



Ragionamento su reti di vincoli temporali

NICOLA FERRARI - NICOLA MOROTTI

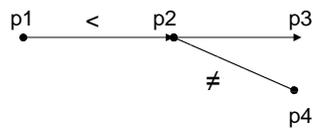
Rappresentazione info. temporale

L'informazione temporale qualitativa viene normalmente rappresentata in termini di vincoli temporali tramite *variabili* (punti o intervalli) *su un dominio temporale lineare, continuo e illimitato* (numeri razionali).

I vincoli temporali vengono descritti tramite *reti di vincoli (constraint network)* i cui vertici rappresentano le variabili (punti o intervalli) e i cui archi sono etichettati con le relazioni tra le variabili

Esempio:

$p1 < p2$
 $p2 \leq p3$
 $p2 \neq p4$



Il ragionamento su vincoli temporali

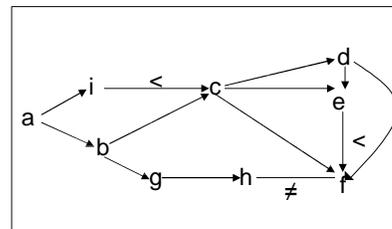
Dato un insieme di vincoli temporali, i passi principali del ragionamento (processing) sono:

- n verifica della consistenza
- n individuazione di uno scenario consistente
- n deduzione di nuovi vincoli

Scenario consistente:
interpretazione di tutte
le variabili temporali
coinvolte, coerente con
i vincoli.

Il TL - graph

Un TL-graph (*temporally labeled graph*) è un grafo con almeno un vertice ed un insieme di archi, in cui ogni arco (v,l,w) unisce una coppia di vertici distinti (v,w) . Gli archi sono orientati e vengono etichettati con "l": $\leq, <, \neq$.



<-path \leq -path nei TL-graph

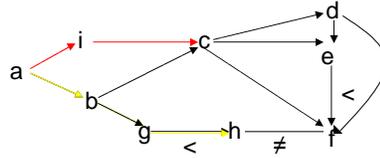
Dato un TL-graph, un cammino tra due vertici è detto \leq -*path* se tutti gli archi sono etichettati con $< \text{ o } \leq$.

Se almeno un arco è etichettato con $<$, il cammino è detto $<$ -*path*

Esempio:

in rosso \leq -path

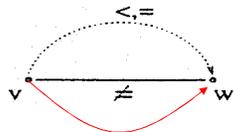
in giallo $<$ -path



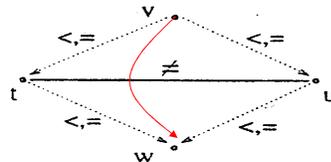
5

Relazioni $<$ implicite

Un TL-graph, contiene una *relazione $<$ implicita* $v < w$ se tra v e w non ci sono $<$ -path ma si verifica una delle situazioni in figura o isomorfa a queste:



a)



b)

Un *TL-graph esplicito* di un dato TL-graph G è un TL-graph aciclico logicamente equivalente a G e privo di relazioni $<$ -implicite.

6

Due possibili approcci

Presenteremo i due approcci più noti per il ragionamento su reti di vincoli temporali:

- n Timegraph (Gerevini, Schubert)
- n SPMG (Delgrande, Gupta, Van Allen)

7

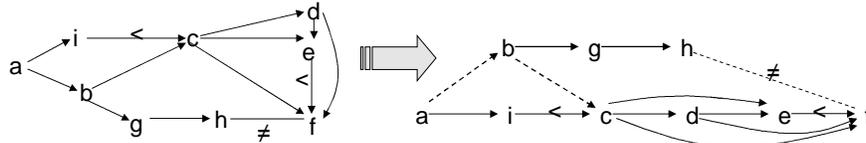
Ragionamento su reti di vincoli temporali

Il Timegraph

Il Timegraph

Un *Timegraph* è un TL-graph aciclico partizionato in un insieme di catene temporali (*time chains*) tale che ogni vertice appartiene ad una sola catena.

Una *Time chain* è un \leq -path più possibili archi transitivi che connettono coppie di vertici sul \leq -path. Nodi su catene diverse sono collegati da *cross-archi*.



9

Il timegraph

L'applicazione di Timegraph al ragionamento su vincoli temporali prevede due grandi passi:

- n COMPILAZIONE: creazione del Timegraph e delle sue strutture ausiliarie;
- n QUERY: fornire a fronte di una richiesta (? p_i p_j) la più stretta relazione tra p_i e p_j , implicata dai vincoli forniti.

10

La compilazione

La fase di compilazione del Timegraph consta dei seguenti passi:

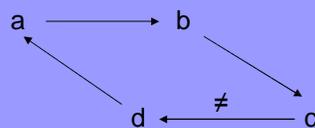
- Verifica della consistenza del TL-graph associato
- Ranking del grafo
- Costruzione delle catene
- Determinazione nextgreater
- Resa esplicita delle relazioni < implicite

11

La compilazione - verifica consistenza

- n Si parte dal grafo indotto dai vincoli.
- n Si computano le SCC; se in una SCC è presente un arco $<$ o \neq il grafo è inconsistente.
- n Ogni SCC di un grafo consistente viene collassata in un solo vertice:
i vertici della SCC sono equivalenti, basta quindi prendere un rappresentante della classe.

SCC(*componente fortemente connessa*): il più grande insieme di nodi ed archi coinvolti in un ciclo.

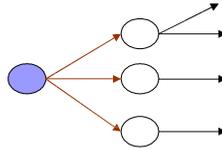


12

La compilazione – il ranking

Come operazione preliminare, al TL-graph viene aggiunto un nodo (*universal start time*) che non ha predecessori ed ha come successori i nodi del grafo che non hanno altri predecessori.

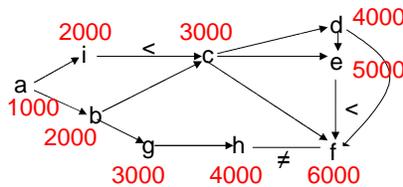
Esempio:



13

La compilazione – il ranking

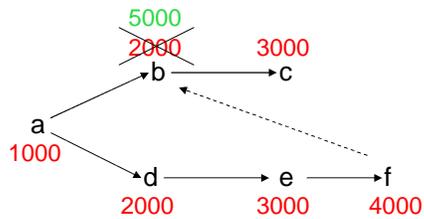
A ciascun nodo del TL-graph viene associato un peso (*rank*) pari alla lunghezza del massimo \leq -path dal nodo iniziale ad esso, eventualmente moltiplicato per una costante.



14

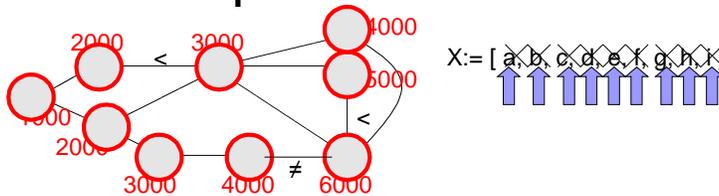
La compilazione – il ranking

L'assegnazione del rank ai nodi consente di limitare lo spazio di ricerca sul grafo:
 se $\text{rank}(p1) > \text{rank}(p2)$, non possono esserci percorsi da p1 a p2.

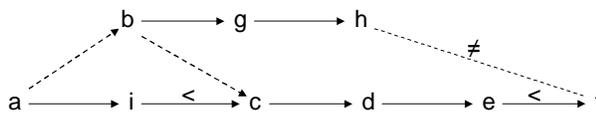


15

La compilazione - creazione delle catene



Catena 2



Catena 1

16

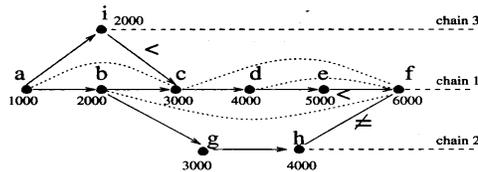
La compilazione – i nextgreater

Dato un vertice v il suo *nextgreater* è il successore più vicino e sulla stessa catena, unito da un \leftarrow -path se esiste, altrimenti è "null".

Determinati i nextgreater, si può rispondere alle query su vertici della stessa catena in tempo costante: in pratica sono state esplicitate le relazioni più strette sulla catena.

La ricerca dei nextgreater consta di due passi:

- n ricerca locale (sulla stessa catena)
- n ricerca interchains



17

La compilazione – il metagraph

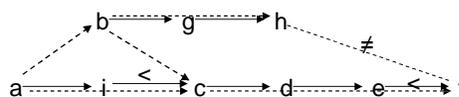
Lo strumento per una ricerca efficiente dei nextgreater interchains è il metagrafo.

Dato un timegraph T , il suo metagrafo è un grafo di metanodi e metaarchi

Metaarchi: cross-archi e archi di connessione con i *nextin* e *nextout*.

Metanodi: nodi con un cross-arco entrante o uscente.

Esempio:

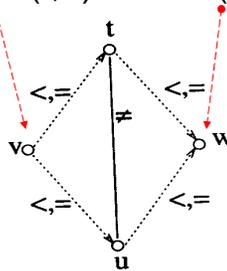


18

La compilazione - < impliciti

Per rendere esplicite le relazioni < implicite occorre principalmente individuare i \neq -diamonds.

E' possibile limitare la ricerca ai più piccoli diamonds, ottenuti considerando per ogni arco (t, \neq, u) solo gli $NCA(t, u)$ e $NCD(t, u)$.



19

La compilazione - complessità

Task	Time complexity
Consistency	$O(e)$
Ranks	$O(n + e)$
Chains	$O(n + e + \hat{n} \cdot \hat{e})$
Implicit <	$O(\hat{e}_{\neq} \cdot (\hat{e} + \hat{n}))$

20

Query

Fare una query significa richiedere la più stretta relazione tra due punti.

Nel Timegraph quattro tipi di query sono risolvibili in tempo costante:

- n p1 e p2 sono nomi per lo stesso punto;
- n p1 e p2 corrispondono a vertici (v1,v2) sulla stessa catena;
- n v1 e v2 non sono sulla stessa catena, hanno lo stesso rank e non c'è un arco \neq tra loro;
- n v1 e v2 hanno un arco \neq tra loro.

Negli altri casi è necessaria una ricerca esplicita sul metagrafo.

21

Ragionamento su reti
di vincoli temporali

SPMG

SPMG – path chiusura

Presi v, w uniti da un percorso, c'è un \leftarrow -path tra loro sse $A(v) < S(w)$, definendo:

n $S(v)$ il max numero di archi \leftarrow tra s e v ;

n $A(v)$:

- $\leftarrow S(v)$ se $v = t$;
- $\leftarrow S(v)$ se esiste w t.c. c'è un arco \leftarrow tra v e w ;
- $\leftarrow \min \{A(w) \text{ t.c. c'è un arco } \leq \text{ tra } v \text{ e } w\}$

La complessità del calcolo della path chiusura è $O(n)$ nel tempo e nello spazio.

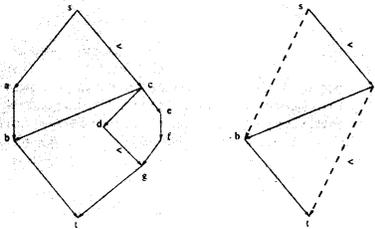
25

SPMG - metagrafo

Per rendere più efficiente la risposta alle query anche SPMG utilizza un metagrafo costruito nel seguente modo:

- \leftarrow se v ha un solo arco entrante (u,m,v) e un solo arco uscente (v,n,w) , rimuovi questi archi e aggiungi $(u,m \cdot n,w)$;
- \leftarrow se ci sono due archi $(u,m,v), (u,n,v)$ rimuovili e aggiungi $(u,m+n,v)$.

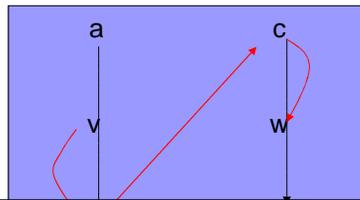
La complessità del calcolo del metagrafo è $O(n+e)$ nel caso peggiore.



26

SPMG – le query

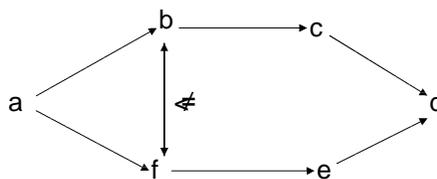
- n Le query tra vertici interni ad un metaarco sono risolte in tempo costante $O(1)$.
- n Le query tra metanodi distinti sono risolte con un algoritmo di ricerca generico sul metagrafo in tempo $O(n' + e')$.
- n Le query tra vertici interni a metaarchi distinti sono risolte con tre diverse query.



27

SPMG – le query

- n Le relazioni \neq vengono gestite query-time.



28

Ragionamento su reti di vincoli temporali

Confronti Timegraph – SPMG

Domini di test

- n Dominio1: grafi con struttura serie parallelo con $n/10$ di archi “rumorosi”.
- n Dominio2: reti con strutture a 5 catene con $n/5$ vertici per catena e $n/5$ cross-archi.

Di ciascun dominio sono stati generati 100 casi da 100,300,500,700 punti.

Per ogni caso sono state effettuate 1000 query.

30

Sistemi testati

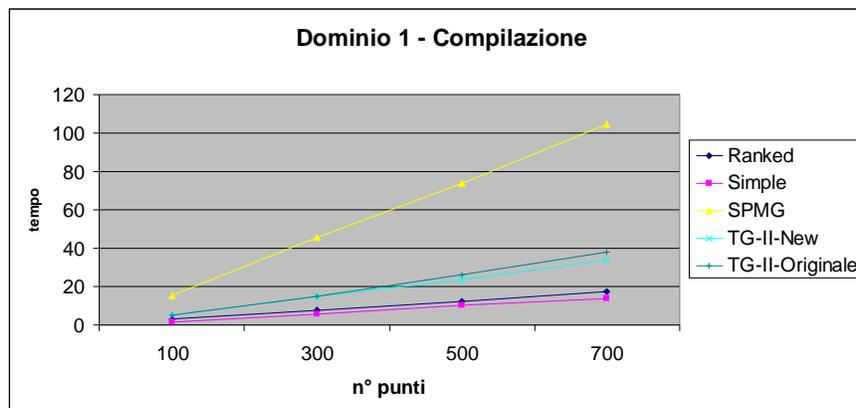
Sono state confrontate le prestazioni dei seguenti sistemi:

- n Simple: semplice algoritmo di ricerca.
- n Ranked: ricerca su grafo pesato.
- n SPMG
- n Timegraph-II

31

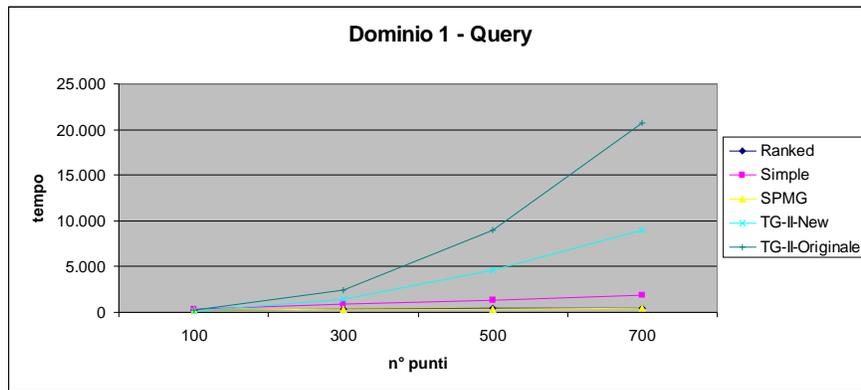
Dominio1 – i risultati: *compilazione*

Punti	Ranked	Simple	SPMG	TG-II-New	TG-II-Originale					
100	3	221	2	365	15	197	5	154	5	183
300	8	323	6	843	46	277	15	1.387	15	2.368
500	12	411	10	1.349	74	349	24	4.605	26	8.986
700	18	493	14	1.869	105	409	34	8.954	38	20.728



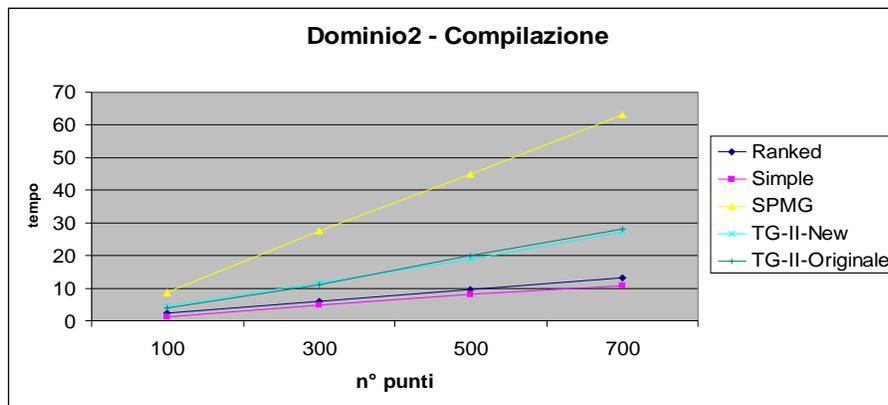
Dominio1 – i risultati: *query*

Punti	Ranked	Simple	SPMG	TG-II-New	TG-II-Originale
100	3	2	15	5	5
300	8	6	46	15	15
500	12	10	74	24	26
700	18	14	105	34	38



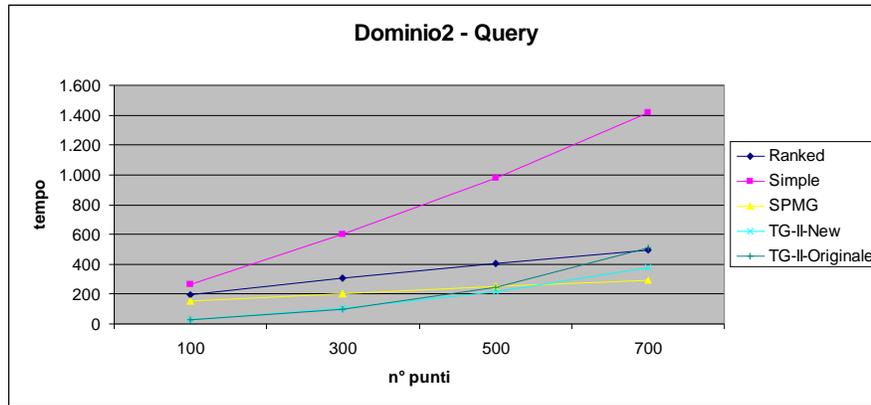
Dominio2 – i risultati: *compilazione*

Punti	Ranked	Simple	SPMG	TG-II-New	TG-II-Originale
100	2	1	9	5	4
300	6	5	28	12	11
500	10	8	45	19	20
700	13	11	63	27	28



Dominio2 – i risultati: *query*

Punti	Ranked	Simple	SPMG	TG-II-New	TG-II-Originale
100	2 195	1 263	9 151	5 27	4 25
300	6 304	5 603	28 203	12 102	11 101
500	10 407	8 981	45 249	19 216	20 248
700	13 497	11 1.416	63 293	27 375	28 509



35