Logica e risoluzione: esercizi

CLAUSOLE

- Una **clausola** è una disgiunzione di letterali (cioè formule atomiche negate e non negate), in cui tutte le variabili sono quantificate universalmente in modo implicito.
- Una clausola generica può essere rappresentata come la disgiunzione:

  $A_1 \vee A_2 \vee ... \vee A_n \vee \sim B_1 \vee ... \vee \sim B_m$

  dove A_i (i=1,..,n) e B_j (j=1,..,m) sono atomi.
- Una clausola nella quale non compare alcun letterale, sia positivo sia negativo, è detta clausola vuota e verrà indicata con □, interpretato come contraddizione: disgiunzione falso $\vee$ ~vero
- Un sottoinsieme delle clausole è costituito dalle **clausole definite**, nelle quali si ha sempre un solo letterale positivo:

  $A_1 \vee \sim B_1 \vee ... \vee \sim B_m$

TRASFORMAZIONE IN CLAUSOLE (1)

- Passi per trasformare una qualunque fbf della logica dei predicati del primo ordine in un insieme di clausole
- 1) **Trasformazione in fbf chiusa**

  Esempio la formula:
  - $\forall X\ (p(Y) \rightarrow \sim(\forall Y\ (q(X,Y) \rightarrow p(Y))))$ (1)

  è trasformata in:
  - $\forall X\ \forall Y\ (p(Y) \rightarrow \sim(\forall Y\ (q(X,Y) \rightarrow p(Y))))$ (2)
- 2) **Applicazione delle equivalenze per i connettivi logici** (ad esempio $A \rightarrow B$ è sostituito da $\sim A \vee B$) e la si riduce in forma and-or.

  La formula (2) diventa:
  - $\forall X\ \forall Y\ (\sim p(Y) \vee \sim(\forall Y\ (\sim q(X,Y) \vee p(Y))))$ (3)

3

TRASFORMAZIONE IN CLAUSOLE (2)

- 3) **Applicazione della negazione ad atomi e non a formule composte**, tenendo presente che:

  $\forall X \sim A$ equivale a $\sim\exists X\ A$

  $\exists X \sim A$ equivale a $\sim \forall X\ A$

  $\sim(A_1 \vee A_2 \vee \ldots \vee A_n)$ equivale a $\sim A_1 \wedge \sim A_2 \wedge \ldots \wedge \sim A_n$

  $\sim(A_1 \wedge A_2 \wedge \ldots \wedge A_n)$ equivale a $\sim A_1 \vee \sim A_2 \vee \ldots \vee \sim A_n$

  (leggi di De Morgan).

  (3) si modifica in:

  $\forall X\ \forall Y\ (\sim p(Y) \vee (\exists Y\ (q(X,Y) \wedge \sim p(Y))))$ (4)
- 4) **Cambiamento di nomi delle variabili**, nel caso di conflitti.

  in (4) la seconda variabile Y viene rinominata Z:

  $\forall X\ \forall Y\ (\sim p(Y) \vee (\exists Z\ (q(X,Z) \wedge \sim p(Z))))$ (5)

4

TRASFORMAZIONE IN CLAUSOLE (3)

- 5) **Spostamento dei quantificatori** in testa alla formula (forma prenessa).

  $\forall X\ \forall Y\ \exists Z\ (\sim p(Y) \vee (q(X,Z) \wedge \sim p(Z)))$ (6)

- 6) **Forma normale congiuntiva** cioè come congiunzione di disgiunzioni, con quantificazione in testa.

  $\forall X\ \forall Y\ \exists Z\ ((\sim p(Y) \vee q(X,Z)) \wedge (\sim p(Y) \vee \sim p(Z)))$ (7)

- 7) **Skolemizzazione:** ogni variabile quantificata esistenzialmente viene sostituita da una funzione delle variabili quantificate universalmente che la precedono. Tale funzione è detta funzione di Skolem.

  Ad esempio una formula del tipo: $\forall X\ \exists Y\ p(X,Y)$ può essere espressa in modo equivalente come: $\forall X\ p(X,g(X))$

  In (7) Z è sostituita da f(X,Y), perché Z si trova nel campo di azione delle quantificazioni $\forall X$ e $\forall Y$:

  $\forall X \forall Y\ ((\sim p(Y) \vee q(X,f(X,Y))) \wedge (\sim p(Y) \vee \sim p(f(X,Y))))$ (8)

5

TRASFORMAZIONE IN CLAUSOLE (4)

- **Perdita in espressività**. Non è la stessa cosa asserire: F: $\exists X\ p(X)$ oppure F': p(f).
- Vale comunque la proprietà che F è inconsistente se e solo se F' è inconsistente.
- 8) **Eliminazione dei quantificatori universali**: si ottiene è una formula detta universale (tutte le sue variabili sono quantificate universalmente) in forma normale congiuntiva.
- $((\sim p(Y) \vee q(X,f(X,Y))) \wedge (\sim p(Y) \vee \sim p(f(X,Y))))$ (9)
- Una formula di questo tipo rappresenta **un insieme di clausole** (ciascuna data da un congiunto nella formula). La forma normale a clausole che si ottiene: $\{\sim p(Y) \vee q(X,f(X,Y)),\ \sim p(Y) \vee \sim p(f(X,Y))\}$ (10)
- La seconda clausola può essere riscritta rinominando le variabili (sostituendo cioè la formula con una sua variante).
- $\{\sim p(Y) \vee q(X,f(X,Y)),\ \sim p(Z) \vee \sim p(f(W,Z))\}$ (11)

6

TRASFORMAZIONE IN CLAUSOLE (5)

- Qualunque teoria del primo ordine T può essere trasformata in una teoria T' in forma a clausole.
- Anche se T non è logicamente equivalente a T' (a causa dell'introduzione delle funzioni di Skolem), vale comunque la seguente proprietà:

Proprietà

- Sia T una teoria del primo ordine e T' una sua trasformazione in clausole. Allora T è insoddisfacibile se e solo se T' è insoddisfacibile.
- Il principio di risoluzione è una procedura di dimostrazione che opera per contraddizione e si basa sul concetto di insoddisfacibilità.

7

IL PRINCIPIO DI RISOLUZIONE

- Il principio di risoluzione, che si applica a formule in forma a clausole, è molto più efficiente del metodo assiomatico-deduttivo ed è utilizzato dalla maggior parte dei risolutori automatici di teoremi.
- **Logica Proposizionale:** clausole prive di variabili.
- Siano C_1 e C_2 due clausole prive di variabili:

  $C_1 = A_1 \vee \ldots \vee A_n$ $\qquad$ $C_2 = B_1 \vee \ldots \vee B_m$

- Se esistono in C_1 e C_2 due letterali **opposti**, A_i e B_j, ossia tali che $A_i = \sim B_j$, allora da C_1 e C_2, (clausole **parent**) si può derivare una nuova clausola C_3, denominata **risolvente**, della forma:

  $C_3 = A_1 \vee .. \vee A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee .. \vee A_n \vee B_1 \vee .. \vee B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \ldots \vee B_m$

- **C_3 è conseguenza logica di $C_1 \cup C_2$.**

C1: $L \vee C1'$ $\qquad$ C2: $\neg L \vee C2'$

C: $C1' \vee C2'$

8

Esercizio 1

- Si trasformi la seguente frase della logica dei predicati del primo ordine nella forma a clausole:
- *"Le case grandi richiedono un grosso lavoro a meno che non abbiano una persona addetta alle pulizie e non abbiano il giardino".*
- Si discuta inoltre se sarebbe possibile trasformarla in clausole di Horn e si motivi la risposta.

9

Esercizio 1

- Si trasformi la seguente frase della logica dei predicati del primo ordine nella forma a clausole:
- *"Le case grandi richiedono un grosso lavoro a meno che non abbiano una persona addetta alle pulizie e non abbiano il giardino".*

  $\forall$H big(H) $\wedge$ house(H) $\rightarrow$ work(H) $\vee$ {$\exists$M cleans(M,H) and not $\exists$ G garden(G,H)}
- Si discuta inoltre se sarebbe possibile trasformarla in clausole di Horn e si motivi la risposta.

10

Soluzione Esercizio 1

1. Trasformazione in fbf chiuse
2. Elimino le implicazioni: A → B equivale a not A ∨ B

   ∀ H not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ {∃ M cleans(M,H) ∧ not ∃ G garden(G,H)}

3. Riduzione del connettivo not a soli atomi e non più a formule composte

   ∀ H not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ {∃ M cleans(M,H) ∧ ∀ G not garden(G,H)}

4. Cambiamento di nomi delle variabili (in caso di conflitti).

11

Soluzione Esercizio 1

5. Spostamento dei quantificatori in testa alla formula

   ∀ H ∃ M ∀ G not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ {cleans(M,H) ∧ not garden(G,H)}

6. Forma prenessa congiuntiva (congiunzione di disgiunzioni)

   ∀ H ∃ M ∀ G ((not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ cleans(M,H)) ∧ (not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ not garden(G,H)))

7. Skolemizzazione

   ∀ H ∀ G ((not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ cleans(f(H),H)) ∧ (not big(H) ∨ not house(H) ∨ work(H) ∨ not garden(G,H)))

8. Eliminazione dei quantificatori universali

12

Soluzione Esercizio 1

Forma a clausole:

not big(H) $\vee$ not house(H) $\vee$ work(H) $\vee$ cleans(f(H),H)

not big(H) $\vee$ not house(H) $\vee$ work(H) $\vee$ not garden(G,H)

La frase non può essere trasformata in clausole di Horn a causa dei letterali positivi: infatti la prima clausola contiene due letterali positivi, mentre le clausole di Horn ne contengono al più uno.

13

Esercizio 2 - risoluzione

Si assumano i seguenti fatti:

- A Simone piacciono i corsi facili;
- I corsi di scienze sono difficili;
- Tutti i corsi del dipartimento di Intelligenza Artificiale sono facili;
- BK301 è un corso di Intelligenza Artificiale.

Si usi la risoluzione per rispondere alla domanda: Quale corso piace a Simone?

14

Soluzione Esercizio 2 - risoluzione

- A Simone piacciono i corsi facili;
  ∀X, ∀Y corso(Y,X), facile(X) → piace(simone,X)
- I corsi di scienze sono difficili;
  ∀X corso(scienze, X) → not facile(X)
- Tutti i corsi del dipartimento di Intelligenza Artificiale sono facili;
  ∀X corso(ai, X) → facile(X)
- BK301 è un corso di Intelligenza Artificiale.
  corso(ai,bk301).

Goal G: ∃ **X piace(simone,X), corso(Y,X)**

15

Soluzione Esercizio 2 - risoluzione

Forma a clausole:

- Gneg: not piace(simone,X) ∨ not corso(Y,X)
- C1: piace(simone,X) ∨ not corso(Y,X) ∨ not facile(X)
- C2: not facile(X) ∨ not corso(scienze,X)
- C3: facile(X) ∨ not corso(ai,X)
- C4: corso(ai,bk301)

16

Soluzione Esercizio 2 - risoluzione

Risoluzione

C5 = G e C4 : not piace(simone, bk301) X/bk301 Y/ai

C6 = C3 e C4: facile(bk301)

C7 = C1 e C5: not corso(Y, bk301) $\vee$ not facile(bk301)

C8 = C6 e C7: not corso(Y,bk301)

C9 = C8 e C4: contraddizione

17

Esercizio 3 – compito del 5/11/2003

Si formalizzino le seguenti frasi in logica dei predicati:

- Esiste almeno uno studente di Ingegneria che conosce la logica booleana.
- Chi conosce la logica booleana ha capacità logiche.
- Chi non ha capacità logiche, si contraddice.
- Chi si contraddice, non ha capacità logiche.
- Piero studia ad ingegneria e conosce la logica booleana.

Le si trasformi in clausole e si usi poi il principio di risoluzione per dimostrare che c'è uno studente di Ingegneria che non si contraddice.

18

Soluzione Esercizio 3

- Esiste almeno studente di Ingegneria che conosce la logica booleana.
  ∃Y (studIng(Y) and conosce(Y,boole))
- Chi conosce la logica booleana ha capacità logiche.
  ∀ X (conosce(X,boole) => haLogica(X))
- Chi non ha capacità logiche, si contraddice.
  ∀ X (not haLogica(X) => contraddice(X))
- Chi si contraddice, non ha capacità logiche.
  ∀ X (contraddice(X) => not haLogica(X))
- Piero studia ad ingegneria e conosce la logica booleana.
  studIng(piero) and conosce(piero,boole)

Goal: ∃Y **studIng(Y) and not contraddice(Y)**

19

Soluzione Esercizio 3

Clausole:
- **C1 studIng(c)**
- **C2 conosce(c,boole)**
- **C3 not conosce(X,boole) or haLogica(X)**
- **C4 haLogica(X) or contraddice(X)**
- **C5 not contraddice(X) or not haLogica(X)**
- **C6 studIng(piero)**
- **C7 conosce(piero,boole)**

- **C8 not studIng(Y) or contraddice(Y)** (goal negato)

20

Soluzione Esercizio 3

Risoluzione:

- **C9 not haLogica(Y) or not studIng(Y)** (da C5 e C8)
- **C10 not conosce(Y,boole) or not studIng(Y)** (da C9 e C3)
- **C11 not conosce(piero,boole)** (da C10 e C6)
- **C12 Clausola vuota** (da C11 e C7)

21

Esercizio 4

Si consideri la seguente conoscenza:

Antonio, Michele e Giovanni sono iscritti al CAI (Club Alpino Italiano). Ogni appartenente al Club che non è sciatore è uno scalatore. Gli scalatori non amano la pioggia. Ogni persona che non ama la neve non è uno sciatore. Antonio non ama ciò che Michele ama. Antonio ama la pioggia e la neve.

Si rappresenti tale conoscenza come un insieme di predicati del primo ordine appropriati per un sistema di refutazione che lavori mediante risoluzione.

Si mostri come tale sistema risolverebbe la domanda: "**C'è un membro del CAI che è uno scalatore, ma non uno sciatore?**"

22

Soluzione Esercizio 4

Formule logiche:

1. $\forall$ X iscritto(X), not sciatore(X) $\rightarrow$ scalatore(X)

2. $\forall$ X scalatore (X) $\rightarrow$ not ama(X,pioggia)

3. $\forall$ X not ama(X,neve) $\rightarrow$ not sciatore(X)

4. $\forall$ X ama(michele,X) $\rightarrow$ not ama(antonio,X)

5. ama(antonio,neve)

6. ama(antonio, pioggia)

7. iscritto(antonio)

8. iscritto(michele)

9. iscritto(giovanni)

Goal: $\exists$ **X iscritto(X), scalatore(X), not sciatore(X)**

23

Soluzione Esercizio 4

Forma a clausole:

C1. not iscritto(X) $\vee$ sciatore(X) $\vee$ scalatore(X)

C2. not scalatore(X) $\vee$ not ama(X,pioggia)

C3. ama(X,neve) $\vee$ not sciatore(X)

C4. not ama(michele,X) $\vee$ not ama(antonio,X)

C5. ama(antonio,neve)

C6. ama(antonio, pioggia)

C7. iscritto(antonio)

C8. iscritto(michele)

C9. iscritto(giovanni)

Gneg: not iscritto(X) $\vee$ not scalatore(X) $\vee$ sciatore(X)

24

Soluzione Esercizio 4

Risoluzione

C10=Gneg - C8

not scalatore(michele) ∨ sciatore(michele) {X/michele}

C11=C10 - C3

not scalatore(michele) ∨ ama(michele,neve)

C12=C11-C4

not scalatore(michele) ∨ not ama(antonio,neve)

C13=C12 e C5 not scalatore(michele)

C14=C13 e C1 not iscritto(michele) v sciatore(michele)

C15=C13 e C8 sciatore(michele)

C16=C15 e C3 ama(michele,neve)

C17=C16 e C4 not ama(antonio,neve)

C18=C17 e C5 clausola vuota

25

OR esclusivo: come si traduce

- Ogni studente e' promosso o bocciato (or esclusivo)
- VX studente(X) -> promosso (X) or-ex bocciato (X).
- VX studente(X) ->(promosso (X) or bocciato (X)) and
- (not promosso (X) or not bocciato (X))
- (VX studente(X) -> promosso (X) or bocciato (X)) and
- (VX studente(X) -> not promosso (X) or not bocciato (X))

- C1:
- not studente (X) or promosso (X) or bocciato (X)
- C2:
- not studente(X) or not promosso (X) or not bocciato (X))

26