2 \leq 9, \quad x \leq y \leq x + 1.$$

- Rappresentare graficamente l'insieme $E \times [0, 2]$;
- Calcolare l'integrale

$$\int_{E \times [0, 2]} (x + y)z \, dL^3(x, y, z).$$

[5]

1.88

Fornire una rappresentazione grafica qualitativa dell'insieme

$$E := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x^2 + y^2)^{3/2} \leq z^2 + 1, \, z \in [0, 2] \right\}$$

e calcolare l'integrale

$$I := \int_E \frac{3|x|}{(1 + z^2)^2} \, dL^3(x, y, z).$$

[$4 \arctan 2$]

1.89

Sia E la regione compatta del piano racchiusa dalle quattro curve

$$x = 1 - y^2, \quad x = 2 - y^2, \quad y = 0, \quad y = x^{1/2}.$$

Rappresentare graficamente E e calcolare l'integrale

$$\int_E \left(1 + \frac{y^2}{x}\right)^{1/2} dL^2(x, y).$$

$$[(2^{3/2} - 1)\pi/6]$$

1.90

Rappresentare graficamente l'insieme

$$E := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 \leq 4, x \geq 0, y \geq 1\}$$

e calcolare

$$\int_E xy \cos(x^2 + y^2) dL^2.$$

$$\left[\frac{3 \sin 4}{4} + \frac{\cos 4 - \cos 1}{4}\right]$$

1.91

Si tracci un grafico qualitativo della regione

$$R := \left\{(\rho \cos \alpha, \rho \sin \alpha) \mid \frac{\pi}{6} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}, 0 \leq \rho \leq \left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right)^{1/3}\right\}$$

e si calcoli il volume del solido ottenuto dalla rotazione completa di $\{0\} \times R \subset \mathbb{R}^3$ intorno all'asse z .

$$\left[\frac{2\pi^2}{9} - \frac{\sqrt{3}\pi}{3}\right]$$

1.92

Calcolare

$$\int_E (x^2 + y^2) e^{2z} dL^3,$$

dove

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 0 \leq z \leq \min\{1, -\ln(x^2 + y^2)\}\}.$$

$$[\frac{\pi}{2}]$$

1.93

Indicato con Q il quadrilatero compatto e convesso di vertici $(1, 1)$, $(2, 1)$, $(4, 2)$ e $(2, 2)$, si calcoli

$$\int_Q \frac{y^2}{x^3} \cos\left(\frac{y}{x}\right) dL^2(x, y).$$

$$[\sin 1 - \frac{\sin(1/2)}{2} + \cos 1 - \cos(1/2)]$$

1.94

Sia E il solido ottenuto dalla rotazione completa intorno all'asse z del triangolo avente come vertici $(0, 0, 0)$, $(0, 2, 1)$ e $(0, 1, 1)$. Fornire una rappresentazione grafica qualitativa di E e calcolare

$$\int_E z \cos(x^2 + y^2) dL^3.$$

$$[(4 \cos 1 - \cos 4 - 3)\pi/8]$$

1.95

Sia B la palla di raggio 1 e centro $(0, 2, 1)$. Sia E la regione di $\mathbb{R}^3$ ottenuta da una rotazione completa dell'insieme

$$T := (\{0\} \times [1, 2] \times [0, 1]) \setminus B,$$

intorno all'asse z .

- Rappresentare graficamente T ed E ;
- Calcolare l'integrale

$$\int_E z \left(\frac{2}{(x^2 + y^2)^{1/2}} - 1 \right) dL^3.$$

$$[\pi/12]$$

1.96

Sia P il parallelogramma racchiuso dalla poligonale congiungente i punti

$$(0, 2, 0); \quad (0, 3, 0); \quad (0, 2, 1); \quad (0, 1, 1).$$

Rappresentare graficamente il solido E ottenuto dalla rotazione completa di P intorno all'asse z e calcolare

$$\int_E \frac{\sin \sqrt{x^2 + y^2}}{2\sqrt{x^2 + y^2}} dL^3.$$

$$[\pi(2 \sin 2 - \sin 3 - \sin 1)]$$

1.97

Sia

$$E := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 2(x^2 + y^2)^{1/2} \leq z \leq 3 - x^2 - y^2 \right\}.$$

Fornire una rappresentazione grafica qualitativa di E e calcolare

$$\int_E |z - 2| dL^3.$$

$$[\pi/2]$$

1.98

Rappresentare graficamente l'insieme

$$D := \{(y, z) \in [0, +\infty) \times [0, +\infty) \mid (y - 1)^2 + z^2 \leq 4\}$$

e calcolare il volume del solido E ottenuto dalla rotazione completa di $\{0\} \times D$ intorno all'asse z .

$$[3\pi\sqrt{3} + \frac{8\pi^2}{3}]$$

1.99

Rappresentare graficamente l'insieme E dei punti $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ tali che

$$x = 0, \quad -y \leq z \leq 1, \quad y \leq 1, \quad (y - 1)^2 + z^2 \geq 1.$$

Calcolare

$$\int_V y(x^2 + z^2) dL^3,$$

dove V è il solido ottenuto da una rotazione completa di E intorno all'asse y .

$$[-\pi/10]$$

1.100

Indicato con C il cilindro circolare di raggio 1 avente come asse la retta generata dal vettore $(0, 1, 1)$, definiamo

$$E := \{(x, y, z) \in C \mid 0 \leq z \leq 1\}.$$

Calcolare

$$\int_E x^2 + \left(\frac{y-z}{\sqrt{2}}\right)^2 dL^3(x, y, z).$$

$$[\pi/\sqrt{2}]$$

1.101

Sia

$$E := \{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid 3\pi/2 \leq y \leq 7\pi/2, -1 \leq z \leq \sin y\}$$

e sia Σ il solido ottenuto dalla rotazione completa di E intorno all'asse z .

- Fornire una rappresentazione grafica di E .
- Calcolare $\int_{\Sigma} z^2 dL^3(x, y, z)$.

$$[10\pi^3/3]$$

Chapter 2

Vettori e campi vettoriali

2.1

Disegnare i (grafici dei) seguenti campi di vettori, dopo averne determinato i corrispondenti domini:

$$\varphi(x, y) = (xy, x/y), \quad \varphi(x, y) = (\sqrt{x+y-2}, 0), \quad \varphi(x, y) = (x, x^2 - y).$$

2.2

Dati i vettori

$$v_1 = (1, -2), \quad v_2 = (-3, 0), \quad v_3 = (-1, 4)$$

determinare $v_1 + v_2 - v_3$, $3v_1 - 2v_2 + v_3$, $|5v_1|$, $|v_1 - v_2|$. Determinare inoltre il vettore v tale che $v_1 - 3v = 2v_2$.

2.3

Stabilire se i punti delle seguenti terne sono allineati:

$$\{(1, 3); (2, 5); (3, 10)\}, \quad \{(0, 0, 0); (2, 2, 0), (-1, -1, 0)\}.$$

2.4

Determinare, nei seguenti due casi, l'angolo compreso fra i vettori v e w :

$$v = (1, -1, -1), \quad w = (2, 1, 1) \quad \text{e} \quad v = (1, -2, 2), \quad w = (2, 3, -6)$$

2.5

Con riferimento all'esercizio 2.4, trovare (nei due casi) un vettore perpendicolare a v e a w .

Chapter 3

Curve e superfici

3.1

Determinare il piano passante per l'origine e perpendicolare alla retta parametrizzata da $v(t) = t(1, -1, 5)$.

3.2

Trovare la retta tangente alla curva parametrizzata da $v(t)$ nel punto P :

$$v(t) = (\sin^2 t, \cos^2 t, \sin t \cos t), \quad P = v(\pi/3); \quad v(t) = (t, t^2, t^3), \quad P = (1, 1, 1).$$

3.3

Scrivere l'equazione del piano tangente al grafico di f nel punto P_0 :

$$f(x, y) = 2x^2y + y^2 + 3, \quad P_0 = (1, 1, 6); \quad f(x, y) = e^{x^2y} + \sin(xy), \quad P_0 = (0, 0, 1).$$

Chapter 4

Integrali su curve e superfici

4.1

Calcolare l'integrale di linea lungo le seguenti curve C del campo vettoriale $v(x, y) = (\sin x \cos y, e^{xy})$:

$$C : 0 \leq x \leq \pi, y = \frac{\pi}{3}; \quad C : 0 \leq y \leq 1, x = 2.$$

4.2

Calcolare l'integrale di linea lungo le seguenti curve C del campo vettoriale $v(x, y) = (-y, x)$:

$$C : y = x^2, \quad 0 \leq x \leq 1; \quad C : y = x^{1/3}, \quad 0 \leq x \leq 2.$$

4.3

Calcolare la lunghezza del bordo di G_f , dove

$$f(x, y) : [-1, 1] \times [-1, 1] \rightarrow \mathbf{R}, \quad f(x, y) := x^2 - xy.$$

4.4

Calcolare l'area del quadrilatero ottenuto intersecando il piano di equazione $z - 2y + 3x = 10$ col cilindro a sezione quadrata $[0, 1] \times [0, 1] \times \mathbf{R}$.

4.5

Consideriamo l'ellisse E di equazione

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

e il campo vettoriale in $\mathbb{R}^2$

$$F(x, y) := (-y, x).$$

Calcolare

$$\int_E F \bullet ds$$

(suggerimento: usare la parametrizzazione $\gamma(t) = (a \cos t, b \sin t)$ con $t \in [0, 2\pi)$). Servirsi poi del teorema di Green per calcolare $\text{mis}(E)$.

4.6

Se D è il disco di raggio 1 centrato in $(0, 0)$, sia

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}$$

la funzione definita da $f(x, y) := xy + 1$. Si consideri anche il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (-y, x, z).$$

- Calcolare

$$\int_D f(x, y) \, dx dy.$$

- Ricavare l'espressione in coordinate cartesiane di un campo regolare di vettori normali al grafico G_f .
- Calcolare $\text{rot } F$.
- Servirsi del teorema di Stokes e dei due punti precedenti per valutare l'integrale

$$\int_{G_f} \frac{2}{\sqrt{1+x^2+y^2}} dS.$$

$$[\pi; (-y, -x, 1)/\sqrt{1+x^2+y^2}; \text{rot } F = (0, 0, 2); 2\pi]$$

4.7

Calcolare l'area della porzione di paraboloide $z = x^2 + y^2$ compresa tra i cilindri di equazioni $x^2 + y^2 = 1$ e $x^2 + y^2 = 2$.

4.8

Per ogni $n \in \mathbf{N}$, sia γ_n il grafico della funzione $g_n : [0, 2] \rightarrow \mathbf{R}$ così definita:

$$g_n(t) := \begin{cases} nt & \text{se } 0 \leq t < 1 \\ n & \text{se } 1 \leq t \leq 2. \end{cases}$$

Si calcoli

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\gamma_n} e^{-3x-y}.$$

4.9

Dati la superficie

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 : x^2 + y^2 = 1, |z| \leq 1\}$$

(orientata a piacere) e il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (e^{-z^2}, e^{-z^2}, 0),$$

calcolare

$$\int_C F \bullet dS.$$

[0]

4.10

Sia $F(x, y, z) := (2y, -x, -x)$ e C la circonferenza unitaria nel piano di equazione $z = y$ (centrata nell'origine). Calcolare il lavoro compiuto da F lungo C orientata a piacere.

4.11

Considerato l'insieme

$$\Omega := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid x, y \geq 0 \text{ e } 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4\},$$

calcolare il seguente integrale applicando il teorema di Green

$$\int_{\partial\Omega} -y dx + \ln(x^2 + y^2) dy = \int_{\partial\Omega} (-y, \ln(x^2 + y^2)) \bullet ds.$$

4.12

Sia C la superficie ottenuta ruotando il grafico della funzione $y \mapsto 2|y|$ attorno all'asse z . Posto

$$T := \{(x, y, z) \in C \mid 1 \leq z \leq 2\},$$

calcolare l'integrale

$$\int_T z \, dS.$$

$$[7\pi\sqrt{5}/6]$$

4.13

Si consideri la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 2, \, y < 1\}$$

orientata in modo tale che il suo vettore normale nel punto $(0, 0, \sqrt{2})$ coincida con $(0, 0, 1)$. Posto

$$F(x, y, z) := (xy, (y-1)e^{z^2} \cosh x, yz), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3$$

si calcoli

$$\int_S \operatorname{rot} F \bullet dS.$$

Quanto vale tale integrale se si sceglie per S l'altra possibile orientazione?

$$[0]$$

4.14

Sia $F : \mathbf{R}^2 \longrightarrow \mathbf{R}^2$ definito da

$$F(x, y) := (x \arctan y, x), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2,$$

e sia $D = \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 : 0 \leq y \leq 1 - x^2\}$. Si calcoli

$$\int_D \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y} \right) \, dx dy.$$

4.15

Calcolare l'area della superficie ottenuta ruotando la curva

$$\{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid y \in [0, 1], \, x = 0, \, z = 1 - y^2\}$$

intorno all'asse y .

4.16

Sia $D \subset \mathbf{R}^2$ il disco unitario centrato in 0 e

$$f(x, y) := 1 + (x^2 + y^2)^{1/2}, \quad (x, y) \in D.$$

Calcolare

$$\int_{G_f} \cos(z - 1)^2 dS$$

dove G_f è il grafico di f .

4.17

Si consideri il cilindro avente raggio 1 e asse coincidente con l'asse delle x . Calcolare l'area delle regioni limitate e connesse di tale cilindro, ottenute sezionandolo coi piani

$$y = x, \quad y = -x.$$

$$[4; 4]$$

4.18

Indicato con G il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto \frac{\varepsilon}{2}(x^2 + y^2), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2 \quad (\varepsilon > 0)$$

si calcoli l'area della regione di G contenuta nel cilindro di equazione $x^2 + y^2 = 1$. Calcolare il limite di quest'area, per $\varepsilon \downarrow 0$ (se lo si preferisce, ci si avvalga di un argomento intuitivo).

$$\left[\frac{2\pi}{3\varepsilon^2} ((\varepsilon^2 + 1)^{3/2} - 1); \pi \right]$$

4.19

Il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto x^2 + 4y^2$$

divide il piano di equazione

$$z = 2x + 8y - 1$$

in due regioni, di cui una finita. Calcolare l'area di quest'ultima.

$$[2\pi\sqrt{69}]$$

4.20

Calcolare l'area della regione costituita dai punti del piano

$$z = \sqrt{5}y$$

interni all'ellissoide

$$x^2 + \frac{y^2}{9} + \frac{z^2}{36} = 1.$$

$$[2\pi\sqrt{6}]$$

4.21

Sia P il parallelogramma nel piano di vertici $(0, 0)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$, $(2, 1)$ e poniamo

$$S := \{(x, y, x^2 + y^2) \mid (x, y) \in P\}.$$

Calcolare

$$\int_S \frac{xy}{\sqrt{1+4z}} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$\left[\frac{7}{12}\right]$$

4.22

Sia Σ l'arco di elica parametrizzato da

$$t \mapsto (\cos t, \sin t, t), \quad t \in [0, 2\pi]$$

e si consideri il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (2xz, 2yz, x^2 + y^2), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3.$$

Calcolare $\int_{\Sigma} F$.

$$[2\pi]$$

4.23

Indicata con C la curva ottenuta dall'intersezione del cilindro $x^2 + y^2 = 1$ con il piano $x + y = z$, si calcoli

$$\int_C \sqrt{3(x^2 + y^2) - z^2} d\mathcal{H}^1.$$

$[4\pi]$

4.24

Posto

$$S_\varepsilon := \{(x, y, \ln(x^2 + y^2)^{1/2}) \mid (x, y) \in \mathbf{R}^2, \varepsilon^2 \leq x^2 + y^2 \leq 1\} \quad (\varepsilon > 0)$$

calcolare

$$\lim_{\varepsilon \downarrow 0} \int_{S_\varepsilon} \frac{1}{\sqrt{1 + x^2 + y^2}} d\mathcal{H}^2.$$

$[2\pi]$

4.25

Sia C l'ellisse ottenuta intersecando il cilindro di equazione $x^2 + y^2 = 1$ con il piano di equazione $z = x$. Calcolare

$$\int_C (1 + y^2)^{1/2} ds.$$

$[3\pi]$

4.26

Sia S il grafico della funzione

$$T \ni (x, y) \mapsto e^{3x+4y}$$

dove T è il triangolo piano di vertici $(0, 0)$, $(4, 0)$, $(0, 3)$. Calcolare

$$\int_S (1 + 25z^2)^{1/2} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$\left[\frac{313}{48} + \frac{575}{48} e^{24} \right]$$

4.27

Sia E la porzione limitata di spazio compresa fra il cilindro

$$x^2 + (y - 1)^2 = 1$$

e i piani

$$z = 0, \quad z = y.$$

Calcolare il flusso uscente da E del campo vettoriale $(x, y, z) \mapsto (z - y, zx - yx, zy - y^2)$. Come si spiega l'uguaglianza fra questo risultato e quello dell'esercizio 1.26 ?

$[5\pi/4]$

4.28

Si consideri la funzione

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}, \quad (x, y) \mapsto \frac{x - y}{2(x + y)}$$

dove D è il parallelogramma di vertici $(2, 1)$, $(3, 1)$, $(4, 2)$ e $(3, 2)$. Calcolare

$$\int_{G_f} \frac{(x - y)^3 z^{-2}}{\sqrt{(x + y)^4 + x^2 + y^2}} dS.$$

$[6]$

4.29

Si consideri la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid z = x^2 + y^2, z \leq 1\}$$

e il campo di vettori

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (y, -x, x + y + z).$$

Verificare che vale il Teorema di Stokes (comunque si orienti S)

$$\int_{\bar{S}} \operatorname{rot} F = \int_{\partial \bar{S}} F.$$

$[\text{Entrambi gli integrali valgono } \pm 2\pi]$

4.30

Si considerino: il cilindro

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 = 1, z \in [0, 1]\},$$

il campo normale “esterno” a C

$$N : C \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad N(x, y, z) := (x, y, 0)$$

e infine un campo vettoriale $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$, di classe C^1 , della forma

$$F(x, y, z) := (a(x, y), b(x, y), c(x, y, z)).$$

Verificare che, in questa situazione, la formula di Stokes

$$\int_{\partial(C, N)} F = \int_{(C, N)} \text{rot } F$$

si riduce all’uguaglianza

$$\int_C x \frac{\partial c}{\partial y} - y \frac{\partial c}{\partial x} = 0.$$

4.31

Si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad (x, y) \mapsto (0, x)$$

e la regione limitata E racchiusa dalle curve di equazione

$$y = 0, \quad x + y = 2, \quad y = x^2 \ (x \geq 0).$$

Calcolare

$$\int_{\partial E} F$$

e mostrare che il risultato trovato coincide con l’area di E .

$\left[\frac{5}{6}\right]$

4.32

Si considerino il quadrato Q di vertici

$$(0, 0, 0) \quad (1, 0, 0) \quad (1, 1, 0) \quad (0, 1, 0)$$

e il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (y(z + 1), x^2(1 - z^2), \ln(1 + x^2 y^2 z^4)), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

Usare il Teorema di Stokes per calcolare l’integrale di F lungo ∂Q , con l’orientazione indotta dall’elenco dei vertici di cui sopra.

$[0]$

4.33

Sia T il triangolo di vertici

$$(1, 0, 0), \quad (3, 0, 0), \quad (2, 0, 1).$$

Calcolare l'area della superficie del solido ottenuto facendo compiere a T una intera rotazione intorno all'asse z .

$$[8\pi(1 + \sqrt{2})]$$

4.34

Un piano Π , coincidente all'istante iniziale ($t = 0$) con il piano xz , ruota intorno all'asse z con velocità angolare unitaria. Si considerino i due punti A e B in Π che, per $t = 0$, occupano le posizioni $(1, 0, 0)$ e $(2, 0, 1)$ rispettivamente. Supponiamo che il punto $P \in \Pi$ percorra il segmento AB con velocità costante dalla posizione iniziale A (per $t = 0$) alla posizione finale B (per $t = 2\pi$). Determinare la posizione $\gamma(t)$ occupata da P all'istante t . Calcolare inoltre la lunghezza della traiettoria compiuta da P (per $0 \leq t \leq 2\pi$).

$$\left[\left(\frac{x^2}{8} + \ln x - \frac{1}{2x^2} \right) \frac{\sqrt{4\pi^2 + 2} - 2\pi}{\sqrt{16\pi^2 + 2} - 4\pi} \right]$$

4.35

Sia C la semicirconferenza orientata nel quadrante piano

$$\{(0, y, z) \mid y \geq 0, z \geq 0\}$$

avente l'origine come punto iniziale e $(0, 0, 2)$ come punto finale. Calcolare

$$\int_C F$$

dove F è il campo vettoriale definito nell'esercizio 5.25.

$$\left[\frac{8}{3} \right]$$

4.36

Sia C una curva piana regolare e sia

$$S := C \times [a, b] = \{(x, y, z) \mid (x, y) \in C, z \in [a, b]\}.$$

Dimostrare che $\mathcal{H}^2(S) = (b - a)\mathcal{H}^1(C)$.

4.37

Sia P la regione convessa del piano yz avente per frontiera il poligono di vertici

$$(0, 0, 0), \quad (0, 1, 0), \quad (0, 2, 2), \quad (0, 0, 1).$$

Calcolare

$$\int_{\partial P} (0, -z, y)$$

dove l'orientazione scelta per ∂P è quella indotta dall'ordine in cui sono stati elencati i suoi vertici.

[4]

4.38

Calcolare l'area della superficie

$$\{(x, y, x^2 - y^2) \mid x^2 + y^2 \leq 1\}.$$

$$\left[\frac{\pi}{6} (5\sqrt{5} - 1) \right]$$

4.39

Sia A la regione compatta del piano limitata dalle rette

$$y = 0, \quad y = x, \quad y + x = 1, \quad y + x = 2$$

e sia S il grafico della funzione

$$A \rightarrow \mathbf{R}, \quad (x, y) \mapsto x + y.$$

Calcolare

$$\int_S (x + y)z \, d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$\left[\frac{15\sqrt{3}}{8} \right]$$

4.40

Sia Γ l'insieme definito nell'esercizio 1.45 e sia

$$S := \{(x, y, z) \in \partial\Gamma \mid x^2 + y^2 > 1, \, z > 0\}.$$

Calcolare

$$\int_S z \, d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$[4\pi\sqrt{2}/3]$$

4.41

Sia $\overline{G}$ il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto \ln(x^2 + y^2), \quad 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4$$

orientato dal campo normale avente la terza componente positiva. Calcolare

$$\int_{\partial \overline{G}} (-y, x, \sin(xy))$$

$$[6\pi]$$

4.42

Sia $\overline{C}$ la curva orientata avente come luogo

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid y = 0, x \geq 0, x^2 + z^2 = 1\}$$

percorsa nel senso in cui z cresce. Calcolare l'integrale

$$\int_{\overline{C}} (-z, z(x+y), x).$$

$$[\pi]$$

4.43

Calcolare l'area della superficie ottenuta ruotando intorno all'asse y la curva del piano yz di equazione $z = y^2$ con $y \in [0, 1]$.

4.44

Sia S_θ la superficie ottenuta da una rotazione completa intorno all'asse y del segmento di estremi

$$(0, 0, 1), \quad (0, \cos \theta, 1 + \sin \theta).$$

Calcolare $\mathcal{H}^2(S_\theta)$ e disegnare il grafico di $\theta \mapsto \mathcal{H}^2(S_\theta)$, con $\theta \in (-\pi/2, \pi/2)$.

$$[\pi(2 + \sin \theta)]$$

4.45

Calcolare $\mathcal{H}^2(\partial E)$, dove E è il solido definito nell'esercizio 5.33.

4.46

Calcolare l'integrale di superficie

$$\int_S (x + y - z) d\mathcal{H}^2(x, y, z)$$

dove

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + z^2 \leq 1, z = y\}.$$

$$[0]$$

4.47

Calcolare l'area della regione compatta del cilindro $x^2 + y^2 = 1$ racchiusa dal segmento $\{(1, 0)\} \times [1, 2]$ e dalle due eliche

$$t \mapsto (\cos 2\pi t, \sin 2\pi t, t), \quad t \mapsto (\cos 2\pi t, \sin 2\pi t, 2t)$$

con $t \in [0, 1]$.

$$[\pi]$$

4.48

Sia Γ il cono di equazione $z = (x^2 + y^2)^{1/2}$ e sia S la spirale parametrizzata da

$$\gamma(t) := (t \cos t, t \sin t, 0), \quad t \in [0, 2\pi].$$

Sia inoltre C la curva regolare inclusa in Γ e tale che S coincide con la proiezione ortogonale di C in $\mathbb{R}_{xy}^2$. Calcolare

$$\int_C (2 + z^2)^{-1/2} d\mathcal{H}^1(x, y, z).$$

$[2\pi]$

4.49

Siano Π_1 e Π_2 i paraboloidi definiti nell'esercizio 1.58. Calcolare

$$\int_{\Pi_1 \cap \Pi_2} (1 + 4y^2 + x - z)^{1/2} d\mathcal{H}^1(x, y, z).$$

$[3\pi/2]$

4.50

Sia S il sottoinsieme limitato del paraboloide $z = x^2 + y^2$ compreso fra i piani di equazioni $z = 2y$ e $z = 4y$. Calcolare poi l'integrale

$$\int_S (1 + 4x^2 + 4y^2)^{-1/2} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$[3\pi]$

4.51

Si considerino le sfere Σ_0 e Σ_1 dell'esercizio 1.61. Calcolare l'area di $\Sigma_1 \cap \partial\Sigma_0$.

$[\pi]$

4.52

Per $\varepsilon > 0$, definiamo $C_\varepsilon := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid \varepsilon^2 \leq x^2 + y^2 \leq 1\}$ e indichiamo con S_ε il grafico della funzione

$$f_\varepsilon : C_\varepsilon \rightarrow (0, +\infty), \quad f_\varepsilon(x, y) := (x^2 + y^2)^{-1/4}.$$

Provare che

$$\mathcal{H}^2(S_\varepsilon) \leq (3 - \varepsilon^{1/2})\pi.$$

4.53

Calcolare

$$\int_{(\partial S, \tau)} F$$

dove:

- (i) $S := \{(x, y, z) \in \mathbb{S}^2 \mid 0 \leq y \leq x, z \geq 0\}$;
- (ii) τ è un campo unitario tangente a ∂S , scelto arbitrariamente fra quelli continui nelle parti interne dei tratti regolari;
- (iii) $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$, $F(x, y, z) := (yz, yz, yz)$.

$$\left[\frac{\sqrt{2}-1}{3\sqrt{2}}\right]$$

4.54

Calcolare

$$\int_{\Gamma} \sqrt{2y(x^2 + z^2)} d\mathcal{H}^1(x, y, z)$$

dove Γ è la curva ottenuta dall'intersezione del cilindro $x^2 + (y-1)^2 = 1$ col cono $z = (x^2 + y^2)^{1/2}$.

$$[5\pi]$$

4.55

Si consideri la curva regolare orientata (C, τ) , dove

$$C := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x-1)^2 + y^2 = 1, z = x^2 + y^2\}$$

e l'orientazione τ è scelta a piacere fra le due possibili. Calcolare

$$\int_{(C, \tau)} (\ln(2x - z + 1), x + y - 1, -yz/4).$$

$$[2\pi]$$

4.56

Sia E la regione compatta del piano racchiusa dalle curve

$$y = x^2, \quad y = 2x^2, \quad y = \sqrt{x}, \quad y = \sqrt{2x}.$$

e sia $F : E \rightarrow \mathbb{R}^2$ il campo di vettori definito come segue

$$F(x, y) := \left(\ln x, \frac{3}{2}x^2 + \sin y \right).$$

Usare il teorema di Green per calcolare

$$\int_{(\partial E, \tau_E)} F$$

dove τ_E indica l'orientazione positiva di ∂E .

$$[9(16^{1/3} - 1)(1 - 32^{-1/3})/20]$$

4.57

Si consideri la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, y \geq 0, z = 1 - y\}$$

e il campo di vettori $F : S \rightarrow \mathbb{R}^3$ così definito

$$F(x, y, z) := \left(\frac{y^2}{2} + z, xy, \sin(y + z) \right).$$

Scelta a piacimento l'orientazione τ di ∂S , calcolare

$$\int_{(\partial S, \tau)} F$$

servendosi del teorema di Stokes.

$$[\pi/2]$$

4.58

Calcolare

$$\int_S \frac{x^2 + y^2}{e^z} d\mathcal{H}^2(x, y, z)$$

dove S è la superficie ottenuta facendo ruotare la curva $\{(0, y, \ln y) \mid y \in [1, 2]\}$ intorno all'asse z .

$$[2\pi(5^{3/2} - 2^{3/2})/3]$$

4.59

Sia S la superficie ottenuta facendo ruotare l'insieme

$$\{(0, y, \cos y) \mid y \in [0, \pi/2]\}$$

intorno all'asse z . Provare che la funzione

$$(x, y, z) \mapsto \frac{1}{\sqrt{2 - z^2}}, \quad (x, y, z) \in S$$

è limitata e calcolare

$$\int_S \frac{1}{\sqrt{2 - z^2}} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$[\pi^3/4]$$

4.60

Calcolare

$$\int_C \frac{(5 - x^2 - 4y^2)z}{(3y^2 + 10)^{1/2}} d\mathcal{H}^1(x, y, z)$$

dove C è l'elica ellittica parametrizzata da

$$\gamma(t) := (2 \cos t, \sin t, 3t), \quad t \in [0, 2\pi].$$

$$[6\pi^2]$$

4.61

Indicato con S il paraboloide di equazione $z = x^2 + y^2$, consideriamo la curva

$$\Gamma := \{(x, y, z) \in S \mid (x, y) \in [A; B]\}$$

dove $A := (1, 0)$ e $B = (0, 1)$. Calcolare

$$\int_{(\Gamma, \tau)} (2z, x, y)$$

dove τ è un campo vettoriale unitario tangente a Γ , scelto a piacimento.

$$[\pm 1/2]$$

4.62

Si consideri la calotta parabolica ottenuta facendo ruotare la curva

$$\{(0, y, z) \mid z = 1 - y^2, y \in [0, 1]\}$$

intorno all'asse z . Calcolare il valore di q per il quale il piano $z = q$ divide la calotta in due superfici di area uguale.

$$[q = \frac{1}{4}(5 - (\frac{1+5^{3/2}}{2})^{2/3})]$$

4.63

Calcolare l'integrale

$$\int_{\partial S} xyz \, d\mathcal{H}^1$$

dove

$$S := \{(x, y, x^2 - y^2) \mid x \geq 0, y \geq 0, x^2 + y^2 \leq 1\}.$$

[0]

4.64

Calcolare

$$\int_{\bar{S}} \left(\frac{y}{x}, \ln \frac{x}{y}, x - y + z \right)$$

dove $\bar{S}$ è il segmento orientato di punto iniziale $(1, 1, 2)$ e di punto finale $(3, 3, 0)$.

[0]

4.65

Si considerino le funzioni $f, g : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ e il campo vettoriale $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$, definiti come segue

$$f(x, y) := x^2 + y^2 + xy, \quad g(x, y) := 1 + xy,$$

$$F(x, y, z) := (x, y, z - xy).$$

Calcolare l'integrale del campo F lungo la curva ottenuta dall'intersezione dei grafici delle funzioni f e g , orientata a piacimento.

[0]

4.66

Sia A il quadrilatero chiuso limitato dalle rette

$$y = x, \quad y = 2x, \quad y = 1 - x, \quad y = 1 - 2x$$

e si consideri la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x, y) \in A, z = x\}.$$

Disegnare A e calcolare

$$\int_S \frac{1}{xyz} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$[\sqrt{2} \ln 2]$$

4.67

Sia $\bar{S}$ il segmento orientato avente $(1, 0, 0)$ come punto iniziale e $(0, 1, 0)$ come punto finale. Sia $\bar{C}$ la semicirconferenza orientata del piano yz avente $(0, 1, 0)$ come punto iniziale, $(0, 1, 2)$ come punto finale e passante per $(0, 0, 1)$. Disegnare la curva orientata $\bar{S} \cup \bar{C}$ e calcolare l'integrale

$$\int_{\bar{S} \cup \bar{C}} (x, x(1 - z), \sin(z + xy)).$$

$$[1 - \cos 2]$$

4.68

Sia B la palla unitaria centrata nell'origine di $\mathbb{R}^3$. Se $u \in \partial B$, indichiamo con Π_u il piano ortogonale ad u passante per l'origine. Calcolare il minimo e il massimo della funzione

$$\Phi : \partial B \cap \mathbb{R}_{yz}^2 \rightarrow \mathbb{R}, \quad \Phi(u) := \int_{\partial(B \cap \Pi_u)} (y^2, -z, x)$$

dove $B \cap \Pi_u$ va intesa come superficie orientata da u .

$$[\min_{u \in \partial B \cap \mathbb{R}_{yz}^2} \Phi = -\pi, \max_{u \in \partial B \cap \mathbb{R}_{yz}^2} \Phi = \pi]$$

4.69

Calcolare

$$\int_S \left(\frac{2 - z^2}{x^2 + y^2} \right)^{1/2} dH^2(x, y, z)$$

dove S è la superficie ottenuta facendo compiere alla curva $\{(0, y, \sin y) \mid y \in [2\pi, 4\pi]\}$ un giro completo intorno all'asse z .

$$[6\pi^2]$$

4.70

Un piano Π parallelo al piano xy , si muove (rimanendo sempre parallelo al piano xy) in modo che all'istante t la terza coordinata dei suoi punti sia $2t$. Contemporaneamente, un punto $P \in \Pi$ si muove lungo il grafico della funzione $\sin$ e la sua prima coordinata all'istante t vale t^2 .

- Scrivere un'espressione per la posizione del punto P all'istante t ;
- Indicata con C la curva percorsa da P quando t passa dall'istante 0 all'istante 1, provare che la funzione

$$f(x, y, z) := \frac{(y + \cos x)z}{[x(2 - y^2) + 1]^{1/2}}$$

è ben definita e limitata in C ;

- Calcolare $\int_C f dH^1$.

$$[(t^2, \sin t^2, 2t); 2(\sin 1 - \cos 1 + 1)]$$

4.71

Per ogni $m \in \mathbb{R}$, si consideri la superficie

$$S_m := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid z = x^2 + y^2 - 1, z \leq 2my\}.$$

- Descrivere (anche graficamente) la proiezione di S_m nel piano xy e cioè l'insieme $\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid (x, y, z) \in S_m \text{ per qualche } z \in \mathbb{R}\}$;
- Calcolare l'integrale

$$I(m) := \int_{S_m} \frac{z + m^2 - 2my + 1}{(1 + 4x^2 + 4y^2)^{1/2}} dH^2(x, y, z);$$

- Tracciare un grafico qualitativo della funzione $m \mapsto I(m)$ e stabilire per quale m il valore $I(m)$ è minimo.

[La proiezione di S_m nel piano xy è il disco di raggio $(1 + m^2)^{1/2}$ centrato in $(0, m)$. $I(m) = \pi(1 + m^2)^2/2$, che è minima per $m = 0$.]

4.72

Sia D la regione limitata del piano yz racchiusa dalle curve $y = 3$ e $y = 4z - z^2$. Rappresentare graficamente il solido E ottenuto dalla rotazione completa intorno all'asse z dell'insieme $\{0\} \times D$. Calcolare

$$\int_{\partial E} \frac{x^2 + y^2 - 9}{(4z - z^2)\sqrt{1 + (4 - 2z)^2}} dH^2(x, y, z).$$

$$\left[\frac{272\pi}{15} \right]$$

4.73

Sia E il solido ottenuto da una rotazione completa intorno all'asse z della seguente regione:

$$R := \{(0, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (y - 1)^2 + z^2 \leq 1, y \leq 1, z \geq 0\} \cup (\{0\} \times [1, 2] \times [0, 1]).$$

- Rappresentare graficamente E ;
- Calcolare

$$I := \int_{(\partial E, \nu)} (-y, x, z(1 - z))$$

dove ν è il campo normale a ∂E uscente.

$$\left[I = \frac{\pi(\pi-3)}{2} \right]$$

4.74

Si considerino i due cilindri C_1 e C_2 di equazioni, rispettivamente,

$$z = 1 - x^2, \quad y = (x - 1)^2.$$

Rappresentare graficamente la curva $\Gamma := \{(x, y, z) \in C_1 \cap C_2 \mid x \in [0, 2]\}$ e calcolare

$$\int_{(\Gamma, \tau)} (\ln(x^2 + z), x, y + z)$$

dove τ è una qualsivoglia orientazione di Γ .

$$[\pm 4]$$

4.75

Si consideri il cubo $Q := [-1, 1]^3$ e il piano P di equazione $x + y + z = 2$.

- Rappresentare graficamente la curva $\Gamma := P \cap \partial Q$;
- Calcolare l'integrale

$$\int_{\Gamma} (x-1)(y-1)z \, dH^1.$$

$$[\frac{\sqrt{2}}{6}]$$

4.76

Sia

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 = 1, -1 - y/2 \leq z \leq 2 + y\}.$$

Calcolare

$$\int_S (y-x) \, dH^2.$$

$$[3\pi/2]$$

4.77

Si rappresenti graficamente l'immagine Γ di

$$\gamma : [0, 2] \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad \gamma(t) := ((t-1) \vee 0, t \wedge 1, t).$$

Si provi che Γ è una curva regolare a tratti e si calcoli l'integrale

$$\int_{\Gamma} (x+y+z) \, dH^1.$$

$$[4\sqrt{2}]$$

4.78

Posto

$$C_1 := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid y^2 + z^2 = 4, x = 0\}$$

e

$$C_2 := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid y^2 + (z - 2\sqrt{2})^2 = 4, x = 0\},$$

sia C l'insieme dei punti di $C_1 \cup C_2$ che sono contenuti nel quadrato di vertici

$$(0, 0, 0), \quad (0, \sqrt{2}, \sqrt{2}), \quad (0, 0, 2\sqrt{2}), \quad (0, -\sqrt{2}, \sqrt{2}).$$

Indicata con S la superficie ottenuta dalla rotazione completa di C intorno all'asse z , si dia una rappresentazione grafica qualitativa di S e si calcoli $H^2(S)$.

$$[8\pi(2 - \sqrt{2})]$$

4.79

Sia

$$D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1 - x^2\}$$

e sia G il grafico della funzione

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) = y.$$

Fornire una rappresentazione grafica qualitativa di ∂G e calcolare l'integrale

$$\int_{\partial G} x dH^1(x, y, z).$$

$$[19/12]$$

4.80

Sia E la curva del piano di equazione $x^2 + 4y^2 = 4$ e sia G il grafico della funzione

$$f : E \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := \frac{x}{2} + 2y,$$

i.e., $G = \{(x, y, f(x, y)) \mid (x, y) \in E\}$. Calcolare l'integrale

$$\int_G (5 - 2xy)^{1/2} dH^1(x, y, z).$$

$$[10\pi]$$

4.81

Sia S la superficie costituita dai punti $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ tali che

$$x^2 + y^2 \leq 1, \quad \frac{x}{\sqrt{3}} \leq y \leq \sqrt{3}x, \quad z = 2xy.$$

Rappresentare graficamente la proiezione di S nel piano xy e calcolare

$$\int_S \frac{z}{(1 + 4x^2 + 4y^2)^{1/2}} dH^2(x, y, z).$$

[1/8]

4.82

Sia $C \subset \mathbb{R}^3$ il cilindro di equazione $y = x^2$ e sia $P \subset \mathbb{R}^3$ il grafico della funzione

$$D \rightarrow \mathbb{R}, \quad (x, y) \mapsto x^2 + y^2$$

dove $D \subset \mathbb{R}^2$ è il disco di raggio $\sqrt{2}$ centrato nell'origine. Fornire una rappresentazione grafica qualitativa di $C \cap P$ e calcolare l'integrale

$$\int_{C \cap P} x(1 - 2y + 6z) dH^1.$$

[0]

4.83

Sia E il sottoinsieme compatto di $\mathbb{R}^2$ delimitato dalle curve

$$y^2 - x^2 = -1, \quad y^2 - x^2 = 1, \quad x + y = 1, \quad x + y = 2.$$

Inoltre sia S il grafico della funzione

$$f : E \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := x + y.$$

- Fornire una rappresentazione grafica di E .
- Calcolare $H^2(S)$.

$[H^2(S) = \sqrt{3} \ln 2]$

4.84

Si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad F(x, y) = (y, x).$$

Calcolare $\int_{(C, \tau)} F$ nei seguenti casi:

(i) Se (C, τ) è il grafico della funzione

$$f_\alpha : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}, \quad f_\alpha(x) = x^\alpha$$

con $\alpha \in (0, +\infty)$, orientato in modo che $(0, 0)$ sia il suo punto iniziale.

(ii) Se (C, τ) è un arco di circonferenza centrata in $(1, 0)$ avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 1)$ come punto finale.

(iii) Se (C, τ) è una qualsiasi curva regolare orientata, avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 1)$ come punto finale.

[L'integrale vale sempre 1]

4.85

Sia C la curva ottenuta intersecando il cilindro ellittico

$$\frac{x^2}{4} + y^2 = 1$$

col grafico della funzione $(x, y) \mapsto xy$. Calcolare

$$\int_C \sqrt{1 + 3y^2 + 4((x/2)^2 - y^2)^2} dH^1.$$

$[9\pi]$

4.86

Rappresentare graficamente l'insieme

$$D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq x \leq 3\pi/2, 0 \leq y \leq 1 + \sin x\}.$$

Calcolare l'integrale

$$\int_S yz \cos x \, dH^2$$

dove S è il grafico della funzione $D \ni (x, y) \mapsto y$.

$$[-\sqrt{2}/12]$$

4.87

Siano D_0 e D_1 , rispettivamente, il disco chiuso di raggio 1 centrato nell'origine e il disco aperto di raggio 1 centrato in $(0, 1)$. Definiamo inoltre

$$E := \{(x, y) \in D_1 \setminus D_0 \mid x > 0\}, \quad S := \{(x, y, xy) \mid (x, y) \in E\}.$$

Rappresentare graficamente E e calcolare l'integrale

$$\int_S \frac{xy + z}{(1 + x^2 + y^2)^{1/2}} \, dH^2.$$

$$[9/8]$$

Chapter 5

Flusso di un campo vettoriale

5.1

Si consideri il semidisco

$$D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 \leq 1, y \geq 0\}$$

e si indichi con E il sottografico della funzione $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

$$f(x, y) := y.$$

Sia inoltre dato il seguente campo di vettori

$$F(x, y, z) := (0, 1 - x^2 - y^2, -y).$$

Calcolare allora i seguenti due flussi (uscenti da E) di F :

- quello attraverso la “superficie laterale”, cioè la parte di ∂E che giace parallela all’asse z ;
- quello attraverso la “base” D .

Infine, usando il teorema di Gauss della divergenza, determinare il flusso ascendente di F attraverso il grafico di f .

5.2

Sia $B \subset \mathbb{R}^2$ il disco di raggio 1 centrato in $(0, 1)$. Si consideri inoltre la funzione $f : B \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

$$f(x, y) := x^2 + y^2 + 1$$

e si denoti con E il suo grafico. Allora:

- calcolare l'integrale di superficie

$$\int_E \frac{y^2}{\sqrt{1+4x^2+4y^2}} dS;$$

- assumendo ∂E orientata compatibilmente con la direzione positiva dell'asse z , calcolare

$$\int_{\partial E} F \bullet ds$$

dove $F(x, y, z) := (z, xy^2, x)$.

Come si può giustificare l'uguaglianza di questi due integrali?

5.3

Sia $D \subset \mathbb{R}^2$ il disco di raggio 1 centrato nell'origine e consideriamo la funzione $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

$$f(x, y) := 1 - (x^2 + y^2) = 1 - x^2 - y^2.$$

Sia inoltre F il campo vettoriale in $\mathbb{R}^3$ dato da

$$F(x, y, z) := (x, 0, 0).$$

Affrontare le seguenti questioni:

- calcolare il flusso Φ di F attraverso il grafico di f (orientato dal campo delle normali aventi la terza componente positiva);
- calcolare la misura μ del sottografico di f ;
- utilizzare il teorema della divergenza di Gauss per spiegare l'apparente coincidenza $\Phi = \mu$.

$[\pi/2; \pi/2]$

5.4

Si consideri la funzione

$$f(x, y) : [-1, 1] \times [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := x^2 - xy$$

e il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (1, 0, x).$$

Denotata con G_f la superficie data dal grafico di f e scelta per essa l'orientazione corrispondente al campo normale avente la terza componente positiva, si calcoli

$$\int_{G_f} F \bullet dS.$$

[0]

5.5

Calcolare

$$\int_C F \bullet ds$$

dove C è il bordo del semidisco

$$\{(x, y) \mid x^2 + y^2 \leq 1, y \geq 0\}$$

percorso in senso antiorario e

$$F(x, y) := (xy, \ln(y + 1)).$$

[0]

5.6

Si consideri la funzione

$$f := [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := x^2 + xy$$

e il campo vettoriale in $\mathbb{R}^3$

$$F(x, y, z) := (x, z, 0).$$

Calcolare il flusso di F attraverso il grafico di f , scegliendo il verso di attraversamento concorde alla direzione positiva dell'asse $\mathbb{R}_z$.

5.7

Calcolare il flusso del campo vettoriale

$$F(x, y, z) := \left(\frac{x}{2}, 0, z - y^2 + 1 \right)$$

per la superficie data dal grafico della funzione

$$f(u, v) := u^2 + v^2 : B_1(0, 0) \rightarrow \mathbb{R}$$

attraversata nella direzione in cui z cresce.

5.8

Sia $D \subset \mathbf{R}^2$ il disco unitario centrato nell'origine e si consideri $f : D \rightarrow \mathbf{R}$ definita da

$$f(x, y) := \frac{e^{x \sin y} \ln(1 + x^2 + y^2)}{2 + \cos(x - y)}.$$

Calcolare il flusso (ascendente) attraverso il grafico di f del campo

$$F(x, y, z) := (0, 0, 2y).$$

5.9

Sia $F : \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^2$ il campo vettoriale definito come segue

$$F(x, y) := (x^3 y, \cos x).$$

Calcolare il flusso di F attraverso la curva

$$C := \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid x^2 + y^2 = 1, x \geq 0\}$$

nella direzione uscente dal disco unitario.

[0]

5.10

Siano dati l'insieme

$$D := \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid \sqrt{x^2 + y^2} \leq z \leq \sqrt{3}/2 \text{ e } x^2 + y^2 + z^2 \leq 1\},$$

e il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (y^3 e^{z^2}, y, \arctan x), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3.$$

Calcolare il flusso di F uscente dalla superficie ∂D .

5.11

Si consideri la piramide P con “punta” in $(0, 0, 1)$ e avente per base il quadrato di vertici $(1, 1, 0)$, $(-1, 1, 0)$, $(-1, -1, 0)$, $(1, -1, 0)$. Inoltre, sia dato il campo definito da

$$F(x, y, z) := (2x - (2 + x) \ln(2 + x), y \ln(2 + x), x + z), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3.$$

Calcolare il flusso (ascendente) di F attraverso la superficie laterale di P .

5.12

Applicare il teorema di Gauss della divergenza e il risultato dell'esercizio precedente per calcolare l'area di $\partial B \cap C$ (suggerimento: considerare il campo $F(x, y, z) := (x, y, z)$).

5.13

Si consideri la regione limitata E la cui frontiera è data dall'ellisse di equazione

$$\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{1} = 1.$$

Usare il Teorema di Green per determinare l'area di $\{(x, y) \in E \mid x \geq 1\}$.

5.14

Sia B la palla di raggio 1 centrata nell'origine e C il cono

$$\{(x, y, z) \mid z \geq (x^2 + y^2)^{1/2}\}.$$

Considerato il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (x^2 + y^2 + z^2 - 1)(x, y, z), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3$$

calcolare

$$\int_{B \cap C} \operatorname{div} F$$

dapprima in modo diretto e in seguito avvalendosi del Teorema di Gauss della divergenza.

[0]

5.15

Sia E l'intersezione fra il cilindro $x^2 + y^2 = 1$ e il piano $z = y$. Scelta per E un'orientazione τ , calcolare

$$\int_{(E, \tau)} (x, y, z).$$

[0]

5.16

Sia D il disco nel piano coordinato xz , di raggio unitario e centro l'origine. Calcolare il flusso del campo

$$(x, y, z) \mapsto \left(\cos(x+y), \frac{xz}{1+y^2}, \ln(1+x^2) \right)$$

attraverso D orientato a piacere.

[0]

5.17

Si consideri il campo vettoriale

$$F : \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid z > -1\} \rightarrow \mathbf{R}^3$$

definito come segue

$$F(x, y, z) := \left(xz, \frac{y}{z+1}, -\frac{z^2}{2} + z - \ln(1+z) \right).$$

Inoltre, indicato con D il disco unitario del piano xy centrato nell'origine, sia E il sottografico della funzione

$$D \ni (x, y) \mapsto f(x, y) := [1 + \sin(xy)](1 - x^2 - y^2).$$

Calcolare dapprima l'integrale

$$\int_E \operatorname{div} F$$

e poi, servendosi del risultato ottenuto e del teorema della divergenza, calcolare anche il flusso (ascendente) di F attraverso il grafico di f .

$[\pi/2 ; \pi/2]$

5.18

Sia C il cono con il vertice in $(0, 0, 1)$ e avente come base il disco unitario del piano xy centrato nell'origine. Inoltre, si indichi con S la semisfera

$$\{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 \leq 1, z \leq 0\}.$$

Posto $V := C \cup S$ e considerato il campo

$$F(x, y, z) := (x, y, z), \quad (x, y, z) \in \mathbf{R}^3,$$

si verifichi che vale il Teorema della divergenza

$$\int_V \operatorname{div} F = \int_{\partial V} F \cdot N$$

dove N è il campo delle normali esterne a V nei suoi punti di frontiera.

[I due integrali valgono 3π]

5.19

Determinare il campo $G = (G_1, G_2)$ avente come potenziale la funzione

$$(x, y) \mapsto (x^2 + y^2) \sqrt{1 + x^2 + y^2}.$$

Servirsi del Teorema di Green per calcolare

$$\int_D G_1 - G_2$$

dove D è il disco unitario centrato nell'origine.

$$\left[\frac{2+x^2+y^2}{(1+x^2+y^2)^{1/2}}(x, y); 0 \right]$$

5.20

Siano dati il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (zy, zx, y(x+1)), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

e la curva poligonale chiusa $\overline{C}$ congiungente (nell'ordine) i seguenti punti

$$(0, 0, 0); \quad (1, 0, 0); \quad (1, 1, 0); \quad (0, 1, 0); \quad (0, 1, 1); \quad (0, 0, 1); \quad (0, 0, 0).$$

Applicare il Teorema di Stokes per calcolare

$$\int_{\overline{C}} F.$$

[1]

5.21

Utilizzare l'uguaglianza provata nel Problema 1.31 e il Teorema di Gauss della divergenza per calcolare il flusso (ascendente) del campo vettoriale

$$(x, y, z) \mapsto (z(x^2 + y^2 - 1), z(x^2 + y^2 - 1), xy); \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

attraverso il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto (1 + xy)^{1/2}; \quad 0 \leq x^2 + y^2 \leq 1.$$

[0]

5.22

Sia $\mathcal{P}$ la piramide di vertici

$$(0, 0, 0); \quad (2, 0, 0); \quad (1, 1, 0); \quad (0, 1, 0); \quad (1, 1, 1).$$

Applicare a $\mathcal{P}$ il teorema della divergenza per calcolare il flusso ascendente del campo

$$F(x, y, z) := (0, 0, z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

attraverso la superficie poliedrale data dall'unione dei due triangoli di vertici rispettivamente

$$(0, 0, 0); \quad (2, 0, 0); \quad (1, 1, 1)$$

e

$$(0, 0, 0); \quad (0, 1, 0); \quad (1, 1, 1).$$

$\left[\frac{1}{2}\right]$

5.23

Sia P la piramide limitata dai tre piani cartesiani di $\mathbb{R}^3$ e dal piano passante per i punti

$$(1, 0, 0), \quad (0, 2, 0), \quad (0, 0, 3).$$

Determinare il flusso uscente da P del campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (xyz, xyz, xyz).$$

Usare quindi il Teorema di Gauss della divergenza per calcolare

$$\int_P (yz + xz + xy) \, dx dy dz.$$

$\left[\frac{11}{20}, \frac{11}{20}\right]$

5.24

Servirsi del teorema di Green per calcolare l'area dell'insieme E definito come la regione limitata del piano racchiusa dalle curve

$$y = 0, \quad y = x^2, \quad y = 1 - x^2.$$

$$\left[\frac{2-\sqrt{2}}{3} \right]$$

5.25

Si consideri il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (x, y, z^2), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

e la semisfera

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 \leq 1, z \geq 0\}.$$

Si calcoli

$$\int_E \operatorname{div} F.$$

Usando tale risultato e il teorema della divergenza, ricavare poi

$$\int_{\partial E} (x^2 + y^2 + z^3) d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$$\left[\frac{11\pi}{6}, \frac{7\pi}{3} \right]$$

5.26

Si consideri il campo di vettori

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (2x, y, 1 - 2z)$$

e la superficie

$$S := \{(x, y, 1 - x^2 - y^2) \mid x^2 + y^2 \leq 1\}.$$

Usare il teorema della divergenza e il risultato dell'esercizio 1.41 per calcolare il flusso ascendente di F attraverso S .

$$[3\pi/2]$$

5.27

Consideriamo il campo

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (0, 0, z)$$

e il tronco di cilindro

$$\Gamma := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, 0 \leq z \leq 1 + y\}.$$

Calcolare il flusso ascendente di F attraverso l'ellisse

$$E := \{(x, y, 1 + y) \mid x^2 + y^2 \leq 1\}$$

nei seguenti due modi:

- Mediante calcolo diretto;
- Applicando il teorema della divergenza alla regione Γ e al campo F .

$[\pi]$

5.28

Indichiamo con S_1 il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto (x^2 + y^2)^{1/4}, \quad 0 \leq x^2 + y^2 \leq 1$$

e con S_2 quello di

$$(x, y) \mapsto 2 - (x^2 + y^2)^{1/2}, \quad 0 \leq x^2 + y^2 \leq 1.$$

Calcolare:

- il flusso discendente del campo $(x, y, z) \mapsto (zx, zy, 0)$ attraverso S_1 ;
- (usando il Teorema della divergenza e il risultato ottenuto nell'esercizio 1.47) il flusso ascendente del campo $(x, y, z) \mapsto (zx, zy, 0)$ attraverso S_2 .

$[\pi/3; 5\pi/6]$

5.29

Consideriamo:

- il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := \left(\frac{z}{x}, x, \ln y \right);$$

- la regione piana compatta A limitata dalle rette

$$y = x, \quad y = 2x, \quad x + y = 1, \quad x + y = 2;$$

- il grafico G della funzione

$$f : A \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := xy.$$

Usare il Teorema di Stokes per calcolare

$$\int_{\partial G} F$$

dove per ∂G si sia scelta arbitrariamente una delle due orientazioni.

$[\pm 1/4]$

5.30

Sia S il grafico della funzione

$$[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}, \quad (x, y) \mapsto y$$

e sia N il campo normale a S avente la terza componente positiva. Servirsi del Teorema di Stokes per calcolare

$$\int_{\partial(S, N)} (z, x, x).$$

$[1]$

5.31

Siano Γ e D_z gli insiemi definiti nell'esercizio 1.52, sia N il campo normale a $\partial\Gamma$ uscente da Γ , sia $\Sigma := \partial\Gamma - (D_0 \cup D_1)$ e

$$F(x, y, z) := (x, y, -2z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

Calcolare

$$\int_{\Sigma} F \cdot N$$

usando il Teorema di Gauss.

$[2\pi]$

5.32

Verificare la formula di Stokes

$$\int_{(D,N)} \operatorname{rot} F = \int_{\partial(D,N)} F$$

dove D è il disco di raggio 1 e centro $(0, 1, 1)$ incluso nel piano $y = 1$, $N := (0, 1, 0)$ e

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (-yz, xz, xy).$$

5.33

Sia E il solido ottenuto dalla rotazione intorno all'asse z della regione compatta del piano yz delimitata dall'arco di parabola $z = y^2 - y$ con $y \geq 0$, dalla retta $z = 2$ e dall'asse z . Usare il teorema della divergenza per calcolare il flusso uscente da E del campo vettoriale

$$(x, y, z) \mapsto \left(\frac{y}{1+z^2}, \frac{x}{1+z^2}, (1+z^2)\sqrt{x^2+y^2} \right), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

$[512\pi/35]$

5.34

Applicare il teorema della divergenza all'insieme

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x-1)^2 + y^2 \leq 1, x^2 + y^2 + z^2 \leq 4, z \geq 0\}$$

e al campo di vettori

$$F(x, y, z) := (-y, x-1, z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

per calcolare il flusso ascendente di F attraverso la superficie

$$\{(x, y, z) \in \partial E \mid x^2 + y^2 + z^2 = 4\}.$$

$[8(3\pi - 4)/9]$

5.35

Si consideri la parametrizzazione di curva piana

$$\gamma(t) := \left(t, \frac{\sin t}{t} \right), \quad t \in \left[\pi, \frac{\pi}{2} \right]$$

e il campo di vettori

$$F(x, y) := \left(\frac{3\pi}{2}y, \left(x - \frac{\pi}{2}\right)(\pi - x) \right), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2.$$

Calcolare l'integrale

$$\int_{\gamma} F$$

applicando il teorema di Green al sottografico di $t \mapsto \sin t/t$, con $t \in (\pi/2, \pi)$.

[−2]

5.36

Eseguire di nuovo il calcolo del flusso considerato nell'esercizio 1.63, stavolta direttamente (e cioè senza ricorrere al teorema della divergenza).

[0]

5.37

Siano dati il sottoinsieme compatto E del primo quadrante del piano cartesiano limitato dalle curve

$$y = x^2, \quad y = x^2 + 1, \quad y = 1, \quad y = 3.$$

e il campo di vettori

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad F(x, y) := (y, x^2y + x).$$

Servirsi del teorema di Green per calcolare

$$\int_{(\partial E, \tau_E)} F$$

dove τ_E è il campo vettoriale unitario che orienta positivamente ∂E .

[4]

5.38

Per $R > 0$, sia

$$E_R := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 \leq 1, 0 \leq z \leq R\}$$

$$S_R := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 = 1, 0 \leq z \leq R\}.$$

Inoltre si indichi con N il campo normale esterno a ∂E_R e si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := \left(\frac{xy^2}{(z+2)^2}, 0, z \right).$$

Dopo aver verificato che per ogni $(x, y, z) \in S_R$ si ha

$$\frac{x^2 y^2}{(z+2)^2} = F(x, y, z) \cdot N(x, y, z)$$

applicare il teorema della divergenza per calcolare

$$\lim_{R \rightarrow +\infty} \int_{S_R} \frac{x^2 y^2}{(z+2)^2} d\mathcal{H}^2(x, y, z).$$

$[\pi/8]$

5.39

Sia G il grafico della funzione

$$\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 \leq 1\} \ni (x, y) \mapsto \sqrt{x^2 + y^2 + 3}$$

e sia ν il campo normale a G tale che $\nu_3 > 0$. Calcolare il rotore di

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (-y, x, x^2 z^2)$$

e usare il teorema di Stokes per provare che

$$\int_{(G, \nu)} (0, -xz^2, 1) = \pi.$$

$[\text{rot} F(x, y, z) = (0, -2xz^2, 2)]$

5.40

Si consideri l'insieme

$$E := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 1 \leq x \leq 2, 0 \leq y \leq x\}$$

e sia ν il campo di vettori normali esterni a ∂E . Applicare il teorema della divergenza per calcolare

$$\int_{(\partial E, \nu)} (\ln(1+y), (x+y)^2).$$

$[7]$

5.41

Data la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid z = x^2 + y^2, x^2 + y^2 \leq 1\},$$

sia ν il campo continuo normale a S avente la terza componente positiva. Inoltre sia $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ definito come segue

$$F(x, y, z) := \left(xye^z, e^{x^2+y^2}, \sin(xyz) \right).$$

- Calcolare $\text{rot } F$ in (x, y, z) e ν in $(x, y, x^2 + y^2) \in S$;
- Usare il teorema di Stokes per calcolare

$$\int_{(S, \nu)} \text{rot } F.$$

$$[\text{rot } F(x, y, z) = (xz \cos(xyz), -yz \cos(xyz) + xye^z, 2xe^{x^2+y^2} - xe^z); \nu(x, y, x^2+y^2) = (-2x, -2y, 1)/(1+4x^2+4y^2)^{1/2}; 0]$$

5.42

Si considerino:

- La superficie orientata (S, ν) , dove S è il grafico della funzione

$$(x, y) \mapsto \sqrt{1-x^2}, \quad (x, y) \in [-1, 1] \times [0, 1]$$

e ν è il campo normale a S avente la terza componente positiva;

- Il campo vettoriale

$$(x, y, z) \mapsto (yz, yz, yz), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

Verificare che vale la formula di Stokes.

[Il valore comune dei due integrali nell'identità di Stokes è $-\pi/2$]

5.43

Si considerino:

- La superficie orientata (S, ν) , con

$$S := \{(x, y, 1) \mid 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4\}$$

e

$$\nu : S \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (0, 0, 1);$$

- Il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad (x, y, z) \mapsto (x + y, y + z, z + x).$$

Verificare che vale la formula di Stokes.

[Il valore comune dei due integrali nell'identità di Stokes è -3π]

5.44

Sia E il parallelogramma di vertici $(0, 0)$, $(1, 0)$, $(2, 1)$, $(1, 1)$. Inoltre sia τ il campo di vettori unitari che orienta positivamente ∂E . Usare il teorema di Green per calcolare l'integrale

$$\int_{(\partial E, \tau)} (x \ln(1 + y), x + y).$$

$\left[\frac{\ln 2}{2}\right]$

5.45

Si consideri il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (yz, -xz, z(x^2 + y^2)), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

e la semipalla

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 \leq 1, z \geq 0\}.$$

Usare il teorema della divergenza di Gauss per calcolare

$$\int_E (x^2 + y^2) dx dy dz = \int_E \operatorname{div} F dx dy dz.$$

$[4\pi/15]$

5.46

Si considerino

- la calotta sferica

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 2, z \geq 1\}$$

orientata dal campo normale ascendente ($N_3 > 0$);

- il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (y + \ln(1 + x^2), z + \ln(1 + y^2), x + \ln z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^2 \times (0, +\infty).$$

Verificare la formula di Stokes.

5.47

Si considerino (nel piano):

- La spirale di Archimede C_1 parametrizzata da $\gamma(t) := (t \cos t, t \sin t)$, con $t \in [0, 2\pi]$;
- Il segmento C_2 congiungente l'origine al punto $(2\pi, 0)$;
- La regione limitata E tale che $\partial E = C_1 \cup C_2$.

Usare la formula di Green per calcolare l'area di E .

$$[4\pi^3/3]$$

5.48

- Calcolare $\text{rot } F$, dove

$$F(x, y, z) := (-xy^2, x^2y, xy \cos z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3;$$

- Usare il teorema di Stokes per calcolare l'integrale

$$\int_S (x^2 \cos z - y^2 \cos z + 4xyz) d\mathcal{H}^2(x, y, z)$$

dove

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0\}.$$

$$[1/2]$$

5.49

Si considerino la funzione

$$f(x) := (2 + \cos x) \sin x, \quad x \in [0, \pi]$$

e il campo di vettori

$$F(x, y) := (y - 2 \sin x, y), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2.$$

Inoltre siano C e E , rispettivamente, il grafico di f e il sottografico di f . Infine, sia $\tau = (\tau_1, \tau_2)$ l'orientazione di C tale che $\tau_1 < 0$. Applicare il teorema di Green (relativamente alla coppia E, F) per calcolare

$$\int_{(C, \tau)} F.$$

[0]

5.50

Si considerino

- Il disco D ottenuto dall'intersezione della palla unitaria centrata nell'origine di $\mathbb{R}^3$ con il piano $z = -y$;
- Il campo continuo N di vettori normali a D (che quindi orienta D) tale che $N_3 > 0$;
- Il campo vettoriale $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ definito da

$$F(x, y, z) := (x + y + z, x^2, x^2).$$

Rappresentare graficamente D e verificare che vale la formula di Stokes.

[I due membri della formula sono uguali a 0]

5.51

Sia E l'insieme definito in Esercizio 1.81, sia $F \in C^1(\mathbb{R}^3, \mathbb{R}^3)$ il seguente campo di vettori

$$F(x, y, z) := (xz, -yz, (z-1)(x^2 + y^2)^{1/2}), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

e sia N il campo normale esterno alla frontiera ∂E . Inoltre sia

$$\Gamma_1 := \{(x, y, z) \in \partial E \mid z = 1\}, \quad \Gamma_2 := \{(x, y, z) \in \partial E \mid z = 2\}$$

e

$$S := \partial E \setminus (\Gamma_1 \cup \Gamma_2).$$

Calcolare gli integrali

$$\int_{\Gamma_1} F \cdot N d\mathcal{H}^2, \quad \int_{\Gamma_2} F \cdot N d\mathcal{H}^2.$$

Usare poi questi due risultati, il risultato di Esercizio 1 e il teorema della divergenza per calcolare

$$\int_S F \cdot N d\mathcal{H}^2.$$

$$[\int_{\Gamma_1} F \cdot N d\mathcal{H}^2 = 0, \int_{\Gamma_2} F \cdot N d\mathcal{H}^2 = 14\pi/3, \int_S F \cdot N d\mathcal{H}^2 = -119\pi/48.]$$

5.52

Rappresentare graficamente la curva piana parametrizzata da $\gamma : [0, 2\pi] \rightarrow \mathbb{R}^2$, con

$$\gamma(t) = (\rho(t) \cos t, \rho(t) \sin t), \quad \rho(t) := 2 + \cos(4t).$$

Usare il teorema di Green per calcolare l'area della regione piana limitata avente tale curva come frontiera.

$$[9\pi/2]$$

5.53

Sia E l'intersezione fra il cilindro di equazione $x^2 + y^2 \leq 1$ e il piano di equazione $y + z = 0$. Indicata con τ un'orientazione (scelta a piacere) di ∂E , calcolare

$$\int_{(\partial E, \tau)} (z, x, y).$$

Servirsi di questo risultato e del teorema di Stokes per calcolare $\mathcal{H}^2(E)$.

$$[2\pi; \pi\sqrt{2}]$$

5.54

Indicato con D il disco di raggio 1 centrato nell'origine del piano xy , sia

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x, y) \in D, 0 \leq z \leq 2 - x^2 - y^2\}.$$

Si consideri inoltre il campo di vettori

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (x, y, z^2).$$

- Rappresentare graficamente E ;
- Calcolare $\int_E \operatorname{div} F \, dL^3$;
- Usare il teorema della divergenza per calcolare il flusso ascendente di F attraverso il grafico della funzione $D \ni (x, y) \mapsto 2 - x^2 - y^2$.

$[\int_E \operatorname{div} F \, dL^3 = 16\pi/3, \text{ Il flusso ascendente cercato vale } 10\pi/3]$

5.55

Definiamo

$$E_1 := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x \in [0, 1], y \in [-x^2, x^2]\},$$

$$E_2 := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid (x - 1)^2 + y^2 \leq 1, x \geq 1\}$$

e

$$E := E_1 \cup E_2.$$

Rappresentare graficamente l'insieme E e usare la formula di Green per calcolare

$$\int_{(\partial E, \tau)} (-y(x - 1)^2 + \ln(1 + x), xy^2 + \cos y)$$

dove τ è il campo vettoriale unitario che orienta positivamente ∂E .

$$[\frac{17}{105} + \frac{\pi}{4}]$$

5.56

Si considerino:

- La superficie $S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + z^2 \leq 1, y = x^2\}$;
- Il campo N normale a S tale che $N_2 > 0$;
- Il campo vettoriale $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ definito da $F(x, y, z) := (-z, y + z^2, x)$.

Usare il teorema di Stokes per calcolare

$$\int_{(S, N)} \operatorname{rot} F.$$

$$[-2\pi]$$

5.57

Sia E l'insieme dei punti $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ tali che

$$z = y\sqrt{3}, \quad x^2 + y^2 + z^2 \leq 4, \quad z \geq 0,$$

e si consideri il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (0, x, 0), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

- Rappresentare graficamente E ;
- Verificare la validità della formula di Stokes

$$\int_{(E, \nu)} \text{rot } F = \int_{(\partial E, \tau)} F \tag{5.1}$$

scegliendo a piacere l'orientazione (fra le due possibili).

[Gli integrali in (5.1) valgono entrambi π]

5.58

Calcolare l'integrale dell'esercizio 4.73, usando il teorema di Gauss della divergenza.

$$[I = \frac{\pi(\pi-3)}{2}.]$$

5.59

Rappresentare graficamente l'insieme piano

$$B := \{(\rho \cos \theta, \rho \sin \theta) \mid -\pi \leq \theta \leq \pi, 0 \leq \rho \leq |\theta|\}.$$

e calcolarne l'area. Usare il teorema della divergenza per calcolare il flusso del campo $(x, y, z) \mapsto (x, -y, z^2)$ attraverso la superficie $\partial B \times [0, 1]$ orientata a piacere. Infine, scrivere una parametrizzazione di $\partial B \times [0, 1]$.

[$L^2(B) = \frac{\pi^3}{3}$. Il flusso richiesto vale 0. Parametrizzazione di $\partial B \times [0, 1]$: $\psi(\theta, t) := (|\theta| \cos \theta, |\theta| \sin \theta, t)$, $(\theta, t) \in [-\pi, \pi] \times [0, 1]$.]

5.60

Si consideri la superficie

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : x \in [-1, 1], 2|x| \leq y \leq 1 + x^2, z = x + y\}$$

orientata dal campo normale $N = (N_1, N_2, N_3) : S \rightarrow \mathbb{S}^2$ tale che $N_3 > 0$. Dopo aver rappresentato graficamente la proiezione di S nel piano xy , si applichi il teorema di Stokes per calcolare l'integrale di campo vettoriale

$$I := \int_{\partial(S, N)} (-y, z^2, x).$$

[$\frac{12}{5}$]

5.61

Si consideri la superficie

$$S := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \left| x^2 + \frac{y^2}{4} \leq 1, z = x^2 + y^2 \right. \right\}$$

e sia $N = (N_1, N_2, N_3)$ il campo normale a S tale che $N_3 > 0$. Si consideri inoltre il campo di vettori

$$F(x, y, z) := (-y, x, z - 1), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3.$$

- Si fornisca una rappresentazione grafica qualitativa della curva ∂S ;
- Si calcoli $\int_{\partial(S, N)} F$;
- Si calcoli $\text{rot } F$ e si usi la formula di Stokes per calcolare $\int_S N_3 dH^2$.

[$\int_{\partial(S, N)} F = 4\pi$, $\text{rot } F = (0, 0, 2)$, $\int_S N_3 dH^2 = 2\pi$.]

5.62

Sia L l'insieme dei punti $(0, y, z) \in \mathbb{R}^3$ che non appartengono al quadrato di vertici

$$(0, 1, 0), \quad (0, 0, 1), \quad (0, -1, 0), \quad (0, 0, -1)$$

e soddisfano

$$y^2 + z^2 \leq 1, \quad z \geq 0.$$

Inoltre, sia E il solido ottenuto dalla rotazione completa di L intorno all'asse z .

- Dare una rappresentazione grafica di L ;
- Usare il teorema di Gauss della divergenza per calcolare

$$\int_{(\partial E, N)} (x^3 z, y^3 z, \sin xy),$$

dove N è il campo normale esterno a ∂E .

$$\left[\frac{\pi}{5}\right]$$

5.63

Si consideri la semisfera

$$S := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 1, z \geq 0\}$$

e sia $N = (N_1, N_2, N_3)$ il campo normale a S tale che $N_3 \geq 0$. Inoltre sia $F = (F_1, F_2, F_3) : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ il campo vettoriale definito come segue:

$$F(x, y, z) := (x^2 + y^2 - 1, x^2 + y^2 - 1, x^2 + y^2 + z^2) \quad ((x, y, z) \in \mathbb{R}^3).$$

Verificare che vale l'identità di Stokes

$$\int_{(S, N)} \text{rot } F = \int_{\partial(S, N)} F.$$

[I due membri dell'identità sono nulli]

5.64

Posto $D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + (y - 1)^2 < 1\}$, si consideri la funzione

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x, y) := 2 - \frac{x^2 + y^2}{y}.$$

- Verificare che $f(D) = (0, 2)$;
- Descrivere (anche graficamente) le sezioni E_z del sottografico di f

$$E := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x, y) \in D, 0 < z < f(x, y)\};$$

- Scrivere l'espressione integrale relativa al flusso Φ del campo vettoriale $(x, y, z) \mapsto (xz^2, y^2, -2yz)$, con $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$, uscente da E . Calcolare Φ , usando il teorema della divergenza, il punto precedente e il teorema di Fubini.

[Per ogni $z \in (0, 2)$, la sezione E_z è il disco di raggio $\frac{2-z}{2}$ centrato nel punto $(0, \frac{2-z}{2})$. $\Phi = 4\pi/15$.]

5.65

Sia D la regione limitata del piano yz racchiusa dalle curve

$$z = \ln y, \quad z = 0, \quad y = e.$$

Sia E il solido ottenuto da una rotazione completa di D intorno all'asse z e si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (x, y, -z).$$

- Rappresentare graficamente D ;
- Provare che $L^3(E) = \int_E \operatorname{div} F \, dL^3$;
- Usare il punto precedente e il teorema della divergenza per calcolare esplicitamente $L^3(E)$.

$$\left[\frac{(1+e^2)\pi}{2} \right]$$

5.66

Sia S il triangolo avente come vertici l'origine, $(1,0,1)$ e $(1,1,2)$. Inoltre sia N il campo normale ascendente a S e si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (xz, x^2 + y, x - yz).$$

- Rappresentare graficamente S ;
- Usare il teorema di Stokes per calcolare $\int_{\partial(S,N)} F$.

$$[4/3]$$

5.67

Rappresentare graficamente l'insieme

$$E := \{\rho(\cos \theta, \sin \theta) \mid 0 \leq \theta \leq \pi, \theta/2 \leq \rho \leq \theta^2 + \theta/2\}.$$

Usare poi il Teorema di Green per calcolare

$$\int_{(\partial E, \tau_E)} (-y, x),$$

dove τ_E indica il campo vettoriale unitario che orienta positivamente ∂E .

$$\left[\frac{\pi^5}{5} + \frac{\pi^4}{4} \right]$$

5.68

Sia

$$E := \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 : 1 \leq x^2 - y^2 \leq 4, \quad -\frac{1}{\sqrt{3}} \leq \frac{y}{x} \leq \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad x > 0 \right\}$$

e

$$F := E \times [0, 1].$$

Rappresentare graficamente E . Inoltre, usare il teorema della divergenza di Gauss per calcolare

$$\int_{\partial F} \left(y, x, \frac{z}{x^2 + y^2} \right) \cdot N \, dH^2,$$

dove N è il campo normale esterno a ∂E .

$$\left[\frac{\pi}{3} \ln 2 \right]$$

5.69

Si considerino l'insieme

$$E := \{ (x, y) \in [-2, 2] \times [0, 1] : y \geq 1 - |x| \}$$

e il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad F(x, y) := (2xy, x^2 + \sin x + y).$$

- Rappresentare graficamente E ;
- Usare la formula di Green per calcolare

$$\int_{\partial E} F \cdot \tau_E \, dH^1,$$

dove τ_E indica l'orientazione positiva di ∂E .

$$[2 \cos 1 - 2 + 2 \sin 2]$$

5.70

Si consideri la superficie

$$S := \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 8, \quad z \geq (x^2 + y^2)^{1/2} \right\}$$

e il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad F(x, y, z) := (-y, x, z).$$

Inoltre sia $N = (N_1, N_2, N_3)$ il campo normale a S (continuo) tale che $N_3 > 0$.

- Dare una rappresentazione qualitativa di S ;
- Verificare il teorema di Stokes $\int_{(S,N)} \operatorname{rot} F = \int_{\partial(S,N)} F$, calcolando separatamente i due membri dell'identità.

[I due membri dell'identità di Stokes valgono 8π]

5.71

Sia C il cilindro solido in $\mathbb{R}^3$ di raggio $\sqrt{2}$ avente per asse la retta

$$\{(0, y, 2 - y) \mid y \in \mathbb{R}\}$$

e sia

$$\Gamma := \{(x, y, z) \in C \mid y \geq 0, z \geq 0\}.$$

- Fornire una rappresentazione grafica qualitativa di Γ .
- Applicare il teorema della divergenza (di Gauss) per calcolare il flusso Φ del campo

$$F(x, y, z) = (y - x, (z - 2)^2, z), \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

attraverso $\Sigma := \partial\Gamma \cap \partial C$ (i.e. la porzione cilindrica di $\partial\Gamma$), orientata con il campo normale uscente da C .

$[2\sqrt{2}\pi]$

5.72

Sia E l'insieme compatto del primo quadrante (del piano cartesiano) racchiuso dalle curve

$$x + y = 1, \quad x + y = 3, \quad x - y^2 = 0, \quad x - y^2 = 1.$$

Sia $F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ il campo vettoriale definito come segue

$$F(x, y) = (-xy - y^2/2, x^2y + 2xy^2), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2.$$

- Rappresentare graficamente E ;
- Usare la formula di Green per calcolare l'integrale $\int_{\partial E} F \cdot \tau_E dH^1$, dove τ_E denota l'orientazione positiva di ∂E .

[4]

Chapter 6

Potenziale di un campo vettoriale

6.1

Stabilire se il campo vettoriale

$$F(x, y) := \left(\frac{1}{y} + \frac{y}{x^2}, -\frac{x}{y^2} - \frac{1}{x} \right)$$

è conservativo in $A = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x, y > 0\}$ e, in caso affermativo, scriverne un potenziale. Dire infine se F è conservativo nel suo dominio di esistenza $\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x, y \neq 0\}$.

$$\left[\text{sì}; \frac{x}{y} - \frac{y}{x} \right]$$

6.2

Si consideri il campo vettoriale piano

$$F(x, y) := (\sin(x + y) + x \cos(x + y), x \cos(x + y)).$$

Stabilire se esso è conservativo in $\mathbb{R}^2$ ed, eventualmente, determinarne un potenziale.

6.3

Si consideri il campo vettoriale

$$F(x, y, z) := (z, 3z, x + 3y).$$

Stabilire se esso è conservativo in $\mathbb{R}^3$ ed, eventualmente, determinarne un potenziale.

$$[\text{sì}; z(x + 3y)]$$

6.4

Provare che il campo vettoriale

$$F(x, y) := (e^x(1 + x - y), -e^x)$$

è conservativo. Determinarne il potenziale che si annulla nell'origine.

6.5

Dimostrare che il campo

$$F(x, y) := (e^y - ye^x, xe^y - e^x)$$

soddisfa CIP. Calcolare

$$\int_C F \bullet ds$$

dove C è una curva qualsiasi avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 1)$ come punto finale.

[0]

6.6

Sia

$$D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq x \leq \pi \text{ e } 0 \leq y \leq \sin x\}, \quad \overline{F}(x, y) := (x, y^2)$$

e denotiamo con C la parte di ∂D costituita dall'arco di senoide percorsa “da sinistra a destra”.

- Usando il teorema di Gauss, calcolare il flusso di $\overline{F}$ attraverso ∂D (uscente da D).
- Stabilire se il campo $\overline{F}$ è conservativo.
- Calcolare

$$\int_C x dx + y^2 dy.$$

6.7

Dimostrare che il campo

$$F(x, y) := (e^y - ye^x, xe^y - e^x)$$

soddisfa CIP. Calcolare

$$\int_C F \bullet ds$$

dove C è una curva qualsiasi avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 1)$ come punto finale.

6.8

Stabilire se il campo di vettori

$$F(x, y) := (-2(y+1)x^{-3}, x^{-2})$$

è conservativo. In caso affermativo, determinare un potenziale di F .

6.9

Determinare l'insieme di esistenza del campo

$$F(x, y) := \frac{\cos \sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}}(x, y).$$

Stabilire se F è conservativo e, in caso affermativo, determinarne un potenziale.

6.10

Stabilire se il campo di vettori

$$F(x, y) := \left(\frac{2}{x - \frac{y}{x}}; \frac{1}{y - x^2} \right)$$

è conservativo. In caso affermativo, determinarne un potenziale.

6.11

Dimostrare che il campo di vettori

$$(x, y) \mapsto \left(\ln y - \frac{y}{x}, \frac{x}{y} - \ln x \right), \quad (x, y) \in (0, +\infty)^2$$

soddisfa CIP. Determinarne il potenziale φ tale che $\varphi(1, 1) = 0$ e verificare che $\varphi(y, x) = -\varphi(x, y)$.

6.12

Si consideri il campo vettoriale

$$F(x, y) := \left(\frac{y^2 + xy + 1}{x + y}, \frac{x^2 + xy + 1}{x + y} \right), \quad x + y \neq 0.$$

- (i) Dimostrare che F è conservativo;
- (ii) Sia φ un potenziale di F e sia

$$\psi(x, y) := -\frac{x^2 + y^2}{2} + x + y, \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2.$$

Dire in quali punti la funzione complessa $\varphi + i\psi$ è olomorfa.

6.13

Descrivere il dominio (massimale) di esistenza del campo

$$F(x, y) := \left(\frac{1}{2} \ln(x^2 + y^2), -\arctan \frac{y}{x} \right).$$

Stabilire se F è conservativo. Nel caso che lo sia, se ne determini la famiglia dei potenziali.

6.14

Determinare $\varphi \in C^1(\mathbf{R}^2)$, sapendo che essa è potenziale del campo vettoriale

$$F(x, y) := (2x\varphi(x, y), \varphi(x, y))$$

e che $\varphi(0, 0) = 1$. Determinare poi

$$\int_{\overline{C}} F \bullet ds$$

dove $\overline{C}$ è il grafico della funzione

$$x \mapsto x + \sin x, \quad x \in [0, \pi]$$

orientato di modo che $(0, 0)$ sia il punto iniziale.

6.15

Determinare un campo F con potenziale

$$\Phi(x, y) := x - 3y + x^2, \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2.$$

Esistono altri campi con lo stesso potenziale? Motivare la risposta. Calcolare infine

$$\int_P F$$

dove P è la poligonale congiungente, nell'ordine, i punti:

$$(0, 0), \quad (1, 1), \quad (0, 2), \quad (3, 3), \quad (0, 4), \quad (5, 5), \quad (0, 6), \quad (7, 7), \quad (0, 8).$$

[No; - 24]

6.16

Stabilire se il campo

$$F(x, y) := \frac{(y, -x)}{(y-x)^2}, \quad x \neq y$$

è conservativo. Calcolare

$$\int_{\overline{C}} F$$

dove C è il grafico della funzione

$$x \mapsto x \sin x, \quad x \in [0, 4\pi]$$

e l'orientazione è scelta di modo che l'origine sia il punto iniziale.

[Campo conservativo; 0]

6.17

Calcolare

$$\int_{\overline{S} \cup \overline{C}} F$$

dove

- $\overline{S}$ è il segmento orientato avente $(1, 1, 0)$ come punto iniziale e $(1, 0, 0)$ come punto finale;
- $\overline{C}$ è il quarto di circonferenza, nel piano $x = 1$, di centro $(1, 1, 0)$ e orientato in modo tale che $(1, 0, 0)$ e $(1, 1, 1)$ ne siano rispettivamente il punto iniziale e il punto finale;
- F è il campo vettoriale

$$(x, y, z) \mapsto \left(-\frac{y}{x^2}, \frac{1}{x}, 1 \right).$$

[1 (un potenziale è dato da $\frac{y}{x} + z$)]

6.18

Considerato il campo di vettori

$$F(x, y) := \left(\frac{x}{1+x^2+y^2}, \frac{y+\alpha}{1+x^2+y^2} \right), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2$$

determinare un valore di α per cui si abbia

$$\int_C F = 0$$

per ogni circonferenza C centrata nell'origine e percorsa in senso orario.

[0]

6.19

Stabilire per quali valori di α il campo

$$(x, y) \mapsto \left(\frac{\alpha + (1 - \alpha)x}{x + e^{-y}}, \frac{1 - \alpha + \alpha x}{x + e^{-y}} \right)$$

risulta conservativo nel primo quadrante del piano cartesiano.

[1]

6.20

Si consideri il campo vettoriale

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad F(x, y) := (2x|y|, x^2).$$

- Determinare un potenziale di F in $(0, +\infty)^2$;
- Stabilire (motivando la risposta) se esiste un potenziale di F in $(0, +\infty) \times (0, -\infty)$;
- Stabilire (motivando la risposta) se esiste un potenziale di F di classe C^2 in un insieme aperto contenente almeno un punto della retta $y = 0$.

$[x^2y; \text{non esiste}; \text{non esiste}]$

6.21

Determinare un potenziale del campo vettoriale

$$F(x, y) := \left(\frac{xy^2}{xy - 1}, \frac{x^2y}{xy - 1} \right), \quad (x, y) \in A := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid xy \neq 1\}$$

dopo averne dimostrato l'esistenza.

$[xy + \ln |xy - 1|]$

Chapter 7

Analisi complessa

7.1

Data la funzione complessa

$$f(z) := \frac{e^z}{z^2 - i},$$

determinarne il campo di esistenza. Stabilire poi dove f è derivabile e calcolare $f'(z)$ nei punti dove esiste.

7.2

Dire se la funzione

$$f(z) := \bar{z} = x - iy$$

ha una primitiva. Calcolare

$$\int_C f(z) dz$$

dove C è il segmento che congiunge 0 a $1 + i$, orientato in modo che 0 ne sia il punto iniziale.

7.3

Calcolare

$$\int_C \frac{\sin z}{(z - 2i - 1)^5} dz$$

nei seguenti casi:

- C è la circonferenza di raggio 4 e centro l'origine, percorsa in senso antiorario;

- C è il bordo del rettangolo avente per diagonale il segmento di estremi 0 e $2 + i$, percorso in senso antiorario.

7.4

Sia data la funzione complessa

$$f(z) := \frac{1}{z - i}.$$

- Esiste un semipiano nel quale f ha una primitiva?
- In caso affermativo, determinare una di tali primitive.

7.5

Calcolare

$$\int_C f(z) dz$$

dove f è la funzione dell'esercizio 7.4, mentre C è la circonferenza di raggio 2 e centro i , percorsa in senso antiorario.

7.6

Verificare che

$$u(x, y) := \frac{x}{x^2 + y^2}$$

è armonica in $\mathbf{C} \setminus \{(0, 0)\}$. Determinare una funzione armonica coniugata di u .

7.7

Si considerino le curve

$$C_1 := \{(x, 0) \mid x \in [-2, 2]\}, \quad C_2 := \{(x, y) \mid y \geq 0, x^2 + y^2 = 4\}$$

orientate in modo che $(-2, 0)$ è il punto iniziale di C_1 , mentre $(2, 0)$ è il punto iniziale di C_2 . Calcolare

$$\int_{C_1} \frac{2}{z - i} dz, \quad \int_{C_1 \cup C_2} \frac{2}{z - i} dz$$

(per quest'ultimo usare la formula di Cauchy) e servirsi dei risultati così ottenuti per ricavare

$$\int_{C_2} \frac{2}{z-i} dz.$$

7.8

Servirsi delle condizioni di Cauchy-Riemann per verificare che l'integrale

$$\int_C z e^z dz$$

dove C è una qualsiasi curva orientata nel piano complesso, non dipende completamente da C ma solo dai suoi punti estremi. Calcolare tale integrale nel caso che C abbia $(0,0)$ come punto iniziale e $(1,1)$ come punto finale.

7.9

Si consideri la funzione $u : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

$$u(x, y) := x^2 - y^2 - x.$$

Verificare che u è armonica. Trovare una funzione olomorfa avente u come parte reale.

7.10

Si consideri la funzione complessa di variabile complessa

$$f(z) := f(x + iy) := x^2 + i 2xy.$$

Risolvere le seguenti questioni:

- Stabilire se f è olomorfa in $\mathbf{C}$.
- Indicato con C il segmento congiungente $(0,0)$ con $(2,1)$, si calcoli

$$\int_C f(z) dz.$$

- Determinare una funzione reale $\varphi(y)$ in modo che

$$g(z) := f(x + iy) + \varphi(y) = x^2 + \varphi(y) + i 2xy$$

sia olomorfa in $\mathbf{C}$.

7.11

Determinare due numeri reali a e b di modo che la funzione

$$f(z) = f(x, y) = x^3 + axy^2 + i(bx^2y - y^3)$$

sia derivabile in $\mathbf{C}$. Calcolare poi $f'(z)$.

7.12

Si considerino le due poligonali C_1 e C_2 con lati paralleli agli assi e congiungenti l'origine al punto $(x, y) \in \mathbf{C}$. Si calcolino gli integrali

$$I_1 := \int_{C_1} f(z) dz, \quad I_2 := \int_{C_2} f(z) dz$$

dove f è la funzione definita nell'esercizio 7.11. Trovare a e b tali che $I_1 = I_2$.

Facoltativo: individuare e argomentare la relazione fra le conclusioni di questo esercizio e dell'esercizio 7.11.

7.13

Data la funzione complessa

$$f(z) = x^2 - y^2 + 2x + 2i(x+1)y$$

si calcoli

$$\int_C f(z) dz$$

dove C è il segmento che conduce dall'origine al punto $(1, 1)$. Infine, si verifichi che f soddisfa $\text{CIP}_{\mathbf{C}}$.

7.14

Data la funzione

$$u(x, y) := x^2 - y^2 - 2x,$$

si determini una nuova funzione $v(x, y)$ tale che $u + iv$ sia analitica in $\mathbf{C}$.

7.15

Si consideri la funzione complessa

$$f(z) := \frac{z}{z-i}.$$

Stabilire (motivando le risposte):

- In quali punti di $\mathbf{C}$ la funzione f è derivabile.
- Se esiste una primitiva di f in $\mathbf{C} \setminus \{i\}$.

7.16

Data la funzione

$$f(z) := x^2 - y^2 - x - iy(1 - 2x), \quad z = x + iy \in \mathbf{C}$$

affrontare le seguenti questioni.

- Dimostrare che f soddisfa CIP;
- Si scelga una curva C congiungente 0 a $2 + i$ e si calcoli quindi $\int_C f(z) dz$;
- Verificare che il Teorema fondamentale del calcolo in $\mathbf{C}$ produce lo stesso risultato a cui si è pervenuti nel punto precedente.

7.17

Calcolare

$$\int_C z e^z dz$$

dove C è la semicirconferenza $\{(x, y) \in \mathbf{C} \mid x^2 + y^2 = 1, x \geq 0\}$, percorsa in senso antiorario.

7.18

Determinare $f(y)$ tale che $f(0) = f'(0) = 0$ e

$$u(x, y) := f(y) - x^2 y$$

sia armonica. In seguito, determinare una funzione armonica coniugata ad u .

7.19

Data la curva piana

$$C := \{x + iy \mid y = 1 + x, -1 \leq x \leq 0\} \cup \{x + iy \mid y = 1 - x, 0 \leq x \leq 1\}$$

calcolare

$$\int_C e^{iz} z^2 dz$$

con entrambi i versi di percorrenza possibili per C .

7.20

Verificare che la funzione

$$u(x, y) := e^{2x}(2 \cos^2 y - 1), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2.$$

è armonica. Usare gli integrali curvilinei per determinare la funzione armonica ad essa coniugata e nulla nell'origine.

7.21

Studiare la derivabilità della funzione complessa

$$f(z) = f(x, y) := e^{y+ix}, \quad (x, y) \in \mathbf{C}.$$

Determinare l'integrale

$$\int_C f(z) dz$$

dove C indica il segmento avente i e $1 + i$ come punti iniziale e finale, rispettivamente.

[f non è derivabile in nessun punto; $e \sin 1 + i e(1 - \cos 1)$]

7.22

Studiare la derivabilità della funzione complessa

$$f(x, y) := x^4 - y^3 + ix^2y, \quad (x, y) \in \mathbb{C}.$$

Calcolare poi l'integrale di f lungo l'arco di parabola $y = x^2$, avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 1)$ come punto finale.

[f è derivabile in $(0, 0)$, $(1/4, 0)$, $(1/4, 1/6)$; f' vale rispettivamente $0, 1/16, 1/16 + i/12$; l'integrale vale $-29/105 + 17i/60$.]

7.23

Determinare un valore di a per il quale la funzione

$$u(x, y) := e^{ax} \cos y \sin y, \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2$$

è armonica. Ricavare in seguito una funzione armonica coniugata di u .

$$\left[-\frac{1}{2}e^{2x} \cos(2y)\right]$$

7.24

Sia C_α la curva congiungente $(0, 0)$ a $(1, 1)$, definita come il grafico della funzione

$$t \mapsto t^\alpha, \quad t \in [0, 1]$$

dove $\alpha > 0$. Si consideri inoltre la funzione complessa

$$f(z) = f(x, y) := x^2 - y^2 + ax + i2y(x - 1).$$

Determinare un valore di a per il quale l'integrale

$$\int_{C_\alpha} f(z) dz$$

risulta non dipendere da α .

$$[-2]$$

7.25

Determinare la funzione g tale che

$$u(x, y) := x^2 + g(y) - 4x + 1$$

risulti armonica e soddisfi

$$g(0) = g'(0) = 0.$$

Ricavare in seguito una funzione armonica coniugata di u .

$$[2xy - 4y]$$

7.26

Verificare che la funzione

$$v(x, y) := e^x(x \cos y - y \sin y), \quad (x, y) \in \mathbf{C}$$

è armonica. Determinare poi $u : \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{C}$ tale che $u + iv$ sia derivabile.

$$[-e^x(x \sin y + y \cos y)]$$

7.27

Scegliere α affinché la funzione complessa

$$f : z = x + iy \mapsto \frac{\alpha}{2}(x^2 + y^2) + i\frac{y}{x}$$

sia derivabile in $1 + i$. Per tale α , determinare tutti i punti in cui f è derivabile. Infine, posto $\alpha := 2$, calcolare

$$\int_{\bar{S}} f(z) dz$$

dove $\bar{S}$ è il segmento orientato di punto iniziale 1 e punto finale $1 + i$.

$$\left[-\frac{1}{2} + i\frac{4}{3}\right]$$

7.28

Determinare l'insieme dei punti in cui la funzione complessa

$$x + iy \mapsto 2xy + i(x - y + x^2)$$

è derivabile.

$$\left[-\frac{1}{4} - i\frac{1}{2}\right]$$

7.29

Calcolare

$$\int_{\bar{C}} \bar{z} dz$$

dove C è l'arco ottenuto intersecando la circonferenza di raggio 1 centrata in $(0, 1)$ con il primo quadrante del piano cartesiano e l'orientazione è quella positiva.

$$[2 + i\pi]$$

7.30

Calcolare

$$\int_{\overline{S} \cup \overline{C}} F$$

dove

- $\overline{S}$ è il segmento orientato avente $(1, 1, 0)$ come punto iniziale e $(1, 0, 0)$ come punto finale;
- $\overline{C}$ è il quarto di circonferenza, nel piano $x = 1$, di centro $(1, 1, 0)$ e orientato in modo tale che $(1, 0, 0)$ e $(1, 1, 1)$ ne siano rispettivamente il punto iniziale e il punto finale;
- F è il campo vettoriale

$$(x, y, z) \mapsto \left(-\frac{y}{x^2}, \frac{1}{x}, 1 \right).$$

$[D = (0, +\infty)^2 \cup (-\infty, 0)^2]$; la funzione è derivabile in $(1, 1)$ e in $(-1, -1)$

7.31

Per ogni numero reale a , sia D_a l'insieme dei punti in cui la funzione complessa $x + iy \mapsto xy + i(ax^2 + y)$ è derivabile. Determinare D_0 e $D_{-1/2}$.

$$[D_0 = \{i\}; D_{-1/2} = \{x + i \mid x \in \mathbf{R}\}]$$

7.32

Sia T il triangolo di vertici $-1, 1, i$. Provare che la funzione

$$w \mapsto \int_{\partial T} \frac{3z^2 - z + 2}{(z - w)^3} dz$$

è costante all'interno di T .

$$[6\pi i]$$

7.33

Calcolare

$$\int_C e^{x-iy} dz$$

dove C è il segmento congiungente 0 (punto iniziale) a $1 + i$.

$$[i(e^{1-i} - 1)]$$

7.34

Provare che la funzione complessa

$$(x, y) \mapsto \frac{\ln(1+x)}{y} + i(x^2 - y^2) \quad (x > -1, y \neq 0)$$

non è derivabile in alcun punto dell'asse $x = 0$.

$$[\text{Le condizioni di C-R in } (0, y) \text{ si riducono a } y^2 = -1]$$

7.35

Determinare i punti del primo quadrante in cui la funzione complessa

$$x + iy \mapsto \frac{x}{x + e^{-y}} + i \frac{1}{x + e^{-y}}$$

è derivabile.

$$[\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x > 1, y = \ln x\}]$$

7.36

Determinare

$$\alpha \in \mathbb{R}, \quad v : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{R}$$

tali che la funzione complessa

$$2x^3 + \alpha xy^2 + x^2 - y^2 - x - \alpha + 1 + iv(x, y), \quad (x, y) \in \mathbb{C}$$

è derivabile in $\mathbb{C}$.

$$[\alpha = -6; v(x, y) = 2xy + 6x^2y - 2y^3]$$

7.37

Si consideri la famiglia di funzioni complesse di variabile complessa

$$f_\alpha : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}, \quad z = x + iy \mapsto (\alpha + i)x - y$$

parametrizzata da $\alpha \in \mathbb{R}$. Determinare i valori del parametro α per cui è nullo l'integrale di f_α lungo la circonferenza unitaria centrata nell'origine. Verificare che per tali valori di α la funzione f_α è derivabile in $\mathbb{C}$.

[0]

7.38

Discutere l'esistenza di primitive della funzione

$$f_\alpha : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}, \quad f_\alpha(x, y) := x^2 - y^2 + i\alpha xy$$

al variare di α in $\mathbb{R}$.

[Esiste primitiva se e solo se $\alpha = 2$]

7.39

Provare che una funzione complessa della forma $(x, y) \mapsto u(x, y) + iu(x, y)$ è derivabile se e solo se u è costante su ogni componente connessa del dominio.

7.40

Provare che la funzione complessa

$$(x, y) \mapsto \ln(1 + xy) + ixy$$

è derivabile soltanto in $(0, 0)$.

7.41

Supponiamo che la parte reale di una funzione complessa derivabile in $\mathbb{C}$ sia della forma

$$(x, y) \mapsto y \int_0^x g(t) dt$$

dove $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ è derivabile. Provare allora che g è costante.

7.42

Provare che la seguente funzione complessa

$$(x, y) \mapsto \frac{(x + iy)(\cos y - i \sin y)}{e^x}, \quad (x, y) \in \mathbb{C}$$

è dotata di primitiva.

7.43

Provare che se $u + iv$ è una funzione derivabile in $\mathbb{C}$ allora vale l'uguaglianza

$$\operatorname{div}(u \nabla v) = 0.$$

7.44

Calcolare

$$\int_C \frac{z^2 e^z}{8z + 9i} dz$$

dove C è la circonferenza unitaria centrata nell'origine, percorsa in senso antiorario.

[0]

7.45

Stabilire in quali punti la funzione complessa

$$x + iy \mapsto \frac{x}{y} + iy$$

è derivabile. Calcolare il valore della derivata in questi punti.

$\{i\}; 1]$

7.46

Si considerino la funzione complessa

$$f(x, y) := xy + i \frac{(x + y)^2}{2}, \quad x + iy \in \mathbb{C}$$

e il segmento orientato $\overline{C}$ avente $(0, 0)$ come punto iniziale e $(1, 0)$ come punto finale. Determinare:

- i punti in cui f è derivabile;
- l'integrale

$$\int_{\overline{C}} f(z) dz.$$

$$[\{(0, 0)\}; \frac{i}{6}]$$

7.47

Determinare i punti in cui la funzione complessa

$$x + iy \mapsto x \cos y (1 + i \sin y), \quad x + iy \in \mathbb{C}$$

è derivabile.

$$[\{((-1)^k, k\pi), (0, k\pi + \pi/2) \mid k \in \mathbb{Z}\}]$$

7.48

Sia $\Omega := (0, +\infty)^2$ e

$$u(x, y) := x + \frac{x}{x^2 + y^2}, \quad (x, y) \in \Omega.$$

Verificare che u è una funzione armonica. Determinare $v : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ tale che $u + iv$ sia derivabile in Ω .

$$\left[u(x, y) = y - \frac{y}{x^2 + y^2} \right]$$

7.49

Sia u la parte reale di una funzione complessa derivabile nel sottoinsieme aperto Ω di $\mathbf{C}$ e sia E un sottoinsieme compatto di Ω con frontiera regolare a tratti. Provare che allora

$$\int_{\partial E} u \nabla u = 0.$$

7.50

Sia

$$f(w) := \int_{[0;w]} (z-w)^2 dz, \quad (w \in \mathbb{C}).$$

Verificare che f è derivabile in $\mathbb{C}$ e calcolare f' .

$$[f'(w) = w^2]$$

7.51

Provare che la funzione complessa

$$x + iy \mapsto xe^{ix}$$

non è derivabile in alcun punto.

7.52

Calcolare l'integrale complesso

$$\int_C 1 + i\sqrt{1-y^2} dz$$

dove C è il grafico della funzione $\sin$ su $[-\pi/2, \pi/2]$, orientato di modo che $(-\pi/2, -1)$ ne sia il punto iniziale.

$$[\pi/2 + i4]$$

7.53

Provare che la funzione

$$u(x, y) := \frac{xy}{(x^2 + y^2)^2}, \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2 \setminus (0, 0)$$

è armonica. Determinare poi una funzione armonica coniugata di u .

$$\left[\frac{x^2 - y^2}{2(x^2 + y^2)^2} \right]$$

7.54

Sia $\bar{\Gamma}$ la curva orientata (spirale) parametrizzata dalla mappa

$$t \mapsto i + te^{it}, \quad t \in [0, 2\pi].$$

Calcolare

$$\int_{\bar{\Gamma}} \frac{1}{z^2} dz.$$

$$\left[\frac{-2\pi}{1+4\pi^2} + i \frac{-4\pi^2}{1+4\pi^2} \right]$$

7.55

determinare $\varphi, \psi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tali che la funzione

$$f(x, y) := \varphi(y) \sin x + i\psi(x)e^y, \quad (x, y) \in \mathbb{C}$$

sia derivabile.

$$[\psi(x) = \cos x, \varphi(y) = e^y]$$

7.56

Determinare una funzione liscia $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ tale che la funzione complessa

$$x + iy \mapsto x^3 - yf(x, y) + i[xf(x, y) - y^3]$$

sia derivabile in $\mathbb{C}$.

$$[3xy]$$

7.57

Usare il Teorema di rappresentazione integrale di Cauchy per calcolare

$$\int_C \frac{z}{z-i} dz$$

dove C è la semicirconferenza parametrizzata da

$$\gamma(t) := 2(\cos t, \sin t), \quad t \in [0, \pi].$$

$$[4 - 2 \operatorname{arctg} 2]$$

7.58

Sia

$$f(w) := \int_{[0;w]} \bar{z} dz, \quad w \in \mathbb{C}.$$

Determinare i punti in cui f è derivabile.

$$[f(w) = |w|^2/2; f \text{ è derivabile solo in } 0]$$

7.59

Determinare $a, b \in \mathbb{R}$ tali che la funzione $x + iy \mapsto ax + by + x + y + i(ax + by)$ risulti derivabile in $\mathbb{C}$.

$$[a = -1, b = 0]$$

7.60

Sia

$$u(x, y) := e^x(x \cos y - y \sin y), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2.$$

Provare che esiste una funzione $v : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ tale che $u + iv$ è derivabile in $\mathbb{C}$. Determinare un'espressione esplicita del campo normale N al grafico di v tale che $N_3 > 0$.

7.61

Siano dati un sottoinsieme aperto Ω di $\mathbb{R}^2$ e due funzioni $u, v : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$. Provare che le seguenti affermazioni sono equivalenti:

- (i) u e v sono costanti in ogni componente connessa di Ω ;
- (ii) $u + iv$ e $v + iu$ sono derivabili.

7.62

Sia C un sottoinsieme compatto di $\mathbb{R}^2$, chiusura di un aperto A la cui frontiera ha misura nulla e siano $u, v : C \rightarrow \mathbb{R}$ tali che:

- (i) la mappa $\Phi := (u, v) : C \rightarrow \mathbb{R}^2$ soddisfa le ipotesi del teorema del cambiamento della variabile nell'integrale;
- (ii) $u + iv$ è derivabile in A .

Provare che

$$m_2(\Phi(A)) = \frac{1}{2} \int_A (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2).$$

7.63

Per ogni $w \in \mathbb{C}$, sia f_w la funzione complessa definita come segue:

$$f_w(x, y) := wy - w^2x, \quad (x, y) \in \mathbb{C}.$$

Provare che f_w è derivabile in $\mathbb{C}$ se e soltanto se $w = 0$ oppure $w = i$.

7.64

Determinare

$$\int_{\overline{C}} z^3 dz$$

dove $\overline{C}$ è l'arco di parabola parametrizzato da

$$\gamma(t) := t(2 - t) + it, \quad t \in [0, 2].$$

[4]

7.65

Descrivere la famiglia delle funzioni $p : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tali che

$$u(x, y) := x^2 - 2x - p(y). \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2$$

sia una funzione armonica in $\mathbb{R}^2$. Data una p siffatta, determinare le funzione armoniche coniugate di u che valgono zero nell'origine.

$$[p(y) = y^2 + ay + b, v(x, y) = 2xy - 2y + ax \text{ (con } a, b \in \mathbb{R})]$$

7.66

Determinare $\varphi \in C^2(\mathbb{R})$ tale che la funzione

$$u(x, y) := y\varphi(x), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2$$

sia armonica e soddisfi $u(1, 1) = 2$, $u(0, 1) = 0$. Determinare un'armonica v coniugata di u .

$$[\varphi(x, y) = 2x, v(x, y) = y^2 - x^2]$$

7.67

Determinare una funzione derivabile $\varphi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tale che la funzione complessa

$$z = x + iy \mapsto f(z) := x^3 - x\varphi(y) + i(y\varphi(x) - y^3)$$

risulti derivabile in ogni punto di $\mathbb{C}$. Calcolare poi

$$\int_{\overline{C}} f(z) dz$$

dove $\overline{C}$ è l'arco di circonferenza $x^2 + y^2 = 1$ con $x, y \geq 0$, orientata in senso antiorario.

$$[\varphi(t) = 3t^2, 0]$$

7.68

Discutere, al variare del parametro $\alpha \in \mathbf{R}$, la derivabilità della funzione $F_\alpha : \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{C}$ definita da

$$F_\alpha(w) := \int_{[0;w]} f_\alpha(z) dz \quad (w \in \mathbf{C})$$

dove $[0; w]$ è il segmento orientato congiungente 0 (punto iniziale) e w , mentre $f_\alpha(z) = f_\alpha(x + iy) := x + i\alpha y$.

[Se D_α indica l'insieme dei punti in cui F_α è derivabile, si ha: $D_1 = \mathbf{C}$ e $D_\alpha = \{0\}$ per ogni $\alpha \neq 1$].

7.69

Studiare, per $\rho \in (0, +\infty) \setminus \{1\}$ e $k \in \{1, 2, 3, \dots\}$, la funzione complessa

$$\varphi(\rho, k) := \int_{C_\rho} \frac{(z+i)^2}{(z-i)^k} dz$$

dove C_ρ è la circonferenza di raggio ρ centrata nell'origine, percorsa in senso antiorario.

$[\varphi = 0 \text{ su } (0, 1) \times \{1, 2, \dots\}; \varphi = 0 \text{ su } (1, +\infty) \times \{4, 5, \dots\}; \text{ inoltre, per } \rho > 1: \varphi(\rho, 1) = -8\pi i, \varphi(\rho, 2) = -8\pi, \varphi(\rho, 3) = 2\pi i]$

7.70

Descrivere, al variare di $\alpha \in \mathbb{R}$, l'insieme D_α dei punti in cui la funzione complessa

$$\mathbb{C} \ni x + iy \longmapsto \alpha xy + i(\alpha x^2 - y^2)$$

è derivabile. Calcolare l'integrale complesso di tale funzione sul segmento che congiunge l'origine (punto iniziale) e $2 + i$.

$[D_0 = \mathbb{R} \times \{0\}, D_{-2} = \{0\} \times \mathbb{R}, D_\alpha = \{(0, 0)\} \text{ se } \alpha \neq 0, -2; \frac{1}{3} + \frac{10\alpha-2}{3}i]$

Chapter 8

Formula di Taylor, massimi e minimi di funzione

8.1

Trovare (dopo averne motivato l'esistenza) il minimo della funzione

$$f(x, y, z) := \frac{1}{2}x^2 + y^2 + \frac{1}{2}z^2$$

soggetta al vincolo

$$\begin{cases} x + 2y + z = 1 \\ 4x - 2y + z = 0. \end{cases}$$

8.2

Si consideri la funzione $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

$$f(x, y) := xy(x^2 + y^2 - 2x)$$

e si affrontino le seguenti questioni:

- determinare e classificare i punti critici di f ;
- dire se esistono il massimo ed il minimo assoluti di f nel disco chiuso di raggio 3 centrato nell'origine e, in caso affermativo, ricavarli;
- dire se esistono il massimo ed il minimo assoluti di f in $\mathbb{R}^2$ e, in caso affermativo, ricavarli;
- si può ricondurre la particolare simmetria dell'insieme dei punti critici a qualche simmetria di f ?

8.3

Determinare i punti stazionari della funzione

$$f(x, y) := x^2y - (x + y)^2$$

e classificare quelli diversi da $(0, 0)$.

8.4

Determinare gli estremi locali e globali della funzione

$$f(x, y) := x^3 + xy^2 - 2xy$$

nell'insieme $D := \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq y \leq 2x - x^2\}$.

8.5

Classificare gli eventuali punti critici della funzione $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ definita da

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

Dire se f ha massimo assoluto. Determinare il minimo assoluto di f nel disco chiuso di raggio 1 centrato in $(0, 0)$.

8.6

Sia C il cono di equazione

$$z = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

- Determinare esplicitamente la distanza $d(x, y)$ del punto $(1, 1, 0)$ dal punto di C avente $(x, y, 0)$ come ombra.
- Verificare che il grafico della funzione

$$f(x, y) := d^2(x, y)$$

è convesso in ogni suo punto.

- Dimostrare che f ha un unico punto stazionario $P_0(x_0, y_0)$ e che questo è di minimo assoluto.
- Verificare che il vettore

$$(1, 1, 0) - (x_0, y_0, \sqrt{x_0^2 + y_0^2})$$

è perpendicolare a C nel punto $(x_0, y_0, \sqrt{x_0^2 + y_0^2})$.

8.7

Data la funzione

$$f(x, y) = \ln(2 + xy)$$

se ne scriva il polinomio di Taylor del secondo ordine con “punto iniziale” in $(0, 0)$. Studiare la forma del grafico di f nel punto $(0, 0, \ln 2)$.

8.8

Stabilire se la funzione

$$f(x, y) := x^2 + 6xy + 2y^2$$

ammette massimo e minimo assoluti sulla circonferenza unitaria centrata nell’origine. In caso affermativo, determinarne i valori.

8.9

Studiare i massimi e minimi, relativi e assoluti, della funzione

$$f(x, y) := \ln(1 + xy)$$

nel quadrato $[0, 1] \times [0, 1]$.

8.10

Data la funzione

$$f(x, y) := e^{y-2x},$$

scrivere l’equazione del piano tangente al grafico G di f nel punto $(1, 2, 1)$. Descrivere infine la forma di G nello stesso punto (convesso, concavo, a sella).

8.11

Studiare i massimi e i minimi della funzione

$$f(x, y) = x^2 + 2y^2 - 2xy$$

ristretta all’insieme

$$\{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \mid x^2 + y^2 = 1, \ 0 \leq x < 1\}.$$

8.12

Dimostrare che la funzione

$$f(x, y) := \frac{x^2 - 3y^2 + 8xy}{2 - x^2 - y^2}$$

ammette massimo e minimo assoluti sulla circonferenza unitaria centrata nell'origine e quindi determinarne i valori.

8.13

Data la funzione

$$f(x, y) := \sin(xy + x^3 + y^3), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2$$

determinare la forma del grafico di f nel punto $(0, 0, 0)$.

8.14

Data la funzione

$$f(x, y) := \ln(1 + x^2 + y^2), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2$$

scrivere l'espressione del polinomio di Taylor di secondo grado con “punto iniziale” in $(1, 1)$. Calcolare il valore di tale polinomio in $(0, 0)$.

8.15

Considerata la funzione

$$(x, y) \mapsto f(x, y) := \frac{x^2 + 2xy + y^2}{1 + x^2 + y^2}, \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2$$

verificare che si ha

$$\min_{S^1} f + \max_{S^1} f = 1.$$

8.16

Scrivere la formula di Taylor della funzione

$$f(x, y) := \cos(x + y^3 + y + x^5 y^2), \quad (x, y) \in \mathbf{R}^2$$

nel punto $(0, 0)$ e stabilire in tal punto la forma del grafico di f .

8.17

Provare che la funzione

$$\varphi(x, y, z) := x - y + z, \quad (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

ristretta all'insieme dei punti $(x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ tali che

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1, \quad x + y + z = 1$$

ha massimo e minimo assoluti. Utilizzare il teorema dei moltiplicatori di Lagrange per determinarli.

[Il valore minimo di $\varphi|_{F^{-1}(0)}$ è -1, conseguito nel punto $(0, 1, 0)$; Il valore massimo di $\varphi|_{F^{-1}(0)}$ è 5/3, conseguito nel punto $(2/3, -1/3, 2/3)$]

8.18

Si consideri la funzione

$$f(x, y) := \frac{1}{x^2 y^2} - \frac{1}{xy}, \quad (x, y) \in [1, 2] \times [1, 2].$$

- Provare che f ha massimo e minimo;
- Determinare il massimo e il minimo di f e i punti in cui questi valori sono conseguiti.

[$\min f|_{\partial Q} = -\frac{1}{4}$ e $\max f|_{\partial Q} = 0$. Inoltre $\max f = 0$ e $\min f = -1/4$. La funzione f assume il valore minimo $-1/4$ in $(1, 2)$, in $(2, 1)$ e nei punti dell'arco di iperbole $\{(x, y) \in Q^\circ | xy = 2\}$. La funzione f assume il valore massimo 0 in $(1, 1)$.]

Chapter 9

Serie di Fourier, spazi L^p

9.1

Sia $f : [0, \pi] \rightarrow \mathbb{R}$ definita come segue:

$$f(x) := \begin{cases} 2 & \text{se } x \in [0, \frac{\pi}{2}] \\ 1 & \text{se } x \in (\frac{\pi}{2}, \pi]. \end{cases}$$

- Scrivere l'espressione dei coefficienti $\alpha_k[f]$, relativi allo sviluppo in serie di Fourier di soli coseni.
- Descrivere la convergenza di $F_c[f]$ e disegnare il grafico di quest'ultima.
- Dare un esempio di intervallo sul quale $F_c[f]$ converge uniformemente.

9.2

Disegnare il grafico della funzione

$$f(x) := \begin{cases} x + 1 & \text{se } x \in [0, \frac{\pi}{2}] \\ 0 & \text{se } x \in (\frac{\pi}{2}, \pi]. \end{cases}$$

Scrivere l'espressione dei coefficienti di Fourier $\beta_k[f]$, relativi alla serie di soli seni. Discutere la convergenza puntuale della serie stessa e, infine, dare un esempio di intervallo sul quale la convergenza è uniforme.

9.3

Data la funzione

$$f(x) := \begin{cases} 0 & \text{se } x \in [0, \frac{\pi}{2}] \\ 1 & \text{se } x \in (\frac{\pi}{2}, \pi] \end{cases}$$

scriverne la serie di Fourier di soli seni e dire come questa converge alla funzione stessa.

9.4

Disegnare il grafico della funzione

$$f(x) := \begin{cases} 0 & \text{se } x \in [-\pi, 0) \\ x & \text{se } x \in [0, \pi]. \end{cases}$$

Determinarne poi la serie di Fourier e dire come questa converge alla funzione stessa.

9.5

Scrivere la serie di Fourier di soli seni relativa alla funzione coseno e discuterne la convergenza.

9.6

Sia data la funzione

$$f : [0, \pi] \rightarrow \mathbf{R}, \quad f(x) := \pi - x.$$

Determinare l'espressione dei coefficienti di Fourier $\alpha_k[f]$, relativi alla serie di soli coseni e discutere la convergenza della serie stessa.

9.7

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica tale che

$$f(x) = \begin{cases} -\pi + x & \text{se } x \in [-\pi, 0) \\ \pi + x & \text{se } x \in [0, \pi). \end{cases}$$

Scrivere la serie di Fourier di f e discuterne la convergenza.

$$[2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1+2(-1)^{n+1}}{n} \sin(nx)]$$

9.8

Si considerino le due funzioni 2π -periodiche $f, g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tali che

$$f(x) = \begin{cases} x \cos \frac{1}{x} & \text{se } x \in [-\pi, \pi) \setminus \{0\} \\ 0 & \text{se } x = 0 \end{cases}$$

e

$$g(x) = \begin{cases} x^2 \cos \frac{1}{x} & \text{se } x \in [-\pi, \pi) \setminus \{0\} \\ 0 & \text{se } x = 0. \end{cases}$$

- Stabilire se f e g siano o meno regolari a tratti;
- Elencare le proprietà relative alla convergenza delle serie di Fourier di f e di g , in base a quanto stabilito nel punto precedente e alla teoria della serie di Fourier svolta nel corso.

[f non è r.a.t.; g è r.a.t.; (siano Σ_f e Σ_g , risp. la serie di F. di f e la serie di F. di g) Σ_g converge totalmente in $L^\infty(\mathbb{R})$ (quindi anche uniformemente, puntualmente, in $L^2(-\pi, \pi)$); Σ_f converge in $L^2(-\pi, \pi)$ a $f|_{(-\pi, \pi)}$; Σ_f converge puntualmente q.o. a f]

9.9

Scrivere la serie di Fourier di soli seni relativa alla funzione

$$f(x) := \begin{cases} x & \text{se } x \in [0, \pi/2) \\ 0 & \text{se } x \in [\pi/2, \pi] \end{cases}$$

e descriverne le proprietà di convergenza.

[$b_{2k} = \frac{(-1)^{k+1}}{2k}$, $b_{2k+1} = \frac{2(-1)^k}{(2k+1)^2\pi}$; La serie di Fourier di f converge a f in L^2 e puntualmente ovunque. Indicando con $S(x)$ la somma della serie in x , si ha: $S(x) = x$ se $x \in (-\pi/2, \pi/2)$, $S(x) = 0$ se $x \in [-\pi, -\pi/2) \cup (\pi/2, \pi]$, $S(-\pi/2) = -\pi/4$, $S(\pi/2) = \pi/4$.]

9.10

Siano $f, g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ funzioni 2π -periodiche tali che:

- La funzione f è pari e $f(t) = t^{3/4}$ per ogni $t \in [0, \pi]$;
- La funzione g è dispari e $g(t) = t^{-1/4}$ per ogni $t \in [0, \pi]$.

Verificare che $g \in L^2(-\pi, \pi)$. Inoltre, indicati con a_n i coefficienti della serie di Fourier di f (soli coseni!) e con b_n i coefficienti della serie di Fourier di g (soli seni!), provare che vale l'identità

$$a_n = -\frac{3}{4n}b_n \quad (n = 1, 2, \dots).$$

9.11

In riferimento alla serie di Fourier della funzione

$$f(x) := \begin{cases} \sin x & \text{se } x \in [-\pi, 0) \\ \cos x & \text{se } x \in [0, \pi]. \end{cases}$$

calcolarne i coefficienti a_n (per $n \geq 0$) e descriverne la convergenza.

[$a_0 = -2/\pi$; $a_1 = 1/2$; $a_n = 2/(n^2 - 1)\pi$ se $n \geq 2$ è pari; $a_n = 0$ se $n \geq 2$ è dispari.]

9.12

Provare che:

- Non esistono polinomi di primo grado propri (i.e. $bx + c$ con $b \neq 0$) ortogonali alla funzione $\sin x$ in $L^2(-\pi, \pi)$;
- Un polinomio di secondo grado proprio (i.e. $ax^2 + bx + c$ con $a \neq 0$) è ortogonale alla funzione $\sin x$ in $L^2(-\pi, \pi)$ se e solo se $b = 0$.

Infine:

- Determinare gli elementi della famiglia $\{\cos^k x, \sin^k x\}_{k=1}^{+\infty}$ che sono ortogonali alla funzione $\sin x$ in $L^2(-\pi, \pi)$.

[Ultimo punto: Gli elementi della famiglia assegnata sono tutti ortogonali a $\sin x$, eccetto le funzioni $\sin^k x$ con k dispari]

9.13

Descrivere la convergenza della serie di Fourier della funzione 2π -periodica $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tale che

$$f(x) = \begin{cases} 2 & \text{se } x \in [-\pi, 0] \\ \frac{\sin x}{x} & \text{se } x \in (0, \pi). \end{cases}$$

[Convergenza puntuale: a $f(x)$ se $x \neq k\pi$, a $3/2$ se $x = 2k\pi$, a 1 se $x = (2k+1)\pi$. Inoltre la serie di Fourier converge in $L^2(-\pi, \pi)$ e non converge in $L^\infty(\mathbf{R})$.]

9.14

Scrivere la serie di Fourier della funzione 2π -periodica $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tale che

$$f(x) := \begin{cases} \pi & \text{se } x \in [-\pi, -\pi/2) \\ -x & \text{se } x \in [-\pi/2, \pi/2] \\ -\pi & \text{se } x \in (\pi/2, \pi) \end{cases}$$

e discutere in seguito la convergenza di tale serie.

[Convergenza puntuale: a $f(x)$ se $x \neq k\pi/2$, a 0 se $x = k\pi$, a $3\pi/4$ se $x = 2k\pi - \pi/2$, a $-3\pi/4$ se $x = 2k\pi + \pi/2$. Inoltre la serie di Fourier converge in $L^2(-\pi, \pi)$ e non converge in $L^\infty(\mathbf{R})$.]

9.15

Ricavare la serie di Fourier della funzione $|\sin|$ e descrivere le sue proprietà di convergenza.

[$\frac{2}{\pi} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi(1-4k^2)} \cos(2kx)$; converge totalmente in $L^\infty(\mathbb{R})$, quindi anche uniformemente in $\mathbb{R}$, puntualmente in $\mathbb{R}$ e in $L^2(-\pi, \pi)$.]

9.16

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione dispari e 2π -periodica tale che

$$f(t) = \min\{\pi/2, \pi - t\}, \quad t \in (0, \pi].$$

Relativamente alla serie di Fourier di f , determinarne i coefficienti e descriverne le proprietà di convergenza.

[*Convergenza:* Converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$. Posto $D := \{2k\pi \mid k \in \mathbb{Z}\}$ e indicata con S la somma della serie di Fourier, si ha $S|_{\mathbb{R} \setminus D} = f|_{\mathbb{R} \setminus D}$ e $S|_D = 0$. Converge uniformemente a f negli insiemi del tipo $\mathbb{R} \setminus \bigcup_{k \in \mathbb{Z}} (2k\pi - \varepsilon, 2k\pi + \varepsilon)$ con $\varepsilon \in (0, \pi)$.

[*Coefficienti:* $a_n = 0$ per ogni $n \geq 0$. $b_n = 1/n$ per ogni $n \geq 1$ pari. $b_{2k+1} = \frac{1}{2k+1} + \frac{2(-1)^k}{(2k+1)^2\pi}$ per ogni $k \geq 0$.]

9.17

Si consideri la funzione pari $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tale che

$$f(t) = \max \left\{ \frac{\pi}{2} - t, 0 \right\}, \quad t \in [0, \pi].$$

Dopo aver tracciato il grafico di f , calcolare i coefficienti e descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f .

[*Convergenza:* Converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$. Converge uniformemente a f .

[*Coefficienti:* $b_n = 0$ per ogni $n \geq 1$. $a_0 = \pi/4$. Se $n \geq 1$ è dispari allora $a_n = 2/(\pi n^2)$, mentre $a_{2k} = (1 - (-1)^k)/(2\pi k^2)$ per ogni $k \geq 1$.]

9.18

Tracciare il grafico della funzione $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ pari, 2π -periodica e tale che

$$f(t) = t\chi_{[0, \pi/2]}(t) + \pi\chi_{(\pi/2, \pi]}(t), \quad \text{se } t \in [0, \pi].$$

Ricavare i coefficienti della serie di Fourier relativa a f e descrivere la convergenza di tale serie.

[*Coefficienti:* $b_n = 0$ per ogni $n \geq 1$. $a_0 = 5\pi/4$.

Se $k \geq 1$, allora $a_{2k-1} = \frac{(-1)^k}{2k-1} - \frac{2}{\pi(2k-1)^2}$ e $a_{2k} = \frac{(-1)^k-1}{2\pi k^2}$.

[*Convergenza:* Converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$. Converge puntualmente in $\mathbb{R}$ alla funzione S così definita:

$$S(x) := f(x) \text{ per ogni } x \in \mathbb{R}, x \neq \pm \frac{\pi}{2} + 2k\pi \ (k \in \mathbb{Z})$$

$$S\left(\pm \frac{\pi}{2} + 2k\pi\right) := 3\pi/4 \quad (k \in \mathbb{Z}).$$

Converge uniformemente in ogni intervallo chiuso contenuto in $(-\pi/2, \pi/2)$ e in ogni intervallo chiuso contenuto in $(-\pi, -\pi/2) \cup (\pi/2, \pi)$.]

9.19

Per $x \in (-\pi, \pi)$, definiamo

$$f_1(x) := \cos x + \sin 2x, \quad f_2(x) := \sin 2x - \cos x + \cos 7x$$

$$f_3(x) := 2 \cos 7x - \sin 2x + \cos x.$$

Indicata con $\|\cdot\|_2$ la norma di $L^2(-\pi, \pi)$, calcolare $\|f_1\|_2$, $\|f_2\|_2$, $\|f_3\|_2$ e dimostrare che la famiglia

$$\left\{ \frac{f_1}{\|f_1\|_2}, \frac{f_2}{\|f_2\|_2}, \frac{f_3}{\|f_3\|_2} \right\}$$

è ortonormale e non è completa in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$.

[HINT: La famiglia $\{f_i/\|f_i\|_2\}_{i=1,2,3}$ non è completa: se lo fosse, dalle identità $(f_i/\|f_i\|_2, \sin x)_2 = 0$, per $i = 1, 2, 3$, seguirebbe la conclusione assurda che $\sin x = 0$]

9.20

Tracciare il grafico della funzione $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ dispari, 2π -periodica e tale che

$$f(x) = \min\{x, \pi - x\}, \text{ se } x \in (0, \pi].$$

Ricavare l'espressione della serie di Fourier relativa a f e descrivere la convergenza di tale serie.

$[\sum_{k=0}^{+\infty} \frac{4(-1)^k}{(2k+1)^2\pi} \sin(2k+1)x]$; La serie converge uniformemente a f (il che implica banalmente la convergenza in $L^2(-\pi, \pi)$ e la convergenza puntuale in $\mathbb{R}$).]

9.21

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica tale che $f|_{(-\pi, \pi)}$ è dispari e

$$f(x) = \left(\frac{2}{\pi} - 3\right) \sin x + \max\left\{\frac{\pi}{2}, x\right\}, \text{ per ogni } x \in (0, \pi].$$

Con riferimento alla serie di Fourier di f , calcolare i coefficienti e descrivere le proprietà di convergenza.

$[b_1 = 0. \quad b_{2k} = -\frac{1}{2k} \text{ e } b_{2k+1} = \frac{3}{2k+1} + \frac{2(-1)^{k+1}}{\pi(2k+1)^2}, \text{ con } k \geq 1. \text{ Proprietà di convergenza: La serie di Fourier di } f \text{ converge incondizionatamente a } f \text{ in } (L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2). \text{ L'insieme dei punti in cui } f \text{ è discontinua è } D := \{k\pi \mid k \in \mathbb{Z}\}. \text{ Indicando con } S \text{ la somma della serie di Fourier, si ha } S|_{\mathbb{Z} \setminus D} = f|_{\mathbb{Z} \setminus D}, \quad S|_D = 0. \text{ Inoltre la serie di Fourier di } f \text{ converge uniformemente a } f \text{ negli insiemi del tipo } \mathbb{R} \setminus \bigcup_{k \in \mathbb{Z}} (k\pi - \varepsilon, k\pi + \varepsilon) \text{ con } \varepsilon \in (0, \pi).]$

9.22

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica, dispari e tale che

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sin x} & \text{se } x \in (0, \pi/2] \\ 0 & \text{se } x \in (\pi/2, \pi). \end{cases}$$

- Provare che $f \in L^2(-\pi, \pi)$;
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f ;
- Calcolare a_n ($n = 0, 1, \dots$);
- Calcolare b_1 e b_2 .

[Converge in $L^2(-\pi, \pi)$ a f . Calcolata in x , converge puntualmente a:

- $f(x)$, per ogni $x \notin \pm\pi/2 + \mathbb{Z}2\pi$;
- $\pi/4$, per ogni $x \in \pi/2 + \mathbb{Z}2\pi$;
- $-\pi/4$, per ogni $x \in -\pi/2 + \mathbb{Z}2\pi$.

Converge uniformemente a f in ogni intervallo chiuso $[a, b]$ in cui f è continua e cioè nei seguenti casi:

- Se $a > -\pi/2$ e $b < 0$ (e periodicizzati);
- Se $a > 0$ e $b < \pi/2$ (e periodicizzati);
- Se $a > \pi/2$ e $b < 3\pi/2$ (e periodicizzati).

$a_n = 0$ (per ogni $n = 0, 1, \dots$), $b_1 = \pi/4$, $b_2 = 2 - 4/\pi$.]

9.23

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica tale che

$$f(x) = \begin{cases} -x & \text{se } x \in [-\pi, 0) \\ x + \frac{\pi}{2} & \text{se } x \in [0, \pi). \end{cases}$$

- Rappresentare il grafico di f ;
- Calcolare a_0 e b_1 ;
- Descrivere la convergenza della serie di Fourier di f ;
- Dare un esempio di insieme in cui la serie di Fourier di f converge uniformemente a f .

[$a_0 = 3\pi/2$, $b_1 = 1$. La serie di Fourier di f converge a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$ (e quindi anche puntualmente quasi ovunque, per il teorema di Lusin-Carleson). Inoltre, la serie di Fourier di f in x converge a:

- $f(x)$ se x non è un multiplo di π ;
- $\pi/4$ se x è un multiplo pari di π ;
- $5\pi/4$ se x è un multiplo dispari di π .

Infine, la serie di Fourier di f converge uniformemente a f in ogni intervallo chiuso in cui f è continua (per esempio in $[\pi/4, 3\pi/4]$).]

9.24

Per ogni $\alpha \in (0, \pi/2]$, sia $f_\alpha : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica tale che

$$f_\alpha(x) = \begin{cases} (\pi/2)^{1/2} & \text{se } x \in (-\pi, 0) \\ x\alpha^{-1/2}/2 & \text{se } x \in [0, 2\alpha] \\ (x - \alpha)^{1/2} & \text{se } x \in (2\alpha, \pi]. \end{cases}$$

Inoltre sia

$$f_0 := \lim_{\alpha \rightarrow 0+} f_\alpha \quad (\text{limite puntuale}).$$

- Disegnare il grafico di f_α , per $\alpha \in [0, \pi/2]$;
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f_α , al variare di $\alpha \in [0, \pi/2]$ (motivare le affermazioni).

[Valgono le seguenti proprietà:

- Per ogni $\alpha \in [0, \pi/2]$, la serie di Fourier di f_α converge a f_α in $L^2(-\pi, \pi)$ (grazie alla teoria L^2 della serie di Fourier). Quindi tale serie converge anche puntualmente quasi ovunque a f_α (per il teorema di Lusin-Carleson).
- Per ogni $\alpha \in (0, \pi/2)$, la serie di Fourier di f_α in x converge a

- $f_\alpha(x)$, se $x \notin \pi\mathbb{Z}$;
- $\frac{1}{2}(\frac{\pi}{2})^{1/2}$, se $x \in 2\pi\mathbb{Z}$;
- $\frac{1}{2}[(\pi/2)^{1/2} + (\pi - \alpha)^{1/2}]$, se $x \in \pi + 2\pi\mathbb{Z}$.

- La serie di Fourier di $f_{\pi/2}$ in x converge a

- $f_{\pi/2}(x)$, se $x \notin 2\pi\mathbb{Z}$;
- $\frac{1}{2}(\frac{\pi}{2})^{1/2}$, se $x \in 2\pi\mathbb{Z}$.

- Per ogni $\alpha \in (0, \pi/2)$, la serie di Fourier di f_α converge uniformemente a f_α negli insiemi del tipo $\mathbb{R} \setminus ((-\varepsilon, \varepsilon) + \pi\mathbb{Z})$, con $\varepsilon > 0$.
- La serie di Fourier di $f_{\pi/2}$ converge uniformemente a $f_{\pi/2}$ negli insiemi del tipo $\mathbb{R} \setminus ((-\varepsilon, \varepsilon) + 2\pi\mathbb{Z})$, con $\varepsilon > 0$.]

9.25

Per ogni intero positivo k , sia $f_k : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica tale che

$$f_k(t) = \frac{t^k}{\pi^k}, \text{ per ogni } t \in (-\pi, \pi].$$

Tracciare il grafico di f_k e di $f := \lim_{k \rightarrow \infty} f_k$ (limite puntuale). Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f_k . Calcolare i coefficienti $a_n(f_2)$ e $b_n(f_2)$. Infine, provare che

$$\lim_{k \rightarrow \infty} a_n(f_k) = a_n(f) = 0, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} b_n(f_k) = b_n(f) = 0$$

per ogni $n \geq 1$.

[La serie di Fourier di f_k :

- Converge incondizionatamente a f_k in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$ (per ogni k);
- Se k è pari, converge uniformemente (in $\mathbb{R}$) a f_k ;
- Se k è dispari, converge puntualmente alla funzione $S_k : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ definita come segue

$$S_k(t) := \begin{cases} f_k(t) = t^k/\pi^k & \text{se } t \notin \pi + 2\pi\mathbb{Z} \\ 0 & \text{se } t \in \pi + 2\pi\mathbb{Z} \end{cases}$$

e inoltre converge uniformemente in ogni intervallo $[a, b]$, con $-\pi < a < b < \pi$.

Si ha $a_n(f_2) = (-1)^n 4/(n^2 \pi^2)$ e $b_n(f_2) = 0$ per ogni $n \geq 1$. $a_0(f_2) = 2/3$.]

9.26

Si consideri la funzione 2π -periodica $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ tale che

$$f(x) = x \sin x, \text{ se } x \in [-\pi, \pi).$$

- Tracciare un grafico qualitativo di f ;
- Descrivere e motivare le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f ;
- Ricavare i coefficienti della serie di Fourier di f .

[La serie di Fourier di f converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$. Inoltre essa converge a f uniformemente in $\mathbb{R}$. Si ha $b_n = 0$, per ogni $n \geq 1$. Inoltre: $a_1 = -1/2$ e $a_n = (-1)^{n+1}2/(n^2-1)$, per ogni $n \geq 0$ con $n \neq 1$.]

9.27

Si consideri la funzione $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ pari e 2π -periodica tale che $f(0) = 0$ e

$$f(x) = \frac{\ln(1+x)}{\sqrt{x}}, \text{ se } x \in (0, \pi].$$

- (i) Tracciare il grafico qualitativo di f in un intorno di 0.
- (ii) Provare che $f \in L^2(-\pi, \pi)$.
- (iii) Calcolare i coefficienti a_0 e b_n (per ogni $n \geq 1$) della serie di Fourier di f .
- (iv) La funzione f è regolare a tratti? Motivare la risposta.
- (v) Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f .

[Il grafico qualitativo di f in un intorno di 0 coincide con quello dell'estensione pari di $\sqrt{x}$. Si ha $b_n = 0$ per ogni $n \geq 1$ e $a_0 = \frac{8}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\ln(1+\pi)}{2} - 1 + \frac{\arctan \sqrt{\pi}}{\sqrt{\pi}} \right)$. La funzione f non è regolare a tratti. La serie di Fourier di f converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$. Inoltre essa converge puntualmente quasi ovunque a f .]

9.28

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ una funzione 2π -periodica, dispari e tale che

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - x & \text{se } x \in (0, \pi/2) \\ x & \text{se } x \in [\pi/2, \pi). \end{cases}$$

- Tracciare il grafico di f .
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f . Per quanto riguarda la convergenza uniforme, limitarsi a dare un esempio di insieme nel quale si verifica tale tipo di convergenza.
- Calcolare a_n (per ogni $n \geq 0$) e b_7 .

[Si ha $f(-\pi) = f(0) = 0$. La funzione f è di classe L^2 . Quindi la serie di F. di f converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$ e inoltre converge puntualmente q.o. a f (teorema di Lusin-Carleson). f è regolare a tratti, con $D = E = \{-\pi, -\pi/2, 0, \pi/2\}$. Quindi la serie di F. di f valutata in x converge a: (i) $f(x)$ per ogni $x \neq k\pi/2$ (con $k \in \mathbf{Z}$); (ii) $f(x) = 0$, se $x = k\pi$ (con $k \in \mathbf{Z}$); (iii) $-\pi/4$, se $x = -\pi/2 + k2\pi$ (con $k \in \mathbf{Z}$); (iv) $\pi/4$, se $x = \pi/2 + k2\pi$ (con $k \in \mathbf{Z}$). Inoltre la serie di F. di f converge uniformemente a f , per esempio, nell'intervallo $[\pi/8, 3\pi/8]$. Si ha $a_n = 0$ per ogni $n \geq 0$ e $b_7 = \frac{3}{7} + \frac{4}{49\pi}$.]

9.29

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ una funzione 2π -periodica tale che

$$f(x) = \sin(|x|^{1/2}), \text{ se } x \in [-\pi, \pi).$$

- Tracciare il grafico di f .
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f .
- Calcolare b_n (per ogni $n \geq 1$) e a_0 .

[La serie di Fourier di f : (i) converge a $f|_{[-\pi, \pi]}$ in L^2 ; (ii) converge puntualmente $(\mathcal{L}^1|_{\mathcal{M}_{\mathcal{L}^1}})$ -q.o. a f . Inoltre la teoria classica della serie di Fourier non è applicabile in quanto f non è regolare a tratti. Infine si ha $b_n = 0$ (per ogni $n \geq 1$) e $a_0 = \frac{4}{\pi}(\sin \sqrt{\pi} - \sqrt{\pi} \cos \sqrt{\pi})$.]

9.30

Sia $f : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ la funzione dispari e 2π -periodica tale che

$$f(x) = \pi - (\pi^2 - x^2)^{1/2}, \text{ per ogni } x \in (0, \pi).$$

- Tracciare il grafico qualitativo di f ;
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f ;
- Calcolare a_n ($n \geq 0$) e provare con un calcolo diretto che $\lim_{n \rightarrow +\infty} b_n = 0$.

[Grafico di f : (i) $f(-\pi) = f(0) = f(\pi) = 0$. (ii) Il grafico di $f|_{(0,\pi)}$ coincide con l'arco di circonferenza $\{(0, \pi) + \pi(\cos t, \sin t) \mid t \in (-\pi/2, 0)\}$.

Convergenza nella teoria RAT: La funzione f è derivabile in $(-\pi, \pi)$ ma f' non è limitata in $(-\pi, \pi)$. Pertanto f non è regolare a tratti e non si può applicare la teoria RAT della serie di Fourier.

Convergenza nella teoria L^2 : Poiché f è banalmente continua e limitata in $(-\pi, \pi)$, si ha $f \in L^2(-\pi, \pi)$. Dalla teoria L^2 della serie di Fourier segue allora che: (i) La serie di Fourier di f converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$; (ii) La serie di Fourier di f converge puntualmente quasi ovunque a f in $(-\pi, \pi)$.

Coefficienti. Dato che f è dispari, si ha $a_n = 0$ per ogni $n \geq 0$.]

9.31

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica e pari tale che

$$f(x) = \max \left\{ \min \left\{ x, \frac{\pi}{2} - x \right\}, x - \frac{\pi}{2} \right\}, \text{ per ogni } x \in [0, \pi].$$

- Fornire una rappresentazione del grafico di f .
- Calcolare i coefficienti di Fourier a_0 , a_1 , a_4 e b_n .
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f .

[$a_0 = \frac{3\pi}{8}$, $a_1 = \frac{2}{\pi}(\sqrt{2} - 2)$, $a_4 = -\frac{1}{2\pi}$. La serie di Fourier di f converge uniformemente a f .]

9.32

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione pari e 2π -periodica tale che

$$f|_{[0,\pi/2)} = \sin|_{[0,\pi/2)}, \quad f|_{[\pi/2,\pi]} = \sin|_{[\pi/2,\pi]} - 1.$$

- Disegnare il grafico di f .
- Descrivere e motivare le proprietà di convergenza della serie di Fourier della funzione f . In particolare, fare un esempio di insieme in cui la serie di Fourier di f converge uniformemente a f .
- Calcolare a_0 , a_2 e b_n (per ogni $n \geq 1$).

[Per la teoria L^2 della serie di Fourier: la serie di Fourier di f converge incondizionatamente a f in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$ e converge puntualmente quasi ovunque a f . Per la teoria RAT della serie di Fourier: la serie di Fourier di f converge puntualmente a $f(x)$ in ogni $x \neq \frac{\pi}{2} + k\pi$ ($k \in \mathbb{Z}$), converge a $1/2$ in $\frac{\pi}{2} + k\pi$ ($k \in \mathbb{Z}$). Inoltre essa converge uniformemente a f in ogni intervallo in cui f è continua, per esempio in $[-\pi/4, \pi/4]$. Si ha $b_n = 0$ (per ogni $n \geq 1$), $a_0 = \frac{4}{\pi} - 1$, $a_2 = -\frac{4}{3\pi}$]

9.33

Sia $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione 2π -periodica e dispari tale che

$$f|_{(0,\pi)} = 2\chi_{(0,\pi/3)} + \chi_{(2\pi/3,\pi)}.$$

- Disegnare il grafico di f .
- Descrivere le proprietà di convergenza della serie di Fourier di f e fare un esempio di insieme in cui la convergenza è uniforme.
- Calcolare a_n (per ogni n), b_1 e b_{10} .

[Relativamente al grafico di f : per ogni intero n , si ha $f(n\pi) = 0$.

La serie di Fourier di f converge a f incondizionatamente in $(L^2(-\pi, \pi), \|\cdot\|_2)$ e puntualmente quasi ovunque.

La serie di Fourier di f in x :

- converge a $f(x)$, per ogni $x \notin \{\pm\pi/3, \pm2\pi/3\} + 2\pi\mathbb{Z}$;
- converge a 1 (risp. -1) per $x \in \{\pi/3\} + 2\pi\mathbb{Z}$ (risp. $x \in \{-\pi/3\} + 2\pi\mathbb{Z}$);
- converge a $1/2$ (risp. $-1/2$) per $x \in \{2\pi/3\} + 2\pi\mathbb{Z}$ (risp. $x \in \{-2\pi/3\} + 2\pi\mathbb{Z}$).

Un esempio di insieme in cui la convergenza della serie di Fourier di f è uniforme è $[\pi/5, \pi/4]$.

$$a_n = 0 \text{ (per ogni } n \geq 0), b_1 = \frac{3}{\pi}, b_{10} = \frac{3}{10\pi}.$$

Chapter 10

Successioni e serie di funzioni generiche, serie di potenze

10.1

Si consideri la serie di funzioni

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \frac{n(x^2 + 1)}{n^3 x^2 + 1}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

- Studiare la convergenza puntuale di tale serie;
- Provare che essa converge totalmente in ogni insieme del tipo

$$(-\infty, -a] \cup [a, +\infty)$$

con $a > 0$;

- Cosa si può dire della continuità della funzione somma?

[La serie diverge in $x = 0$, converge in ogni $x \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$; La funzione somma è continua in $\mathbb{R} \setminus \{0\}$.]

10.2

Determinare l'insieme di convergenza puntuale della serie

$$\sum_{n=1}^{+\infty} n \sin(1/n) (2x + 1)^n.$$

[$(-1, 0)$]

10.3

Studiare la convergenza uniforme e puntuale della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} (nx^{2n} + n^{-3})^{1/2}.$$

[Converge puntualmente in $(-1, 1)$; converge totalmente in $L^\infty([-r, r])$ per ogni $r \in (0, 1)$]

10.4

Descrivere convergenza puntuale della serie

$$\sum_{n=2}^{+\infty} \frac{n}{n^2 - 1} (\sin x)^n.$$

[Insieme di convergenza puntuale: $\mathbb{R} \setminus \{\pi/2 + 2k\pi \mid k \in \mathbb{Z}\}$]

10.5

Data la successione di funzioni

$$f_n(x) := nxe^{1-nx}, \quad x \in [0, +\infty) \quad (n = 1, 2, \dots)$$

provare che:

- $\{f_n\}$ converge puntualmente a 0;
- $\{f_n\}$ non converge uniformemente;
- Se $a > 0$ allora la successione $\{f_n|_{[a, +\infty)}\}$ converge uniformemente.

10.6

Provare che la serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n} \left[\sin\left(\frac{x}{n}\right) + \frac{1}{n^{|x|}} \right], \quad x \in \mathbb{R}$$

- converge puntualmente in $\mathbb{R} \setminus \{0\}$
- converge totalmente in $L^\infty([a, b])$, per ogni $0 < a < b < +\infty$.

10.7

Descrivere le proprietà di convergenza della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1 + (-1)^n}{n+1} n (\sin x)^n.$$

[La serie converge puntualmente in $\mathbb{R} \setminus \{\pi/2 + k\pi \mid k \in \mathbb{Z}\}$ e totalmente (rispetto a L^∞) negli insiemi del tipo $\mathbb{R} \setminus \bigcup_{k \in \mathbb{Z}} [\frac{\pi}{2} + k\pi - \varepsilon, \frac{\pi}{2} + k\pi + \varepsilon]$, con $\varepsilon > 0$.]

10.8

Studiare la convergenza della serie di potenze

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{x^n}{n} \ln \left(1 + \frac{1}{n} \right).$$

[Converge puntualmente in $[-1, 1]$. Converge totalmente in $(L^\infty([-r, r]), \|\cdot\|_{\infty, [-r, r]})$ (e quindi uniformemente in $[-r, r]$), per ogni $r \in (0, 1)$.]

10.9

Studiare la convergenza puntuale e L^∞ della successione di funzioni $f_n : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ ($n = 1, 2, \dots$) definite come segue:

$$f_n(x) := \begin{cases} \frac{e^{nx}}{x+e^n} & \text{se } x \neq -e^n \\ 0 & \text{se } x = -e^n. \end{cases}$$

[La successione converge puntualmente in $(-\infty, 1]$ alla funzione $f : (-\infty, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ identicamente nulla eccetto che per $x = 1$, in cui vale 1. La successione converge in $L^\infty([a, b])$ con $-\infty < a < b < 1$.]

10.10

Descrivere le proprietà di convergenza della seguente serie di potenze

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^2} \left(2 + \frac{1}{n} \right)^n x^n.$$

[L'intervallo di convergenza è $[-1/2, 1/2]$; La serie data converge totalmente in $(L^\infty([-1/2, 1/2]), \|\cdot\|_{\infty, [-1/2, 1/2]})$. In particolare la serie converge anche uniformemente nell'intervallo di convergenza.]

10.11

Discutere la convergenza puntuale e totale (negli spazi di Banach opportuni) della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{nx^n}{x^2 + n}.$$

Descrivere la continuità della funzione somma nell'insieme di convergenza puntuale.

[L'insieme di convergenza puntuale è $I := (-1, 1)$; La serie non converge totalmente in $(L^\infty(I), \|\cdot\|_{\infty, I})$ (e dunque nemmeno in $(C_b(I), \|\cdot\|_{\infty, I})$); Per ogni $r \in (0, 1)$, posto $I_r := (-r, r)$, la serie converge totalmente in $(C_b(I_r), \|\cdot\|_{\infty, I_r})$ (e dunque anche in $(L^\infty(I_r), \|\cdot\|_{\infty, I_r})$); La somma della serie è continua in ogni punto di I .]

10.12

Studiare la convergenza puntuale e la convergenza uniforme della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{x^2 - 2n^2 x}{n^4}.$$

[La serie converge in $\mathbb{R}^n$ puntualmente, ma non uniformemente, alla funzione $S(x) := x^2 A + xB$, dove $A := \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^4}$ e $B := -\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2}{n^2}$; Per ogni $a \in (0, +\infty)$ la serie converge uniformemente in $[-a, a]$ alla funzione $S|_{[-a, a]}$.]

10.13

Fare un grafico qualitativo della funzione

$$f_n(x) := \left(\arctan \frac{x}{n^{1/n}} \right)^n, \quad x \in \mathbb{R} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

e descrivere le proprietà di convergenza puntuale e totale della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} f_n(x).$$

[La serie converge puntualmente in $I := [-1, 1)$. la serie non converge totalmente in $L^\infty(I)$ (e quindi nemmeno in $C(I)$). La serie converge totalmente in $C([-a, a])$, per ogni $a \in (0, 1)$. La somma della serie è continua in $(-1, 1)$.]

10.14

Per $n = 1, 2, \dots$, sia

$$f_n : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \quad f_n(x) := \arctan(x^4 - n^2 x^2).$$

Tracciare il grafico di f_n e studiare le proprietà di convergenza della successione $\{f_n\}$.

[La successione $\{f_n\}$ converge puntualmente in $\mathbb{R}$ alla funzione f tale che $f(0) = 0$ e $f(x) = -\pi/2$ se $x \neq 0$. Scelto arbitrariamente un numero reale positivo a , la successione non converge in $L^\infty([-a, a])$, né in $L^\infty(\mathbb{R}^n \setminus (-a, a))$ (e quindi nemmeno in $C([-a, a])$, né in $C(\mathbb{R}^n \setminus (-a, a))$). Per ogni $a, b \in \mathbb{R}$ tali che $0 < a < b < +\infty$, posto $I_{ab} := [-b, -a] \cup [a, b]$, si ha che $\{f_n|_{I_{ab}}\}$ converge a $f|_{I_{ab}}$ in $C(I_{ab})$.]

10.15

Studiare e descrivere le proprietà di convergenza della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{\infty} n(x^2 - 1)^{n^2-1}.$$

[Converte puntualmente in $(-\sqrt{2}, \sqrt{2}) \setminus \{0\}$; Converte totalmente in $(C(I_\varepsilon), \|\cdot\|_{\infty, I_\varepsilon})$ e quindi anche uniformemente in I_ε , dove $I_\varepsilon := [-\sqrt{2} + \varepsilon, \sqrt{2} - \varepsilon] \setminus [-\varepsilon, \varepsilon]$.]

10.16

Studiare le proprietà di convergenza della successione di funzioni $\{f_n\}_{n=1}^\infty$, dove

$$f_n(x) := \frac{nx + 1}{n(x^2 + 1) + x}.$$

[La successione converge puntualmente e uniformemente in $\mathbb{R}$ alla funzione $\frac{x}{x^2+1}$.]

10.17

Per ogni $n = 1, 2, \dots$, si consideri la funzione

$$f_n(x) := e^{-n(x-\frac{1}{n})^2} + \frac{|x|}{n}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

Descrivere:

- La convergenza puntuale di $\{f_n\}_{n=1}^\infty$;
- La convergenza uniforme di $\{f_n\}_{n=1}^\infty$ negli intervalli aperti di $\mathbb{R}$.

[La successione converge puntualmente alla funzione $\chi_{\{0\}}$. Inoltre essa converge uniformemente negli intervalli (a, b) con $0 < a < b < +\infty$ oppure $-\infty < a < b < 0$. In ogni altro tipo di intervallo aperto, la successione non converge uniformemente.]

10.18

Studiare la convergenza della serie

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \left(n \sin \frac{x}{n} \right)^n \quad (n = 1, 2, \dots).$$

[La serie converge puntualmente in $(-1, 1)$. Non converge totalmente in $(C_b((-1, 1)), \|\cdot\|_{\infty, (-1, 1)})$. Converge totalmente in $(C([-a, a]), \|\cdot\|_{\infty, [-a, a]})$ per ogni $a \in (0, 1)$. Converge uniformemente in $[-a, a]$ per ogni $a \in (0, 1)$. Non converge uniformemente in alcun insieme della forma $[a, 1)$ o $(-1, a]$, con $a \in (-1, 1)$. Non converge uniformemente in $(-1, 1)$.]

10.19

Studiare le proprietà di convergenza della successione di funzioni $\{f_n\}_{n=1}^\infty$, dove

$$f_n(x) := \frac{2n^x - n^{2x}}{n+1}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

[La successione converge puntualmente in $D = (-\infty, 1/2]$ alla funzione f tale che $f|_{(-\infty, 1/2)} = 0$ e $f(1/2) = -1$. La successione non converge uniformemente in $(-\infty, -1/2)$ e quindi nemmeno in $(-\infty, -1/2)$. La successione converge uniformemente in $(-\infty, a]$, per ogni $a \in (0, 1/2)$.]

10.20

Per $n = 1, 2, \dots$ sia $f_n : [0, +\infty) \setminus \{n\} \rightarrow \mathbb{R}$ la funzione definita come segue

$$f_n(x) := \arctan \frac{x^{n+1}}{n-x}, \quad x \in [0, +\infty) \setminus \{n\}.$$

- Disegnare un grafico qualitativo di f_n ;
- Studiare la convergenza puntuale di $\{f_n\}$;
- Studiare la convergenza uniforme di $\{f_n\}$ negli intervalli compatti.

[Indicati con D ed f , rispettivamente, l'insieme di convergenza puntuale e il limite puntuale (della successione $\{f_n\}$), si ha $D = [0, +\infty)$ e $f := \frac{\pi}{2} \chi_{(1, +\infty)}$. Se $1 \in (a, b)$ allora non si ha convergenza uniforme in $[a, b]$. Analogamente, non si ha convergenza uniforme in $[1, b]$ (qualche che sia $b > 1$). $\{f_n\}$ converge uniformemente a f in $[0, 1]$. Se $1 < a < b < +\infty$ allora $\{f_n\}$ converge uniformemente a f in $[a, b]$.]

10.21

Per ogni intero positivo n definiamo la funzione

$$f_n : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}, \quad f_n(x) := \sin(\pi x^{1/n}).$$

Si tracci il grafico di f_n e si descrivano le proprietà di convergenza della successione $\{f_n\}_{n=1}^{+\infty}$.

[(Grafico di f_n) Per ogni $n = 1, 2, \dots$, f_n è crescente in $(0, 2^{-n})$, è decrescente in $(2^{-n}, 1]$ e in 2^{-n} assume il suo valore massimo $f_n(2^{-n}) = 1$. Inoltre $f_n(0) = f_n(1) = 0$ e quindi $f_n \geq 0$. Sulla base di questo, si ottiene facilmente un grafico qualitativo di f_n .

(Convergenza puntuale) $\{f_n\}$ converge puntualmente alla funzione $f := 0$ in $D := [0, 1]$.

(Convergenza uniforme I) $\{f_n\}$ non converge uniformemente in $(0, 1]$. A maggior ragione $\{f_n\}$ non converge uniformemente in $[0, 1]$.

(Convergenza uniforme II) Sia $a \in (0, 1)$. Allora $\{f_n\}$ converge uniformemente a f in $[a, 1]$.]

10.22

Descrivere le proprietà di convergenza della serie di funzioni

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{|x|^{n/2}}{n}.$$

[L'insieme di convergenza puntuale è $(-1, 1)$. Inoltre la serie converge totalmente in $(C([-r, r]), \|\cdot\|_{\infty, [-r, r]})$, per ogni $r \in (0, 1)$. Questo implica la convergenza semplice in $(C([-r, r]), \|\cdot\|_{\infty, [-r, r]})$ e quindi anche la convergenza uniforme in $[-r, r]$, per ogni $r \in (0, 1)$.]

10.23

Studiare le proprietà di convergenza della successione di funzioni $\{f_n\}_{n=1}^{+\infty}$, con

$$f_n : [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}, \quad f_n(x) := \frac{n \sin x + x}{nx + 1}.$$

[L'insieme di convergenza puntuale è $[0, +\infty)$, mentre la funzione limite $f : [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$ è tale che $f(0) = 0$ e $f(x) = \sin x/x$ se $x > 0$. La successione non converge uniformemente in $[0, +\infty)$. Se $a > 0$, essa converge in $(C_b([a, +\infty)), \|\cdot\|_{\infty, [a, +\infty)})$ e quindi converge anche uniformemente in $[a, +\infty)$.]

10.24

Si consideri la successione di funzioni $f_n : (0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$, $n = 1, 2, \dots$, definite come segue

$$f_n(x) := \frac{6x^3 + 6nx^2 - 3(n+1)x + 2}{nx^3}.$$

- Tracciare un grafico qualitativo di f_n ;
- Descrivere le proprietà di convergenza puntuale e uniforme di $\{f_n\}$.

[Grafico qualitativo di f_n : Il semiasse positivo delle ordinate e la semiretta $(0, +\infty) \times \{6/n\}$ sono asintoti del grafico di f_n . Inoltre: (i) $f'_n(1/n) = f'_n(1) = 0$; (ii) $f'_n < 0$ in $(0, 1/n) \cup (1, +\infty)$; (iii) $f'_n > 0$ in $(1/n, 1)$. In particolare f_n assume il suo valore minimo assoluto in $1/n$, ha un massimo locale in 1 e vale: $f_n(1/n) = \frac{6}{n} + 3n - n^2$, $f_n(1) = 3 + \frac{5}{n}$.

Convergenza puntuale di $\{f_n\}$: L'insieme di convergenza puntuale della successione $\{f_n\}$ è $D := (0, +\infty)$ e la funzione limite puntuale di $\{f_n\}$ è $f : D \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) := \frac{6}{x} - \frac{3}{x^2}$.

Convergenza uniforme di $\{f_n\}$: (i) $\{f_n\}$ non converge uniformemente in $(0, +\infty)$, (ii) $\{f_n\}$ converge uniformemente a $f|_{[a, +\infty)}$ in $[a, +\infty)$, per ogni $a > 0$.]

10.25

Studiare la convergenza puntuale e uniforme della serie di funzioni

$$\sum_{n=0}^{+\infty} (x^2 - 1)^{2n}.$$

[Convergenza puntuale: Insieme di convergenza puntuale $D := (-\sqrt{2}, \sqrt{2}) \setminus \{0\}$. Somma della serie $S : D \rightarrow \mathbb{R}$ data da $S(x) := \frac{1}{1-(x^2-1)^2}$ (per ogni $x \in D$).

Convergenza uniforme: La serie non converge uniformemente in alcun insieme che abbia come punto di accumulazione (almeno) uno dei tre punti $\sqrt{2}$, $-\sqrt{2}$ e 0. In particolare, essa non converge uniformemente in D . La serie assegnata converge uniformemente in $[-b, -a] \cup [a, b]$ per ogni scelta di a, b tali che $0 < a < b < \sqrt{2}$.]

10.26

Si consideri la successione di funzioni $f_n : [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$, $n = 1, 2, \dots$, definite come segue

$$f_n(x) := x^n \max\{n+1-x, 0\}.$$

- Tracciare un grafico qualitativo di f_n ;
- Descrivere le proprietà di convergenza puntuale e uniforme di $\{f_n\}$.

[Grafico qualitativo di f_n : (1) $f_n \geq 0$, $f_n(0) = 0$ e f_n è continua. (2) $f_n(x) = 0$ per ogni $x \geq n+1$. (3) f_n è crescente in $[0, n]$ e decrescente in $[n, n+1]$. Il valore massimo di f_n viene dunque conseguito in n e si ha $f_n(n) = n^n$. (4) $f'_n(0) = 0$ (per ogni $n \geq 2$) e la derivata sinistra di f_n in $n+1$ vale $-(n+1)^n$.

Convergenza puntuale: Insieme di convergenza puntuale $D := [0, 1)$. Funzione limite puntuale $f \equiv 0$.

Convergenza uniforme: La serie non converge uniformemente in D , mentre converge uniformemente in $[0, a]$ per ogni $a \in (0, 1)$.]

10.27

Studiare le proprietà di convergenza della serie

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n4^n} \left(x + \frac{1}{x}\right)^n.$$

[Convergenza puntuale. L'insieme di convergenza puntuale è $[-2 - \sqrt{3}, -2 + \sqrt{3}] \cup (2 - \sqrt{3}, 2 + \sqrt{3})$. Convergenza totale. La serie converge totalmente in $(C(E), \|\cdot\|_{\infty, E})$, per ogni sottoinsieme compatto E di $(-2 - \sqrt{3}, -2 + \sqrt{3}) \cup (2 - \sqrt{3}, 2 + \sqrt{3})$.]

10.28

Si consideri la successione di funzioni $f_n : \mathbb{R} \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$ ($n = 1, 2, \dots$) così definita

$$f_n(x) := \frac{e^{nx + \frac{2}{nx}}}{x}.$$

- (i) Tracciare un grafico qualitativo di f_n .
- (ii) Descrivere le proprietà di convergenza di $\{f_n\}$.

[Convergenza puntuale: Insieme di convergenza puntuale $D = (-\infty, 0)$; funzione limite puntuale $f = 0$.

Convergenza uniforme: La successione non converge uniformemente in D ; essa converge uniformemente in $(-\infty, a]$ per ogni $a < 0$.]

10.29

Studiare le proprietà di convergenza della serie

$$\sum_{n=1}^{+\infty} n^x \sin(x^{2n}), \quad x \in [-1, 1].$$

[Insieme di convergenza puntuale: $D = (-1, 1)$. La serie converge totalmente in $(C([- \alpha, \alpha]), \|\cdot\|_{\infty, [- \alpha, \alpha]})$, per ogni $\alpha \in (0, 1)$. Quindi la serie converge anche uniformemente in $[- \alpha, \alpha]$, per ogni $\alpha \in (0, 1)$.]

10.30

Descrivere le proprietà di convergenza della successione di funzioni

$$f_n : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \quad f_n(x) := \frac{x}{(x-1)^2 + \frac{1}{n}} \quad (n = 1, 2, \dots).$$

[Convergenza puntuale: $D = \mathbb{R} \setminus \{1\}$, $f(x) = \frac{x}{(x-1)^2}$.

Convergenza uniforme: (i) $\{f_n\}_{n=1}^{\infty}$ non converge uniformemente in D . (ii) Se $E \subset D$ e 1 è punto di accumulazione di E , allora $\{f_n\}_{n=1}^{\infty}$ non converge uniformemente in E . (iii) Per ogni $\varepsilon > 0$, la successione $\{f_n\}_{n=1}^{\infty}$ converge uniformemente in $\mathbb{R} \setminus (1 - \varepsilon, 1 + \varepsilon) = (-\infty, 1 - \varepsilon] \cup [1 + \varepsilon, +\infty)$.]

Chapter 11

Equazioni differenziali ordinarie

11.1

Usare i teoremi generali provati nel corso per dimostrare l'esistenza della soluzione massimale del problema di Cauchy

$$\begin{cases} y'(x) = \frac{y(x)}{x} + \frac{x}{x-1} \\ y(2) = 0. \end{cases}$$

Infine determinare esplicitamente tale soluzione massimale.

$$[y(x) = x \ln(x-1)]$$

11.2

Determinare la soluzione generale della seguente equazione differenziale ordinaria lineare

$$y''(x) - 3y'(x) + \frac{9}{4}y(x) = \frac{9}{4}x + 6.$$

Ricavare poi la soluzione tale che $y(0) = y(1) = 5$.

[Soluz. generale: $C_1 e^{3x/2} + C_2 x e^{3x/2} + x + 4$; Soluz. particolare: $e^{3x/2} - x e^{3x/2} + x + 4$]

11.3

Determinare la soluzione generale dell'equazione differenziale ordinaria lineare

$$2y''(x) + 6y'(x) + 9y(x) = 9x - 3, \quad x \in \mathbb{R}.$$

Scrivere infine il sistema differenziale del primo ordine, in forma normale, equivalente a tale equazione differenziale.

[Soluz. generale: $C_1 e^{-3x/2} \cos(3x/2) + C_2 e^{-3x/2} \sin(3x/2) + x - 1$]

11.4

Determinare la soluzione di

$$y'(x) + y(x) \cos x = \cos x$$

tale che $y(\pi/2) = 2$.

$[1 + e^{1-\sin x}]$

11.5

Determinare la soluzione dell'equazione differenziale

$$y'(x) + \frac{1}{x} y(x) = \frac{\cos x}{x}, \quad x > 0$$

tale che

$$\lim_{x \rightarrow 0+} y(x) = 1.$$

$[\frac{\sin x}{x}]$

11.6

Ricavare la soluzione generale dell'equazione differenziale

$$y''(x) - 2y'(x) = -4x, \quad x \in \mathbb{R}$$

e in seguito determinare la soluzione tale che $y(0) = y'(0) = 0$.

$[y(x) = c_1 + c_2 e^{2x} + x^2 + x ; y(x) = \frac{1}{2} - \frac{e^{2x}}{2} + x^2 + x]$

11.7

Ricavare la soluzione del problema di Cauchy

$$y'(x) + \left(1 + \frac{\cos x}{2 + \sin x}\right) y(x) = \frac{x-1}{2 + \sin x}, \quad y(0) = 0.$$

$$[y(x) = \frac{x-2}{2+\sin x} + \frac{2}{(2+\sin x)e^x}]$$