

Verso una filosofia al servizio dell'industria: l'utilità dell'ontologia analitica per l'informatica medica

Barry Smith (IFOMIS)¹

Werner Ceusters (Language and Computing nv)

Abstract

La ricerca medica è afflitta da un problema di comunicazione. Comunità distinte di ricercatori si servono di terminologie diverse e spesso incompatibili per esprimere i risultati del loro lavoro, generando in questo modo problemi di integrazione tra database ogniqualvolta si presenti la necessità di inserire i dati medici nei computer. In un primo momento i problemi di integrazione tra database venivano risolti caso per caso, in seguito si è fatta strada l'idea di realizzare un'unica tassonomia di riferimento in cui tradurre, una volta soltanto, tutti i vari sistemi di classificazione. Funzionando come una sorta di lingua franca, questa tassonomia di riferimento avrebbe automaticamente garantito ad ogni database calibrato su di essa la compatibilità con tutti gli altri. È curioso come gli informatici abbiano chiamato il sistema centrale di classificazione che stavano proponendo un'ontologia, riconoscendo così l'esistenza di più di un'affinità tra il lavoro di costruzione che un simile sistema comportava e la vecchia metafisica. Il presente articolo descrive un tentativo di sfruttare le risorse della filosofia per risolvere problemi che sorgono, in particolar modo, nel campo dell'integrazione delle terminologie mediche. Vengono delineati in particolare i contorni di un'iniziativa che è il frutto della collaborazione tra l'Istituto di Ontologia Formale e Informatica Medica e la società di software belga Language and Computing, iniziativa che prevede la messa alla prova di un'ontologia fondata su solidi principi filosofici nel contesto di potenti strumenti software per l'elaborazione di testo medico.

Introduzione

Immaginate di voler realizzare un sistema d'allerta computerizzato che sia capace di rivelare degli attacchi bio-terroristici sul nascere². A questo scopo avrete bisogno di un accesso in tempo reale a dati medici dai quali poter inferire le variazioni giornaliere nel numero delle visite mediche e dei ricoveri associati a certi tipi di disturbi in determinate zone geografiche. Avrete poi bisogno di accedere ai dati che riguardano la variazioni statistiche nelle prescrizioni e nell'acquisto di medicinali. Dati di questo tipo sono in effetti già largamente disponibili, ad esempio grazie agli inventari computerizzati delle farmacie, delle rivendite specializzate e delle compagnie assicurative.

Tuttavia non appena inizierete a lavorare con dati di questo tipo, vi troverete di fronte ad un certo numero di problemi. Sebbene le tecnologie per gli inventari informatizzati abbiano raggiunto ormai un livello notevole di sviluppo, i sistemi di classificazione su cui tali tecnologie sono basate sono tuttavia il prodotto di una miriade di decisioni *ad hoc*, che risalgono ai primissimi passi della progettazione di database. Il che significa che, anche nel caso di quella varietà limitata di farmaci che è possibile pagare alla cassa di una farmacia, quei dati esistono in una molteplicità di forme differenti, le quali non fanno altro che riflettere le diverse combinazioni tra sistemi di etichettatura e codici a barre che vengono impiegati dai produttori e dai rivenditori. Quando si tenta di mettere insieme questi modi, più o meno *ad hoc*, di ripartire l'universo dei prodotti farmaceutici, si va immediatamente incontro a problemi seri che richiamano alla memoria l'antica favola della Torre di Babele.

¹ Il lavoro descritto in questo articolo è finanziato dalla Alexander von Humboldt Foundation sotto gli auspici del suo Wolfgang Paul Programme.

² Una proposta simile è avanzata nel *Wall Street Journal* del 1 novembre 2001.

Questi problemi sono resi ancor più complicati dal fatto che dati clinici assai preziosi non si trovano in alcun database strutturato. Anzi il 98% delle informazioni disponibili in formato elettronico esiste nella forma di documenti digitalizzati (è il caso, ad esempio, delle schedature dei pazienti e degli articoli pubblicati sui quotidiani locali) che conservano la loro forma linguistica originaria. L'integrazione di informazioni di questo genere richiede un passo preliminare aggiuntivo, quello di estrarre dal testo i dati rilevanti in maniera tale da renderlo non solo integrabile con dati strutturati, ma consentendo anche l'applicazione su di esso di certi sistemi di ragionamento automatico.

Il nuovo mondo dell'ontologia nei sistemi informativi

In un primo momento il problema dell'integrazione dei database veniva risolto caso per caso: database venivano allineati manualmente a due a due, un po' come se si stesse traducendo dal francese all'ebraico. A causa, tuttavia, del numero crescente dei sistemi di database e della loro maggiore complessità, si è fatta strada l'idea di ottimizzare tali sforzi costruendo un'unica tassonomia di riferimento, una sorta di quadro di controllo centrale, in cui avrebbero dovuto essere tradotti, una volta soltanto, tutti i vari sistemi di classificazione. Funzionando come una sorta di *lingua franca*, questa tassonomia di riferimento avrebbe automaticamente garantito ad ogni database calibrato su di essa la compatibilità con tutti gli altri.

Ebbene è curioso come gli informatici abbiano chiamato il sistema centrale di classificazione che stavano proponendo un'*ontologia*, riconoscendo così l'esistenza di più di un'affinità tra il lavoro di costruzione che un simile sistema comportava e la vecchia metafisica. Quando ci interroghiamo, infatti, sui tipi di classificazione da utilizzare in una siffatta tassonomia di riferimento e ci domandiamo quali siano i principi da adottare nella sua realizzazione, ciò che stiamo sollevando non sono altro che interrogativi *di natura filosofica*, al punto che molte delle difficoltà affrontate dagli informatici nel costruire un'ontologia si sono rivelate pressoché identiche ai problemi con cui hanno dovuto fare i conti i filosofi fin dai tempi di Aristotele. Si tratta di problemi che riguardano gli universali e i particolari, le proprietà e le relazioni, gli eventi e i processi. In che modo, da un mondo di differenze continue, emergono le distinzioni categoriali? Come possiamo rendere conto dell'identità attraverso il tempo di un individuo se perde e acquisisce parti? Le classi sono il semplice prodotto delle segmentazioni umane o corrispondono piuttosto ad invarianti genuine presenti nella realtà? Una classe è qualcosa di più della totalità delle sue esemplificazioni? È possibile che un sistema per classificare le entità di un certo dominio di realtà risulti più *corretto* di un altro?

Il presupposto che stava alla base della nuova ontologia informatica era quello secondo cui sarebbe stato possibile realizzare un sistema di classificazione tanto generale da poter riformulare nei suoi termini qualsiasi database. I vantaggi potenziali di un'ontologia così concepita sono evidenti: se davvero tutti i database, tutti i dati presenti in testi non strutturati e tutti i corpora possono essere resi compatibili in quel modo, allora prende forma la prospettiva di mettere insieme tutte le risorse digitali che hanno esistenza separata in un'unica base di conoscenze dalle dimensioni fin ad ora inimmaginabili, realizzando così l'antico sogno di una Grande Enciclopedia che comprenda la totalità del sapere umano. Per quanto riguarda il dominio specifico della medicina ciò equivarrebbe alla possibilità di utilizzare l'enorme quantitativo di risorse esistenti e disponibili in formato digitale (sia che si presentino nella forma di schedature non strutturate di pazienti, sia che abbiano la forma di dati statistici forniti dagli ospedali sul numero dei ricoveri e sulle terapie praticate ai degenti) come base di un gigantesco esperimento planetario: sarebbero possibili in questo modo forme nuove, puramente digitali, di ricerca medica, basate cioè interamente sullo sfruttamento del potenziale di ragionamento dei computer oltre che della loro inesauribile memoria.

I problemi

Ad ogni buon conto, sfortunatamente, l'esperienza ha mostrato come la costruzione di un'ontologia di riferimento sia un'impresa assai più complessa di quanto fosse prevedibile in origine. Si tratta, infatti, di un'ontologia che deve essere semplice quanto basta da poter essere implementata nei nostri computer e tuttavia deve essere sufficientemente comprensiva da consentire l'espressione dei termini derivati da tutti i sistemi di classificazione in competizione tra loro. La risposta a queste difficoltà da parte della stessa comunità informatica è stata quella di produrre una serie di ontologie parziali, ciascuna fondata su un valutazione differente, motivata da un punto di vista pragmatico, del modo in cui deve essere costruita un'ontologia. Ed è così che la stessa situazione da Torre di Babele che aveva dato origine, per venir superata, al progetto ontologico, si riproduce – ironia della sorte – all'interno dell'ontologia stessa.

L'ontologia dell'IFOMIS

L'Istituto per l'Ontologia Formale e l'Informatica Medica rappresenta un nuovo approccio nella soluzione dei problemi dell'ontologia. Questo Istituto, che è stato fondato nel 2002 presso la Facoltà di Medicina dell'Università di Lipsia, si prefigge un ritorno all'idea originaria di una comune ontologia di riferimento. I tentativi precedenti di costruire un'ontologia erano caratterizzati da un approccio pragmatico a un simile progetto, il quale era motivato dalla necessità di risolvere problemi specifici dello sviluppo dei sistemi informativi oppure dal lavoro fatto in discipline strettamente collegate quali l'intelligenza artificiale o la ricerca in ingegneria della conoscenza (più di recente dal lavoro sulla standardizzazione di documenti e processi disseminati in Internet, nel quadro della cosiddetta «Semantic Web Initiative»). L'IFOMIS, di contro, guarda oltre la sfera degli artefatti software, prendendo le mosse dall'idea che (1) si debba tentare di arrivare ad un'ontologia corretta prima di realizzare i modelli software e che (2) il progetto di sviluppare l'ontologia di riferimento necessaria possa trarre vantaggio dalle teorie sviluppate dai filosofi in 2500 anni di ricerca ontologica.

L'ontologia IFOMIS è caratterizzata da un approccio realista oltre che dall'idea rivoluzionaria secondo cui è necessario, nella costruzione di un sistema di database, prestare molta attenzione a *come è fatto il mondo* a cui quel sistema deve essere applicato. Se le ontologie informatiche esistenti sono state in gran parte costruite assumendo come punto di partenza sistemi di database già disponibili o concettualizzazioni utilizzate dagli specialisti di un certo dominio, l'obiettivo dell'IFOMIS è invece quello di realizzare una teoria comprensiva delle partizioni e delle interrelazioni tra entità nella realtà stessa. Una teoria di questo tipo deve essere costruita passo per passo, a partire da quei generi di enti che ci sono più familiari fino ad arrivare ad abbracciare categorie e domini di entità sempre nuovi, per lo meno quelli alla nostra portata. Tale teoria, inoltre, deve essere realizzata in modo tale da consentire revisioni nel caso in cui il tentativo di trattare nuovi tipi di entità dovesse rendere problematici i risultati ottenuti fino a quel momento. E non meno importante è la capacità che questa teoria dovrebbe possedere di rendere giustizia al fatto che una medesima realtà può essere segmentata in tanti modi diversi quante sono le prospettive attraverso cui può essere considerata.

Sotto questo aspetto l'elemento strutturale principale, dal nostro punto di vista, è catturato dalla nozione di *granularità*. È possibile effettuare partizioni diverse della medesima realtà a differenti livelli di granularità (proprio come possiamo suddividere l'organismo umano in cellule, organi o in sistemi corporei). L'ontologia medica dell'IFOMIS deve possedere le risorse per supportare, ad esempio, non solo un'ontologia anatomica al livello degli organi, all'interno della struttura del corpo umano, ma anche ontologie a risoluzioni sempre più fini: dal livello cellulare a quello delle proteine, dal livello molecolare a quello genetico. Essa, inoltre, deve essere in grado di

supportare classificazioni di *processi* a diverse risoluzioni, inclusi i processi chimici e biologici che hanno luogo all'interno del corpo.

L'ontologia di L&C

Più di recente l'IFOMIS ha iniziato una collaborazione con la società Language and Computing nv (L&C).

Un gran numero di società tecnologiche attive nel campo farmaceutico e sanitario è in grado di offrire strumenti efficaci appositamente progettati al fine di facilitare l'elaborazione di dati clinici. L'efficacia di questi strumenti, tuttavia, dipende in gran parte dalla possibilità di disporre di dati *strutturati*, in conformità, ad esempio, a un qualche vocabolario medico controllato. Eppure una grande quantità di dati clinici si presenta in forma non strutturata – è il caso, ad esempio, della maggior parte delle schede cliniche –, non facendo altro che riflettere l'esigenza che numerosi medici hanno di utilizzare espressioni del linguaggio naturale di loro gradimento per cogliere ogni sfumatura del caso particolare. Sebbene il numero di medici e di altri operatori della sanità convinti dei vantaggi derivanti dall'uso dei computer sia in crescita costante, non manca chi preferisce ancora utilizzare dati raccolti da altri, piuttosto che registrarli in prima persona. Sono molte le ragioni di questa situazione, non ultime la scarsità di sistemi nei punti di interesse e la triste insufficienza di integrazione tra di essi nel processo di assistenza primaria, al punto che solo una frazione di quelle attività che potrebbero avvantaggiarsi dell'uso del computer è effettivamente supportata. Il problema che in questo caso merita la nostra attenzione è rappresentato dal *collo di bottiglia nella strutturazione dell'informazione*. Le cartelle cliniche, che siano redatte su carta o in formato elettronico, vengono conservate come un'annotazione esterna che è parte di una storia clinica individuale, così che ogni futura decisione possa essere presa alla luce degli eventi passati. Il sistema *elettronico* di schedatura è, come è evidente, assai più vantaggioso del sistema cartaceo, dal momento che consente studi incrociati sui pazienti e può rappresentare un supporto per l'assunzione di decisioni di tipo gestionale. Ma affinché tutto ciò sia possibile è necessario che i dati inseriti nelle macchine siano strutturati: essi devono cioè essere rappresentati e archiviati in modo tale da poter essere elaborati dalla macchina stessa, per lo meno quando si tratta di compiti che quest'ultima è in grado di svolgere meglio dell'uomo.

Che vi sia necessità di una *rappresentazione e archiviazione dati* strutturata è innegabile ed è anzi qualcosa di ampiamente risaputo. L'errore, tuttavia, è stato quello di ritenere che ciò comportasse anche la necessità di un'immissione di dati in forma strutturata. Il che ha avuto come conseguenza l'imposizione di una struttura già al livello delle modalità di acquisizione dati, nella forma di moduli rigidi, di interfacce «punta e clicca», di menu organizzati con scelte fisse e altro ancora. Vi è poi un'ulteriore strutturazione al livello del contenuto che si deve all'uso di sistemi di classificazione e di codifica o di vocabolari controllati. Ebbene è davvero necessario che sia l'utente a realizzare la strutturazione, visto il suo scarso gradimento per i vincoli imposti in questo genere di raccolta dati e dal momento che non sono in molti quelli disposti ad accettare vincoli in cambio di successivi vantaggi nel reperimento delle informazioni? Il fatto è che sono veramente pochi quelli disposti ad accettare il fardello di una raccolta dati strutturata, in cambio di un recupero efficace delle informazioni. Inoltre è davvero sostenibile – per non dire giustificabile – un simile fardello, alla luce dell'idea, condivisa – come è stato sottolineato – da molti medici, secondo cui è soltanto attraverso l'uso del linguaggio naturale che è possibile ottenere una registrazione fedele dei dati che riguardano il paziente?

Alla luce di quanto detto, L&C ha sviluppato un approccio innovativo all'elaborazione dei dati clinici, basato sull'uso di sofisticate tecnologie per l'elaborazione del linguaggio naturale, potendo contare su quella che probabilmente è al momento la terminologia-ontologia medica più comprensiva che ci sia, oltre che su potenti sistemi formali per la gestione delle terminologie mediche.

IFOMIS e L&C

L'IFOMIS e L&C lavorano insieme per il conseguimento di obiettivi complementari. L&C ha la necessità di aggiornare e perfezionare costantemente le sue risorse ontologiche. Tuttavia molti progettisti di ontologie con cui L&C avrebbe potuto collaborare impiegano formalismi deboli come le logiche descrittive, le quali possono andar bene per problemi-giocattolo o per la costruzione di ontologie che rappresentino mondi semplificati, ma non rispondono certo alle esigenze di ontologie estremamente ampie quali sono, tipicamente, quelle del dominio biomedico. Ciò che manca in simili approcci è quel genere di metodologia critica utile ad osservare e comprendere fenomeni complessi, una metodologia tipica della filosofia analitica. L'IFOMIS prende sul serio lo sviluppo dell'ontologia proprio nel senso richiesto dal lavoro di L&C sulle ontologie di larga scala, non rinunciando però a possibili deviazioni dalla tradizione del lavoro di sviluppo se queste ultime si rivelassero necessarie a un'analisi attenta dei problemi con cui gli ontologi devono confrontarsi. Nel contempo LinkBase® (l'ontologia medica di L&C) e LinkFactory® (il loro sistema di gestione ontologica) hanno un valore inestimabile per il lavoro svolto dall'IFOMIS, funzionando come unità di innesco per un conseguimento assai più rapido dei suoi obiettivi. Più nello specifico LinkBase consente all'IFOMIS di identificare i punti rilevanti nello sviluppo di ontologie sanitarie, oltre a consentire l'identificazione delle difficoltà e dei problemi principali che esso comporta. L'IFOMIS, d'altra parte, fornisce le sue risorse critiche a L&C con lo scopo di migliorare i fondamenti dell'ontologia LinkBase, se non di ampliarli o emendarli laddove sia necessario. LinkFactory consente all'IFOMIS lo sviluppo di ontologie in ambiente professionale e sperimentato a livello industriale. L'obiettivo finale è quello di mostrare come l'applicazione della metodologia e del realismo ontologico propugnati dall'IFOMIS ai sistemi sviluppati da L&C possa produrre miglioramenti considerevoli nell'efficienza e affidabilità di questi ultimi.

Attraverso un incremento di quel genere di standardizzazione che è tipico di una teoria ontologica ben delineata, l'IFOMIS sarà in grado di migliorare le attuali definizioni formali di quei concetti, e delle loro relazioni binarie, che di LinkBase rappresentano le parti costitutive. Il che, da un lato, servirà a completare e a consolidare la struttura di LinkBase, mentre, dall'altro, la doterà di un potere di ragionamento aggiuntivo, rendendo inoltre possibile lo sviluppo futuro di nuovi tipi di algoritmi. Questi miglioramenti sono il frutto dell'applicazione di una metodologia filosofica rigorosa, a partire dall'uso di un linguaggio logico del prim'ordine, che è il linguaggio in cui è definita l'ontologia IFOMIS. Il rigore formale che caratterizza l'approccio dell'IFOMIS è dunque importato in LinkBase ad un meta-livello: gli elementi in sé subiscono pochi cambiamenti, semmai è la loro collocazione in un'ontologia di dominio IFOMIS ad essere «etichettata».

Perché il settore sanitario?

Il dominio medico è stato scelto a fini applicativi dall'IFOMIS alla luce non solo del suo significato intrinseco, ma anche a causa delle sfide ontologiche che presenta.

Innanzitutto la medicina necessita di un'ontologia che permetta l'applicazione simultanea di prospettive distinte (quelle, ad esempio, del dottore e del paziente, del farmacologo e del genetista) ad una medesima realtà. Il dominio medico ha la caratteristica di consentire classificazioni che riflettono distinzioni rilevanti dal punto di vista causale, a più di un livello di granularità.

In secondo luogo il dominio medico ha tutto il potenziale per mostrare quanto una buona ontologia sia in grado di produrre indubbi benefici per il benessere umano. Se davvero i medici sono convinti che i dati clinici debbano essere raccolti in forma di testo non strutturato, allora l'ideale sarebbe quello di consentire loro l'inserimento delle informazioni nelle forme del linguaggio naturale che più prediligono, ma in modo tale che la macchina possa analizzare e strutturare l'input in maniera automatica. Il che richiede strumenti avanzati per la comprensione del linguaggio naturale, i quali, a loro volta, non possono fare a meno di ontologie efficaci.

Il potenziale rappresentato dall'idea di un sistema realmente integrato di cartelle cliniche elettroniche realmente integrato richiede non solo risorse adeguate per l'elaborazione del linguaggio clinico, ma necessita anche di robusti sistemi di classificazione e di terminologie mediche strutturate che siano dotate di un elevato grado di adeguatezza rappresentativa nei confronti di tutti quei fenomeni che costituiscono il dominio medico. I sistemi di database e i sistemi terminologici associati agli attuali paradigmi di raccolta dei dati clinici non sono in grado di soddisfare questi requisiti, così che, anche in questo caso, la metodologia propugnata dall'IFOMIS di un'ontologia realista può rivelarsi utile.

L'industria farmaceutica è ben consapevole dell'importanza di una gestione efficace dell'informazione e della conoscenza. L'introduzione sul mercato di un nuovo tipo di farmaco è un processo a più livelli che richiede normalmente tra i 7 e i 15 anni. Lungo un simile percorso deve essere raccolta, analizzata e comunicata un'enorme quantità di informazioni. Tra i cento e i mille individui intervengono nel corso dello sviluppo di un qualsiasi farmaco: dagli studi di fattibilità, alla programmazione, al monitoraggio della sperimentazione clinica, alla preparazione della documentazione medica, allo studio della normativa, fino alla sorveglianza post-marketing o farmacovigilanza. Vengono prodotte decine di migliaia di documenti che devono essere analizzati. L'ontologia medica dell'IFOMIS dovrà dunque essere in grado di comprendere anche quei diversi generi di entità che sono interessati da processi tanto complessi e delicati quali possono esserlo le sperimentazioni cliniche. Una sperimentazione clinica non è altro che un esperimento controllato nel quale l'efficacia di una determinata terapia viene testata in maniera sistematica su gruppi prelezionati di pazienti. Per questo motivo l'ontologia medica dell'IFOMIS deve essere sufficientemente espressiva da rappresentare le strutture adottate nelle tipologie standard di sperimentazione, includendo sistemi di classificazione per le terapie, per le popolazioni dei pazienti e per i risultati ottenuti. Tale ontologia dovrebbe inoltre essere in grado coadiuvare lo sviluppo di standard non solo per la rappresentazione di dati sperimentali, ma anche per la preparazione di protocolli clinici e di linee guida che specificino le procedure di diagnosi e cura.

La prima filosofia al servizio dell'industria

LinkBase è un'ontologia di dominio medico sviluppata da L&C e progettata per supportare la comprensione automatica di testo medico in modo tale da consentire l'uso di terminologie e ontologie mediche standardizzate che pure non erano state concepite a questo scopo. Un simile compito si è rivelato particolarmente difficile data l'assenza di basi ontologiche rigorose nella maggior parte dei sistemi terminologici. Questi ultimi sono spesso internamente incoerenti, risentendo inoltre di difetti logici quali la presenza di lacune classificatorie, di circolarità e di ambiguità terminologiche. Ciò che più conta, quei sistemi rivelano una totale, reciproca, incompatibilità. LinkBase è un'ontologia «contenitore» onnicomprensiva, caratterizzata da una forte coerenza logica e concepita in modo tale che su di essa possano essere mappate, in modo sicuro, terminologie mediche esterne. Ma non mancano i problemi: i fenomeni medici possono essere di notevole complessità e il linguaggio utilizzato per descriverli può manifestare certe sottili sfumature dovute al contesto, in grado di resistere anche ad un trattamento coerente all'interno di una cornice logica semplice.

Per millenni, ogniqualvolta gli esseri umani abbiano incontrato delle difficoltà nel comprendere la realtà si sono rivolti ai filosofi per ottenere delle soluzioni. Ora, quando abbiamo delle difficoltà nel comprendere il modo in cui *rappresentare e ragionare sulla* realtà, dobbiamo fare esattamente la stessa cosa. La causa delle ambiguità e delle incoerenze cui si è fatto riferimento in precedenza è da ricercarsi nell'assenza di un quadro unificato per la comprensione delle relazioni formali che strutturano la realtà (relazioni tra oggetti e processi, universali e particolari, parte e intero, funzione ed esecuzione e così via). L'ontologia IFOMIS è invece in grado di fornire una comprensione unificata e coerente di tali relazioni: la sua implementazione come «spina dorsale» ontologica ovvero come ontologia «top-level» per LinkBase, non solo renderà disponibile una

solida cornice entro cui sia possibile chiarire le attuali ambiguità e discrepanze all'interno e tra ontologie, ma fornirà un modello per la loro revisione e futura integrazione. L'implementazione di un'ontologia «top-level» che abbia un solido fondamento filosofico sarà dunque in grado di soddisfare il bisogno urgente di un'efficace integrazione degli attuali sistemi terminologici, rappresentando inoltre un'utile guida allo sviluppo futuro di algoritmi, non soltanto nel campo medico, ma, almeno in linea di principio, anche in tutti quei domini in cui sia forte la necessità di dotarsi di terminologie robuste oltre che di una comprensione del linguaggio naturale che sia tanto efficace quanto affidabile.

Letteratura sull'ontologia applicata

- Guarino, Nicola 1995 "Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation", *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 625-640.
- Guarino, Nicola (a cura di) 1998 *Formal Ontology in Information Systems*, Amsterdam, Berlin, Oxford: IOS Press. Tokyo, Washington, DC: IOS Press (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications), 1998.
- Johansson, Ingvar 1989 *Ontological Investigations. An Inquiry into the Categories of Nature, Man and Society*, New York and London: Routledge.
- Koepsell, David R. 2000 *The Ontology of Cyberspace: Law, Philosophy, and the Future of Intellectual Property*, Chicago: Open Court.
- Koepsell, David R. (a cura di) 1999 *Proceedings of the Buffalo Symposium on Applied Ontology in the Social Sciences (The American Journal of Economics and Sociology, 58: 2)*.
- Schulze-Kremer, Steffen 1997 "Adding Semantics to Genome Databases: Towards an Ontology for Molecular Biology", in *Proceedings of the Fifth International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology*, a cura di T. Gaasterland et al., Halkidiki, Greece.
- Searle, John R. 1995 *The Construction of Social Reality*, New York: Free Press, 1995; trad. it. di A. Bosco, *La costruzione della realtà sociale*, Edizioni di Comunità, Milano 1996.
- Simons, Peter M. e Dement, Charles W. 1996 "Aspects of the Mereology of Artifacts", in *Formal Ontology*, a cura di Roberto Poli e Peter Simons, Dordrecht: Kluwer, 1996, 255-276.
- Smith, Barry (in corso di pubblicazione) "Ontology", in *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, a cura di Luciano Floridi, Oxford: Blackwell.
- Smith, Barry e Mark, David M. 2001 "Geographic Categories: An Ontological Investigation", *International Journal of Geographic Information Science*, 15: 7, 591-612.
- Smith, Barry e Varzi, Achille C. 2002 "Surrounding Space: The Ontology of Organism-Environment Relations", *Theory in Biosciences*, 121, 139-162
- Smith, Barry e Zaibert, Leonardo 2001 "The Metaphysics of Real Estate", *Topoi*, 20: 2.
- Welty, Christopher e Smith, Barry (a cura di) 2001, *Formal Ontology and Information Systems*, New York: ACM Press.

Letteratura sull'ontologia medica e sulla comprensione del linguaggio naturale

- Ceusters, W., Buekens, F., De Moor, G., Waagmeester, A. 1998 "The distinction between linguistic and conceptual semantics in medical terminology and its implications for NLP-based knowledge acquisition", *Methods of Information in Medicine*, 37, 327-33.
- Ceusters, W., Cimino, J., Rector, A. 1997 "Medical Language and Terminologies", in *Internet, Telematics and Health*, a cura di M. Sosa-Iudicissa, N. Oliveri, C. A. Gamboa and J. Roberts, 197-203, Amsterdam: IOS Press.
- Ceusters, W., Lovis, C., Rector, A., Baud, R. 1996 "Natural language processing tools for the computerised patient record: present and future", in *Toward an Electronic Health Record Europe '96, Proceedings*, a cura di P. Waegemann, 294-300.
- Ceusters, W. e Smith, B. (in corso di pubblicazione) "Ontology and Medical Terminology: why Descriptions Logics are not enough", *TEPR* 2003.
- Ceusters, W., Spyns, P. e De Moor, G. 1998 "From Syntactic-Semantic Tagging to Knowledge Discovery in Medical Texts", *International Journal of Medical Informatics* 52, 149-157.
- Ceusters, W. 1999 "Language Engineering Tools for Healthcare Telematics", in *Proceedings of the Third European Conference on Electronic Healthcare Records, Eurorec'99, Seville (Spain), 6-7 May 1999*, 135-139.
- Flett, A., Casella dos Santos, M., Ceusters, W. 2002 "Some Ontology Engineering Processes and their Supporting Technologies", in *Ontologies and the Semantic Web*, a cura di A. Gomez-Perez e V. R. Benjamins, EKAW2002, Berlin: Springer, 154-165.
- Hahn, U., Schulz, S., Romacker, M. 1999 "Part-Whole Reasoning: A Case Study in Medical Ontology Engineering", *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, 14: 5, 59-67.

- Rector, A.L., Zanstra, P., Solomon, D., Rogers, J., Baud, R., Ceusters, W., Claassen, W., Kirby, J., Rodrigues, J. M., Rossi-Mori A., van der Haring, J., Wagner, J. 1998 "Reconciling Users' Needs and Formal Requirements: Issues in Developing a Reusable Ontology for Medicine", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 4, 229 - 242.
- Tange, H. J., Hasman, A., de Vries Robbe, P.F., Schouten, H. C. 1997 "Medical Narratives in Electronic Medical Records", *International Journal of Medical Informatics*, 46: 1, 7-29.