



UNIVERSITÀ DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria e Scienza dell'Informazione

Corso di Laurea in Informatica

ELABORATO FINALE

TITOLO

Sottotitolo (alcune volte lungo - opzionale)

Prof. Bouquet Paolo

Corte Pause Manuela

Anno accademico 2021/2022

Indice

Sommario	3
1 Knowledge Graphs	4
1.1 Cos'è un Knowledge Graph	4
1.1.1 Definizione	4
1.2 Virtual Knowledge Graph	5
1.3 Il Virtual Knowledge Graph system Ontop	6
1.3.1 Architettura del sistema	6
1.3.2 Intermediate Query language	7
1.3.3 Esempi di utilizzo	9
2 Progetto	10
2.1 Ontopic	10
2.2 Il modulo bi-connector	10
2.2.1 Creazione database	10
2.2.2 Parsing di query SQL	10
2.3 Prime attività	11
2.4 Costrutti implementati	13
2.4.1 Modificatori di cardinalità	13
2.4.2 Ordinamento righe	13
2.4.3 Combinazione tabelle	13
2.4.4 Operazioni insiemistiche	13
2.4.5 Aggregazione	13
2.5 Risultati ottenuti	13
3 Conclusioni	14
3.1 Possibili sviluppi futuri	14
Bibliografia	16

Sommario

I dati sono diventati una parte sempre più fondamentale della nostra vita e ancor più di quella delle aziende nell'assisterle nel processo di decision-making. Questi dati, provenienti da molteplici fonti come: social network, online tracking, sensori di IoT, . . . , risultano in una mole enorme, non strutturati e di conseguenza complessa da sfruttare per ricavarne informazioni rilevanti. Proprio per questo il mondo della data integration è così importante [12].

Possiamo definire la data integration come il problema del combinare dati provenienti da livelli diversi e fornire all'utente finale una visione unificata di questi [8]. E' facile vedere quindi come questo concetto si adatti bene in un'azienda che utilizza vari sistemi, applicazioni e piattaforme, ognuna delle quali produce o raccoglie dati senza tenere conto degli altri applicativi, creando quelli che vengono definiti data silos.

Esistono approcci diversi alla data integration; quello più tradizionale è certamente quello dei data warehouse, dove tutti i dati sono combinati e memorizzati in un solo posto (tipicamente un database). Questo processo di "combinazione" è definito ETL (Extract, Transform, Load) e permette di rilevare e correggere inconsistenze tra i dati prima che questi vengano uniti. Permette inoltre di integrare tipi di dati eterogenei e visualizzarli poi come un'unica collezione complessiva.

Questa soluzione risulta complessa da utilizzare per dataset che vengono modificati frequentemente e richiedono quindi che il processo di ETL, che è molto costoso, venga re-eseguito molte volte. Anche per questo si è quindi passati ad un paradigma basato sul *loose coupling* ovvero è presente un'interfaccia sulla quale eseguire query che vengono poi mappate ed eseguite sulle sorgenti originali eliminando il problema dell'avere informazioni non aggiornate [11]. Questi due approcci sono descritti in figura 1.

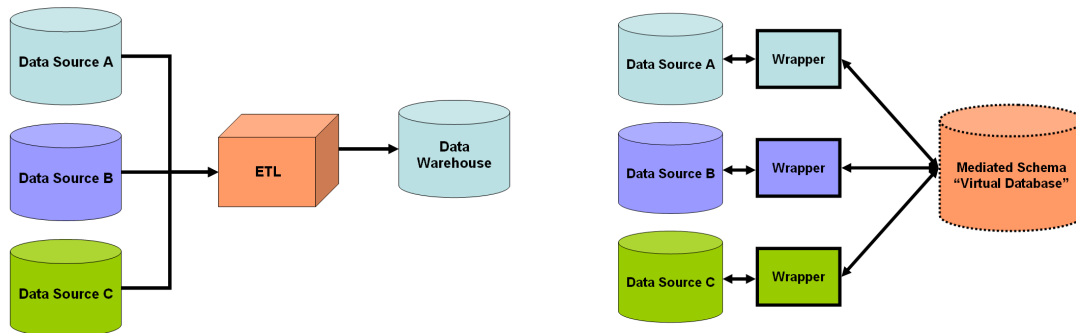


Figura 1. Approcci alla data integration

Indipendentemente dall'architettura del sistema, l'aspetto semantico risulta molto importante al fine di evitare la collisione tra termini uguali usati all'interno delle sorgenti con significati diversi. È proprio da questa considerazione che nascono approcci basati su ontologie definiti come Ontology Based Data Access (OBDA). Queste soluzioni mitigano il problema appena descritto fornendo un vocabolario comune da utilizzare, presentano però il problema di essere complesse e di conseguenza poco fruibili da un ampio pubblico.

Lo scopo di questo elaborato è, per prima cosa, quello di descrivere i principali concetti teorici alla base delle ontologie e dei Knowledge Graph ed in particolare del Virtual Knowledge Graph

system Ontop. Una volta stabilite delle basi teoriche comuni verrà descritta l'esperienza di tirocinio da me svolta presso l'azienda Ontopic al fine di sviluppare un strumento che permetta l'interrogazione di un'ontologia tramite strumenti di business intelligence come Tableau. In questo modo l'ontologia può essere interrogata anche da persone non esperte del campo dato che le query possono essere scritte in SQL o addirittura tramite l'interfaccia grafica fornita dagli strumenti di business intelligence.

1 Knowledge Graphs

1.1 Cos'è un Knowledge Graph

Le prime pubblicazioni in ambito di rappresentazione della conoscenza tramite l'aiuto di knowledge base (basi di conoscenza) risalgono alla fine degli anni '50 e nel 1980 ricercatori dell'università di Groningen e dell'università di Twente nei Paesi Bassi usarono per la prima volta il termine Knowledge Graph per descrivere il loro sistema basato sull'integrazione di molteplici sorgenti di dati per rappresentare il linguaggio naturale tramite una knowledge base. Questo primo momento di ricerca iniziale fu poi seguito, all'inizio degli anni 2000, dall'affermarsi del Semantic Web e degli standard W3C, come RDF e OWL ad esso associati, nonché al sorgere di varie ontologie pubbliche come DBPedia, YAGO e Freebase. [4] [6]

Il termine Knowledge Graph viene però diffuso solo nel 2012 da Google che introduce il termine per descrivere il potenziamento tramite tecniche semantiche del proprio motore di ricerca ovvero: le ricerche che vengono effettuate non sono più semplicemente string matching, ma viene aggiunta una componente di ragionamento in grado di riconoscere veri e propri "oggetti" del mondo reale. [4]

1.1.1 Definizione

Esistono molteplici definizioni, a volte anche in contraddizione l'una con l'altra, di cosa sia un Knowledge Graph. In modo molto generale possiamo definire un Knowledge Graph come una struttura in cui la conoscenza è rappresentata come un insieme di concetti e dei quali vengono modellate le relazioni. Se vogliamo invece dare una definizione più formale possiamo definire un Knowledge Graph come una struttura che acquisisce e integra informazioni in una knowledge base e applica un meccanismo d'inferenza per ricavare nuova conoscenza da essa come mostrato in figura 1.1. In molte delle definizioni, la presenza di una quantità elevata di dati, ovvero di un ABox di grandi dimensioni, viene spesso considerata come aspetto caratterizzante di un Knowledge Graph, ma cosa significhi nello specifico "quantità elevata" non è meglio specificato. [4]

La knowledge base è tipicamente implementata tramite un'ontologia, ovvero una struttura a grafo dove i nodi rappresentano gli oggetti e i valori mentre le relazioni tra questi e le loro proprietà sono rappresentate tramite archi. Non avendo uno schema definito a priori, questa rappresentazione tramite grafi permette una crescita più flessibile della base di dati ed è quindi adatta per rappresentare domini complessi che attingono dati da fonti molteplici e diversificate tra di loro. Un altro vantaggio di questa rappresentazione è che i linguaggi di interrogazione per strutture basate su grafi sono molto espressivi e contengono la maggior parte dei costrutti usati nei linguaggi di query più tradizionali come join, unioni, proiezioni, ... [5].

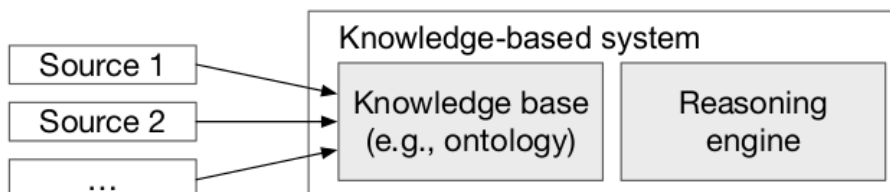


Figura 1.1. Struttura di un KG

1.2 Virtual Knowledge Graph

I Virtual Knowledge Graph (VKG) applicano al concetto di Knowledge Graph quello di data virtualization. Questo significa che in un VKG l'ontologia non viene materializzata, ma viene dichiarato un insieme di dichiarazioni di mapping che permettono di tradurre concetti e proprietà tipiche di un'ontologia in query SQL che vengono eseguite direttamente sulle sorgenti relazionali. Il meccanismo su cui si basa questa riscrittura è descritto anche dalla figura 1.2.

Un Virtual Knowledge Graph presenta il vantaggio di avere informazioni sempre aggiornate nell'ontologia dato che la query è eseguita direttamente sulle fonti sottostanti, ma, allo stesso tempo, ha performance mediamente peggiori rispetto alla sua controparte materializzata, specialmente nei casi in cui i mapping tendano ad essere particolarmente complessi [3]

Da un punto di vista più formale possiamo considerare la specifica di un Virtual Knowledge Graph come una tupla $P = (O, M, S)$ dove abbiamo:

- Ontologia O : rappresentazione a grafo del dominio in analisi con un vocabolario rappresentativo del dominio. Questo grafo è anche arricchito con informazioni riguardanti classi rappresentate nel grafo, le loro proprietà e la gerarchia tra esse che permette di inferire nuova conoscenza a partire dalle informazioni che già si hanno. In questo modo viene implementata una separazione tra i dettagli di basso livello delle fonti e la visione d'insieme data dall'ontologia che permette così anche a persone esperte nel campo, ma non nell'integrazione dei dati, di ricavare informazioni.

In particolare W3C presenta vari standard per la rappresentazione delle ontologie. Tra questi i principali sono RDFS e OWL, entrambi basati sullo standard RDF (Resource Description Network) usato per descrivere grafi e al fine di interrogare questo grafo lo standard è SPARQL.

- Mapping M : insieme di affermazioni che specifica come le classi e le proprietà presenti nell'ontologia siano popolate da dati provenienti dalle sorgenti. Formalmente, dato lo schema di un database S e un'ontologia O , un'affermazione di mapping tra S e O è un'espressione in una di queste forme:

$$\phi(x) \rightsquigarrow (f(x) \text{ rdf:type } A)$$

$$\phi(x, x') \rightsquigarrow (f(x) \text{ } P \text{ } f'(x'))$$

dove f è un costruttore di termini RDF ovvero una funzione che mappa una tupla di un database a una URI o un letterale RDF. In altre parole, tutte le tuple del database vengono tradotte fornendo informazioni o sul tipo di dato o su relazioni di tipo soggetto-predicato-oggetto. Lo standard per i mapping tra RDF e database relazionali fornito da W3C è R2RML.

- Schema S : struttura delle sorgenti dati, tipicamente database relazionali. Nel caso di sorgenti eterogenee tra loro è sempre possibile utilizzare uno strumento di federazione come Dremio o Denodo che espone tutte le sorgenti come se fossero parte di un unico database relazionale [3].

A questo punto possiamo definire un'istanza di un Virtual Knowledge Graph come la coppia (P, D) , dove $P = (O, M, S)$ è la specifica di un VKG istanziata su un database D che rispetta lo schema S . Dati M e D le triple generate applicando M su D costituiscono il grafo RDF che esplicita il significato semantico dell'intero sistema.

Se vogliamo caratterizzare un Virtual Knowledge Graph sotto il punto di vista della logica descrittiva allora possiamo considerare l'ontologia come un TBox e le informazioni ricavate dalle sorgenti tramite i mapping come l'ABox [1] [15].

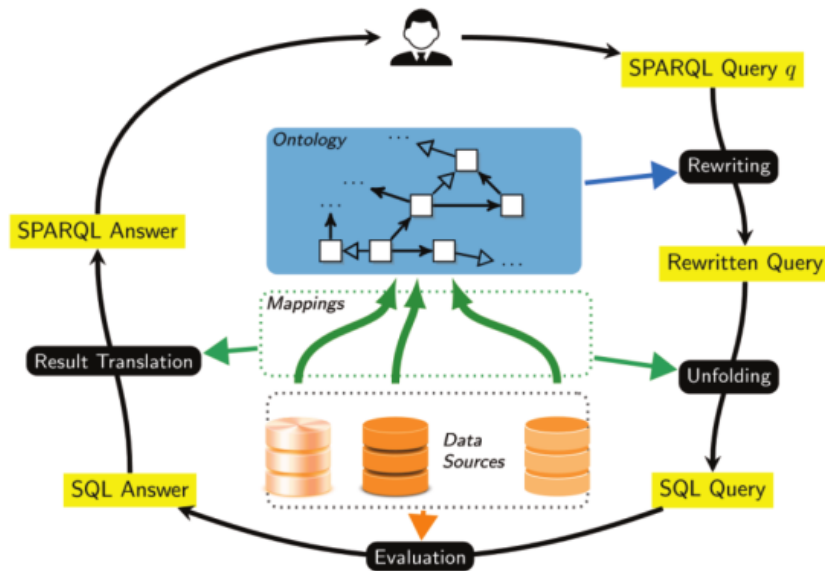


Figura 1.2. Riscrittura di una query in un VGK

1.3 Il Virtual Knowledge Graph system Ontop

Ontop è un Virtual Knowledge Graph system open-source sviluppato dalla Libera Università di Bolzano e supportato commercialmente dall'azienda Ontopic s.r.l. . Riceve inoltre contributi importanti dalla Birkbeck, Università di Londra.

1.3.1 Architettura del sistema

Possiamo considerare il sistema Ontop come strutturato su quattro livelli descritti di seguito e riassunti in figura 1.3.

Input

Ontop supporta gli standard W3C in materia di ontologie e Knowledge Graph; in particolare supporta RDF 1.1 come modello per i grafi, RDFS e OWL 2 QL per le ontologie, la maggior parte dei costrutti presenti in SPARQL 1.1 e R2RML e un sistema di mapping di Ontop, che può essere tradotto in R2RML, per i mapping.

Ontop supporta i maggiori database relazionali tra cui PostgreSQL, MySQL, H2, DB2, Oracle, ... tramite JDBC e può anche essere utilizzato con federazioni come Dremio o Denodo. Inoltre, nonostante sia un VGK system permette di materializzare il grafo RDF se necessario [2].

Core system

Parte centrale del sistema che si occupa della traduzione, ottimizzazione ed esecuzione delle query. Alcuni dei dettagli di questo meccanismo sono descritti nella sezione successiva 1.3.2.

API

Ontop può essere utilizzato come libreria Java disponibile tramite Maven ed implementa due API:

- OWL API: implementazione di riferimento per la gestione di ontologie OWL.
- Sesame: standard de-facto per la gestione di dati in formato RDF. In particolare, Ontop implementa l'interfaccia Sesame SAIL (Storage And Inference Layer) che supporta inferenza e database relazionali.

Applicazioni

Ontop supporta anche applicazioni che permettono all'utente finale di eseguire query SPARQL in modo facilitato. Tra queste si citano in particolare: il plugin per Protege basato sull'API OWL, che fornisce uno strumento grafico per l'editing dei mapping, l'esecuzione di query SPARQL, materializzazione delle triple RDF, ... e la piattaforma Optique che utilizza Ontop come motore centrale aggiungendo un'interfaccia user-friendly per la creazione e visualizzazione di query.

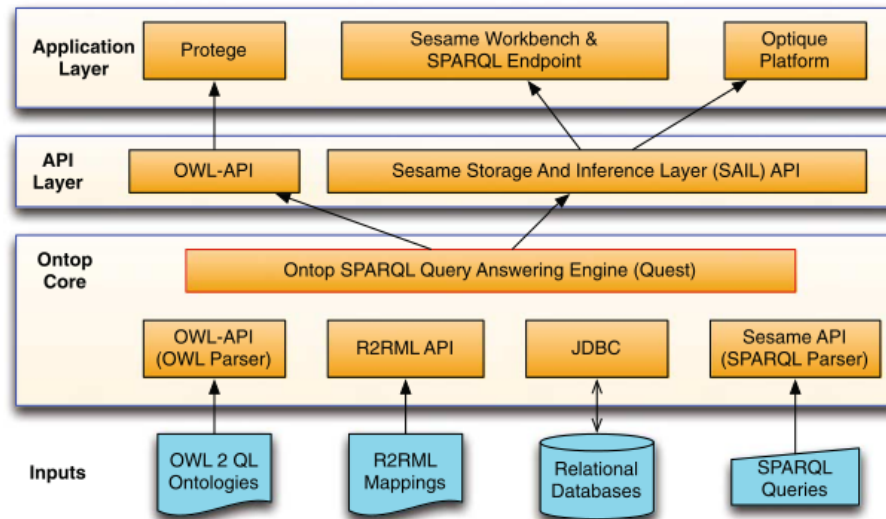


Figura 1.3. Struttura di Ontop

1.3.2 Intermediate Query language

Le prime versioni di Ontop erano inizialmente basate su Datalog come motore interno per la traduzione delle query. Questa soluzione, sufficiente per la traduzione di query semplici basate sull'unione di query congiuntive, risulta però inadatta per la traduzione di un frammento più grande di SPARQL che supporta funzionalità non monotone come OPTIONAL, modificatori di cardinalità come DISTINCT e aggregazione. Per questo con la versione v4, Ontop ha adottato una struttura dati interna diversa chiamata Intermediate Query (IQ) che fornisce una rappresentazione uniforme sia per le query SPARQL eseguite dagli utenti che per le query SQL dei mapping. Sostanzialmente un IQ è una rappresentazione tramite un albero radicato di un'espressione algebrica dove quest'algebra è un compromesso tra l'algebra di SPARQL da una parte e l'algebra relazionale tipica dei database relazionali dall'altra. [16]

Prima di definire più nel dettaglio quest'algebra è necessario spiegare alcuni altri termini ed in particolare:

- **Termine:** per termine indichiamo qualsiasi variabile, costante (incluso NULL) o termine funzionale costruito a partire da variabili o costanti usando simboli funzionali di SPARQL, SQL o interni
- **Sostituzione:** per sostituzione intendiamo un'espressione della forma $x_1/\mu_1, \dots, x_n/\mu_n$ dove x corrisponde ad una variabile e μ ad un termine usato o per la proiezione o per l'aggregazione.

I nodi che compongono un albero IQ possono essere di due tipi: [9]

Nodi foglia

Tra i nodi che compongono le foglie dell'albero i più interessanti sono:

- Intensional data node: nodo "prototipo" che ci si aspetta venga sostituito da un IQ; è usato principalmente per rappresentare triple e quadruple in RDF.
- Extensional data node: simile a un intensional data node con la differenza che non deve essere necessariamente essere sostituito (ad esempio se rappresenta il nome di una tabella).
- Empty node: può essere visto come uno specifico tipo di data node che rappresenta un insieme vuoto di tuple.
- Native node: è definito a partire da una query nativa (e.g. una query SQL) ed esplicita i tipi delle variabili ritornate dalla query stessa. Questo tipo di nodo viene generato alla fine della riformulazione e non è usata nei mapping.

Nodi interni

I nodi interni dell'albero risultano essere più interessanti rispetto alle foglie in quanto rappresentano quelle che sono le operazioni possibili e che devono essere tradotte tra SPARQL e SQL. Tra queste abbiamo:

- Filter node: filtra il proprio nodo figlio in base ad una condizione booleana specificata.
- Inner join node: natural join tra gli n figli del nodo sui quali può anche essere applicata una condizione booleana di join. Se questa condizione non è specificata allora il risultato è un cross-join.
- Left join node: rappresentazione del left outer join tra i due figli del nodo, eventualmente con condizione di join.
- Union node: unione degli n figli opzionalmente preceduta da un'operazione di proiezione.
- Construction node: rappresenta la sequenza di tre operazioni: la proiezione, l'applicazione di una funzione al valore di ogni tupla restituita e, infine, la rinomina delle variabili dove ognuna di queste tre operazioni è opzionale.
- Aggregation node: definito dall'insieme di variabili su cui viene eseguita l'aggregazione e da una sostituzione per definire le nuove variabili ricavate dalle funzioni di aggregazione. Proietta esclusivamente le variabili su cui è stata eseguita la proiezione e quelle risultanti dalla rinomina delle funzioni di aggregazione.
- Slice node: contiene un limite e/o un offset usati per eliminare un certo numero di tuple dal risultato.
- Distinct node: mantiene una singola occorrenza per ogni tupla.
- Order by node: ordina le tuple presenti in base ad una lista di comparatori. I valori vengono ordinati in base al primo comparatore e, solo in caso di valori uguali, viene usato il secondo comparatore e così via. L'operatore segue una semantica NULL FIRST ASC / NULL LAST DESC.

Durante la traduzione l'albero IQ subisce pesanti operazioni di ottimizzazione basate su tecniche derivate dalla Semantic Query Optimization che sono fondamentali per una riscrittura efficiente. Una loro descrizione più approfondita esula però degli obiettivi di questo elaborato. Oltre alle ottimizzazioni, il sistema è reso più performante dal delegare al DBMS specifico una buona parte della computazione della query. In particolare Ontop modella ogni dialetto SQL individualmente usando Java factory specifiche per ogni ognuno di essi ovvero modella i tipi, le convenzioni nei nomi di attributi e tabelle, la semantica delle funzioni, la struttura dei data catalog,

1.3.3 Esempi di utilizzo

Data la distribuzione di Ontop come progetto open-source con licenza Apache2 è impossibile conoscerne tutti i casi di utilizzo. Nonostante ciò esistono comunque casi documentati di uso di questo VGK system sia in ambito commerciale che pubblico. Di seguito ne descriviamo due di particolare interesse. [16]

Open Data Hub-Virtual-Knowledge-Graph

Open Data Hub-Virtual Knowledge Graph nasce come un progetto congiunto tra il NOI Techpark e Ontopic al fine di pubblicare e rendere disponibili i dati del'Alto Adige su turismo e mobilità. Inizialmente questi dati erano accessibili attraverso un'API JSON, ma l'introduzione di un VKG, con annesso endpoint SPARQL, ha reso questo sistema estremamente più potente e flessibile.

UNiCS

UNiCS è una piattaforma sviluppata da SIRIS Academic che integra dati provenienti da fonti come la commissione europea, governi nazionali e regionali e specifiche università al fine di aiutare università ed istituti di ricerca nel prendere scelte informate e supportate da dati. Tutti questi dati sono disponibili tramite un'ontologia che può essere interrogata tramite un endpoint SPARQL e i cui risultati possono poi essere visualizzati tramite grafiche e statistiche di più facile interpretazione [14].

2 Progetto

2.1 Ontopic

Il tirocinio da me svolto è avvenuto presso l'azienda Ontopic s.r.l. Tale azienda è nata nel 2019 come spin-off della Libera Università di Bolzano dal prof. Diego Calvanese insieme al professore Marco Montali, i ricercatori Guohui Xiao e Benjamin Cogrel e l'amministratore delegato Peter Hopfgartner presso il NOI Techpark di Bolzano [13].

L'azienda nasce con lo scopo di proporre soluzioni di data integration ed in particolare basate sull'integrazione semantica come i Virtual Knowledge Graph. Ontopic fornisce sia consulenza diretta ad aziende con soluzioni ad-hoc per integrazione ed analisi dati che una soluzione proprietaria per il mapping di VKG chiamata Ontopic Studio. Questo applicativo è basato sul Knowledge Graph system Ontop, di cui Ontopic è uno dei principali contributori, e permette di realizzare mapping in modo efficiente tramite un'interfaccia grafica no-code semplice che ne permette quindi l'uso anche a persone senza un background in tecniche semantiche. [10]

2.2 Il modulo bi-connector

Durante la mia esperienza di tirocinio presso Ontopic, ho lavorato all'interno del progetto del bi-connector. Tale modulo ha lo scopo di permettere all'utente finale di ricavare informazioni su un VKG non solo tramite query SPARQL, come di consuetudine, ma anche tramite strumenti di Business Intelligence (BI) come Tableau, PowerBi o Qlik. Mentre questi applicativi presentano nativamente connettori verso molteplici fonti di dati tra cui: la maggior parte dei database relazionali, database NoSQL come MongoDB, fogli Excel, dati in formato JSON, file PDF, connessioni personalizzate tramite JDBC o ODBC, ..., non forniscono invece connettori nativi per i VKG ed è proprio per questo che nasce bi-connector.

Possiamo pensare a bi-connector come costituito di due parti principali: una che si occupa della costruzione di un database a partire dall'ontologia che possa essere connesso al strumento di BI target e una seconda parte che ha il compito di tradurre le query SQL sul database in una forma comprensibile dal VKG sottostante.

2.2.1 Creazione database

Dalle sorgenti di dati e dai file che utilizzati per creare i mapping di un VKG viene creato un database PostgreSQL. Questo è reso possibile modificando direttamente i cataloghi di sistema resi disponibili da PostgreSQL tramite l'insieme di tabelle *pg_catalog*. La comunicazione da e verso questo database è resa possibile tramite un'implementazione basata sul protocollo Wire che è il protocollo usato da PostgreSQL per lo scambio di messaggi.

Da estendere chiedendo a Benjamin

2.2.2 Parsing di query SQL

È possibile interrogare il database inizialmente creato tramite query SQL, ma queste devono poi essere tradotte in una rappresentazione comprensibile dal VKG sottostante. Questo perché le query non sono eseguite sul database da noi creato, ma sul Virtual Knowledge Graph originale così da poterne sfruttare le capacità di inferenza.

In quanto il VKG system utilizzato è Ontop, le query SQL vengono tradotte in un albero IQ, descritto precedentemente anche nella sezione 1.3.2.

Inizialmente, le query delle quali era possibile fare il parsing erano quasi esclusivamente del tipo SELECT-JOIN-WHERE, ovvero un'unione di query congiuntive. Questo era dovuto al fatto che il parser SQL in uso era quello nativo di Ontop, il quale ha come scopo principale la traduzione dei mapping che sono, nella maggior parte dei casi, rappresentabili tramite questo tipo di semplici query. A causa di questa limitazione moltissime delle query generate automaticamente da strumenti di Business Intelligence dovevano essere riscritte in una forma semplificata per poter essere eseguite. Di seguito un esempio di ciò in cui la query è semplificata eliminando il LEFT JOIN e l'ORDER BY in quanto non supportati.

```
SELECT n.oid, n.*, d.description
FROM pg_catalog.pg_namespace n
LEFT OUTER JOIN pg_catalog.pg_description d ON d.objoid=n.oid
      AND d.objsubid=0 AND d.classoid='pg_namespace'::regclass
ORDER BY nsname
diventa:
SELECT n.*
FROM pg_catalog.pg_namespace n;
```

Date queste limitazioni del parser originale, si è deciso di adottarne uno diverso ovvero JSqlParser. JSqlParser è un parser di istruzioni SQL che trasforma una query in una gerarchia di classi Java. È basato sul visitor pattern il quale permette di separare in modo semplice un algoritmo dalla struttura dati sulla quale è utilizzato. In particolare tale pattern rappresenta un'operazione che deve essere eseguita su un insieme eterogeneo di oggetti e, per ognuno di questi, potrebbe dover essere implementata in modo differente [7].

2.3 Prime attività

La prima attività svolta all'interno del tirocinio è stata quella di familiarizzare con le tecnologie legate ai VKG che mi sarebbero servite in seguito. In particolare ho svolto il tutorial introduttivo ad Ontop tramite la piattaforma Protege così da provare direttamente cosa si intende per tradurre fonti di dati in un'ontologia tramite mapping. (Forse non mettere)

Il mio compito principale è stato quello di estendere il parser SQL in uso così da supportare un numero maggiore di costrutti. Come affermato anche precedentemente, il parser inizialmente utilizzato era esclusivamente in grado di tradurre semplici query il che risultava essere insufficiente affinché potesse essere usato in modo non banale da strumenti di Business Intelligence.

Ho quindi studiato quali fossero i costrutti maggiormente presenti nelle query generate automaticamente dagli strumenti di BI, di cui un esempio sopra nella sezione 2.2.2. Tra questi i principali erano sicuramente il GROUP BY per l'aggregazione, dato anche lo scopo degli strumenti di BI di fornire informazioni riassuntive d'insieme sull'intero dataset, e l'ORDER BY che permette una visualizzazione indipendente da come i dati sono salvati, ma che dipende da parametri arbitrari.

Database per il testing

Durante la durata del tirocinio, tutte le funzionalità implementate sono state testate su un semplice VKG con un database relazionale H2 come sorgente. I test sono stati eseguiti sia all'interno della codebase stessa grazie al framework JUnit che tramite il client SQL DBeaver che ha permesso la visualizzazione del database PostgreSQL creato dal bi-connector e la sua interrogazione diretta. Di seguito si descrivono le tabelle (2.1 2.2, 2.3, 2.4) di questo database che saranno quelle a cui si farà riferimento in tutti i frammenti di codice successivi.

Inoltre, dato il fatto che ogni DBMS tende ad avere un proprio dialetto SQL, è stato molto importante assicurarsi che i costrutti da me implementati ricalcassero il comportamento presente in PostgreSQL e, nel caso ciò non fosse possibile, fornire messaggi d'errore di facile comprensione.

Tabella 2.1. Tabella prof

id	fName	lName
http://university.example.org/professor/10	Roger	Smith
http://university.example.org/professor/20	Frank	Pitt
http://university.example.org/professor/30	John	Deep
http://university.example.org/professor/40	Micheal	Jackson
http://university.example.org/professor/50	Diego	Gamper
http://university.example.org/professor/60	Johann	Helmer
http://university.example.org/professor/70	Barbare	Dodero
http://university.example.org/professor/80	Mary	Poppins

Tabella 2.2. Tabella prof_stats

profId	totalStudents	countCourse
http://university.example.org/professor/10	21	2
http://university.example.org/professor/30	12	1
http://university.example.org/professor/80	13	1

Tabella 2.3. Tabella course

id	duration	nbStudents
http://university.example.org/course/LinearAlgebra	24.5	10
http://university.example.org/course/DiscreteMathematics	30	11
http://university.example.org/course/AdvancedDatabases	20	12
http://university.example.org/course/ScientificWriting	18	13

Tabella 2.4. Tabella teaching

teacher	course
http://university.example.org/professor/30	http://university.example.org/course/AdvancedDatabases
http://university.example.org/professor/10	http://university.example.org/course/DiscreteMathematics
http://university.example.org/professor/10	http://university.example.org/course/LinearAlgebra
http://university.example.org/professor/80	http://university.example.org/course/ScientificWriting

Al fine di fare ciò, ho consultato spesso la documentazione di PostgreSQL e, per test più pratici, ho usato DBFiddle, uno strumento online per testare in modo veloce, e senza bisogno di alcun setup, frammenti di codice SQL.

2.4 Costrutti implementati

2.4.1 Modificatori di cardinalità

Distinct implementato tramite un semplice IQ node Distinct Limit e Offset implementati con un filtro Interessanti principalmente in quanto sono stati un primo approccio sia alla struttura generale del progetto / IQTree che a JSqlParser più che come funzionalità complesse da implementare.

2.4.2 Ordinamento righe

Order by più complesso in quanto richiede la creazione di comparatori, operazioni di sostituzione per la proiezione delle variabili e la gestione del NULL ordering.

2.4.3 Combinazione tabelle

Cross e inner join già presenti, implementazione left join (scontato di conseguenza il right join) Problematiche sorte su colonne con stessi nomi

2.4.4 Operazioni insiemistiche

Operazioni su insiemi (unione e sottrazione) implementate con alcune restrizioni. L'implementazione della sottrazione è interessante (implementata come filtro su un left join).

2.4.5 Aggregazione

Funzioni di aggregazione (SUM, COUNT, MIN, MAX, AVG) per cui è stato necessario introdurre una funzionalità che ritardasse l'assegnazione del tipo alla funzione. (Questo perché SPARQL a differenza di SQL usa una tipizzazione dinamica). Costrutto Group by e having (interessante l'implementazione per funzioni con la sostituzione dei functional term con variabili)

2.5 Risultati ottenuti

Con l'introduzione dell'aggregazione (e anche dell'order by) è stato possibile rimuovere buona parte delle query automaticamente create da Tableau –i, accesso a Tableau e prime dashboard create su dataset non banali (chiedere a Benjamin se ha qualche screenshot)

3 Conclusioni

Importanza tirocinio dal punto di vista formativo e personale (prima esperienza di lavoro con un gruppo di programmatori, esperienza su una codebase di una certa dimensione, importanza testing in ambito aziendale, interesse personale nel mondo del Data Integration, ...)

3.1 Possibili sviluppi futuri

Allargare l'insieme delle query supportate (funzioni su date, cursori, meccanismi di autenticazione, ...)

Supportare altri strumenti di BI (PowerBI, Qlik, ...)

Bibliografia

- [1] Elena Botoeva, Diego Calvanese, Benjamin Cogrel, Julien Corman, and Guohui Xiao. Ontology-based data access – beyond relational sources. *Intelligenza Artificiale*, 13:21–36, 2019. 1.
- [2] Diego Calvanese, Benjamin Cogrel, Sarah Komla-Ebri, Roman Kontchakov, Davide Lanti, Martin Rezk, Mariano Rodriguez-Muro, and Guohui Xiao. Ontop: Answering sparql queries over relational databases. *Semantic Web*, 8(3):471–487, 2017.
- [3] Diego Calvanese, Davide Lanti, Tarcisio Mendes De Farias, Alessandro Mosca, and Guohui Xiao. Accessing scientific data through knowledge graphs with ontop. *Patterns*, 2(10):100346, 2021.
- [4] Lisa Ehrlinger and Wolfram Wöß. Towards a definition of knowledge graphs. *SEMANTiCS (Posters, Demos, SuCCESS)*, 48(1-4):2, 2016.
- [5] Aidan Hogan, Eva Blomqvist, Michael Cochez, Claudia d’Amato, Gerard de Melo, Claudio Gutierrez, Sabrina Kirrane, José Emilio Labra Gayo, Roberto Navigli, Sebastian Neumaier, et al. Knowledge graphs. *Synthesis Lectures on Data, Semantics, and Knowledge*, 12(2):1–257, 2021.
- [6] Shaoxiong Ji, Shirui Pan, Erik Cambria, Pekka Marttinen, and S Yu Philip. A survey on knowledge graphs: Representation, acquisition, and applications. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33(2):494–514, 2021.
- [7] JSqlParser. Jsqlparser sourceforge. <http://jsqlparser.sourceforge.net/>.
- [8] Maurizio Lenzerini. Data integration: A theoretical perspective. In *Proceedings of the twenty-first ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems*, pages 233–246, 2002.
- [9] Ontop. Intermediate query (iq). <https://ontop-vkg.org/dev/internals/iq.html>.
- [10] Ontopic. Ontopic studio. <https://ontopic.ai/en/ontopic-studio/>.
- [11] SAP. What is data integration? <https://www.sap.com/insights/what-is-data-integration.html>.
- [12] Bhavana Sayiram. Importance of data integration in the data decade. https://education.dellemc.com/content/dam/dell-emc/documents/en-us/2021KS_Sayiram-Data_Integration.pdf.
- [13] Unibz. Ontopic. nasce il primo spin-off di unibz. <https://www.unibz.it/it/news/132449-ontopic-nasce-il-primo-spin-off-di-unibz>.
- [14] UNiCS. Unics website. <https://unics.cloud/>.
- [15] Guohui Xiao, Linfang Ding, Benjamin Cogrel, and Diego Calvanese. Virtual knowledge graphs: An overview of systems and use cases. *Data Intelligence*, 1(3):201–223, 2019.

- [16] Guohui Xiao, Davide Lanti, Roman Kontchakov, Sarah Komla-Ebri, Elem Güzel-Kalaycı, Linfang Ding, Julien Corman, Benjamin Cogrel, Diego Calvanese, and Elena Botoeva. The virtual knowledge graph system ontop. In *International Semantic Web Conference*, pages 259–277. Springer, 2020.