

# Introduzione

- Quantificatori - Esempio - Esempio - *Nota bene*
  - Negazioni di un enunciato con quantificatori - *Nota bene*
  - 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:

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

## 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:

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

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  $\exists x \in A \text{ t.c. } P(x)$ , la sua negazione è:

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

## Induzione matematica

È un particolare tipo di ragionamento deduttivo<sup>1</sup> da non confondere con l'implicazione *empirica*.

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

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

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

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

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:

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

Dimostriamo la congettura 1 per **induzione**:

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

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

---

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

- 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

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