

# Esercitazione in classe sulle curve

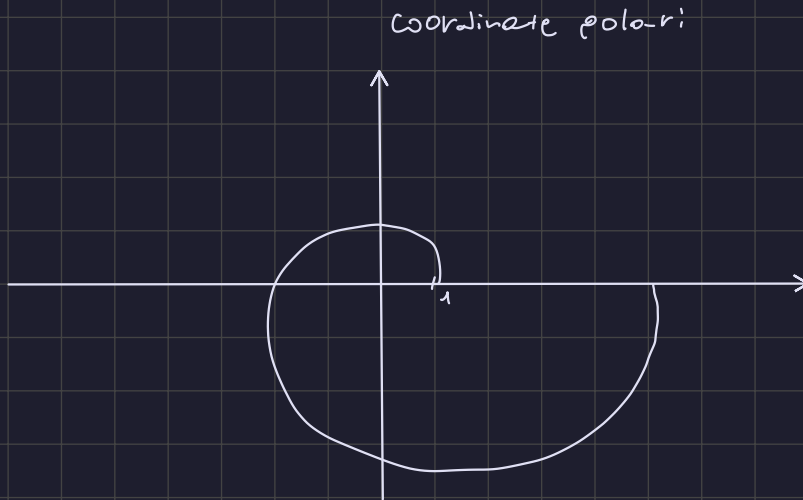
▮ **Esercizio 2.1.1.** Sia  $\gamma$  la curva piana la cui parametrizzazione in coordinate polari è  $\rho(\vartheta) = \vartheta^2 + 1$ , on  $0 \leq \vartheta \leq 2\pi$ . Dopo aver disegnato sommariamente il sostegno di  $\gamma$ , determinare i versori tangente e normale al sostegno di  $\gamma$  nel punto  $\gamma(\pi)$  e scrivere un'equazione della retta tangente nello stesso punto.

$$\rho(\theta) = \theta^2 + 1 \quad \theta \in [0, 2\pi]$$

In coordinate cartesiane equivale a

$$\begin{cases} x(\theta) = \rho(\theta) \cos \theta = (\theta^2 + 1) \cos \theta \\ y(\theta) = \rho(\theta) \sin \theta = (\theta^2 + 1) \sin \theta \end{cases}$$

Diamo valori a caso a theta e plottiamo il grafico a grandi linee



Rappresenta la curva

$$\gamma(\theta) = (x(\theta), y(\theta)) = ((\theta^2 + 1) \cos \theta, (\theta^2 + 1) \sin \theta)$$

$$\gamma'(\theta) = (2\theta \cos \theta - (\theta^2 + 1) \sin \theta, 2\theta \sin \theta + (\theta^2 + 1) \cos \theta)$$

$$\begin{aligned} \|\gamma'(\theta)\| &= \sqrt{4\theta^2 \cos^2 \theta - 4\theta(\theta^2 + 1) \cos \theta \sin \theta + (\theta^2 + 1)^2 \sin^2 \theta +} \\ &\quad + 4\theta^2 \sin^2 \theta + 4\theta(\theta^2 + 1) \cos \theta \sin \theta + (\theta^2 + 1)^2 \cos^2 \theta} \\ &= \sqrt{4\theta^2 + (\theta^2 + 1)^2} \end{aligned}$$

Tangente:

$$T(\theta) = \frac{\gamma'(\theta)}{\|\gamma'(\theta)\|} = \frac{(2\theta \cos \theta - (\theta^2 + 1) \sin \theta, 2\theta \sin \theta + (\theta^2 + 1) \cos \theta)}{\sqrt{4\theta^2 + (\theta^2 + 1)^2}}$$

$$\downarrow$$

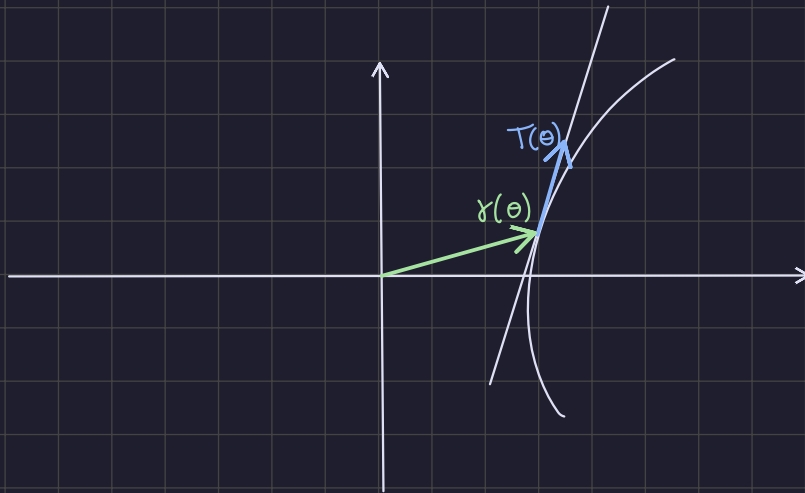
$$T(\pi) = \frac{(-2\pi, -(\pi^2+1))}{\sqrt{4\pi^2 + (\pi^2+1)^2}}$$

Direzione della tangente in  $\pi$

In  $\mathbb{R}^2$  il versore normale è il versore tangente ruotato di  $90^\circ$

$$N(\pi) = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}}_{\downarrow \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}} T(\pi)$$

Per trovare la retta tangente alla curva bisogna trovare quel vettore che sposta lo spazio vettoriale formato dal vettore tangente sopra la curva e quel vettore è proprio  $\gamma(\theta)$



Quindi la retta tangente è:

$$\gamma(\pi) + t\gamma'(\pi)$$

$$\begin{cases} x(t) = -(\pi^2+1) - t \cdot 2\pi \\ y(t) = 0 - t(\pi^2+1) \end{cases}$$

Componente x del vettore tangente  
Componente y del vettore tangente

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

$$y = \frac{x + (1 + \pi^2)}{2\pi} (\pi^2 + 1)$$

$$y = \frac{\pi^2 + 1}{2\pi} x + \frac{(\pi^2 + 1)^2}{2\pi}$$

✎ **Esercizio 2.2.4.** Calcolare l'integrale (curvilineo) di

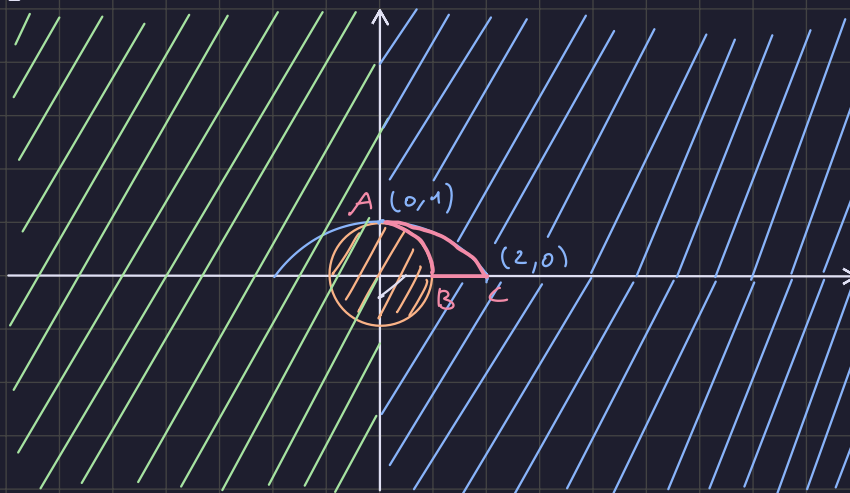
$$f(x, y) = \frac{xy}{\sqrt{4+x^2}}$$

lungo la curva  $\gamma$  il cui sostegno è il bordo  $\partial E$  di

$$E = \left\{ (x, y) : \underline{x \geq 0}, \underline{x^2 + y^2 \geq 1}, \underline{0 \leq y \leq 1 - \frac{x^2}{4}} \right\}$$

e determinare la retta tangente a  $\gamma$  nel punto  $\left(1, \frac{3}{4}\right)$ .

Disegniamo l'insieme  $E$



Consideriamo solo l'area rossa

Integriamo lungo le 3 curve parametrizzate:

$$\gamma_{BA}(t) = (\cos t, \sin t) \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$$



$$\gamma_{BC}(t) = (t, 0) \quad t \in [1, 2]$$



$$\gamma_{AC}(t) = \left(t, 1 - \frac{t^2}{4}\right)$$



Integriamo

$$\begin{aligned} \int_{\gamma_{BA}} F ds &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos t \sin t}{\sqrt{4 + \cos^2 t}} \sqrt{(-\sin t)^2 + (\cos t)^2} dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos t \sin t}{\sqrt{4 + \cos^2 t}} \underbrace{|\gamma'(t)|}_{=1} dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos t \sin t}{\sqrt{4 + \cos^2 t}} dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{w}{\sqrt{4 + w}} dw \quad \begin{aligned} w &= \cos^2 t \\ dw &= -2 \cos t \sin t dt \end{aligned} \\ &= -\frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{-2 \cos t \sin t dt}{\sqrt{4 + \cos^2 t}} \end{aligned}$$

$$= -\frac{1}{2} \int \frac{1}{\sqrt{4+w}} dw = -(4+w)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[ -\sqrt{4+\cos^2 t} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = -2 + \sqrt{5}$$

Retta tangente a  $\gamma$  in  $(1, 3/4)$  ( $\gamma(1)$ )

$$\gamma(t) \begin{cases} \gamma_{BA} \xrightarrow{\times} \\ \gamma_{BC} \xrightarrow{\times} \\ \gamma_{AC} \xrightarrow{\checkmark} \end{cases} \rightarrow (1, \frac{3}{4}) \in \gamma_{AC}$$

$$\gamma_{AC}(t) = (t, 1 - \frac{t^2}{4}) \rightarrow t \mid \gamma_{AC}(t) = (1, \frac{3}{4}) \Rightarrow t = 1$$

$$\downarrow$$

$$\begin{cases} x(t) = 1 \\ y(t) = \frac{3}{4} \end{cases}$$

$$\gamma'_{AC}(t) = (1, -\frac{t}{2})$$

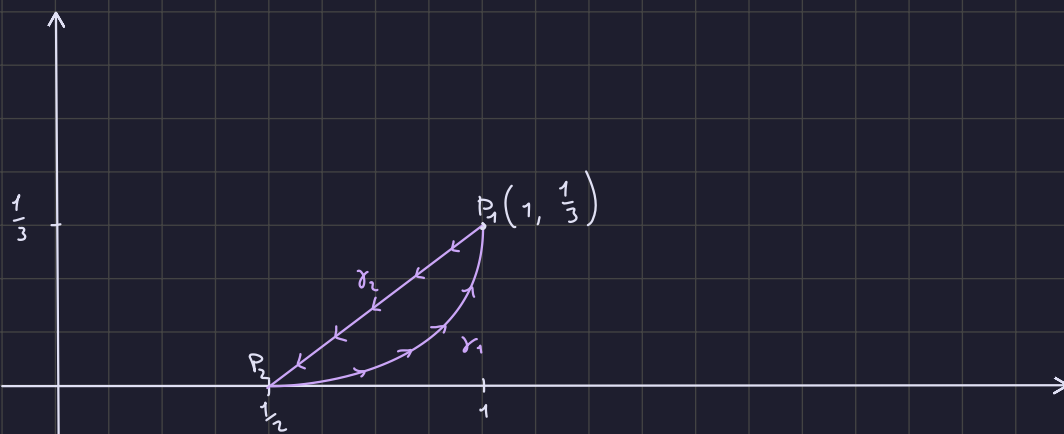
$$r_{TAN}(t) = \gamma_{AC}(t) + s \gamma'_{AC}(t) \quad s \in \mathbb{R}$$

$$r_{TAN}(1) = \gamma_{AC}(1) + s \gamma'_{AC}(1) = r_{TAN}(s) = \begin{cases} x(s) = 1 + s \\ y(s) = \frac{3}{4} - \frac{s}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x(s) = 1 + s \\ y(s) = \frac{3}{4} - \frac{s}{2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} s = x - 1 \\ y = \frac{3}{4} - \frac{x-1}{2} \end{cases} \rightarrow y = -\frac{x}{2} + \frac{5}{4} \quad \text{retta tangente}$$

▣ **Esercizio 2.1.2.** Determinare una parametrizzazione della curva chiusa  $\gamma$  che si ottiene percorrendo prima da sinistra verso destra il grafico di  $f(x) = (1/3)(2x-1)^{3/2}$  per  $1/2 \leq x \leq 1$  e poi da destra a sinistra il segmento congiungente gli estremi del grafico di  $f$  stessa. Disegnare quindi il sostegno di  $\gamma$  e calcolarne la lunghezza.

$$F(x) = \frac{1}{3} (2x-1)^{3/2} \quad F'(x) = \frac{1}{3} (2x-1)^{1/2} \quad F''(x) = \frac{1}{3} \frac{1}{(2x-1)^{1/2}} > 0 \quad \text{concavità verso l'alto}$$



$$\gamma_1(t) = \left(t, \frac{1}{3}(2t-1)^{3/2}\right) \quad t \in \left[\frac{1}{2}, 1\right]$$

$$\gamma_2(t) = (1-t) \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \leftarrow t \in [0, 1] \quad (1-t)p_1 + tp_2$$

$$= \left((1-t) + \frac{t}{2}, \frac{1-t}{3}\right) \quad t \in [0, 1]$$

Le due rette sono definite nello stesso intervallo, quindi in  $t = 1/2$  si avrà un valore corrispondente a 2 rette contemporaneamente, e noi non vogliamo questo, ma vogliamo che gamma2 sia collegata a gamma1. Cambiamo di nuovo parametrizzazione

$$\gamma_1(t) \quad t \in \left[\frac{1}{2}, 1\right] \rightarrow \left[0, \frac{1}{2}\right] \quad \rightarrow \quad t = As + B \rightarrow \begin{cases} \frac{1}{2} = A \cdot 0 + B \\ 1 = A \cdot \frac{1}{2} + B \end{cases} \rightarrow \begin{cases} B = \frac{1}{2} \\ A = 1 \end{cases}$$

$$\gamma_1(s) = \left(s + \frac{1}{2}, \frac{1}{3}(2s + 1 - 1)^{3/2}\right) \quad \leftarrow \quad t = s + \frac{1}{2}$$

$$= \left(s + \frac{1}{2}, \frac{1}{3}(2s)^{3/2}\right) \quad \rightarrow \quad \left[ \begin{array}{l} s=0 \rightarrow \left(\frac{1}{2}, 0\right) \\ s=\frac{1}{2} \rightarrow \left(1, \frac{1}{3}\right) \end{array} \right] \quad \begin{array}{l} \text{La parametrizzazione} \\ \text{è corretta} \end{array} \quad s \in \left[0, \frac{1}{2}\right]$$

$$\gamma_2(t) \quad t \in [0, 1] \rightarrow \left[\frac{1}{2}, 1\right] \rightarrow t = As + B$$

$$\begin{cases} 0 = A \cdot \frac{1}{2} + B \\ 1 = A \cdot 1 + B \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A = 2 \\ B = -1 \end{cases} \quad \nearrow \quad t = 2s - 1$$

$$\gamma_2(t) = \left((1-2s+1) + \frac{2s-1}{2}, \frac{(1-2s+1)}{3}\right)$$

$$= \left( 2 - 2s + s - \frac{1}{2}, \frac{2(1-s)}{3} \right)$$

$$= \left( \frac{3}{2} - s, \frac{2(1-s)}{3} \right) \rightarrow \left[ \begin{array}{l} s = \frac{1}{2} \rightarrow \left( 1, \frac{1}{3} \right) \\ s = 1 \rightarrow \left( \frac{1}{2}, 0 \right) \end{array} \right] s \in \left[ \frac{1}{2}, 1 \right]$$

$$\gamma(s) = \begin{cases} \left( s + \frac{1}{2}, \frac{1}{3} (2s)^{\frac{3}{2}} \right) & \text{se } s \in \left[ 0, \frac{1}{2} \right] \\ \left( \frac{3}{2} - s, \frac{2(1-s)}{3} \right) & \text{se } s \in \left[ \frac{1}{2}, 1 \right] \end{cases}$$

I passaggi per cambiare parametro sono:

$$\begin{array}{ccc} \gamma: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}^h & & \\ [c, d] \xrightarrow{\uparrow} C, \text{ (mappa monotona)} & & \\ \begin{array}{l} t \in [a, b] \\ s \in [c, d] \end{array} & \downarrow & t = As + B \rightarrow \begin{cases} a = Ac + B \\ b = Ad + B \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A = \dots \\ B = \dots \end{cases} \end{array}$$

**Esercizio 2.2.6.** Si calcoli l'integrale curvilineo (rispetto all'ascissa curvilinea)  $\int_{\alpha} z ds$ , ove  $\alpha$  è la curva di parametrizzazione  $\alpha(t) = (t \cos t, t \sin t, t)$ ,  $t \in [0, 2\pi]$ . Si determini inoltre il piano normale ad  $\alpha$  nel punto  $(-\pi, 0, \pi)$  (ovvero il piano normale alla retta tangente in quel punto).

$$\int_{\alpha(t)} F(x, y, z) \overset{\text{Specie}}{ds} = \int_0^{2\pi} F(\alpha(t)) |\alpha'(t)| dt$$

$$F(x, y, z) = z$$

$$\alpha(t) = (t \cos t, t \sin t, t)$$

$$\alpha'(t) = (\cos t - t \sin t, \sin t + t \cos t, 1)$$

$$\int_0^{2\pi} F(\alpha(t)) |\alpha'(t)| dt = \int_0^{2\pi} \overset{z=t}{t} \sqrt{(\cos t - t \sin t)^2 + (\sin t + t \cos t)^2 + 1} dt$$

$$= \int_0^{2\pi} t \sqrt{\cos^2 t - 2t \cos t \sin t + t^2 \sin^2 t + \sin^2 t + 2t \sin t \cos t + t^2 \cos^2 t + 1} dt$$

$$= \int_0^{2\pi} t \sqrt{t^2 + 2} dt = \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} (t^2 + 2)^{3/2} \right]_0^{2\pi} = \frac{(4\pi^2 + 2)^{3/2} - 2^{3/2}}{3}$$

Calcoliamo il piano normale in  $(-\pi, 0, \pi)$

$$\alpha(t) = (t \cos t, t \sin t, t) \Rightarrow (-\pi, 0, \pi) \leftrightarrow t = \pi$$

$$\alpha'(t) = (\cos t - t \sin t, \sin t + t \cos t, 1)$$

Cerchiamo una direzione tangente alla curva in  $\pi$

$$\alpha'(\pi) = (-1, -\pi, 1)$$

L'equazione della retta tangente alla curva nel punto  $(-\pi, 0, \pi) \rightarrow r = (-\pi, 0, \pi) + s(-1, -\pi, 1)$

Bisogna trovare il piano perpendicolare alla retta tangente

Metodo 1:

$$\left\langle \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ -\pi \\ 1 \end{pmatrix} \right\rangle = 0$$

$$-s_1 - \pi s_2 + s_3 = 0$$

$$s_1 = s_3 - \pi s_2$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow \\ k & t \end{matrix}$$

Teorema di Rouché-Capelli

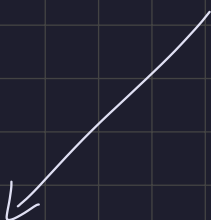
$$\begin{pmatrix} k - \pi t \\ t \\ k \end{pmatrix} \rightarrow k \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -\pi \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -\pi \\ 0 \\ \pi \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -\pi \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{cases} x(k, t) = -\pi + k - \pi t \\ y(k, t) = t \\ z(k, t) = \pi + k \end{cases}$$

Vettore che  
sposta il piano  
nel punto  
interessato

Piano perpendicolare  
alla retta tangente  
(piano normale)



$$\begin{cases} x = -\pi + z - \pi - \pi y \\ t = y \\ w = z - \pi \end{cases} \rightarrow z - x - \pi y = 2\pi$$

Metodo 2:

$$\left\langle \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ -\pi \\ 1 \end{pmatrix} \right\rangle = 0$$

Trasciniamo lo spazio affine nell'origine, così non bisogna calcolare il vettore che trasla lo spazio nel punto della retta tangente

$$\left\langle \begin{pmatrix} x - (-\pi) \\ y \\ z - \pi \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ -\pi \\ 1 \end{pmatrix} \right\rangle = 0$$

$$-(x + \pi) - \pi y + z - \pi = 0$$

$$z - x - \pi y = 2\pi$$



▮ **Esercizio 3.6.2.** Dire se la seguente funzione è differenziabile

$$x^{3/2} + (xy)^{3/2}$$

$$F(x, y) = \sqrt{x^3} + \sqrt{(xy)^3}$$

Dominio

$$\begin{cases} xy \geq 0 \\ x \geq 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} y \geq 0 \\ x \geq 0 \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} x: [0, +\infty) \\ y: [0, +\infty) \end{matrix}$$

Derivata

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = \frac{3}{2} \sqrt{x} + \frac{3}{2} \sqrt{xy} \cdot y$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = \frac{3}{2} \sqrt{xy} \cdot x$$

Le derivate parziali esistono e sono continue, quindi la funzione è differenziabile

▮ **Esercizio 3.6.3.** Dire se la seguente funzione è differenziabile

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{x^2 y^3}{x^4 + y^4} & (x, y) \neq (0, 0) \\ 0 & (x, y) = (0, 0) \end{cases}$$

$$(x, y) \neq 0: \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = \frac{2xy^3(x^4 + y^4) - x^2 y^3 4x^3}{(x^4 + y^4)^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = \frac{3y^2 x^2 (x^4 + y^4) - 2x y^3 4y^3}{(x^4 + y^4)^2}$$

Le derivate parziali sono continue per  $(x, y) \neq 0$

$$(x, y) = (0, 0): \frac{\partial}{\partial x} f(0, 0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(h, 0) - f(0, 0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{0 - 0}{h} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(0, 0) = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{f(0, k) - f(0, 0)}{k} = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{0 - 0}{k} = 0$$

$$\lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{f(0+h, 0+k) - f(0,0) - \frac{\partial}{\partial x} f(0,0)h - \frac{\partial}{\partial y} f(0,0)k}{\sqrt{h^2 + k^2}} =$$

$$= \lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{\frac{h^2 k^3}{h^4 + k^4} - 0 - 0 - 0}{\sqrt{h^2 + k^2}}$$

$$= \lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{h^2 k^3}{(h^4 + k^4) \sqrt{h^2 + k^2}} = \text{Non esiste}$$

$$\downarrow h=k$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{h^5}{2h^4 \sqrt{2}h^2} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h}{2\sqrt{2}|h|} = \pm \frac{1}{2\sqrt{2}} \neq 0$$

✎ Esercizio 3.3.7. Calcolare

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{xy^3 - 2 \sin(x^2y) \cos(x+2y)}{x^2 + y^2}$$

$$\text{se } (x,0) \rightarrow \lim_{x \rightarrow 0} \frac{0 - 0 \cdot \cos(x)}{x^2} = 0$$

$$\text{se } (0,y) \rightarrow \lim_{y \rightarrow 0} \frac{0 - 0 \cdot \cos(2y)}{y^2} = 0$$

Il limite, fissato x e fissato y esiste, quindi bisogna trovare un'altra sequenza che non tenda a 0

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{xy^3}{x^2 + y^2} - 2 \lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{\sin(x^2y) \cos(x+2y)}{x^2 + y^2}$$

$$y = x^{1/3}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2}{x^2 + x^{2/3}} = 0$$

$$\sin(x^2y) = x^2y + o(x^2y)$$

$$\cos(x+2y) = 1 + o(x+2y)$$

↓

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{x^2y}{x^2 + y}$$

$$\downarrow f \rightarrow 0 \Leftrightarrow |f| \rightarrow 0$$

$$0 \leq \lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} |y| \underbrace{\frac{x^2}{x^2 + y^2}}_{\leq 1} \leq \lim_{y \rightarrow 0} |y| = 0$$

↓

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{x^2y}{x^2 + y} = 0 \text{ (esiste)}$$

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{xy^3}{x^2 + y^2}$$

$f \rightarrow 0 \Leftrightarrow |f| \rightarrow 0$

$$0 \leq \lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \frac{|xy^3|}{x^2 + y^2} = \lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} |x| \underbrace{\frac{y^2}{x^2 + y^2}}_{\leq 1} \leq \lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} |x, y| = 0 \text{ (esiste)}$$

Quindi il limite esiste

Un altro modo è quello di usare le coordinate polari

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\rho^4 \cos \theta \sin^3 \theta - 2 \sin(\rho^3 \cos^2 \theta \sin \theta) \cos(\rho \cos \theta + 2\rho \sin \theta)}{\rho^2}$$

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \underbrace{\rho^2 \cos \theta \sin^3 \theta}_{\in [-1,1]} - 2 \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\sin(\rho^3 \cos^2 \theta \sin \theta) \cos(\rho \cos \theta + 2\rho \sin \theta)}{\rho^2}$$

↓

0

$$-2 \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\sin(\rho^3 \cos^2 \theta \sin \theta) \cos(\rho \cos \theta + 2\rho \sin \theta)}{\rho^2}$$

↓ Approssimo seno e coseno con l'argomento

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \rho \cos^2 \theta \sin \theta = 0$$

=0 quindi esiste

✎ **Esercizio 3.3.14.** Si consideri la funzione

$$f(x, y) = \frac{x^2(y-x)}{(x^2+y^2)^\alpha}, \quad (x, y) \neq (0, 0).$$

Si determini se esiste (e in caso affermativo si calcoli)

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} f(x, y)$$

quando  $\alpha = 1$  e quando  $\alpha = 2$ .

Passiamo in coordinate polari

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\rho^3 \cos^2 \theta (\sin \theta - \cos \theta)}{\rho^{2\alpha}} = \lim_{\rho \rightarrow 0} \rho^{3-2\alpha} \cos^2 \theta (\sin \theta - \cos \theta)$$

$$\begin{cases} \text{Se } 3-2\alpha > 0 & \text{esiste e fa 0} \\ \text{altrimenti} & \text{non esiste} \end{cases}$$

↓

$$\begin{cases} \text{se } \alpha < \frac{3}{2} & \text{esiste e fa 0} \\ \text{altrimenti} & \text{non esiste} \end{cases}$$

✎ **Esercizio 3.6.5.** Si verifichi che la funzione

$$f(x, y) = |x| \log(1 + y)$$

è differenziabile in  $(0, 0)$ .

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{|x+h| \log(1) - 0}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{0}{h} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} f(0, 0) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = \frac{|x|}{1+y}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(0, 0) = 0$$

$$\lim_{(h, k) \rightarrow (0, 0)} \frac{|h| \log(1+k) - \underbrace{0 \log(1) - 0h - 0k}}{\sqrt{h^2 + k^2}} =$$

Trasformo in coordinate polari

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\rho |\cos \theta| \log(1 + \rho \sin \theta)}{\rho}$$

$$\downarrow \quad \rho > 0 \Leftrightarrow |\rho| > 0$$

$$0 \leq \lim_{\rho \rightarrow 0} |\cos \theta| |\log(1 + \rho \sin \theta)| \leq \lim_{\rho \rightarrow 0} |\log(1 + \rho \sin \theta)| = 0$$

Metodo 2:

✎ **Esercizio 3.6.2.** Dire se la seguente funzione è differenziabile

$$x^{3/2} + (xy)^{3/2}$$

$$x \geq 0$$

$$y \geq 0$$

$$x^{\frac{3}{2}} (1 + y^{\frac{3}{2}})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} F(x, y) = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} \cdot (1 + y^{\frac{3}{2}})$$

$$\frac{\partial}{\partial y} F(x, y) = x^{\frac{3}{2}} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} y^{\frac{1}{2}}\right)$$

Le derivate parziali sono continue, quindi la funzione è differenziabile

✎ **Esercizio 3.1.6.** Trovare l'insieme di definizione della funzione  $f(x, y) = \arcsin \frac{4xy}{x^2 + y^2}$

$$F(x, y) = \arcsin \left( \frac{4xy}{x^2 + y^2} \right)$$

$$\mathbb{D} = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid -1 \leq \frac{4xy}{x^2 + y^2} \leq 1, (x, y) \neq (0, 0) \right\}$$

$$-1 \leq \frac{4xy}{x^2 + y^2} \leq 1$$

$$-x^2 - y^2 \leq 4xy \leq x^2 + y^2$$

↓

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + 4xy \geq 0 \\ x^2 + y^2 - 4xy \geq 0 \end{cases}$$

Trasformo in coordinate polari

$$\begin{cases} \rho^2 + 4\rho^2 \cos \theta \sin \theta \geq 0 \\ \rho^2 - 4\rho^2 \cos \theta \sin \theta \geq 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho^2 (1 + 4 \cos \theta \sin \theta) \geq 0 \\ \rho^2 (1 - 4 \cos \theta \sin \theta) \geq 0 \end{cases}$$

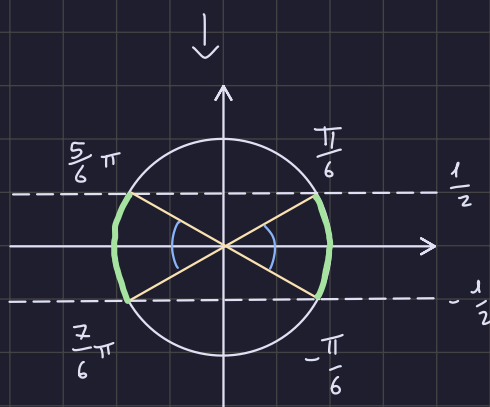
$\rho^2$  é sempre positivo

$$\begin{cases} 1 + 2 \sin(2\theta) \geq 0 \\ 1 - 2 \sin(2\theta) \geq 0 \end{cases}$$

$$2 \sin x \cos x = \sin 2x$$

$$\begin{cases} \sin(2\theta) \geq -\frac{1}{2} \\ \sin(2\theta) \leq \frac{1}{2} \end{cases}$$

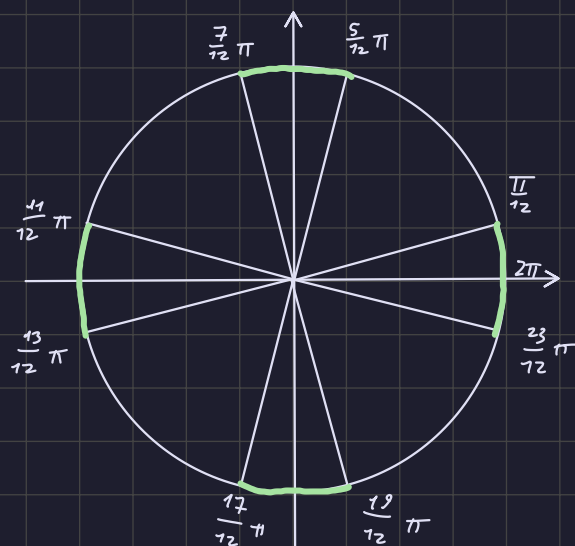
$$\rightarrow \sin(2\theta) \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$$



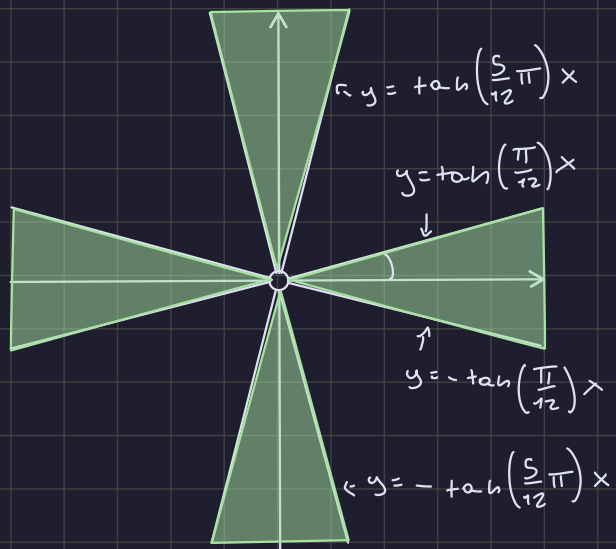
intervallo consentito

$$\begin{cases} -\frac{\pi}{6} + 2k\pi \leq 2\theta \leq \frac{\pi}{6} + 2k\pi \\ \frac{5\pi}{6} + 2k\pi \leq 2\theta \leq \frac{7\pi}{6} + 2k\pi \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\frac{\pi}{12} + k\pi \leq \theta \leq \frac{\pi}{12} + k\pi \\ \frac{5\pi}{12} + k\pi \leq \theta \leq \frac{7\pi}{12} + k\pi \\ \theta \in [0, 2\pi] \end{cases}$$



Dominio:





➡ Esercizio 3.8.2. Data la funzione

$$f(x, y) = \sqrt[3]{x^2(y-1)} + 1$$

a) si verifichi che non è differenziabile in  $(0,1)$

b) si calcolino tutte le derivate direzionali  $D_v f(0,1)$  ( $v$  vettore di  $\mathbb{R}^2$ )

$$F(x, y) = \sqrt[3]{x^2(y-1)} + 1 = \left(x^2(y-1)\right)^{\frac{1}{3}} + 1 = \left(x^2 y - x^2\right)^{\frac{1}{3}} + 1$$

$$F(0,1) = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} F(x,1) = 1 \quad \forall x \in \mathbb{R} \\ F(0,y) = 1 \quad \forall y \in \mathbb{R} \end{array} \right\} \rightarrow \bar{\nabla} F(0,1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{F(h,1+k) - F(0,1) - \langle \bar{\nabla} F(0,1), \begin{pmatrix} h \\ k \end{pmatrix} \rangle}{\left\| \begin{pmatrix} h \\ k \end{pmatrix} \right\|} =$$

$$= \lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{\sqrt[3]{h^2 k} + 1 - 1 - 0}{\sqrt{h^2 + k^2}}$$

$$= \lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{\sqrt[3]{h^2 k}}{\sqrt{h^2 + k^2}} \xrightarrow{h=k} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h}{\sqrt{2}|h|} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ (Non esiste)}$$

$$D_v F(0,1) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{F\left(\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}\right) - F\left(\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right)}{t}$$

Non si può  
usare la formula  
del gradiente

$$v = \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix}$$

Tutti i vettori di norma 1

$$= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{F\left(\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix}\right) - F\left(\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right)}{t}$$

$$\begin{aligned}
&= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{F(t \cos \theta, 1 + t \sin \theta) - 1}{t} \\
&= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{t^2 \cos^2 \theta \cdot t \sin \theta} + 1 - 1}{t} \\
&= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{t^3 \cos^2 \theta \sin \theta}}{t} \\
&= \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{\cos^2 \theta \sin \theta}}{1} \\
&= \sqrt[3]{\cos^2 \theta \sin \theta}
\end{aligned}$$

▮ **Esercizio 3.8.3.** Data la funzione

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & |y| > x^2 \vee y = 0 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

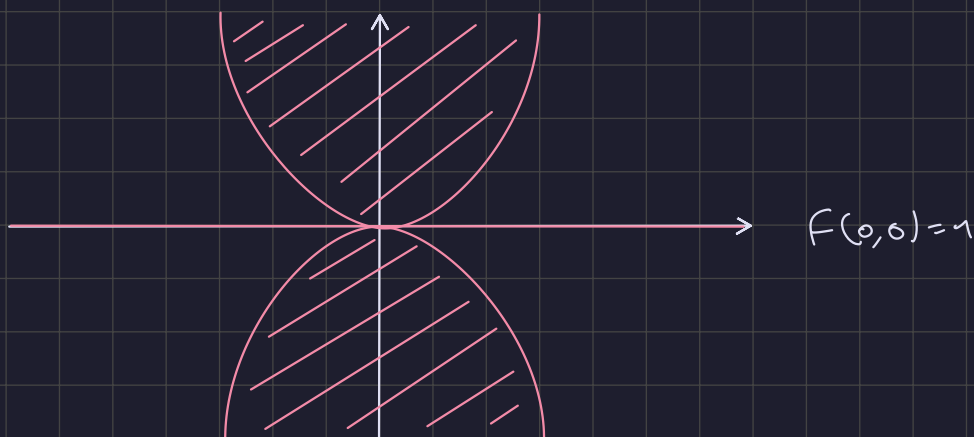
si calcoli  $D_v f(0, 0) \forall v \in \mathbb{R}^2$  versore e si verifichi che

$$D_v f(0, 0) = \langle \nabla f(0, 0), v \rangle.$$

La funzione è differenziabile in  $(0, 0)$ ?

$$F(x, y) = \begin{cases} 1 & y < -x^2 \wedge y > x^2 \vee y = 0 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

/// = 1



$$\lim_{t \rightarrow 0} f(0,0) = \frac{\overbrace{f(t \cos \theta, t \sin \theta) - 1}^{-1}}{t} \rightarrow (t, m t) \exists t \mid |m t| > t^2?$$

$$\downarrow$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{f(t, m t) - 1}{t} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x, 0) = 1 \quad \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x, x^3) = 0$$

$$\downarrow$$

Non continua

✎ **Esercizio 3.9.6.** La temperatura nel punto  $(x, y)$  in una regione del piano  $xy$  è  $T$  (misurata in gradi centigradi), dove

$$T(x, y) = x^2 e^{-y}.$$

In quale direzione aumenta più rapidamente la temperatura nel punto  $(2, 1)$ ? Con quale rapidità aumenta  $T$  in quella direzione?

$$T(x, y) = x^2 e^{-y}$$

$$T(2, 1) = 4 e^{-1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} = 2x e^{-y}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = -x^2 e^{-y}$$

$$\nabla T(2, 1) = (4e^{-1}, -4e^{-1}) = 4e^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Direzione:  $\begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$

Rapidità:  $4e^{-1} \cdot \left\| \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} \right\| = 4e^{-1} \cdot \sqrt{2}$

✎ **Esercizio 3.9.3.** Data la funzione

$$f(x, y) = e^{x^2}(\alpha x - y^3) \quad \alpha \in \mathbb{R};$$

si determini  $\alpha$  in modo che:

a) la direzione di massima crescita in  $(0, 1)$  sia lungo la tangente alla parabola  $y = (x + 1)^2$  nel verso negativo dell'asse  $x$ ;

b) il piano tangente in  $(0, 1)$  sia perpendicolare alla retta  $\frac{x}{2} = \frac{y}{3} = z$ .

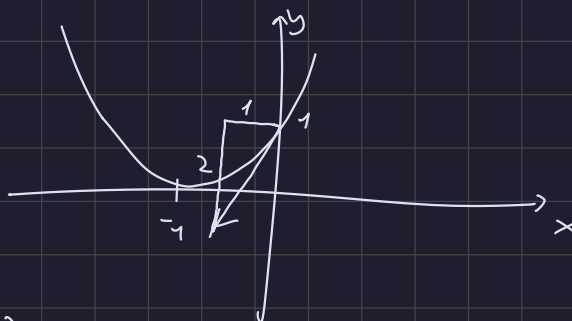
a)

$$F(x, y) = e^{x^2}(\alpha x - y^3)$$

$$\frac{d}{dx} = 2x e^{x^2}(\alpha x - y^3) + \alpha e^{x^2} = e^{x^2}(\alpha + 2x(\alpha x - y^3))$$

$$\frac{d}{dy} = -3y^2 e^{x^2}$$

$$\nabla F(x, y) = e^{x^2} \begin{pmatrix} \alpha(1 + 2x^2) - 2xy^3 \\ -3y^2 \end{pmatrix}$$



$$p(x) = (x+1)^2 \rightarrow p(t) = (t, (t+1)^2)$$

$$\downarrow$$

$$p'(t) = \begin{pmatrix} 1 \\ 2t+2 \end{pmatrix}$$

$$p'(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$v_T = -p'(0) = \begin{pmatrix} -1 \\ -2 \end{pmatrix}$$

↑  
direzione negativa asse x

$$r_T = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -1 \\ -2 \end{pmatrix}$$

↓

$$\begin{cases} x = -t \\ y = 1 - 2t = 1 + 2x \end{cases}$$

$$t \begin{pmatrix} -1 \\ -2 \end{pmatrix} = \nabla F(0, 1) = \begin{pmatrix} \alpha \\ -3 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{cases} -t = \alpha \\ -2t = -3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \alpha = -t \\ t = \frac{3}{2} \end{cases} \rightarrow \alpha = -\frac{3}{2}$$

$t > 0$

$$b) \quad \frac{x}{2} = \frac{y}{3} = z \rightarrow \begin{cases} \frac{x}{2} = \frac{y}{3} \\ \frac{y}{3} = z \\ \frac{x}{2} = z \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 3x - 2y = 0 \\ y - 3z = 0 \\ x - 2z = 0 \end{cases}$$

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 3 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & -2 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow{R_1 - 3R_3} \left( \begin{array}{ccc|c} 0 & -2 & 6 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & -2 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow{R_1 + 2R_2} \left( \begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & -2 & 0 \end{array} \right) \sim$$

$$\sim \left( \begin{array}{ccc|c} \text{Pivot} & & & \\ 1 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \rightarrow \begin{cases} x = 2t \\ y = 3t \\ z = t \end{cases} \rightarrow t \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$x \quad y \quad z = t$

$$T(x, y) = F(0, 1) + \langle \nabla F(0, 1), \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rangle$$

$$= -1 + 2(x - 0) - 3(y - 1)$$

$$= 2x - 3y + 2$$

↓

$$\begin{cases} 2x - 3y - z = 2 \end{cases} \rightarrow \left( \begin{array}{ccc|c} 2 & -3 & -1 & 2 \end{array} \right)$$

$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \text{Pivot} & t & s \end{matrix}$

$$\begin{cases} x = \frac{3}{2}t + \frac{s}{2} - \frac{2}{2} \\ y = t \\ z = s \end{cases}$$

↓

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{2}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \frac{3}{2} \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Il vettore della retta deve essere perpendicolare alla base del piano tangente della funzione in  $(0,1)$

$$\left\{ \left\langle \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 3/\alpha \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \right\rangle \right.$$
$$\left. \left\langle \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1/\alpha \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right\rangle \right\}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \frac{6}{\alpha} + 3 = 0 \\ \frac{2}{\alpha} + 1 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{2}{\alpha} + 1 = 0 \\ \frac{2}{\alpha} + 1 = 0 \end{cases} \quad \alpha = -2$$

Data la funzione

$$F(x, y) = \sqrt{2e^{x-2y} - 1} + \frac{x}{y}$$

- a) Determinare analiticamente il suo dominio naturale  $D$  e poi rappresentarlo (con cura!) nel piano cartesiano. Stabilire se  $D$  è un insieme limitato/illimitato, aperto/chiuso, connesso/sconnesso (motivare le risposte!)
- b) Scrivere l'equazione del piano tangente in  $P(2, 1, f(2, 1))$  al grafico di  $f$

$$a) \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 2e^{x-2y} - 1 \geq 0 \vee y \neq 0 \right\}$$

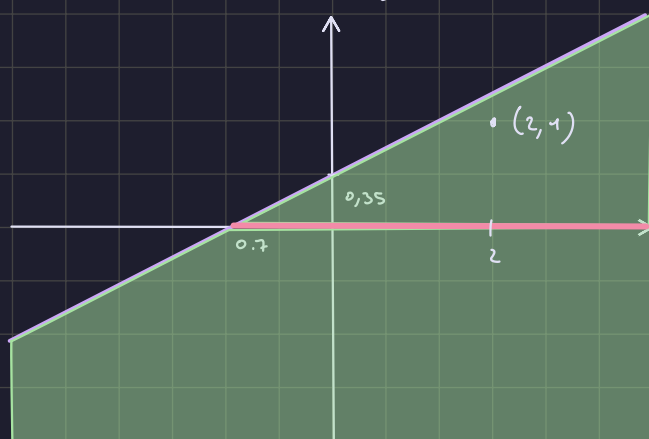
$$e^{x-2y} \geq \frac{1}{2}$$

$$x - 2y \geq \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$y \leq \frac{x}{2} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -0.693147181 \approx -0,7$$

$$\left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid y \leq \frac{x}{2} + 0,35 \vee y \neq 0 \right\}$$



L'insieme è illimitato, sconnesso (perché  $y \neq 0$ ) e né aperto né chiuso

b)

$$P(2, 1, f(2, 1))$$

$$F(x, y) = \sqrt{2e^{x-2y} - 1} + \frac{x}{y}$$

$$f(2, 1) = \sqrt{2e^0 - 1} + 2 = 3 \rightarrow P(2, 1, 3)$$

$$\nabla F(x, y) = \left( \frac{1}{2} \frac{2e^{x-2y}}{\sqrt{2e^{x-2y} - 1}} + \frac{1}{y}, \frac{1}{2} \frac{-4e^{x-2y}}{\sqrt{2e^{x-2y} - 1}} + \frac{x}{y^2} \right)$$

$$\nabla F(2, 1) = (2, -4)$$

$$T(x, y) = 3 + 2(x-2) - 4(y-1) \rightarrow z = 3 + 2x - 4 - 4y + 4$$

$$2x - 4y - z = -3$$

$$x - 2y - \frac{z}{2} = -\frac{3}{2}$$

$$\downarrow y=t, z=s$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2t + \frac{s}{2} - \frac{3}{2} \\ t \\ s \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} -\frac{3}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

check

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -\frac{3}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & \frac{1}{2} \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Burato 1-03-2024 es 4

a) Data la funzione

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-2} e^{x+y}}{x^2 + y^2} & (x, y) \neq (0, 0) \\ 0 & (x, y) = (0, 0) \end{cases}$$

stabilire per quali valori reali di  $\alpha$   $f$  è continua in  $\mathbb{R}^2$

b) Calcolare la lunghezza dell'arco di curva parametrizzato da

$$\gamma(t) = (2t + 3, t^{\frac{3}{2}} + 1) \quad t \in [0, 1]$$

$$\begin{aligned} a) \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\rho^{\alpha-2} \cos^{\alpha-2} \theta e^{\rho(\cos \theta + \sin \theta)}}{\rho^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)} &= \\ &= \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\rho^{\alpha-2} \cos^{\alpha-2} \theta e^{\rho(\cos \theta + \sin \theta)}}{\rho^2} \\ &= \lim_{\rho \rightarrow 0} \rho^{\alpha-4} \cos^{\alpha-2} \theta \underbrace{e^{\rho(\cos \theta + \sin \theta)}}_1 \end{aligned}$$

$$f \rightarrow 0 \leftarrow |f| \rightarrow 0$$

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \rho^{\alpha-4} |\cos^{\alpha-2} \theta| \leq \lim_{\rho \rightarrow 0} \rho^{\alpha-4} = 0 \quad \leftarrow \begin{matrix} \text{Per } \alpha \leq 4 & \text{il limite non esiste} \\ \text{Per } \alpha > 4 \end{matrix}$$



Data la funzione

$$f(x, y) = \sqrt{x} \ln(x^2 - y^2 - 1) - \pi$$

a) Determinare analiticamente il suo dominio naturale  $D$  e poi rappresentarlo (con cura!) nel piano cartesiano. Stabilire se  $D$  è un insieme limitato/illimitato, aperto/chiuso, connesso/sconnesso (motivare le risposte!)

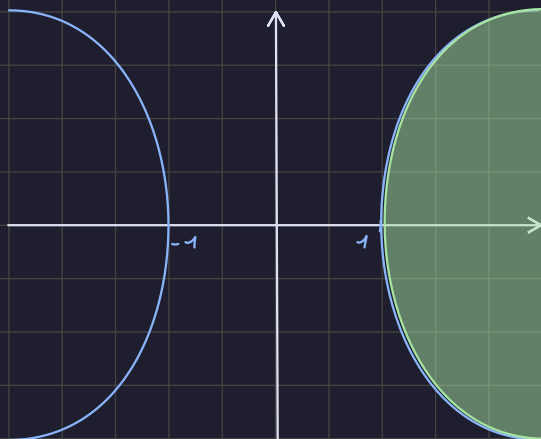
$$D = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x \geq 0 \wedge x^2 - y^2 - 1 > 0\}$$

$$x^2 - y^2 > 1$$

$$x^2 - y^2 = 1$$

$$[0^2 - 0^2 > 1] \times$$

$$\begin{cases} y = 0 \\ x^2 = 1 \rightarrow x = \pm 1 \end{cases}$$



Trovare una parametrizzazione per l'ellisse di equazione

$$g(x, y) = 4x^2 + y^2 - 8x - 4y + 4 = 0$$

Se  $(x_0, y_0)$  è un punto dell'ellisse, quale proprietà ha il vettore  $\nabla g(x_0, y_0)$ ?

$$\text{Ellisse: } \left(\frac{x-a}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-b}{b}\right)^2 = 1$$

$$4x^2 + y^2 - 8x - 4y + 4 = 0$$

$$4(x-1)^2 + y^2 - 4y = 0$$

$$4(x-1)^2 + (y^2 - 4y + 4) = 4$$

$$(2(x-1))^2 + (y-2)^2 = 4 \quad (\text{cerchio})$$

$$\begin{cases} 2(x-1) = t \\ y-2 = s \end{cases}$$

$$t^2 + s^2 = 4$$

$(2\cos\theta, 2\sin\theta)$  Param del cerchio

$$\begin{cases} 2(x-1) = 2\cos\theta \\ y-2 = 2\sin\theta \end{cases} \quad \begin{cases} x = \cos\theta + 1 \\ y = 2\sin\theta + 2 \end{cases}$$

$$(\cos \theta + 1, 2 \sin \theta + 2)$$

▮ **Esercizio 3.6.1.** Dire se la seguente funzione è differenziabile

$$f(x, y) = \begin{cases} x + \frac{1}{2}x^2y & y \geq 0 \\ \frac{e^{xy} - 1}{y} & y < 0 \end{cases}$$

Derivata rispetto a  $x$

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = 1 + xy & y > 0 \\ \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = e^{xy} & y < 0 \end{cases}$$

$$\lim_{y \rightarrow 0^+} 1 + xy = 1$$

( $x$  qualsiasi)

$$\lim_{y \rightarrow 0^-} e^{xy} = 1$$

Derivata rispetto a  $y$

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = \frac{1}{2}x^2 & y > 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = \frac{(xy-1)e^{xy} + 1}{y^2} & y < 0 \end{cases}$$

$$\lim_{y \rightarrow 0^+} \frac{1}{2}x^2 = \frac{1}{2}x^2$$

$$\lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{(xy-1)e^{xy} + 1}{y^2} = \frac{x^2}{2} \quad *$$

Da sopra e da sotto tutte e quattro le funzioni sembrano essere d'accordo (a coppie) sul valore da assumere. Verifichiamo se si guasta tutto quando  $y=0$

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x, 0) = 1 + x \cdot 0 = 1$$

$$\frac{\partial}{\partial y} f(x, 0) = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{f(x, k) - f(x, 0)}{k}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \lim_{k \rightarrow 0^+} \frac{f(x, k) - f(x, 0)}{k} = \lim_{k \rightarrow 0^+} \frac{x + \frac{x^2}{2}k - x}{k} = \frac{x^2}{2} \\ \lim_{k \rightarrow 0^-} \frac{f(x, k) - f(x, 0)}{k} = \lim_{k \rightarrow 0^-} \frac{\frac{e^{xk} - 1}{k} - x}{\frac{1}{k}} = \frac{x^2}{2} \quad *$$

Quindi

$$\frac{\partial}{\partial x} = \begin{cases} 1 + xy & y > 0 \\ 1 & y = 0 \\ e^{xy} & y < 0 \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \begin{cases} \frac{1}{2}x^2 & y > 0 \\ \frac{x^2}{2} & y = 0 \\ \frac{(xy-1)e^{xy} + 1}{y^2} & y < 0 \end{cases}$$

$$* \lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{(xy-1)e^{xy} + 1}{y^2} = \lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{(xy-1)(1+xy + \frac{x^2 y^2}{2} + o(y^2)) + 1}{y^2} \quad (\text{Taylor})$$

$$= \lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{\cancel{xy} + x^2 y^2 + \frac{x^3 y^3}{2} + xy o(y^2) - \cancel{1} - \cancel{xy} - \frac{x^2 y^2}{2} - o(y^2) + \cancel{1}}{y^2}$$

$$= \lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{x^2 y^2 + \frac{x^3 y^3}{2} - \frac{x^2 y^2}{2} \overset{=0}{o(y^2)(xy-1)}}{y^2}$$

$$= \lim_{y \rightarrow 0^-} \frac{-\frac{x^2 y^2}{2}}{y^2} = -\frac{x^2}{2}$$

$$* \lim_{k \rightarrow 0^-} \frac{\frac{e^{xk} - 1}{k} - x}{x} = \lim_{k \rightarrow 0^-} \frac{e^{xk} - kx - 1}{k^2}$$

$$= \lim_{k \rightarrow 0^-} \frac{\cancel{1+kx} + \frac{k^2 x^2}{2} + o(x^2) - \cancel{kx} - \cancel{1}}{k^2} = \frac{x^2}{2}$$

Si trovi una parametrizzazione dell'arco di ellisse di equazione

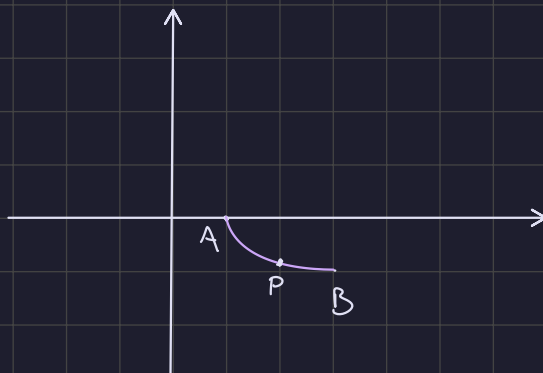
$$\frac{(x-3)^2}{4} + y^2 = 1$$

Che congiunge (nell'ordine) i punti A(1,0) e B(3,-1) e si scriva poi l'equazione della tangente alla curva in P(2,  $-\sqrt{3}/2$ )

$$\left(\frac{x-3}{2}\right)^2 + y^2 = 1 \rightarrow \begin{cases} \frac{x-3}{2} = t \\ y = s \end{cases} \rightarrow t^2 + s^2 = 1$$
$$\begin{cases} t = \rho \cos \theta \\ s = \rho \sin \theta \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \rho = 1 \\ \theta = \theta \end{cases}$$
$$(t, s) = (\cos \theta, \sin \theta) \rightarrow \left(\frac{x-3}{2}, y\right) = (\cos \theta, \sin \theta)$$
$$(x, y) = (2 \cos \theta + 3, \sin \theta)$$

$$\begin{cases} t = \cos \theta \\ s = \sin \theta \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{x-3}{2} = \cos \theta \\ y = \sin \theta \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 2 \cos \theta + 3 \\ y = \sin \theta \end{cases}$$

$$\gamma(\theta) = (2 \cos \theta + 3, \sin \theta)$$



Bisogna trovare theta tale che contemporaneamente la curva sia nel punto A

$$\begin{cases} 2 \cos \theta + 3 = 1 \\ \sin \theta = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \cos \theta = -1 \\ \sin \theta = 0 \end{cases} \rightarrow \theta = \pi$$

Bisogna trovare theta tale che contemporaneamente la curva sia nel punto B

$$\begin{cases} 2 \cos \theta + 3 = 3 \\ \sin \theta = -1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \cos \theta = 0 \\ \sin \theta = -1 \end{cases} \rightarrow \theta = \frac{3}{2}\pi$$

La parametrizzazione finale è:

$$\gamma(\theta) = (2 \cos \theta + 3, \sin \theta) \quad \theta \in \left[\pi, \frac{3}{2}\pi\right]$$

$$P\left(2, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

Bisogna trovare  $\theta$  tale che contemporaneamente la curva sia nel punto P

$$\begin{cases} 2 \cos \theta + 3 = 2 \\ \sin \theta = -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \cos \theta = -\frac{1}{2} \\ \sin \theta = -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases} \rightarrow \theta = \frac{4}{3}\pi$$

$$\gamma'(\theta) = (-2 \sin \theta, \cos \theta)$$

$$\gamma'\left(\frac{4}{3}\pi\right) = \left(-2 \sin\left(\frac{4}{3}\pi\right), \cos\left(\frac{4}{3}\pi\right)\right) = \left(\sqrt{3}, -1\right)$$

$$r_T = \gamma\left(\frac{4}{3}\pi\right) + t \gamma'\left(\frac{4}{3}\pi\right)$$

$$= \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \sqrt{3} \\ -1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2\sqrt{3} \\ -1 \end{pmatrix}$$

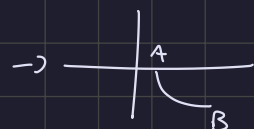
$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2\sqrt{3} \\ -1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{cases} x = 2 + 2\sqrt{3}t \\ y = -\frac{\sqrt{3}}{2} - t \end{cases} \quad \begin{cases} t = \frac{x-2}{2\sqrt{3}} \\ y = -\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{2-x}{2\sqrt{3}} \end{cases}$$

Metodo 2

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

$$y^2 = 1 - \left(\frac{x-3}{2}\right)^2$$

$$y = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{x-3}{2}\right)^2}$$



Considero il -

$$y = -\sqrt{1 - \left(\frac{x-3}{2}\right)^2}$$

$$\phi(t) = \left( t, -\sqrt{1 - \left( \frac{t-3}{2} \right)^2} \right) \quad t \in [1, 3]$$

$$P\left(2, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

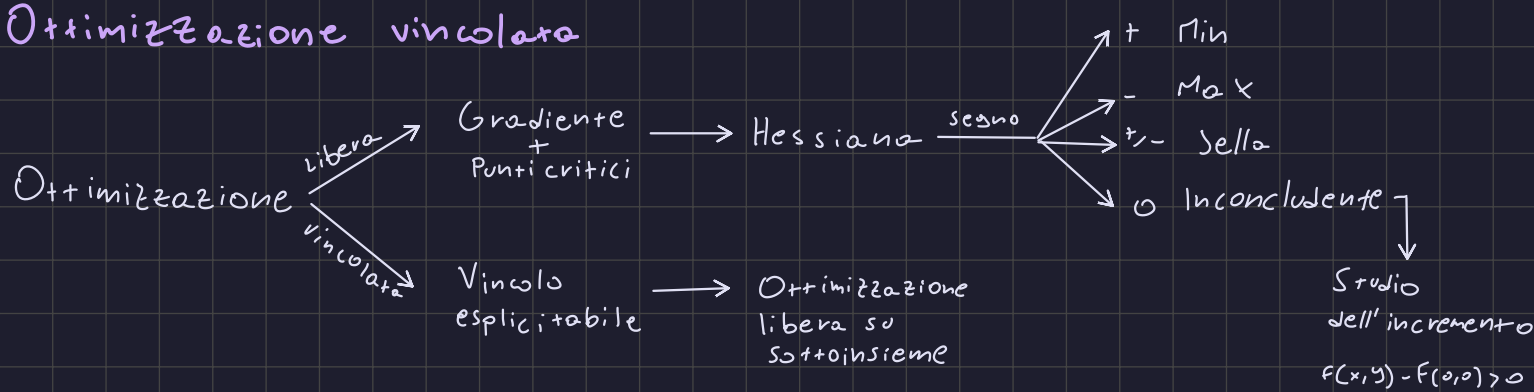
$$\begin{cases} t=2 \\ -\sqrt{1 - \left( \frac{t-3}{2} \right)^2} = -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases} \rightarrow t=2$$

$$\phi'(t) = \left( 1, -\frac{1}{2} \left( 1 - \left( \frac{t-3}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left( -2 \left( \frac{t-3}{2} \right) \cdot \frac{1}{2} \right) \right) = \left( 1, \frac{\frac{t-3}{2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{t-3}{2} \right)^2}} \right)$$

$$r_T = \phi(2) + s \phi'(2) = \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{\sqrt{1 - \frac{1}{4}}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} \end{pmatrix}$$

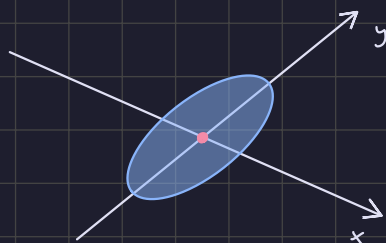
$$= \begin{pmatrix} 2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 2\sqrt{3} \\ -1 \end{pmatrix}$$

# Ottimizzazione vincolata



2) Trovare il valore massimo e il valore minimo di  $f(x,y) = x^3 + y^2$  su  $E = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 : 4x^2 + y^2 \leq 1\}$

Esplícitabile



Facciamo ottimizzazione libera in tutto  $\mathbb{R}$  e poi verifico se i punti sono nell'insieme  $E$

$$\nabla f(x,y) = \begin{pmatrix} 3x^2 \\ 2y \end{pmatrix}$$

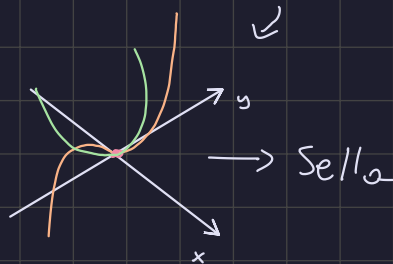
Punto critico  $\nabla f(x,y) = 0 \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

$$H_f(0,0) = \begin{pmatrix} 6x & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$$

$$H_f(0,0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$$

Inconcludente

$x=0$   
 $y=0$



## Metodo 1 Lagrange

$$\mathcal{L}(x,y,\lambda) = x^3 + y^2 - \lambda(4x^2 + y^2 - 1)$$

$$\nabla \mathcal{L}(x,y,\lambda) = \begin{pmatrix} 3x^2 - 8\lambda x \\ 2y - 2\lambda y \\ -(4x^2 + y^2 - 1) \end{pmatrix}$$

$$\nabla \mathcal{L}(x,y,\lambda) = 0$$

↓

$$\begin{pmatrix} 3x^2 - 8\lambda x \\ 2y - 2\lambda y \\ -(4x^2 + y^2 - 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{cases} 3x^2 - 8\lambda x = 0 \\ 2y - 2\lambda y = 0 \\ -(4x^2 + y^2 - 1) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3x^2 - 8\lambda x = 0 \\ 2y(1-\lambda) = 0 \rightarrow y=0 \vee \lambda=1 \\ -(4x^2 + y^2 - 1) = 0 \end{cases}$$

$$\lambda=1$$

$$\begin{cases} x(3x-8) = 0 \\ \lambda=1 \\ -(4x^2 + y^2 - 1) = 0 \end{cases}$$

$$x=0 \vee x=\frac{8}{3}$$

> Non accet.

$$y=\pm 1$$

$$A(0,1,1)$$

$$B(0,-1,1)$$

$$y=0$$

$$\begin{cases} \frac{3}{4} - 4\lambda = 0 \\ y=0 \\ 4x^2 = 1 \rightarrow x=\pm \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$x=\frac{1}{2} \rightarrow \lambda=\frac{3}{16} \rightarrow C(\frac{1}{2}, 0, \frac{3}{16})$$

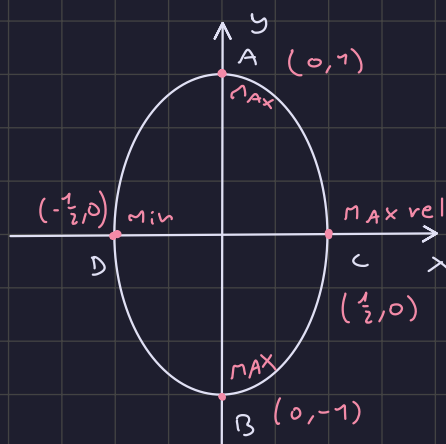
$$x=-\frac{1}{2} \rightarrow \lambda=-\frac{3}{16} \rightarrow D(-\frac{1}{2}, 0, -\frac{3}{16})$$

$$F(A)=1$$

$$F(B)=1$$

$$F(C)=\frac{1}{8}$$

$$F(D)=-\frac{1}{8}$$



## Metodo 2 Esplicitazione del vincolo

Il vincolo è di disuguaglianza, ma visto che abbiamo già fatto ottimizzazione libera e abbiamo visto che all'interno c'è una sella possiamo considerare solo il bordo e quindi diventa un'uguaglianza

$$4x^2 + y^2 = 1$$

$$(2x)^2 + y^2 = 1 \rightarrow \text{Parametrizzazione}$$

$$\begin{cases} 2x = \cos \theta \\ y = \sin \theta \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = \frac{\cos \theta}{2} \\ y = \sin \theta \end{cases}$$

$$F(x,y) = x^3 + y^2 \rightarrow F(\theta) = \frac{\cos^3 \theta}{8} + \sin^2 \theta$$

La funzione è diventata ad una sola variabile e si può ottimizzare come in analisi 1

$$F'(\theta) = 0 \rightarrow F'(\theta) = \frac{3}{8} \cos^2 \theta (-\sin \theta) + 2 \sin \theta \cos \theta$$

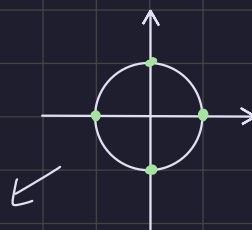




$$\sin \theta \cos \theta \left( -\frac{3}{2} \cos \theta + 2 \right) = 0$$



$$\sin \theta \cos \theta = 0 \rightarrow$$



$$\Theta = k \frac{\pi}{2} \quad k = 0, 1, 2, 3$$

$$\begin{cases} x_k = \frac{\cos(k \frac{\pi}{2})}{2} \\ y_k = \sin(k \frac{\pi}{2}) \end{cases} \rightarrow$$

$$\left( \frac{1}{2}, 0 \right) = C \quad k=0$$

$$(0, 1) = A \quad k=1$$

$$\left( -\frac{1}{2}, 0 \right) = D \quad k=2$$

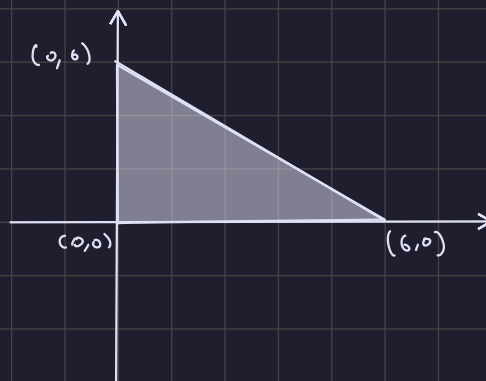
$$(0, -1) = B \quad k=3$$

3) Trovare il valore massimo e il valore minimo di  $f(x,y) = 4xy^2 - x^2y^2 - xy^3$  sulla regione triangolare chiusa nel piano xy di vertici  $(0,0)$ ,  $(0,6)$  e  $(6,0)$

$$f(x,y) = xy^2(4-x-y)$$

$$\bar{\nabla} f(x,y) = \begin{pmatrix} 4y^2 - 2xy^2 - y^3 \\ 8xy - 2x^2y - 3xy^2 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} y^2(4-2x-y) \\ xy(8-2x-3y) \end{pmatrix}$$



$$\begin{cases} y^2(4-2x-y) = 0 \\ xy(8-2x-3y) = 0 \end{cases}$$

↓

se  $y=0$  :  $x = \text{qualsunque}$

Y lo abbiamo già  
esaminato,  
quindi lo togliamo

$$\begin{cases} 4 - 2x - y = 0 \\ x(8 - 2x - 3y) = 0 \end{cases}$$

↓

se  $x = 0 : y = 4$

X lo abbiamo già  
esaminato,  
quindi lo togliamo

$$\begin{cases} 4 - 2x - y = 0 \\ 8 - 2x - 3y = 0 \end{cases} \rightarrow 4 - 2y = 0 \rightarrow x = 1, y = 2$$

I punti critici sono:

$$(x, 0) \quad x \in [0, 6]$$

$$(0, 4)$$

$$(1, 2)$$

$$H_f(x, y) = \begin{pmatrix} 2y^2 & 8y - 4xy - 3y^2 \\ 8y - 4xy - 3y^2 & 8x - 2x^2 - 6y^2 \end{pmatrix}$$

$$H_f(0, 4) = \begin{pmatrix} 32 & -16 \\ -16 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{Autovalori discordi (det = prodotto di autovalori)}$$

$$H_f(1, 2) = \begin{pmatrix} 8 & -4 \\ -4 & -6 \end{pmatrix} \rightarrow \text{Autovalori discordi (det = prodotto di autovalori)}$$

$$H_f(x, 0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 8x - 2x^2 \end{pmatrix} \quad \text{Inconcludente}$$

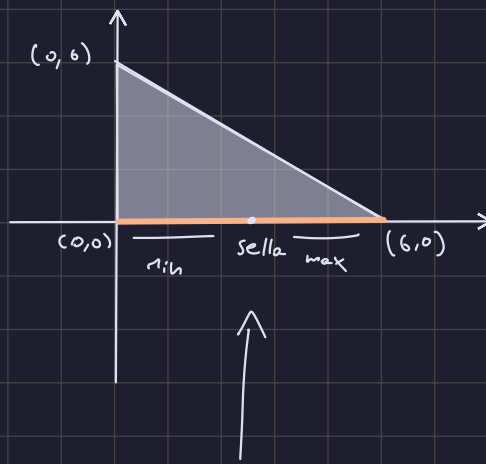


Analizziamo l'incremento

$$f(x, y) - f(x, 0) = xy^2(4 - x - y)$$

Studiamo il segno

$$(x \in [0, 6] \quad y \geq 0)$$

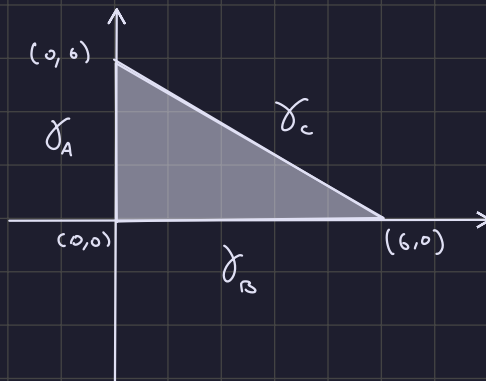


$$\underbrace{x}_{SP} \underbrace{y^2}_{SP} (4 - x - y) \geq 0$$

$$y \leq 4 - x$$

Da 0 a 4 l'incremento darà positivo  
Da 4 a 6 sarà negativo

Studiamo i punti critici lungo il bordo



$$\gamma_A(t) = (0, t) \quad t \in [0, 6]$$

$$\gamma_B(t) = (t, 0) \quad t \in [0, 6]$$

$$\gamma_C(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \end{pmatrix} t + (1-t) \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} \quad t \in [0, 1]$$

$$= ((1-t)6, 6t) \quad t \in [0, 1]$$

$$F(\gamma_A(t)) = F(0, t) = 0$$

$$F(\gamma_B(t)) = F(t, 0) = 0$$

Tutti massimi o tutti minimi

$$F(\gamma_C(t)) = F(6(1-t), 6t) = 6(1-t)36t^2(4 - 6(1-t) - 6t)$$

$$= 432(1-t)t^2(2 - 3(1-t) - 3t)$$

$$= 432(1-t)t^2(2 - 3 + 3t - 3t)$$

$$= -432(1-t)t^2$$

$$F'(\gamma_c(t)) = -864(1-t)t + 432t^2$$

$$= -864t + 864t^2 + 432t^2$$

$$= 432(-2t + 2t^2 + t^2)$$

$$= 432(-2t + 3t^2)$$

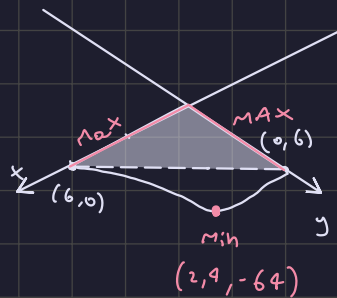
$$= 432t(3t - 2)$$

$$t=0 \quad \vee \quad t=\frac{2}{3}$$

↑  
Già  
trovato

$$\gamma_c\left(\frac{2}{3}\right) = (2, 4)$$

$$F(2,4) = 32(4-2-4) = -64$$



10) Sia  $F(x,y) = e^{\frac{x^2}{y^2+1}}$

a) Calcolare i punti critici e gli estremi locali di  $f$ , specificando se sono globali

b) Trovare massimo e minimo assoluti di  $f$  su  $E = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + y^2 \leq 2, y \geq 0\}$

a)

$$\nabla F(x,y) = \begin{pmatrix} e^{\frac{x^2}{y^2+1}} & \frac{2x}{y^2+1} \\ e^{\frac{x^2}{y^2+1}} & \frac{-2x^2y}{(y^2+1)^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} e^{\frac{x^2}{y^2+1}} \frac{2x}{y^2+1} = 0 \\ e^{\frac{x^2}{y^2+1}} \frac{-2x^2 y}{(y^2+1)^2} = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} 2x=0 \\ -2x^2 y=0 \end{cases} \rightarrow x=0 \quad y \in \mathbb{R}$$



$$x^2 + y^2 \leq 2$$

$$y \leq +\sqrt{2-x^2}$$

Consideriamo solo la parte positiva

$$\gamma_A(t) = (t, 0) \quad t \in [-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$$

$$\gamma_B(t) = (t, \sqrt{2-t^2}) \quad t \in [-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$$

$$F(\gamma_A(t)) = e^{t^2}$$

$$F(\gamma_B(t)) = e^{\frac{t^2}{2-t^2+1}} = e^{\frac{t^2}{3-t^2}}$$

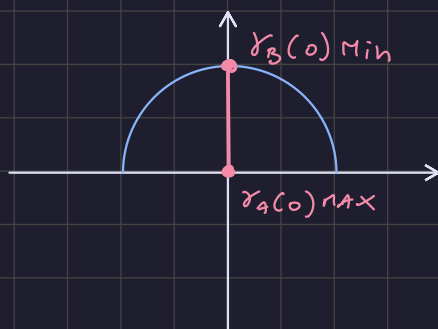
$$F'(\gamma_A(t)) = 2te^{t^2} = 0 \rightarrow t=0 \rightarrow \gamma_A(0)$$

$$F'(\gamma_B(t)) = \frac{2t(3-t^2) - t^2(-2t)}{(3-t^2)^2} e^{\frac{t^2}{3-t^2}} = 0$$



$$2t(3-t^2) - t^2(-2t) = 0$$

$$6t - 2t^3 + 2t^3 = 0 \rightarrow t=0 \rightarrow \gamma_B(0)$$



$$F(\gamma_A(0)) = f(0,0) = e^{\frac{0^2}{0^2+1}} = 1$$

$$F(\gamma_B(0)) = f(0, \sqrt{2}) = e^{\frac{0}{2+1}} = 1$$

Non abbiamo trovato i punti di massimo perchè il semicerchio forma un angolo retto con l'asse x e Lagrange non si applica più perchè non è un punto regolare, quindi troviamo una nuova parametrizzazione per il semicerchio

$$\gamma_c(\theta) = (\sqrt{2} \cos \theta, \sqrt{2} \sin \theta)$$

$$F(\gamma_c(\theta)) = e^{\frac{2 \cos^2 \theta}{2 \sin^2 \theta + 1}}$$

$$F'(\gamma_c(\theta)) = e^{\frac{2 \cos^2 \theta}{2 \sin^2 \theta + 1}} \cdot \frac{-4 \cos \theta \sin \theta (2 \sin^2 \theta + 1) - 2 \cos^2 \theta 4 \sin \theta \cos \theta}{(2 \sin^2 \theta + 1)^2} = 0$$

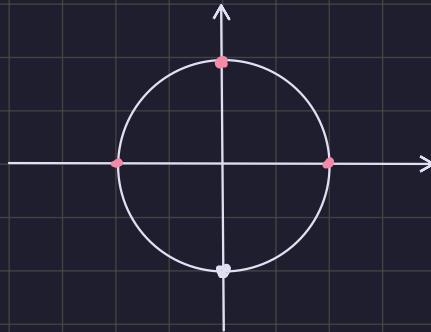


$$-4 \cos \theta \sin \theta (2 \sin^2 \theta + 1) - 2 \cos^2 \theta 4 \sin \theta \cos \theta = 0$$

$$2 \sin \theta \cos \theta (-2(2 \sin^2 \theta + 1) - 4 \cos^2 \theta) = 0$$

$$2 \sin \theta \cos \theta (-4 \sin^2 \theta - 4 \cos^2 \theta - 2) = 0$$

$$-12 \sin \theta \cos \theta = 0$$



Ora si possono trovare i punti di massimo

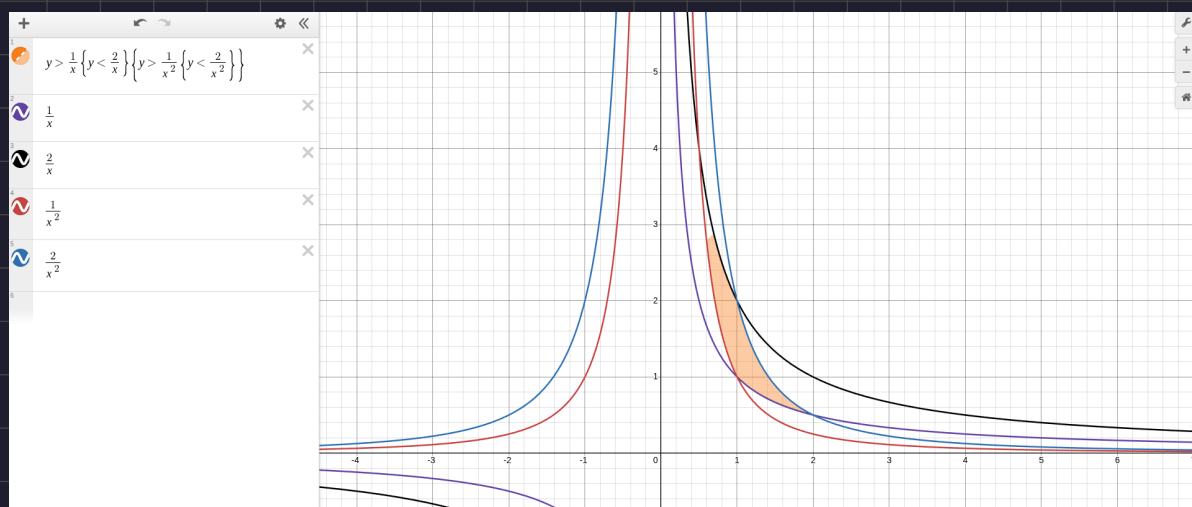
Integrali: doppi e tripli:

$$\iint_E xy \, dy \, dx$$

$$E = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 1 < xy < 2, 1 < x^2 y < 2 \right\}$$

$$\downarrow$$

$$E = \begin{cases} y > \frac{1}{x} \\ y < \frac{2}{x} \\ y > \frac{1}{x^2} \\ y < \frac{2}{x^2} \end{cases}$$



$$\begin{cases} xy = u \\ x^2 y = v \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = \frac{u}{v} \\ y = \frac{v}{u^2} \end{cases}$$

$$J_T(u, v) = \begin{pmatrix} -\frac{v}{u^2} & \frac{1}{u} \\ \frac{2v}{u} & -\frac{v^2}{u^2} \end{pmatrix}$$

$$|\det J_T| = \left| \frac{v}{u^2} \cdot \frac{v^2}{u^2} - \frac{2v}{u} \cdot \frac{1}{u} \right| = \left| \frac{1}{v} - \frac{2}{v} \right| = \left| -\frac{1}{v} \right| = \frac{1}{v}$$

$$\iint_E xy \, dy \, dx = \int_1^2 \int_1^{\frac{2}{u}} \frac{v}{u^2} \, dv \, du = \int_1^2 \frac{1}{v} \, dv \cdot \int_1^2 v \, dv =$$

$$= \left[ \ln |v| \right]_1^2 \cdot \left[ \frac{v^2}{2} \right]_1^2 = \left( 2 - \frac{1}{2} \right) (\ln 2 - 0) = \frac{3}{2} \ln 2$$

Calcolare il volume della regione:

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

$$\iiint_V 1 \, dx \, dy \, dz = \iint_C \int_0^{3\sqrt{x^2+y^2}} 1 \, dz \, dx \, dy$$

$\downarrow$   
cerchio

$$C = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 \leq 1 \right\}$$

Coordinate polari

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta & \theta \in [0, 2\pi] \\ y = \rho \sin \theta & \rho \in [0, 1] \end{cases}$$

$$= \iint_C 3\sqrt{x^2 + y^2} \, dx \, dy$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^1 3\rho^2 \, d\rho \, d\theta$$

$$= \int_0^{2\pi} d\theta \cdot \int_0^1 3\rho^2 \, d\rho$$

$$= 2\pi \cdot 1$$

Coordinate cilindriche

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ y = \rho \sin \theta \\ z = t \end{cases} \rightarrow J_T(\rho, \theta, t) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\rho \sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \rho \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$|\det J_T| = \rho$$

$\downarrow$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^1 \int_0^{3\rho} \rho \, dt \, d\rho \, d\theta = 2\pi \left[ \rho^3 \right]_0^3 = 2\pi$$



✎ **Esercizio 6.1.4.** Si calcoli l'integrale doppio

$$\int \int_D (x^2 + 1) dx dy,$$

ove  $D$  è la parte dell'ellisse  $\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + 4y^2 \leq 1\}$  contenuta nel primo quadrante.

$$\iint_D x^2 + 1 dx dy$$

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

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ 2y = \rho \sin \theta \end{cases} \quad \begin{cases} x = \rho \cos \theta & \theta \in [0, 2\pi] \\ y = \frac{\rho}{2} \sin \theta & \rho \in [0, 1] \end{cases}$$

$$J_r(\rho, \theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\rho \sin \theta \\ \frac{\sin \theta}{2} & \frac{\rho}{2} \cos \theta \end{pmatrix}$$

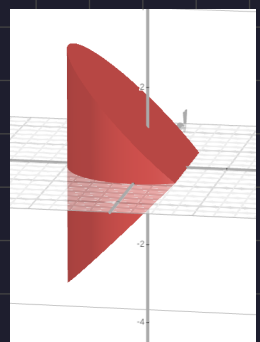
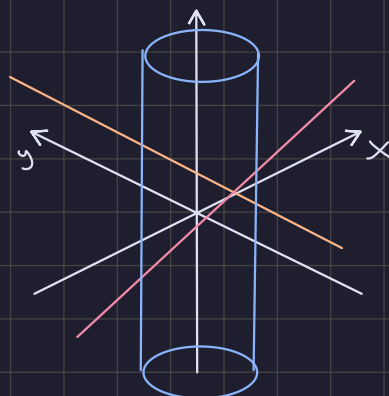
$$|\det J_r| = \cos \theta \cdot \frac{\rho}{2} \cos \theta + \rho \sin \theta \cdot \frac{\sin \theta}{2} = \frac{\rho}{2} \cos^2 \theta + \frac{\rho}{2} \sin^2 \theta = \frac{\rho}{2}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^1 (\rho^2 \cos^2 \theta) \frac{\rho}{2} d\rho d\theta =$$

$$= \int_0^1 \frac{1}{2} \rho^3 d\rho \cdot \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta d\theta + \int_0^1 \frac{\rho}{2} d\rho \cdot \int_0^{2\pi} d\theta$$

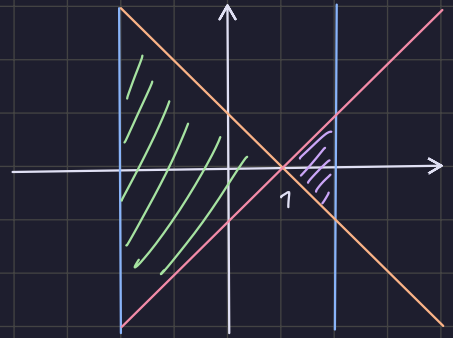
✎ **Esercizio 6.3.1.** Calcolate il volume della regione interna al cilindro di equazione  $x^2 + y^2 \leq 4$  e compresa tra i piani  $z = x - 1$  e  $z = 1 - x$ .

$$\begin{cases} x^2 + y^2 \leq 4 \\ x - 1 \leq z \leq 1 - x \end{cases}$$



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

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



$$\iint_A \int_{x-1}^{1-x} dz dx dy + \iint_B \int_{1-x}^{x-1} dz dx dy$$

$$2 \iint_A (1-x) dx dy + 2 \iint_B (x-1) dx dy \quad (\text{A caso})$$

▮ **Esercizio 6.3.3.** Assegnati il paraboloide di equazione  $z = x^2 + y^2$  ed il piano di equazione  $z = 4x - 12y$  si calcoli il volume racchiuso dalle due superfici.

$$\text{Insieme } z \text{ semplice} \rightarrow z \in [x^2 + y^2, 4x - 12y]$$

$$\iint_A \int_{x^2+y^2}^{4x-12y} 1 dz dx dy = \iint_A 4x - 12y - x^2 - y^2 dx dy$$

$$\downarrow$$

$$-((x-2)^2 + (y+6)^2) = -\begin{pmatrix} x^2 - 4x + 4 \\ y^2 + 12y + 36 \end{pmatrix} = 4x - 12y - x^2 - y^2 - 40$$

$$\downarrow$$

$$\iint_A 4x - 12y - x^2 - y^2 \overset{=0}{- 40 + 40} dx dy = \iint_A \underbrace{-(x-2)^2 - (y+6)^2 + 40}_{\text{Circonferenza di raggio } \sqrt{40}} dx dy$$

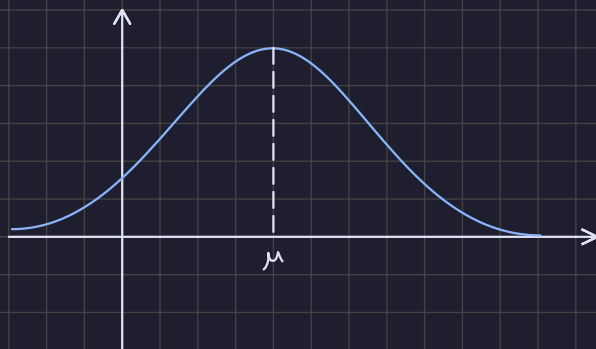
Coordinate polari

$$\begin{cases} x-2 = \rho \cos \theta & \rho \in [0, \sqrt{40}] \\ y+6 = \rho \sin \theta & \theta \in [0, 2\pi] \end{cases}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\sqrt{40}} (-\rho^2 \cos^2 \theta + \rho^2 \sin^2 \theta + 40) \rho d\rho d\theta$$



$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (\text{Campagna di Gauss})$$



$$g(x) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

Si vuole capire quanto vale

$$C = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) dx$$

↓

$$F(x) = \frac{1}{C} g(x) dx$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} F(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{C} g(x) dx = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) dx = \frac{1}{C} \cdot C = 1$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} dx = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\left( \frac{x-\mu}{\sqrt{2} \sigma} \right)^2} dx$$

↓

$$t = \frac{x-\mu}{\sqrt{2} \sigma}$$

$$\sqrt{2} \sigma t + \mu = x$$

$$\sqrt{2} \sigma dt = dx$$

↓

$$\sqrt{2} \sigma \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt = C$$

↓

$$0 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt = \left( \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-s^2} ds \right)^{\frac{1}{2}} \quad (t=s)$$

↓

$$\left[ \iint_{\Omega} F(x) g(y) dy dx \leftrightarrow \int_a^b F(x) dx \cdot \int_c^d g(y) dy \right]$$

↓

$$= \left( \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} \cdot e^{-s^2} dt ds \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-(t^2+s^2)} dt ds \right)^{\frac{1}{2}}$$

Trasformo in coordinate polari

$$\begin{cases} t = \rho \cos \theta \\ s = \rho \sin \theta \end{cases}$$

$$= \left( \int_0^{2\pi} \int_0^{+\infty} e^{-\rho^2} \rho d\rho d\theta \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( \int_0^{2\pi} 1 d\theta \cdot \int_0^{+\infty} e^{-\rho^2} \rho d\rho \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( 2\pi \left[ \frac{-e^{-\rho^2}}{2} \right]_0^{+\infty} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left( 2\pi \cdot \left( \lim_{\rho \rightarrow +\infty} \frac{-e^{-\rho^2}}{2} + \frac{e^{-0^2}}{2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \sqrt{\pi}$$



$$C = \sqrt{2} \sigma \sqrt{\pi}$$

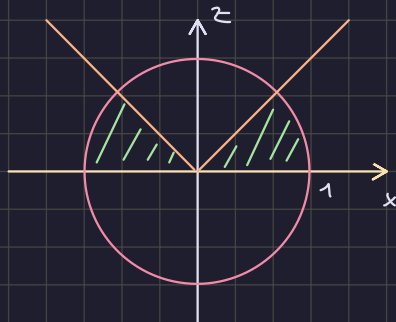
$$= \sigma \sqrt{2\pi}$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

Questo è il metodo per calcolare la normalizzazione della funzione campana e serve per far sì che l'integrale della campana sia sempre 1.

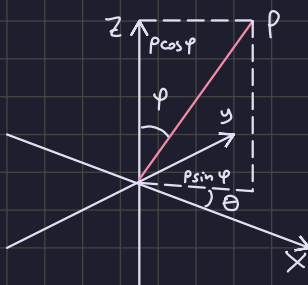
$$\iiint_S \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \, dx \, dy \, dz$$

$$S = \left\{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid \underbrace{x^2 + y^2 + z^2 \leq 1}_{\substack{\text{Sfera piena} \\ r=1 \\ c=\text{origine}}} \wedge \underbrace{z^2 - x^2 - y^2 \leq 0}_{\substack{\text{Cerchio di} \\ \text{raggio } z \\ \text{(cono)}}} \wedge \underbrace{z \geq 0}_{\substack{\text{Solo} \\ \text{emisfero} \\ \text{nord}}} \right\}$$



Vogliamo esprimerlo in coordinate sferiche

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \sin \varphi \\ y = \rho \sin \theta \cos \varphi \\ z = \rho \cos \varphi \end{cases} \quad \text{Proiezione sul piano } (x, y)$$



Bisogna trovare la jacobiana

$$J(\rho, \theta, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos \theta \sin \varphi & -\rho \sin \theta \sin \varphi & \rho \cos \theta \cos \varphi \\ \sin \theta \sin \varphi & \rho \cos \theta \sin \varphi & \rho \sin \theta \cos \varphi \\ \cos \varphi & 0 & -\rho \sin \varphi \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} |\det J| &= \left| (-1)^{3+1} \cos \varphi \cdot \det \begin{pmatrix} -\rho \sin \theta \sin \varphi & \rho \cos \theta \cos \varphi \\ \rho \cos \theta \sin \varphi & \rho \sin \theta \cos \varphi \end{pmatrix} \right. \\ &\quad \left. + 0 + (-1)^{3+3} (-\rho \sin \varphi) \cdot \det \begin{pmatrix} \cos \theta \sin \varphi & -\rho \sin \theta \sin \varphi \\ \sin \theta \sin \varphi & \rho \cos \theta \sin \varphi \end{pmatrix} \right| \end{aligned}$$

$$\left[ \det(c \cdot A) = c^n \cdot \det(A) \right]$$

$$= \left| \cos \varphi \cdot \rho^2 \cdot \det \begin{pmatrix} -\sin \theta \sin \varphi & \cos \theta \cos \varphi \\ \cos \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi \end{pmatrix} - \rho \sin^3 \varphi \cdot \det \begin{pmatrix} \cos \theta & -\rho \sin \theta \\ \sin \theta & \rho \cos \theta \end{pmatrix} \right|$$

$$= \left| \rho^2 \cos \varphi \left( -\sin^2 \Theta \underbrace{\sin \varphi \cos \varphi}_{=1} - \cos^2 \Theta \underbrace{\sin \varphi \cos \varphi}_{=1} \right) - \rho^2 \sin^3 \varphi \right|$$

$$= \left| -\rho^2 \cos^2 \varphi \sin \varphi - \rho^2 \sin^3 \varphi \right|$$

$$= \left| -\rho^2 \sin \varphi \left( \overbrace{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}^{=1} \right) \right|$$

$$= \left| -\rho^2 \sin \varphi \right| = \rho^2 \sin \varphi$$

$$\iiint_S \underbrace{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}_{\rho} dx dy dz = \iiint \rho \cdot \rho^2 \sin \varphi d\rho d\Theta d\varphi \quad \begin{array}{l} \rho \in [0, 1] \\ \Theta \in [0, 2\pi] \\ \varphi \in [\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}] \end{array}$$

$$= \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \rho \cdot \rho^2 \sin \varphi d\rho d\Theta d\varphi$$

$$= \int_0^{2\pi} 1 d\Theta \cdot \int_0^1 \rho^3 d\rho \cdot \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi d\varphi$$

$$= 2\pi \cdot \frac{1}{4} \left[ -\cos \varphi \right]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} = \sqrt{2} \frac{\pi}{4}$$

Esame burocratico 19 Giugno 2024

$$\iiint_{\Omega} x \, dx \, dy \, dz$$

$$\Omega = \{ (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid (x, y) \in D, 0 \leq z \leq x + 4y \}$$

D è la regione definita nel piano xy limitata da  $y = -2x$  e  $y = x^2$

$$\iint_D \left( \int_0^{x+4y} x \, dz \right) dx \, dy =$$

$$= \iint_D x(x+4y) \, dx \, dy$$

$$= \int_{-2}^0 \int_{x^2}^{-2x} x(x+4y) \, dx \, dy$$

= Per caso



← Intersezione  $x^2 = -2x$   $x^2 + 2x = 0$   $x(x+2) = 0$



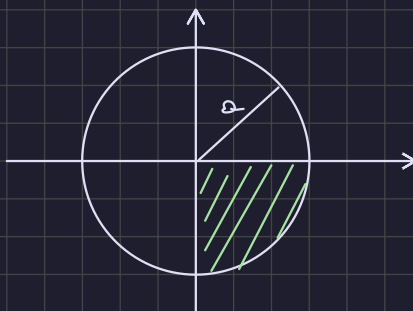
Esame Burato 19 Giugno 2029

$$\iint_D xy(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}} dx dy = -\frac{1}{14}$$

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

Trasformo in coordinate polari

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ y = \rho \sin \theta \end{cases}$$



$$\int_{\frac{3}{2}\pi}^{2\pi} \int_0^a \rho^6 \cos \theta \sin \theta d\rho d\theta =$$

$$= \int_0^a \rho^6 d\rho \cdot \int_{\frac{3}{2}\pi}^{2\pi} \cos \theta \sin \theta d\theta$$

$$= \left[ \frac{\rho^7}{7} \right]_0^a \cdot \left[ \frac{\sin^2 \theta}{2} \right]_{\frac{3}{2}\pi}^{2\pi}$$

$$= \frac{a^7}{7} \cdot -\frac{1}{2} = -\frac{a^7}{14}$$

$$-\frac{a^7}{14} = -\frac{1}{14}$$

$$\downarrow$$
$$a = 1$$

$$\int_0^1 dx \int_0^1 \frac{x+y}{1+(x-y)^2} dy = \int_0^1 \int_0^1 \frac{x+y}{1+(x-y)^2} dx dy$$

$$\int_0^1 \int_0^1 \frac{x+y}{1+(x-y)^2} dx dy \rightarrow \begin{cases} u = x+y \\ v = x-y \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} u+v &= 2x & x &= \frac{u+v}{2} \\ u-v &= 2y & y &= \frac{u-v}{2} \end{aligned}$$

$$J(u, v) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$|\det J| = -\frac{1}{2}$$

Cambio degli  
estremi di  
integrazione