

Linguaggio naturale come strumento per la rappresentazione della conoscenza: Il modello UNO

Alessandro Pulidori

Il linguaggio naturale è un linguaggio di rappresentazione

Particolarmente adatto a rappresentare ed utilizzare conoscenza in un dominio non ben formalizzato.

Meccanismi di rappresentazione ed inferenza completamente diversi da quelli di un qualsiasi sistema di ragionamento automatico e di rappresentazione della conoscenza(KR).

Caratteristiche del linguaggio naturale

1. Il linguaggio naturale è **espressivo** e **computazionalmente trattabile**.
2. Il linguaggio naturale è **altamente strutturato**.
3. Il linguaggio naturale è **"general purpose"**.
4. Informazioni non verbali (visive, sensoriali) possono essere rappresentate per mezzo di enunciati in linguaggio naturale.
5. Contraddizioni e ridondanza logica permettono di individuare lacune di conoscenza, false credenze e per associare un significato ad espressioni non letterali.
6. Il linguaggio naturale è sottospecificato e **dipendente dal contesto**.
7. Il linguaggio naturale facilita enormemente l'**apprendimento** e l'**acquisizione della conoscenza**.
8. Non ci sono distinzioni tra **"object-level"** e **"meta-level"**.

Considerazioni

Pregi e difetti della rappresentazione ed inferenza tramite il linguaggio naturale devono essere ancora studiati intensamente.

Alcune caratteristiche computazionali del linguaggio naturale sono molto interessanti, ma possono anche confondere. Per esempio, il fatto di essere molto espressivo e computazionalmente trattabile allo stesso tempo, è in diretto contrasto con la teoria della computazione.

Un noto difetto del linguaggio naturale sta nel non essere molto adatto a rappresentare le immagini ed a ragionare su di esse.

I designer di sistemi KR tendono quindi a replicare le buone caratteristiche del linguaggio naturale, perché siano perlomeno equivalenti a quello umano, discostandosene in corrispondenza dei difetti per realizzare sistemi migliori di quello umano.

La rappresentazione del significato del linguaggio naturale

Non necessariamente include sistemi di ragionamento automatico o KR.
Questi sistemi saranno necessari solo dopo che sarà dimostrato che portano qualche vantaggio di rappresentazione o ragionamento rispetto al linguaggio naturale.

Ciò può essere dimostrato solo dopo un'approfondita comparativa tra i vantaggi portati dai sistemi KR e da quelli portati da sistemi basati sul linguaggio naturale, e dopo aver visto quali vantaggi portano task effettuati su sistemi con input in linguaggio naturale.

KR per l'elaborazione del linguaggio naturale

La ricerca riguardo l'utilizzo di sistemi KR per l'NLP non sta dando buoni risultati.
Guardando i sistemi KR sotto l'ottica del linguaggio naturale, questi sono spesso sbagliati, o comunque deboli ed incompleti.
Inoltre questi sistemi spesso non trattano problemi reali, ed è difficile stabilire se sono efficienti o meno.

Ciò però non significa che i sistemi KR siano inutili, anzi in alcuni casi rivelano delle debolezze del linguaggio naturale.
Questi sistemi possono rappresentare, quindi, valide alternative di rappresentazione al linguaggio naturale, soprattutto quando trattano campi in cui quest'ultimo è debole.

Comprensione del linguaggio naturale per l'acquisizione della conoscenza

Il ruolo principale del linguaggio naturale è quello di accumulare, gestire e comunicare conoscenza.

La comprensione del linguaggio naturale è vista come un processo di acquisizione di conoscenza da enunciati in linguaggio naturale, e del suo aggiornamento.

Il processo si riferisce sempre ad una conoscenza esistente, che rappresenta parte del contesto.

La linguistica classica necessita delle revisioni

E' necessario passare dal concetto di significato "speaker-only based" al concetto "speaker and hearer based".

Il significato che vuol comunicare chi parla è importante tanto quanto quello compreso da chi ascolta.

Chi ascolta infatti può derivare, giustamente o no, nuova conoscenza da ciò che ha sentito (significati non letterali).

Il passaggio si rende necessario proprio per rappresentare i casi in cui un enunciato porti con se significati non letterali, che vengono derivati da chi ascolta basandosi sulla propria conoscenza.

Esempi

With No Explicit or Implicit Context Literal Meaning of Single Sentences in Knowledge	Enriched Sentences Reflect Knowledge Gained from Understanding Sentences in Context
<i>Every student works hard</i>	<i>Every student works</i> <i>Every smart student works hard</i> <i>Every smart student works</i> <i>Every extremely smart student works</i> <i>Every not very happy student works</i>
<i>Some very smart students don't work</i>	<i>Some smart students don't work</i> <i>Some extremely smart students don't work hard</i> <i>Some students don't work hard</i> <i>Some students don't work</i>
<i>Some, but not many, people work</i>	<i>Some people work</i> <i>Not many people work</i> <i>Not very many people work</i>
<i>He is extremely happy</i>	<i>He is very happy</i> <i>He is happy</i> <i>He is not very unhappy</i> <i>He is not very sad</i>
<i>John doesn't walk</i>	<i>John doesn't walk fast</i> <i>John doesn't walk very fast</i> <i>John doesn't walk too fast</i> <i>John doesn't walk late at night</i> <i>John or Mary doesn't walk</i> <i>John or Mary doesn't walk fast</i>
<i>I like it</i>	<i>I like it</i> <i>I don't like it</i> <i>I don't like it very much</i>

Significato letterale

In quest'ottica il significato letterale di un enunciato è ciò che ogni individuo riuscirebbe a derivare in assenza di contesto implicito od esplicito.

I meccanismi di inferenza per comprendere il significato letterale di un enunciato sono patrimonio più o meno di ogni individuo che si esprime in linguaggio naturale, sono comuni a tutti

Ciò che distingue gli individui è la capacità di derivare significati non letterali diversi, anche contraddittori, partendo dallo stesso enunciato.

Significato non letterale

E' tutta la conoscenza, dipendente dal contesto, che un individuo può potenzialmente riuscire a derivare da una frase in linguaggio naturale. Potenzialmente perchè, partendo da un enunciato, e basandosi sullo stesso contesto, un individuo può derivare un significato, mentre un altro no, o addirittura due individui possono derivare significati in contraddizione, ortogonali.

E' possibile individuare molti significati non letterali analizzando la ridondanza e le contraddizioni logiche presenti nella conoscenza acquisita.

Modello UNO per il linguaggio naturale

Solido modello computazionale e matematico per il linguaggio naturale.

L'acquisizione, l'aggiornamento e la derivazione della conoscenza in questo modello si basa su semplici operazioni booleane, effettuate sulle rappresentazioni degli enunciati in input, in linguaggio naturale, e sulle rappresentazioni della conoscenza precedentemente acquisita, contenute in una knowledge base.

Questo modello segue strettamente la rappresentazione ed il ragionamento in linguaggio naturale.

Le procedure di trasformazione, le strutture dati ed il motore inferenziale sono motivate dagli aspetti semantici, pragmatici e dalla dipendenza dal contesto del linguaggio naturale.

I problemi di ricerca hanno motivato il modello

Un vantaggio della vicinanza del modello con il linguaggio naturale è la semplicità con la quale possiamo acquisire conoscenza da documenti testuali.

Il modello è frutto di risultati di ricerca riguardo i problemi di:

1. costruzione di un modello generale semantico di rappresentazione ed inferenza della negazione nel linguaggio naturale
2. ragionamento riguardo le logiche temporali, assolute o relative, nel linguaggio naturale
3. aspetti semantici, pragmatici e di contesto degli aggettivi negativi intenzionali.

Alcuni aspetti tecnici

Le frasi che asseriscono proprietà degli individui, descrivono relazioni di sottotipo o sono descrizioni di concetti possono essere rappresentate da un'equazione del tipo:

$$\text{type} == \{ \langle P1, T P1 \rangle, \langle P2, T P2 \rangle, \dots, \langle Pn, T Pn \rangle \}$$

La parte sinistra dell'equazione rappresenta l'entità trattata, è il nome del concetto rappresentato.

La parte destra dell'equazione è un "insieme di coppie" di due elementi dove:

- P è una proprietà dell'entità rappresentata con le regole del modello UNO
- TP è un insieme di due elementi $\langle t, p \rangle$ rappresentante il fatto che la proprietà P assume il valore dato nell'intervallo assoluto di tempo t con probabilità p .

KB nel modello UNO

Il modello UNO utilizza KB create automaticamente o a mano, che permettono di:

- rispondere a domande riguardo alle proprietà di un'entità o di un concetto presente nella KB
- trovare corrispondenze tra particolari proprietà di entità o concetti differenti presenti nella KB.

Sottospecificazione

Gli enunciati in linguaggio naturale sono sottospecificati per l'indisponibilità di alcune informazioni, la loro irrilevanza, o perché alcune parti si evincono dal contesto.

Esattamente come il linguaggio naturale, la rappresentazione UNO è sottospecificata.

Ciò implica che se un enunciato è sottospecificato, per esempio riguardo ad informazioni temporali o probabilistiche, anche la sua rappresentazione lo sarà, e per comprenderlo sarà necessario un processo di ragionamento, esattamente come per l'uomo.

Esempi di rappresentazione UNO

I blocchi del modello UNO, utilizzati per la rappresentazione dei valori delle proprietà, sono composti da:

- una testa (head), rappresentante il tipo
- un corpo (body), rappresentato da una lista, anche vuota, di coppie attributo → valore.

Per esempio, la frase inglese "sick, very unhappy woman", è rappresentata dal termine:

[woman(health → sick, happy → (not happy)(degree → very))]

Continua...

Il termine ha un unico elemento, con tipo "woman" come testa, ed il relativo corpo è composto dagli attributi

- "health", con valore "sick" che è un attributo semplice
- "happy", con valore "(not happy)(degree → very)" che è un attributo complesso con testa "not happy" ed un attributo "degree" con valore "very"

Semanticamente, questa struttura dati individua un sottoinsieme del tipo corrispondente al valore della testa, in questo caso "woman".

Operazioni booleane

Le operazioni booleane del modello UNO, cioè l'unione, l'intersezione, la negazione, ricalcano le operazioni di congiunzione, disgiunzione e negazione comuni nel linguaggio naturale.

Possiamo quindi affermare che il modello inferenziale basato su queste operazioni simula esattamente quello del linguaggio naturale, e la natura booleana di queste operazioni le rende computazionalmente efficienti.

L'efficienza computazionale porta vantaggi

Infatti, grazie a questa proprietà, il modello UNO permette di elaborare efficientemente relazioni semantiche all'interno dei termini, come:

1. derivazione, e il suo duale sussunzione, tramite l'inclusione in un insieme
2. congiunzione, in caso di intersezione non vuota di insiemi
3. disgiunzione, in caso di intersezione vuota di insiemi

Nel modello UNO, queste relazioni sono fondamentali per:

1. dedurre nuova conoscenza in linguaggio naturale, e quindi poter rispondere alle domande create dalla KB come risultato del processing dell'input in linguaggio naturale
2. aggiornare la KB
3. identificare le lacune di conoscenza della KB e porvi rimedio.

Implementazione di un sistema NLP basato sul modello UNO

Caratteristiche principali:

- rappresentazione uniforme e condivisa della conoscenza, disponibile per tutti i moduli che compongono il sistema
- nessun bisogno di esperti per la costruzione della KB, in quanto si crea automaticamente
- le interfacce non effettuano nessuna traduzione tra la rappresentazione interna della conoscenza e quella visualizzata agli utenti del sistema.

Architettura del sistema

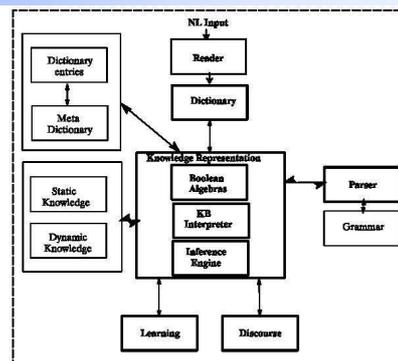


Figure 1: Modules of the UNO natural language processing system

Linguaggio naturale per rappresentare gli insiemi

Nel linguaggio naturale, nomi comuni, verbi ed aggettivi rappresentano insiemi.

I termini di queste categorie sintattiche possono essere pensati come indicatori di entità, per esempio "persone", "oggetti", "eventi", che hanno delle proprietà rappresentate dagli stessi termini.

In quest'ottica il nome comune "donna", il verbo "cammina" e l'aggettivo "rosso", sono insiemi che hanno le proprietà donna, cammina e rosso.

Nel modello UNO queste parole sono considerate termini primitivi, e vengono rappresentati dai termini [donna], [cammina] e [rosso] rispettivamente.

Continua...

Da questo punto di vista, quindi, gli aggettivi e gli avverbi sono visti come modificatori che identificano sottoinsiemi di insiemi noti.

Per esempio, il sintagma nominale "donna felice", rappresenta un sottoinsieme dell'insieme relativo al nome comune "donna", e il sintagma nominale "donna molto felice" è a sua volta un sottoinsieme dell'insieme identificato dal sintagma "donna felice", oltre ad esserlo per l'insieme identificato dal nome "donna".

Importanza del concetto di sottoinsieme

Capire il concetto di sottoinsieme è fondamentale per derivare conoscenza a partire dagli enunciati raccolti.

Per esempio, l'enunciato "Sam è una donna molto felice" implica gli enunciati "Sam è una donna" e "Sam è una donna felice", perchè l'insieme identificato dal termine "donna molto felice" è contenuto negli insiemi identificati dai termini "donna" e "donna felice".

Ripercussioni sul modello UNO

Nel modello UNO i sintagmi nominali "donna", "donna felice" e "donna molto felice" hanno rappresentazione :

$t1 = \{woman\}$,

$t2 = \{woman(happy \rightarrow happy)\}$ e

$t3 = \{woman(happy \rightarrow happy(degree \rightarrow very))\}$.

L'operazione di intersezione è pensata per conservare la proprietà di sottoinsieme, che in questo caso dà come risultato:

$t1 \cap t2$ è uguale a $t2$,

$t1 \cap t3$ è uguale a $t3$,

$t2 \cap t3$ è uguale a $t3$.

Ciò permette di calcolare le implicazioni corrispondenti efficientemente.

Altre analogie

Nel linguaggio naturale, congiunzioni, disgiunzioni e negazioni, rappresentate con i termini booleani "e", "o", "non" sono equivalenti alle operazioni di unione, intersezione e complemento su insiemi.

Ciò è importante perchè, come abbiamo visto precedentemente, esiste l'equivalenza tra deduzione e inclusione in un insieme, tra congiunzione e intersezione non vuota tra insiemi e tra disgiunzione e intersezione vuota tra insiemi.

Congiunzione

Per esempio, da enunciati come "Sam è una professoressa e una madre" o "Sam è una donna sana e felice" vengono derivati gli enunciati "Sam è una professoressa", "Sam è una madre", "Sam è una donna sana", "Sam è una donna felice".

Nel modello UNO, la congiunzione viene rappresentata da un termine tipo:

$[donna(sana \rightarrow sana, felice \rightarrow felice)]$

Disgiunzione

Il sintagma nominale "un cane o un grosso gatto" è di tipo disgiuntivo. Basandoci su tale sintagma, dall'enunciato "Deve esserci un cane" viene derivato l'enunciato "Deve esserci un cane o un grosso gatto".

Ciò nel modello UNO viene rappresentato dal termine disgiuntivo, composto da due elementi:

[cane, gatto(dimensione→grosso)]

Negazione

Un enunciato del tipo "not very happy woman" è una negazione esplicita dell'enunciato "una donna molto felice".

L'enunciato è verificato se:

- l'entità non è una donna
- l'entità è una donna con la proprietà "not happy"
- l'entità è una donna felice dove felice è un attributo con grado "not very"

Ciò implica ben tre insiemi:

- un insieme identificato da un'entità con la proprietà "not woman"
- un insieme identificato da un'entità con la proprietà "(not happy) woman"
- un insieme identificato da un'entità con la proprietà "(not very) happy woman".

Negazione nel modello UNO

Ciò nel modello UNO è rappresentato dal termine:

not[woman(happy→happy(degree→very))]

Che è equivalente al termine composto dai tre elementi:

[not woman,
woman(happy→not happy),
woman(happy→happy(degree→not very))].

Linguaggio naturale per rappresentare intervalli

Nel linguaggio naturale abbiamo a disposizione una grande classe di espressioni, scalari, per denotare proprietà quantitative.

Questa classe include numeri ordinali e cardinali, aggettivi valutativi, avverbi e verbi.

Questi scalari individuano intervalli, e le operazioni di congiunzione, disgiunzione e negazione permettono di riferirsi ad intervalli complessi ed arbitrari costruiti su quelli semplici.

Le operazioni sugli scalari vengono effettuate con gli stessi operatori "e", "o", "non"; questi operatori vengono detti polimorfi in virtù del loro molteplice utilizzo.

Esempi

Per alcuni scalari, le operazioni di derivazione sono semplici. Per esempio, dalla frase "John ride sempre" viene immediatamente derivata la frase "Qualche volta John ride", in quanto l'intervallo definito dall'avverbio "qualche volta" è contenuto in quello definito da "sempre".

Nello stesso modo, una persona "stupida" è anche una persona "non estremamente intelligente".

Il termine "almeno" viene utilizzato per rappresentare lacune di conoscenza; per esempio, se vediamo un gruppo di cigni bianchi, potremmo dire che "alcuni cigni sono bianchi". Questo è equivalente al dire "almeno alcuni cigni sono bianchi".

Esempi di derivazioni

Category	Scalar Expression	Entailed Scalar Expression
Cardinal number	two not one	one not two
Determiner	all some not many	some not all not very many
Adverb	always never not often not often very often, but not always	sometimes not always not very often not very often sometimes
Verb	know not know not know not believe like not like not like	believe not know much not hardly believe not know like not like not love a lot
Adjective	certain not likely not likely terrible bad excellent not good stupid stupid	likely not certain not very likely not very good not very healthy good not excellent not bright not extremely bright

Table 3: Entailments of cross-categorical scalar expressions

Rappresentazione nel modello UNO

Il modello UNO formalizza gli scalari mettendoli in corrispondenza con i numeri nell'intervallo [0,1], con un approccio simile a quello definito dalla teoria fuzzy.

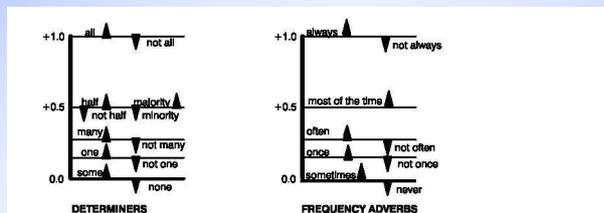


Figure 2: Frequency quantification: adverbs parallel scalar semantics of determiners.

Esempi di rappresentazione UNO

I termini "alcuni" e "molti" sono rappresentati da:

$$[[0,1],\uparrow] \quad [[L\text{molti},1],\uparrow]$$

dove $L\text{molti} > 0$

I verbi "piacere" ed "amare" sono rappresentati da:

$$[[L\text{piacere},1],\uparrow] \quad [[L\text{amare},1],\uparrow]$$

dove $L\text{piacere} < L\text{amare}$

Gli aggettivi "possibile" e "certo" sono rappresentati da:

$$[[L\text{possibile},1],\uparrow] \quad [[L\text{certo},1],\uparrow]$$

dove $L\text{possibile} < L\text{certo}$

Gli scalari "general purpose"

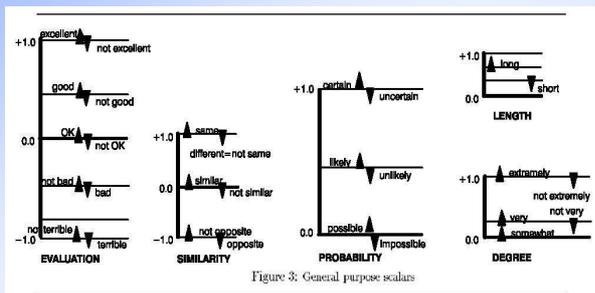


Figure 3: General purpose scalars

Linguaggio naturale per esprimere incertezza ed incompletezza

Il linguaggio naturale permette di esprimere incertezza ed incompletezza in due modi:

- con espressioni scalari contenenti probabilità e credenze, come per esempio la frase "John is likely, but not very likely, to be HIV positive"
- con disgiunzioni esplicite, come per esempio "John or Mary dances well"

Rappresentazione UNO

Ciò si rappresenta nel modello UNO con equazioni tipo:

John == {<[hiv(type→positive)], [likely(degree→not very)]>}

[Mary, John] == {dance(well=well)}

Linguaggio naturale per rappresentare il tempo

Il tempo è un'entità, le cui proprietà possono essere espresse in maniera analoga alle altre entità.

Comprendere le espressioni temporali non è molto diverso da comprendere le altre; inoltre non esistono differenze nel trattare intervalli di tempo assoluto o relativo.

Molte variabili qualitative general purpose vengono usate per descrivere il tempo.

Per esempio, dalla frase "a very good time" si deriva la frase "not a bad time" esattamente come si deriva la frase "not a bad book" dalla frase "a very good book".

Incompletezza ed incertezza legata al tempo

Può essere espressa a differenti livelli sintattici.

Per esempio, nella frase "It is very likely that X happened shortly before or after Y" c'è un'espressione di incertezza "very likely" insieme ad una disgiunzione "before or after Y".

In questo caso ci sono due possibilità:

- (shortly before) or after, quindi poco prima o dopo
- (shortly) before or after, quindi poco prima o poco dopo.

La seconda espressione porta con se più informazione, ed implica la prima.

Esempi di rappresentazione UNO

Riprendendo l'esempio di prima, la rappresentazione UNO conserva l'ambiguità dell'interpretazione e quindi la frase "shortly before or after" viene rappresentata dai termini:

T1 == [before(length → shortly), after]
T2 == [before, after](length → shortly)
dove T1 \sqcap T2 = T2

Linguaggio naturale per rappresentare conoscenza geografica

E' ampiamente dimostrato che il linguaggio naturale non è particolarmente adatto nella rappresentazione spaziale, però per alcuni aspetti può essere utilizzato, in particolare per il concetto di contenimento.

Il sistema UNO può gestire informazioni geografiche tramite una gerarchia semantica della conoscenza geografica.

Ciò permette, se nella KB si trovano enunciati del tipo "Detroit è nel Michigan" e "Il Michigan è negli USA", di derivare dalla frase in input "Bill è a Detroit", le frasi "Bill è in Michigan" e "Bill è da qualche parte negli USA"; e dalla frase "Bill non è nel Michigan" di derivare che "Bill non è a Detroit".

Linguaggio Naturale per apprendere e per l'acquisizione della conoscenza

Ci sono alcuni costrutti nel linguaggio naturale che offrono la possibilità di acquisire conoscenza; per esempio i sintagmi nominali che iniziano con un articolo determinativo tipo "the".

Per esempio, prendiamo la frase "A dog has been found in the backyard. The animal was dirty, but happy".

Comprendere la relazione tra "a dog" e "the animal" è semplice avendo a disposizione la conoscenza a priori che i cani sono animali.

Se questa conoscenza non c'è, possiamo comunque osservare la presenza di un sintagma nominale determinativo, e quindi capire che si riferisce ad un'entità precedentemente nominata nell'enunciato, così da acquisire la relazione di sottoinsieme tra "dog" e "animal".

Continua...

L'essenza dell'apprendimento è un meccanismo di formulazione ed organizzazione delle ipotesi, di ricerca nello spazio delle ipotesi e di lavoro con conoscenza parziale, incompleta.

Gli enunciati in linguaggio naturale permettono di rappresentare la conoscenza acquisita, fatti che possono essere veri o falsi. La disgiunzione permette di rappresentare le possibilità, mentre la negazione fornisce un mezzo per stabilire cosa è vero, per provare se un'ipotesi è infondata.

Sia la conoscenza di cosa è vero sia quella di cosa è falso sono importanti in questo processo di verifica.

Formare ipotesi induttive

Formare ipotesi nel linguaggio naturale è il duale di comprendere il significato letterale di un enunciato.

Data un'ipotesi iniziale, le ipotesi successive le saranno sintatticamente correlate.

Ciò porta due caratteristiche fondamentali per il successo dell'apprendimento e per la trattabilità computazionale:

- lo spazio delle ipotesi è drasticamente ridotto in virtù di questa relazione sintattica tra ipotesi successive
- cambiare ipotesi è semplice; se l'ipotesi corrente è vera, quella successiva non la deve invalidare, altrimenti si assume l'ipotesi corrente negata e si genera una nuova ipotesi da questo fatto

Operazioni possibili

Il linguaggio naturale offre queste possibilità di revisione di una ipotesi:

- rimpiazzare uno scalare debole con uno forte; per esempio rimpiazzare "alcuni" con "molti" o "tutti"
- eliminare le disgiunzioni; per esempio passare dalla frase "E' stato fatto da Aldo o Mario" a "E' stato fatto da Aldo"
- negare l'ipotesi corrente; per esempio passare dalla frase "Mario lavora bene" a "Mario non lavora bene"
- rimpiazzare un'espressione con un'altra logicamente più forte; per esempio passare dalla frase "Mario era in ritardo ieri e due giorni fa" a "Mario è sempre in ritardo"

Colmare le lacune

Quando ci troviamo in situazioni in cui non sappiamo o non riusciamo a derivare una conoscenza, viene spontaneo dire che questa conoscenza è falsa.

Questo è un meccanismo di ragionamento automatico dell'uomo, che serve per colmare le lacune della nostra conoscenza.

Per esempio, se sappiamo che "alcuni cigni sono bianchi", saremo portati a pensare che "non tutti i cigni" sono bianchi; il linguaggio naturale permette di esprimere questo concetto come congiunzione dei due con una frase del tipo "alcuni, ma non tutti i cigni, sono bianchi".

Questa frase rappresenta sia la frase originale che quella derivata.

Bibliografia

Lucja M. Iwanska, Stuart C. Shapiro: "Natural Language Processing and Knowledge Representation: Language for Knowledge and Knowledge for Language" Mit Press

Daniel Jurafsky, James H. Martin : Speech and Language Processing. An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics and Speech Recognition - ISBN 0130950696 - 975s Prentice Hall - 2000 -

Dispense disponibili in rete

Lucja M. Iwanska: "Natural Language Is A Representational Language"

[link](#)

Lucja Iwanska: "Description of the UNO natural language processing system as used for MUC-6"

[link](#)

All'interno di queste dispense ci sono molti riferimenti utili per approfondire la conoscenza del problema