

# Un Pool di Agenti a Supporto della Comunicazione Linguistica

M.T. Paziienza, M. Vindigni  
Dipartimento di Informatica, Sistemi e Produzione  
Università di Roma "Tor Vergata"  
{paziienza, vindigni}@info.uniroma2.it

## Abstract

*Gli agenti rappresentano un paradigma per la realizzazione di applicazioni distribuite su larga scala che si focalizza sulle interazioni tra processi autonomi ed eterogenei. Il problema della comunicazione di informazioni tra due entità è legato ad una serie di dimensioni diverse per le quali non sempre esiste una standardizzazione "de facto" sufficiente a garantire la consistenza dell'informazione scambiata. In questo articolo si analizzano le problematiche riguardanti la trasmissione di informazione attraverso il linguaggio naturale, nell'ipotesi che gli agenti coinvolti possano o meno condividere una stessa ontologia, e quindi si descrive un modello originale di architettura a supporto alla comunicazione basata su un insieme di agenti cooperanti finalizzati alla risoluzione delle specifiche necessità emergenti dall'interazione.*

## 1. Introduzione

Recenti ricerche nell'ambito dell'Ingegneria della Conoscenza suggeriscono la possibilità di estendere significativamente la tecnologia dell'Ingegneria del Software attraverso lo sviluppo di Agenti Software interagenti; secondo questo paradigma, entità di natura eterogenea con diverse (ma almeno parzialmente compatibili) concettualizzazioni del dominio, che modellano sia le loro competenze che l'ambiente esterno, rendono in qualche modo disponibile le loro risorse informative o capacità di risoluzione di problemi per processi cooperativi indirizzati al compimento di qualche obiettivo comune tramite la esecuzione dei compiti correlati.

Affinché queste entità possano interagire, è necessario che esse siano in grado di comunicare, ossia che esista un linguaggio condiviso in grado di esprimere sia le finalità dell'atto comunicativo che i contenuti informativi della comunicazione. Il problema della condivisione della conoscenza è affrontato tradizionalmente secondo due diverse modalità alternative:

- tutte le parti sono forzate ad adottare una stessa ontologia [3, 4], il che consente loro di comunicare tramite riferimento diretto a concetti comuni e rende implicita la condivisione della semantica delle informazioni scambiate;

- un insieme di corrispondenze tra i concetti delle ontologie coinvolte viene definito preventivamente [2], e la gestione dei mapping durante la comunicazione è affidata ad una terza parte con il ruolo di traduttore semantico: è il caso delle note architetture della Federazione [5], o della Knowledgeable Community [1], etc.;

Caratteristica comune è quella di poter disporre "a priori", estensivamente, dei modelli delle entità che dovranno interagire; ciò nella pratica si rivela difficilmente presumibile in contesti altamente dinamici ed eterogenei quali il Web, rendendoli impraticabili nel caso di architetture aperte, quando cioè la progettazione delle singole unità può non avvenire in completa condivisione del modello concettuale dell'ambiente in cui esse si troveranno ad operare.

In questo articolo sono analizzate le problematiche riguardanti la trasmissione di informazione, nell'ipotesi che gli agenti coinvolti possano non condividere una stessa ontologia. Viene inoltre presentata una architettura di supporto alla comunicazione che si avvale del contributo di un insieme di agenti cooperanti finalizzati alla risoluzione di specifiche necessità emergenti dall'interazione. La soluzione proposta si basa sull'uso del linguaggio naturale come veicolo della semantica nella comunicazione, e prevede una esplicita separazione tra il livello concettuale in cui i concetti sono rappresentati e correlati, e il livello lessicale in cui essi sono espressi da termini del linguaggio, essendo per ipotesi solamente quest'ultimo disponibile per un qualsiasi meccanismo inferenziale che abbia origine esternamente all'agente stesso.

## 2. Comunicare tramite il linguaggio

Sebbene esistano diversi formalismi che consentono di esprimere ad un qualche livello di astrazione i contenuti delle singole sorgenti informative, nessuno è sufficiente-

mente espressivo e altrettanto condiviso quanto il linguaggio naturale al punto da poterlo ritenere uno standard per la comunicazione della conoscenza tra sistemi. L'uso di linguaggi formali, come XML, per la rappresentazione del contenuto dei documenti, è limitato dalla mancanza di un ampio consenso su quali categorie debbano essere assunte come modello condiviso e a quale livello questa condivisione debba (e possa) spingersi. Diverse concettualizzazioni dei domini appaiono difficilmente conciliabili: i differenti aspetti che sono messi in risalto nelle varie basi di conoscenza dipendono fortemente dalle finalità applicative che hanno determinato le loro stesure. La comunicazione linguistica si propone perciò come l'unica soluzione possibile per quelle situazioni in cui non esista un esplicito accordo tra le parti per un utilizzo coerente di un linguaggio formale alternativo.

D'altronde, ammettere l'esistenza di un livello lessicale abbastanza ricco da consentire ad un agente di esprimere i concetti che intende comunicare presuppone che il ricevente disponga di abilità cognitive altrettanto sofisticate per comprendere ciò che l'altro realmente intenda. In questo scenario non è infrequente l'insorgere di problemi di comprensione legati alla provenienza da ambiti applicativi differenti, all'utilizzo di linguaggi diversi o comunque a differenze nelle concettualizzazioni del mondo.

Fenomeni quali l'ambiguità determinata dall'esistenza di termini che possono assumere significati diversi a seconda del contesto di utilizzo, l'esistenza di varianti morfologiche e la sinonimia, richiedono un livello di competenza linguistica per essere trattati che, seppur perfettamente naturale per gli umani, coinvolge abilità attualmente al di fuori della portata della maggior parte dei sistemi informatici. Quello che qui interessa però è analizzare come, se tale similitudine effettivamente esiste e si riflette in qualche misura sul piano lessicale, sia possibile fornire indirettamente alle parti dei meccanismi inferenziali atti a consentire il passaggio dell'informazione. Per meglio chiarire i contributi emergenti nell'architettura proposta, nel seguito sarà quindi presentato un modello del contesto comunicativo che rappresenta una formalizzazione delle problematiche sopra citate.

### 3. Il contesto della comunicazione

Il contesto comunicativo di due agenti ( $S$  con il ruolo di parlante e  $H$  con il ruolo di ascoltatore) può essere schematizzato come suddiviso in un certo numero di piani (vedi fig. 1), ortogonali al flusso dell'informazione, che chiameremo rispettivamente: piano concettuale del parlante  $O(S)$ , lessico del parlante  $V(S)$ , lessico del ricevente  $V(H)$ , e piano concettuale del ricevente  $O(H)$ . I piani concettuali  $O(S)$  e  $O(H)$  contengono i concetti  $C$  e l'insieme delle relazioni  $R$  che intercorrono tra questi. Essi costituiscono la componente "interiore" della rappresentazione mentale degli agenti, os-

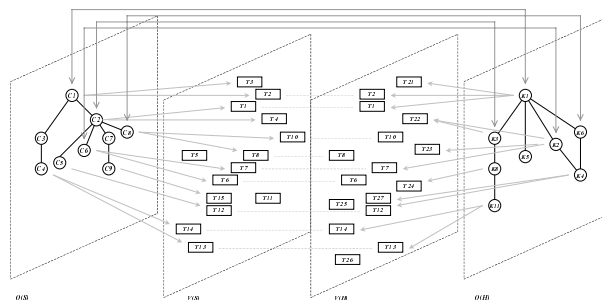


Figura 1. Schema del contesto comunicativo

sia la realizzazione del processo di concettualizzazione del dominio operato dai loro progettisti, espressa in un qualche formalismo di rappresentazione specifico. I piani lessicali  $V(S)$  e  $V(H)$  contengono l'insieme delle parole dei lessici  $T$  degli agenti. Per agenti che debbano comunicare attraverso il linguaggio, le informazioni contenute nei rispettivi lessici rappresentano la possibilità di "esprimere" le concettualizzazioni sottostanti e di conseguenza l'aderenza dei modelli mentali "proprietary" ad un formalismo (seppur debole) condiviso. La correlazione tra ciò che l'agente può rappresentarsi interiormente e ciò che esso può esprimere è costituita dalla relazione  $L : O \times V$  che correla i concetti con i termini del linguaggio (le frecce più chiare in figura). La corrispondenza tra i piani  $V(S)$  e  $V(H)$  indicata dalle linee tratteggiate rappresenta la relazione di eguaglianza (linguistica) tra i termini adottati dai due agenti: nel caso che  $S$  e  $H$  "parlino" la stessa lingua, queste ultime rappresentano la funzione identità (parziale) tra i simboli in  $V(S)$  e in  $V(H)$ ; infine, le linee nella parte superiore della figura indicano le corrispondenze "reali" tra i concetti presenti nelle rappresentazioni mentali dei due agenti, indipendentemente dai termini che li esprimono. Comunicare il concetto  $C$  di  $S$  ad  $H$ , significherà quindi passare dal piano concettuale di  $S$  al piano lessicale di  $S$ , da questo al piano lessicale di  $H$  e infine da quest'ultimo al corrispondente piano concettuale di  $H$ . Le difficoltà comunicative scaturiscono dal fatto che non esiste la relazione biunivoca tra i vari piani, per cui ogni spostamento implica la possibilità di allontanarsi dalla soluzione cercata. Sebbene si possa assumere che i partecipanti al dialogo concordino sul linguaggio di comunicazione (almeno per quanto riguarda la grammatica e il protocollo), è tuttavia possibile che un approccio diretto alla comunicazione lessicale possa fallire a livello di contenuti. Ciò può avvenire per esempio se:

1. il vocabolario (cioè l'insieme delle parole utilizzate) dell'ascoltatore non comprende la parola che il parlante sta utilizzando, localmente se l'ascoltatore usa un termine diverso per riferirsi allo stesso concetto, o globalmente nel caso di lingue diverse.

2. l'ascoltatore non "conosce" il concetto che il parlante vuole comunicare, ad esempio perché non competente dello specifico dominio del parlante.
3. l'ascoltatore associa il termine usato dal parlante ad uno o più concetti diversi da quello inteso, ad esempio perché esso è morfologicamente ambiguo (come in italiano "imposta" o in inglese "bank").

Le ambiguità locali possono essere risolte aumentando il numero di informazioni che qualifica ogni concetto, ad esempio attraverso l'uso di termini sinonimi ed esplicitando la sua relazione tassonomica con altri concetti.

#### 4. Un pool di agenti

La necessità di fornire una pluralità di informazioni per veicolare meglio il significato di un concetto, richiede l'introduzione di abilità comunicative più sofisticate. Dotare ogni agente software di tutte le abilità necessarie a permettergli di confrontarsi con questo tipo di problematiche significherebbe accentrare in una sola figura delle capacità che costituirebbero un appesantimento progettuale ed implementativo inusitato, dovendo essere integrate con gli altri compiti che già essa deve gestire e che risulterebbero ridondanti in una comunità di agenti. Definire agenti semplici rende agevole la manutenzione, l'inizializzazione e la customizzazione ai problemi, e favorisce l'integrazione e la riusabilità di servizi informativi pre esistenti la cui implementazione, il linguaggio di interrogazione e i canali di comunicazione sono in genere al di fuori del controllo delle applicazioni utente. Per tale ragione gli agenti nel sistema sono differenziati in termini delle funzionalità che offrono.

Distinguiamo perciò tre differenti tipologie di agenti:

1. *Agenti di risorsa*, che incapsulano le risorse informative garantendo una serie di servizi di gestione e presentazione coerente e possiedono la conoscenza oggetto di trasmissione;
2. *Agenti di servizio*, che forniscono le singole funzionalità di supporto per lo svolgimento di attività complesse;
3. *Agenti di controllo*, che forniscono la conoscenza strutturale del problema e possiedono abilità di coordinamento e di controllo.

Un agente di controllo ha una visione generale del problema, ma non conosce esplicitamente le tecniche algoritmiche specifiche da adottare per la sua risoluzione. Un agente di servizio invece sa come risolvere una particolare situazione, pur non avendo una rappresentazione del problema completo. Per tale ragione esso possiede un livello di specializzazione e di complessità più alto sia di un agente di controllo che di un agente-risorsa.

La suddivisione delle competenze tra agenti di servizio e agenti di controllo realizza la separazione tra cognizioni dei meccanismi "tattici" di risoluzione dei singoli problemi, e conoscenze "strategiche" di come comporli per la realizzazione di un obiettivo complesso. In tal modo, è possibile approcciare nuove problematiche, mediante una ricombinazione degli strumenti esistenti, e dualmente, potenziare le singole funzionalità senza dover ridisegnare necessariamente la strutturazione dell'intero sistema. La classificazione introdotta è funzionale alla tipologia di problema in esame: un agente reale può esibire una molteplicità di comportamenti che riflettono in diversa misura le caratteristiche peculiari delle singole classi; in questo ambito tuttavia l'attenzione è focalizzata sulle problematiche connesse all'uso del linguaggio naturale nell'attività comunicativa.

Rispetto alla comunicazione gli *agenti di risorsa* sono i responsabili della gestione e della presentazione della conoscenza di dominio delle risorse che essi incapsulano. Si può ipotizzare che la loro conoscenza del modello linguistico sottostante sia limitata alle cognizioni necessarie per passare dal piano lessicale al piano concettuale seguendo la relazione di corrispondenza tra parole e concetti, e su quest'ultimo, siano in grado di muoversi limitatamente e solo in risposta ad un'interrogazione precisa. Un agente di risorsa ha il compito di consentire una vista uniforme della risorsa sottostante. Nella forma più semplice, esso si occupa essenzialmente di fornire risposte dirette alle interrogazioni sui contenuti della risorsa poste dagli altri agenti. In una versione più sofisticata, può dar origine all'atto comunicativo verso un altro agente di risorsa. Un *agente di servizio* possiede le abilità computazionali necessarie alla risoluzione del problema specifico, sia esso la traduzione multilinguale, o la mediazione ontologica. Il *mediatore ontologico* ha il compito di operare una attività di riconciliazione dei disallineamenti della comunicazione; il *traduttore linguistico* si occupa di attuare una traduzione controllata dei vocaboli, qualora la comunicazione avvenga tra agenti di lingue diverse.

Nel processo comunicativo gli *agenti di controllo* sono rappresentati dal *coordinatore*, che regola i flussi dell'informazione in modo trasparente per le componenti coinvolte, determinando a seconda della necessità la configurazione di agenti necessaria.

#### 5. Il mediatore Ontologico

Poiché la corrispondenza lessico-semanticale non è tale da garantire una identificazione *univoca* dei concetti a partire dai termini, il solo contenuto lessicale del messaggio non è sufficiente a veicolare l'informazione. L'agente mediatore si propone come un'entità in grado di colmare il divario esistente tra contenuti informativi delle singole lessicalizzazioni e il loro uso congiunto entrando nel processo di co-

municazione per fornire un contributo informativo "inferenziale" rispetto a quello "enumerativo" che i singoli agenti possono fornire. Il mediatore è indipendente da un particolare ambito del discorso. In generale, assumiamo che esso non abbia a priori alcuna conoscenza specifica sugli argomenti trattati dai parlanti e che durante la sua attività si interessi alla comprensione delle relazioni che intercorrono tra i concetti coinvolti nella comunicazione e i termini con cui gli attori li denotano, e non delle relazioni tra i concetti stessi e le entità del mondo che rappresentano. La funzione di mediazione è ispirata a quanto avviene nella comunicazione tra le persone. Qualora l'ascoltatore non concordi sul significato da attribuire ad una certa parola, il dialogo viene interrotto ed egli richiede maggiori dettagli. In presenza di una parola sconosciuta, si instaura un sotto-dialogo, basato su una serie di domande e risposte, mirate ad individuare il concetto relativo (o la sua posizione all'interno dell'ontologia) tramite la costruzione di ipotesi basate sugli indizi che si possono raccogliere da sinonimi, relazioni con gli altri concetti, e così via. Il fatto che la mediazione avvenga "fuori" del modello ontologico degli agenti coinvolti nel dialogo, presuppone che il mediatore non disponga di un'immagine totale delle due ontologie. Poiché l'ambiguità si verifica tra due contesti ontologici, il mediatore dovrà operare raccogliendo le informazioni dagli agenti coinvolti. Duplicare integralmente le loro conoscenze appare impraticabile; il mediatore piuttosto costruisce una vista dinamica, a seconda delle necessità emergenti dalla particolare situazione e su questa opera l'analisi delle corrispondenze. La costruzione delle proiezioni delle ontologie dei partecipanti avviene a partire dalle interrogazioni che esso opera a questi, riguardo i termini che denotano un concetto, la loro polisemia, e le relazioni tassonomiche in cui un dato concetto è direttamente coinvolto.

## 6. Il Traduttore Linguistico

Quando la comunicazione si instaura tra agenti che usano linguaggi differenti il dislivello informativo non è più colmabile solo tramite le inferenze derivabili dall'uso che gli agenti fanno dei loro lessici. Rispetto al modello della comunicazione presentato, in tal caso tra i due piani lessicali non esiste più una relazione di corrispondenza nemmeno parziale, e soprattutto, essa non è più direttamente derivabile dal confronto diretto tra i simboli. I disallineamenti lessicali non sono più direttamente imputabili a differenze conoscitive nelle parti, ma rappresentano un fenomeno di più ampia portata che richiede l'introduzione di una nuova entità in grado di determinare la corrispondenza tra i termini nei due linguaggi, tramite la consultazione intelligente di risorse estensive (ad esempio dizionari on-line): un agente *traduttore*.

Il problema della traduzione dei termini dipende diret-

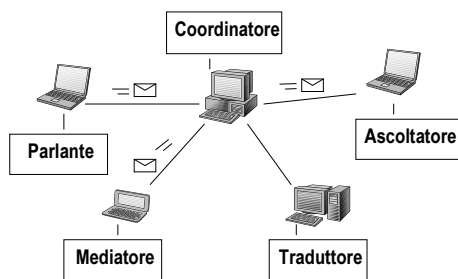
tamente dalla quantità e qualità delle informazioni contenute nella risorsa gestita dall'agente traduttore. Per domini specifici esistono dizionari on-line sofisticati, ma manca una descrizione formale delle risorse che ne renda immediato l'utilizzo automatico. Risorse più estensive sono di solito carenti di informazioni supplementari (come le descrizioni esplicite dei sensi delle parole o esempi di uso dei termini) limitandosi ad indicare le corrispondenze tra i lemmi delle lingue. E' compito del traduttore determinare la giusta traduzione dello specifico senso di un termine. In analogia con quanto affermato nella mediazione, il traduttore ha l'obiettivo di colmare il divario esistente tra il contenuto informativo dei singoli termini e il loro uso congiunto.

La scelta di localizzare in due entità diverse il compito della mediazione e della traduzione è ispirata da alcune considerazioni: in primo luogo, se l'agente mediatore dovesse occuparsi anche dell'attività di traduzione, il suo modello mentale dovrebbe essere complessificato ulteriormente, e si dovrebbero prevedere due meccanismi inferenziali distinti, uno che tenga in conto le relazioni che intercorrono tra ontologie e lessici degli agenti, e l'altro le relazioni tra lessici e linguaggi. Inoltre è probabile che uno stesso mediatore, in momenti diversi, debba confrontarsi con agenti di lingue diverse: in tal caso esso necessiterà della collaborazione di diversi traduttori per i linguaggi in questione mantenendo inalterate le proprie caratteristiche. Allo stesso modo si vuole consentire la maggior flessibilità possibile nella scelta dei meccanismi inferenziali della mediazione, nell'ipotesi di utilizzare mediatori che impieghino ragionamenti differenti in ambiti diversi.

## 7. Il Coordinatore

Come precedentemente detto, poiché non è noto a priori quale modalità di comunicazione si determinerà durante il dialogo, è necessario una terza tipologia di agente, quella di controllo, che coordini la partecipazione delle varie entità al processo comunicativo. Se gli agenti utenti del sistema dovessero conoscere esplicitamente quale livello di servizi è richiesto per la loro comunicazione, e quali topologie di connessioni debbano essere attivate per attuare l'obiettivo, essi dovrebbero possedere una conoscenza esplicita del sistema in cui stanno entrando.

Il *coordinatore* si prende carico di determinare quale flusso di interazioni sia necessario per la comunicazione dell'informazione, attivando per ciascun compito gli agenti di supporto e coordinandone le attività. Per far ciò esso deve almeno conoscere l'esistenza di uno o più agenti in grado di fornire la mediazione e/o la traduzione.



**Figura 2. Architettura del sistema**

## 8. Un'architettura per la comunicazione

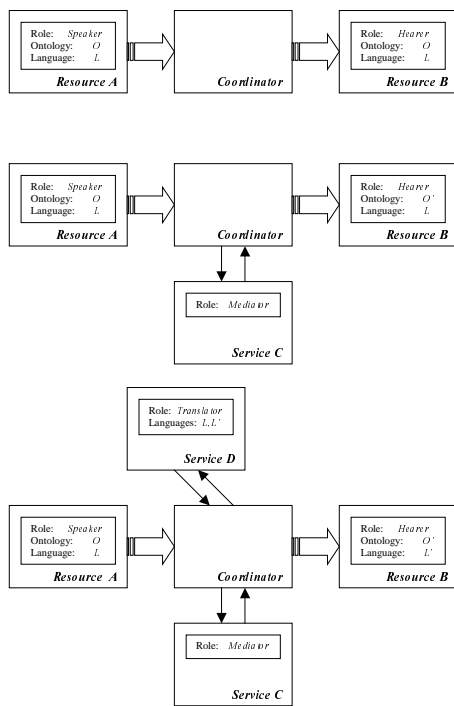
L'architettura di supporto alla comunicazione proposta è schematizzata in fig. 2 e si definisce attraverso un gruppo di agenti che cooperano secondo due modalità differenti, realizzate in forma di un linguaggio orientato ai messaggi: una *comunicazione sincrona* guidata dalle domande basata su un meccanismo di query diretta e una *comunicazione asincrona* guidata dagli eventi basata su un meccanismo di request/reply. Gli agenti usano il linguaggio di comunicazione basato su messaggi costituito da una versione semplificata di KQML, che preserva i performativi più comuni (ask-one, ask-all, tell, etc.) la cui semantica è largamente condivisa. In questa architettura, gli agenti software che gestiscono le risorse possono comunicare liberamente, indipendentemente dalla loro collocazione fisica nella rete o dei loro linguaggi attraverso l'interazione con un Coordinatore. Il Coordinatore è responsabile dell'attivazione di quei meccanismi richiesti per trovare gli altri agenti di supporto (mediatori e/o traduttori) necessari per il trattamento di un dato messaggio, di inoltrare richieste appropriate a questi, di passare le queries che essi formulano ai dialoganti e di trasmettere le informazioni necessarie per la stesura dei messaggi. A seconda della natura del messaggio il Coordinatore si occuperà di ottenere una risposta diretta o attivare dei meccanismi per il suo processamento. Il modello del sistema è orientato alle informazioni, e implementa differenti funzionalità.

Lo scenario della comunicazione diviene dunque il seguente: qualora due agenti desiderino comunicare, essi contattano il Coordinatore, dichiarando i rispettivi linguaggi ed ontologie, affinché organizzi l'incontro e arbitri il dialogo. Il Coordinatore accetta il compito e nel caso sia necessario, si occuperà di contattare un opportuno traduttore ricevendo e reindirizzando per tutta la durata del dialogo i messaggi scambiati tra le parti coinvolte. Nel caso la comunicazione avvenga regolarmente, il Coordinatore svolgerà un ruolo totalmente "passivo", fungendo semplicemente da "luogo di incontro" per i due agenti. Qualora al contrario durante l'incontro si verifichi un fraintendimento tra le par-

ti, il Coordinatore sarà avvisato e richiederà i servizi di uno o più mediatori. Per quanto riguarda gli agenti interessati, è il coordinatore che si occupa di tutte le attività e la delegazione dei compiti ai mediatori e traduttori avviene in modo trasparente.

Poiché gli agenti sono tutti connessi attraverso il Coordinatore, esso dovrà provvedere a fornire un flusso coerente delle informazioni e ad esplicitare le operazioni necessarie per il conseguimento di una richiesta complessa. Per espletare la sua funzione, le modalità di comportamento del Coordinatore diventano progressivamente sempre più complesse e strutturate richiedendo che esso abbia una conoscenza approfondita del meccanismo comunicativo. Ad esempio, si supponga che due agenti *A* e *B* si siano registrati nel sistema, rispettivamente come parlante e ricevente, per comunicare. Il Coordinatore provvederà invece al confronto tra le informazioni di supporto di *A* e di *B* al fine di determinare quali condizioni siano verificate:

- se *A* e *B* usano la stessa ontologia, il messaggio di *A* sarà trasmesso direttamente a *B*, previa eventuale conversione dell'atto comunicativo (in fig. 3-a);
- se *A* e *B* usano ontologie diverse, ma lo stesso linguaggio (in fig. 3-b), il Coordinatore verificherà la disponibilità di un agente di mediazione a cui formulerà un'appropriata richiesta di servizio, fornendogli l'indicazione del concetto da tradurre ontologicamente, e i nomi virtuali delle parti, da utilizzare per richieste di informazioni aggiuntive. Per rendere trasparente la propria presenza, il Coordinatore si comporterà durante la mediazione ora da parlante ora da ricevente, supportando le query del mediatore direttamente, se le informazioni richieste sono presenti nella sua base di conoscenza, o ridirigendole ai reali interessati in caso contrario. Quando l'opera di mediazione sarà terminata, il Coordinatore si occuperà di raccogliere le risposte del mediatore, aggiornare la propria base di conoscenza, e in caso sia stata stabilita l'equivalenza tra il concetto che il parlante intendeva esprimere ed un concetto dell'ontologia del ricevente, invierà l'informazione appropriata al ricevente come se essa fosse stata inviata direttamente dal parlante, notificando a quest'ultimo l'avvenuta comunicazione del messaggio;
- qualora le parti coinvolte nel dialogo non utilizzino la stessa ontologia nè lo stesso linguaggio (in fig. 3-c), l'opera del Coordinatore è più complessa. Infatti, se *A* e *B* differiscono per i linguaggi utilizzati, alla procedura sopra descritta si aggiungerà la ricerca di un agente di traduzione per le lingue in questione: il Coordinatore dovrà ora intercettare le interrogazioni del mediatore e le risposte di *A*, per inviarle al servizio di traduzione prima di ridirigerle all'agente interessato. Esso dialogherà direttamente con il traduttore, allo scopo di



**Figura 3. Configurazioni dinamiche di dialogo**

fornire all'agente mediatore le informazioni che gli sono necessarie in una sola lingua, che supponiamo essere quella di *B*. Ci implica il vaglio di ogni risposta a query rivolte al parlante, l'invio delle parole al traduttore, e l'invio delle traduzioni al mediatore.

Poiché ogni risultato intermedio prodotto fluisce attraverso il coordinatore, è possibile dotarlo di un meccanismo per conservare, per futuri usi, il risultato delle interazioni tra gli agenti. Se alla fine di un processo di mediazione si è scoperto che il concetto *C* dell'agente *A* corrisponde al concetto *C'* dell'agente *B*, il coordinatore potrà utilizzare questa cosa nelle interazioni future evitando di passare per l'opera del mediatore, abbassando il costo computazionale dell'interazione tra *A* e *B*. Di riflesso, esso acquisisce una nuova "conoscenza", emergente dalle conoscenze delle singole componenti, che costituisce un valore aggiunto dell'intero sistema.

## 9. Conclusioni

L'architettura qui proposta ed implementata fornisce un esempio concreto della possibilità di realizzare un meccanismo comunicativo basato sul linguaggio. La comunità di agenti realizzata consente di gestire i problemi principali coinvolti nello scambio di informazione: la mediazione on-

tologica, la multilingualità e la loro interazione modellata nella figura del coordinatore. La topologia distribuita risultante separa efficacemente i contenitori dell'informazione (gli agenti di risorsa) dai servizi di trattamento dell'informazione (gli agenti di servizio, mediatori e traduttori), dalla conoscenza specifica del problema (incarnata nel coordinatore) che determina quali componenti siano necessarie per trattarlo e come esse debbano interagire. Il sistema risultante è estremamente modulare, cosicché è richiesto un adattamento minimo per la gestione delle specifiche situazioni applicative. In particolare, esso è stato concepito per facilitare il più possibile l'inserimento di nuovi agenti di risorsa, i quali non devono necessariamente esibire alcuna capacità inferenziale, e devono solo fornire le interfacce di comunicazione, in gran parte già presenti nel livello di protocollo di base, e la gestione uniforme dei dati sottostanti, facilmente realizzabile tramite i meccanismi di interrogazione della specifica risorsa (ad es. query in SQL nel caso di database, o semplici predicati logici o funzionali nel caso di basi di conoscenza scritte in Prolog o Lisp). Allo stesso modo, l'integrazione di dizionari bilingue è resa semplice dall'esistenza di un livello di reasoning separato dalla base di dati, il che implica che è ancora una volta sufficiente scrivere le interrogazioni necessarie a collezionare il dato nel formato richiesto, demandando agli algoritmi realizzati il suo processamento. L'efficacia degli algoritmi di base già sviluppati dipende peraltro fortemente dalle risorse considerate. La tecnica di mediazione tra concetti adottata si affida fortemente alla espressività del lessico degli agenti per esprimere i concetti, dovendo essere integrato, in presenza di forti dissimilarità nelle ontologie dei partecipanti, con l'utilizzo di informazioni ortogonali in grado di esplicitare le evidenze richieste.

## Riferimenti bibliografici

- [1] R. Benjamins and D. Fensel. Community is Knowledge! in (KA) 2. In *Proceedings of the 11th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based System Workshop (KAW98)*, Banff, Canada, 1998.
- [2] K. Decker, M. Williamson, and K. Sycara. Modeling information agents: Advertisements, organizational roles, and dynamic behavior. In *Proceedings of the AAAI-96 Workshop on Agent Modeling*, 1996.
- [3] N. Guarino. *Formal Ontology and Information Systems*. In N. Guarino, editor, *Proceedings of the 1st International Conference on Formal Ontologies in Information Systems, FOIS'98*, Trento, Italy, 1998.
- [4] R. V. Guha and D. B. Lenat. Building large knowledge-based systems: Representation and inference in the CYC project. *Addison-Wesley*, 1990.
- [5] T. Khedro and M. Genesereth. Facilitators: A networked computing infrastructure for distributed software interoperation. In *Working Notes of the IJCAI-95 Workshop on Artificial Intelligence in Distributed Information Networks*, 1995.