

## Numeri Complessi

(1) Calcolare:

$$\begin{array}{llll}
 (a) \operatorname{Re} \frac{1+2i}{2-i} & (b) \operatorname{Im} \frac{3-2i}{4+i} & (c) \left| \frac{3-2i}{4+i} \right| & (d) \left| \frac{(3-2i)^5 (2+i)^3}{(5-i)^8} \right| \\
 (e) \operatorname{Re}(i^{9876}) & (f) \operatorname{Re} \left[ \left( \frac{23-15i}{14+4i} \right)^{\operatorname{Im}(z+\bar{z})} \right] & (g) |2e^{3i}| & (h) |2e^3| \\
 (i) \operatorname{Re}(e^{2i}) & (j) \operatorname{Re}(e^{-i\pi/4}) & (k) \operatorname{Re}(e^{-\pi/4}) & (l) |1-i\sqrt{3}| \\
 (m) |1-\sqrt{3}| & & & 
 \end{array}$$

*Risp:* (a) 0. (b)  $-11/17$ . (c)  $\sqrt{13/17}$ . (d)  $\frac{5\sqrt{5}}{208\sqrt{13}}$ . (f) 1. (g) 2. (h)  $2e^3$ . (j)  $1/\sqrt{2}$ . (k)  $e^{-\pi/4}$ . (l) 2. (m)  $\sqrt{3}-1$ .

[OP] (2) Calcolare  $\operatorname{Arg}$  e  $\arg_+$

$$\begin{array}{llll}
 (a) 3 & (b) -5 & (c) 2i & (d) -4i \\
 (e) 1+i & (f) 3-3i & (g) -1-i\sqrt{3} & (h) 2\sqrt{3}-2i \\
 (i) -3+i\sqrt{3} & (j) -3-i\sqrt{3} & (k) \sqrt{3}-i & (l) \sqrt{3}-3i \\
 (m) 2-3i & (n) -2-4i & (o) (-1+i\sqrt{3})^5 & (p) (2\sqrt{3}-2i)^5 \\
 (q) e^{i3\pi/2} & (r) e^{3\pi/2} & (s) e^{6i} & (t) i-2
 \end{array}$$

*Risp:* (a) 0, 0. (b)  $\pi, \pi$ . (d)  $-\pi/2, 3\pi/2$ . (g)  $-2\pi/3, 4\pi/3$ . (i)  $5\pi/6, 5\pi/6$ . (j)  $-5\pi/6, 7\pi/6$ . (m)  $-\arctan(3/2), 2\pi - \arctan(3/2)$ . (n)  $\arctan 2 - \pi, \arctan 2 + \pi$ . (o)  $-2\pi/3, 4\pi/3$ . (q)  $-\pi/2, 3\pi/2$ . (r) 0, 0. (s)  $6-2\pi, 6$ . (t)  $\pi - \arctan(1/2), \pi - \arctan(1/2)$ .

(3) Calcolare (trovare il valore numerico!) parte reale e parte immaginaria di

$$\begin{array}{llll}
 (a) 5e^{i\pi/3} & (b) 2ie^{i13\pi/4} & (c) 5e^{-2i\pi/3} & (d) (1+i)^{20} \\
 (e) (1+i)^5(\sqrt{3}+i)^3 & (f) (1-\sqrt{3}i)^{100} & (g) (1+2i)^5 & 
 \end{array}$$

*Risp:* (b)  $\sqrt{2}-i\sqrt{2}$ . (d)  $-2^{10}$ . (e)  $32-32i$ . (f)  $2^{99}(-1+i\sqrt{3})$ . (g)  $41-38i$ .

(4) Sia  $x \in \mathbb{R} \setminus \{\pi + 2k\pi : k \in \mathbb{Z}\}$ . Verificare che

$$(a) \operatorname{Re} \left( \frac{1}{e^{ix}+1} \right) = \frac{1}{2} \quad (b) \operatorname{Im} \left( \frac{1}{e^{ix}+1} \right) = -\frac{1}{2} \tan(x/2).$$

(5) Dimostrare per induzione che, per ogni intero  $n \geq 2$ , vale  $|z_1 + \dots + z_n| \leq |z_1| + \dots + |z_n|$ .

(6) Descrivere a parole e graficamente le regioni seguenti

$$\begin{array}{llll}
 (a) |z-i+5|=3 & (b) |3z+i| \geq 1 & (c) \operatorname{Re}(\bar{z}+2i) \leq 5 \\
 (d) \operatorname{Re}(\bar{z}) \leq \operatorname{Im}(z) & (e) |z-a|-|z+a|=2c \text{ con } a, c \text{ reali positivi, } c < a \\
 (f) |z-1|-|z+i|=0 & (g) |z-1|+|z+i|=0 & (h) \left| \frac{z}{z+1} \right| \leq 1
 \end{array}$$

(7) Dimostrare che, se  $|z|=10$ , allora

$$(a) 98 \leq |z^2+2i| \leq 102 \quad (b) \left| \frac{z^2+20i}{z^3-5iz^2+20} \right| \leq \frac{1}{4}$$

☆ (8) Siano  $a, b, c \in \mathbb{C}$ . Sotto quale condizione l'equazione

$$az + b\bar{z} + c = 0$$

ha una e una sola soluzione? Scrivere la soluzione. (Sugg: prendere il complesso coniugato dell'equazione ed eliminare  $\bar{z}$ ).

(9) Esprimere le seguenti quantità in funzione di  $\sin \vartheta$ ,  $\cos \vartheta$

$$(a) \cos(3\vartheta) \quad (b) \sin(4\vartheta) \quad (c) \cos(5\vartheta)$$

*Risp:* (c)  $\cos^5 \vartheta - 10 \cos^3 \vartheta \sin^2 \vartheta + 5 \cos \vartheta \sin^4 \vartheta$ .

(10) Trovare  $w, z \in \mathbb{C}$  tali che

$$(a) \operatorname{Arg}(wz) \neq \operatorname{Arg} w + \operatorname{Arg} z \quad (b) \operatorname{arg}_+(wz) \neq \operatorname{arg}_+ w + \operatorname{arg}_+ z$$

☆ (11) Dimostrare che (se non erro), per  $\vartheta \neq 0$ , vale la seguente identità (Sugg: il membro a sinistra si può scrivere come  $\operatorname{Re} \sum_{k=0}^n (e^{i\vartheta})^k$  ed è dunque una somma geometrica finita per la quale esiste una formula esplicita. A questo punto servono un po' di formule trigonometriche ed una certa dose di pazienza)

$$1 + \cos \vartheta + \cos 2\vartheta + \dots + \cos n\vartheta = \frac{\sin((n+1)\vartheta/2)}{\sin(\vartheta/2)} \cos(n\vartheta/2).$$

(12) Trovare e disegnare nel piano complesso (tutte) le soluzioni delle equazioni:

$$(a) z^2 = 1 \quad (b) z^3 = i \quad (c) z^5 = 1 + i \quad (d) z^4 = 1 - i\sqrt{3}$$

$$(e) 2z^7 + 3iz = 0 \quad (f) z^6 + 2z^3 + 1 = 0 \quad (g) z^2 - 2i = 4$$

*Risp:* (d)  $z = \sqrt[4]{2} \exp[-i(\pi/12 + k\pi/2)]$ ,  $k = 0, 1, 2, 3$ .

(e)  $z = 0$ ,  $z = \sqrt[6]{3/2} \exp[-i(\pi/12 + k\pi/3)]$ ,  $k = 0, 1, \dots, 5$ . (g)  $z_1 = \sqrt{2 + \sqrt{5}} + i(\sqrt{2 + \sqrt{5}})^{-1}$ ,  $z_2 = -z_1$ . Per ottenere questi valori numerici di  $z_1$  e  $z_2$  si può considerare la (g) come un sistema di 2 equazioni in 2 incognite, prendendo la parte reale e la parte immaginaria. Alternativamente, con un po' di trigonometria, si può ottenere il valore di  $\cos(\vartheta/2)$  in cui  $\vartheta = \arctan(1/2)$ .

(13) Calcolare il valore numerico di  $\cos(3 \arctan 2)$ . (Sugg: si esprima  $\cos(3\vartheta)$  in funzione di ...).

(14) Supponendo che  $z^n = 1$  calcolare il valore della seguente somma (considerare separatamente il caso  $k = 0$ ).

$$1 + z^k + z^{2k} + \dots + z^{(n-1)k} \quad k \text{ intero positivo}$$

(15) Descrivere a parole e graficamente le regioni seguenti

$$(a) |\pi/2 - \arg z| \leq \pi/4 \quad (b) 1 \leq |z + i| \leq 2 \quad (c) 0 \leq \arg z \leq \pi/2$$

$$(d) \pi/4 \leq \arg(z + i) \leq \pi/2 \quad (e) \operatorname{Re} z^2 \geq \operatorname{Im} z^2$$

*Risp:* (e) Risolvere l'uguaglianza  $\operatorname{Re} z^2 = \operatorname{Im} z^2$  in coordinate cartesiane e usare  $\tan(\pi/8) = \sqrt{2} - 1$ . Si trova  $\{\arg z \in [-3\pi/8, \pi/8] \cup [5\pi/8, 9\pi/8]\}$ .

(16) Scomporre  $z^4 + 4$  come prodotto di due polinomi quadratici a coefficienti reali. (Sugg: trovare le soluzioni (complesse) dell'equazione  $z^4 + 4 = 0$ ).

## Cammini

(17) Descrivere a parole i seguenti cammini e disegnarne la traccia sul piano complesso.

$$(a) \gamma(t) = t, \quad t \in [0, 1] \quad (b) \gamma(t) = it, \quad t \in [0, 1]$$

$$(c) \gamma(t) = 1 - it, \quad t \in [0, 1] \quad (d) \gamma(t) = t + it, \quad t \in [0, 1]$$

$$(e) \gamma(t) = t^2 - it^2, \quad t \in [0, 2] \quad (f) \gamma(t) = t + it^2, \quad t \in [0, 1]$$

$$(g) \gamma(t) = -t^2 - it, \quad t \in [0, 1] \quad (h) \gamma(t) = t + i \sin t, \quad t \in [0, \pi/2]$$

$$(i) \gamma(t) = e^t + 2ie^t, \quad t \in [0, \infty) \quad (j) \gamma(t) = e^t + 2ie^t, \quad t \in (-\infty, 0]$$

$$(k) \gamma(t) = \log t + 2i \log t, \quad t \in (0, \infty) \quad (l) \gamma(t) = \log t + 2i \log t, \quad t \in (0, 1]$$

$$(m) \gamma(t) = e^{it}, \quad t \in [0, 2\pi] \quad (n) \gamma(t) = te^i, \quad t \in [0, 2\pi]$$

$$(o) \gamma(t) = e^{i \sin t}, \quad t \in [0, \pi/2] \quad (p) \gamma(t) = te^{it}, \quad t \in [0, \infty)$$

*Risp:* (a) segmento  $[0, 1]$ . (b) segmento  $[0, i]$ . (c) segmento  $[1, 1 - i]$ . (e) segmento  $[0, 4 - 4i]$ . (f) arco di parabola  $y = x^2$  con  $x \in [0, 1]$ . (i) semiretta uscente dal punto  $(1, 2)$  e angolo  $\arctan 2$ . (k) retta passante per l'origine e angolo  $\arctan 2$ . (n) segmento di lunghezza  $2\pi$  con un estremo in 0 che forma un angolo 1 con l'asse  $x$ .