

Sistemi di Elaborazione dell'informazione II

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Telematica

II anno – 4 CFU

Università Kore – Enna – A.A. 2009-2010

Alessandro Longheu

<http://www.diiit.unict.it/users/alongheu>

alessandro.longheu@diiit.unict.it

Dati Semistrutturati: Logica e Proof

Logica nel Web Semantico

- Logic is likely to play many different roles for the Semantic Web. The term logic, as used here, is intended to indicate formal logic. Proofs trace or explain the steps of logical reasoning.
- Oggetto di studio della **logica** sono i nessi inferenziali tra enunciati. Col termine enunciato, o proposizione, ci si riferisce a "qualunque espressione linguistica che possa essere vera oppure falsa"; un'inferenza è un processo che, a partire da alcuni enunciati di partenza - le premesse -, consente di asserire un altro enunciato - la conclusione -. Tradizionalmente la logica si occupa solo di inferenze deduttivamente valide . In logica, lo studio delle inferenze valide si basa su:
 - un **linguaggio formale** in cui esprimere come formule premesse e conclusioni;
 - delle **regole di inferenza** che, operando sulle formule, consentano di derivare delle conclusioni dalle premesse.

Logica nel Web Semantico

Where and how would logic be useful in the design of software for the Semantic Web?

Consider the following example of reasoning:

“OK, you say you’re Mr. Robert Smith, your driver’s license says you’re Mr. Robert Smith, the picture looks like you, the age seems right, and a Mr. Robert Smith of the same address has an account at this bank, so according to our bank rules I can cash your check.”

Logica nel Web Semantico

- Given the statement, we can expect to see logic at work in at least the following ways:
 1. How to **Apply and evaluating rules**, as in Mr. Smith's check-cashing adventure. Note that in addition to simple if...then...else rules, the SW will have additional needs:
 - A Web-compatible **language for expressing rules**. Currently, no such standard exists. There are developing proposals for using rules with RDF. Topic Map systems have been used to define sets of rules.
 - The ability to specify the kinds of rules and their **relationships and constraints**. This by rights should be part of ontology, but rules capability hasn't yet been integrated with the likely standard ontology languages.
 - Ways to handle **incompatible rules**. If rules are collected from several sources distributed across the Web, some of them might be incompatible.

Logica nel Web Semantico

2. How to **Infer facts** that haven't been explicitly stated. If Mr. Smith is found to have a mother named Susan, then it may be inferred that there is a female person called by that name.
3. Explaining **why a particular conclusion has been reached**. A system could explain why Mr. Smith should be granted the privilege of having his check cashed. This capability may turn out be quite important.
4. Detecting **contradictory statements** and claims.
5. Specifying **ontologies** and vocabularies of all kinds.

Logica nel Web Semantico

- Concerning with ontologies, logic is used to represent knowledge, at least the kind of knowledge that is well defined enough to be clearly stated and discussed.
- Ontology supplies the concepts and terms; **logic provides ways to make statements that define and use them**, and to reason about collections of statements that use the concepts and terms.
- Where will those “collections of statements” come from? From web pages, from databases, and from other knowledge bases. They may be expressed in RDF, stored as a topic map, or contained in a SOAP message

Logica nel Web Semantico

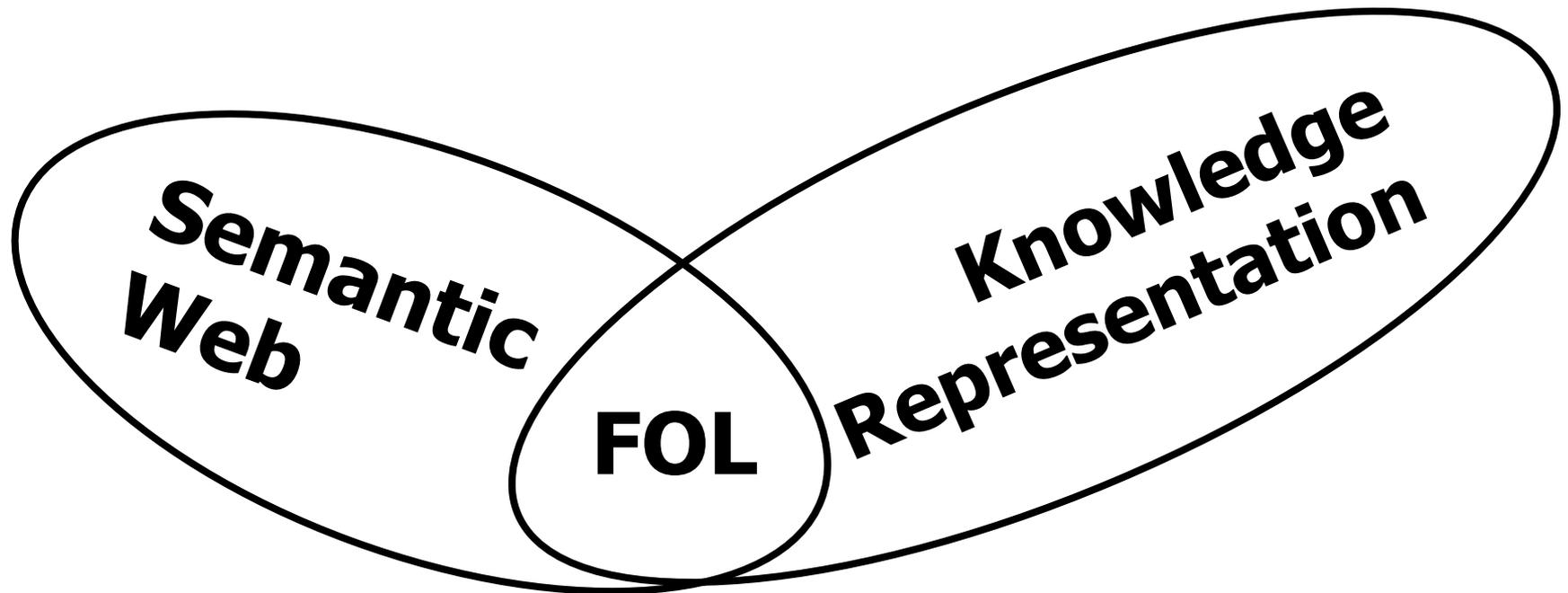
6. How to **Represent knowledge**. Logic plays an important role here. In part, logic describes the kinds of things that may be said about a subject, and how those statements are to be understood.
7. Playing a key role in the statement and execution of **queries** to obtain information from stores of data on the Semantic Web. Note that queries might need to operate across distributed sources of data (reconcile different ontologies with contradictory information), which poses an **effectiveness** question. Moreover, a response may require many inferences (**efficiency** issues).
8. How to **Combine information from distributed sources** in a coherent way.

Logica nel Web Semantico

- To satisfy such needs, several logics can be considered. Philosophers and mathematicians, have thought and argued about logic and reasoning for thousands of years. The variety of “logics” can seem overwhelming: first-order logic, second-order logic, temporal logic, modal logic, fuzzy logic, description logic and others.
- The use of logic is not the only possibility. Indeed, the question is how knowledge can be represented and managed (knowledge representation, or KR), a topic often related to artificial intelligence (AI)

Logica nel Web Semantico

The logic is the meeting point of SW and KR:



Logica nel Web Semantico

- Il settore dell'AI, conosciuto anche come rappresentazione della conoscenza (KR), ebbe origine nella seconda metà degli anni sessanta. L'obiettivo era quello di sviluppare dei formalismi atti alla rappresentazione della conoscenza nei sistemi di AI. Un sistema di KR deve possedere:
 - un linguaggio di rappresentazione;
 - un insieme di regole che consentano di manipolare le strutture sintattiche ed ottenere le inferenze desiderate; le regole devono poter essere formulate sotto forma di procedure implementabili.
- Tali requisiti risultano essere soddisfatti dai sistemi formali sviluppati in logica matematica. Alcuni ricercatori di IA hanno tuttavia ritenuto che la logica non fosse adatta ed hanno proposto formalismi di rappresentazione alternativi quali reti semantiche, frame, sistemi a regole di produzione.
- Nel seguito si presenta un **escursus su tutte queste tecniche, approfondendo la prima (la logica)**

Logica nel Web Semantico

- La **logica proposizionale** cattura le forme più semplici di inferenza logica, ossia quelle della cui validità si può render conto senza prendere in considerazione la struttura interna delle proposizioni, supposte come atomiche
- Le proposizioni atomiche possono essere combinate per creare delle proposizioni complesse. Il linguaggio formale della logica proposizionale consente di rappresentare le proposizioni composte sfruttando dei **connettivi proposizionali** (negazione, congiunzione, disgiunzione, condizionale). Il significato dei connettivi può essere schematizzato attraverso le **tavole di verità** (nelle quali è possibile vedere come al variare del valore di verità delle formule A e B, varia il valore di verità delle formule ottenute utilizzando i diversi connettivi).

Logica nel Web Semantico

Vediamo alcuni semplici **esempi di inferenze** che si possono analizzare a livello proposizionale.

1) Socrate dice: “Se io sono colpevole, allora devo essere punito; io sono colpevole. Quindi devo essere punito”.

Il ragionamento di Socrate è logicamente corretto. Passando alla forma logica (ponendo $A =$ “io sono colpevole” e $B =$ “devo essere punito”), la regola di inferenza (detta modus ponens):

da $A \rightarrow B$ e A segue B è corretta. Infatti, come si desume dalla tavola di verità del condizionale, se sono vere $A \rightarrow B$ e A (e quindi siamo nella prima riga), allora è vera B .

Logica nel Web Semantico

2) Socrate dice: "Se io sono colpevole, allora devo essere punito; ma io non sono colpevole, dunque non devo essere punito".

Il ragionamento di Socrate non è logicamente corretto. Passando alla forma logica, si può constatare che:

da $A \rightarrow B$ e $\neg A$ non segue logicamente $\neg B$.

Infatti, dal fatto che, se A è vera, allora è vera B , non segue che, se A è falsa (ossia è vera $\neg A$), allora B è falsa (è vera $\neg B$)

Logica nel Web Semantico

3) Socrate dice: "Se io sono colpevole, allora devo essere punito; ma io non devo essere punito, dunque non sono colpevole". Il ragionamento di Socrate è logicamente corretto. La seguente regola (detta *modus tollens*): da $A \rightarrow B$ e $\neg B$ segue logicamente $\neg A$ è corretta. Infatti, dal fatto che, *se A è vera, allora è vera B , segue che se B è falsa (è vera $\neg B$), allora A è falsa (è vera $\neg A$), perché, se A fosse vera, allora sarebbe vera B contro l'ipotesi.*

4) Socrate dice: "Se io sono colpevole, allora devo essere punito; devo essere punito. Quindi sono colpevole".

Il ragionamento di Socrate non è corretto: *da $A \rightarrow B$ e B non segue logicamente A .* Infatti, da "Se Carlo è genovese, allora Carlo è ligure" e "Carlo è ligure" non segue "Carlo è genovese": le due premesse sono entrambe vere e la conclusione falsa se, ad esempio, Carlo è nato a Savona o a La Spezia.

Logica nel Web Semantico

- Non tutte le inferenze valide possono essere formalizzate con gli strumenti della logica proposizionale. In questa infatti, sono rilevanti solo i connettivi vero-funzionali che compaiono nelle proposizioni composte che costituiscono le premesse e la conclusione. In esse non hanno alcun ruolo le strutture interne delle proposizioni. La correttezza di molte inferenze si basa invece sulla **struttura interna delle proposizioni** semplici che intervengono in esse.
- Inoltre, si consideri che se è ovvio che un'affermazione vale "per ogni x ", vale per **ciascun individuo singolarmente**, non è vero il viceversa: ciò che vale per un individuo non vale, in generale, per tutti gli individui (da "Carlo è ligure" non è ovviamente lecito dedurre che "Tutti sono liguri"). Tuttavia, per dimostrare che una proprietà vale per tutti gli individui di un certo insieme, spesso la si dimostra per "un unico" individuo: il procedimento è lecito se non si sfrutta nessuna proprietà particolare di tale individuo.

Logica nel Web Semantico

- Per potenziare la capacità rappresentativa della logica dei predicati ed (1) analizzare la struttura interna dei predicati ed (2) operare con i quantificatori, si introduce la **logica dei predicati del primo ordine**, caratterizzata da un alfabeto e da un insieme di formule ben formate (fbf):
- **L'alfabeto** della logica dei predicati è costituito da:
 - (a) costanti individuali: a, b, c, \dots
 - (b) variabili individuali: x, y, z, \dots
 - (c) costanti predicative: P, Q, R, \dots
 - (d) simboli per i connettivi proposizionali: $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow$ e \leftrightarrow
 - (e) simboli per i quantificatori universale ed esistenziale: \forall (per ogni) e \exists (esiste)
 - (f) parentesi aperta e chiusa: $($ e $)$.

Logica nel Web Semantico

- Le **formule ben formate (fbf)** della logica dei predicati sono stringhe di simboli dell'alfabeto. Ad esempio: Pa , Qb , Rab , $\neg Rab$, $\exists xRax$
- Le fbf che hanno la caratteristica di non contenere variabili libere (tutte le variabili individuali sono vincolate da quantificatori, ossia nel raggio d'azione del quantificatore) sono dette chiuse. Nelle regole di inferenza spesso compaiono le **fbf chiuse** che formalizzano le premesse e la conclusione delle inferenze.
- Le fbf non chiuse sono dette aperte e contengono variabili libere; ad esempio sono **fbf aperte**: Px , Rxy , Rxc , $Pa \wedge Qx$, $Rax \vee Rby$, $\forall yRxy$ (x è libera), $\exists xRxy$ (y è libera)

Logica nel Web Semantico

- Le fbf aperte **non rappresentano proposizioni ma predicati** (a tanti argomenti quante sono le variabili libere). Ad esempio Px , Rxc , $Pa \wedge Qx$, $\forall yRxy$, $\exists xRxy$, $\exists xRax \rightarrow Ray$ formalizzano predicati ad un argomento (proprietà): nelle prime quattro è libera la variabile x e nelle ultime due è libera la variabile y . Nelle fbf Rxy e $Rax \vee Rby$ sono libere entrambe le variabili x e y e quindi esse formalizzano predicati a due argomenti (relazioni binarie).
- Con $A(x)$ e $B(x)$ si denotano fbf aventi x come variabile libera. Con $A(a)$ si intende la fbf chiusa ottenuta sostituendo le occorrenze della variabile libera x con la costante individuale a . In questi casi si può usare anche un'altra variabile o un'altra costante.

Logica nel Web Semantico

- **Esempio di logica del primo ordine (FOL):** La proposizione "Elisa ama Massimo" si può formalizzare con Rab (dove R indica la relazione binaria di "amare", a sta per "Elisa" e b per "Massimo"). Se scriviamo Rxb , Rax e Rxy abbiamo tre espressioni per i predicati "x ama Massimo" (proprietà), "Elisa ama y" (proprietà), "x ama y" (relazione binaria).
- Nella logica dei predicati continuano a valere le regole corrette della logica proposizionale, basta che si considerino A, B, C, \dots non come lettere proposizionali (atomiche), ma come fbf chiuse qualsiasi.
- La FOL possiede (altre) quattro regole logiche relative ai quantificatori, dette regole di eliminazione e di introduzione del quantificatore universale e esistenziale, le quali in aggiunta alle regole del calcolo proposizionale, consentono di giustificare tutte le altre regole logiche della logica dei predicati del primo ordine.

Logica nel Web Semantico

- Si dice logica dei predicati del primo ordine quella in cui si introducono nomi per individui e per predicati e le variabili sono solo quelle individuali (e quindi si possono quantificare universalmente o esistenzialmente solo le variabili individuali). Se si introducono anche variabili per predicati e nomi per “predicati di predicati” (e quindi si possono quantificare anche le variabili predicative) si passa alla **logica dei predicati del secondo ordine**, that adds extensions that allow general statements to be made about whole classes of properties and relationships. This provides a capability to describe them in great detail, at the expense of more demanding computation.

Logica nel Web Semantico

- FOL is generally considered the most significant and most complete logic, because the higher-order logics can be considered extensions of it. FOL is also considered fundamental because (with a bit of extension) it can define all of mathematics. For this reason **FOL is frequently (the only logic) adopted within SW**
- However, to define the classification categories themselves and to talk about their relationships, we also need higher-order logic. That would be undesirable because solving even full FOL problems, let alone second-order logic problems, can be intractable. In many cases, the computations are resource intensive; in some cases, no answer can be computed, even in principle. For this reason, it's necessary to **impose some restrictions on the forms of logic that are allowed**

Logica nel Web Semantico

- Logicians have been developing **FOL subsets** specialized for classifying things for many years. A certain group of these forms of logic has come to be called **Description Logics**. Since they're designed for classification tasks, they're good for creating ontologies.
- Other variants:
 - **temporal logic**, where a statement may be true at one time but not at another ("Today I turned 60 years old").
 - There are various **modal logics**, in which statements may be contingent in various ways instead of just being true (or false)—that is, they might be true but aren't necessarily true. One such contingency or mode is possibility ("It's possible that I own a Jaguar automobile"). There are many others ("I intend to go to work this morning;" "I know that $2 + 2 = 4$ "), each of which potentially has its own variety of modal logic.

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- La logica come strumento di knowledge representation è stata oggetto di varie critiche.
- Una prima obiezione è relativa al fatto che le rappresentazioni logiche sono poco strutturate, da ciò ne consegue che la conoscenza viene rappresentata mediante diversi enunciati tra loro indipendenti quindi le informazioni risultano sparpagliate.
- Inoltre esistono tipi di inferenza non riconducibili a inferenze deduttivamente valide
- Sono state quindi presentate altre proposte alternative

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Una delle principali alternative alla logica è rappresentata dalle **reti semantiche**.
- Le reti semantiche costituiscono una classe di sistemi di rappresentazione tipici dell'IA. L'idea che ne è alla base è quella di utilizzare come strumento di rappresentazione un grafo, in cui ad ogni nodo è associata un'entità concettuale e in cui le relazioni fra le entità concettuali sono rappresentate mediante archi che connettono i nodi.
- Se la struttura generale può essere descritta agevolmente in questo modo bisogna anche precisare che sono stati sviluppati nel tempo diversi tipi di reti semantiche.
- Rispetto ai modelli basati sulla logica, le reti semantiche dovrebbero consentire di rappresentare la conoscenza con delle strutture associative più simili a quella ipotizzata per la memoria umana.

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Nell'ambito dell'AI, le reti semantiche furono sviluppate a partire dal **modello computazionale di Quillian** (i cui interessi erano di tipo prevalentemente psicologico) sulla struttura della memoria e sulla rappresentazione della conoscenza lessicale.
- L'obiettivo di Quillian era quello di fornire un modello dell'organizzazione della memoria semantica di un essere umano (secondo il modello di Quillian, i concetti o significati delle parole nella mente sono interconnessi mediante una struttura reticolare).
- In tale modello erano presenti molte caratteristiche tipiche dei sistemi a rete semantica successivi: ad esempio gli archi che rappresentano relazioni di sottoclasse fra concetti diventeranno un costrutto fondamentale di quasi tutte le reti semantiche.

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Tali meccanismi evolveranno in seguito nel principio dell'**ereditarietà fra concetti**, in base a cui i concetti più specifici ereditano le caratteristiche dei loro superconcetti più generali.
- Collins e Quillian nel 1970 presentarono un tipo di rete che ebbe grande importanza per gli sviluppi successivi della ricerca:
 - privilegiando il ruolo degli archi del tipo **superset** i quali strutturano la rete come una gerarchia di concetti.
 - Le proprietà più generali venivano introdotte ai livelli più alti della tassonomia e diventava esplicito in tal modo il meccanismo dell'ereditarietà;
 - inoltre veniva esplicitato il meccanismo per cui proprietà definite a livelli più specifici potevano "cancellare" proprietà incompatibili derivanti dai livelli superiori.

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Importanti innovazioni furono successivamente introdotte da **Carbonell**, ossia la distinzione fra **concept units e example units** (nodi che rappresentano concetti generali e nodi che rappresentano istanze specifiche).
- Uno dei più noti formalismi a rete semantica è rappresentato dalla **teoria della dipendenza concettuale di R.Schank**. Quest'ultimo identifica un insieme di azioni primitive che, se opportunamente combinate, dovrebbero consentire di costruire la rappresentazione del significato di qualsiasi verbo. Inoltre in tale teoria viene definito un insieme di relazioni di dipendenza concettuale (relazioni concettuali fra azioni primitive e oggetti o situazioni del mondo).

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Un diverso tipo di sistema di rappresentazione della conoscenza fu proposto da **Minsky: i frames**.
- Minsky parte dal presupposto che molte teorie proposte sia in psicologia sia in IA prevedono rappresentazioni di tipo troppo locale e poco strutturato per risultare adeguate come rappresentazioni della conoscenza di senso comune e per servire da base alla simulazione di comportamenti intelligenti.
- I frame sono un tipo di rappresentazione più strutturato e complesso, basato sull'idea che la memoria umana sia strutturata in un insieme di schemi (rappresentazioni stereotipiche di oggetti e situazioni). Gli esseri umani, di fronte a delle situazioni nuove, identificano lo schema che meglio si applica ai dati disponibili e agiscono sulla base delle informazioni in esso disponibili.

Intelligenza artificiale e knowledge representation

- Un punto di svolta nella ricerca sulla rappresentazione della conoscenza è costituito dai lavori di W.Woods, secondo cui non esisteva alcuna teoria delle reti semantiche. Propose pertanto di introdurre nelle reti semantiche un formalismo rigoroso.
- Come risposta alla richiesta di rigore di Woods, R.Brachman propose una classe di formalismi detti **reti semantiche ad ereditarietà strutturata**.
- Verso la fine degli anni '70, seguendo i principi di queste ultime, Brachman sviluppò un sistema di rappresentazione della conoscenza, denominato **KL-ONE**, che ebbe grande influenza sugli sviluppi successivi della ricerca. Questo sistema può essere considerato il capostipite dei sistemi di rappresentazione della conoscenza basati sulle logiche descrittive.