

Esercizi vari di Logica

(tratti da esami degli anni precedenti)

Anno accademico 2022-23

1 Insiemi, relazioni, funzioni e cardinalità

Esercizio 1

Disegnare il diagramma di Hasse dei seguenti reticoli (dove l'ordine è dato dalla relazione di divisibilità):

- reticolo dei divisori di 20;
- reticolo dei divisori di 105.

Esercizio 2

Giustificando la propria risposta, dire per ciascuna delle seguenti funzioni se è iniettiva, suriettiva, biiettiva o nessuna delle tre.

- $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \quad x \mapsto 3x + 4.$
- $g: \mathbb{Q} \rightarrow \mathbb{R}, \quad x \mapsto 3x + 4.$
- $h: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \quad x \mapsto 2 \cdot |x|$
- $k: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_{\leq 0}, \quad x \mapsto -2 \cdot |x|$

dove $|x|$ indica il valore assoluto di x e $\mathbb{R}_{\leq 0} = \{r \in \mathbb{R} \mid r \leq 0\}$.

Esercizio 3

Sia

$$\text{Fin} = \{A \subseteq \mathbb{N} \mid A \text{ è finito}\}$$

e si ricordi che $\mathbb{N}^{<\mathbb{N}}$ è l'insieme di tutte le sequenze finite di numeri naturali. Dimostrare che

$$|\text{Fin}| = |\mathbb{N}^{<\mathbb{N}}|.$$

Esercizio 4

Si consideri l'insieme

$$D = \{w \in \{a, b\}^{<\mathbb{N}} \mid a \text{ e } b \text{ compaiono in } w \text{ lo stesso numero di volte}\}.$$

Dimostrare che D è numerabile.

Esercizio 5

Dimostrare che l'insieme

$$D = \{s \in \{0, 1\}^{\mathbb{N}} \mid \forall k \in \mathbb{N} (s(2k) = s(2k+1))\}$$

è in biezione con $\{0, 1\}^{\mathbb{N}}$. È vero che D è numerabile?

Esercizio 6

Dimostrare $D = \{\frac{k}{2^n} \mid k \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{N}\}$ è in biezione con \mathbb{N} .

Esercizio 7

Sia $L = \{f, a\}$ un linguaggio del prim'ordine costituito dal simbolo di funzione unario f e dal simbolo di costante a . Sia Term l'insieme di tutti i termini nel linguaggio L . Dimostrare che l'insieme

$$A = \{t \in \text{Term} \mid t \text{ non contiene variabili}\}$$

è un insieme numerabile, ovvero $|A| = |\mathbb{N}|$.

Suggerimento: Osservare che $a \in A$ e che se $t \in A$ allora $f(t) \in A$.

Esercizio 8

Dimostrare che

$$|A| = |B|$$

dove

$$A = \{n \in \mathbb{N} \mid n \text{ è un quadrato perfetto}\}$$

e

$$B = \left\{ \frac{1}{p+1} \mid p \in \mathbb{N} \right\}.$$

2 Principio di induzione

Esercizio 1

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ vale la relazione

$$\sum_{i=0}^n (2i+3) = n^2 + 4n + 3.$$

Esercizio 2

Definiamo la successione dei c_n per ricorsione su $n \in \mathbb{N}$ come segue:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2 \\ c_{n+1} &= \frac{1}{c_n}. \end{aligned}$$

Dimostrare che per ogni $n \geq 0$

$$1/2 \leq c_n \leq 2.$$

Esercizio 3

Sia a_n , $n \in \mathbb{N}$, la successione definita per ricorsione da

$$\begin{aligned} a_0 &= 1 \\ a_{n+1} &= 1 - \frac{1}{2} \cdot a_n \end{aligned}$$

Dimostrare che per ogni $n > 0$

$$0 < a_n < 1.$$

Suggerimento: Per il passo induttivo, osservare innanzitutto che se $0 < r < 1$ allora anche $0 < \frac{1}{2} \cdot r < 1$ e $0 < 1 - r < 1$.

Esercizio 4

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$

$$\sum_{k=0}^n (3k+1) = \frac{3n^2 + 5n + 2}{2}.$$

Esercizio 5

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ si ha

$$\sum_{i=0}^n 3^i = \frac{3^{n+1} - 1}{2}.$$

Esercizio 6

Dimostrare che per ogni $n \geq 1$

$$\sum_{i=1}^n i(i+1) = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}.$$

Esercizio 7

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$

$$\sum_{i=0}^n 2^i = 2^{n+1} - 1.$$

Esercizio 8

Dimostrare che per ogni $m \in \mathbb{N}$ e per ogni $n \in \mathbb{N}$

$$\sum_{i=1}^n m = m \cdot n$$

ricordando che per convenzione $\sum_{i=1}^0 m = 0$.

Esercizio 9

Dato un linguaggio del prim'ordine L con un simbolo funzionale binario f ed un simbolo di costante a , dimostrare per induzione che per ogni $n > 0$ esiste un L -termine che contiene $2n$ occorrenze del simbolo a .

Esercizio 10

Dimostrare per induzione che per ogni $n \geq 1$

$$\sum_{i=1}^n (2i)^3 = 2n^2(n+1)^2.$$

Esercizio 11

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ esistono esattamente 2^n stringhe di lunghezza n sull'alfabeto $A = \{0, 1\}$.

Esercizio 12

Dimostrare per induzione che se n è dispari e a_1, \dots, a_n sono dispari, allora $\sum_{i=1}^n a_i$ è dispari.

Esercizio 13

Dimostrare per induzione che $\sum_{k=1}^n (4k+1) = n(2n+3)$.

Esercizio 14

Dimostrare per induzione che se $n \geq 1$ allora

$$\sum_{k=1}^n k \cdot 2^{k-1} = (n-1) \cdot 2^n + 1$$

Esercizio 15

Dimostrare per induzione che se $n \geq 1$ allora

$$\prod_{i=1}^n (4i-2) = \frac{(2n)!}{n!},$$

dove $\prod_{i=1}^n (4i-2) = 2 \cdot 6 \cdot 10 \cdots (4n-2)$.

Esercizio 16

Data la definizione ricorsiva

$$\begin{aligned}f(0) &= 0 \\ f(n+1) &= 1 - f(n)\end{aligned}$$

dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$

$$f(n) \in \{0, 1\}.$$

Esercizio 17

Dato un alfabeto A , dimostrare per induzione che per ogni coppia di stringhe $s, t \in A^*$, la lunghezza della concatenazione di s con t è la somma delle lunghezze di s e di t , in simboli:

$$\text{lh}(st) = \text{lh}(s) + \text{lh}(t)$$

Esercizio 18

Dimostrare per induzione che

$$\sum_{k=0}^n \frac{k(k+1)}{2} = \frac{1}{6}n(n+1)(n+2)$$

Esercizio 19

Dimostrare per induzione che esistono $n!$ permutazioni di un insieme con n elementi, dove $n! = \prod_{i=1}^n i$.

Suggerimento. Si osservi che una permutazione di un insieme di $n+1$ elementi è determinata dalla scelta di un elemento dell'insieme con una permutazione dei restanti n elementi.

Esercizio 20

Si dimostri per induzione strutturale che il numero di parentesi in una formula è sempre pari.

Esercizio 21

Dimostrare per induzione su n che la funzione f definita ricorsivamente dalle clausole

$$\begin{aligned}f(0) &= 0 \\ f(n+1) &= 1 - f(n)\end{aligned}$$

soddisfa le condizioni seguenti, per ogni numero naturale n :

$$\begin{array}{ll}f(n) = 0 & \text{se } n \text{ è pari} \\ f(n) = 1 & \text{se } n \text{ è dispari}\end{array}$$

Esercizio 22

Sia $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z}$ definita per ricorsione dalle clausole

$$\begin{aligned}f(0) &= 0 \\ f(n+1) &= f(n) + 2n - 1.\end{aligned}$$

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ si ha

$$f(n) = n^2 - 2n.$$

Esercizio 23

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ si ha

$$\sum_{i=0}^n (2i - 3) = n^2 - 2n - 3.$$

Esercizio 24

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ si ha

$$\sum_{i=0}^n (4i + 4) = (n + 1)(2n + 4).$$

Esercizio 25

Sia a_n , $n \in \mathbb{N}$, la successione definita per ricorsione da

$$\begin{cases} a_0 = 4 \\ a_{n+1} = a_n + 4n + 8. \end{cases}$$

Dimostrare che per ogni $n \in \mathbb{N}$ si ha

$$a_n = (n + 1)(2n + 4).$$

Esercizio 26

Siano a e b due numeri naturali. Dimostrare che per ogni $n \geq 1$ vale la disuguaglianza

$$(a + b)^n \geq a^n + b^n.$$

3 Logica proposizionale

Esercizio 1

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$P : \quad \neg A \rightarrow \neg B$$

$$Q : \quad \neg B \rightarrow \neg A$$

$$R : \quad \neg A \wedge \neg B$$

Determinare se:

1. $P, Q \models R$;
2. $Q, R \models P$;
3. $P \wedge R \equiv Q$.

Esercizio 2

Sia P la proposizione

$$A \wedge (B \rightarrow A).$$

Giustificando le proprie risposte, dire quale delle seguenti proposizioni sono conseguenza logica di P :

1. $A \leftrightarrow \neg A$
2. $(A \rightarrow B) \vee (B \rightarrow A)$
3. $\neg B \rightarrow A$

Esercizio 3

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$P_0 : \quad A \wedge \neg B$$

$$P_1 : \quad B \vee \neg C$$

$$P_2 : \quad A \leftrightarrow (\neg B \wedge \neg C)$$

Determinare se:

1. $P_0, P_1 \models P_2$;
2. $P_2, P_1 \models P_0$;
3. $P_0, P_2 \models P_1$.

Esercizio 4

Sia P la proposizione $\neg(A \rightarrow B) \vee \neg B$. Giustificando la propria risposta, determinare quali delle seguenti sono conseguenza logica di P :

1. $\neg B$
2. $A \vee B$
3. $A \wedge \neg B$
4. $A \rightarrow B$

Esercizio 5

Sia P la proposizione $\neg(A \rightarrow B) \vee \neg B$. Giustificando la propria risposta, determinare quali delle seguenti sono conseguenza logica di P :

1. $\neg B$
2. $A \vee B$
3. $A \wedge \neg B$
4. $A \rightarrow B$

Esercizio 6

Sia P la proposizione $\neg(A \rightarrow B) \vee B$. Giustificando la propria risposta, determinare quali delle seguenti sono conseguenza logica di P :

1. $\neg A$
2. $A \wedge B$
3. $A \vee B$
4. $A \rightarrow B$

Esercizio 7

Sia P la proposizione $\neg(B \rightarrow A) \vee (B \vee A)$. Giustificando la propria risposta, verificare quali delle seguenti proposizioni sono logicamente equivalenti a P , quali sono conseguenza logica di P , quali non sono né l'una né l'altra:

1. $B \rightarrow A$
2. $\neg B \rightarrow A$
3. B
4. $\neg(\neg A \wedge \neg B)$

Esercizio 8

Giustificando la propria risposta, determinare se è vero che

$$\neg B \vee A, \neg(C \wedge A) \models C \rightarrow \neg B.$$

Esercizio 9

1. Dimostrare mediante tavole di verità che vale la seguente relazione:

$$\neg A \vee \neg B, B \wedge \neg C \models \neg A \rightarrow \neg C$$

2. Dimostrare mediante tavole di verità:

$$A \rightarrow B, C \rightarrow B, \neg B \not\models A \vee C$$

Esercizio 10

1. Indicare, se esiste, una valutazione delle lettere proposizionali A, B, C che dimostri che $(A \rightarrow B) \wedge (\neg A \rightarrow C)$ non è conseguenza logica di $(A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge \neg C)$, motivando la scelta.

2. Si consideri la proposizione “Solo gli studenti che prendono almeno 18 allo scritto possono essere ammessi all’orale”: quale dei seguenti casi esclude?
- (1) Alice ha preso 18 allo scritto ma non è ammessa all’orale;
 - (2) Bice ha preso 18 allo scritto ed è ammessa all’orale;
 - (3) Carlo ha preso 17 allo scritto ed è ammesso all’orale;
 - (4) Davide ha preso 17 allo scritto e non è ammesso all’orale.

Esercizio 11

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$P : \quad A \rightarrow B$$

$$Q : \quad B \rightarrow A$$

$$R : \quad A \vee B$$

Determinare se:

1. $P, Q \models R$;
2. $Q, R \models P$;
3. $P, R \models Q$.

Esercizio 12

Data la formula proposizionale

$$(A \wedge \neg B \wedge C) \vee (\neg A \rightarrow \neg C)$$

indicare quali delle seguenti formule ne sono conseguenze logiche:

1. A
2. B
3. $A \vee B \vee C$
4. $\neg A \vee (\neg A \rightarrow \neg C)$

Esercizio 13

Data la seguente formula proposizionale P

$$(A \wedge \neg B \wedge \neg C) \vee (A \wedge B \wedge \neg C),$$

quali delle seguenti formule **non** sono conseguenze logiche di P ?

1. $(C \rightarrow B) \rightarrow \neg A$
2. $A \vee C$
3. $\neg C$
4. $(A \wedge B) \rightarrow C$

Esercizio 14

Indicare per ciascuna delle seguenti righe se vale la relazione di conseguenza logica indicata, motivando la risposta con la corrispondente tavola di verità:

1. $\neg A \vee \neg B \models \neg A \rightarrow \neg B$
2. $A \rightarrow B \models A \vee B$
3. $\neg B \rightarrow \neg A \models \neg A \vee B$
4. $\neg A \wedge \neg B \models \neg A \rightarrow \neg B$

Esercizio 15

Verificare se la seguente affermazione è valida o meno:

$$P \vee Q, (R \wedge P) \rightarrow Q, \neg R \not\models P$$

Esercizio 16

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$\begin{aligned} P_0 : & \quad B \wedge \neg A \\ P_1 : & \quad C \vee \neg B \\ P_2 : & \quad C \leftrightarrow (\neg A \wedge B) \end{aligned}$$

Determinare se:

1. $P_0 \models P_2 \vee P_1$;
2. $P_1 \models P_0 \wedge P_2$;
3. $P_0, P_1 \models P_2$.

Esercizio 17

Usare il calcolo proposizionale per risolvere il seguente problema:

Alessandro, Beatrice e Carlo vanno al ristorante. Se Alessandro ordina una pizza altrettanto fa Beatrice; Beatrice o Carlo, ma non entrambi, ordinano una pizza; Alessandro o Carlo, o entrambi, ordinano una pizza. Se Carlo ordina una pizza, altrettanto fa Alessandro. Chi ordina una pizza?

Esercizio 18

Siano date le formule

$$\begin{aligned} P : & \quad A \vee B \vee C \\ Q : & \quad \neg A \rightarrow B \\ R : & \quad \neg C \rightarrow A \end{aligned}$$

Giustificando le proprie risposte, verificare se:

1. $Q \models P$
2. $R \models P$
3. $R \vee Q \equiv P$

Esercizio 19

Siano date le formule

$$P : (A \wedge \neg B) \rightarrow \neg C$$

$$Q : \neg B \rightarrow A$$

$$R : \neg B \rightarrow \neg C$$

Giustificando le proprie risposte, verificare se:

1. $P, Q \models R$
2. $R, P \models Q$
3. $P \wedge Q \equiv R$

Esercizio 20

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$Q_0 : \neg A \rightarrow C$$

$$Q_1 : \neg A \rightarrow \neg B$$

$$Q_2 : (B \vee \neg C) \rightarrow A$$

Determinare se:

1. $Q_0, Q_1 \models Q_2$;
2. $Q_2 \models Q_0 \wedge Q_1$;
3. $Q_0 \vee Q_1 \equiv Q_2$.

Esercizio 21

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$S_0 : \neg C \leftrightarrow A$$

$$S_1 : \neg A \leftrightarrow B$$

$$S_2 : B \rightarrow (A \vee C)$$

Determinare se:

1. $S_0, S_1 \models S_2$;
2. $S_2 \models S_0 \wedge S_1$;
3. $S_2 \equiv S_1 \vee S_0$.

Esercizio 22

Consideriamo le seguenti proposizioni:

$$Q_0 : (\neg C \wedge A) \vee (C \wedge \neg A)$$

$$Q_1 : (\neg A \wedge B) \vee (A \wedge \neg B)$$

$$Q_2 : \neg B \vee A \vee C$$

Giustificando le proprie risposte, determinare se:

1. $Q_0, Q_1 \models Q_2$;
2. $Q_2 \models Q_0 \wedge Q_1$;
3. $Q_2 \equiv Q_1 \vee Q_0$.

4 Logica del prim'ordine: semantica

Esercizio 1

Sia $L = \{R, f\}$, dove R simbolo di relazione binario e f simbolo di funzione binario. Sia φ la seguente formula

$$\forall x \exists y R(f(x, y), z).$$

1. Sottolineare (nel caso in cui ve ne siano) ciascuna occorrenza libera di variabile in φ .
2. Determinare se $\mathcal{A} \models \varphi[x/2, y/5, z/0]$ dove $\mathcal{A} = \langle \mathbb{N}, \leq, + \rangle$.
3. Determinare per quali valori di $k \in \mathbb{Z}$ si ha che $\mathcal{B} \models \varphi[x/2, y/5, z/k]$ dove $\mathcal{B} = \langle \mathbb{Z}, \geq, \cdot \rangle$.

Giustificare le proprie risposte.

Suggerimento. Nel terzo punto distinguere i casi $k \leq 0$ e $k > 0$.

Esercizio 2

Sia $L = \{f\}$ un linguaggio costituito da un unico simbolo di funzione binario. Sia φ la formula

$$\forall y \forall z (f(y, z) = x \rightarrow y = x \vee z = x).$$

1. Determinare tutti gli $n \in \mathbb{N}$ tali che $\langle \mathbb{N}, \cdot \rangle \models \varphi[x/n]$.
2. Determinare tutti gli $n \in \mathbb{N}$ tali che $\langle \mathbb{N}, + \rangle \models \varphi[x/n]$.
3. Dimostrare che $\langle \mathbb{Z}, \cdot \rangle \not\models \varphi[x/3]$.

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 3

Sia $L = \{f, g, c\}$, dove f e g sono simboli di funzione binari e c è un simbolo di costante. Sia φ la formula

$$\forall x \forall y (f(g(x, x), c) = f(c, g(y, y)) \rightarrow x = y).$$

1. Dimostrare che $\langle \mathbb{N}, +, \cdot, 0 \rangle \models \varphi$.
2. Dimostrare che $\langle \mathbb{Z}, +, \cdot, 0 \rangle \not\models \varphi$.

Esercizio 4

Sia φ la formula

$$\exists x \forall y R(x, y)$$

e ψ la formula

$$\forall y \exists x R(x, y)$$

dimostrare che $\psi \not\models \varphi$.

Esercizio 5

Sia $L = \{R, f, a, c\}$ un linguaggio del prim'ordine contenente un simbolo di relazione binario R , un simbolo di funzione binario f e due simboli di costante a e c . Sia φ l'enunciato

$$\forall x (\exists y R(y, f(x, y)) \rightarrow \exists z (R(a, z) \wedge R(z, x)))$$

e sia ψ l'enunciato

$$\forall x \forall z (\neg(z = x) \wedge \neg(z = f(x, c)) \rightarrow R(z, x) \vee R(f(x, c), z))$$

Per ciascuna delle seguenti L -strutture, determinare se gli enunciati φ e ψ sono veri in esse oppure no.

- $\mathcal{Q} = \langle \mathbb{Q}, <, +, 0, 1 \rangle$
- $\mathcal{N} = \langle \mathbb{N}, <, +, 0, 1 \rangle$

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 6

Sia $L = \{f, g\}$ un linguaggio del prim'ordine, dove f e g sono entrambi simboli di funzione binari. Sia $\varphi(x)$ la formula

$$f(x, x) = g(x, x).$$

Consideriamo le due L -strutture seguenti:

- $\mathcal{R}_0 = \langle \mathbb{R}, +, \cdot \rangle$
- $\mathcal{R}_1 = \langle \mathbb{R}, +, - \rangle$

Giustificando la propria risposta, determinare tutti gli $r \in \mathbb{R}$ per cui si ha

$$\mathcal{R}_0 \models \varphi[x/r]$$

e tutti gli $r \in \mathbb{R}$ per cui vale

$$\mathcal{R}_1 \models \varphi[x/r].$$

Esercizio 7

Sia $L = \{R, f, c\}$ un linguaggio del prim'ordine contenente un simbolo di relazione binario R , un simbolo di funzione binario f e un simbolo di costante c . Sia φ la formula

$$\forall x (\neg \exists y (f(y, y) = x) \rightarrow R(f(z, c), x)).$$

Consideriamo la L -struttura $\mathcal{N} = \langle \mathbb{N}, \leq, +, 1 \rangle$.

1. Dire se φ è un enunciato oppure no, e nel secondo caso cerchiare le occorrenze libere di variabili.
2. È vero che $\mathcal{N} \models \varphi[x/0, y/0, z/0]$?
3. Trovare un'assegnazione $x/n, y/m, z/k$ tale che $\mathcal{N} \not\models \varphi[x/n, y/m, z/k]$.
4. Determinare se è vero che $\mathcal{N} \models \forall z \varphi$.

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 8

Sia $L = \{R, P, c\}$ un linguaggio del prim'ordine contenente un simbolo di relazione binario R , un simbolo di relazione unario P , e un simbolo di costante c . Sia φ l'enunciato

$$\exists y P(y) \wedge \forall x (P(x) \rightarrow R(c, x))$$

e sia ψ l'enunciato

$$\forall x R(c, x)$$

Dimostrare che

$$\varphi \not\models \psi.$$

Esercizio 9

Trovare l'insieme di verità in $\langle \mathbb{N}, |, 1 \rangle$ (dove i simboli $|$ e 1 sono interpretati nella maniera naturale) della seguente formula:

$$\exists y (y \mid x \wedge y \neq 1 \wedge y \neq x).$$

Esercizio 10

Dimostrare che il seguente enunciato non è logicamente valido

$$\exists x P(x) \wedge \exists y Q(y) \rightarrow \exists x (P(x) \wedge Q(x))$$

costruendo una opportuna struttura in cui l'enunciato risulti falso.

Esercizio 11

Dimostrare che la formula $\forall x (C(x) \rightarrow S(x))$ non è conseguenza logica delle formule

$$\forall x (R(x) \rightarrow S(x)), \forall x (R(x) \rightarrow C(x)).$$

Esercizio 12

Trovare l'insieme di verità in \mathbb{N} della seguente formula:

$$\exists y (y \mid x \wedge P(y) \wedge \forall z (z \mid x \wedge P(z) \rightarrow z = y),)$$

dove $|$ denota la relazione di divisibilità e P il predicato per essere un numero primo.

Esercizio 13

Sia L un linguaggio del prim'ordine contenente il simbolo relazionale binario P . Sia \mathcal{A} la L -struttura il cui supporto consiste dell'insieme delle persone e $a P^{\mathcal{A}} b$ se e solo se a è genitore di b . Trovare una formula $\varphi(x)$ il cui insieme di verità in \mathcal{A} è l'insieme delle persone che sono zio/zia di qualcuno.

Esercizio 14

Sia L un linguaggio del prim'ordine contenente il simbolo funzionale binario \cdot . Sia \mathcal{A} la L -struttura il cui universo è l'insieme \mathbb{N} e in cui $\cdot^{\mathcal{A}}$ è la moltiplicazione. Trovare una formula $\varphi(x, y)$ il cui insieme di verità in \mathcal{A} è la relazione che vale tra x e y quando hanno un divisore in comune.

Esercizio 15

Dimostrare, costruendo una opportuna struttura, che

$$\forall x (P(x) \rightarrow Q(x)), \exists x (R(x) \wedge \neg Q(x)) \not\models \exists x (R(x) \wedge P(x))$$

per un linguaggio del prim'ordine con simboli predicativi unari P, Q, R .

Esercizio 16

Dimostrare che

$$\forall x (P(x) \rightarrow Q(x)), \exists x (Q(x) \wedge R(x)) \not\models \forall x (P(x) \rightarrow R(x))$$

Esercizio 17

Sia $L = \{R\}$ un linguaggio costituito da un unico simbolo di relazione binario. Si considerino le L -strutture

- $\langle \mathbb{N}, | \rangle$, dove $|$ è la relazione di divisibilità tra numeri naturali;
- $\langle \mathbb{Z}, \leq \rangle$;
- $\langle \mathbb{Z}, \geq \rangle$.

Stabilire quali tra le precedenti L -strutture è un modello dell'enunciato

$$\exists x \exists y (\neg R(x, y) \wedge \neg R(y, x)).$$

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 18

Sia $L = \{P\}$ con P simbolo di relazione binario. Consideriamo la L -struttura

$$\mathcal{A} = \langle \mathbb{N} \setminus \{0\}, | \rangle,$$

dove $|$ è l'usuale relazione di divisibilità. Sia $\varphi(x)$ la L -formula

$$\neg \forall y P(x, y) \wedge \forall z (P(z, x) \wedge \neg(z = x) \rightarrow \forall y P(z, y)).$$

1. Quali delle tre affermazioni seguenti sono corrette?

$$\mathcal{A} \models \varphi(x)[x/1] \qquad \mathcal{A} \models \varphi(x)[x/3] \qquad \mathcal{A} \models \varphi(x)[x/4]$$

2. Determinare l'insieme di verità di $\varphi(x)$ in \mathcal{A} .

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 19

Sia $L = \{f\}$ con f simbolo di funzione binario. Sia $\varphi(x)$ la L -formula

$$\exists y (f(y, y) = x).$$

1. Determinare l'insieme di verità di $\varphi(x)$ nella L -struttura $\mathcal{A} = \langle \mathbb{N}, + \rangle$.
2. Determinare l'insieme di verità di $\varphi(x)$ nella L -struttura $\mathcal{B} = \langle \mathbb{R}, \cdot \rangle$.
3. Sia $\mathcal{C} = \langle \mathbb{R}^+, \cdot \rangle$, dove $\mathbb{R}^+ = \{r \in \mathbb{R} \mid r > 0\}$. È vero che $\mathcal{C} \models \forall x \varphi(x)$?

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 20

Sia $L = \{f, a\}$ con f simbolo di funzione unario e a simbolo di costante. Sia φ l'enunciato

$$\forall x (\neg(x = a) \rightarrow \exists y (f(y) = x)).$$

Giustificando le proprie risposte, determinare quali delle seguenti L -strutture soddisfano φ .

1. $\mathcal{A} = \langle \mathbb{N}, f^{\mathcal{A}}, 0 \rangle$, dove $f^{\mathcal{A}}: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ è definita da $f^{\mathcal{A}}(n) = n + 1$;
2. $\mathcal{B} = \langle \mathbb{Q}, f^{\mathcal{B}}, 0 \rangle$, dove $f^{\mathcal{B}}: \mathbb{Q} \rightarrow \mathbb{Q}$ è definita da $f^{\mathcal{B}}(q) = q + 1$;
3. $\mathcal{C} = \langle \mathbb{Z}, f^{\mathcal{C}}, 0 \rangle$, dove $f^{\mathcal{C}}: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$ è definita da $f^{\mathcal{C}}(z) = 2z$;

Esercizio 21

Sia $L = \{P, R, a\}$ con P ed R simboli di relazione binaria e a simbolo di costante. Consideriamo la L -struttura $\mathcal{A} = \langle \mathbb{N}, \leq, |, 2 \rangle$, dove $|$ è l'usuale relazione di divisibilità.

Siano φ l'enunciato

$$\forall x \exists y (P(x, y) \wedge R(a, y))$$

e ψ l'enunciato

$$\exists x \forall y (P(x, y) \rightarrow R(a, y))$$

1. Determinare se $\mathcal{A} \models \varphi$.
2. Determinare se $\mathcal{A} \models \psi$.
3. Determinare se $\varphi \models \psi$.

Giustificare le proprie risposte.

Esercizio 22

Sia $L = \{P\}$ con P simbolo di relazione binaria. Sia φ l'enunciato

$$\forall x \exists y \neg P(x, y).$$

1. Determinare se $\langle \mathbb{N}, \leq \rangle \models \varphi$.
2. Determinare se $\langle \mathbb{N}, \geq \rangle \models \varphi$.
3. L'enunciato φ è soddisfacibile? È valido?

Giustificare le proprie risposte.

5 Logica del prim'ordine: formalizzazione

Esercizio 1

Formalizzare in \mathbb{Z} la seguente affermazione

La somma di tre numeri dispari è un numero pari.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente il simbolo $+$ (interpretato nella maniera usuale).

Suggerimento. Scrivere prima una L -formula $P(x)$ che formalizzi “ x è un numero pari”.

Esercizio 2

Formalizzare in \mathbb{Z} la seguente affermazione

Il doppio di un numero pari è un numero pari.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente i simboli $+$ e 1 (interpretati nella maniera usuale) e il simbolo $|$ per la relazione di divisibilità.

Suggerimento. Scrivere prima una L -formula $P(w)$ che formalizzi “ w è un numero pari”.

Esercizio 3

Formalizzare in \mathbb{Q} la seguente affermazione

Il quadrato di un numero strettamente negativo è strettamente positivo.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente solo i simboli \cdot e $<$ (interpretati nella maniera usuale).

Suggerimento. Scrivere prima una L -formula $Z(w)$ che formalizzi “ w è il numero 0”.

Esercizio 4

1. Formalizzare in \mathbb{N} la frase

Esiste un numero naturale che è la radice quadrata di y .

utilizzando il linguaggio formato dai simboli $<$ e \cdot interpretati nella maniera usuale.

2. Utilizzando lo stesso linguaggio, formalizzare in \mathbb{N} la frase

Ci sono numeri arbitrariamente grandi che hanno una radice quadrata.

Esercizio 5

Formalizzare la seguente frase:

Esiste una costante k ed infiniti numeri primi p tali che $p+k$ è anch'esso primo.

utilizzando il linguaggio contenente soltanto i simboli \cdot , $+$, \leq e 1 (interpretati nella maniera usuale).

Esercizio 6

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione

Il cubo di un numero pari è anch'esso un numero pari.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente solo i simboli \cdot e $+$ (interpretati nella maniera usuale).

Esercizio 7

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione

Ogni numero maggiore di 1 è diviso da un numero primo.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente solo i simboli \cdot e $<$ (interpretati nella maniera usuale).

Suggerimento. Scrivere prima una L -formula $P(w)$ che formalizzi “ w è un numero primo” e una L -formula $D(w, x)$ che formalizzi “ w divide x ”.

Esercizio 8

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione

Ci sono numeri pari arbitrariamente grandi la cui metà è un quadrato perfetto.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente solo i simboli $<$, \cdot e $+$ (interpretati nella maniera usuale).

Esercizio 9

Formalizzare in \mathbb{R} la seguente affermazione

Il prodotto di un numero per il suo opposto è l'opposto del suo quadrato.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente i simboli \cdot e 0 (interpretati nella maniera usuale). Si ricordi che l'opposto di un numero reale è il numero stesso cambiato di segno.

Suggerimento. Scrivere prima una L -formula $Z(x, y)$ che formalizzi “ x è l'opposto di y ”, sfruttando il fatto che un numero e il suo opposto hanno lo stesso quadrato (attenzione: bisogna distinguere il caso in cui y sia il numero 0 dai restanti casi).

Esercizio 10

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione

Il cubo di un numero pari è anch'esso un numero pari.

utilizzando il linguaggio del prim'ordine contenente solo i simboli \cdot e $+$ (interpretati nella maniera usuale).

Esercizio 11

Formalizzare in \mathbb{N} il seguente enunciato nel linguaggio contenente il simbolo relazionale binario $<$, ed il simbolo funzionale binario $+$:

Ogni numero pari sufficientemente grande è la somma di due numeri pari distinti.

Esercizio 12

Formalizzare (in un universo il cui dominio è l'insieme degli esseri umani) in un linguaggio del prim'ordine con un simbolo relazionale $G(x, y)$ per “ x è genitore di y ” ed un simbolo predicativo unario $B(x)$ per “ x ha i baffi” il seguente enunciato:

C'è chi ha un cugino i cui nonni hanno tutti i baffi.

Suggerimento. Definire prima formule $N[x, y]$ e $C[x, y]$ per formalizzare le relazioni: “ x è nonno di y ” e “ x è cugino di y ”.

Esercizio 13

Formalizzare in \mathbb{N} il seguente enunciato nel linguaggio contenente soltanto un simbolo \cdot per il prodotto tra numeri naturali:

Tutti i multipli di un multiplo di un numero, sono multipli di quel numero.

Si consiglia di definire prima una formula $M(x, y)$ che formalizzi “ x è multiplo di y ”.

Esercizio 14

Formalizzare in \mathbb{N} il seguente enunciato nel linguaggio contenente soltanto un simbolo funzionale binario \cdot per il prodotto tra numeri naturali:

Tutti i divisori di un prodotto di due numeri naturali sono divisori di uno dei due.

Esercizio 15

Formalizzare in \mathbb{N} il seguente enunciato nel linguaggio contenente il simbolo relazionale binario $<$, il simbolo funzionale binario $/$ per la divisione, la costante 0 (tutti interpretati nella maniera usuale), e il simbolo predicativo unario N , dove $N(x)$ è interpretato come “ x è un numero naturale”:

Per ogni coppia di numeri naturali distinti c'è un numero razionale compreso strettamente tra essi.

Esercizio 16

Formalizzare il seguente enunciato nel linguaggio contenente il simbolo relazionale binario A , dove $A(x, y)$ è interpretato come “ x è antenato di y ” e l'universo di discorso si intende costituito da tutte le persone:

Ci sono figli unici.

Esercizio 17

Formalizzare in \mathbb{N} con il linguaggio contenente i simboli $<$, \times e 1 la seguente proposizione (falsa):

Tutti i numeri sufficientemente grandi ammettono almeno due divisori primi.

Definire prima, mediante opportune formule da usare come abbreviazioni, la relazione di divisibilità e la proprietà di essere un numero primo.

Esercizio 18

Formalizzare in \mathbb{N} il seguente enunciato nel linguaggio contenente i simboli $<$, \times , $+$ e 1 :

Ci sono infiniti numeri n tali che $3n^2 + 1$ è un quadrato perfetto

Esercizio 19

Formalizzare in \mathbb{R} il seguente enunciato nel linguaggio contenente i simboli 1 , $+$ e $∴$:

Se n e m sono coprimi (cioè relativamente primi), allora $n \cdot a + m \cdot b = 1$ per qualche a e b .

Esercizio 20

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente frase

Se ci sono elementi arbitrariamente piccoli che godono della proprietà P , allora la funzione f è suriettiva

utilizzando il linguaggio contenente i simboli: P , $<$ e f .

Esercizio 21

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione in un linguaggio contenente un simbolo di predicato unario P che descrive la proprietà di essere un numero primo, il simbolo $<$ di relazione binaria per l'ordinamento, il simbolo di funzione binaria $+$ per la somma, e la costante 1:

Ogni numero dispari sufficientemente grande è somma di tre numeri primi, non necessariamente distinti

Esercizio 22

Sia L un linguaggio del prim'ordine contenente il simbolo relazionale binario P . Sia \mathcal{A} la L -struttura il cui supporto consiste dell'insieme delle persone, $a P^{\mathcal{A}} b$ se e solo se a è genitore di b . Formalizzare in \mathcal{A} la seguente affermazione:

Tutti i cugini dei fratelli di una persona sono anche cugini di quella persona.

Esercizio 23

Formalizzare in \mathbb{N} la seguente affermazione:

Se a e b sono relativamente primi, allora ci sono infiniti numeri primi congruenti ad a modulo b

usando i simboli 1 , $<$, $+$ e \cdot .

Suggerimento. Cominciare a formalizzare il predicato di divisibilità $|$ e il predicato di primalità Pr .

Esercizio 24

Sia L in un linguaggio del prim'ordine in cui ci sono costanti individuali g per Giuseppe, m per Maria e i simboli relazionali binari S, F , dove $S(x, y)$ significa che x ha sposato y e $F(x, y)$ significa che y è figlio di x . Sia \mathcal{A} la L -struttura il cui supporto consiste dell'insieme delle persone. Formalizzare in \mathcal{A} la seguente frase:

Uno dei cugini di Giuseppe ha sposato una nipote di Maria

Esercizio 25

Formalizzare in \mathbb{N} l'affermazione

Ogni numero pari maggiore di 2 è il prodotto di due numeri pari distinti.

utilizzando il linguaggio formato dai simboli $<$, \cdot e 2 (tutti interpretati nella maniera usuale).

Suggerimento: Scrivere prima una formula $\varphi(x)$ che formalizzi “ x è pari”.

Esercizio 26

Formalizzare in \mathbb{N} l'affermazione

Esistono infiniti numeri primi.

utilizzando il linguaggio formato dai simboli $<$, \cdot e 1 (tutti interpretati nella maniera usuale).

Suggerimento: Scrivere prima una formula $\varphi(x)$ che formalizzi “ x è un numero primo”.

Esercizio 27

1.

Formalizzare in \mathbb{R} la frase

Il numero y è la radice cubica di qualche numero.

utilizzando il linguaggio formato dal simbolo \cdot interpretato nella maniera usuale.

2. Utilizzando il linguaggio formato dai simboli $<$, \cdot interpretati nella maniera usuale, formalizzare in \mathbb{R} la frase

Ci sono numeri arbitrariamente grandi che hanno una radice cubica.

Esercizio 28

1.

Formalizzare in \mathbb{Z} la frase

Il numero y ammette una radice quadrata.

utilizzando il linguaggio formato dal simbolo \cdot di moltiplicazione interpretato nella maniera usuale.

2. Utilizzando il linguaggio formato dai simboli $>$, \cdot interpretati nella maniera usuale, formalizzare in \mathbb{Z} la frase

Ci sono numeri arbitrariamente grandi che sono il quadrato di qualche numero.

Esercizio 29

1.

Formalizzare in \mathbb{Z} la frase

Il numero y è diviso dal numero x .

utilizzando il linguaggio formato dal simbolo \cdot di moltiplicazione interpretato nella maniera usuale.

2. Utilizzando il linguaggio formato dai simboli 0 , \cdot interpretati nella maniera usuale, formalizzare in \mathbb{Z} la frase

Se un numero è non nullo, non può essere diviso da 0 .