Integrali doppi

1. Calcolare l'integrale doppio $\int\int_\Omega f(x,y)dxdy$, con

   (a) $f(x,y) = xy^2$ e Ω è il triangolo di vertici (-1,0), (1,0), (1,1).

   (b) $f(x,y) = x - y$ e $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ x^2 \leq y \leq \sqrt{x}\}$.

   (c) $f(x,y) = \frac{x}{x^2+y^2}$ e $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ \frac{x^2}{2} \leq y \leq x^2,\ 1 \leq x \leq 2\}$

   (d) $f(x,y) = \frac{\sin y^2}{y}$ e $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ 0 \leq x \leq y^2,\ 0 \leq y \leq \sqrt{\pi}\}$

   (e) $f(x,y) = \frac{xy^2}{(x^2+y^2)^{3/2}}$ e $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ 4 \leq x^2 + y^2 \leq 9,\ y \geq x\}$

   (f) $f(x,y) = y$ e Ω è il semicerchio di raggio 1 , con centro nel punto (1,0) e situato nel semipiano $y \geq 0$.

   (g) $f(x,y) = \sqrt{1 - x^2/a^2 - y^2/b^2}$ e Ω è l'ellisse di semiassi a, b:

   $$\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \leq 1\}$$

   (h) $f(x,y) = e^{\frac{x}{y}}$ e Ω è l'insieme delimitato dalle rette $y = 1$, $x = 0$ e dalla parabola $y^2 = x$.

2. Calcolare le coordinate (x_g, y_g) del baricentro di una lamina piana di densità di massa data dalla funzione $f(x,y) = y$ di forma: $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ x^2 \leq y \leq 1\}$

3. Calcolare le coordinate (x_g, y_g) del baricentro di una lamina piana omogenea Ω a forma di semicerchio:

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

4. Calcolare le coordinate (x_g, y_g) del baricentro di una lamina piana omogenea a forma di cardioide, il cui bordo è la curva data in coordinate polari da $\rho(\theta) = 1 + \cos\theta$, $\theta \in [0, 2\pi]$

Integrali tripli

5. Calcolare l'integrale triplo $\int\int\int_\Omega f(x,y,z)dxdydz$, con

   (a) $f(x,y,z) = \frac{x+y}{z}$ e $\Omega = [0,1] \times [0,1] \times [1,2]$.

   (b) $f(x,y,z) = y^2 z$ e $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3,\ 0 \leq x \leq 2, 0 \leq y \leq x, 0 \leq z \leq xy\}$.

(c) $f(x,y,z) = \frac{1}{(y+1)^3}$ e $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3,\ 0 \le x \le 1, 0 < z \le 1, 0 < y \le x+z\}$.

6. Calcolare il volume di $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3,\ \sqrt{x^2+y^2} \le z \le 2 - x^2 - y^2, x^2 + y^2 \le 1\}$.

7. Calcolare il baricentro di una semisfera omogenea situata nel semispazio $z \ge 0$

8. Calcolare $\int\int\int_\Omega \sqrt{x^2+y^2+z^2}dxdydz$, con $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3,\ x^2+y^2+z^2 \le 1,\ z^2 - x^2 - y^2 \le 0, z \ge 0\}$.

9. Calcolare il volume del solido compreso tra il paraboloide di equazione $z = x^2 + y^2$ ed il piano di equazione $z = 2$

10. Calcolare $\int\int\int_\Omega f(x,y,z)dxdydz$, dove $f(x,y,z) = xz$ e $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 : 0 \le z \le 1, (x-z)^2 + y^2 \le z^2 + 1\}$.

11. Calcolare $\int\int\int_\Omega f(x,y,z)dxdydz$, dove $f(x,y,z) = x - y + z$ e $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 : x^2 + y^2 + z^2 \le R^2, z \ge 0\}$.

12. Calcolare il volume della calotta sferica $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 : x^2 + y^2 + z^2 \le R^2, z \ge r\}$, con $r < R$.

13. Calcolare le coordinate (x_G, y_G, z_G) del baricentro di un ottante di sfera $\Omega = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 : x^2 + y^2 + z^2 \le R^2, x \ge 0, y \ge 0, z \ge 0\}$.

14. Calcolare il volume del toro, ovvero del solido ottenuto dalla rotazione attorno all'asse z del cerchio nel piano (y,z) di centro $(3,0)$ e raggio 1.

Soluzioni

1.(a) Ω può essere scritto come insieme y-semplice:

$$\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ -1 \le x \le 1,\ 0 \le y \le \frac{x+1}{2}\}$$

e quindi

$$\int\int_\Omega f(x,y)dxdy = \int_{-1}^{1} (\int_0^{\frac{x+1}{2}} xy^2\, dy)\, dx = \frac{1}{10}$$

Ω può anche essere scritto come insieme x-semplice:

$$\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ 0 \le y \le 1,\ 2y - 1 \le x \le 1\}$$

e quindi
$$\int\int_\Omega f(x,y)dxdy = \int_0^1 (\int_{2y-1}^1 xy^2\, dx)\, dy = \frac{1}{10}$$

1.(b) Ω può essere scritto come insieme y-semplice: $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2,\ x^2 \leq y \leq \sqrt{x},\ 0 \leq x \leq 1\}$.

$$\int\int_\Omega f(x,y)dxdy = \int_0^1 (\int_{x^2}^{\sqrt{x}} x - y\, dy)\, dx = 0$$

1.(c) Ω è y-semplice:

$$\begin{aligned}
\int\int_\Omega f(x,y)dxdy &= \int_1^2 (\int_{x^2/2}^{x^2} \frac{x}{x^2+y^2}\, dy)\, dx \\
&= \int_1^2 (\arctan x - \arctan(x/2))\, dx \\
&= \left[x(\arctan x - \arctan(x/2)) - \frac{1}{2}\log(1+x^2) + \log(4+x^2)\right]_1^2 \\
&= 2\arctan 2 - \frac{3}{4}\pi + \arctan(1/2) + \frac{7}{2}\log(2) - \frac{3}{2}\log(5)
\end{aligned}$$

1.(d)
$$\int\int_\Omega f(x,y)dxdy = \int_0^{\sqrt{\pi}} (\int_0^{y^2} \frac{\sin y^2}{y}\, dx)\, dy = 1$$

1.(e) Passando in coordinate polari

$$\int\int_\Omega f(x,y)dxdy = \int\int_{\Omega'} f(\rho\cos\theta, \rho\sin\theta)\rho\, d\rho\, d\theta$$

con $\Omega' = \{(\rho,\theta) \in [0,+\infty) \times [0,2\pi]\,, 2 \leq \rho \leq 3,\ \pi/4 \leq \theta \leq 5\pi/4\}$. L'integrale diviene
$$\int_2^3 \int_{\pi/4}^{5\pi/4} \cos\theta \sin^2\theta \rho\, d\rho\, d\theta = -5\sqrt{2}/12$$

1.(f) $f(x,y) = y$ e Ω è il semicerchio di raggio 1 , con centro nel punto (1,0) e situato nel semipiano $y \geq 0$. Introducendo le coordinate polari cenrate in (1,0):

$$x(\rho,\theta) = 1 + \rho\cos\theta, \qquad y(\rho,\theta) = \rho\sin\theta$$

l'integrale diviene

$$\int\int_{\Omega} f(x,y)dxdy = \int\int_{\Omega'} f(1+\rho\cos\theta, \rho\sin\theta)\rho\, d\rho\, d\theta$$

con $\Omega' = [0,1]\times[0,\pi]$. Quindi

$$\int\int_{\Omega} f(x,y)dxdy = \int_0^1\int_0^{\pi} \rho^2 \sin\theta d\theta d\rho = \frac{2}{3}$$

1.(g) Utilizzando le coordinate ellittiche nel piano

$$x(\rho,\theta) = a\rho\cos\theta, \qquad y(\rho,\theta) = b\rho\sin\theta$$

dove $\det(J(\rho,\theta)) = ab\rho$, l'integrale diviene

$$\int\int_{\Omega} f(x,y)dxdy = \int\int_{\Omega'} f(a\rho\cos\theta, b\rho\sin\theta)ab\rho\, d\rho\, d\theta$$

con $\Omega' = [0,1]\times[0,2\pi]$. L'integrale diviene

$$ab\int_0^{2\pi}\int_0^1 \sqrt{1-\rho^2}\rho\, d\rho\, d\theta = \frac{2}{3}\pi\, a\, b$$

1.(h) 1/2

2. L'insieme Ω è y-semplice:

$$\Omega = \{(x,y)\in\mathbb{R}^2,\ x^2\le y\le 1,\ -1\le x\le 1\}$$

La massa della lamina è data da

$$M = \int\int_{\Omega} f(x,y)dxdy = \int_{-1}^1\int_{x^2}^1 y\, dy\, dx = \frac{4}{5}$$

La coordinata x_G è data da:

$$x_G = \frac{5}{4}\int_{-1}^1\int_{x^2}^1 yx\, dy\, dx = 0$$

La coordinata y_G è data da:

$$y_G = \frac{5}{4}\int_{-1}^1\int_{x^2}^1 y^2\, dy\, dx = \frac{5}{7}$$

3. Calcolare le coordinate (x_g, y_g) del baricentro di una lamina piana omogenea Ω a forma di semicerchio:

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

Trasformando l'integrale in coordinate polari l'insieme Ω diviene $\{0 \leq \rho \leq 1,\, -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2\}$. La massa della lamina è data da

$$M = \int\int_\Omega f(x, y)dxdy = \int_0^1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho\, d\theta\, d\rho = \frac{\pi}{2}$$

La coordinata x_G è data da:

$$x_G = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho^2 \cos\theta\, d\theta\, d\rho = \frac{4}{3\pi}$$

La coordinata y_G è data da:

$$y_G = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho^2 \sin\theta\, d\theta\, d\rho = 0$$

4. Calcolare le coordinate (x_g, y_g) del baricentro di una lamina piana omogenea a forma di cardioide, il cui bordo è la curva data in coordinate polari da $\rho(\theta) = 1 + \cos\theta$, $\theta \in [0, 2\pi]$

   La massa della lamina è data da

$$M = \int\int_\Omega f(x, y)dxdy = \int_0^{2\pi} \int_0^{1+\cos\theta} \rho\ d\rho\, d\theta = \frac{3\pi}{2}$$

La coordinata x_G è data da:

$$x_G = \frac{2}{3\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{1+\cos\theta} \rho^2 \cos\theta\ d\rho\, d\theta = \frac{2}{9\pi} \int_0^{2\pi} (1 + \cos\theta)^3 \cos\theta d\theta = \frac{5}{6}$$

La coordinata y_G è data da:

$$y_G = \frac{2}{3\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{1+\cos\theta} \rho^2 \sin\theta\ d\rho\, d\theta == \frac{2}{9\pi} \int_0^{2\pi} (1 + \cos\theta)^3 \sin\theta d\theta = 0$$

5.(a)

$$\int\int\int_\Omega \frac{x + y}{z} dx\, dy\, dz = \int_0^1 dx \int_0^1 dy \int_1^2 \frac{x + y}{z} dz = \log(2)$$

5.(b) Ω è semplice per fili:

$$\int\int\int_{\Omega} y^2 z dx\, dy\, dz = \int\int_D dxdy \int_0^{xy} y^2 z dz$$

con $D = \{(x, y \in \mathbb{R}^2,\ 0 \leq x \leq 2, 0 \leq y \leq x\}$, quindi

$$\int\int_D dxdy \int_0^{xy} y^2 z dz = \int_0^2 dx \int_0^x dy \int_0^{xy} y^2 z dz = \frac{16}{5}$$

5.(c) Ω è semplice per fili:

$$\int\int\int_{\Omega} \frac{1}{(1+y)^3} dx\, dy\, dz = \int\int_D dxdz \int_0^{x+z} \frac{1}{(1+y)^3} dy$$

con $D = [0, 1] \times [0, 1]$, quindi

$$\int\int_D dxdz \int_0^{x+z} \frac{1}{(1+y)^3} dy = \int_0^1 dz \int_0^1 dx \int_0^{x+z} \frac{1}{(1+y)^3} dy = \frac{1}{2}\log(3/4) + \frac{1}{2}$$

6. Ω è semplice per fili, quindi

$$V = \int\int\int_{\Omega} dx\, dy\, dz = \int\int_D dxdy \int_{\sqrt{x^2+y^2}}^{2-x^2-y^2} dz = \int\int_D (2 - x^2 - y^2 - \sqrt{x^2+y^2}) dxdy$$

con $D = \{(x, y \in \mathbb{R}^2,\ x^2 + y^2 \leq 1\}$. Utilizzando le coordinate polari nel piano:

$$\int\int_D (2 - x^2 - y^2 - \sqrt{x^2+y^2}) dxdy = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^1 (2 - \rho^2 - \rho)\rho\, d\rho = \frac{5}{6}\pi$$

7. Utilizzando le coordinate polari nello spazio, l'insieme su cui integriamo è definito dalle diseguaglianze $0 \leq \mathbb{R}$, $0 \leq \phi \leq \pi/2$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$, quindi la massa è data da

$$M = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} d\phi \int_0^R \rho^2 \sin\phi\, d\rho = \frac{2}{3}\pi R^3$$

La coordinata x_G è data da:

$$x_G = \frac{3}{2\pi R^3} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} d\phi \int_0^R \rho^3 \sin\phi^2 \cos\theta\, d\rho = 0$$

La coordinata y_G è data da:

$$y_G = \frac{3}{2\pi R^3} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} d\phi \int_0^R \rho^3 \sin\phi^2 \sin\theta\, d\rho = 0$$

La coordinata z_G è data da:

$$z_G = \frac{3}{2\pi R^3} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} d\phi \int_0^R \rho^3 \sin\phi \cos\phi \, d\rho = \frac{3}{8} R$$

8. Utilizzando le coordinate polari nello spazio, l'insieme su cui integriamo è definito dalle diseguaglianze $0 \leq 1$, $\pi/4 \leq \phi \leq \pi/2$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$, l'integrale diviene quindi
$$\int_0^{2\pi} d\theta \int_{\pi/4}^{\pi/2} d\phi \int_0^1 \rho^3 \sin\phi \, d\rho = \frac{\sqrt{2}}{4}\pi$$

9. $V = 2\pi$

10. Integrando per strati si ottiene $\int\int\int_\Omega f(x,y,z)dxdydz = \frac{8}{15}\pi$

11. $\int\int\int_\Omega f(x,y,z)dxdydz = \frac{R^4\pi}{4}$

12. $V = \pi\left(\frac{2}{3}R^3 - R^2 r + \frac{r^3}{3}\right)$

13. $(x_G, y_G, z_G) = \left(\frac{3}{8}R, \frac{3}{8}R, \frac{3}{8}R\right)$

14. $V = 6\pi^2$.