

Dispensa I

## Classificazione

Dalla logica alle reti semantiche, andata e ritorno

## Le reti semantiche

### Note storiche

Intorno agli anni Sessanta del secolo scorso la ricerca in Intelligenza Artificiale si focalizza sulla rappresentazione della conoscenza. Trascorsa l'epoca dei meccanismi generali per la risoluzione di problemi, che hanno mostrato i loro limiti nella generalità delle procedure, arriva l'epoca della conoscenza esperta, focalizzata su un singolo dominio di conoscenza e, con essa, viene alla ribalta la rappresentazione della conoscenza, intesa come strumenti concettuali e linguaggi per rappresentare la conoscenza. Unico linguaggio per rappresentare la conoscenza era, in precedenza, la logica (e la logica dei predicati in particolare).

Le reti semantiche sono il frutto di un tentativo rivoluzionario di semplificare e adattare alla cognizione umana la rappresentazione della conoscenza. La nozione di “concetto” è eletta a fulcro della rappresentazione: nella rete semantica **i nodi rappresentano concetti e i collegamenti tra di essi da relazioni tra concetti**. Si tratta del primo segno di quello che sarà chiamato più tardi un approccio “epistemologico”, che si focalizza non sulla conoscenza espressa ma sulla mediazione effettuata dal linguaggio di rappresentazione stesso sul modo in cui la conoscenza viene espressa.

### Caratteristiche delle reti semantiche

Le reti semantiche introducono un *linguaggio* alternativo alla logica per rappresentare la conoscenza, composto di concetti e relazioni tra di essi. Dal punto di vista formale, la rete semantica è un grafo, struttura matematica formata da un *insieme di nodi* e da un *insieme di archi*. Ogni arco collega una coppia di nodi. Gli archi possono essere *orientati*, cioè avere una direzione: in tal caso, dire che *a* è *collegato a b* non è la stessa cosa che *b* è *collegato a a*. Non c'è limite al *numero* di archi che collegano un certo nodo ad altri archi (tale valore è detto anche grado di connessione di un nodo): ovviamente se la rete semantica deve servire anche come supporto alla cognizione umana, è preferibile che questo numero non sia elevato.

La tipologia di rete semantica descritta sopra è il **grafo relazionale**. Per avere un'idea di come funziona, si può fare ricorso a un dominio molto semplificato, il cosiddetto “mondo dei blocchi”, uno dei domini giocattolo, cioè limitati e semplificati rispetto al mondo reale, inventati dall'intelligenza artificiale per elaborare e sperimentare le proprie tecniche. Il mondo dei blocchi, in particolare, è utilizzato nella pianificazione automatica per creare problemi giocattolo su cui testare i pianificatori automatici. Con gli strumenti della logica dei predicati, la situazione descritta in figura potrebbe essere rappresentata nel modo seguente:

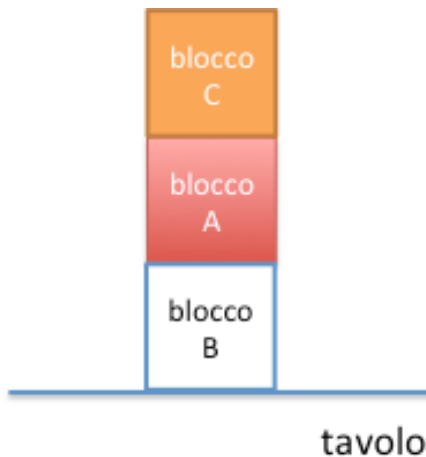


Figura 1: uno scenario del mondo dei blocchi

SU(BLOCCO\_A,BLOCCO\_B)  
SU(BLOCCO\_B,TAVOLO)  
ROSSO(BLOCCO\_A)  
BIANCO(BLOCCO\_B)  
SU(BLOCCO\_C,BLOCCO\_A)  
GIALLO(BLOCCO\_C)

La Fig. 2 raffigura invece la stessa situazione secondo lo stile di una rete semantica: i blocchi e i concetti ad essi collegati costituiscono i nodi della rete, le relazioni tra di essi (caratteristiche -o proprietà - dei blocchi e relazioni tra blocchi) costituiscono gli archi.

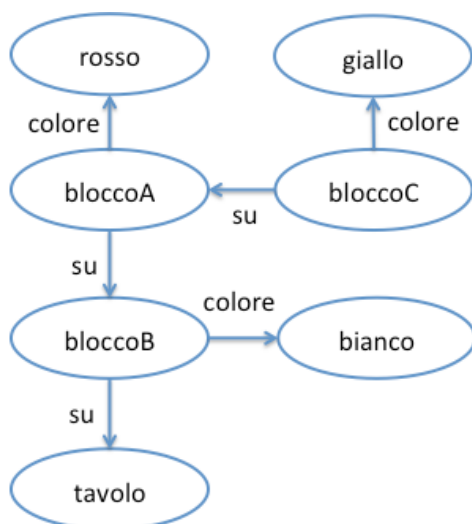


Figura 2: la rappresentazione di Fig. 1 in una semplice rete

La rappresentazione, poi, potrebbe essere estesa ad altre proprietà non raffigurate nella figura, per esempio il peso, la lucentezza, ecc. Si noti che le proprietà non *simmetriche* (cioè che non possono essere lette indifferentemente nelle due direzioni), come l'essere posto sopra un altro elemento (SU) e avere un certo colore, sono rappresentate da archi orientati.

Un guadagno evidente della rappresentazione offerta dalla rete semantica è dato dal fatto che essa traduce in un diagramma la descrizione di un dominio concettuale, offrendo la possibilità a chi ne fruisce di visualizzare con immediatezza le relazioni tra i concetti e di misurare, in termini di collegamenti, la “distanza” tra concetti. Questa caratteristica, conseguenza della natura topografica dello strumento di rappresentazione, contiene una nozione implicita di *rilevanza* delle informazioni: per esempio, le informazioni che interessando direttamente il concetto di “blocco a” sono individuabili facilmente nella rete in prossimità del nodo che rappresenta il concetto stesso, sotto forma degli archi che lo collegano agli altri concetti. Nella rappresentazione logica, invece, le formule che riguardano il cubo a non sono necessariamente vicine, anzi potrebbero essere disperse tra migliaia di formule. Mentre nella base di conoscenza di tipo logico non c’è alcun ordine tra i fatti che essa contiene, a meno che non sia stata sottoposta a una forma di indicizzazione successiva, nella rete semantica i collegamenti uscenti da un nodo ne indicano immediatamente le relazioni con altri concetti. Si tratta di un beneficio relativo, perché i) la rete è destinata ben presto alla proliferazione di archi e nodi quando ci si vuole rappresentare un dominio reale, perdendo la sua immediatezza a livello visivo, ii) anche le formule che costituiscono una base di conoscenza potrebbero essere raggruppate (ovvero *indicizzate*) per le costanti (i blocchi) o per i predicati, in modo da ovviare al problema della rilevanza e facilitare l’accesso ai dati. Inoltre, si provi a rappresentare la rete semantica ricorrendo a una modalità di rappresentazione diversa da quella grafica, ad esempio una tabella: otterremmo una rappresentazione equivalente alla rete ma che soffre della stessa problematica della base di conoscenza di tipo logico per l’utente umano, cioè la perdita del concetto di rilevanza implicito nella rappresentazione spaziale (per il calcolatore, infatti, la rappresentazione della rete non avviene comunque in forma grafica ma come tabella di relazioni tra nodi).

### Ragionamento nelle reti semantiche

Osservando la rete si nota anche un’altra proprietà interessante: la possibilità di utilizzarla per ragionare sulle relazioni tra i concetti. A differenza della logica, che utilizza il *modus ponens*, nella rete semantica occorre definire nuove procedure di ragionamento che si adattino alla modalità di rappresentazione propria della rete stessa. Per esempio, si consideri la relazione SU che collega il BLOCCO\_A al BLOCCO\_B e al TAVOLO. Se diamo della relazione un’interpretazione parafrasabile con l’espressione “essere in posizione superiore rispetto a”, ne consegue che la relazione diventa *transitiva*: un elemento che è in posizione superiore rispetto a un altro elemento, il quale è in posizione superiore a un terzo elemento, si trova anche in posizione superiore al terzo elemento. Nella logica del primordine per rappresentare la transitività di questa relazione occorre una regola di ragionamento:

Per ogni  $x, y, z$  tale che  $SU(x, y)$  e  $SU(y, z)$ , allora  $SU(x, z)$

Per  $x=BLOCCO\_A$ ,  $y=BLOCCO\_B$  e  $z=TAVOLO$ ,

dati  $SU(BLOCCO\_A, BLOCCO\_B)$  e  $SU(BLOCCO\_B, TAVOLO)$  ne consegue, per *modus ponens*,  $SU(B, TAVOLO)$

Quindi la rappresentazione del mondo dei blocchi, sia essa espressa in logica sia nella rete semantica, ci porta a concludere il BLOCCO\_A si trova in posizione superiore al tavolo, pur non

essendo posto direttamente su di esso, poiché è posizionato sopra il BLOCCO\_b che è posizionato direttamente sul TAVOLO.

Se vogliamo giungere alla stessa conclusione nella rete semantica, la procedura di ragionamento può essere vista come la costruzione del percorso dato dalla sequenza dei due collegamenti che rappresentano, rispettivamente, la relazione SU tra BLOCCO\_A e BLOCCO\_B e la relazione SU tra BLOCCO\_B e TAVOLO.

Anche in questo caso, però, è necessaria una regola che si applichi alla rappresentazione per giungere a inferire quanto desiderato. La regola in questione potrebbe essere espressa nel modo seguente: due (o più) collegamenti di un certo tipo (in questo caso, di tipo SU) consecutivi (cioè che hanno un nodo in comune, che è destinazione del primo e origine del secondo) sono equivalenti a un unico collegamento che ha come origine il nodo origine del primo collegamento e come destinazione il nodo destinazione del secondo collegamento.

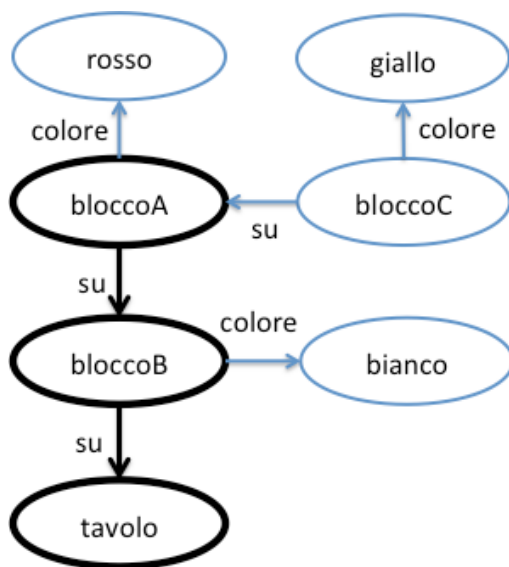


Figura 3: percorso composto dalle relazioni "su" tra i blocchi

Benché sia possibile formulare tale l'antecedente di tale regola come "*n* collegamenti consecutivi", una formulazione adeguata dal punto di vista operativo per la rete semantica può essere data nel modo seguente, utilizzando la ricorsione:

*un collegamento di tipo SU è uguale a un collegamento di tipo SU seguito da una sequenza di 0 o più collegamenti di tipo SU consecutivi.*

È interessante mettere a confronto le due rappresentazioni, ovviamente astraendo dalle problematiche che esse hanno in comune e che sono di natura filosofica e linguistica: ad esempio, come rappresentare la proprietà "il blocco\_x è di colore y"? Quale scelta è meglio tra rappresentare il colore come un predicato (ha\_colore\_rosso) e rappresentarlo come una relazione tra il cubo e una costante (relazione ha colore tra blocco\_x e il colore rosso)? Per completezza, anticiperemo che questo tipo di problematica, ovvero la rappresentazione delle qualità, è affrontata nell'ambito delle ontologie fondazionali.

Nonostante sia possibile ideare relazioni *ad hoc* per un certo dominio di conoscenza (colore, relazioni spaziali, ecc.), la maggior parte dei sistemi riconosce solo un certo numero di relazioni di base, di derivazione filosofica e linguistica: per esempio, le relazioni di tipo *mereologico* (ovvero parte-tutto), le relazioni *causali*, le relazioni *spaziali*, ecc. L'utilità di rappresentare tali relazioni è infatti dettata dall'utilizzo della rete semantica in applicazioni pratiche, di ragionamento o, storicamente, di elaborazione del linguaggio naturale. Relazioni mereologiche, causali, spaziali, ecc. sono normalmente codificate nelle basi di conoscenza lessicali, come vedremo in seguito.

### Tassonomia e ereditarietà

Spostando l'attenzione dalle relazioni ai nodi, pur con la limitata espressività del linguaggio delineato fino a ora, introduciamo nell'esempio altri nodi. La rete semantica di Fig. 2 a ben vedere rappresenta un tipo di concetti molto particolare, che corrispondono a specifici individui. Volendo esprimere concetti più generali, per esempio l'idea che i blocchi rappresentati sono cubetti giocattolo (cioè oggetti geometrici tridimensionali a sei facce con determinate caratteristiche: fatti di plastica, colorati, di piccole dimensioni, ecc.), si possono aggiungere alla rete nodi che rappresentano il concetto di "cubetti giocattolo" e di cubo (forma tridimensionale con sei facce uguali).

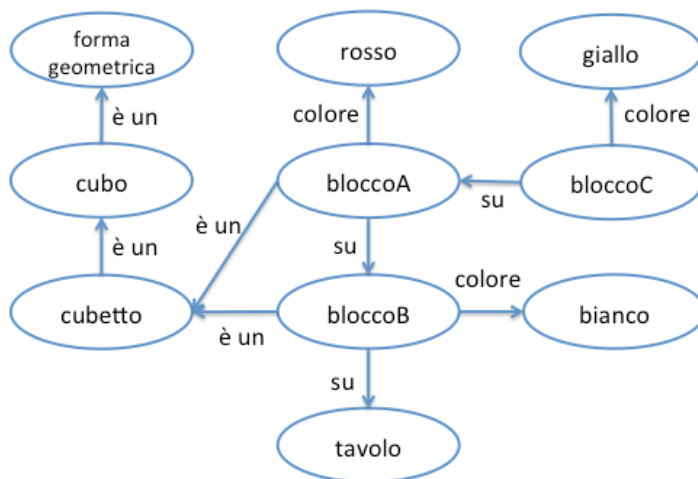


Figura 4: relazioni di tipo "è un" tra i nodi della rete

Una rappresentazione costituita solo di nodi e di archi indifferenziati non ci permette però cogliere la fondamentale distinzione che percepiamo tra il *concetto* di blocco giocattolo e il *singolo esemplare* di esso. Per esprimerla, infatti, occorre estendere il linguaggio introducendo due tipi specifici di nodo, che rappresentano rispettivamente, esemplari singoli e concetti generali. Utilizzando questi due nuovi tipi di nodo (esemplare e concetto generale), otteniamo una nuova rete, in cui sono stati inseriti archi che rappresentano la relazione tra il singolo blocco che "è un" cubetto giocattolo e il cubetto giocattolo che "è un" cubo geometrico. Il meccanismo precedente di creazione di collegamenti derivati a partire da sequenze di collegamenti, applicato alla relazione "è un" (in quanto transitiva) ci porta a dire che il BLOCCO A e il BLOCCO B sono cubetti giocattolo e che sono in quanto tali anche cubi.

Tuttavia, anche se agli effetti pratici il ragionamento sui percorsi conduce a conclusioni giuste, è possibile notare che la relazione "è un" in questo esempio viene a stabilirsi tra nodi di tipo diverso: nel caso in cui intercorre tra due nodi di tipo "concetto generale", "è un" ha evidentemente un certo significato, nel caso in cui intercorre tra un nodo esemplare e un nodo

“concetto generale”, ne ha un altro. Nel primo caso infatti “è un” ha un significato che potremmo parafrasare con “un tipo di” (*a kind of*), nel secondo invece il suo significato si può parafrasare “è un esempio di”. L’introduzione di relazioni di tipo “è un” (ulteriormente declinata in “un tipo di” e “un esempio di”) permette di rappresentare una conoscenza di tipo tassonomico, cioè di costruire gerarchie di concetti che dal generale (“forma geometrica”, “cubo”) vanno verso il particolare (“blocco giocattolo” e infine CUBO A). Questo tipo di conoscenza è molto importante per classificare ogni concetto rappresentato nella rete rispetto ai concetti più generali e più specifici e si rappresenta normalmente con un particolare tipo di struttura dato, l’albero, che è un tipo particolare di grafo.

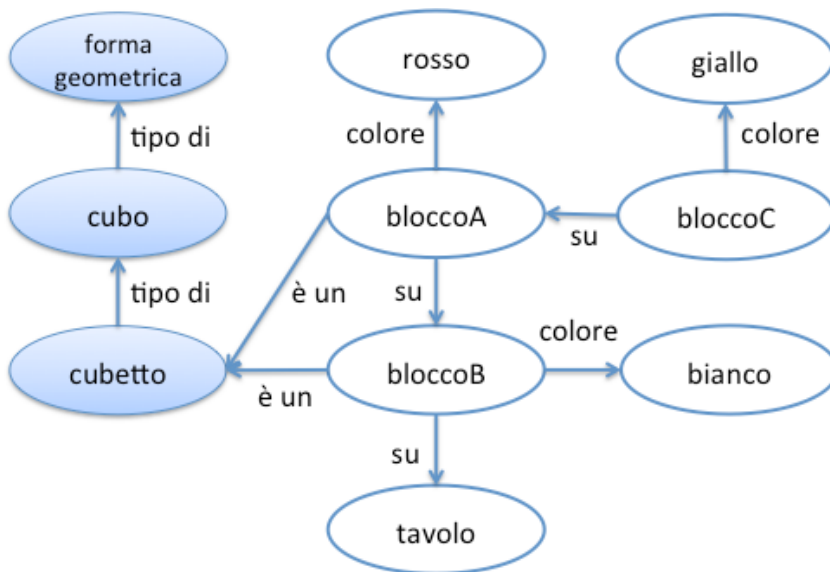


Figura 5: la rete semantica arricchita di nodi che rappresentano concetti generali e individui e di relazioni "è un" diversificate.

Il linguaggio finora ottenuto (con nodi esemplare e nodi concetto e con due tipi diversi di relazioni "è un") tuttavia, permette comunque di compiere solo inferenze limitate rispetto alla tassonomia: in particolare esso non ci permette di trarre conclusioni sulle caratteristiche dei concetti più specifici a partire da quelli più generali di cui sono tipi specifici. Per esempio, per rappresentare il fatto che, se il cubo “ha” sei facce, allora anche il cubetto giocattolo, in quanto tipo specifico di cubo, ne ha sei, si è costretti a creare una complessa sequenza di archi, composta di uno o più archi “è un” e di un arco “ha”. Per ogni proprietà, inoltre (per esempio “essere dotati di un colore”), è necessario creare una sequenza di archi ad hoc. Se invece il linguaggio della rete semantica viene esteso introducendo, accanto alle relazioni, le caratteristiche dei concetti o **proprietà** (predicati unari nella logica predicativa), si può definire una regola generale che permette di concludere che i concetti più specifici ereditano le proprietà di quelli più generali.

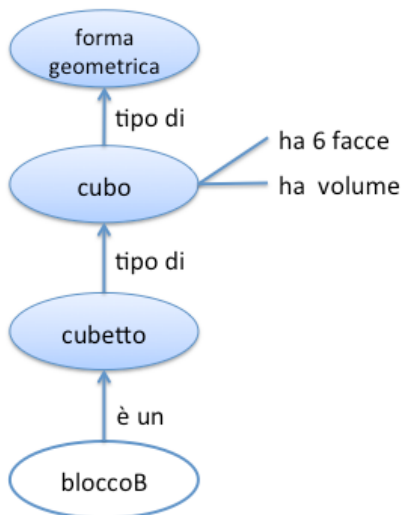


Figura 6: la rete semantica si arricchisce della rappresentazione delle caratteristiche dei concetti (facce, volume). Il linguaggio della rete include quindi elementi per rappresentare individui, concetti generali, relazioni generiche e di tipo “è un”, proprietà dei concetti.

Il ragionamento sull’**ereditarietà delle proprietà** nella rete semantica è molto importante dal punto di vista della rappresentazione, perché permette di snellire la rete associando le proprietà solo ai concetti più generali e facendo affidamento sull’ereditarietà perché esse siano ascritte anche ai concetti più specifici. Tuttavia, questa strategia ha un limite importante: fare affidamento sull’ereditarietà per la rappresentazione delle proprietà nella rete comporta certamente una maggiore economia rappresentazionale (le proprietà non sono ripetute lungo la gerarchia ma ereditate dai nodi più generali) ma comporta anche un maggiore utilizzo di risorse nel recupero di informazioni. Infatti, per conoscere le proprietà di un singolo concetto, situato a un livello basso nella gerarchia dei concetti, è necessario mettere in atto il ragionamento sull’ereditarietà, per ogni singola proprietà di ciascuno dei concetti più generali. La riduzione in termini di spazio occupato dalla rappresentazione si traduce quindi in un maggiore tempo di computazione, limitandone i vantaggi. Una strategia di compromesso consiste nell’aggiungere le proprietà ereditate ai nodi che sono utilizzati più frequentemente, in modo da bilanciare il costo della rappresentazione e della computazione. Strategie di questo tipo sono ancora utilizzate nell’ambito delle tecnologie semantiche, nelle situazioni in cui l’accesso ai dati non permette l’esecuzione dei processi di ragionamento in tempo reale.

La componente tassonomica di una rete semantica ha origini molto antiche, risalenti al cosiddetto “albero di Porfirio”, descrizione tassonomica delle categorie (o generi) del concetto aristotelico di sostanza. Nell’albero di Porfirio, ogni genere (o *genus*) si differenzia in sottogeneri sulla base di una caratteristica dicotomica. Per esempio, la caratteristica “animato” vs “inanimato” distingue un corpo in “vivente” o “inanimato”. A ogni livello della tassonomia, ogni genere si definisce attraverso la somma delle caratteristiche dei generi che lo precedono percorrendo la rappresentazione dall’alto: per esempio il genere “animale” è “animato” (caratteristica specifica del “vivente”) e “sensibile” (caratteristica dell’“animale”). L’ereditarietà delle proprietà, quindi, è una diretta conseguenza dell’impostazione tassonomica studiata già dall’antichità tramite l’albero di Porfirio: nell’albero di Porfirio, infatti, i tratti distintivi dei concetti si propagano lungo la gerarchia.



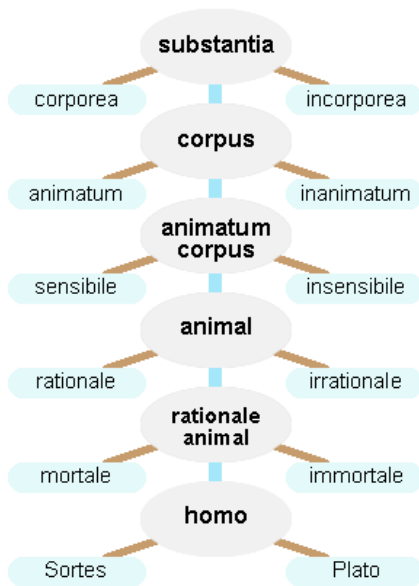


Figura 7: l'albero di Porfirio nella trattatistica medioevale (fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Porphyrian\\_tree#/media/File:Arbor\\_porphyrri\\_according\\_Petrus\\_Hispanus\\_tractatus\\_2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Porphyrian_tree#/media/File:Arbor_porphyrri_according_Petrus_Hispanus_tractatus_2.png))

Il ragionamento sull'ereditarietà delle proprietà si è scontrato ben presto con un problema rilevante, che non avrebbe potuto manifestarsi nelle rappresentazioni basate sulla logica classica: il problema delle eccezioni che sorgono nel codificare la conoscenza relativa al mondo reale. Se le proprietà di un nodo sono ereditate da tutti i suoi nodi più specifici, dai nodi più specifici di questi ultimi e via dicendo fino ai livelli della gerarchia, è possibile che a un certo nodo vengano ascritte proprietà contraddittorie. Le cause possono essere diverse: nel caso più semplice, il nodo ha una proprietà associata che è in contraddizione con quella ereditata; nel caso più complesso, il nodo in questione è nodo più specifico di più nodi diversi, le cui proprietà, benché contraddittorie, vengono ugualmente ereditate dal nodo stesso. Il primo caso è esemplificato dalla relazione tra il pinguino (uccello che non vola) e il concetto di uccello, a cui è associata la proprietà di volare. Il secondo caso è esemplificato dal celebre "Nixon diamond", esempio risalente agli anni '70 e ispirato alla tradizione politica statunitense: dato che il presidente degli Stati Uniti Richard Nixon è sia (relazione "è un") un esemplare del concetto di "repubblicano" sia un esemplare del concetto di "quacchero", come conciliare la proprietà di essere guerrafondaio – che eredita dal concetto di "repubblicano" – con la proprietà di essere "pacifista" – che eredita dal concetto di quacchero?

Mentre in un sistema logico la contraddizione invalida immediatamente e senza possibilità di scelta la conoscenza espressa al suo interno, nella rete semantica, dove il ragionamento è affidato a procedure che operano sulla rappresentazione, è possibile gestire la contraddizione manipolando le regole di inferenza che, come descritto in precedenza, sono realizzate tramite i percorsi interni alla rete. La strategia più comune per gestire le contraddizioni si basa su una considerazione di tipo cognitivo, secondo cui l'informazione maggiormente rilevante rispetto a un concetto è quella associata direttamente al concetto - e in quanto tale ha il sopravvento sulle informazioni inferite. Secondo questa strategia, la proprietà che è associata direttamente al nodo prevale su quella ereditata e tra le proprietà ereditate prevale quella che richiede meno passi di ragionamento nella rete. Nel caso in cui non sia possibile individuare una proprietà che prevale sull'altra, è necessario individuare un criterio nella conoscenza di dominio. La possibilità di gestire le eccezioni nelle reti semantiche ne fa un formalismo di tipo non monotono, cioè in cui la conoscenza già presente nel sistema può essere rimossa e



superata da nuova conoscenza. In ambito logico, la logica non monotona per eccellenza è la logica dei default (*default logics*), dove per ogni assioma si specificano le condizioni che ne inibiscono l'applicazione (per esempio, che gli uccelli volano *a meno che non* siano struzzi), la quale è determinata dal contesto (se per un determinato uccello il contesto ci indica che esso è uno struzzo, la regola non si applica).

### Rappresentazione delle proposizioni

La rete semantica illustrata fino ad ora, seppure la sua espressività sia stata accresciuta nel corso della descrizione con l'aggiunta di nuovi elementi al linguaggio, mantiene un'importante limitazione. Il grafo relazionale permette di rappresentare unicamente relazioni binarie, cioè che coinvolgono due nodi. Si assuma, per esempio, di voler rappresentare la relazione tra donatore, oggetto donato e destinatario del dono rappresentata nell'azione di donare. Utilizzando solo archi per rappresentare i tre elementi, si può rappresentare solo la relazione che intercorre tra donatore e destinatario, quella tra destinatario e dono e quella tra donatore e destinatario, ma non la relazione complessiva che unisce i tre concetti. Una possibile soluzione consiste nell'utilizzare un nodo per rappresentare la relazione stessa, anche se ciò va contro la semantica inizialmente assegnata alla rete che vede i nodi come concetti e gli archi come relazioni tra di essi (in questo caso, infatti, la relazione di donazione è rappresentata anch'essa mediante un nodo). Rappresentando la relazione stessa, cioè il concetto di donazione, tramite un nodo, è possibile creare una configurazione di rete nella quale dal nodo che rappresenta l'azione di donare si dipartono tre archi, ciascuno etichettato con un diverso partecipante all'azione.



Figura 8: esempio di relazione tra tre concetti.

Come illustrato dalla Figura 8, è possibile costruire tale rappresentazione senza modifiche rispetto al linguaggio per reti semantiche introdotto finora, solo assegnando un significato diverso ai nodi che rappresentano relazioni. La soluzione descritta trova una formalizzazione nel linguaggio delle reti semantiche proposizionali, la cui prerogativa è data dal fatto che, accanto ai nodi che rappresentano concetti (generalmente o individuali), si introducono nodi che rappresentano proposizioni. In tali linguaggi, di cui SNEPS è il sistema maggiormente sviluppato, la rappresentazione è incardinata sul concetto di *proposizione*.

Ogni asserzione effettuata nella rete semantica proposizionale assume la forma di una proposizione relativa a un certo numero di concetti: due, nel caso in cui si predica l'appartenenza di un individuo a una classe, maggiore di due nella maggior parte delle relazioni - che in linguaggio naturale corrispondono a un verbo (Fig. 9).

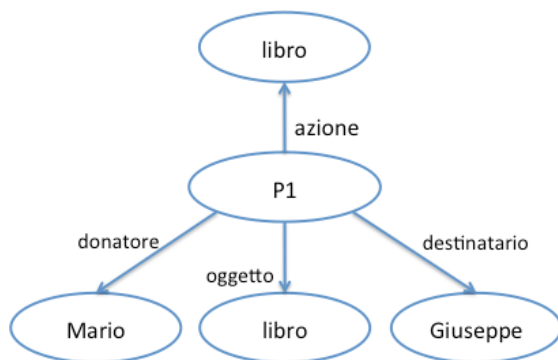


Figura 9: rappresentazione della proposizione "Mario dona un libro a Giuseppe" nello stile di Sneps.

Il sistema SNePs (acronimo di Semantic Network Processing System, Shapiro, 1978) si basa su un assunto di tipo cognitivo, cioè che il costrutto di base della rappresentazione corrisponda a un'entità mentale, cioè una **proposizione**. In Sneps, una proposizione è data da un nodo proposizionale dal quale si dipartono almeno due archi, che hanno una variabile o una costante come target. Questi ultimi nodi, invece, non possono avere archi uscenti, dal momento che non rappresentano proposizioni, ma solo archi entranti che li rendono oggetto di una o più proposizioni.

Ad esempio, la rappresentazione seguente (Fig. 10) in Sneps corrisponde alla proposizione italiana "Carlo è uno studente":

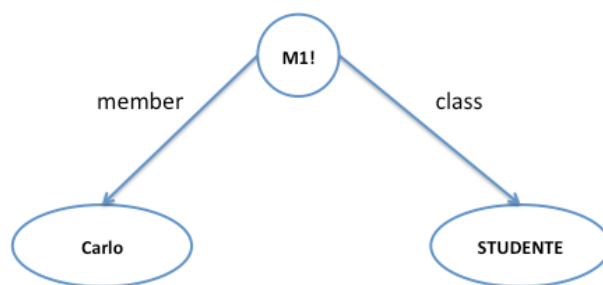


Figura 10: la proposizione "Carlo è uno studente" in Sneps

Si noti come la rappresentazione della relazione "un esempio di" (si veda la discussione della relazione *è un / kind of* nella sezione precedente) nel paradigma della rete proposizionale richieda due relazioni che collegano entrambi i termini, Carlo e "ragazzo", alla proposizione. La proposizione è rappresentata dal nodo P (o M in Sneps, dove M è abbreviazione di nodo Molecolare), alla quale è possibile assegnare un identificativo per riferirvisi. La figura seguente mette a confronto la rappresentazione del grafo relazionale con quella della rete proposizionale:

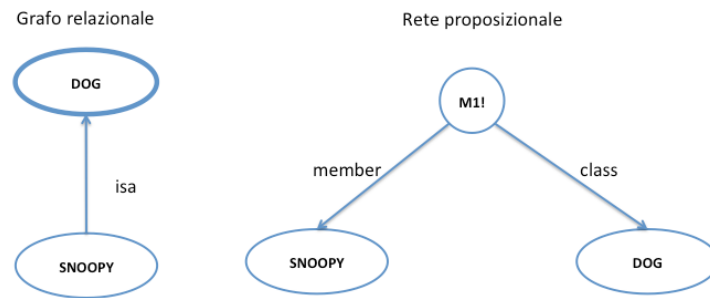


Figura 11

In modo analogo, tramite la scomposizione della relazione in due archi, si rappresenta la relazione “un tipo di”. L’esempio seguente mostra come unendo la rappresentazione in Fig. 10 (“Carlo è uno studente”) alla rappresentazione della proposizione “uno studente è una persona, si possa ottenere un’unica rete:

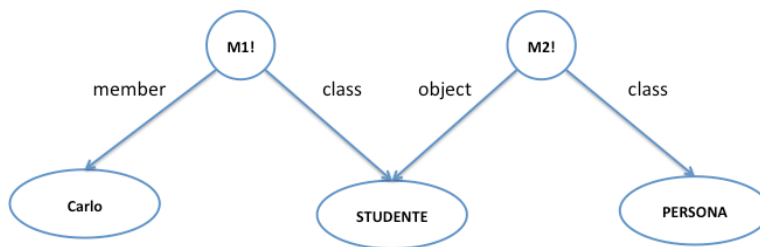


Figura 12: Carlo è uno studente e Carlo è una persona.

Il linguaggio SNePs non vincola in alcun modo il numero e il tipo di archi presenti nella rete. La rete semantica in Figura 8, per esempio, rappresentava una relazione ternaria del tipo “donare”, rappresentabile in SNePs con una proposizione da cui si dipartono quattro archi (rispettivamente uno per tipo di relazione, cioè donare, e tre per i suoi ruoli, cioè donatore, destinatario e oggetto donato).

Come evidenziato dagli esempi introdotti, il paradigma di SNePs introduce un totale parallelismo tra la rappresentazione della relazione È UN e le relazioni di altro tipo, rispetto al linguaggio di rete semantica introdotto nella sezione precedente, in cui tale relazione è rappresentata tramite uno specifico tipo di arco: il linguaggio di SNePs infatti non introduce alcun costrutto specifico per questo né per altri tipi di relazione. Per contro, i casi pratici di utilizzo del sistema si basano su una gamma predefinita di archi per rappresentare le relazioni più comuni (coppie di archi quali *member* e *class*, *object* e *class*, ecc.). Se si vuole inferire che Carlo, in quanto studente, è una persona, nella rappresentazione di SNePs, è necessario creare uno specifico tipo di percorso ad hoc, basato sulla composizione di una relazione MEMBER-CLASS con una relazione OBJECT-CLASS, che permetta di collegare Carlo a Persona.

La configurazione seguente permette di farsi un’idea di come il sistema SNePs (o qualsivoglia sistema con caratteristiche simili) possa essere utilizzato per rappresentare l’interfaccia tra linguaggio naturale e rappresentazione. L’esempio in Fig. 13, che rappresenta l’espressione “il ragazzo di nome Carlo è uno studente”, utilizza un particolare tipo di nodo “anonimo”, a cui non si attribuisce un nome in quanto esso rappresenta un’entità che assume una denominazione solo in un sistema lessicale di riferimento (arco *propername*).

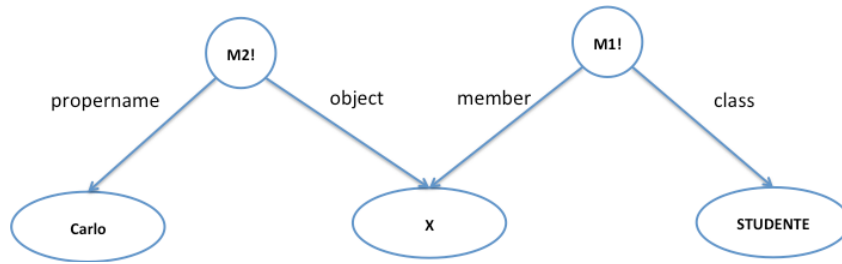


Figura 13: “Lo studente di nome Carlo” in Sneps (letteralmente, l’entità di tipo studente che ha nome Carlo).

## Il software

Sviluppato per rappresentare la mente di un agente robotico, il sistema SNePs è un vero e proprio sistema software che permette di realizzare basi di conoscenza per applicazioni pratiche, corredato di un linguaggio di comandi utente che permettono di immettere conoscenza nel sistema e di manipolarla, e di un’interfaccia grafica che permette all’utente di creare graficamente e visualizzare la rete semantica, oltre che di manipolarla direttamente tramite la sua rappresentazione.<sup>1</sup>

Le considerazioni sul rapporto rappresentazione e ragionamento nelle reti semantiche sono importanti poiché evidenziano il processo che si affronta nella progettazione (e successiva implementazione) di un linguaggio di rappresentazione. Oltre alla rappresentazione, infatti, devono essere progettate anche le procedure che permettono di compiere ragionamenti su di essa, tenendo conto di come rappresentazione e procedure si influenzino a vicenda. Un limite importante è dato dall’impossibilità di dimostrare formalmente la correttezza di tali procedure, a meno di non ricorrere alla traduzione della rete semantica in un formato logico: un’operazione che pur aggiungendo proprietà formali alla rete semantica ne snatura in parte le caratteristiche di alternativa alla logica.

Quando il sistema viene implementato, la rappresentazione della rete semantica deve essere corredata di un modulo di accesso alla conoscenza: il diagramma che rappresenta la rete, infatti, costituisce solamente l’interfaccia visiva che esso mette a disposizione degli utenti umani, ma non permette l’utilizzo della rete in un’architettura software. Come utilizzo pratico, le reti semantiche sono state spesso associate ai sistemi di elaborazione del linguaggio naturale, sia come formato di rappresentazione della conoscenza sul dominio di competenza del sistema, sia come formato per la rappresentazione del significato delle frasi espresse in linguaggio naturale. Oltre al linguaggio di rappresentazione della rete semantica, quindi, i sistemi veri e propri devono contenere comandi per la manipolazione della rete stessa, che permettono di aggiungere, cancellare e modificare nodi e relazioni tra di essi, comandi per l’accesso, che permettono di estrarre nodi e relazioni sulla base di un insieme di criteri, e comandi per la conduzione di processi di ragionamento sulla rete. In quest’ottica, il sistema SNePs e le sue funzionalità sono assai vicini alle funzionalità di rappresentazione, ragionamento e accesso che si richiedono agli attuali server semantici.

In Sneps, per esempio, il comando `DEFINE` permette di definire alcune relazioni, cioè tipi di arco. Il comando `ASSERT`, invece, permette di asserire uno o più fatti, la cui rappresentazione

---

<sup>1</sup> Il sistema non è funzionante sulle attuali versioni dei più diffusi sistemi operativi.

viene aggiunta alla rete. Si noti che la struttura dell'asserzione che è oggetto del comando (1) è parallela all'espressione che ne descrive la rappresentazione interna nel sistema (2):

1. (ASSERT MEMBER CARLO CLASS STUDENTE)

2. (M1! (MEMBER CARLO) (CLASS STUDENTE))

Il nodo M1!, infatti, viene costruito e asserito<sup>2</sup> all'interno del sistema come effetto dell'esecuzione del comando ASSERT<sup>3</sup>. Dal nodo M1! si dipartono due archi, di cui il primo, etichettato come MEMBER, punta al nodo CARLO, mentre il secondo, etichettato come CLASS, punta al nodo STUDENTE. L'intera espressione sta a significare che "Carlo è membro della classe studente", o meglio, che "Carlo è uno studente" (Fig. 10).

---

<sup>2</sup> Oltre al comando ASSERT, il sistema è dotato di un comando BUILD che permette di costruire nodi che sono rappresentati nella conoscenza del sistema ma non "creduti" dal sistema.

<sup>3</sup> Ogni volta che si asserisce una proposizione, al nuovo nodo che la rappresenta verrà assegnato un numero progressivo sulla base dei nodi già presenti nel sistema.

## Frame

La teoria dei frame è un tassello importante per comprendere pienamente le scelte di progettazione sottostanti ai linguaggi per ontologie utilizzati nell'odierno Web Semantico. Ispirata dal manifesto omonimo di Marvin Minsky, la teoria dei frame nasce con la finalità esplicita di rappresentare conoscenza "stereotipata". Il termine frame deriva dall'idea di rappresentare la conoscenza di sfondo (il frame, cioè la "cornice" concettuale) su cui gli esseri umani fanno affidamento per interpretare le situazioni che si trovano continuamente ad affrontare nel corso della loro esperienza quotidiana.

Un esempio di frame citato da Minsky nel suo saggio è la festa di compleanno, caratterizzata da un insieme di elementi (torta, doni, festeggiati) che permettono a chi si trova di fronte alla situazione sopra descritta di riconoscerla immediatamente come tale a prescindere dalle differenze pratiche (forma e colore della torta, numero di festeggiati, colore delle pareti) e formarsi delle aspettative sugli ulteriori elementi che potrebbero trovarvisi (per esempio, i regali).

*"A frame is a data structure for representing stereotypical situations, like being in a certain kind of living room or going to a child's birthday party." (Minsky 75)*

La struttura del frame descritta da Minsky è la seguente: i frame sono composti di elementi denominati **slot**, di cui alcuni contengono valori prefissati e altri contengono valori modificabili. Gli slot corrispondono alle caratteristiche dell'entità, o meglio del *tipo* di entità, che il frame descrive: la festa di compleanno, la sala da pranzo, il ristorante, ecc. Ogni slot specifica un insieme di condizioni che i valori ad esso assegnati devono rispettare, e può contenere un valore prestabilito. Per esempio, nel caso della festa di compleanno, lo slot "numero di partecipanti" potrebbe essere vincolato a un dato di tipo numerico e più precisamente a un intero.

Scopo dell'assegnare un valore predefinito (*default value*) a uno slot è associarvi un valore tipico che può valere in mancanza di informazioni più specifiche. Ad esempio, nel frame della festa di compleanno è possibile specificare che il dolce che viene consumato è tipicamente una torta, senza che nulla vieti che, di volta in volta, questo dato venga sostituito da informazione più specifica, sostituendo per esempio la torta con un tiramisù o un gelato in seguito all'osservazione diretta della situazione reale.

La struttura del frame descrive un tipo di entità. Le singole entità vengono descritte applicandone la struttura alle caratteristiche della singola entità. Rispetto ai linguaggi per descrivere reti semantiche, la struttura del frame che descrive un certo tipo di entità e la sua applicazione a entità reali si trovano tra di loro in una relazione di tipo "è un".

Un aspetto assai rilevante della descrizione della struttura del frame fornita da Minsky è dato dalla possibilità che il valore di uno slot consista, invece che di un semplice dato espresso in un formato numerico o testuale, in un collegamento a un altro slot. Ciò è necessario per descrivere valori che hanno essi stessi una struttura complessa. Per esempio, lo slot "festeggiato", nell'esempio sopra descritto, potrebbe prevedere come valore un'entità complessa, descritta a sua volta dal frame "persona". In questo caso, il valore effettivo inserito nel frame che descrive la specifica festa di compleanno consisterebbe nel collegamento al frame "persona", applicato (o usando un calco dall'inglese tipico del gergo informatico, "istanziato"), sulle caratteristiche del festeggiato.

Il singolo frame entra in relazione con altri frame non solo rispetto ai valori contenuti negli slot, ma anche tramite speciali slot che Minsky denomina "frame più generali" e "frame più specifici". Ogni frame, infatti, può sussumere (cioè essere più generale di) frame più specifici

che descrivono varianti del tipo di entità da esso descritta, ed essere a sua volta sussunto da uno o più frame che descrivono tipi di entità più generali. Per esempio, il frame “persona” potrebbe avere come frame più generali il frame che descrive il tipo di entità “essere vivente” e come frame più specifici alcune categorie di persone, quali lo “scolaro”, il “genitore”, ecc. Ogni frame eredita gli slot che costituiscono la struttura dei frame più generali, secondo il paradigma dell’ereditarietà delle proprietà proprio delle reti semantiche. Nei termini delle reti semantiche, tali collegamenti corrispondono alla relazione di tipo “un tipo di”. Gli slot “frame più generali/specifici” permettono di creare una vera e propria tassonomia di frame, che assume l’aspetto di una rete se si considerano anche i collegamenti non tassonomici tra frame e frame contenuti negli slot.

Infine, una caratteristica importante dei frame consiste nella possibilità di integrarne la rappresentazione di tipo dichiarativo che essi contengono con alcune procedure ad hoc, collocate all’interno degli slot. Secondo tale impostazione, denominata “attaccamento procedurale”, uno slot può contenere una procedura che calcola in maniera automatica il valore dello slot a partire dal valore di altri slot oppure che verifica la correttezza del valore inserito al suo interno. Un esempio del primo tipo di procedura, denominata *if-needed*, è la procedura per il calcolo del valore dello slot “età” nel frame persona, che al momento della sua applicazione a una persona specifica (per esempio il “festeggiato” del frame che rappresenta la festa di compleanno) è valorizzato con l’età calcolata sulla base della data corrente e della data di nascita del festeggiato. Una procedura analoga (denominata *if-added*) potrebbe essere utilizzata per verificare che l’età assegnata manualmente allo slot sia effettivamente la differenza tra anno corrente e anno di nascita.

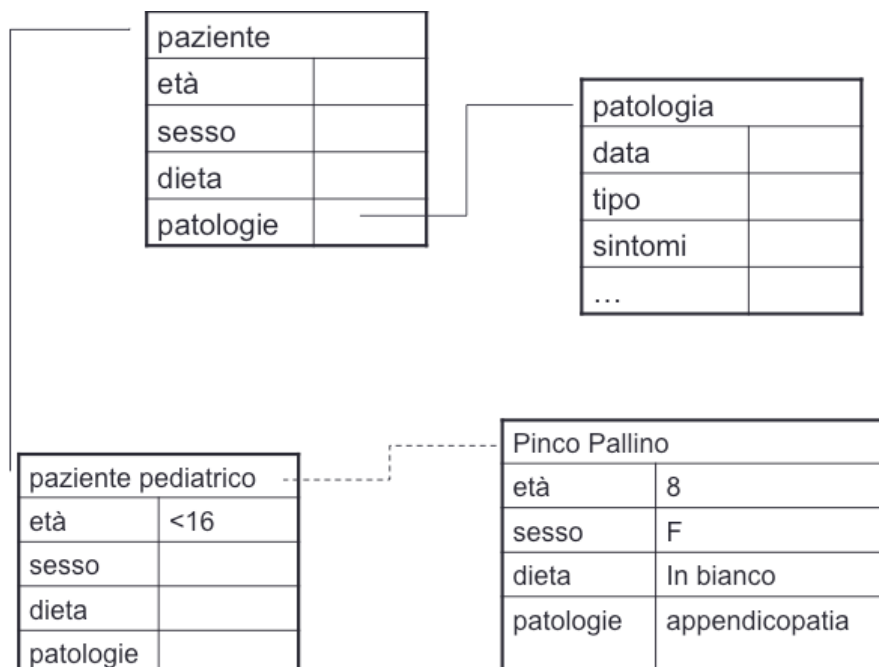


Figura 14: un semplice sistema di frame per descrivere i pazienti di un ospedale; tra il frame “paziente” e quello “paziente pediatrico” sussiste una relazione di sussunzione, “patologia” è il frame che descrive il valore dello slot omonimo del frame “paziente”. Pinco Pallino è la rappresentazione di un individuo tramite l’applicazione del frame “paziente pediatrico”.



Pur se sorpassata da altri linguaggi di rappresentazione, la teoria dei frame ha avuto una grande importanza nell'ambito della rappresentazione della conoscenza. Successivamente evolutisi in linguaggi caratterizzati da una semantica formale meglio specificata (ad esempio, il linguaggio KL-ONE, progenitore delle logiche descrittive), i concetti principali della teoria dei frame sopravvivono sia in molti sistemi informativi attuali, sia nelle interfacce di accesso ai dati, grazie alla loro validità come modelli cognitivi per la descrizione di entità complesse. La struttura basata su slot, per esempio, è presente anche nell'interfaccia di Protégé, editor di ontologie computazionali che sarà illustrato in seguito.

## Logiche descrittive

### Note storiche

Dagli anni Sessanta del secolo scorso, come descritto nella sezione precedente, l'intelligenza artificiale intraprende un tentativo di superare la logica classica, aprendosi alla ricerca di nuovi formalismi orientati specificamente alla rappresentazione di conoscenza, spesso riferita a specifici domini. Le reti semantiche e la teoria dei frame rappresentano la principale evoluzione in ambito non strettamente logico.

La precisazione “di ambito non strettamente logico” è d'obbligo, poiché la maggior parte dei formalismi oggi in uso, tra cui spiccano le logiche descrittive, si basano su un formalismo di tipo logico, con sintassi e procedure di dimostrazione propri della logica del primordine. La ricerca sulla rappresentazione della conoscenza, infatti, si è in larga parte indirizzata (nel periodo che intercorre tra gli anni '80 e gli anni '90 del secolo scorso) verso la definizione di sottoinsiemi della logica classica decidibili e computazionalmente trattabili. Dal tentativo di dare fondazioni logiche alla linea di ricerca che dalle reti semantiche porta alla teoria dei frame nascono i linguaggi basati sulla teoria dei frame, che si sono evolute nelle logiche descrittive. Come sottolineato da uno dei principali interpreti di questa linea di ricerca, B. Nebel, artefice del sistema BACK<sup>4</sup>, “One important characteristic of these languages is that they take the notion of *definition* seriously”.

Dai tentativi di superare i limiti espressivi della logica classica prendono origine altre logiche specifiche: le logiche fuzzy, caratterizzati da valori di verità sfumati, le logiche modali, finalizzate a rappresentare gli atteggiamenti epistemici di credenza, volere, ecc., le logiche non monotone, capaci di rappresentare il cambiamento, e altri ambiti di ricerca tuttora attivi, che non sono trattati in questo contesto. Infine, è utile ricordare che la ricerca sulla rappresentazione della conoscenza si è intersecata con la scienza cognitiva con esiti significativi di fertilizzazione reciproca.

### Caratteristiche

Una parte rilevante della ricerca in logica ha subito l'influenza delle reti semantiche, ispirando la creazione di una famiglia di logiche note come logiche descrittive o terminologiche. Fortemente radicate nel paradigma di rappresentazione stabilito dal sistema KL-One, le logiche descrittive sono storicamente rappresentate da un insieme di sistemi e linguaggi, quali LOOM, BACK e CLASSIC. Le logiche descrittive sono tuttora in uso in quanto costituiscono la base del progetto Web Semantico e del più recente paradigma dei Linked Data.

Le logiche descrittive rappresentano un sottoinsieme della logica dei predicati orientato alla *classificazione* e caratterizzato da alcune proprietà desiderabili sul piano computazionale, quali decidibilità e trattabilità<sup>5</sup>. Differenti scelte espressive, cui corrispondono diversi gradi di complessità computazionale, caratterizzano ognuna di queste logiche<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> BACK è l'acronimo di Berlin Advanced Computational Knowledge representation system.

<sup>5</sup> La famiglia delle logiche descrittive è composta di molte logiche differenti, ciascuna caratterizzata da una complessità computazionale diversa a seconda della sua espressività. Astruendo dalle caratteristiche specifiche delle varie logiche descrittive, si può affermare che la ricerca sulle logiche descrittive si sia orientata nella direzione della riduzione della

Basate sulla relazione di sottoclasse (*sussunzione*), le logiche descrittive incorporano delle reti semantiche la distinzione tra tipi di entità e entità individuali e dalla teoria dei frame la definizione dei concetti basata sulle loro caratteristiche, o *slot*. La distinzione tra tipi di entità e entità singole si riflette nella partizione della conoscenza in due ambiti, tipica delle logiche descrittive, che corrispondono, rispettivamente, alla *terminologia* (il “vocabolario” di concetti) e all’insieme delle *asserzioni* sugli individui (gli “esemplari”) compiute utilizzando quel vocabolario. Per ragioni storiche, dovute all’influenza esercitata dal sistema Back sullo sviluppo delle logiche terminologiche, i due ambiti sono spesso denominati T-Box e A-Box. La T-Box definisce la **terminologia** utilizzabile per descrivere i concetti di un determinato dominio di conoscenza, mentre la A-Box costituisce la base di conoscenza vera e propria, cioè le **asserzioni** su singoli individui effettuate utilizzando la terminologia messa a disposizione della T-Box.

Nelle logiche descrittive, le entità sono descritte sulla base delle **proprietà** che le pongono in relazione con altre entità. Per esempio, è possibile descrivere (informalmente) l’entità “studente” come “persona che ha la proprietà di frequentare una scuola”. Le proprietà che descrivono le entità sono anche denominate *ruoli*. Questo termine riconosce in parte l’esistenza, nel linguaggio naturale, di etichette specifiche per la partecipazione a una relazione da parte di entità diverse. Per esempio il termine “studente” si definisce sulla base della relazione di “frequenza” che determinate persone hanno rispetto a una scuola, mentre il termine “insegnante” identifica il ruolo di una persona nella relazione di “insegnamento” rispetto a una scuola, una materia e un insieme di studenti. Concettualmente derivati dagli *slot* che caratterizzano i frame nella teoria omonima, i ruoli sono il cardine della descrizione dei concetti nelle logiche descrittive.

La diversità tra i due ambiti della T-Box e della A-box è valsa ai primi sistemi la denominazione di sistemi *ibridi* per la rappresentazione della conoscenza, poiché la conoscenza rappresentata nei due ambiti assume una struttura diversa, tassonomica e gerarchica nella parte terminologica, reticolare nella parte asserzionale. In questi sistemi è forte la visione funzionale della conoscenza, ben enucleata da uno dei padri fondatori dell’Intelligenza Artificiale, Newell: “Knowledge is to be characterized entirely functionally, in terms of what it does, not structurally in terms of physical objects with particular properties and relations”.

## Classi e proprietà

Un tipo di entità caratterizzata da determinate proprietà (tecnicamente: ruoli) è denominato **classe**, intesa come insieme degli individui che sono caratterizzati dalle proprietà associate alla classe stessa. Raggruppare le entità in tipi di entità, o classi, sulla base delle loro proprietà è funzionale al compito di *classificare* gli individui nelle classi a livello terminologico. Le classi non sono mutuamente esclusive, a meno che non siano esplicitamente indicate come tali: la stessa persona (essere vivente umano, ecc.) potrebbe essere sia studente che insegnante, per esempio. Certamente, tuttavia, la classe persona sussume entrambe le classi, studente e insegnante. Nelle logiche terminologiche, la terminologia assume la forma di un insieme di assiomi relativi alle classi, che ne descrivono non solo le proprietà ma anche le relazioni di

---

complessità a vantaggio della creazione di sistemi di ragionamento efficaci per scopi specifici quali la classificazione.

<sup>6</sup> Per una panoramica si veda <http://www.cs.man.ac.uk/~ezolin/dl/> (aggiornata fino al 2013)

**sussunzione.** Le proprietà che descrivono le classi ponendole in relazione tra di loro sono denominate relazioni “orizzontali”, in opposizione alle relazioni “verticali”, cioè di sussunzione tra classi. Nelle logiche terminologiche o descrittive, le proprietà di una classe sono ereditate dalle classi più specifiche: per esempio, la classe “studente”, caratterizzata dalla proprietà di frequentare una scuola, *sussume* la classe “studente universitario”, che ne eredita la proprietà di frequentare una scuola, ma di tipo specifico (l'università).

La relazione di sussunzione non è simmetrica, cioè si basa sull'assunzione che la classe *sussunta* non sia uguale alla classe che la *sussume*: le classi *sussunte* sono caratterizzate da proprietà ulteriori, come quella di essere “coniugato” per la classe “coniugato”, sottoclasse di “persona”. La proprietà di essere “coniugato” è riferita a una specifica classe, cioè le *persone* (cubetti giocattolo e canguri, quand'anche fossero presenti nel sistema, non sono compatibili con la proprietà), che la pone in relazione con un'altra classe. La relazione tra classi e proprietà è complessa: a una classe possono essere associati alcune proprietà che ne descrivono le caratteristiche necessarie, senza che queste caratteristiche siano sufficienti per determinare l'appartenenza dei singoli alla classe. Per esempio, è possibile dire che una persona necessariamente “frequenta” altre persone senza che quest'ultima caratteristica sia sufficiente per definire il concetto di persona (infatti anche un robot potrebbe ‘frequentare’ delle persone, ma senza essere umano). È possibile definire una classe sulla base di una (o più) proprietà, che ne rappresentano le caratteristiche necessarie e sufficienti: per esempio, è possibile dire che il fatto di frequentare una scuola rende di per sé una persona uno studente. In questo caso la classe è normalmente descritta come classe *definita*, in contrapposizione con il concetto di classe *primitiva*, cioè dotata di proprietà necessarie ma non sufficienti.

Le logiche descrittive ammettono anche la possibilità di vincolare una classe a determinati valori per una data proprietà: per esempio, la classe “studente universitario” è vincolata a frequentare scuole di tipo università. Le restrizioni possono essere formulate anche rispetto ai quantificatori logici o a *range* numerici: per esempio, lo studente universitario può essere definito come frequentante *almeno una* scuola di tipo università oppure *solo* scuole di tipo università. La scelta tra le due alternative dipende dalla conoscenza che si vuole formalizzare: lo studente universitario che frequentasse anche una scuola di musica probabilmente non perderebbe la caratteristica di studente universitario, mentre si potrebbe stabilire che lo studente che oltre all'università frequenta anche un conservatorio non è uno studente universitario. Oppure, lo studente “pluri-scuola” potrebbe essere definito come uno studente che frequenta almeno due scuole diverse. Si noti che differenza non è determinata unicamente dal linguaggio (cosa si intende nel senso comune per “studente universitario”) ma dalla scelta più adeguata dal punto di vista ontologico o di modellazione. Per esempio, uno studente full time potrebbe essere definito come chi frequenta *almeno* quattro corsi, riprendendo un regolamento amministrativo.

Tipicamente, allo scopo di rappresentare tali restrizioni, nelle logiche descrittive si possono porre restrizioni sui ruoli tramite operatori quali ALL (quantificazione universale) e ATLEAST o ATMOST (vincoli numerici).

Per esempio, nel formalismo terminologico ideato da B. Nebel, il concetto di “squadra” potrebbe essere definito in questo modo (adattato dagli esempi originali), a partire dal concetto (o classe) UMANO e della proprietà COMPONENTE\_DI:

$$\text{SQUADRA} = ((\text{ALL COMPONENTE\_DI UMANO}) \ \& \ (\text{ATLEAST } 2 \text{ COMPONENTE\_DI}))$$

Vale a dire: una squadra è un insieme di cui tutti i componenti sono umani e (&) che ha almeno due componenti. Nella definizione di cui sopra, la proprietà COMPONENTE\_DI è doppiamente vincolata, tramite il meccanismo della **restrizione** a:

- avere come valore un essere umano
- avere numero di componenti uguale o maggiore di 2.

La squadra composta dal solo componente Giovanni (umano) non rientra in questa definizione, così come la squadra composta da Giovanni (umano) e da Fufi (cane). Rientra invece nella definizione la squadra composta da Giovanni (umano), Carlo (umano) e Simona (umano). Qualsiasi squadra, inoltre, è un anche un insieme (ma non viceversa, molti insiemi, come visto, non saranno squadre perché non rispettano i vincoli sopra descritti).

Il concetto di SQUADRA è ulteriormente vincolato nella definizione di SQUADRAMODERNA:

SQUADRAMODERNA = (SQUADRA & (ATMOST 4 COMPONENTE\_DI) & (ATLEAST 1 LEADER) & (ALL LEADER DONNA))

Cioè una squadra moderna ha:

- almeno quattro componenti
- uno o più leader
- tutti i leader sono donne.

Anche in questo caso, si noti come la SQUADRAMODERNA sia anche una SQUADRA.

### Asserzioni e ragionamento

Nelle logiche descrittive, la A-box è costituita da un insieme di asserzioni che riguardano singoli individui. Le asserzioni riguardano l'appartenenza degli individui alle classi e l'esistenza di relazioni che li collegano gli uni agli altri. Per esempio, un'asserzione potrebbe essere che Mario è uno studente e che frequenta la scuola primaria Giuseppe Verdi. Oppure che Giovanni è insegnante presso la stessa scuola. Si noti come le asserzioni presentino una struttura tripartita:

- Mario **è** uno studente ovvero, l'individuo Mario appartiene alla *classe* studente
- La Ugo Foscolo **è** una scuola primaria, ovvero l'individuo Ugo Foscolo appartiene alla *classe* scuola primaria
- Mario **frequenta** la Ugo Foscolo, ovvero esiste una proprietà "frequenta" dell'individuo Mario che lo collega all'individuo Ugo Foscolo.

Le strutture presentate hanno in comune la caratteristica di presentare una struttura tripartita. La struttura tripartita (o **tripla**) ha come primo elemento un individuo di cui si predica qualcosa: l'appartenenza a una classe nei primi due casi, normalmente rappresentata dall'espressione "è un" (rispettivamente copula e nome del predicato nella lingua italiana) oppure, nel terzo caso, il sussistere di una relazione tra due individui, tipicamente rappresentata da un verbo (per esempio, "frequenta"). Si noti anche come lo stesso individuo, Mario, sia il soggetto di due diverse triple, a cui si potrebbe aggiungere una terza

trippla del tipo “Giovanni è amico di Mario”. La conoscenza codificata nelle asserzioni, quindi, viene ad assumere una forma reticolare, propria dei grafi relazionali, in cui proprietà (e relazioni di tipo “è un”) sono gli archi che collegano gli individui nel grafo.

Rispetto all'esempio precedente, la seguente configurazione di triple potrebbe costituire un'esemplificazione (o meglio *istanziazione*) delle classi contenute nella T-Box:

individui: SQUADRABORGOANTICO, SQUADRABORGNUOVO, GIOVANNI, CARLO, SIMONA, LUCIA, ALESSANDRA, ANNA

- GIOVANNI È UN UOMO
- CARLO È UN UOMO
- ALESSANDRA È UNA DONNA
- LUCIA È UNA DONNA
- SIMONA È UNA DONNA
- GIOVANNI COMPONENTE\_DI SQUADRABORGOANTICO
- CARLO COMPONENTE\_DI SQUADRABORGOANTICO
- SQUADRABORGOANTICO È UNA SQUADRA
- ALESSANDRA COMPONENTE\_DI SQUADRABORGNUOVO
- CARLO COMPONENTE\_DI SQUADRABORGNUOVO
- LUCIA COMPONENTE\_DI SQUADRABORGNUOVO
- SIMONA COMPONENTE\_DI SQUADRABORGNUOVO
- SIMONA LEADER SQUADRABORGNUOVO
- LUCIA LEADER SQUADRABORGNUOVO
- SQUADRABORGNUOVO È UNA SQUADRAMODERNA

Naturalmente le asserzioni non devono contraddire la conoscenza codificata nella parte terminologica del sistema: la relazione *insegna*, per esempio, definita tra esseri umani, non si applica all'individuo Giovanni (appartenente alla classe persona) e all'individuo Oreste, se quest'ultimo appartiene alla classe Felino. Inoltre, se è stato posto un vincolo che ogni studente frequenta una sola scuola (fatto che potrebbe valere per le scuole dell'obbligo), non è possibile che Mario frequenti sia la una scuola primaria sia un'università. Sempre che (ma ci torneremo in seguito), non esista una scuola che sia entrambe le cose.

Benché sia possibile rappresentare il contenuto di una base di conoscenza codificata in una logica descrittiva usando un semplice foglio di carta e una penna, la finalità di questo tipo di logiche consiste nella creazione di sistemi informatici per la rappresentazione della conoscenza caratterizzati da procedure di ragionamento automatico. Essi, inoltre, devono essere corredati di apposite interfacce per l'inserimento della conoscenza e l'accesso a quest'ultima, secondo il paradigma “tell and ask” che caratterizza questi sistemi sin dalle reti semantiche (per es. SNePs). La semantica delle logiche descrittive si basa sul lavoro svolto dal logico Alfred Tarsky negli anni 30 del secolo scorso riguardo alla verità degli enunciati nel

linguaggio naturale e accoglie al suo interno alcuni elementi della teoria degli insiemi. Secondo questo approccio, una classe è un insieme di individui con alcune caratteristiche; una classe, inoltre, può essere sottoclasse di un'altra, secondo la nota relazione di inclusione insiemistica (tutti gli individui della sottoclasse sono anche membri della classe superiore). In particolare, i sistemi basate su logiche descrittive forniscono all'utente alcuni servizi di **ragionamento automatico** che hanno per oggetto sia la le definizioni della parte terminologica del sistema sia la parte asserzionale che riguarda gli individui. Per la parte terminologica, il ragionamento automatico consiste nella *classificazione*, intesa come deduzione della collocazione di ogni classe nella gerarchia di sussunzione sulla base della descrizione delle classi stesse. Per esempio, si consideri il concetto di squadra moderna esemplificato sopra: è evidente che se il concetto di "squadra moderna" fosse dichiarato come più generale del concetto di "squadra", la terminologia sarebbe inconsistente: secondo la definizione fornita nell'esempio, il concetto di "squadra" sussume il concetto di "squadra moderna" e non viceversa. Gli individui che appartengono al tipo di concetto "squadra moderna", infatti, appartengono anche al tipo di concetto "squadra", cosicché il primo è un sottoinsieme del secondo. E' possibile che la definizione della classe si riveli inconsistente quando si esegue la verifica automatica della tassonomia dei concetti, poiché contiene una contraddizione. In tal caso la conoscenza terminologica deve essere rivista: più avanti vedremo alcuni esempi di queste situazioni.

Il ragionamento automatico per la parte asserzionale consiste nel cosiddetto *instance checking*, cioè nel ragionamento sulle proprietà di un individuo. In pratica, l'*instance checking* permette di verificare a quale classe appartengano un individuo sulla base delle asserzioni che lo riguardano. Sempre per conseguenza di questo servizio, è possibile estrapolare dalla base di conoscenza in maniera automatica l'insieme degli individui che appartengono a una data classe.

Un sistema per la rappresentazione della conoscenza, sintetizzando, si compone di un insieme di elementi:

- La base di conoscenza, normalmente composta di una T-box che contiene la definizione delle classi e delle loro proprietà e di una A-box che contiene le asserzioni sugli individui. La base di conoscenza normalmente è rappresentata graficamente e/o tramite notazioni di tipo logico come quelle esemplificate sopra (ma all'interno del sistema essa è codificata mediante strutture dati proprie del linguaggio in cui il sistema informatico è rappresentato).
- I servizi di ragionamento automatico permettono agli utenti e alle applicazioni che utilizzano la base di conoscenza di fare affidamento sul sistema per l'esecuzione di procedure automatiche di inferenza sul contenuto della base di conoscenza. Come detto sopra, tali procedure normalmente consistono nella classificazione e nell'*instance checking*.
- L'interfaccia del sistema permette agli utenti e alle applicazioni di manipolare la base di conoscenza, nelle sue due parti, inserendo nuova conoscenza e modificando o cancellando quella già presente e di invocare i servizi di ragionamento. Gli utenti si avvalgono di interfacce utente (che comprendono anche interfacce grafiche) per interagire con il sistema, mentre le applicazioni utilizzeranno un apposito insieme di comandi denominato Application Programming Interface (API) che vengono inoltrati al sistema via software.



## Principali riferimenti bibliografici

Baader, Franz, ed. The description logic handbook: theory, implementation, and applications. Cambridge university press, 2003.

Brachman, R. J. (1977). What's in a concept: structural foundations for semantic networks. International journal of man-machine studies, 9(2), 127-152. Brachman, Ronald J., and James

G. Schmolze. "An Overview of the KL - ONE Knowledge Representation System\*." Cognitive science 9.2 (1985): 171-216.

Hodges, W., "Tarski's Truth Definitions", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2012 Edition), Edward N. Zalta (ed.),

MacGregor, R. M. (1991). Inside the LOOM description classifier. ACM Sigart Bulletin, 2(3), 88-92.

Nebel, Bernhard. "Computational complexity of terminological reasoning in BACK." Artificial Intelligence 34.3 (1988): 371-383.

Nebel, Bernhard. Reasoning and revision in hybrid representation systems. Vol. 422. Berlin: Springer-Verlag, 1990.

Russell, S., Norvig, P., & Intelligence, A. (1995). A modern approach. Artificial Intelligence. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 25.

Schubert, L. K. (1976). Extending the expressive power of semantic networks. Artificial Intelligence, 7(2), 163-198.

Shapiro, S. C. (1978). The SNePS semantic network processing system. State University of New York at Buffalo, Department of Computer Science.

Sowa, J. F. (2006). Semantic networks. Encyclopedia of Cognitive Science.

### Spunti per esercizi

1. Progettare a grandi linee una implementazione della rete semantica (grafo relazionale) con le strutture dati studiate nella prima parte del corso
2. Scrivere l'algoritmo che verifica se esiste un percorso tra due nodi dati.
3. Rappresentare in una rete proposizionale le seguenti asserzioni:
  - a. Picasso è un pittore
    - i. (Un pittore di nome Picasso)
    - ii. Picasso ha dipinto Guernica
  - b. I pittori sono artisti
  - c. I pittori dipingono quadri
4. Creare un sistema a frame che rappresenti il dominio dell'università, con i seguenti frame: persona, docente, studente, esame.
5. Creare una rappresentazione del sistema dei generi letterari ([http://it.wikipedia.org/wiki/Genere letterario](http://it.wikipedia.org/wiki/Genere_letterario)) definendone:
  - a. Tassonomia
  - b. Caratteristiche: ambientazione, temi, epoca, ecc.
  - c. Autori e titoli tipici (A-box)