Esercizi Analisi Matematica II

Anno accademico 2015-2016

Foglio 3

1. **P** Calcolare la matrice Jacobiana della funzione composta $g \circ f$ dove le funzioni g e f sono date da:

   (a) $f : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^3$ e $g : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^2$ dove
   $$f(x, y) = (2xy, x^2 + y, \sin(y)) \quad \text{e} \quad g(x, y, z) = (e^{x+y}, z^2 x)$$
   Suggerimento: considerare
   $$f(x, y) = (u(x, y), v(x, y), w(x, y)) = (2xy, x^2 + y, \sin(y))$$
   e g data da $g(u, v, w) = (e^{u+v}, w^2 u)$

   (b) $f : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^4$ e $g : \mathbb{R}^4 \to \mathbb{R}^3$ dove
   $$f(x, y) = (x + y, x - y, xy, 2) \quad \text{e}$$
   $$g(x_1, x_2, x_3, x_4) = (\cos(x_1^2 x_3), x_4^5 x_2, \sin(x_2 x_3))$$

   (c) $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^3$ e $g : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$ dove
   $$f(t) = (t^3, t^2, t) \quad \text{e} \quad g(x, y, z) = x^2 + y^4 + \cos(xyz)$$

   (d) $f : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$ e $g : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^3$ dove
   $$f(x, y, z) = x^2 + y^4 + \cos(xyz) \quad \text{e} \quad g(t) = (t^3, t^2, t)$$

2. **P** Siano $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^3$ e $g : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$ dove
   $$f(t) = (\cos(t), \sin(t), \cos^2(t)) \quad \text{e} \quad g(x, y, z) = xy + z^2.$$
   Calcolare
   $$\frac{d}{dt}(g \circ f)(t)$$

3. **P** Siano $f : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^3$ e $g : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^4$ dove $f(x, y) = (x^2 y, xy, 2y^2)$ e
   $$g(x, y, z) = (g_1(x, y, z), g_2(x, y, z), g_3(x, y, z), g_4(x, y, z)) =$$
   $$(3x^2 y, z^3 + \sin(xy), z^4, x^8 + y^9).$$
   Calcolare
   $$\frac{\partial}{\partial y}(g_2 \circ f)(x, y)$$

4. **P** Siano $f : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^3$ e $g : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^2$ dove $f(x, y, z) = (x^2, z^2 y, y^2 x)$ e
   $$g(x, y, z) = (g_1(x, y, z), g_2(x, y, z)) = (e^{xz} y, y^2).$$
   Calcolare
   $$\frac{\partial}{\partial z}(g_1 \circ f)(x, y, z)$$

5. **P**$*$ Sia dato un fluido contenuto in una regione Ω, Ω sottoinsieme aperto di $\mathbb{R}^3$. Supponiamo che il vettore velocità $v = (v_1, v_2, v_3)$ con cui si muove il fluido dipenda dalla temperatura T e dalla densità σ tramite la legge $v = F(T, \sigma)$ dove $F : (0, +\infty) \times (0, +\infty) \to \mathbb{R}^3$. Supponiamo che in un punto $x^0 \in \Omega$ la temperatura, $T(x_0)$, sia pari a 30 e la densità, $\sigma(x^0)$, sia pari a 10. Supponiamo che $v(30, 10) = (1, 0, -1)$ e che

$$\frac{\partial v}{\partial T}(30,10) = \frac{\partial F}{\partial T}(30,10) = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 3 \end{bmatrix}, \quad \frac{\partial v}{\partial \sigma}(30,10) = \frac{\partial F}{\partial \sigma}(30,10) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

e

$$\nabla T(x^0) = [5\ 4\ 1] \quad \text{e} \quad \nabla \sigma(x^0) = [1\ 4\ -1].$$

Sia $\|v\|^2 : \Omega \to \mathbb{R}$ la funzione tale che $\|v\|^2(x) = \|v(x)\|^2$ per ogni $x \in \Omega$. Calcolare $\nabla(\|v\|^2)(x^0)$.

6. **P**$*$ Sia dato un fluido contenuto in una regione Ω, Ω sottoinsieme aperto di $\mathbb{R}^3$. Supponiamo che il vettore velocità $v = (v_1, v_2, v_3)$ con cui si muove il fluido dipenda dalla temperatura T, dalla densità σ e anche esplicitamente dalla posizione tramite la legge $v = F(T, \sigma, x, y, z)$ dove $F : (0, +\infty) \times (0, +\infty) \times \Omega \to \mathbb{R}^3$. Supponiamo che in un punto $x^0 = (x_0, y_0, z_0) \in \Omega$ la temperatura, $T(x_0)$, sia pari a 30 e la densità, $\sigma(x^0)$, sia pari a 10. Supponiamo che $v(30, 10, x^0) = (1, 0, -1)$ e che

$$\frac{\partial v}{\partial T}(30,10,x^0) = \frac{\partial F}{\partial T}(30,10,x^0) = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 3 \end{bmatrix},$$

$$\frac{\partial v}{\partial \sigma}(30,10,x^0) = \frac{\partial F}{\partial \sigma}(30,10,x^0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

e

$$\left[\frac{\partial v}{\partial x}\ \frac{\partial v}{\partial y}\ \frac{\partial v}{\partial z}\right](30,10,x^0) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 0 & -1 & 5 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

e

$$\nabla T(x^0) = [5\ 4\ 1] \quad \text{e} \quad \nabla \sigma(x^0) = [1\ 4\ -1].$$

Per ogni $t \in (-r, r)$, sia $f(t) = \|v\|^2(x^0 + tw) = \|v(x^0 + tw)\|^2$ dove $w = (3, 2, 1) \in \mathbb{R}^3$. Calcolare $f'(0)$.

7. **T** Sia $f : A \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}$ dove A è un aperto connesso. Supponiamo che f sia differenziabile in ogni punto di A. Caratterizzare le funzioni f di questo tipo il cui differenziale sia costante, cioè tali che esista $L \in \mathcal{L}(\mathbb{R}^N, \mathbb{R})$ per cui

$$Df(x) = L \quad \text{per ogni } x \in A.$$

8. **T** Sia $f : A \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}^M$ una funzione differenziabile in A, A aperto. Siano x^0 e x^1 tali che $[x^0, x^1]$, il segmento di vertici x^0 e x^1, sia contenuto in A. Dimostrare che

$$\|f(x^1) - f(x^0)\| \le \left(\sup_{x \in [x^0, x^1]} \|Df(x)\| \right) \|x^1 - x^0\|$$

dove $\|Df(x)\|$ è la norma del differenziale come operatore lineare.

Suggerimento: trovare $y \in \mathbb{R}^M$ tale che

$$\langle f(x^1) - f(x^0), y \rangle = \|f(x^1) - f(x^0)\|$$

e studiare $g : A \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}$ dove $g(x) = \langle f(x), y \rangle$ per ogni $x \in A$.

9. **T** Sia $C \subset \mathbb{R}^N$, $N \geq 1$, C aperto convesso. Sia $f : C \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}^M$, $M \geq 1$, differenziabile in C. Dimostrare che f è Lipschitziana se e solo se $\|Df\| : C \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}$ è limitata. Ricordiamo che un insieme $C \subset \mathbb{R}^N$ è *convesso* se per ogni $x, y \in C$ il segmento di estremi x e y, $[x, y]$, è contenuto in C.

10. **T** Sia $f : A \subset \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}^M$ una funzione di classe C^1 in A, A aperto. Dimostrare che f è localmente Lipschitziana in A, cioè per ogni $x^0 \in A$ esistono costanti positive r e L tali che $B_r(x^0) \subset A$ e vale

$$\|f(x^1) - f(x^2)\| \leq L\|x^1 - x^2\| \quad \text{per ogni } x^1, x^2 \in B_r(x^0).$$

11. **P** Sia $f : \mathbb{R}^N \to \mathbb{R}^N$ differenziabile in R^N. Supponiamo che esista una costante $C > 0$ tale che

$$\|Df(x)\| \leq C \quad \text{per ogni } x \in \mathbb{R}^N$$

dove $\|Df(x)\|$ è la norma del differenziale come operatore lineare. Dimostrare che se $C < 1$, allora esiste $x \in \mathbb{R}^N$ tale che $f(x) = x$. Il risultato continua a valere se $A \subset \mathbb{R}^N$ aperto con $A \neq \mathbb{R}^N$ e $f : A \to A$?

12. **P** Calcolare la matrice Hessiana della funzione f in ogni punto del suo dominio dove f è data da

    (a) $f(x, y) = e^x y + xy^2$

    (b) $f(x, y) = \tan(x^2 + y^2) - \dfrac{1}{xy}$

    (c) $f(x, y, z) = xz^3 - \log(x + y^2 z^2)$

13. **P** Sia data la funzione $f(x, y, z) = \cos(xy) - e^{2zx}$. Calcolare $D^\alpha f(1, 0, -1)$ per i seguenti 3-multiindici α

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

Legenda
T esercizio teorico
P esercizio pratico
F esercizio facoltativo
$*$ esercizio difficile