

Politecnico di Milano
Facoltà di Ingegneria dell'Informazione



Marco Furlan
un'estensione temporale delle logiche
descrittive fuzzy

verso f -SHOIQ⁺T

Tesi di laurea in Ingegneria Informatica V. O.
anno accademico 2006 – 2007
matricola 645420

Relatore: Chiar.mo Prof. Marco Colombetti

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- Corpo
- Applicazioni
- Conclusioni

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- **Introduzione**
 - Logiche descrittive (description logics)
 - Semantic web
 - Ontologie
 - Il tempo
 - Logiche fuzzy
 - Il divenire
 - divenire I
 - divenire II
 - divenire III
- Corpo
- Applicazioni
- Conclusioni

Logiche descrittive (DL)

- classe di linguaggi logici del primo ordine (**FOL**).
- formalismi progettati per la ricostruzione logica e l'estensione di strumenti di Rappresentazione della Conoscenza (*Knowledge Representation*).
- alta **espressività** +
- **decidibilità**: gli algoritmi di *reasoning* terminano sempre, con le risposte corrette
- impiegate nel *Semantic Web*

Semantic Web

- Il web di terza generazione.
- Obiettivo: convertire l'attuale ricerca automatica di mera *Informazione* in ricerca automatica di *Conoscenza*, cioè ricerca intelligente dei contenuti.
- A questo fine, descriviamo i dati tramite concetti e relazioni strutturati in *Ontologie*, per le quali possa essere applicato il *reasoning* automatico.

Ontologia

- *Ontologia*: descrizione logica di una parte del mondo, organizzata in **Concetti** e relazioni tra concetti (**Ruoli**).
- Gran parte delle *ontologie* realizzate finora sono analoghe a fotografie istantanee.
 - Si congela una parte del mondo e si impone che la sua descrizione sia valida eternamente.
 - Si utilizzano linguaggi logici **statici**, indipendenti dal tempo.

Ontologia

- Oppure, quando si assegna una *dipendenza dal tempo*, questa dipendenza rimane **esterna** all'ontologia
- si realizza un'ontologia e si rende l'**interpretazione** dipendente dal tempo
- L'interpretazione assegna *dall'esterno* diversi valori d'appartenenza agli individui, a seconda dell'istante

Il tempo

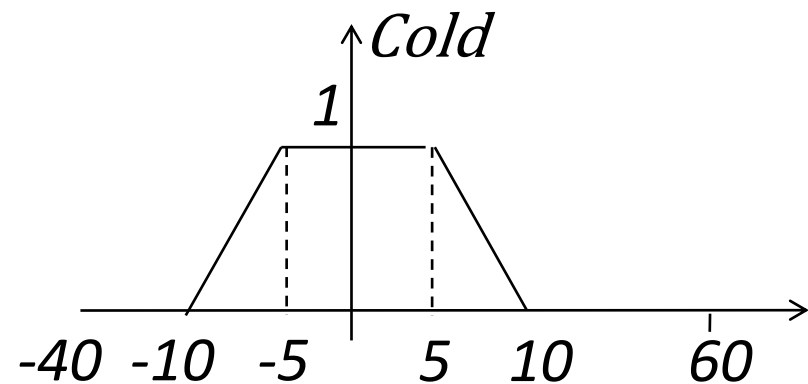
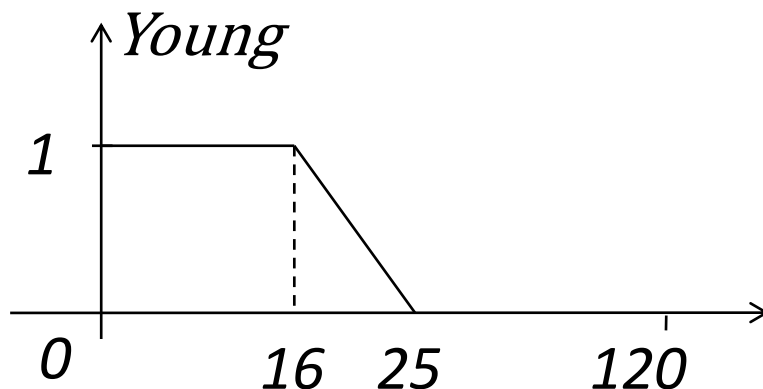
- Il *tempo* nell'essenza della vita e del mondo.
- Grandi questioni di conoscenza sono relative all'*evoluzione temporale*, globale oppure individuale. Esempi.
- Campo *sanitario*. I medici sono spesso più interessati, per i propri pazienti, all'andamento nel tempo dei fattori fisiologici (pressione, glicemia, temperatura ecc.), piuttosto che ai singoli valori istantanei.
- Campo *ecoambientale*. Si discute di riscaldamento globale del nostro pianeta: interessa poco la singola temperatura della singola località, ma più l'evoluzione nel tempo delle temperature di un campione significativo di località.
- Campo del *controllo automatico*. Molti sistemi sono intrinsecamente dinamici. In un sistema preda – predatori, interessa sapere se il predatore si avvicina alla preda o, ancor più, se una determinata parte dei predatori si avvicina alla preda.

Logiche fuzzy

- Le mie ricerche si applicano sia alle logiche *crisp* che alle logiche *fuzzy*. Nelle logiche *fuzzy* si arricchiscono notevolmente.
- Logiche *crisp* (taglienti, croccanti): logiche tradizionali aristoteliche, quelle del vero-falso e terzo escluso, dove ogni elemento appartiene ad un concetto oppure non vi appartiene, cioè vi appartiene con valore **0** o **1**, in modo esclusivo.
- Logiche *fuzzy* (sfumate): un'estensione delle logiche *crisp*.
 - Sono permessi diversi **gradi d'appartenenza** ai concetti, compresi in $[0, 1]$.
 - Sono ammessi **concetti sfumati** assai vicini all'intendere umano, quali *Vicino*, *Giovane* ecc., che hanno difficoltà ad essere espressi nelle logiche *crisp*.

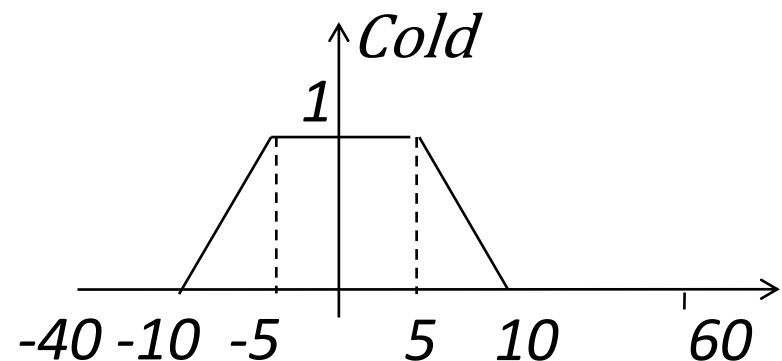
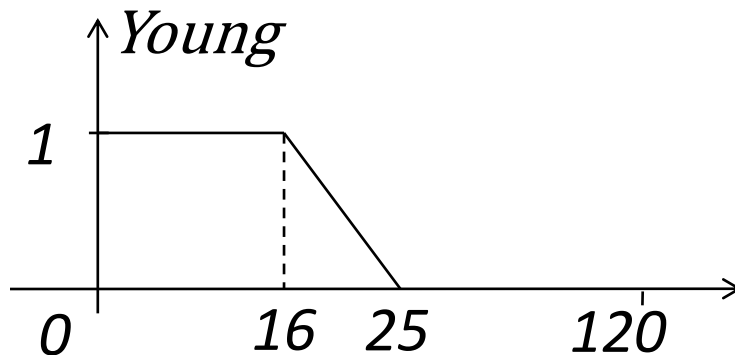
Logiche fuzzy

- I concetti fuzzy possono avere una *membership function* esplicita. Es.: *Young, Cold*
- ... ma non è necessaria. Es.: *Happy, Blonde*



Trap(): prototipo di membership function

- funzione parametrica
 - *Trap(tipo, a, b, c, d, min, max)*
- utilizzabile come prototipo per la definizione di vasta classe di *membership functions*.
- *Young = Trap(0, 0, 16, 25, 0, 120)*
- *Cold = Trap(-10, -5, 5, 10, -40, 60)*



Il divenire I

- Il mio intento: esprimere in linguaggio logico descrittivo espressioni del linguaggio naturale che contengano il *divenire*.
- *divenire I*: transizione dall'appartenenza ad un concetto ad un altro, es.
 - *Sciolto*: “*Solido* → *Liquido*”
 - *Avvicinato*: “*Lontano* → *Vicino*”
 - *Riscaldato*: “*Freddo* → *Caldo*”

Il divenire II

- ▣ ***divenire II***: andamento dell'appartenenza ad un concetto.
 - gli andamenti di
 - **Incremento** ↗
 “*SemprePiù Caldo*”, “*SemprePiù Vicino*”
 - **Decremento** ↘
 “*SempreMeno Caldo*”, “*SempreMeno Vicino*”
 - **Costanza** ⇔
 “*Costantemente Caldo*”, “*Costantemente Vicino*”
 - e le relative *oscillazioni* nell'andamento.

il divenire III

- *divenire III*: quantificazione sulla frequenza o sul numero delle occorrenze nel tempo, per l'appartenenza ad un concetto.
 - *“Sempre Caldo”*
 - *“Solitamente Vicino”*
 - *“Circa 2 volte su 3 acquista Prodotti Costosi”*
 - Avverbi temporali

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- **Corpo**
- Applicazioni
- Conclusioni

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- **Corpo**
 - Approccio
 - Ontologia Superiore, partizione dell'universo
 - Concetti Statici
 - Concetti Dinamici
 - Operatori temporali
 - Operatori SubsNext, SubsPrev
 - Operatori e concetti d'Andamento
 - Operatori e concetti d'Andamento monotono
 - Quasi-sussunzione
 - Quantificatori temporali
- Applicazioni
- Conclusioni

Approccio

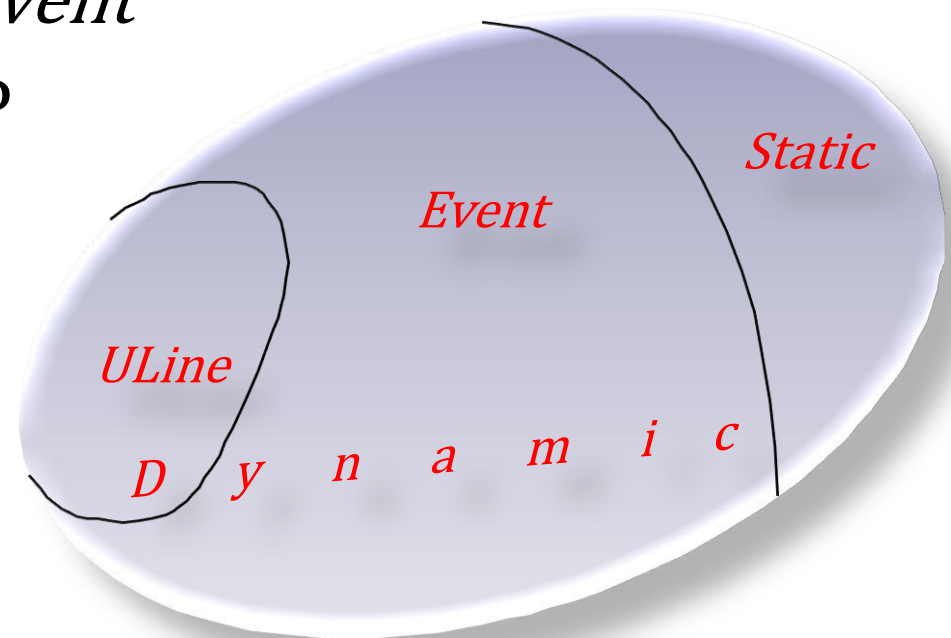
- Mantenere la struttura di base delle DL statiche: in particolare, partire dalla classe *SHOIN(D)*
 - *SHOIN(D)*: classe di linguaggi decidibili e con una buona espressività, utilizzati, tra gli altri, dal linguaggio per ontologie OWL-DL.
- Ogni ontologia contenga internamente la descrizione dinamica
- Introdurre la dimensione temporale internamente al linguaggio logico, come un Dominio Concreto, costituito da istanti di tempo puntuali a valore reale
- L'interpretazione può rimanere indipendente dal tempo.

Ontologia Superiore

- Nuova Ontologia Superiore (*Upper Ontology*): il mondo è partizionato in
 - *Static*: individui statici, non soggetti ad evoluzione. Es. **idrogeno**.
 - *Dynamic*: individui dinamici, dipendenti dal tempo. Es. **marco**.
- Individuo dinamico: descritto dai nuovi concetti
 - *Linea Universo ULine*
 - *Evento Event*
 - concetti mutuati dalla fisica moderna.

La partizione dell'universo

- $\top \equiv \textit{Static} \sqcup \textit{Dynamic}$
- $\textit{Dynamic} \equiv \textit{Uline} \sqcup \textit{Event}$
- $\textit{Static} \cap \textit{Dynamic} = \Phi$
- $\textit{Uline} \cap \textit{Event} = \Phi$



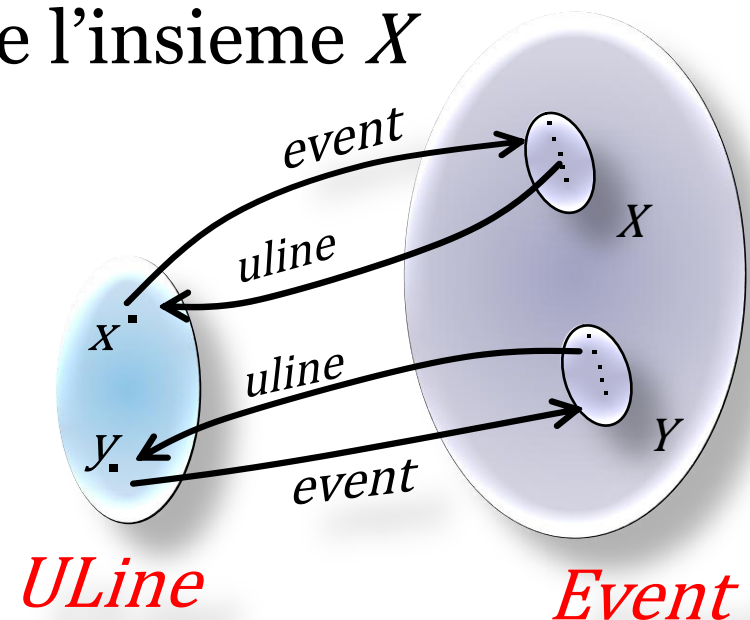
Linee Universo ed Eventi

- Linea Universo *Uline*: rappresenta il se', l'astrazione dell'individuo dinamico
- Evento *Event*: rappresenta una realizzazione nel tempo dell'individuo dinamico
 - *incarnazione, manifestazione, istanza, avatar...*
 - *Evento spaziotemporale della fisica*

Linee Universo ed Eventi

- Individuo dinamico: rappresentato univocamente da una e una sola Linea Universo *ULine*.
- Ad ogni *Uline* x corrisponde l'insieme X sottoinsieme di *Event*,

$$X = event(x) \sqsubseteq Event$$
- Ad ogni *Event* corrisponde una e una sola *ULine*



Eventi

- Evento *Event*: rappresentazione dell'individuo in un particolare istante temporale.
- Il predicato concreto (ruolo funzionale) *time* associa ad ogni *Event* il suo istante temporale.
- *time* associa ad ogni individuo *Event* un unico valore del concetto *Time*
- Ad ogni valore di *Time* sono associati diversi individui *Event*

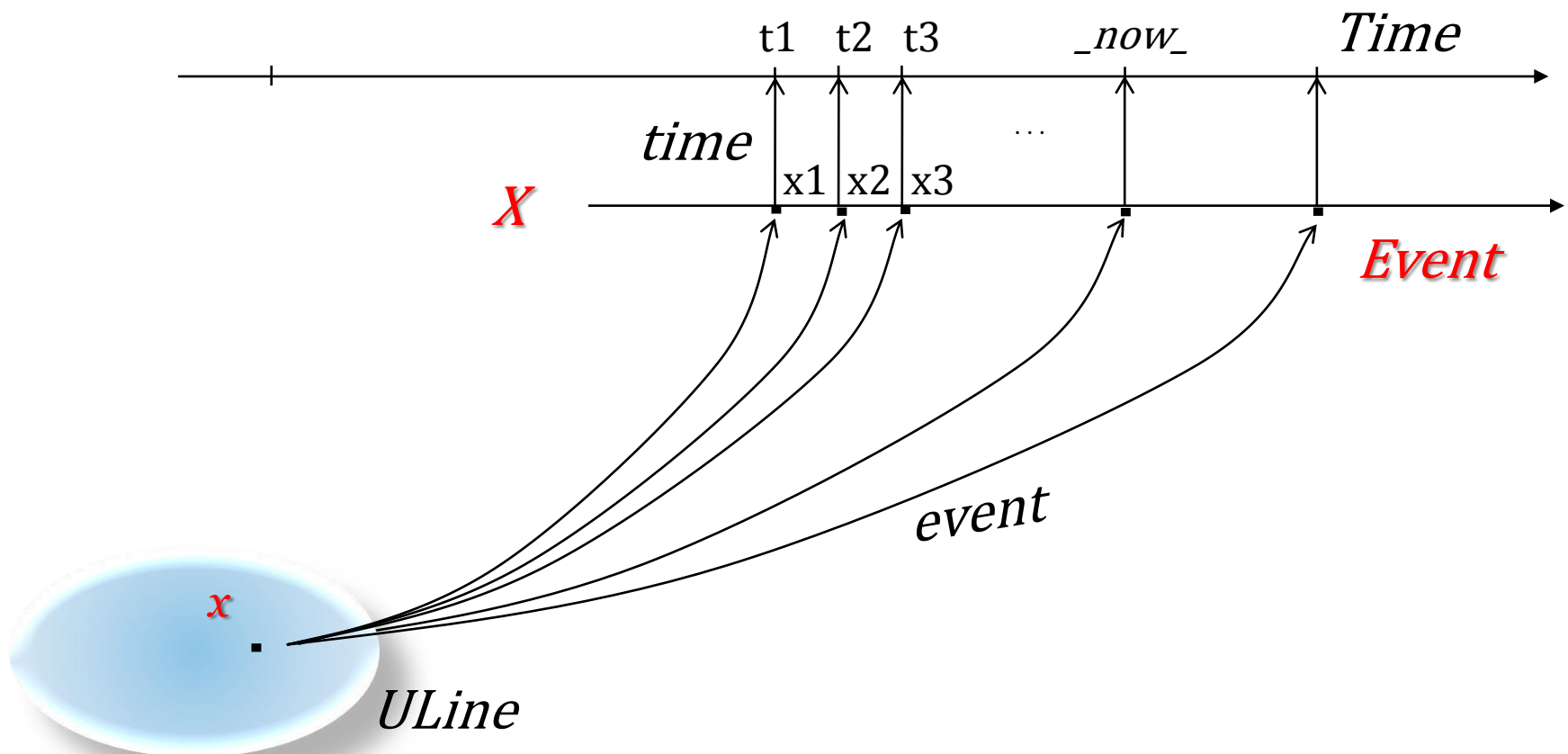
Time

- Il concetto *Time* è un dominio concreto, l'insieme degli istanti di tempo puntuali, contenuto in \mathbb{R}
- *Time* è ordinato, secondo l'ordinamento indotto da \mathbb{R}
- *Event* è ordinato secondo l'ordinamento indotto da *Time* tramite il ruolo *time*

Event è ordinato

- Def.: dati due individui $x, y \in Event$,
- x *precede* y : $x < y$
 - se e solo se $time(x) < time(y)$
- x è *contemporaneo* a y : $x =_t y$
 - se e solo se $time(x) = time(y)$
- x *precede o è contemporaneo* a y : $x \leq y$
 - se e solo se $time(x) \leq time(y)$
- x *segue* y : $x > y$
 - se e solo se y *precede* x

Event è ordinato



Concetti

- *Concetti Statici*: a valutazione istantanea
- *Concetti Dinamici*: a valutazione temporale

Concetti Statici, 1: proprietà immutabili

- Nelle ontologie particolari, esistono *concetti* che costituiscono proprietà *immutabili* dell'individuo (Sostanze aristoteliche).
- Esempi
 - *Persona*: se l'individuo *marco* è *Persona*, lo è per tutta la sua esistenza.
 - *Lampadina*: se l'individuo *ℓ* è *Lampadina*, lo è per tutta la sua esistenza.
- Questi concetti sono attribuiti alla *ULine* dell'individuo e sono *ereditati* da ogni suo *Event*.

Concetti Statici, 2: proprietà transeunti

- Altri *concetti*, invece, sono proprietà *transeunti* e modificabili dell'individuo (Accidenti aristotelici).
- Esempi
 - *Funzionante* (crisp) per l'individuo $\ell \in \text{Lampadina}$
 - *Felice* (fuzzy) per l'individuo **marco** $\in \text{Persona}$
- Questi concetti sono attribuiti, nell'ontologia, ai singoli *Event* interessati e non riguardano la *ULine*.

Concetti Dinamici

- Per esprimere il **divenire**
- Derivati da altri concetti (statici o non)
- tramite operatori temporali
 - *Until* \mathcal{U} *Since* \mathcal{S}
 - *always* \square *sometime* \diamond
 - *Next* \oplus *Prev* \ominus
 - *SubsNext* *SubsPrev*
 - *Incr* \nearrow *Decr* \searrow *Const* \Leftrightarrow
 - *MonIncr* *MonDecr*
- o tramite quantificatori temporali
 - *Often* *Usually* ecc.
- valutazione su un individuo: da considerazioni sull'insieme dei suoi *Event* (tutto o una sua parte).

Operatori temporali I

- ▣ *Until* \mathcal{U}
- ▣ *Since* \mathcal{S}
- operatori temporali binari, per esprimere il *divenire* I , transizione da un concetto ad un altro:
 - ▣ *Sciolto* = *Solido* \mathcal{U} *Liquido*
 - ▣ *Avvicinato* = *Lontano* \mathcal{U} *Vicino*
 - ▣ *Riscaldato* = *Freddo* \mathcal{U} *Caldo*
 - ▣ *Maturato* = *Maturo* \mathcal{S} *Maggiorenne*
- nuova semantica

Operatori temporali II

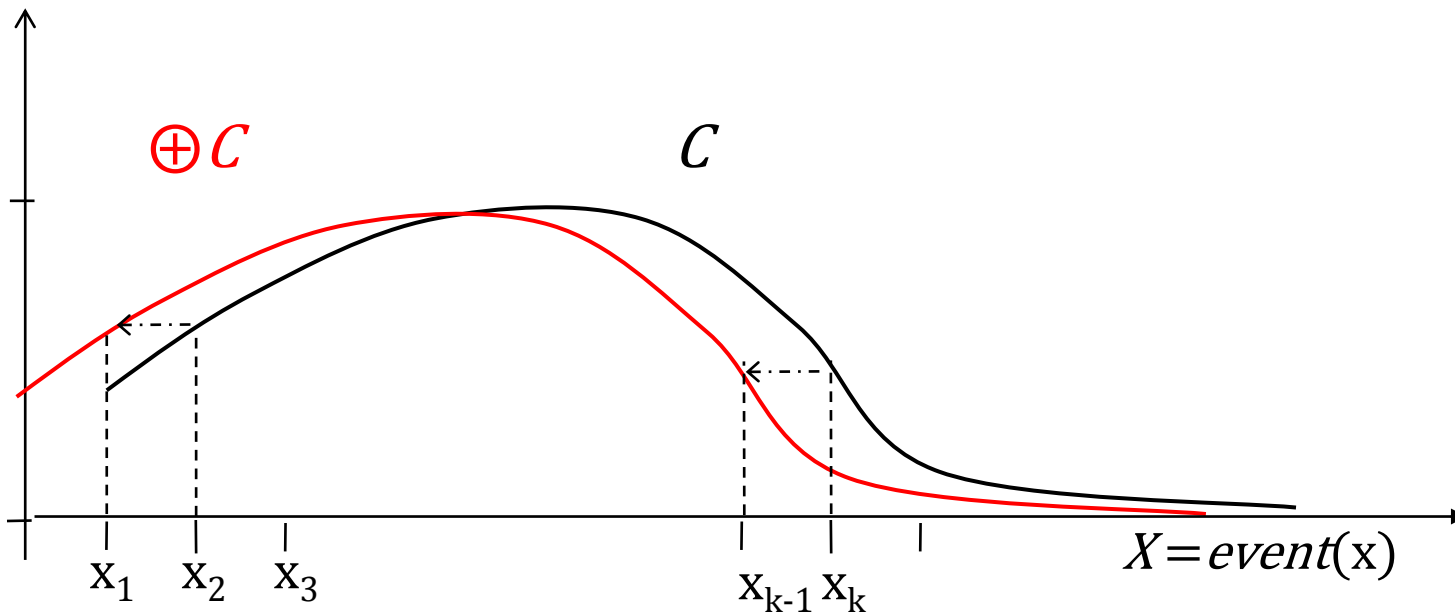
- *always* □
- *sometime* ◇
- operatori temporali unari, per esprimere una parte del *divenire III*, come frequenza d'appartenenza ad un concetto.
 - *SempreVerde* = □ *Green*
 - *AvolteStanco* = ◇ *Tired*
 - *Cliente* = ◇ *buys.Product*
- nuova semantica

Operatori temporali III

- altri importanti operatori temporali unari.
 - *Next* \oplus
 - Per ogni concetto C , $\oplus C$ è il concetto contenente tutti gli *Event* di C (tranne l'ultimo), ognuno col grado d'appartenenza che ha in C il suo successore.
 - *Prev* \ominus (Previous)
 - Per ogni concetto C , $\ominus C$ è il concetto contenente tutti gli *Event* di C (tranne il primo), ognuno col grado d'appartenenza che ha in C il suo predecessore.

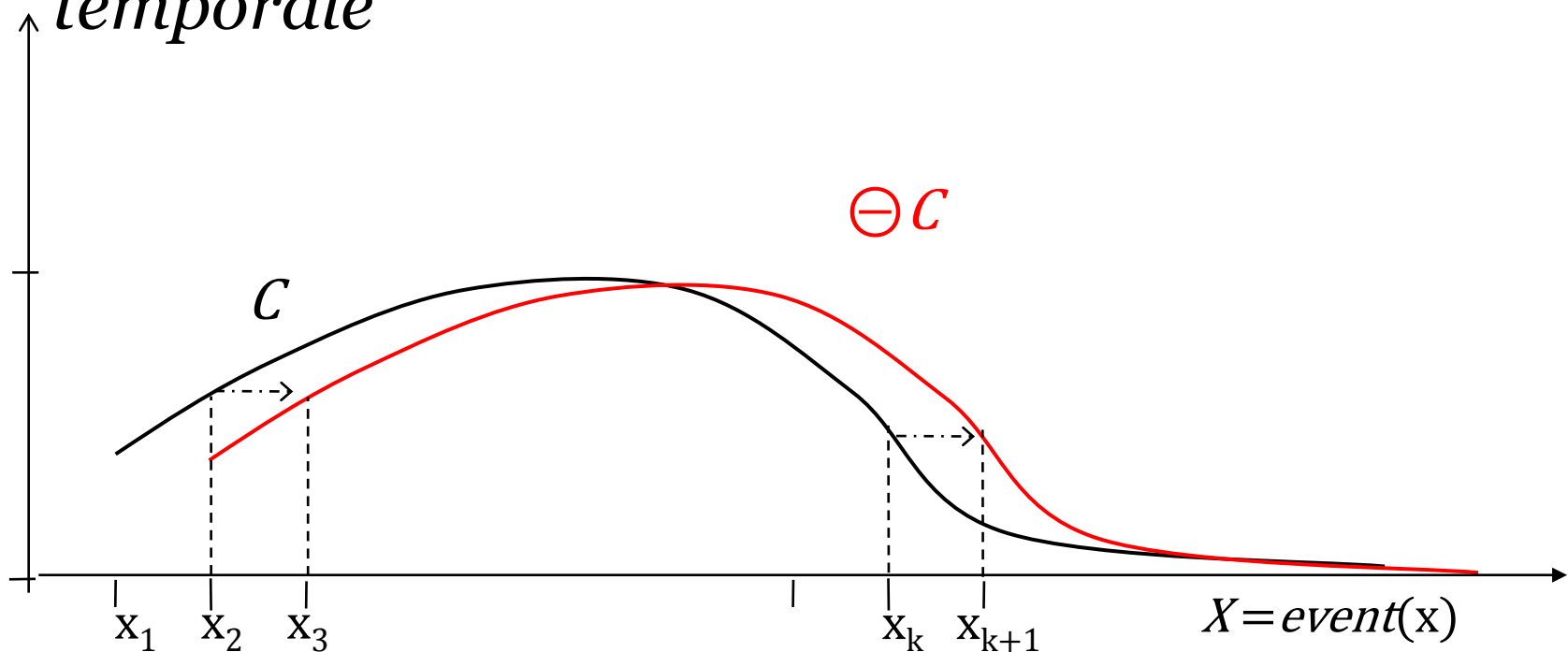
Operatore $\oplus \equiv Next$

- $\oplus C \equiv Next C \leftrightarrow$ *traslazione all'indietro di un'unità temporale*



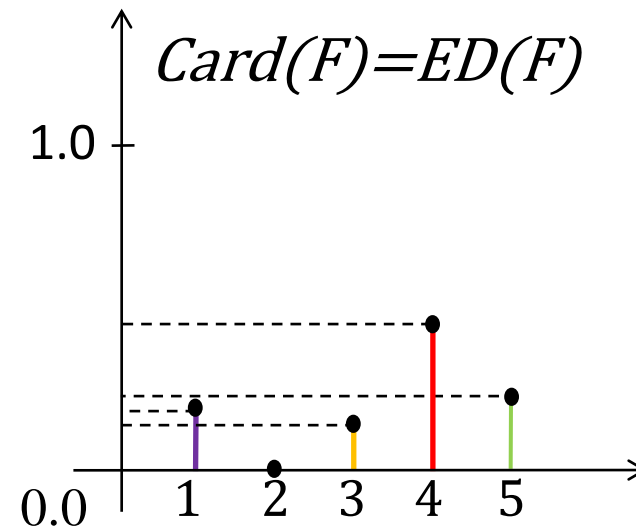
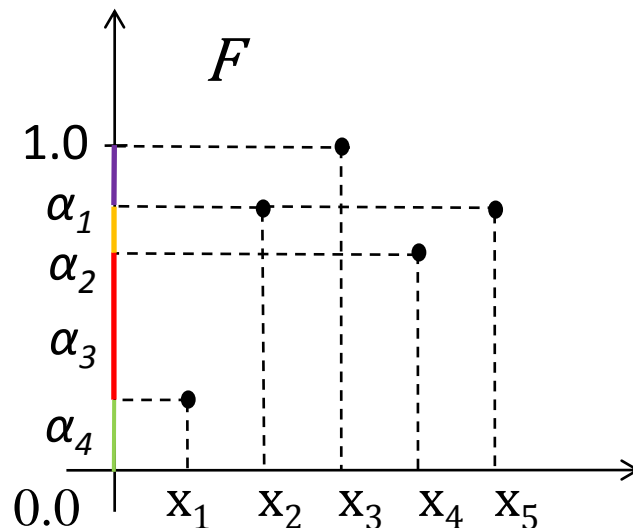
Operatore $\ominus \equiv Prev$

- $\ominus C \equiv Prev C \leftrightarrow$ *traslazione in avanti di un'unità temporale*



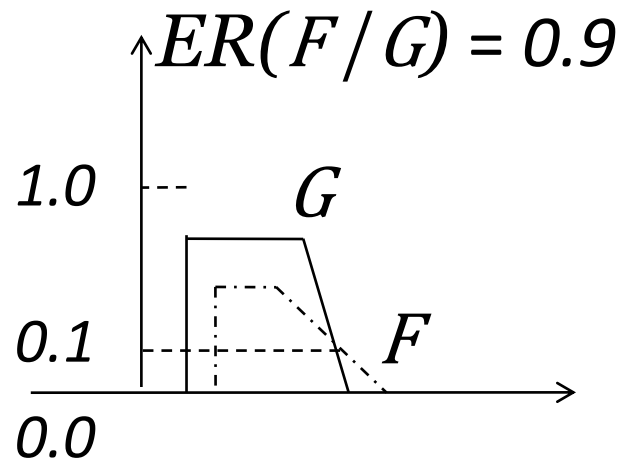
Cardinalità di un insieme fuzzy

- Cardinalità fuzzy di un insieme fuzzy: a sua volta un insieme fuzzy.
- Metodo *ED* per insiemi discreti: per ogni intero q , $ED(F, q) = \Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_{i+1}$ per cui $|F_{\alpha_i}| = q$



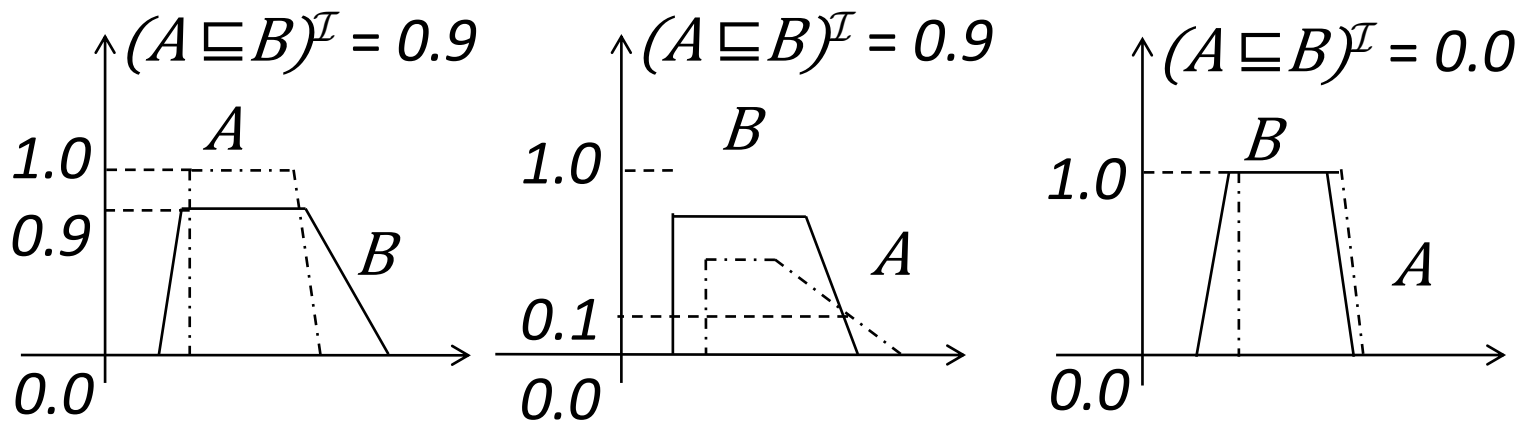
Cardinalità relativa di 2 insiemi fuzzy

- $ER(F / G) = \sum \Delta \alpha_i$ per cui $(F_{\alpha_i}) \subseteq (G_{\alpha_i})$
- Somma degli intervalli α per cui F è incluso in G



Sussunzione tra due concetti

- *Sussunzione* tra due concetti *crisp*: inclusione tra gli insiemi corrispondenti
- *Sussunzione* tra due concetti *fuzzy*: grado d'inclusione tra gli insiemi corrispondenti

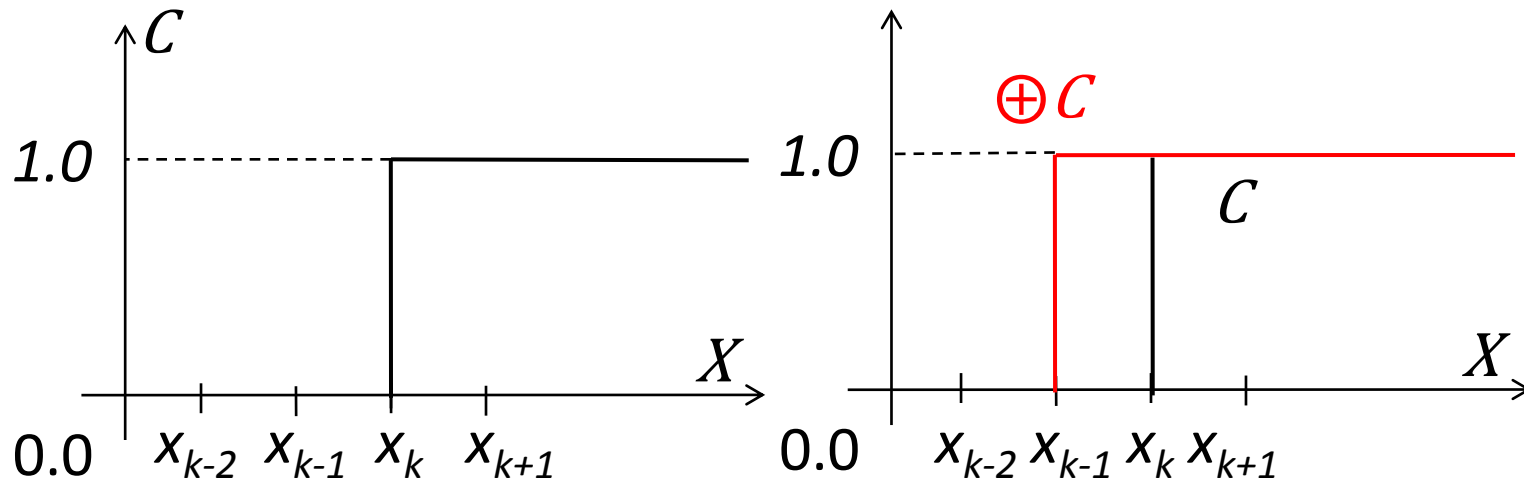


Operatori *SubsNext*, *SubsPrev*

- Def. di due nuovi operatori unari *SubsNext* e *SubsPrev*
- applicati ad un concetto C , creano i due seguenti nuovi concetti
- $SubsNextC \equiv SubsNext(C): C \sqsubseteq \oplus C$
- $SubsPrevC \equiv SubsPrev(C): C \sqsubseteq \ominus C$
- Semantica
 - $SubsNextC^I(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^I$
 - $SubsPrevC^I(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^I$
 - con $CX \equiv C \sqcap X$, $X = event(x)$, per ogni $x \in Uline$

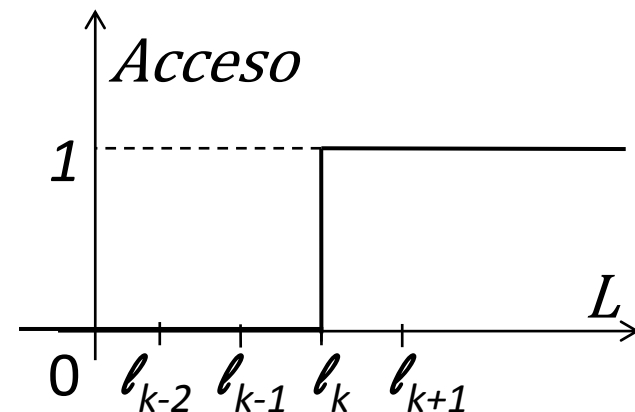
Andamento crescente crisp

- Per x , C è a gradino crescente, quindi
- Ristretto a X , C è completamente incluso in $\oplus C$:
 - $SubsNext(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^I = 1.0$
 - $SubsPrev(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^I = 0.0$



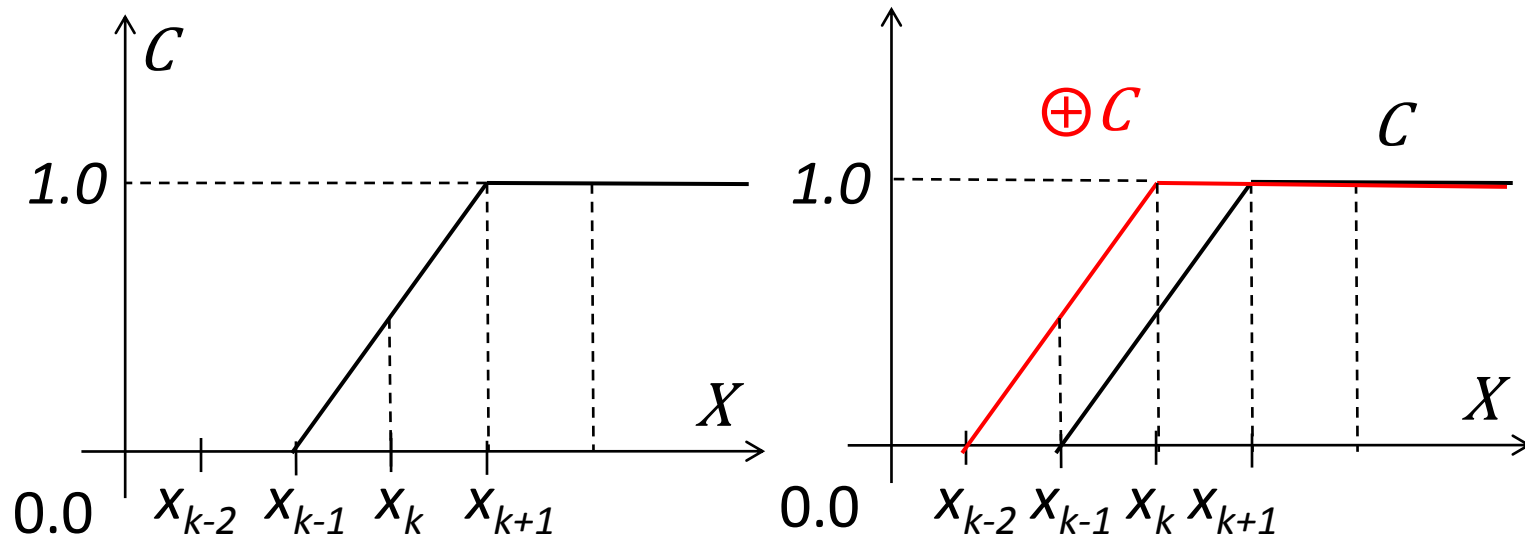
Andamento crescente crisp: esempio

- Individuo ℓ di tipo *Lampadina*; concetto *Acceso*.
- Se ℓ passa dallo stato spento allo stato acceso e rimane in questo stato,
- *Acceso*(ℓ), l'appartenenza di ℓ ad *Acceso*, è crescente :
 - $SubsNext(Acceso)^I(\ell) = 1.0$



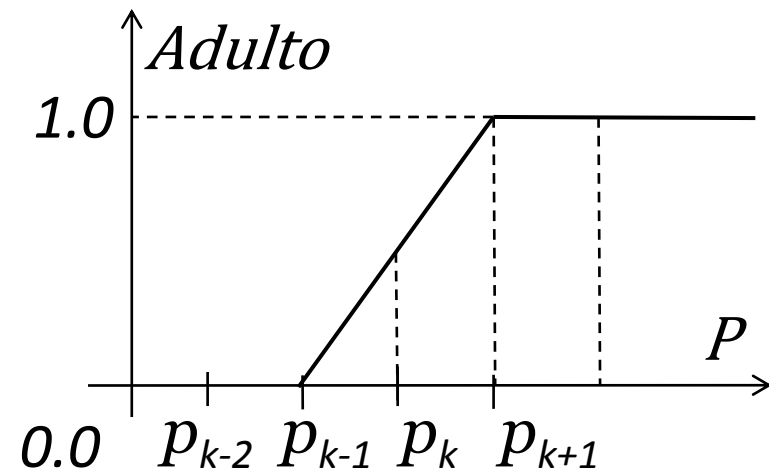
Andamento crescente fuzzy

- Per x , C è crescente monotono
- Ristretto a X , C è completamente incluso in $\oplus C$:
 - $SubsNext(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^I = 1.0$
 - $SubsPrev(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^I = 0.0$



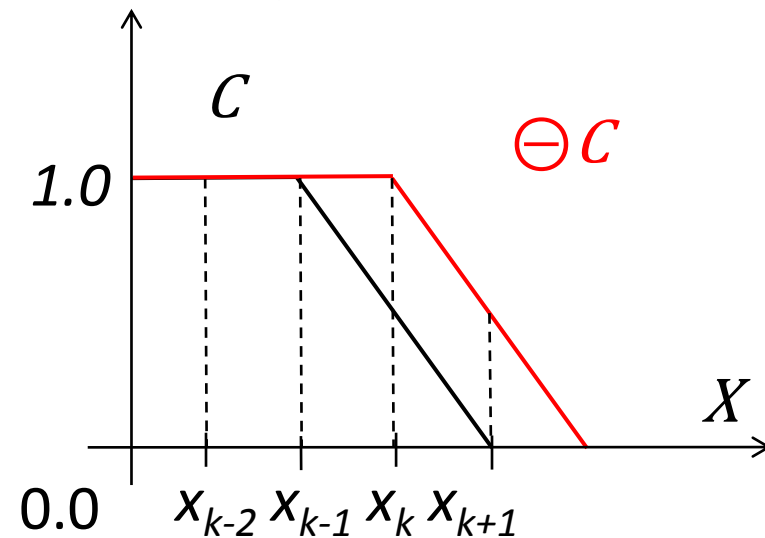
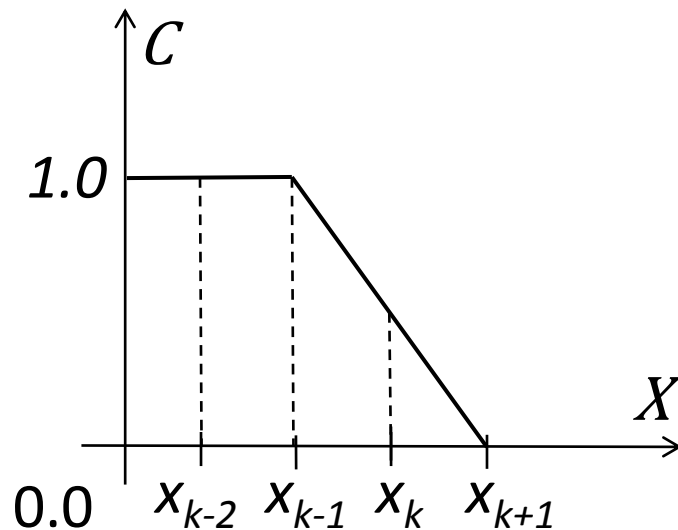
Andamento crescente fuzzy: esempio

- Individuo p di tipo *Persona*; concetto *Adulto*. Se l'età di p aumenta sempre, il valore di appartenenza di p in *Adulto* è crescente,
- $Adulto(p)$ è crescente :
 - $SubsNext(Adulto)^{\mathcal{I}}(p) = 1.0$



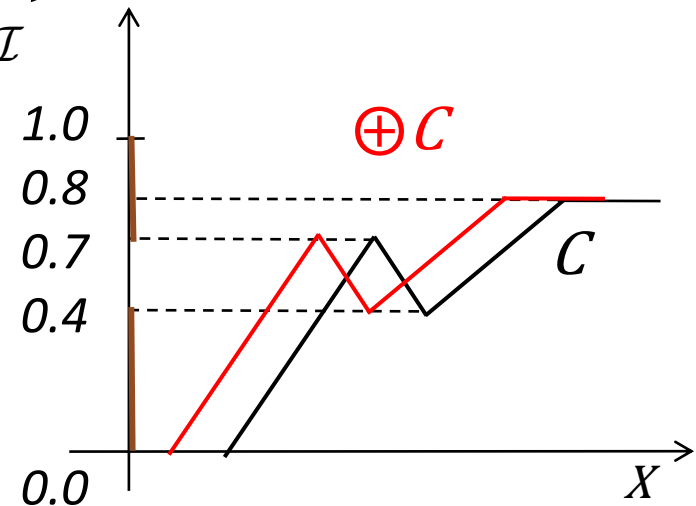
Andamento decrescente fuzzy

- C è decrescente monotono
- C è completamente incluso in $\ominus C$:
 - $SubsNext(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^I = 0.0$
 - $SubsPrev(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^I = 1.0$



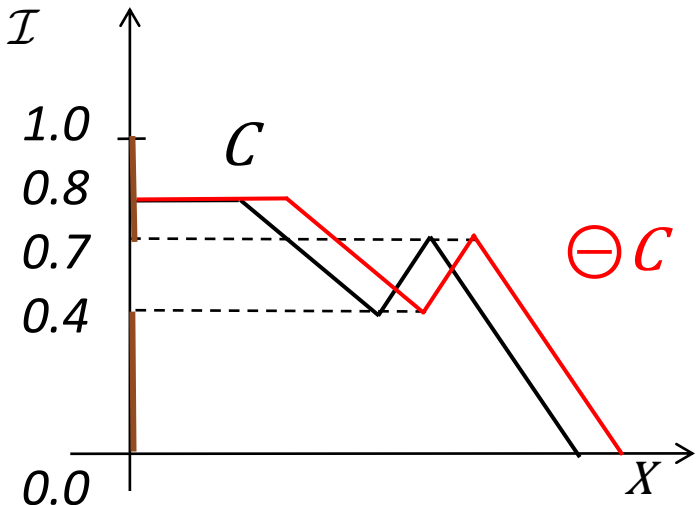
Crescenza con oscillazione

- C è mediamente crescente
- C **non** è completamente incluso in $\oplus C$:
 - $SubsNext(C)^{\mathcal{I}}(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^{\mathcal{I}} = 0.7$
 - $SubsPrev(C)^{\mathcal{I}}(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^{\mathcal{I}} = 0.2$
- $SubsNext(C)^{\mathcal{I}} > SubsPrev(C)^{\mathcal{I}}$



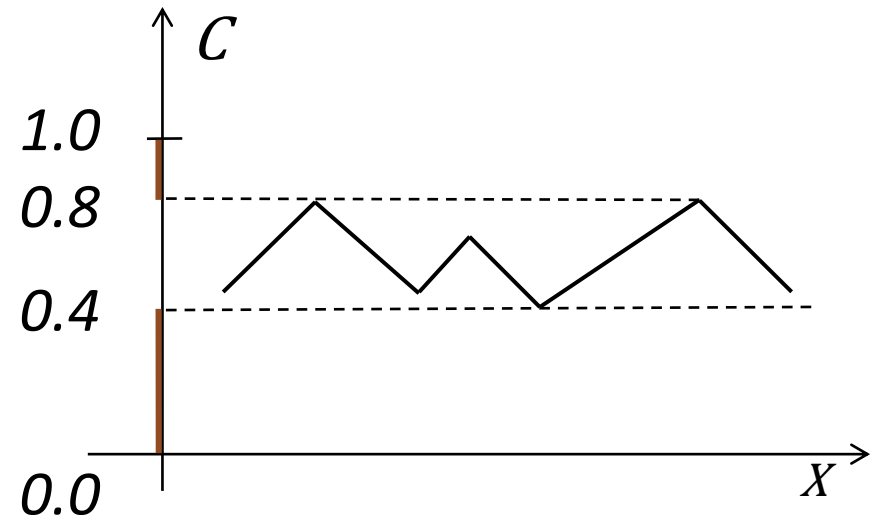
Decrescenza con oscillazione

- C è mediamente decrescente
- C **non** è completamente incluso in $\ominus C$:
 - $SubsNext(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^I = 0.2$
 - $SubsPrev(C)^I(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^I = 0.7$
- $SubsNext(C)^I < SubsPrev(C)^I$



Costanza con oscillazione

- C è mediamente costante:
 - $SubsNext(C)^{\mathcal{I}}(x) = (CX \sqsubseteq \oplus CX)^{\mathcal{I}} = 0.6$
 - $SubsPrev(C)^{\mathcal{I}}(x) = (CX \sqsubseteq \ominus CX)^{\mathcal{I}} = 0.6$
- $SubsNext(C)^{\mathcal{I}} = SubsPrev(C)^{\mathcal{I}}$



Operatori d'Andamento e Concetti d'Andamento

- ▣ Def. di tre nuovi operatori unari: *operatori d'Andamento*
 - ▣ *Increasing* $Incr \equiv \nearrow$
 - ▣ *Decreasing* $Decr \equiv \searrow$
 - ▣ *Constant* $Const \equiv \rightleftharpoons$
- ▣ Dato C concetto, nuovi *concetti d'Andamento*
 - ▣ $IncrC \equiv Incr(C) \equiv \nearrow C$
 - ▣ $DecrC \equiv Decr(C) \equiv \searrow C$
 - ▣ $ConstC \equiv Const(C) \equiv \rightleftharpoons C$

Concetti d'Andamento: Semantica

- **Crescenza:**
- se $SubsNextC^I(x) > SubsPrev(C)^I(x)$, allora
x appartiene al concetto $\nearrow C \equiv IncrC$:
 - $\nearrow C^I(x) = \max \{SubsNextC^I(x) - SubsPrev(C)^I(x), 0.0\}$
- **Decrescenza:**
- se $SubsNextC^I(x) < SubsPrev(C)^I(x)$, allora
x appartiene al concetto $\searrow C \equiv DecrC$:
 - $\searrow C^I(x) = \max \{SubsPrevC^I(x) - SubsNext(C)^I(x), 0.0\}$
- **Costanza:**
- se $SubsNextC^I(x) = SubsPrev(C)^I(x)$, allora
x appartiene al concetto $\rightleftharpoons C \equiv ConstC$:
 - $\rightleftharpoons C^I(x) = \text{if } SubsNextC^I(x) = SubsPrev(C)^I(x) \text{ then } SubsNextC^I(x) \text{ else } 0.0$

Esprimere il divenire II

- Con gli operatori d'Andamento possiamo descrivere il *divenire II*: andamento dell'appartenenza ad un concetto.
- Crescenza *Incr* $\equiv \nearrow$
 “*SemprePiùCaldo*”: \nearrow *Caldo* , “*SemprePiùVicino*”: \nearrow *Vicino*
- Decrescenza *Decr* $\equiv \searrow$
 “*SempreMenoCaldo*”: \searrow *Caldo* , “*SempreMenoVicino*”: \searrow *Vicino*
- Costanza *Const* $\equiv \Rightarrow$
 “*CostantementeCaldo*”: \Rightarrow *Caldo* , “*CostantementeVicino*”: \Rightarrow *Vicino*

Concetti d'Andamento

- Semantica: assegna un valore dipendente sia dalla *monotonia* dell'andamento che dall'*incremento* (o decremento) effettivamente ottenuto:
- $IncrC^{\mathcal{I}}(x) = \nearrow C^{\mathcal{I}}(x)$ è tanto maggiore
 - tanto minori le *oscillazioni*
 - tanto maggiore l'*incremento* raggiunto
- $DecrC^{\mathcal{I}}(x) = \searrow C^{\mathcal{I}}(x)$ è tanto maggiore
 - tanto minori le *oscillazioni*
 - tanto maggiore il *decremento* raggiunto

Concetti d'Andamento Monotono

- Def. di due nuovi *operatori d'Andamento Monotono* *MonIncr*, *MonDecr*.
- i *concetti d'Andamento Monotono* hanno semantica che assegna un valore dipendente solo dalla *monotonia* dell'andamento:
- *MonIncrC^I* (x) è tanto maggiore
 - tanto minori le *oscillazioni*
 - per ogni incremento raggiunto positivo
- *MonDecrC^I* (x) è tanto maggiore
 - tanto minori le *oscillazioni*
 - per ogni decremento raggiunto positivo

Concetti d'Andamento Monotono

- Semantica

- ▣ *MonIncr* $C^{\mathcal{I}}$ (x) = if *SubsNext* $C^{\mathcal{I}}$ (x) > *SubsPrev*(C) $^{\mathcal{I}}$ (x) then *SubsNext* $C^{\mathcal{I}}$ (x) else 0.0
- ▣ *MonDecr* $C^{\mathcal{I}}$ (x) = if *SubsNext* $C^{\mathcal{I}}$ (x) < *SubsPrev*(C) $^{\mathcal{I}}$ (x) then *SubsPrev* $C^{\mathcal{I}}$ (x) else 0.0

Concetti d'Andamento

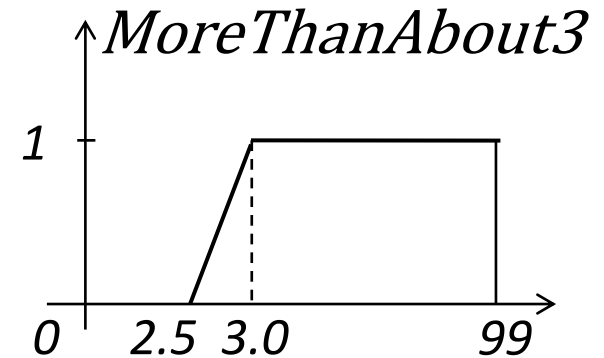
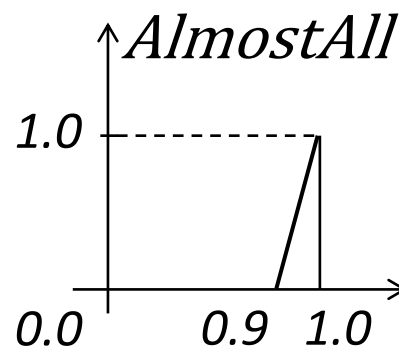
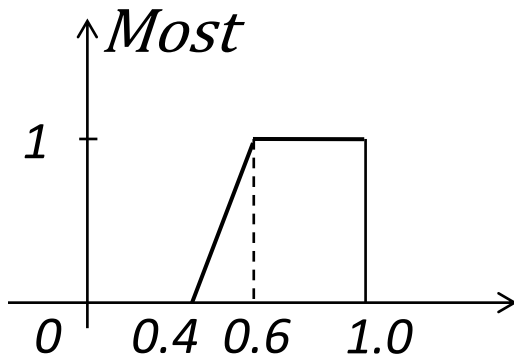
- potenti strumenti per le valutazioni dinamiche
- *concetti* fuzzy dalla semantica semplice, ottenuti tramite le operazioni elementari di *intersezione* e *sussunzione* tra concetti
- Sono parte dell'ontologia come ogni altro concetto
- utilizzabili nel *reasoning* automatico, senza complessità aggiuntive rispetto al fuzzy.

Quantificatori fuzzy

- Ammettendo nel linguaggio logico anche i quantificatori fuzzy Q , classe di linguaggi Q^+ ,
- Ulteriore aumento dell'espressività
- Possibili concetti con valutazione **quantitativa** del tipo
 - *“la maggior parte di”*
 - *“circa 3”*
 - *“alcuni”*
 - ecc.

Quantificatori fuzzy. Esempi

- quantificatori relativi
 - *Most*: “la maggior parte di”
 - *AlmostAll*: “quasi tutti”
- quantificatori assoluti
 - *MoreThanAbout3*: “più di tre circa”



Quantificatori fuzzy

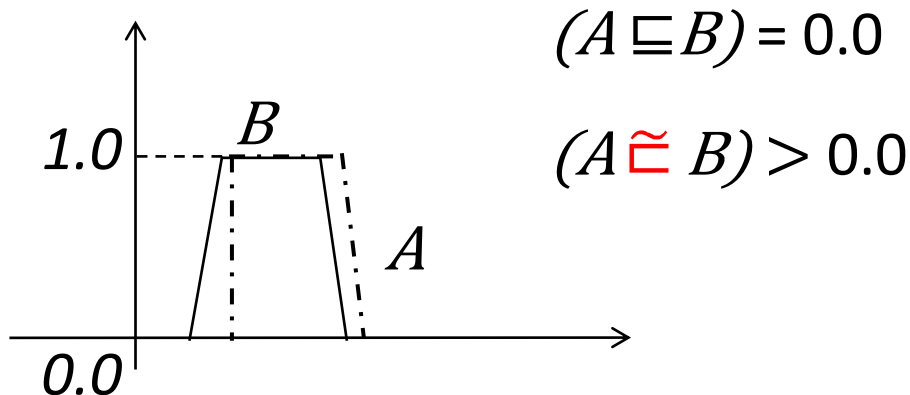
- Esempi d'uso. *Most*:
- “la *maggior parte* degli studenti è giovane”
 - $(Most) Student \sqsubseteq Young$
- “Buon cliente: la *maggior parte* dei suoi acquisti sono prodotti costosi”
 - $GoodCustomer = (Most) buys.ExpensiveProduct$

Quantificatori fuzzy: semantica

- metodo GD , quantificatore Q
- $((Q)A \sqsubseteq B)^I = GD_Q(B^I/A^I)$
- $(QR.C)^I(x) = GD_Q(R_x^I/C^I)$
- $GD_Q(B^I/A^I) = \sum_{\alpha_i} (\alpha_i - \alpha_{i+1}) Q(|A^I \cap B^I_{\alpha_i}| / |A^I_{\alpha_i}|)$
- Somma dei $\Delta\alpha$ per cui il numero d'individui che sono sia A che B è la Q parte di A

Quasi-sussunzione

- *Quasi – sussunzione* o *soft – subsumption*



- Semantica

- sussunzione: $(A \subseteq B)^{\mathcal{I}} = GD_{All}(A^{\mathcal{I}}/B^{\mathcal{I}})$
- Quasi-sussunzione: $(A \cong B)^{\mathcal{I}} = GD_{AlmostAll}(A^{\mathcal{I}}/B^{\mathcal{I}})$

Quantificatori temporali

- Utilizzando i quantificatori fuzzy,
- def. dei nuovi *quantificatori temporali*
- descrivono il *divenire III*:
 - quantificano sulla frequenza o sul numero delle occorrenze nel tempo, per l'appartenenza ad un concetto.
 - corrispondono ad alcuni avverbi temporali del linguaggio naturale
 - *(Sempre)Caldo*
 - *(Solitamente)Vicino*
 - *(Circa2voltesu3) acquista ProdottiCostosi*

Quantificatori temporali: definizione

- Definizione semplice
- Dato un quantificatore Q , si definisce il suo corrispondente *quantificatore temporale* (*temporal quantifier*) Q_T :
- $Q_T \equiv (Q \text{ event } \cdot)$
 - *event* è il ruolo che associa ogni *Uline* a tutti i suoi *Event*
 - “.” è l'operatore di *composizione* tra ruoli
- Estendiamo la quantificazione su tutti gli eventi temporali

Quantificatori temporali: utilizzo

- Espressioni possibili contenenti Q_T quantificatore temporale
- $Q_T r.C \equiv Q \text{ event} \cdot r.C$
- $Q_T C \equiv Q \text{ event}.C$
 - r ruolo, C concetto
- “Solitamente acquista fiori”: *Usuallybuys.Flower*
- “Solitamente è felice”: *Usually.Happy*

Quantificatori temporali: un esempio, 1

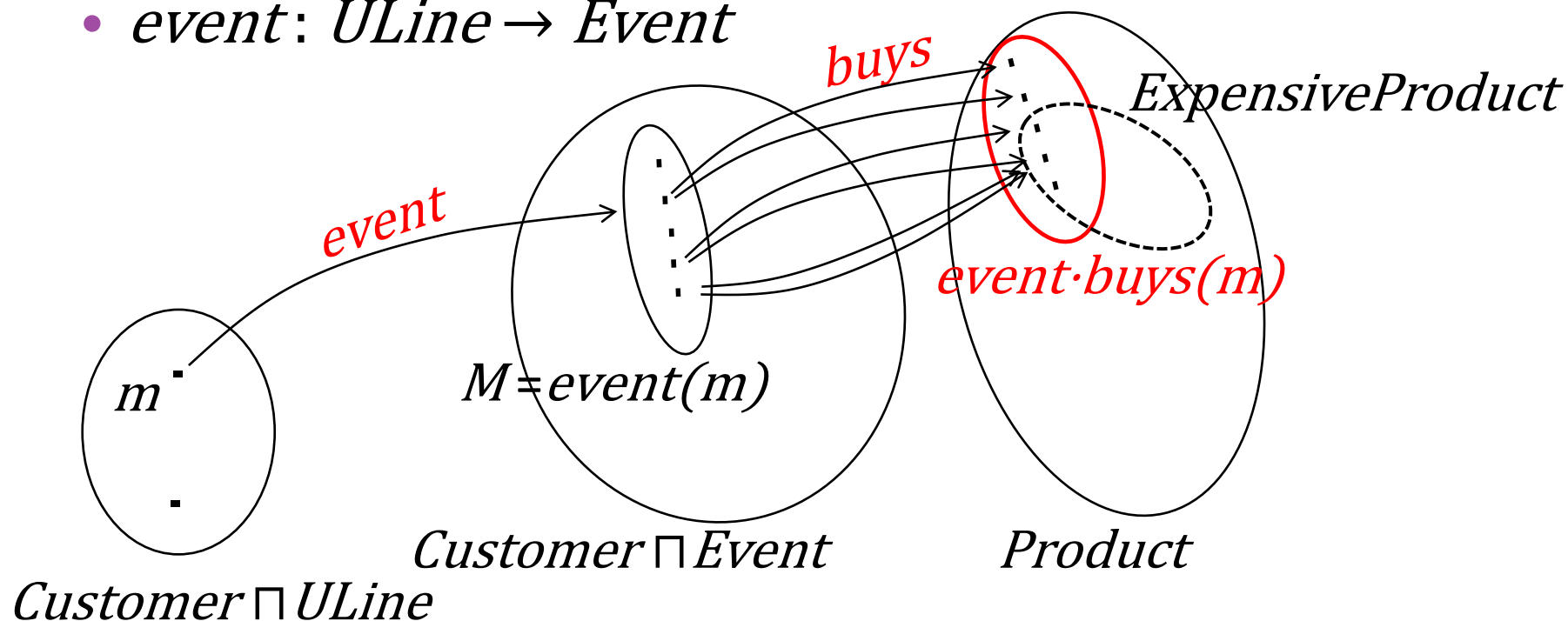
- “Buon cliente: *solitamente* acquista prodotti costosi”
- “*Solitamente*” = “*la maggior parte delle volte*”
- “*Solitamente*”: quantificazione relativa nel tempo
- Tra tutti gli acquisti *nei diversi giorni*, gli acquisti di prodotti costosi sono la maggior parte
- Gli acquisti si svolgono in tempi diversi: sempre lo stesso cliente, ma suoi diversi *Event*

Quantificatori temporali: un esempio, 2

- Per ogni *Customer*, per ogni giorno, esiste un suo *Event*: il *Customer* nel giorno particolare
- $Customer \sqcap Event$ è l'insieme degli *Event* dei *Customer*
- Ogni giorno, ogni *Event* può fare più di un acquisto
- Ruolo *buys*: $Customer \sqcap Event \rightarrow Product$
 - Rappresenta l'azione, da parte di un $Event \sqcap Customer$, dell'acquisto di un *Prodotto*
 - *buys* non è funzionale
- Concetto $ExpensiveProduct \equiv Product \sqcap \exists hasPrice.HighPrice \sqsubseteq Product$

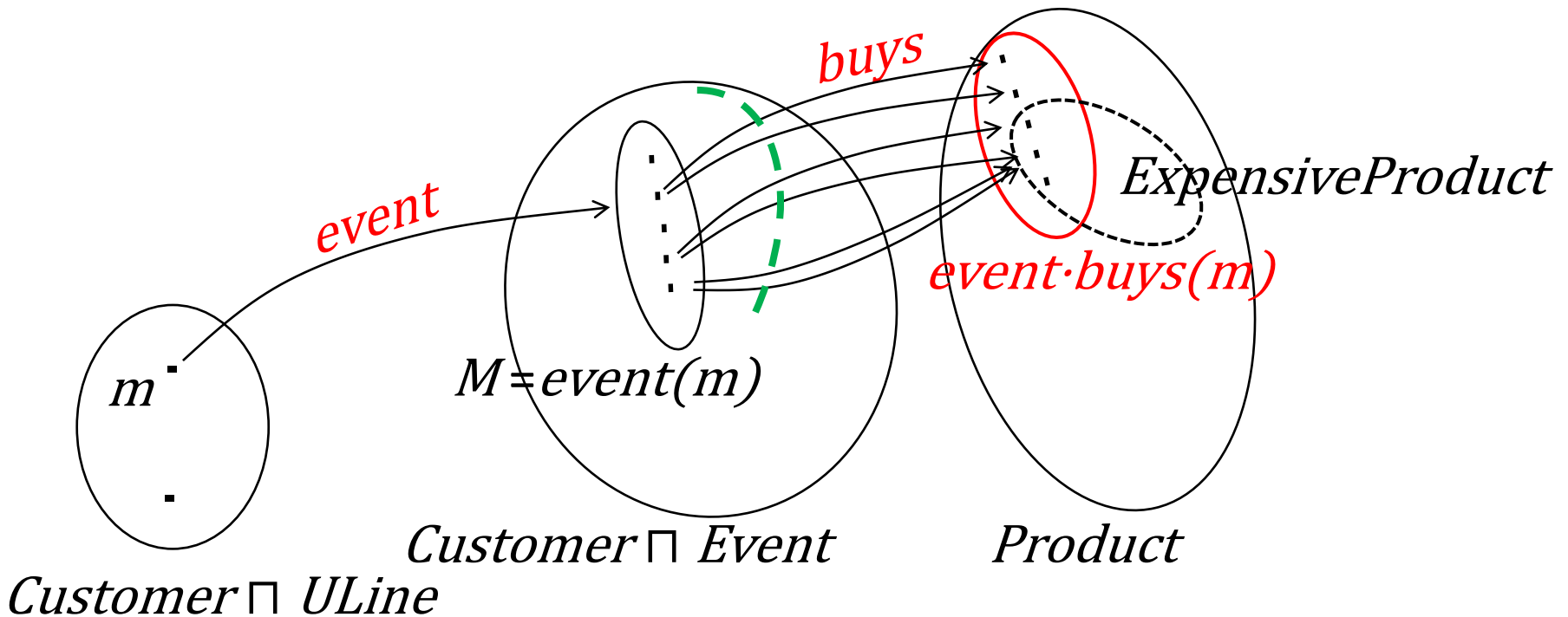
Quantificatori temporali: un esempio, 3

- $buys: Customer \sqcap Event \rightarrow Product$
- $ExpensiveProduct \sqsubseteq Product$
 - fuzzy
- $event: ULine \rightarrow Event$



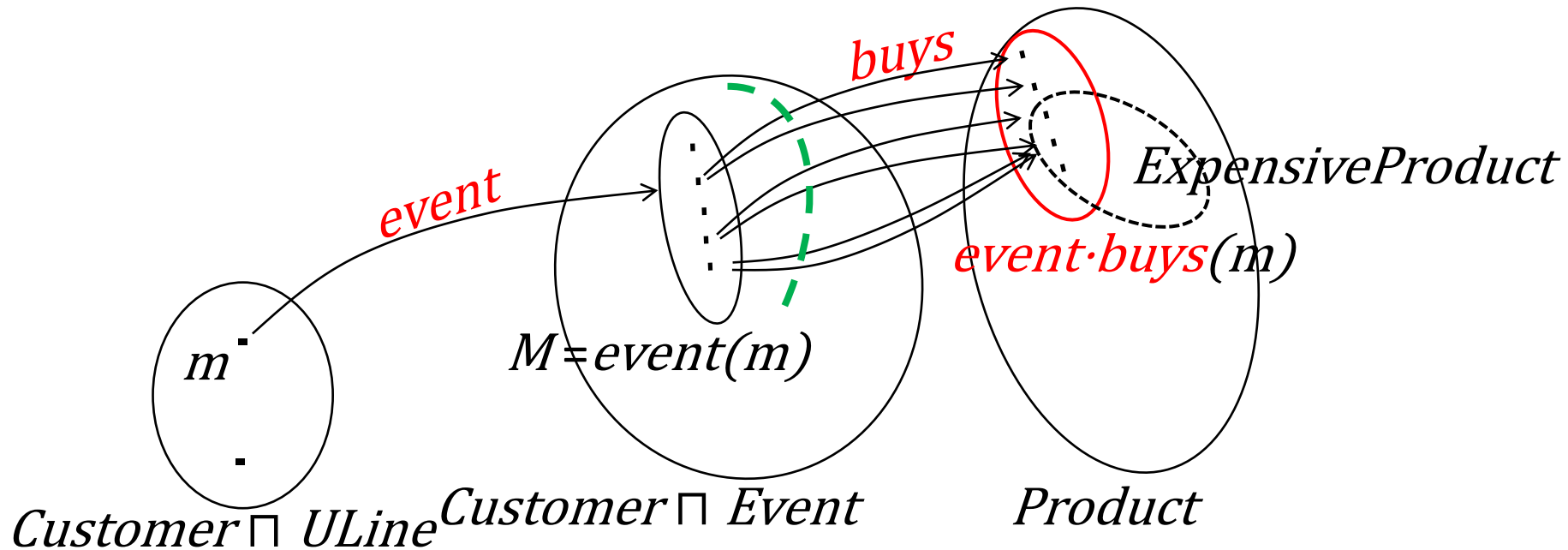
Quantificatori temporali: un esempio, 4

- “Solitamente” = “la maggior parte delle volte”
- $GoodCustomer \equiv (Usually)buys.ExpensiveProduct$
 $\equiv (Most) event \cdot buys.ExpensiveProduct$



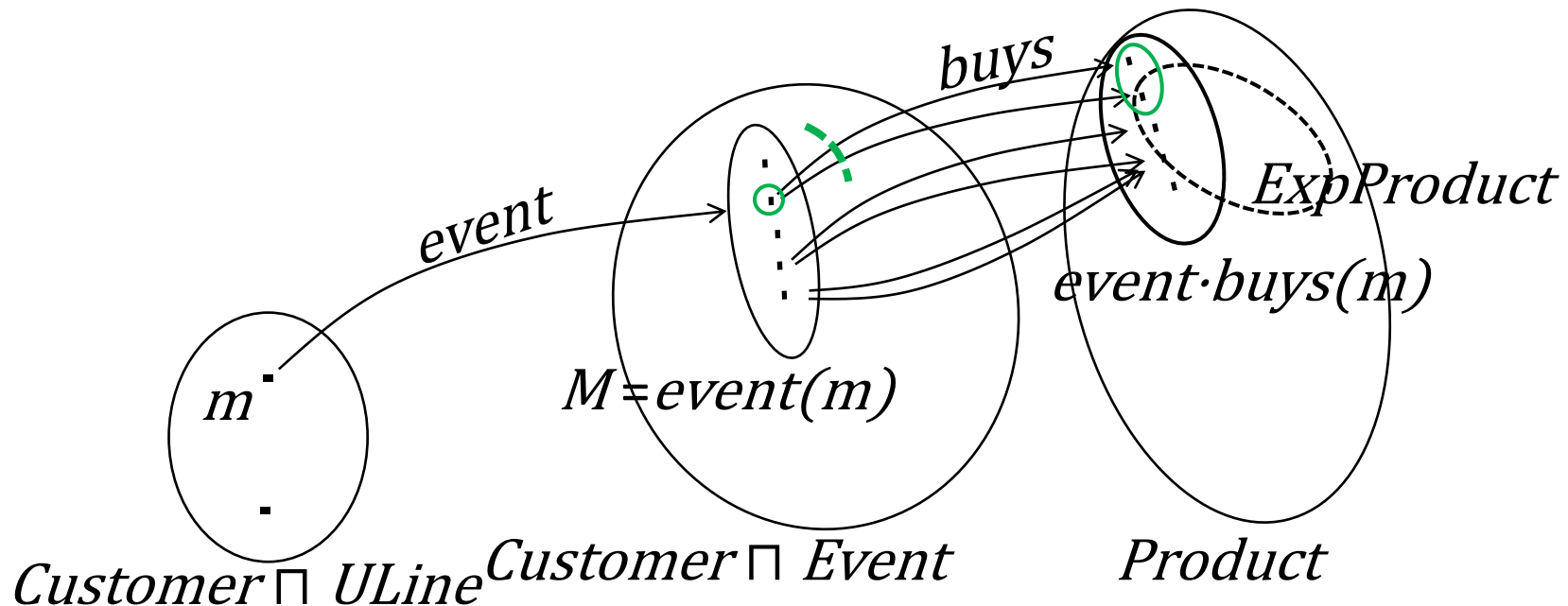
Quantificatori temporali: un esempio, 5

- *(Most)event·buys.ExpensiveProduct*
- *Most* \sim $\left| \text{event} \cdot \text{buys} \cdot \text{ExpensiveProduct} \right| / \left| \text{event} \cdot \text{buys} \cdot \top \right|$



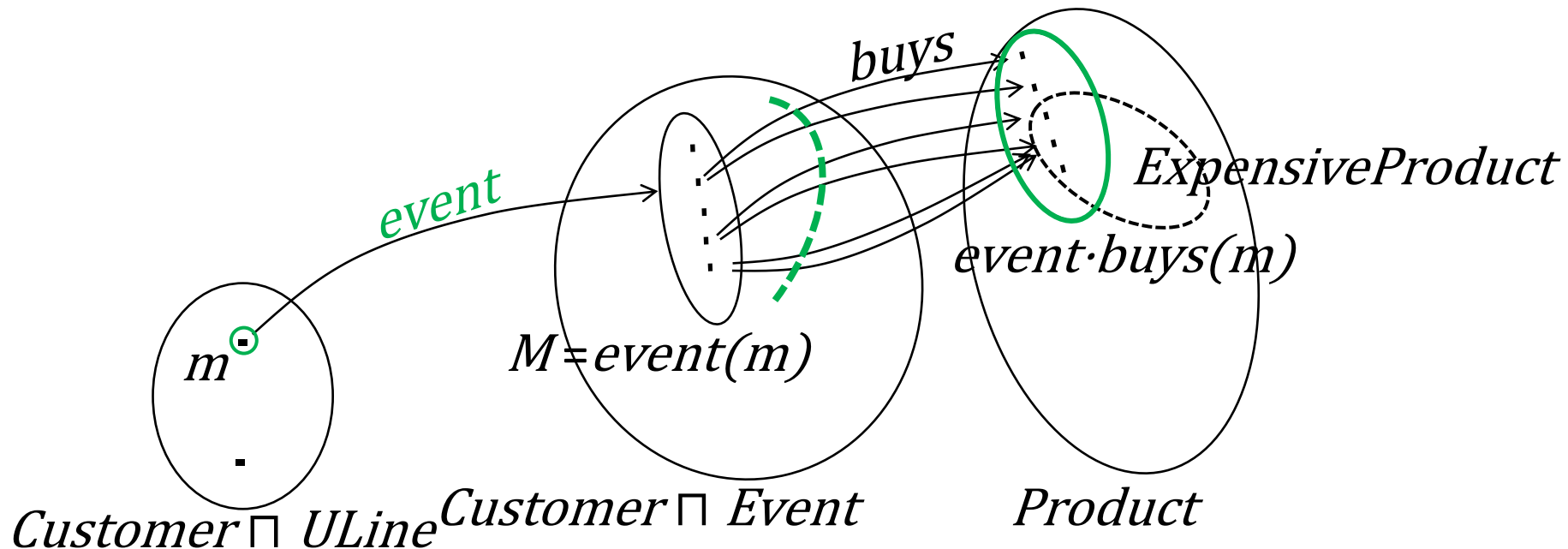
Quantificatori e Quantificatori temporali: differenza

- *(Most) buys.ExpProduct*: quantificazione istantanea, per un individuo *Event*, con tempo fissato (un giorno particolare)



Quantificatori e Quantificatori temporali: differenza

- *(Usually)buys.ExpProduct*
 \equiv *(Most)event.buys.ExpProduct*: quantificazione per
 un individuo *ULine*, per tutti i tempi esistenti



un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- Corpo
- **Applicazioni**
- Conclusioni

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

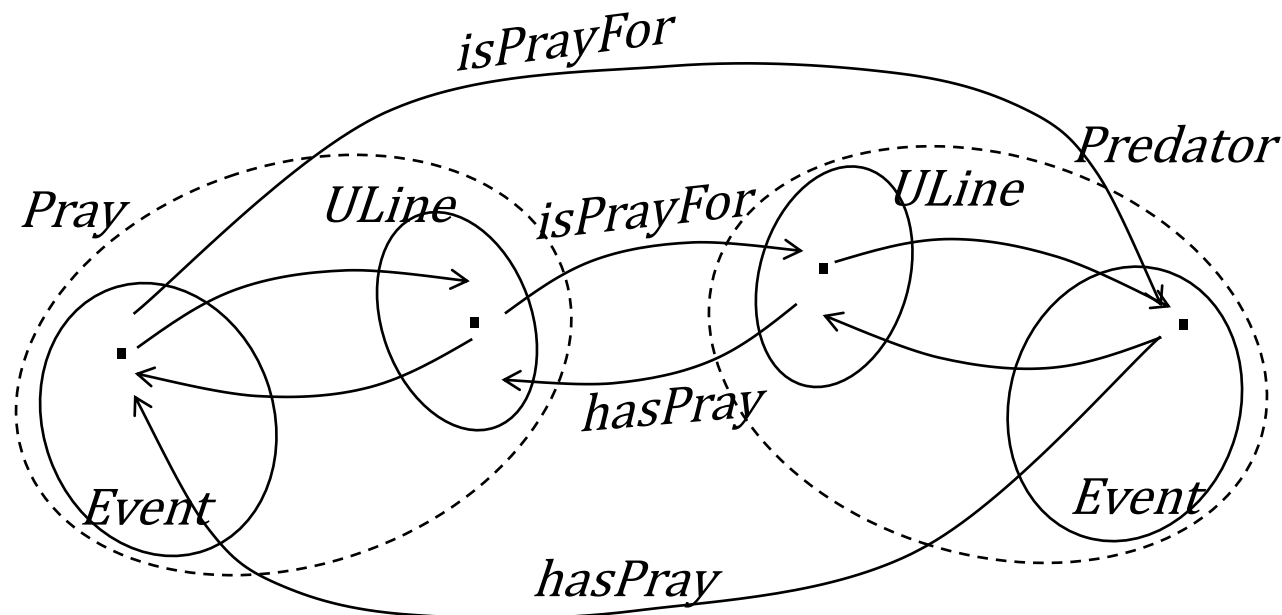
- Introduzione
- Corpo
- **Applicazioni**
 - Controllo automatico: sistema preda-predatori
 - Eco-ambiente: monitorare il riscaldamento globale
 - Sanità: monitorare l'andamento dei valori fisiologici
- Conclusioni

Applicazione: controllo automatico su un sistema preda - predatori

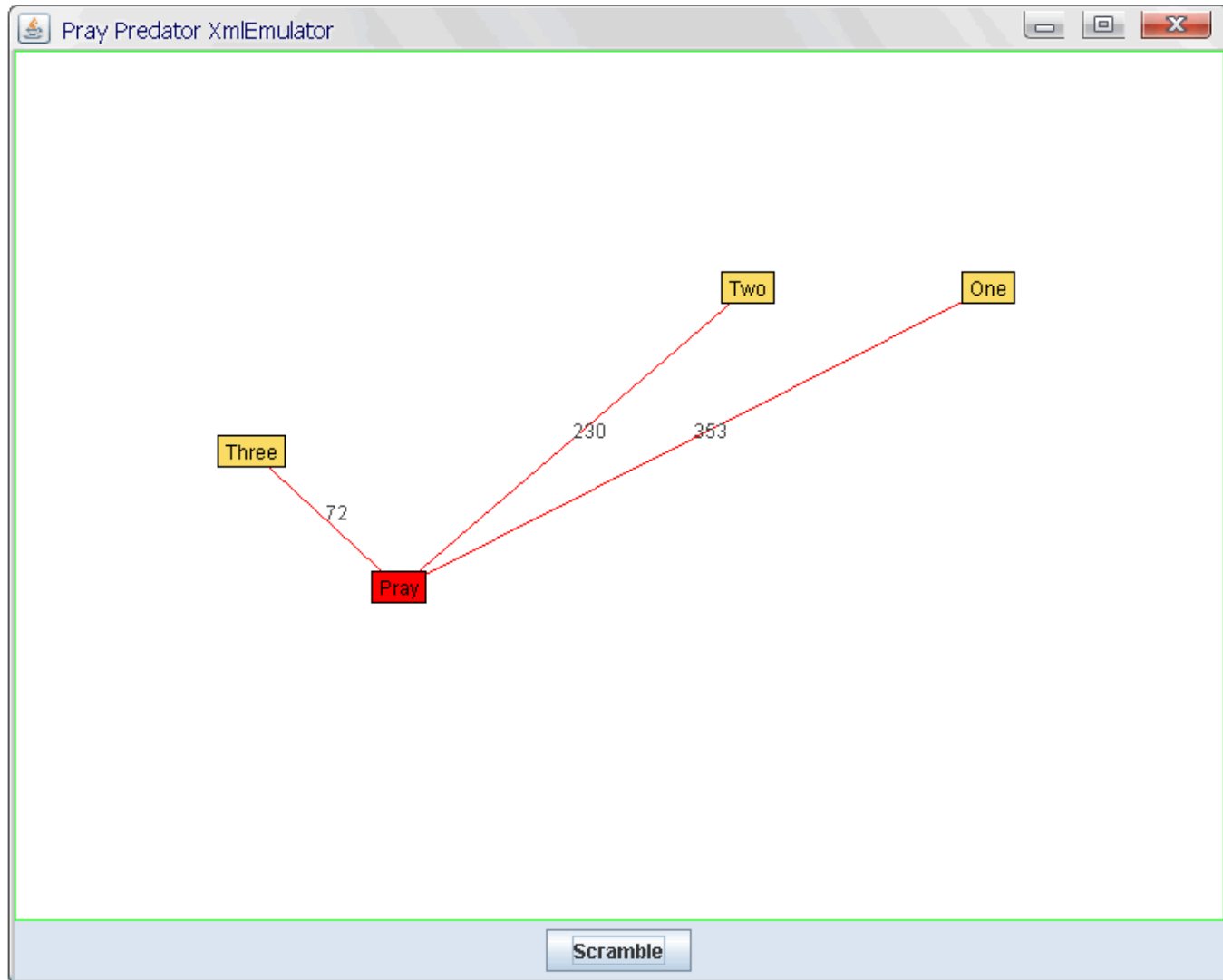
- *Prede*: obiettivi di diversa natura e dimensione, che per essere raggiunti necessitano di *predatori*, intesi come automi non umani, per motivi ambientali, di sicurezza o di dimensione.
 - una chiazza di petrolio da dissolvere
 - una profondità sottomarina o una cavità vulcanica da esplorare
 - mine da eliminare
 - metastasi di un tumore nell'organismo umano da aggredire

Applicazione: controllo automatico su un sistema preda - predatori

- *Prede e Predatori*: schema grafico delle relazioni logiche



sistema preda - predatori



Applicazione: sistema preda - predatori

- Può interessare sapere quali prede siano in pericolo
- “*preda in pericolo = più della metà dei suoi predatori siano **solitamente** vicini*”
 - *UsuallyInDangerPray =
(Most)isPrayFor.(Usually)ClosePredator*

Applicazione: sistema preda - predatori

- Oppure, quali prede siano state raggiunte
- “*preda raggiunta = più della metà dei suoi predatori siano **costantemente** vicini*”
 - *ReachedPray =*
 $(Most)isPrayFor.ConstantClosePredator$
 $= (Most)isPrayFor.((Sometime)ClosePredator \sqcap$
 $\Rightarrow ClosePredator)$
 - E decidere conseguentemente sulle azioni da compiere, ad es. il *rilascio di sostanze aggressive*

Applicazione: sistema preda - predatori

- Oppure, può interessare se più dei due terzi dei predatori sia in avvicinamento: “*sempre più vicini*”
 - *(MoreThan2outOf3)isPrayFor. ↗ ClosePredator*
 - In caso contrario, intervenire con qualche *azione correttiva*

sistema preda - predatori

Politecnico di Milano Marco Furlan
un'estensione temporale delle logiche
descrittive fuzzy

aa 2006/2007

PRAY - PREDATOR MONITOR

FUZZY LOGIC EVALUATOR

MT - Box:

```

ULineEvent: Three: {three0 --> time: 9,9}
ULineEvent: One: {one0 --> time: 9,9}
Concept: CloseDistance: {}
ULineEvent: Two: {two0 --> time: 9,9}
ConcreteConcept: CloseDistance: LessThan(60): 0.0/0 + 1.0/0 + 1.0/60 + 0.0/400
Quantifier: Most: Between(0,6)and(1): 0.0/0,4 + 1.0/0,6 + 1.0/1 + 0.0/1
Role: distanceFromTarget(X)=((X.x-Target.x)^2+(X.y-Target.y)^2)^1/2
Query: (Most)Incr(CloseDistance)
  
```

current state:

```

time: 2008-04-05T10:51:18.203+02:00
agents number: 3
name: One, x: 564,267639, y: 485,789888
  distance : 67,709681
  distance.CloseDistance : 0,977324
name: Two, x: 631,873022, y: 429,336457
  distance : 49,702553
  distance.CloseDistance : 1
name: Three, x: 530,076247, y: 396,297249
  distance : 58,212588
  distance.CloseDistance : 1
  
```

QUERY EVALUATION:

```

One: 0,977324
Two: 1
Three: 1
Query evaluation:
SubsNext(CloseDistance): {<one, 0,977>, <three, 1>, <two, 0,957>}
SubsPrev(CloseDistance): {<one, 0>, <three, 0>, <two, 0,957>}
Incr(CloseDistance): {<one, 0,977>, <three, 1>}
Decr(CloseDistance): {}
Const(CloseDistance): {<two, 0,957>}
linear interpolation: {Three: angCoeff = 0,038; One: angCoeff = 0,043; Two: angCoeff = 0}

(Most)Incr(CloseDistance): 0,977193
  
```

load MT-Box... choose CurrentState file... start crisp start stop exit

Applicazione ecoambientale: riscaldamento globale

- *Quantificatori temporali ed operatori d'andamento* possono essere utili anche per valutare se effettivamente esiste il riscaldamento globale del nostro pianeta.
- *“Riscaldamento globale = la maggior parte delle località ha temperature (mediamente) crescenti”*:
 - *GlobalHeating = (Most)hasLocality. ↗ TempLocality*

Riscaldamento globale

Politecnico di Milano Marco Furlan
un'estensione temporale delle logiche
descrittive fuzzy

aa 2006/2007

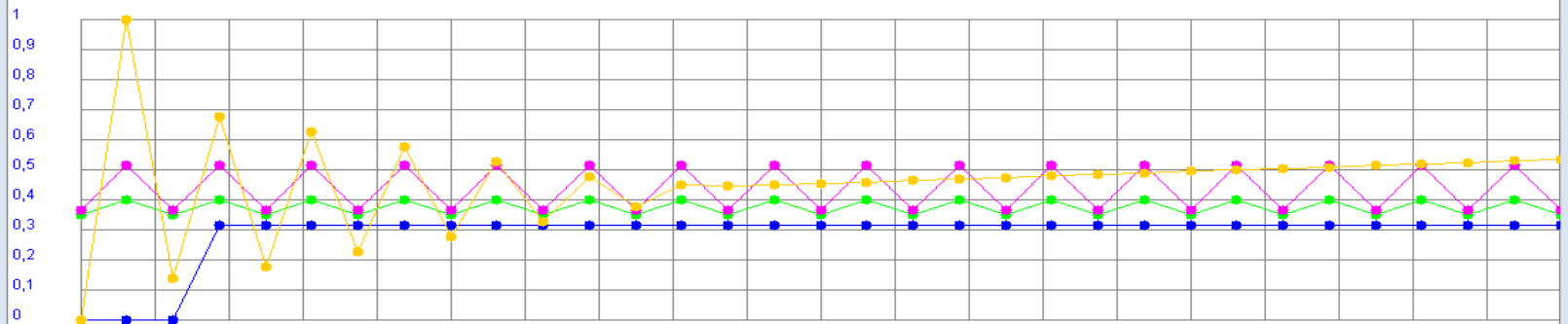
FUZZY TEMPORAL LOGIC EVALUATION

LocalityTemperature MONITOR

K - Base:
 Concept: TempInterMadrid: {<madrid1950, 0>, <madrid1951, 1>, <madrid1952, 0,138>, <madrid1953, 0,675>, <madrid1954, 0,175>, <madrid1955, 0,625>, <madrid1956, 0,225>
 Concept: TempInterRome: {<rome1950, 0,362>, <rome1951, 0,512>, <rome1952, 0,362>, <rome1953, 0,512>, <rome1954, 0,362>, <rome1955, 0,512>, <rome1956, 0,362>
 ULineEvent: Stockholm: {stockholm0 --> time: 9,9; stockholm1950 --> time: 1.950; stockholm1951 --> time: 1.951; stockholm1952 --> time: 1.952; stockholm1953 --> time: 1.953; stockholm1954 --> time: 1.954; stockholm1955 --> time: 1.955; stockholm1956 --> time: 1.956}
 ULineEvent: Paris: {paris0 --> time: 9,9; paris1950 --> time: 1.950; paris1951 --> time: 1.951; paris1952 --> time: 1.952; paris1953 --> time: 1.953; paris1954 --> time: 1.954; paris1955 --> time: 1.955; paris1956 --> time: 1.956}
 ULineEvent: Rome: {rome0 --> time: 9,9; rome1950 --> time: 1.950; rome1951 --> time: 1.951; rome1952 --> time: 1.952; rome1953 --> time: 1.953; rome1954 --> time: 1.954; rome1955 --> time: 1.955; rome1956 --> time: 1.956}
 ULineEvent: Madrid: {madrid0 --> time: 9,9; madrid1950 --> time: 1.950; madrid1951 --> time: 1.951; madrid1952 --> time: 1.952; madrid1953 --> time: 1.953; madrid1954 --> time: 1.954; madrid1955 --> time: 1.955; madrid1956 --> time: 1.956}
 Concept: TempInterStockholm: {<stockholm1950, 0>, <stockholm1951, 0>, <stockholm1952, 0>, <stockholm1953, 0,312>, <stockholm1954, 0,312>, <stockholm1955, 0,312>, <stockholm1956, 0,312>
 Concept: TempInterParis: {<paris1950, 0,35>, <paris1951, 0,4>, <paris1952, 0,35>, <paris1953, 0,4>, <paris1954, 0,35>, <paris1955, 0,4>, <paris1956, 0,35>, <paris1957, 0,35>
 Concept: Temp: {<madrid1950, 0>, <madrid1951, 1>, <madrid1952, 0,138>, <madrid1953, 0,675>, <madrid1954, 0,175>, <madrid1955, 0,625>, <madrid1956, 0,225>
 ConcreteConcept: Temp: Around(40): 0.0/0 + 1.0/40 + 1.0/40 + 0.0/40
 Quantifier: Most: Between(0,6)and(1): 0.0/0,4 + 1.0/0,6 + 1.0/1 + 0.0/1
 Role: hasTemperature
 Query: (Most)Incr(Temp)

A - Box:

Temp
Stockholm
Paris
Rome
Madrid



QUERY

EVALUATION:

Query evaluation:
 SubsNext(Temp): {<madrid, 0,15>, <paris, 0,95>, <rome, 0,85>, <stockholm, 1>}
 SubsPrev(Temp): {<madrid, 0,052>, <paris, 0,95>, <rome, 0,85>, <stockholm, 0,792>}
 Incr(Temp): {<madrid, 0,098>, <stockholm, 0,208>}
 Decr(Temp): {}
 Const(Temp): {<paris, 0,95>, <rome, 0,85>}
 linear interpolation: {Stockholm: angCoeff = 0,008; Paris: angCoeff = -0; Rome: angCoeff = -0; Madrid: angCoeff = 0,007}
 (Most)Incr(Temp): 0,049219

load MT-Box...

load ABox From DB

evaluate

crisp evaluate

exit

Riscaldamento globale

Politecnico di Milano Marco Furlan
un'estensione temporale delle logiche
descrittive fuzzy

aa 2006/2007

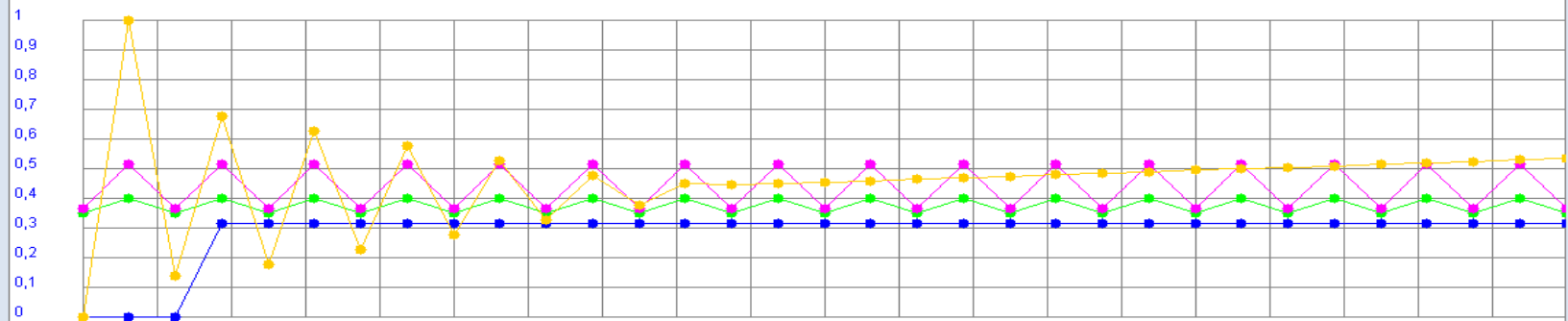
FUZZY TEMPORAL LOGIC EVALUATION

LocalityTemperature MONITOR

K - Base:
 Concept: TempInterMadrid: {<madrid1950 : 0>, <madrid1951 : 1>, <madrid1952 : 0,138>, <madrid1953 : 0,675>, <madrid1954 : 0,175>, <madrid1955 : 0,625>, <madrid1956 : 0,175>
 Concept: TempInterRome: {<rome1950 : 0,362>, <rome1951 : 0,512>, <rome1952 : 0,362>, <rome1953 : 0,512>, <rome1954 : 0,362>, <rome1955 : 0,512>, <rome1956 : 0,362>
 ULineEvent: Stockholm: {stockholm0 --> time: 9,9; stockholm1950 --> time: 1.950; stockholm1951 --> time: 1.951; stockholm1952 --> time: 1.952; stockholm1953 --> time: 1.953; stockholm1954 --> time: 1.954; stockholm1955 --> time: 1.955; stockholm1956 --> time: 1.956
 ULineEvent: Paris: {paris0 --> time: 9,9; paris1950 --> time: 1.950; paris1951 --> time: 1.951; paris1952 --> time: 1.952; paris1953 --> time: 1.953; paris1954 --> time: 1.954; paris1955 --> time: 1.955; paris1956 --> time: 1.956
 ULineEvent: Rome: {rome0 --> time: 9,9; rome1950 --> time: 1.950; rome1951 --> time: 1.951; rome1952 --> time: 1.952; rome1953 --> time: 1.953; rome1954 --> time: 1.954; rome1955 --> time: 1.955; rome1956 --> time: 1.956
 ULineEvent: Madrid: {madrid0 --> time: 9,9; madrid1950 --> time: 1.950; madrid1951 --> time: 1.951; madrid1952 --> time: 1.952; madrid1953 --> time: 1.953; madrid1954 --> time: 1.954; madrid1955 --> time: 1.955; madrid1956 --> time: 1.956
 Concept: TempInterStockholm: {<stockholm1950 : 0>, <stockholm1951 : 0>, <stockholm1952 : 0>, <stockholm1953 : 0,312>, <stockholm1954 : 0,312>, <stockholm1955 : 0,312>, <stockholm1956 : 0,312>
 Concept: TempInterParis: {<paris1950 : 0,35>, <paris1951 : 0,4>, <paris1952 : 0,35>, <paris1953 : 0,4>, <paris1954 : 0,35>, <paris1955 : 0,4>, <paris1956 : 0,35>, <paris1957 : 0,4>
 Concept: Temp: {<madrid1950 : 0>, <madrid1951 : 1>, <madrid1952 : 0,138>, <madrid1953 : 0,675>, <madrid1954 : 0,175>, <madrid1955 : 0,625>, <madrid1956 : 0,175>
 ConcreteConcept: Temp: Around(40): 0.0/0 + 1.0/40 + 1.0/40 + 0.0/40
 Quantifier: Most: Between(0,6)and(1): 0.0/0,4 + 1.0/0,6 + 1.0/1 + 0.0/1
 Role: hasTemperature
 Query: (Most)Const(Temp)

A - Box:

● Temp
 ● Stockholm
 ● Paris
 ● Rome
 ● Madrid



QUERY

EVALUATION:

Query evaluation:
 SubsNext(Temp): {<Madrid : 0,15>, <Paris : 0,95>, <Rome : 0,85>, <Stockholm : 1>}
 SubsPrev(Temp): {<Madrid : 0,052>, <Paris : 0,95>, <Rome : 0,85>, <Stockholm : 0,792>}
 Incr(Temp): {<Madrid : 0,098>, <Stockholm : 0,208>}
 Decr(Temp): {}
 Const(Temp): {<Paris : 0,95>, <Rome : 0,85>}
 linear interpolation: {Stockholm: angCoeff = 0,008; Paris: angCoeff = -0; Rome: angCoeff = -0; Madrid: angCoeff = 0,007}
 (Most)Const(Temp): 0,425

load MT-Box...

load ABox From DB

evaluate

crisp evaluate

exit

Riscaldamento globale

Politecnico di Milano Marco Furlan
un'estensione temporale delle logiche
descrittive fuzzy

aa 2006/2007

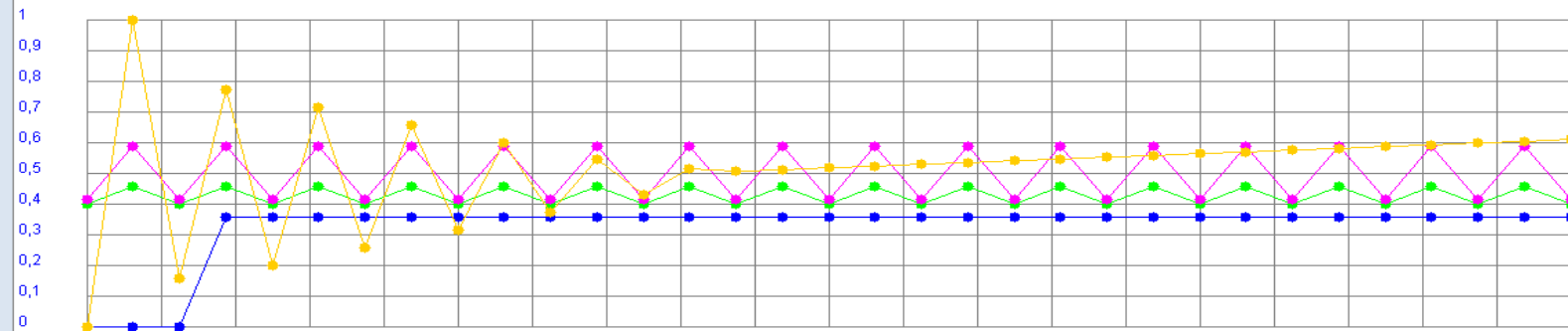
FUZZY TEMPORAL LOGIC EVALUATION

LocalityTemperature MONITOR

K - Base: Concept: WarmInterStockholm: {<stockholm1950 : 0>, <stockholm1951 : 0>, <stockholm1952 : 0>, <stockholm1953 : 0,357>, <stockholm1954 : 0,357>, <stockholm1955 : 0,357>, <stockholm1956 : 0,357>}; ULineEvent: Stockholm: {stockholm0 --> time: 9,9; stockholm1950 --> time: 1.950; stockholm1951 --> time: 1.951; stockholm1952 --> time: 1.952; stockholm1953 --> time: 1.953; stockholm1954 --> time: 1.954; stockholm1955 --> time: 1.955; stockholm1956 --> time: 1.956}; ULineEvent: Paris: {paris0 --> time: 9,9; paris1950 --> time: 1.950; paris1951 --> time: 1.951; paris1952 --> time: 1.952; paris1953 --> time: 1.953; paris1954 --> time: 1.954; paris1955 --> time: 1.955; paris1956 --> time: 1.956}; Concept: WarmInterMadrid: {<madrid1950 : 0>, <madrid1951 : 1>, <madrid1952 : 0,157>, <madrid1953 : 0,771>, <madrid1954 : 0,2>, <madrid1955 : 0,714>, <madrid1956 : 0,2>}; ULineEvent: Rome: {rome0 --> time: 9,9; rome1950 --> time: 1.950; rome1951 --> time: 1.951; rome1952 --> time: 1.952; rome1953 --> time: 1.953; rome1954 --> time: 1.954; rome1955 --> time: 1.955; rome1956 --> time: 1.956}; Concept: WarmInterParis: {<paris1950 : 0,4>, <paris1951 : 0,457>, <paris1952 : 0,4>, <paris1953 : 0,457>, <paris1954 : 0,4>, <paris1955 : 0,457>, <paris1956 : 0,4>}; ULineEvent: Madrid: {madrid0 --> time: 9,9; madrid1950 --> time: 1.950; madrid1951 --> time: 1.951; madrid1952 --> time: 1.952; madrid1953 --> time: 1.953; madrid1954 --> time: 1.954; madrid1955 --> time: 1.955; madrid1956 --> time: 1.956}; Concept: WarmInterRome: {<rome1950 : 0,414>, <rome1951 : 0,586>, <rome1952 : 0,414>, <rome1953 : 0,586>, <rome1954 : 0,414>, <rome1955 : 0,586>, <rome1956 : 0,414>}; Concept: Warm: {<madrid1950 : 0>, <madrid1951 : 1>, <madrid1952 : 0,157>, <madrid1953 : 0,771>, <madrid1954 : 0,2>, <madrid1955 : 0,714>, <madrid1956 : 0,2>}; ConcreteConcept: Warm: Between(35)and(60): 0.0/0 + 1.0/35 + 1.0/60 + 0.0/60; Quantifier: Most: Between(0,6)and(1): 0.0/0,4 + 1.0/0,6 + 1.0/1 + 0.0/1; Role: hasTemperature; Query: (Temp_Most)hasTemperature.Warm

A - Box:

● Warm
Stockholm
Paris
Rome
Madrid



QUERY

EVALUATION:

Query evaluation:
(Temp_Most)hasTemperature.Warm: {<Madrid : 0,548>, <Paris : 0,424>, <Rome : 0,487>, <Stockholm : 0,357>}

load MT-Box...

load ABox From DB

evaluate

crisp evaluate

exit

Applicazione in ambito sanitario : monitorare l'andamento dei valori fisiologici

- Un'altra applicazione, in campo sanitario. Possiamo valutare se l'andamento della pressione (o di qualsiasi altro indice fisiologico) si mantenga “ragionevolmente” *costante* nei valori normali.
 - *NormalPressure*
 - è il concetto che rappresenta la pressione normale
 - *NormalPressurePatient = Patient* \sqcap
 $\exists hasPressure.NormalPressure$
 - è il concetto che rappresenta i pazienti con pressione normale
 - *ConstNormalPatient = (Sometime) NormalPressurePatient* \sqcap
 $\Rightarrow NormalPressurePatient$
 - è il concetto che rappresenta i pazienti con i valori di pressione mediamente costanti entro la normalità.

Applicazione in ambito sanitario : monitorare l'andamento dei valori fisiologici

- Esempio: sono state introdotte alcune nuove terapie sperimentali per la pressione arteriosa
- quali terapie efficaci?
- “*Terapia efficace* = terapia per cui la pressione della *maggior parte* dei pazienti che l'assumono si mantiene *costantemente* nella norma”:
 - *EffectiveTherapy* =
(Most)takenBy.ConstNormalPatient
 - *ConstNormalPatient* = *(Sometime)*
NormalPressurePatient $\sqcap \Rightarrow$ *NormalPressurePatient*

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- Corpo
- Applicazioni
- **Conclusioni**

un'estensione temporale delle logiche descrittive fuzzy

- Introduzione
- Corpo
- Applicazioni
- **Conclusioni**
 - $f_SHOIQ^+T(D)$
 - Vantaggi
 - Sviluppi futuri
 - Contributi originali

$f_SHOIQ^+T(D)$

- $S = \mathcal{ALCR}_+$:
 - concetti $C, D \rightarrow \top \mid \perp \mid A \mid C \sqcap D \mid C \sqcup D \mid \neg C \mid \forall R.C \mid \exists R.C$
 - ruoli R transitivi
- \mathcal{H} : inclusione tra ruoli
 - $R_1 \sqsubseteq R_2$
- \mathcal{O} : nominali (classi singoletto)
 - $\{a\}$
- \mathcal{I} : ruoli inversi
 - R^-
- \mathcal{Q} : restrizioni in numero qualificate
 - $\geq nR.C, \leq nR.C$
- \mathcal{Q}^+ : quantificatori fuzzy
- \mathcal{D} : domini concreti
- $f_$: concetti e ruoli fuzzy
- T : **estensione temporale**
 - concetti e ruoli temporali

Vantaggi

- Possiamo descrivere in linguaggio logico decidibile gran parte degli aspetti temporali della nostra esperienza
- I nuovi *concetti d'Andamento* si ottengono con semplici operazioni di sussunzione e intersezione e sono concetti sui quali è possibile il *Reasoning* proprio delle Description Logics.
- Anche i nuovi *quantificatori temporali* non conseguono complessità superiore ai normali quantificatori fuzzy

Vantaggi

- accademicamente interessante, utile tecnologicamente.
- Nell'ambito del *Semantic Web*, numerose sono le situazioni in cui il poter valutare, tramite puro *reasoning* logico automatico, i diversi aspetti dell'*evoluzione temporale* porterebbe un gran vantaggio.
- Ho presentato diversi esempi in campo commerciale, sanitario, ambientale e di controllo automatico.

Vantaggi

- È possibile la traduzione in linguaggio logico di buona parte delle espressioni del linguaggio naturale che contengono il divenire, espressioni classificabili nei seguenti tre tipi.
- 1. Divenire come *transizione* da un concetto C_1 ad un altro concetto C_2 .
 - Per esse ho dato una **nuova** definizione **semantica** ai due operatori binari *Until* U e *Since* S .
 - Esempi di espressioni:
 - *Arricchito* = *Povero* U *Ricco*
 - *Avvicinato* = *Vicino* S *Partito*
 - *DipendenteArricchito* = (*Povero* U *Ricco*) S *Assunto*

Vantaggi

- 2. Divenire come *andamento* (crescente, decrescente o costante) nell'appartenenza ad un concetto C .
 - Per esse ho definito i **nuovi** operatori unari *SubsNext* e *SubsPrev* e gli *operatori d'andamento* *Incr* \nearrow , *Decr* \searrow , *Const* \rightleftharpoons .
 - Esempio d'espressioni:
 - *Località***SemprePiù***Calda* = \nearrow *WarmLocality* = \nearrow *hasTemperature.Warm*

Vantaggi

- 3. Quantificazione della *frequenza* o del numero di occorrenze nell'appartenenza ad un concetto C .
- Per esse ho definito i nuovi *quantificatori temporali* Q_T .
 - (Teoremi di coerenza) I *quantificatori temporali*, in due casi particolari, equivalgono agli operatori unari *always* \square e *sometime* \diamond
 - Esempi d'espressioni:
 - *LocalitàSpessoSoleggiata* = (*Often*)*SunnyLocality* = (*Often*)*hasWeather.Sunny*
 - *BuonCliente* = (*Circa2voltesu3*)*acquista.ProdottiCostosi*

Vantaggi

- Ho mostrato come, in un sistema temporale così descritto, si possano definire anche altri tipi di *query dipendenti dal tempo* del tutto originali.

Sviluppi futuri I

- Estensione del linguaggio per ontologie *OWL*, per comprendere tutta la Upper Ontology temporale e, nella MetaBox, i nuovi *operatori temporali* e la definizione della funzione parametrica trapezoidale *Trap()*, come prototipo di *membership function*
- Analisi della *complessità* del calcolo per un linguaggio logico con questa estensione temporale, in vista della progettazione ed implementazione di un reasoner più completo

Sviluppi futuri II

- Introduzione di operatori temporali dipendenti dalla lunghezza τ dell'*intervallo temporale*: \mathcal{U}_τ , \mathcal{S}_τ , \diamond_τ , \square_τ , $Q_{T\tau}$, ecc.
 - Si potrebbero avere concetti corrispondenti ad espressioni del tipo:
 - “arricchito *in tre anni*”
 - “temperatura cresciuta *negli ultimi trent'anni*”
 - “temperatura costante *in un arco di duecento anni*”
 - “maturato *in un mese*”
 - “cotto *in due ore*”

Sviluppi futuri III

- Introduzione anche di una o più *dimensioni spaziali*, con lo stesso approccio dell'estensione temporale
 - La sequenza degli *Event* corrispondenti ad una Linea Universo *ULine* non sarebbe più una retta (orientata), ma una linea vincolata ad un piano (n+1)-dimensionale, quando si inseriscano n dimensioni spaziali.
- Affrontare la questione degli *estremi* per gli operatori *Next* \oplus e *Prev* \ominus
 - $\oplus C$ contiene gli stessi individui di C , eccetto l'ultimo, e $\ominus C$ contiene gli stessi individui di C , eccetto il primo
 - $\oplus \ominus C \neq C$; $\ominus \oplus C \neq C$
 - es. dotare ogni concetto di un campo aggiuntivo opzionale che contenga un riferimento all'individuo escluso, oppure al concetto da cui esso stesso è derivato

Contributi originali I

1. def. della funzione parametrica trapezoidale *Trap()*, come prototipo di *membership function*
2. tutta la *Upper Ontology temporale*, con l'introduzione dei concetti di *Linea Universo ULine* ed *Evento Event* e concetti e ruoli connessi
3. introduzione del concetto *Time* come concetto concreto
4. nuova def. *fuzzy* della semantica degli operatori *always* \square , *sometime* \diamond , *Until* \mathcal{U} , *Since* \mathcal{S}
 - con definizioni *weak*, *strong*, *inclusive* ed *esclusive*

Contributi originali II

5. nuova def. degli operatori *Next* \oplus , *Prev* \ominus
6. i nuovi operatori e Concetti d'Andamento *SubsNext*, *SubsPrev*, *Incr* \nearrow , *Decr* \searrow e *Const* \rightleftharpoons e loro semantica
7. i nuovi operatori e Concetti d'Andamento *Monotòno* *MonIncr*, *MonDecr* e loro semantica
8. definizione di *quasi-sussunzione* o *soft-subsumption* $\tilde{\sqsubseteq}$

Contributi originali III

9. i nuovi *quantificatori temporali* fuzzy
10. tre teoremi con dimostrazione
11. analisi di numerosi tipi di nuove *query dipendenti dal tempo* ora possibili
12. progettazione ed implementazione di alcune *applicazioni* dimostrative e *documentazione*