

Che cosa abbiamo fatto fin'ora ...

- Abbiamo trattato:
 - agenti con stato e con obiettivo, più razionali rispetto ad agenti reattivi
 - enfasi sul processo di ricerca
 - stati e azioni descrivibili in maniera semplice
 - stati parzialmente osservabili, necessità di *inferenza*
- Abbiamo migliorato le capacità razionali dei nostri agenti dotandoli di rappresentazioni di mondi più complessi, non descrivibili semplicemente
- Agenti *basati su conoscenza*, con conoscenza espressa in maniera esplicita e dichiarativa (non cablata)

Rappresentazione della Conoscenza

- IL PROBLEMA È GENERALE E NON NUOVO: è stato affrontato in vari settori quali:
 - Linguaggi di Programmazione;
 - Intelligenza Artificiale;
 - Basi di dati.
- Tuttavia:
 - Non esiste una teoria sulla rappresentazione della conoscenza;
 - Non esiste un modello uniforme.

CARATTERISTICHE DI UN METODO DI RAPPRESENTAZIONE

- **Potenza espressiva:** capacità di esprimere in modo completo vari domini di conoscenza con differenti caratteristiche;
- **Facile comprensione della notazione;**
- **Efficienza:** capacità di strutturare la conoscenza in modo che ne venga facilitato e velocizzato l'utilizzo e l'accesso durante la risoluzione del problema evitando ridondanze;
- **Flessibilità, modificabilità, estensibilità:** che costituiscono caratteristiche essenziali per una base di conoscenza.

Base di conoscenza ...

- *Base di conoscenza*: una rappresentazione esplicita, parziale e compatta, in un linguaggio simbolico, che contiene:
 - fatti di tipo specifico (Es. *Socrate è un uomo*)
 - fatti di tipo generale (Es. *Tutti gli uomini sono mortali*)
- Quello che caratterizza una B.C. è *la capacità di inferire nuovi fatti* da quelli memorizzati esplicitamente (Es. *Socrate è mortale*)

... e base di dati

- Nelle basi di dati solo fatti specifici e positivi
- Le basi di dati assumono una conoscenza completa del mondo (CWA)
- Nessuna capacità inferenziale (vincoli di integrità solo per il controllo, non per la generazione)

Il *trade-off* fondamentale della R.C.

- Il problema ‘fondamentale’ in R.C. è trovare il giusto compromesso tra:
 - *Espressività* del linguaggio di rappresentazione;
 - *Complessità* del meccanismo inferenziale: vogliamo meccanismi *corretti*, ma anche *efficienti*.
- Questi due obiettivi sono in contrasto e si tratta di mediare tra queste due esigenze

Linguaggi per la R.C.

Un formalismo per la rappresentazione della conoscenza ha tre componenti:

1. Una *sintassi*: un linguaggio composto da un vocabolario e regole per la formazione delle frasi (*enunciati*)
2. Una *semantica*: che stabilisce una corrispondenza tra le frasi e fatti del mondo; se un agente ha un enunciato α nella sua KB, crede che il fatto corrispondente sia vero nel mondo
3. Un *meccanismo inferenziale* (codificato o meno tramite regole di inferenza come nella logica) che ci consente di inferire nuovi fatti.

Meccanismi inferenziali in Logica

- Tre forme di ragionamento:
 - Deduttivo (lo abbiamo visto)
 - Abduttivo (lo abbiamo accennato)
 - Induttivo (lo vedremo nel Corso di Applicazioni di Intelligenza Artificiale – Apprendimento)

Ragionamento deduttivo

- La forma più comune e nota.
- Già studiato da Aristotele (400 BC)
- Sviluppato negli ultimi 100 anni dal logico e matematico Gottlob Frege
- Abbiamo una “regola” con n premesse ed una conclusione.
- Il ragionamento deduttivo dalla verità delle n premesse inferisce la verità della conclusione.
- Se $\text{uomo}(\text{socrate}) \rightarrow \text{mortale}(\text{socrate})$ and $\text{uomo}(\text{socrate})$ inferisce $\text{mortale}(\text{socrate})$
- Usato nella logica proposizionale e dei predicati e nel linguaggio Prolog.
- Usato anche nei meccanismi di inferenza (eredità monotona) delle reti semantiche e nei frames.

Ragionamento Induttivo

- E' il ragionamento che da casi particolari o fatti produce una conclusione generale.
- Ad esempio:
 - Il corvo(a) è nero
 - Il corvo(b) è nero
 - ...
 - Il corvo(n) è nero
 - Allora tutti i corvi sono neri (passa da alcuni a tutti)
- Se tutti gli enti osservati hanno la proprietà P, allora TUTTI hanno la proprietà P
- Ovviamente non è sempre corretto
- Base per l'apprendimento da esempi (generalizzazione)

Ragionamento Abduittivo

- E' ragionare “all'indietro” dagli effetti (fatti) alle cause (ipotesi).
- Base della scoperta scientifica e della diagnosi (medica).

Esempio:

- Se piove allora il prato sarà bagnato.
- Osserviamo che il prato è bagnato (fatto), allora ipotizziamo che abbia piovuto.
- Ragionamento non-corretto, e se il prato fosse stato annaffiato?
- E' quindi un ragionamento che va mediato con ragionamento probabilistico o va confermato da nuove osservazioni (ad esempio nel nostro caso controllando le previsioni meteo, a conferma dell'ipotesi).

Deduzione

- *Il problema*: data una base di conoscenza KB, contenente una rappresentazione dei fatti che si ritengono veri, vorrei sapere se un certo fatto α è vero di conseguenza

KB $\models \alpha$ (consequenza logica)

- Se ho a disposizione una serie di regole di inferenza corrette (e complete..) questo corrisponde alla possibilità di ricavare α da KB mediante queste regole

KB $\vdash \alpha$ (deduzione)

... un problema di manipolazione di simboli e di ricerca!

Logica come linguaggio per la R.C.

- I linguaggi logici, calcolo proposizionale (Prop) e logica dei predicati (FOL), sono adatti per la rappresentazione della conoscenza e l'inferenza (deduttiva)?
 - $KB \models_{\text{Prop}} \alpha$ è decidibile, ma poco espressivo
 - FOL è un linguaggio espressivo, con una semantica ben definita, ma ha un problema: il meccanismo inferenziale non è decidibile
 $KB \models_{\text{FOL}} \alpha$ è semidecidibile

LOGICA DEI PREDICATI

- VANTAGGI DELLA LOGICA DEI PREDICATI:
 - semanticamente ben definita;
 - altamente dichiarativa;
 - apparato deduttivo assolutamente generale.
- Base di conoscenza:
 - una collezione di ASSERZIONI DELLA LOGICA DEI PREDICATI DEL PRIMO ORDINE;
 - REGOLE DI INFERENZA permettono di DEDURRE nuove asserzioni (TEOREMI) non esplicitamente contenute nella base di conoscenza iniziale.

LOGICA DEI PREDICATI

- La sequenza di regole di inferenza utilizzate nella derivazione del teorema si chiama DIMOSTRAZIONE del teorema.
- DIMOSTRAZIONE AUTOMATICA DI TEOREMI
- Requisito fondamentale: efficienza.
- Metodo base: RISOLUZIONE (1965).
- Gran parte dei programmi che dimostrano teoremi in modo automatico (AI) usano varianti del metodo di risoluzione.

PROBLEMATICHE DELLA LOGICA DEI PREDICATI

- PROBLEMATICHE VISTE COME METODO DI RAPPRESENTAZIONE:
- 1) NATURALIZZAZIONE
 - Le formule e i metodi di deduzione logici non sono il modo più naturale con cui ragionare e non sono i metodi con cui l'uomo organizza la sua conoscenza e mostra un comportamento intelligente (M.Minsky);
- 2) ESPLOSIONE COMBINATORIA
 - Ottimizzazione nella ricerca → perdita della completezza
- 3) MONOTONICITÀ E DEFAULT
 - La logica classica è MONOTONA: l'aggiunta di nuove asserzioni o regole alla base di conoscenza non può invalidare teoremi precedentemente dimostrati, ma solo aggiungerne di nuovi.

Limiti in espressività del FOL

Molti linguaggi della R.C. sono *estensioni* [di sottoinsiemi] del FOL per superare limiti di espressività nel ragionamento di “senso comune”

- Atteggiamenti proposizionali
- Ragionamento incerto
- Ragionamento non monotono

Atteggiamenti proposizionali

- Atteggiamenti epistemici
 - conoscenze, credenze (convinzioni)
- Atteggiamenti motivazionali
 - desideri, obiettivi, intenzioni, ...
- L'oggetto del discorso sono le proposizioni
Bel(P) operatori e logiche modali

Ragionamento incerto

Nella logica classica le proposizioni sono vere o false

Il superamento della dicotomia T|F può avvenire in modi diversi:

- logiche a più valori (vero, falso, non so)
- ragionamento probabilistico (vero con probabilità p)
- con gradi di fiducia (vero con grado di fiducia c)
- logica *fuzzy* (proprietà sfumate, es. 'alto' in misura m)

Ragionamento non monotono

Nella logica classica vale la proprietà di *monotonia*:

Monotonia: Se $KB \vdash \alpha$ allora $KB \cup \{\beta\} \vdash \alpha$

- Il ragionamento di senso comune è spesso *non monotono*: si fanno inferenze tentative, anche in mancanza di informazioni complete.

- **Esempio 1**: ragionamento *default*

Gli uccelli tipicamente volano. Tweety è un uccello. Quindi Tweety vola. Se successivamente scopro che Tweety è un pinguino (i pinguini sono uccelli) cambio idea.

- **Esempio 2**: assunzione di *mondo chiuso*

Se un fatto non è presente nella KB si assume che non sia vero (come nelle basi di dati). Quando si aggiunge un nuovo fatto può invalidare le vecchie conclusioni.

Assunzioni ontologiche

- Ogni linguaggio per la R. C. fa assunzioni diverse su come è fatto il mondo (ontologico $\cong$ che riguarda ciò che esiste):
- Nel calcolo proposizionale il mondo è visto come popolato di *fatti* veri o falsi (le proposizioni).
- Il calcolo dei predicati fa una assunzione *ontologica* più sofisticata: il mondo è fatto di *oggetti*, che hanno *proprietà* e tra cui sussistono *relazioni*.
- Logiche specializzate assumono *ontologie* più ricche:
 - gli stati e le azioni nel *calcolo di situazioni* e nel *calcolo degli eventi*
 - il tempo nelle *logiche temporali*
 - Concetti e categorie nelle *logiche terminologiche*

Assunzioni epistemologiche

- Gli stati di conoscenza possibili che consente rispetto ad un fatto:
 - PC e FOL: un fatto è vero, falso o non si sa
 - Logiche probabilistiche: gradi di credenza variabili da 0 (falso) a 1 (certezza assoluta)

Linguaggi per la R.C. : efficienza e strutturazione

1. Superamento del FOL verso linguaggi ad inferenza limitata: *contrazioni* del FOL alla ricerca di proprietà computazionali migliori (es. i linguaggi di *programmazione logica*, i linguaggi *terminologici*)
2. Linguaggi di rappresentazione che propongono meccanismi di strutturazione della conoscenza per guadagnare efficienza su forme particolari di inferenza (es. *reti semantiche* e connettività, *frame* e aggregazione, *ereditarietà*). FOL per la semantica