

Ontologie e campo medico

Giulia Benotto

Corso di ELN, Anno Accademico 2004/2005

In generale: Le ontologie

Ontologie, cosa sono?

- **Definizione filosofica:** Area della metafisica che studia come è realmente fatto l'universo che ci circonda attraverso lo studio dell'essere, le categorie fondamentali e le relazioni fra esse.
- **Definizione informatica:** Tentativo di formulare uno schema concettuale esaustivo e rigoroso nell'ambito di un dominio dato.
- Guarino e Giarretta (1995) propongono di usare la parola "ontologia" con la "o" minuscola per indicare le ontologie formali usate nel settore informatico

Definizioni

- **Neches ('91)** "L'insieme dei termini basilari e delle relazioni, che costituiscono il vocabolario di un'area specifica, e delle regole per combinare termini e relazioni per determinare estensioni del vocabolario"
- **Gruber ('93)** "L'ontologia è una specificazione esplicita di una concettualizzazione"
"L'ontologia è una specificazione formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa"
- **Guarino ('97)** "Una teoria logica che spiega il significato inteso di un vocabolario formale"
- **Swartout ('97)** "Un'ontologia è un insieme di termini descrittivi un dominio strutturato in maniera gerarchica che può essere usato come fondamento di una knowledge base"

Settori di utilizzo

- Knowledge management
- Semantic web
- Natural Language Processing
- E-commerce
- Integrazione dei database
- Recupero di informazioni
- e bio-informatica

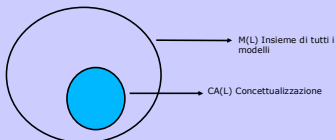
Definizione di Borst e Gruber

"L'ontologia è una specificazione formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa"

- Per **concettualizzazione** ci si riferisce all'ottenimento di un **modello astratto** di un certo **fenomeno del mondo reale** attraverso l'identificazione dei **concetti rilevanti** che lo caratterizzano
- Con **Esplicita** intendiamo che i concetti, le proprietà, i vincoli che caratterizzano il fenomeno siano **esplicitamente definiti** (per esempio, nel dominio medico il concetto di malattia e di sintomo sono legati da precise relazioni causali, una malattia provoca dei sintomi, ma non provoca sé stessa)
- **Formale** indica che un'ontologia sia machine-readable
- **Condivisa** in quanto la conoscenza su cui si basa l'ontologia non è frutto delle elucubrazioni di un singolo, ma condivisa da un gruppo che esprime il suo consenso su essa

Concettualizzazione

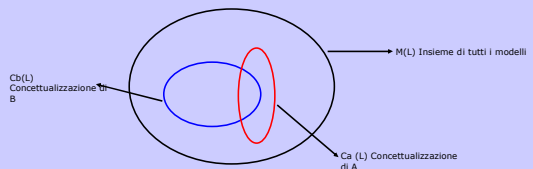
- L è un linguaggio composto da un insieme di simboli V che costituiscono il vocabolario di tale linguaggio
- Quando l'agente A ricorre a L per qualche ragione, i modelli di L come sono intesi da A, costituiscono un insieme più piccolo dell'insieme M(L) di tutti i modelli L. Questo sottoinsieme è la concettualizzazione di V rispetto ad A



Quando ognuno ricorre al linguaggio per esprimere qualcosa, utilizza modelli propri, quelli che rappresentano la propria visione, la propria concettualizzazione della realtà. Si serve quindi di un insieme più piccolo dell'insieme di tutti i modelli possibili. Questo sottoinsieme è la concettualizzazione del vocabolario che ogni persona differente ha.

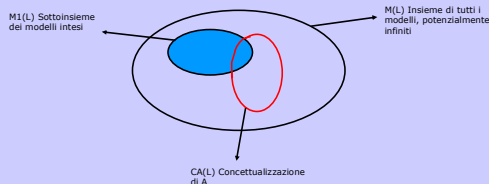
Concettualizzazione

- Due diversi agenti A e B fanno riferimento allo stesso linguaggio L. Affinché A e B possano dare lo stesso significato ai vari termini del vocabolario utilizzato, devono condividere la stessa concettualizzazione oppure concordare su una concettualizzazione comune, ottenuta come l'intersezione delle due possibili concettualizzazioni distinte



Concettualizzazione

- In base a quanto abbiamo detto prima, la concettualizzazione è indipendente dal **vocabolario**.
- *Mela e apple hanno vocabolari diversi ma condividono la stessa concettualizzazione.*



Proprietà delle ontologie

- Le ontologie presentano due proprietà, dettate da quanto detto prima:
- **Coverage**: la copertura dei modelli intesi
- **Precisione**: La copertura dei modelli che sono nell'ontologia. La precisione è tanto maggiore quanto più i modelli si riducono a coincidere con i modelli intesi.
- **Coverage** e **precisione** possono diventare misure quantitative nel caso in cui il dominio sia **finito**

Componenti delle ontologie

- I componenti principali delle ontologie sono i **concetti** o **classi**.
- Un **concetto** può rappresentare un oggetto, una nozione o un'idea. I concetti possono essere astratti o concreti, elementari o composti, reali o fittizi.
- Un **concetto** può essere qualsiasi cosa su cui si può dire qualcosa e perciò può essere la descrizione di un task, una funzione, un'azione, una strategia o un processo di ragionamento.
- Nel caso del settore medico un concetto può essere quello di "apparato respiratorio", ma anche la descrizione del processo di respirazione
- Più formalmente un **concetto** è caratterizzato da un termine (più generalmente un simbolo), da un'**estensione** e da un'**intensione**

Estensioni e intensioni

- L'**estensione** è l'insieme degli oggetti a cui il concetto può essere applicato. Per esempio, per il concetto moto l'estensione include la yamaha 500 o la categoria "moto da corsa"
- L'**intensione** l'insieme di proprietà, caratteristiche e attributi usati per specificare la semantica del concetto, cioè l'insieme di caratteristiche che questi oggetti hanno in comune. Per esempio per il concetto moto, l'intensione include le caratteristiche di un veicolo da strada con il motore
- Per quanto riguarda il settore medico, per il concetto di "malattia", una possibile estensione è la tipologia di malattia, per esempio "malattia cardiaca", mentre le intensioni sono rappresentate dalle caratteristiche che specificano la semantica del concetto, per cui in questo caso i "sintomi" o le "caratteristiche" delle malattie.

Relazioni

- Sono fra i componenti principali delle ontologie
- Rappresentano un tipo di interazione fra i concetti del dominio
- Sono formalmente rappresentate come un qualsiasi sottoinsieme del prodotto di N insiemi
- Ogni **relazione** è caratterizzata da un termine, un'**estensione** e un'**intensione**

Estensione e intensione nelle relazione

- L'**estensione** di una relazione è l'insieme delle possibili **tuple** degli oggetti manipolati con queste relazioni. Per esempio la relazione "genitore di" include come estensione tutti i figli
- L'**intensione** specifica invece tutti i tipi di concetti che la relazione o le proprietà che caratterizzano le realizzazioni della relazione. Per esempio nella relazione "genitore di", l'intensione specifica il tipo di oggetti manipolati, in questo caso le persone.

Funzioni

- Sono uno speciale tipo di relazioni in cui il valore dell'ultimo elemento è unico per la lista degli argomenti precedenti
- Sono formalmente definite come: $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$
- Un'esempio di funzione binaria è "madre di"
- Un'esempio di funzione ternaria è: "Prezzo di una macchina usata" che calcola il prezzo di una macchina di seconda mano in funzione del modello della macchina, dell'anno di fabbricazione e del numero in km.

Assiomi

- Sono affermazioni **sempre vere** sul dominio definito dell'ontologia e servono per specificare la semantica dei concetti. Generalmente specificano il modo in cui il vocabolario concettuale (concetti e relazioni) può essere utilizzato
- Gli assiomi sono inclusi in un'ontologia per scopi differenti: Vincolare la sua informazione, verificare la correttezza, dedurre nuova conoscenza. Possono essere utilizzati per esprimere le relazioni fra i concetti, la cardinalità della relazione, le proprietà algebriche della relazione (simmetria) e altre proprietà quali l'esclusività, la genericità o l'identità.

Ontologie e basi di conoscenza

- L'ontologia è una base di conoscenza particolare, che descrive fatti assunti come sempre veri da una comunità di utenti in virtù del significato concordato nel vocabolario condiviso.
- Una base di conoscenza generica può descrivere anche fatti e asserzioni legati a uno stato delle cose o a un particolare stato epistemico.
- Attraverso una generica base di conoscenza, possiamo distinguere almeno due componenti: L'**ontologia** (che contiene informazioni indipendenti dallo stato) e il "**nocciolo**" della **base di conoscenza** (che contiene informazioni dipendenti dallo stato)

Proprietà delle ontologie

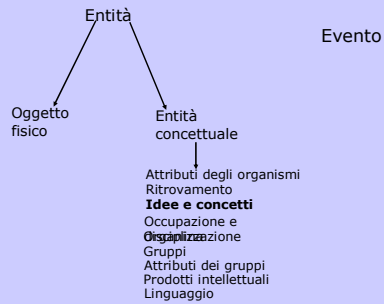
- Rispetto alle basi di conoscenza, le ontologie hanno alcune proprietà particolari, che hanno fatto sì che il loro utilizzo aumentasse.
- Le ontologie sono **aperte e riutilizzabili**
- Queste sono due proprietà fondamentali, perché fanno che si che le informazioni contenute nelle diverse ontologie, non siano fini a sé stesse, ma integrabili. Questo significa che due ontologie diverse possano essere integrate per condividere l'informazione. Inoltre il fatto che le ontologie siano riutilizzabili, permette che nessuna informazione vada sprecata.

Tipologie differenti di ontologie

- **Ontologie top-level**: Descrivono concetti molto generali, quali spazio, tempo, materia, oggetti, eventi, azioni che sono indipendenti da un particolare problema o dominio: sembra ragionevole, al limite in teoria, di unificare ontologie top-level per grandi comunità di utenti
- **Ontologie di dominio o task-ontologies**: Descrivono rispettivamente il vocabolario relazionato a un dominio generico (come la medicina) o un generico task o attività (come la diagnostica) specializzando i termini introdotti nell'ontologia top-level
- **Ontologie applicative**: Descrivono concetti dipendenti sia da un dominio particolare che da un task, che sono specializzazioni di entrambe le ontologie correlate. Questi concetti corrispondono alle regole del dominio delle attività mentre si svolge una certa attività.

Ontologie in un campo di applicazione: Le ontologie mediche

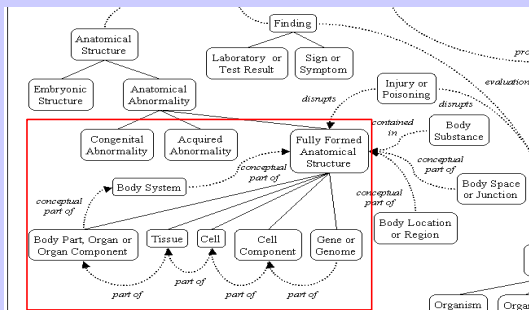
Rete semantica UMLS



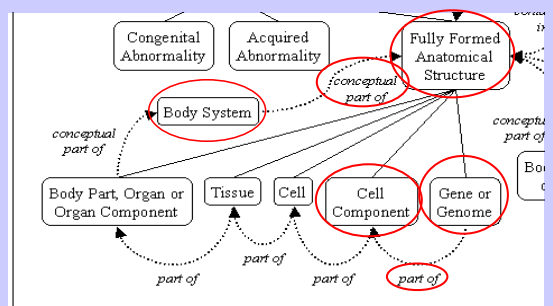
Entità concettuale

- Idee o concetti
 - Concetti funzionali
 - Concetti qualitativi
 - Concetti quantitativi
- Concetti spaziali
 - Localizzazione o regione del corpo
 - Parte del corpo e giunzioni
 - Area geografica
 - Sequenze molecolari
 - Sequenze di amino acidi
 - Sequenze di carboidrati
 - Sequenze di nucleotidi

Schema concettuale



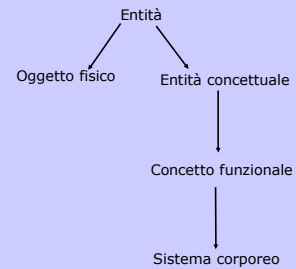
Gene part_of cell components Body System conceptual_part_of fully formed anatomical structure



Relazioni

- "Gene or genome" sono definiti come: "A specific sequences.. of nucleotides along a molecule of DNA and RNA"
- E "nucleotide sequence" is_a conceptual entity

Confusione fra entità e concetto

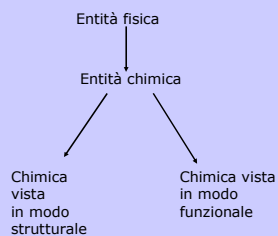


Il sistema corporeo is_a (è un) concetto funzionale

MA:

I concetti non eseguono funzioni e non hanno parti fisiche

Problema: Confusione di Is_A(è un) e Has_Role (ha un ruolo)



Riflette una distinzione fra tipi di classificazione, non fra tipi di entità

L'equazione idraulica

$$BP = CO * PVR$$

La pressione del sangue arterioso è direttamente proporzionale al prodotto del flusso sanguigno (CO) e la resistenza vascolare periferale (PVR)

La pressione sanguigna è una *funzione organica*, il flusso sanguigno (output cardiaco) è *Risultato di un test* o una *procedura diagnostica*

$BP = CO * PVR$ asserisce che la pressione del sangue è proporzionale sia al risultato di un test di laboratorio che a una procedura diagnostica

La storia clinica del paziente

- La storia clinica del paziente è classificata in UMLS sotto "Health care activity"
- Questo fa sì che si abbiano, insieme:
- La storia o il corso del disagio dal lato del paziente (ontologia)
- L'atto della scoperta di questa storia (epistemologia)

Continuant vs Occurrent

- **Continuant entities**= Organismi, cellule, molecole che sopravvivono attraverso il tempo. Esistono in pieno in ogni attimo dell'esistenza dell'uomo
- **Occurrent entities**= Processi, eventi, attività, cambiamenti. Non si conservano nel tempo. Non esistono in pieno in ogni attimo dell'esistenza dell'uomo

Entità dipendenti e indipendenti

- **Entità dipendenti**: Richiedono il supporto di altre entità per esistere. Non c'è massa senza il corpo
- **Entità indipendenti**: Sono i sostrati delle qualità, disposizioni, funzioni e altre entità dipendenti
- Ad esempio, nel dominio medico sono **entità dipendenti** le malattie. Mentre per quanto riguarda le **entità indipendenti**, lo sono elementi ultimi come le cellule e le molecole

Classificazione delle entità

Continuants Indipendenti	Continuants Dipendenti	Occorrenze (sempre dipendenti)
ORGANISMI MOLECOLE CELLULE	REGOLE FUNZIONI CONDIZIONI (Malattie)	PROCESSI STORIE VITE (decorsi delle malattie)
Classi		
Istanze		

Galen

Continuants
Indipendenti

Continuants
Dipendenti

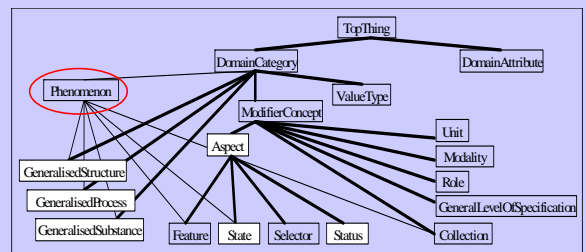
Occorrenze
(sempre dipendenti)

STRUTTURE
GENERALIZZATE +
SOSTANZE
GENERALIZZATE

CONCETTI DI
MODIFICA
(regole,
stati,
caratteristiche)

PROCESSI
GENERALIZZATI

Galen Core (1996)



Fenomeni: Le categorie le quali istanze possono essere osservate

Top level non intuitivo

- Regole non intuitive per la classificazione, fanno sì che si abbiano molti errori:
- Difficoltà nell' "allenamento" dei curatori dell'ontologia
- Ostacoli nell'allineamento con altre ontologie e sistemi di terminologia diversi
- Ostacoli nel raccogliere contenuti in sistemi di ragionamento automatici

La costruzione delle
ontologie mediche

Costruzione delle ontologie mediche

Esempi principali

- Non confondere entità con concetti
- Non confondere entità di dominio con strutture logiche
- Non confondere l'ontologia con l'epistemologia
- Non confondere is_a (è un) con has_role

Costruzione delle ontologie mediche

Esempi ulteriori

- **Univocità:** I termini devono avere lo stesso significato (e lo stesso referente) in ogni occasione d'uso

Gene Ontology:

'part_of' = 'può essere parte di' (flagellum *part_of* cell)

'part_of' = 'è qualche volta parte di' (replication fork *part_of* the nucleoplasm)

'part_of' = 'è inclusa come sottolista in'

Costruzione delle ontologie mediche

Le istanze

- *Part_of* come una relazione fra le classi diverso da
- **Part** come una relazione fra le istanze

A *part_of* B

Ogni istanza di A è **part** di alcune istanze di B

Ogni istanza di B ha alcune istanze di A come **part**

Part_of, come relazione fra classi è più problematico di quanto si pensi:

cuore *part_of* essere umano?

Relazioni semantiche UMLS

- **Prevenire**
- **Definizione:** Ferma o elimina un'azione o una condizione
- **Inversa:** Prevenuto_da

La contraccezione previene la gravidanza

La gravidanza è prevenuta_da la contraccezione

Relazioni semantiche UMLS

- **Produce**
- **Definizione: Genera o crea**
- **Inversa: prodotto_da**

*L'inseminazione artificiale produce la gravidanza
La gravidanza è prodotta_da l'inseminazione artificiale*

Positività e oggettività

Positività

- Complementi delle classi non sono classi
- (Termini come 'non-mammale' or 'non-membrana' non designano tipi naturali.)

Oggettività

Il fatto che le classi esistono non è una funzione della nostra conoscenza biologica
(Termini come 'sconosciuto' or 'non-classificato' non designano tipi naturali biologici.)

Regole che governano i livelli

- I termini nelle gerarchie classificatorie devono essere divisi in livelli predeterminati (analogo alla classificazione biologica in regno, classe, ordine ecc.)
- I termini nella gerarchia partonomica devono essere suddivisi in predeterminati livelli di granularità (organismi, organi, cellule, molecole ecc.)

Nozione di granularità

- E' possibile effettuare diverse partizioni della realtà a differenti livelli di granularità (proprio come possiamo suddividere l'organismo in cellule od organi)
- Si devono possedere le risorse per supportare, ad esempio, non solo un'ontologia anatomica a livello degli organi, ma anche a risoluzioni sempre più fini: dal livello cellulare a quello delle proteine
- Si devono supportare classificazioni di *processi a diverse risoluzioni, inclusi i processi chimici e biologici che avvengono nel corpo umano*

JEPD (join esaustivo e parziale discollegamento)

- Eredità singola: Nessuna classe in una gerarchia di classificazione può avere più di un parente al livello immediatamente superiore
- Esaustività: Le classi di ogni livello dato dovrebbero esaurire il dominio della gerarchia di classificazione (difficile da soddisfare in biomedicina ma accettato come obiettivo da tutti gli scienziati)

Is_a overloading

- Il successo dell'allineamento delle ontologie dipende dal grado in cui relazioni basilari come Is_a o part_of possono essere relazionate, dal grado in cui i significati si sovrappongono per permettere alle ontologie di essere allineate

Uso di eredità multipla

- Comprende l'assegnamento alla relazione is_a di una pluralità di significati diversi in una singola ontologia
- Il melange risultante permette l'integrazione coerente attraverso ontologie ottenibili solo sotto la guida di esseri umani con una conoscenza biologica rilevante

Regole per le definizioni

- **Intelligibilità:** I termini usati in una definizione devono essere più semplici (più intelligibili) dei termini da definire, altrimenti la definizione non è d'aiuto né alla comprensione umana, né alla processazione da parte della macchina
- **Sostituibilità:** sono anche chiamati contesti estensionali. Sono sostituibili, per definizione, in un modo che il risultato sia grammaticalmente corretto e abbia lo stesso valore di verità della frase di partenza

GO:0015070: **toxin activity**

Definition: Acts as to cause injury to other living organisms.

There is toxin activity here

There is acts as to cause injury to other living organisms here

Regole per le definizioni

- **Modularità (non si può definire tutto):**
- Isola i termini primitivi (=livello 0)
- Definisci i termini al livello n+1 per ogni $n \geq 0$ usando soltanto:
- Termini resi dal livello n e oltre
- Costanti logiche e ontologiche quali "e", "tutto", "is_a", "part_of"
- Se queste regole non sono soddisfacenti, allora la ricerca degli errori e l'allineamento dell'ontologia può essere fatto soltanto con l'intervento dell'uomo

Il modello fondazionale dell'anatomia

- Segue regole formali descritte da Aristotele
- Una definizione è la specificazione dell'essenza (natura, strutture invarianti) condivisa da tutti i membri di una classe o di un tipo naturale
- I nodi topmost sono le primitive indefinibili
- La definizione di classi successive nella gerarchia si ottiene specificando il parente della classe insieme alle differenze più rilevanti, che mettono in evidenza cosa collega le istanze alla classe di parenti successiva:

human = rational animal.

Esempi dell'FMA

- **Cellula è una struttura anatomica che consiste di citoplasma circondato da una membrana di plasma con o senza un nucleo cellulare**
- **La membrana di plasma è una parte della cellula che circonda il citoplasma**

La disciplinazione dell'FMA

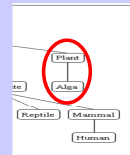
- Consente il vantaggio che ogni definizione rifletta la posizione nella gerarchia alla quale un termine definito appartiene
- La posizione di un termine nella gerarchia arricchisce la sua definizione incorporando automaticamente le definizioni di ogni termine al di sopra dello stesso
- Le intere informazioni contenute nella gerarchia dei termini FMA può essere traslata molto chiaramente in una rappresentazione informatica

Queste regole sono empiriche

- Il mondo della ricerca biomedica è un mondo di bilanciamenti molto difficili, i benefici del rigore formale (logico e ontologico) deve essere bilanciato:
- Contro i limiti del trattamento automatico
- Contro i bisogni dei professionisti nel campo biomedico

Assiomi

- Ogni classe ha almeno un'istanza
- Classi distinte allo stesso livello non dividono mai istanze
- Classi di foglie distinte attraverso una classificazione non dividono mai delle istanze
- Ogni genere ha delle specie insediate
- Ogni specie ha delle classi più piccole d'istanze rispetto al suo genere
- Ogni genere ha almeno due figli



Teoremi

- Ogni istanza è anche un'istanza di qualche classe
- Classi che dividono un figlio in comune sono identiche o una è subordinata all'altra

Classi vs sets

- Sia le classi che i sets sono marcati dalla granularità, ma i sets sono infiniti
- Una classe sopravvive attraverso il tempo e ai turnover delle sue istanze
- Un set è determinato dai suoi membri
- Una classe non è determinata dalle sue istanze (come un organismo non è determinato dalle sue molecole)
- Un set è una struttura astratta, esistente al di fuori del tempo e dello spazio.
- Il set degli uomini esistenti al tempo t è diverso del set degli uomini esistenti al tempo t_1 a causa delle morti e delle nascite

Classi vs sets

- Un set con n classi ha in ogni caso esattamente due subsets
- Le sottoclassi di una classe sono limitate in numero (il fatto che le sue classi siano sussunte da una classe più ampia è un problema da determinare per la scienza empirica)

Classi vs somme

- Le classi sono contraddistinte dalla granularità: dividono il corrispondente dominio in unità o membri
- La classe degli esseri umani è istanziata da ogni essere umano come singola unità
- La somma degli esseri umani include anche le cellule e le molecole esistenti all'interno degli esseri umani come parti.

Un'esempio: l'ontologia IFOMIS

IFOMIS: Istituto per l'Ontologia formale e l'Informatica medica

- Istituto fondato a Lipsia nel 2002 presso la facoltà di medicina dell'università di Lipsia si prefigge un ritorno all'idea originaria di una comune ontologia di riferimento.
- Prima l'approccio alla costruzione delle ontologie era di tipo pragmatico, motivato dalla necessità di sviluppo di sistemi operativi, o dalla stretta correlazione con discipline quali l'intelligenza artificiale.
- L'ontologia dell'IFOMIS nasce dall'idea che: (1) si debba tentare di arrivare a un'ontologia corretta prima di sviluppare modelli software e che (2) il progetto di sviluppare l'ontologia di riferimento necessaria possa trarre vantaggio dalle teorie sviluppate dai filosofi

IFOMIS: Istituto per l'Ontologia formale e l'Informatica medica

- L'ontologia dell'IFOMIS è caratterizzata da un approccio realista oltre che dall'idea che sia necessario, nella costruzione di un database, prestare attenzione al mondo a cui quel sistema deve essere applicato
- Obiettivo dell'IFOMIS è quello di realizzare una teoria delle partizioni e delle interrelazioni tra entità nella realtà stessa
- Una teoria che deve essere costruita passo 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
- Necessità della possibilità di revisioni nel caso il tentativo di trattare nuove entità renda problematici i risultati ottenuti fino a quel momento
- Capacità di evidenziare il fatto che una realtà possa essere segmentata in tanti modi diversi quanto sono le prospettive in cui può essere considerata

Il collo di bottiglia nella saturazione delle informazioni

- Le cartelle cliniche, redatte su carta o in formato elettronico, vengono conservate come parte di una storia individuale, così che ogni decisione viene presa alla luce degli eventi passati
- Il sistema elettronico di schedatura è il più efficace, in quanto permette confronti incrociati sui pazienti e rappresenta un supporto per decisioni di tipo gestionale
- Per rendere possibile tutto ciò è necessario avere dati strutturati

Dati strutturati

- La necessità di una rappresentazione e archiviazione dei dati a livello strutturato è innegabile
- È un errore ritenere che ciò implichi anche un'immissione dei dati di tipo strutturato, quali interfacce punta e clicca e menu a scelta fissa
- C'è una strutturazione a livello del contenuto che si deve all'uso di vocabolari controllati o sistemi precisi di codifica e classificazione
- In pochi sono disposti ad accettare una raccolta dati strutturata in cambio di vantaggi successivi nel reperimento delle informazioni
- Molti medici sostengono che soltanto attraverso l'uso del linguaggio naturale si possa ottenere una fedele registrazione dei dati dei pazienti

Perché il settore medico?

- Per la necessità di un'ontologia che permetta l'applicazione simultanea di prospettive distinte ad una medesima realtà. Il dominio medico consente classificazioni che riflettono distinzioni rilevanti dal punto di vista causale, a più livelli di
- I benefici che se ne possono ricavare. I medici sono convinti che i dati vadano raccolti sotto forma di testo non strutturato, quindi si deve favorire l'inserimento dei dati nella forma prediletta, ma in modo che la macchina possa analizzare e strutturare l'input in maniera automatica. Questo richiede strumenti avanzati per la comprensione del linguaggio naturale, quindi di ontologie efficaci

La sperimentazione farmacologica

- L'introduzione dei farmaci sul mercato è un processo che può richiedere fra i 7 e 15 anni. In questo periodo vengono prodotti moltissimi documenti che necessitano di essere analizzati
- C'è necessità di esprimere 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 coadiuvare lo sviluppo 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

Bibliografia

Bibliografia

- William Moore, What is Medical Ontology?
- Barry Smith, Principles of medical ontologies
- Nicola Guarino, Formal Ontology and information systems
- Nicola Guarino, conferenza Signum, appunti