

Introduzione

- Quantificatori - Esempio - Esempio
 - Negazioni di un enunciato con quantificatori
 - Induzione matematica
 - * Esempio
 - * Esempio
 - * Esempio
 - * Esempio

Quantificatori

I quantificatori sono:

- \forall : “per ogni”, quantificatore universale
- \exists : “esiste”, quantificatore esistenziale

Esempio Scriviamo la frase

Ogni numero intero n , se è maggiore di 5 allora è maggiore di 2

come:

$$\forall n \in \mathbb{Z}, n > 5 \implies n > 2$$

Esempio Scriviamo la frase

Esiste un numero intero maggiore di 5

come:

$$\exists n \in \mathbb{Z} \text{ t.c. } n > 5$$

Nota bene

Con il quantificatore \exists intendiamo “*Esiste almeno un elemento*”. Se invece vogliamo specificare che ne esiste esattamente uno diciamo “*Esiste ed è unico*” utilizzando il simbolo $\exists!$, infatti:

$$\exists! n \in \mathbb{Z} \quad \text{t.c.} \quad 2n = 6$$

Negazioni di un enunciato con quantificatori

Nota bene

Una proposizione contronominale è la proposizione con ipotesi e tesi negate e scambiate rispetto all'originale.

Considerando l'enunciato $\forall x \in A, P(x)$, la sua negazione è:

$$\exists x \in A \quad \text{t.c.} \quad \text{non } P(x)$$

In altre parole, se esiste almeno un elemento $x \in A$ per cui **non** vale la proprietà P , allora significa che tale proprietà non vale per tutti gli elementi.

Similmente considerando l'enunciato $\exists x \in A \quad \text{t.c.} \quad P(x)$, la sua negazione è:

$$\forall x \in A, \text{ non } P(x)$$

Induzione matematica

È un particolare tipo di ragionamento deduttivo¹ da non confondere con l'implicazione *empirica*.

Esempio Vogliamo calcolare la somma dei numeri interi positivi minori o uguali a cento.

$$\begin{aligned} S &= 1 + 2 + \cdots + 99 + 100 \\ S &= 100 + 99 + \cdots + 2 + 1 \\ \hline 2S &= 101 + 101 + \cdots + 101 + 101 \\ &= 101 \cdot 100 \end{aligned} \tag{1}$$

Da cui $S = \frac{101 \cdot 100}{2} = 101 \cdot 50 = 5050$, quindi azzardiamo una congettura:

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad \sum_{k=0}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

Dove \mathbb{N} è l'insieme dei numeri naturali (interi non negativi o per alcuni escluso lo zero), $\mathbb{N} = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$, inoltre:

¹L'induzione matematica è un assioma dell'aritmetica dei numeri naturali. (Giuseppe Peano, 1889)

$$\sum_{k=0}^n k := 0 + 1 + 2 + \cdots + n$$

Dimostriamo la congettura 1 per **induzione**:

- Passo base: l'espressione 1 è soddisfatta quando $n = 0$ perché

$$\sum_{k=0}^0 k = \frac{0 \cdot 1}{2}$$

- Passo induttivo: se $n \in \mathbb{N}$ soddisfa l'espressione 1 altrettanto vale anche per $n + 1$

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{n+1} k &= 0 + 1 + \cdots + n + (n + 1) \\ &= \sum_{k=0}^n k + n + 1 \\ &= \frac{n(n+1)}{2} + n + 1 \\ &= (n+1)\left(\frac{n}{2} + 1\right) \\ &= \frac{(n+1)(n+2)}{2} \quad \square \end{aligned}$$

Più in generale per dimostrare un enunciato del tipo $\forall n \in \mathbb{N}, P(n)$ occorre dimostrare:

- Il passo base, $P(0)$
- Il passo induttivo, $\forall n \in \mathbb{N}, P(n) \longrightarrow P(n + 1)$

Esempio Vogliamo dimostrare che $\sum_{k=1}^n k^2 = 1 + 2^2 + \cdots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$

- Passo base: per $n = 1$,

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

- Passo induttivo: se $n \in \mathbb{N}$ soddisfa la formula, allora

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^{n+1} k^2 &= \sum_{k=1}^n k^2 + (n+1)^2 \\
&= \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + (n+1)^2 \\
&= (n+1) \left(\frac{n(2n+1)}{6} + n+1 \right) \\
&= (n+1) \cdot \frac{2n^2 + 7n + 6}{6} \\
&= \frac{(n+1)(n+2)(2n+3)}{6} \quad \square
\end{aligned}$$

La formula è la stessa, scritta rimpiazzando n con $n+1$, quindi la formula è dimostrata.

Esempio Vogliamo dimostrare che $\forall k \in \mathbb{N}$ t.c. $k \geq 1, 2^k > k$

- Passo base: $2^1 = 2 > 1$
- Passo induttivo: se $k \in \mathbb{N}, k > 1$ soddisfa $2^k > k$, allora

$$2^{k+1} = 2 \cdot 2^k > 2k > k+1$$

Dunque $2^{k+1} > k+1$ \square

Esempio Diseguaglianza di Bernoulli.

Dato un numero reale $x \geq -1$ vogliamo dimostrare

$$\forall k \in \mathbb{N}, (1+x)^k \geq 1+kx$$

- Passo base: per $k=0$, $(1+x)^0 = 1 \geq 1+0 \cdot x$
- Passo induttivo: se $k \in \mathbb{N}$ soddisfa la diseguaglianza, allora

$$\begin{aligned}
(1+x)^{k+1} &= (1+x)^k(1+x) \geq (1+kx)(1+x) \\
&= 1 + (k+1)x + kx^2 \geq 1 + (k+1)x \quad \square
\end{aligned}$$