

# Esercizi di Strutture Discrete

Alberto Carraro

04/05/2006

## Classi resto

**Esercizio 1.** *Si dica*

a) quanti e quali elementi ha l'insieme  $\mathbb{Z}/\equiv_0$

b) quanti e quali elementi ha l'insieme  $\mathbb{Z}/\equiv_1$

**Soluzione**

a)  $\mathbb{Z}/\equiv_0 = \{[a]_{\equiv_0} \mid a \in \mathbb{Z}\} = \{\{z\} \mid z \in \mathbb{Z}\}$ .

$\mathbb{Z}/\equiv_0$  è equipotente a  $\mathbb{Z}$  ma non è uguale ad esso.

b)  $\mathbb{Z}/\equiv_1 = \{[a]_{\equiv_1} \mid a \in \mathbb{Z}\} = \{[0]_{\equiv_1}\} = \{\mathbb{Z}\}$ .

$\mathbb{Z}/\equiv_1$  non è uguale a  $\mathbb{Z}$  e ha cardinalità 1.

**Esercizio 2.** *Siano  $n \geq 1$  e  $k$  numeri interi fissati. Si consideri l'applicazione  $f : \mathbb{Z}/\equiv_n \rightarrow \mathbb{Z}/\equiv_n$  definita da  $f([a]) = [ka]$  per ogni  $a \in \mathbb{Z}$ . Si dimostri che*

a) *l'applicazione  $f$  è ben definita, cioè che se  $a, b \in \mathbb{Z}$  e  $[a] = [b]$ , allora  $f([a]) = [ka] = [kb] = f([b])$*

b)  *$f$  è iniettiva sse  $n$  e  $k$  sono primi tra loro*

c)  *$f$  è suriettiva sse l'equazione  $kx \equiv_n b$  ha una soluzione in  $\mathbb{Z}$  per ogni  $b \in \mathbb{Z}$*

d) *l'equazione  $kx \equiv_n b$  ha una soluzione in  $\mathbb{Z}$  per ogni  $b \in \mathbb{Z}$  sse  $n$  e  $k$  sono primi tra loro*

**Soluzione**

a) Assumiamo  $[a] = [b]$ .

$$a \equiv_n b$$

$$nq = (a - b)$$

$$n(kq) = ka - kb$$

$$ka \equiv_n kb$$

$$[ka] = [kb]$$

b) ( $\Rightarrow$ ) Assumiamo  $f$  iniettiva. Supponiamo, per assurdo, che  $MCD(n, k) \neq 1$ . Allora  $\exists q \in \mathbb{Z}. (q \mid n \wedge q \mid k \wedge q > 1)$ , da cui  $xq = n$  e  $yq = k$ . Si

noti inoltre che dovrà valere che  $n, k > 1$ . Dimostriamo che  $f$  non è iniettiva. Siano  $a, b \in \mathbb{Z}$  tali che  $[ka] = [kb]$ .

$$\begin{array}{ll} n \mid k(a-b) & \\ xq \mid yq(a-b) & \text{(con } y \text{ ed } x \text{ primi tra loro)} \\ xq \nmid y & \text{(} x \nmid y \text{ e } q \nmid y \text{ perché } q = (n, k)) \\ xq \mid q(a-b) & \\ x \mid (a-b) & \text{(con } 0 < x < n) \end{array}$$

Consideriamo allora  $[x]$  e  $[0]$ . Nonostante  $[x] \neq [0]$ , vediamo che  $f([x]) = [kx] = [0] = f([0])$  perché  $n \mid k(x-0)$  dato che  $xq \mid yqx$ .

( $\Leftarrow$ ) Assumiamo  $n$  e  $k$  primi tra loro. Siano  $[a], [b] \in \mathbb{Z}/\equiv_n$  tali che  $[ka] = [kb]$ . Allora  $n \mid k(a-b)$ . Ma  $n \nmid k$ , quindi deve essere  $n \mid (a-b)$ . Quindi  $[a] = [b]$ .

c) ( $\Rightarrow$ ) Assumiamo  $f$  suriettiva. Sia  $b \in \mathbb{Z}$ .

$$\begin{array}{ll} \exists [a] \in \mathbb{Z}/\equiv_n . (b \in [a]) & \text{(la relazione } \equiv_n \text{ partiziona } \mathbb{Z}) \\ \exists a \in \mathbb{Z}. (n \mid (b-a)) & \\ n \mid (a-b) & \\ \exists [x] \in \mathbb{Z}/\equiv_n . ([a] = [kx]) & \text{(} f \text{ suriettiva)} \\ n \mid (a-kx) & \\ n \mid (kx-a) & \\ n \mid (kx-a) + (a-b) & \\ n \mid (kx-b) & \end{array}$$

Quindi dato un qualsiasi  $b \in \mathbb{Z}$ , esiste una soluzione  $x \in \mathbb{Z}$  per l'equazione data.

( $\Leftarrow$ ) Assumiamo che l'equazione  $kx \equiv_n b$  ha una soluzione in  $\mathbb{Z}$  per ogni  $b \in \mathbb{Z}$ .

$$\begin{array}{ll} \forall b \in \mathbb{Z}. \exists x \in \mathbb{Z}. ([kx] = b) & \text{(per ipotesi)} \\ \forall [b] \in \mathbb{Z}/\equiv_n . \exists x \in \mathbb{Z}. ([kx] = b) & \\ \forall [b] \in \mathbb{Z}/\equiv_n . \exists [x] \in \mathbb{Z}/\equiv_n . (f([x]) = b) & \end{array}$$

d) ( $\Rightarrow$ ) Assumiamo che l'equazione  $kx \equiv_n b$  ha una soluzione in  $\mathbb{Z}$  per ogni  $b \in \mathbb{Z}$

$$\begin{array}{l} \forall b \in \mathbb{Z}. \exists x \in \mathbb{Z}. (n \mid kx - b) \\ \forall b \in \mathbb{Z}. \exists x \in \mathbb{Z}. (n \mid b - kx) \\ \forall b \in \mathbb{Z}. \exists x, q \in \mathbb{Z}. (nq = b - kx) \\ \forall b \in \mathbb{Z}. \exists x, q \in \mathbb{Z}. (nq + kx = b) \end{array}$$

Quindi, in particolare, l'enunciato sarà vero per  $b = 1$ . Così otteniamo che  $\exists x, q \in \mathbb{Z}. (nq + kx = 1)$ . Per il Corollario 4.5 a pag 30 del Facchini, si ha che  $MCD(n, k) = 1$ .

( $\Leftarrow$ ) Assumiamo che  $n$  e  $k$  siano primi tra loro. Per il Corollario 4.5 a pag 30 del Facchini, si ha che  $\exists \alpha, \beta \in \mathbb{Z}. (\alpha n + \beta k = 1)$ . Sia  $b \in \mathbb{Z}$ . Allora

$$\begin{array}{l} \alpha n b + \beta k b = b \\ (\alpha b) n + (\beta b) k = b \\ (\alpha b) n = b - (\beta b) k \end{array}$$

Quindi esiste  $x = (\beta b)$  tale che  $n \mid (b - kx)$ .

**Esercizio 3.** Sia  $n \geq 1$  un numero intero fissato. Si consideri l'applicazione  $f : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$  definita, per ogni  $x \in \mathbb{Z}$ , da  $f(x) =$  "resto della divisione di  $x$  per  $n$ ". Si dimostri che:

a) la relazione  $\sim_f$  associata all'applicazione  $r$  è la congruenza modulo  $n$  ( $\equiv_n$ ).

b) se  $y \in \{0, 1, \dots, n-1\}$ , allora  $f^{-1}(y) = [y]_{\equiv_n}$ .

**Soluzione** Ricordiamo che se si dividono  $x$  e  $y$  per  $n$  si ha che  $x = qn + r$ ,  $y = q'n + r'$ ,  $0 \leq r < n$  e  $0 \leq r' < n$  per opportuni  $q, r, q', r' \in \mathbb{Z}$ .

a) Dobbiamo dimostrare che per ogni  $x, y \in \mathbb{Z}$ ,  $x \sim_f y$  sse  $x \equiv_n y$ .

( $\Rightarrow$ ) Assumiamo  $x \sim_f y$ . Allora

$$\begin{aligned} f(x) &= f(y) = r \\ x - y &= (qn + r) - (q'n + r) = (q - q')n \end{aligned}$$

Quindi  $x \equiv_n y$ .

( $\Leftarrow$ ) Assumiamo  $x \equiv_n y$ . Siano  $r(x) = r$  e  $r(y) = r'$ . Allora

$$\begin{aligned} (x - y) &= (qn + r) - (q'n + r) = (q - q')n + (r - r') \\ n &| (q - q')n + (r - r') \\ n &| (q - q')n \\ n &| (r - r') \end{aligned}$$

Poiché  $0 \leq r < n$  e  $0 \leq r' < n$ , si ha  $-n < r - r' < n$ . Quindi  $r - r' = 0$ .

b) Sia  $y \in \{0, 1, \dots, n-1\}$ .

$$\begin{aligned} f^{-1}(y) &= \{x \in \mathbb{Z} \mid f(x) = y\} \\ &= \{x \in \mathbb{Z} \mid x = nq + y, q \in \mathbb{Z}\} \\ &= \{x \in \mathbb{Z} \mid x - y = nq, q \in \mathbb{Z}\} \\ &= \{x \in \mathbb{Z} \mid n \mid (x - y)\} \\ &= \{x \in \mathbb{Z} \mid x \equiv_n y\} \\ &= [y]_{\equiv_n} \end{aligned}$$