

CRISTIANO CHESI

## LA FORMALIZZAZIONE DI UN EVENTO\*

### 0. Introduzione

Il fatto che il linguaggio naturale permetta un riferimento preciso e ricco ad entità temporali non necessariamente coincidenti con il presente e non necessariamente reali può sembrare un'osservazione estremamente banale, ma è principalmente questa "banale" capacità che ci permette di ragionare in termini di eventi e di distinguere tra ciò che è memoria e ciò che è pianificazione di azioni future.

Il riferimento a queste entità eventive, può essere codificato linguisticamente a diversi livelli: si può semplicemente specificare in che periodo, rispetto al momento dell'enunciazione, un evento avviene (ovvero se nel presente, passato o futuro) e questo comunemente viene determinato dal *tempo verbale*; si possono inoltre specificare tutta una serie di proprietà dell'evento stesso, quali il fatto che esso sia ancora in corso, abbia un punto di culminazione naturale, sia un evento che si ripete  $n$  volte, con che velocità e per quanto tempo (*aspetto verbale*). Infine ogni linguaggio naturale permette di esprimere il punto di vista del parlante sull'evento stesso, ovvero quanto il parlante ritiene probabile, possibile o necessario che questo determinato evento sia avvenuto nel passato, o avverrà nel futuro e questo utilizzando un'oggettiva ampia scala di valori possibili (*modo o modalità verbale*).

L'obiettivo di queste pagine è quello di capire come questi concetti possano essere formalizzati e come queste formalizzazioni possano tornare utili nel campo della ricerca in Intelligenza Artificiale ed in particolare nell'elaborazione automatica del linguaggio (Linguistica Computazionale). In quest'ottica, il lavoro si articola nel seguente modo: prima di tutto cercherò di identificare una serie di contesti in cui il trattamento di questi aspetti è cruciale (sezione 1); quindi introdurrò precisamente i concetti in questione riferendomi alla teoria linguistica che li affronta attualmente nel modo più completo e intuitivo possibile in modo da cogliere almeno gli elementi essenziali ai fini di questa breve dissertazione (sezione 2); infine cercherò di analizzare, almeno parzialmente, come questi aspetti possono essere comunemente formalizzati e quali sono i problemi fondamentali che queste formalizzazioni sollevano cercando di valutare empiricamente alcune proposte (sezione 3).

---

\* Si ringrazia la prof. Adriana Belletti ed un revisore anonimo per i preziosi suggerimenti alle versioni preliminari di questo articolo. Parte delle idee qui esposte è stata presentata durante alcuni seminari di ricerca presso il CISCL nell'aprile del 2001; si ringrazia l'audience di quei seminari per gli utili commenti ricevuti.

## 1. Eventuali contesti

Si può sommariamente affermare che la discussione sul trattamento delle eventualità, in intelligenza artificiale, nasce nei tardi anni '60 con la ricerca di logiche adatte alla manipolazione di entità temporali. L'obiettivo di queste logiche era quello di poter catturare soluzioni a problemi temporalmente non-monotoni. McCarthy e Hayes (1969), all'interno del framework proposto (*situation calculus*) sollevarono il famoso *frame problem*: adottando la logica classica, sarebbe necessario introdurre un numero  $n$ , con  $n$  che tende all'infinito, di assiomi per descrivere tutte le proprietà della situazione che rimangono invariate dall'istante  $t_0$  all'istante  $t_1$  in cui le espressioni vengono valutate; intuitivamente sarebbe più plausibile (anche da un punto di vista cognitivo) che ciò che non è specificato rimanga semplicemente valido (vero o falso che sia). McCarthy e Hayes propongono in questo senso il concetto di *circumscription* che prevede di istruire il sistema a valutare solo le "proprietà" modificate della situazione e quindi non ancora valutate. Questo ragionamento non-monotono richiede un'estensione della logica tradizionale del primo ordine che permette di descrivere le situazioni come un vettore di proprietà variabile (e valutabile) su base temporale. Come vedremo presto restringere questa discussione al solo problema temporale potrebbe essere estremamente riduttivo e non permetterebbe di render conto di tutta una serie di aspetti rilevanti sia dal punto di vista ontologico che squisitamente linguistico. La ricerca linguistica ha mostrato, in effetti, come le proprietà accennate nell'introduzione sono in stretta relazione tra di loro e soprattutto restringono l'una la portata (quindi il significato) dell'altra. Se quindi agli inizi, prevalentemente la filosofia e la logica contribuivano alla riflessione sulle "temporal logics", alla luce di alcune evidenze empiriche un'integrazione un po' più ampia e interdisciplinare si rende necessaria per non far apparire banali i concetti isolatamente formalizzati.

Prima di entrare nel dettaglio di questa discussione potrebbe essere interessante soffermarsi un attimo su quali sono i contesti di applicazione di queste formalizzazioni e quali i problemi ad esse connessi. Da un punto di vista informatico-implementativo, questi ambiti vanno dal basso all'alto livello, ovvero dalla progettazione hardware di processori, alla computazione in tempo reale, all'allocazione di risorse in sistemi distribuiti, alla realizzazione di database temporali, alla risoluzione di problemi non-monotoni, fino alla progettazione di agenti cognitivi e software per il parsing.

Partendo dal basso, *ForSpec Temporal Logic* (FTL, Armoni e al. 2001) può essere considerata come un esempio di logica temporale. Adottata da Intel per la verifica delle funzionalità dei processori, questa formalizzazione permette di definire connettivi speciali tra finestre temporali (es. " $S_0$  è precedente ad  $S_1$ ", " $S_0$  e  $S_1$  si sovrappongono" ecc...) definendo così combinazioni di eventi regolari (a loro volta composti da sequenze di eventi booleani) in modo da verificare sistemi hardware sia globalmente asincroni che localmente sincroni.

L'espressività di questa logica è in verità abbastanza povera: i requisiti determinanti per il sistema che la adotta sono chiaramente la sua decidibilità e la sua risolubilità real-time; quindi non c'è da sorprendersi se in FTL non si trovano operatori che permettono di esprimere la certezza di  $S_0$  o che specificano aspetti quali la sua granularità (ovvero la scomponibilità di  $\Delta t$ ).

Salendo ad un livello un po' più alto, questi concetti divengono invece essenziali: ad esempio in sistemi più complessi in cui l'obiettivo ultimo non è quello di testare componenti hardware, ma di re-agire a comportamenti cognitivi di una certa complessità.

Le logiche temporali, della stessa famiglia di FTL, risultano in questo senso inespressive nei seguenti contesti:

- *filtraggio delle informazioni* - la mole delle informazioni in formato linguistico rappresenta una base di conoscenza sterminata e intrattabile se non si fa uso di sistemi precisi che riescano strategicamente ad analizzare componenti linguistici complessi: per esempio filtrare le informazioni in base al grado di probabilità espresso e alla finestra temporale a cui si riferiscono potrebbe essere un fattore determinante (ad esempio informazioni sui mercati economici);
- *relazione tra agenti cognitivi* - la “beliefness” di un agente dipende anche dalla capacità di agire in presenza di informazioni incerte e comunque di produrre tali informazioni se le sue conoscenze glielo permettono. La logica temporale è quasi per definizione “fuzzy” se si basa sul futuro e sulla previsione di eventi in un mondo complesso quanto quello reale;
- *parsing* – fare parsing significa assegnare una qualche struttura ad un input (linguistico) ben-formato; il parsing è un task decisamente complesso: mentre nei precedenti casi si può prescindere in parte dalla corretta struttura linguistica e approssimare il modello comunque con buoni risultati, per quanto riguarda l’elaborazione del linguaggio naturale, questo non è sempre sufficiente (o possibile). In generale, l’assegnazione di una struttura sintattica ad un input verbale, richiede una ricca formalizzazione linguistica e in questo senso è forse l’applicazione più genuina delle riflessioni condotte in queste pagine.

Identificata quindi questa intersezione non nulla tra gli interessi linguistici e quelli dell’intelligenza artificiale, vediamo un po’ più nel dettaglio, cosa propone la ricerca linguistica attuale in questo campo per quanto riguarda il trattamento dei concetti eventivi.

## **2. Eventuali ingredienti linguistici: temporalità, aspettualità e modalità**

Da un punto di vista linguistico, un’ipotesi che attualmente ha delineato un panorama interessante per lo studio degli aspetti inerenti agli eventi, è sicuramente il lavoro di Cinque (Cinque 1999): brevemente sembra che il sistema di modificatori verbali (quegli elementi, quali morfemi, sintagmi preposizionali e avverbiali, che vengono “applicati” alla radice verbale e che ne modificano il significato semantico), da un punto di vista strutturale, sarebbe composto da un numero notevole di elementi funzionali<sup>1</sup> disposti in un ordine categoriale gerarchicamente fisso e cross-linguisticamente invariabile. Tralasciando alcuni aspetti tecnici irrilevanti per la presente trattazione, questa osservazione è di importanza notevole e il suo significato pratico risiederebbe nel fatto che in tutte le lingue umane le varie categorie di modificatori verbali (a cui appartengono avverbi di vario tipo, flessioni temporali ecc.) sembrerebbero sottostare a questa struttura fissa: questo permetterebbe di prevedere in modo preciso come in una qualsiasi espressione verbale tali modificatori possano entrare in relazione tra di loro e come in base alle variazioni strutturali siano esprimibili le varie sfumature di significato.

---

<sup>1</sup> In linguistica ci si riferisce solitamente agli elementi “funzionali” come a quelle particelle (di numero solitamente limitato e non incrementabile attraverso regole di morfologia derivazionale) non direttamente portatrici di contenuto tematico ma capaci di modificare quello degli elementi “lessicali” a cui si applicano. Articoli, flessioni di accordo, flessioni temporali ecc. sono elementi funzionali, mentre nomi, verbi ecc. sono elementi lessicali.

Ora se questo è vero per il sistema verbale (e la robustezza dei dati sembrerebbe dimostrarlo solidamente) ci potremmo chiedere come si possa render conto formalmente di una struttura gerarchica così ricca al fine di renderla predittiva del significato complessivo dell'espressione verbale.

Cerchiamo adesso di introdurre brevemente le tre categorie di base in cui la gerarchia di Cinque si articola (tempo, aspetto e modo):

(1) *Tempo*

è una funzione che colloca un evento, comunemente chiamato *e*, in una precisa finestra temporale in relazione con il momento dell'enunciazione *s* (o del riferimento all'enunciazione *r*, Reichenbach 1947)

- presente (mangio una torta  $\rightarrow s = e$ )
- passato rispetto a *s* (ho mangiato una torta  $\rightarrow s > e$ )
- passato rispetto a *r* (disse che aveva mangiato una torta  $\rightarrow s > r > e$ )
- futuro (mangerò una torta  $\rightarrow s < e$ )

Secondo Cinque i riferimenti temporali possono essere codificati attraverso l'interazione di tre categorie funzionali il cui ordinamento sembra essere il seguente:

... [una volta  $T_{\text{passato}}$  [dopo  $T_{\text{futuro}}$  ... [già  $T_{\text{anteriore}}$  ... > verbo lessicale<sup>2</sup>

(2) *Aspetto*

si definisce aspetto sia un tratto *lessicale*, inerente al predicato, che uno più propriamente *grammaticale* che definisce il modo con cui il parlante presenta l'evento.

L'aspetto lessicale è determinato dalla *classe aspettuale* (Vendler 1967) a cui il predicato appartiene:

- *durativi/atelici*
  - *stato* (Socrate è mortale)
  - *attività* (Socrate camminava per ore)
- *terminativi/telici*
  - *completamento* (*accomplishment*, Socrate bevve il vino)
  - *compimento* (*achievement*, Socrate raggiunse la vetta)

Le due componenti aspettuale (lessicale e grammaticale) sono però in stretta relazione. Ad esempio l'aspetto grammaticale "progressivo" è incompatibile con gli "stati", mentre l'aspetto "completivo" può applicarsi solo all'aspetto lessicale di "completamento".

(2a) *aspetto lessicale*

classicamente (Vendler 1967, Dowty 1979) si considera l'aspetto lessicale come espressione delle seguenti proprietà dell'evento predicato:

- *statività* (distinzione fondamentale tra *stato* e *processo*)
- *telicità* (distinzione tra *eventi completi* o *incompleti*)
- *duratività* (quanto a lungo un evento *perdura*)

<sup>2</sup> L'espressione va interpretata nel seguente modo:

[	<i>una volta</i>	$T_{\text{passato}}$
inizio della categoria	avverbio di esempio	nome della categoria (es. Tempo passato)

Classe aspettuale	Telicità	Statività	Duratività	Esempi
Stati	-	+	+	sapere, possedere
Attività	-	-	+	camminare, cantare
Completamenti	+	-	+	costruire una casa, cantare una canzone
Compimenti	+	-	-	raggiungere la vetta, vincere una corsa
Puntuali	-	-	-	tossire, schioccare la frusta

**Tabella 1** Classi aspettuative e tratti associati (Vendler 1967, Dowty 1979)

Per determinare la (a)telicità di un evento si può ricorrere al test in-X-time (predicati telici), for-X-time (predicati atelici).

Tale proprietà è determinata sia inerentemente che composizionalmente:

- assegnazione di caso e telicità dell'evento (es. partitivo/accusativo in Finlandese)
- transitività/intransitività:  
Luca ha cantato *per un'ora* / *in un'ora*  
Luca ha cantato una canzone *per un'ora* / *in un'ora*
- la definitezza dell'oggetto diretto (Specific Quantity Property, Verkuyl 1993):  
Luca beveva birra *in un'ora* / *per un'ora*  
Luca beveva due birre *in un'ora* / *per un'ora*
- conoscenza contestuale:  
(nessun contesto) *Luca correva in un'ora*  
(ogni giorno Luca correva per 10 Km) Luca correva in un'ora (10 km).

Catturare questi fenomeni in modo composizionale non è questione semplice: soprattutto l'interazione tra espressione dell'aspetto lessicale e sintagmi nominali specifici/indefiniti e/o quantificati è stata al centro di interessanti riflessioni (Dowty 1979, Krifka 1989). Per i modesti scopi che questo articolo si prefigge, una semplificazione della struttura semi-reticolare proposta da Krifka (1989) sarà necessaria e un approccio in termini di tratti distintivi come quello proposto in tabella 1, sebbene criticabile dal punto di vista esplicativo, renderà la discussione più snella senza necessariamente ridurre l'adeguatezza descrittiva del modello.

(2b) *aspetto grammaticale*

determina la prospettiva (o punto di vista) del parlante sull'evento; ad esempio serve a focalizzarne una porzione precisa (Klein 1994, Olsen 1997):

- *interna* (aspetto imperfettivo, viene focalizzata una parte dell'evento, escludendo però le periferie estreme, cioè i punti di inizio e di fine; es. sto mangiando una mela)
- *esterna* (aspetto perfettivo, viene focalizzata la fine dell'evento; es. ho appena finito di mangiare una mela)

intuitivamente sembra sussistere una correlazione naturale tra:

- *perfettività* ⇔ *telicità*
- *imperfettività* ⇔ *atelicità*

Gli elementi che esprimono l'aspetto lessicale sembrano distribuiti nel seguente modo:

... [*solitamente* Asp<sub>abituale</sub>] [*nuovamente* Asp<sub>ripetitivo(I)</sub>]  
 [*spesso* Asp<sub>frequentativo</sub> ... [*velocemente* Asp<sub>celerativo(I)</sub>] [*non più* Asp<sub>terminativo</sub>]  
 [*ancora* Asp<sub>continuativo</sub>] [*sempre* Asp<sub>perfetto(?)</sub>] [*appena* Asp<sub>retrospettivo</sub>]  
 [*presto* Asp<sub>approssimativo</sub>] [*brevemente* Asp<sub>durativo</sub>]  
 [*caratteristicamente(?)* Asp<sub>generico/progressivo</sub>] [*quasi* Asp<sub>prospettivo</sub>]  
 [*completamente* Asp<sub>sg-completivo (I)</sub>] [*tutto* Asp<sub>pi-completivo</sub>] [ ...  
 [*veloce/presto* Asp<sub>celerativo(II)</sub>] [*nuovamente* Asp<sub>ripetitivo</sub>]  
 [*completamente* Asp<sub>sg-completivo(II)</sub>] [ .. > verbo lessicale

Anche in questo caso una logica di tratti distintivi, forse non esplicitamente soddisfacente, ma descrittivamente adeguata, dovrebbe fornirci gli strumenti necessari per rappresentare minimalmente l'aspetto grammaticale.

(3) *Modo*:

è spesso associato alla *modalità* poiché le stesse categorie possono essere espresse in certe lingue attraverso il modo in altre attraverso la modalità.

Il *modo* esprimerebbe comunque l'opinione del parlante (la sua posizione nei confronti di una proposizione) ed è integrato nella morfologia verbale, mentre la modalità è espressa attraverso una morfologia distinta da quella verbale (verbi, ausiliari/modali o altre particelle come gli avverbi).

Alcune delle distinzioni modali che si possono fare sono le seguenti:

- reale/irreale (indicativo/congiuntivo);
- deontico/epistemico (dovere/potere);

Per un riferimento completo, queste sono le categorie proposte da Cinque:

[*francamente* Mod<sub>atto linguistico</sub>] [*fortunatamente* Mod<sub>valutativo</sub>]  
 [*presumibilmente* Mod<sub>probatorio</sub>] [*probabilmente* Mod<sub>epistemica</sub> ...  
 [*forse* Mod<sub>irrealtà</sub>] [*necessariamente* Mod<sub>necessità</sub>]  
 [*possibilmente* Mod<sub>possibilità</sub> ... > verbo lessicale

Cinque dimostra chiaramente come la superficiale distribuzione non sempre conforme all'ordine proposto sia in realtà solo apparente e semplicemente spiegabile attraverso vari fenomeni strutturali la cui trattazione esula però dalle finalità di questo lavoro.

Cercando di riassumere pochi concetti (ma buoni) quello che ci serve per andare avanti in questa riflessione è sapere che:

- i vari modificatori verbali (avverbi, particelle, morfemi che si legano alla radice verbale) permettono di esprimere diversi "aspetti" dell'evento che si intende presentare;
- questi modificatori sono raggruppabili in 3 macrocategorie ordinate gerarchicamente e crosslinguisticamente valide che permettono di esprimere: l'opinione del parlante rispetto all'evento predicato (modo/modalità), la collocazione temporale dell'evento rispetto al momento dell'enunciazione (temporalità), il punto di vista del parlante e varie proprietà dell'evento (aspettualità).

### 3. Eventuali formalismi

Normalmente esistono diversi tipi di analisi linguistiche che si possono demandare ad una macchina, dove per *analisi* si intende una computazione esplicita che permetta di ottenere un determinato output, dato un certo input accettabile; nel nostro caso l'input richiesto sarà un sottoinsieme proprio delle espressioni grammaticali italiane e l'output una struttura di tratti (modello delle *Matrici Attributo-Valore* proposte in HPSG, Pollard e Sag 1994). I formalismi applicati, ovviamente, variano a seconda degli obiettivi che queste analisi si prefiggono: esiste effettivamente un trade off molto forte tra complessità del sistema (quindi l'espressività che si cerca di catturare) e trattabilità del problema in tempi accettabili. Spesso prerequisiti di economia tagliano fuori dall'analisi aspetti degli eventi che invece rappresentano il fulcro di questa discussione.

Lo scopo di questa sezione è quello di mettere insieme una serie di riflessioni volte a valorizzare la ricerca linguistica in termini di implementazione ottimale di un modello formale del concetto di evento.

Cercherò in questo senso, prima di tutto di identificare alcune proposte per i problemi che i sistemi che tentano di trattare gli eventi sollevano (paragrafo 1), soffermandomi poi sulla limitatezza che queste soluzioni comportano dal punto di vista linguistico (par. 2), arrivando infine a trattare problemi concreti per iniziare a valutare empiricamente i modelli proposti (par. 3).

#### 3.1 Un problema logico e ontologico

Spesso quando si trattano problemi che affrontano le entità eventive, si richiede al sistema che li affronta, un *ragionamento temporale non-monotonico situato*; il sistema deve in questo senso rispondere almeno ai seguenti prerequisiti:

- a. la logica che adotta deve essere non-monotona (ovvero se  $p$  è vera in  $T$  al tempo  $t_0$ , niente impedisce a  $p$  di essere falsa al tempo  $t_1$ );
- b. deve esistere un insieme di entità  $t$  ordinate e di numerosità pari a  $\mathbb{R}$  (insieme dei numeri reali).

Un esempio di ragionamento temporale non-monotonico è rappresentato dalla *Situation Theory* (d'ora in poi ST): all'interno di questo framework teorico, si cercano di formalizzare concetti che permettono di rappresentare le eventualità, cioè stati, eventi ed i contesti in cui questi eventi si realizzano. La ST risulta quindi una teoria matematica unificata del contenuto informativo (Barwise & Perry 1983). Dalla sua versione originaria, questa teoria è stata profondamente arricchita in quest'ultimo decennio e si è rivelata un buono strumento per confrontarsi con problemi di carattere logico, linguistico e cognitivo.

L'ontologia di base su cui l'idea si fonda è fondamentalmente costituita dalle seguenti entità chiamate *uniformità (uniformities)*:

- *individui* (oggetti singoli individuati dall'agente; rappresentati come  $a, b, c$ );
- *relazioni* (legami che uniscono un certo numero di entità;  $P, Q, R$ );
- *localizzazioni spaziali* (non necessariamente puntiformi esse identificano delle posizioni anche di una determinata estensione;  $l, l', l_0$ );
- *localizzazioni temporali* (come le localizzazioni temporali possono codificare oggetti puntiformi o di una certa estensione;  $t, t', t_0$ );
- *situazioni* (parti strutturate, concrete o astratte del mondo descritto dagli agenti;  $s, s', s_0$ );
- *tipi* (uniformità di ordine gerarchicamente più alto rispetto agli individui;  $S, T, U$ );

- *parametri* (generalizzazioni al di sopra delle classi che permettono di riferirsi ad oggetti astratti;  $x, y, z$ )

Questi concetti modellano il mondo attraverso quelli che sono chiamati gli *schemi di individuazione* forniti dall'agente che opera la descrizione del mondo. Questi schemi di individuazione sono un insieme di *informazioni atomiche* (tecnicamente chiamate *infons*) denotate come segue:

«  $R,$   $a_1 \dots a_n,$   $i$  »  
 relazioni a n-posizioni, oggetti appropriati per R, polarità della  
 relazione ( $0$  se la  
 relazione non vale,  $1$  se vale)

Data una situazione  $s$  e un'informazione atomica  $\sigma$  si può dire che  $s \models \sigma$  se solo se  $\sigma$  vale in  $s$ , altrimenti  $s \not\models \sigma$ . Questo formalismo rende possibile il ragionamento in termini astratti impiegando i *parametri* come variabili. Ad esempio affermare che  $s \models$  «vede,  $x$ , Luigi,  $1$ » significa che *qualche individuo*  $x$ , ha visto *Luigi* nella situazione  $s$ . Infine è possibile definire tutti gli oggetti (ad eccezione dei parametri) in termini ricorsivi, specificando inoltre le eventuali relazioni gerarchiche e quelle di inclusione (quindi sfruttando i noti principi di *ereditarietà* e di *part-of*). In questo senso è quindi possibile definire i cosiddetti *vincoli* tra le situazioni, che possono semplicemente essere rappresentate da funzioni di implicazione:

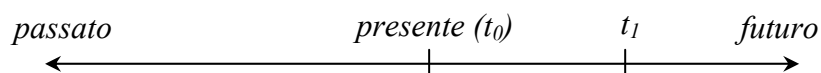
$$s_0 \Rightarrow s_1$$

ad esempio potrebbe significare che se c'è fuoco ( $s_0$ ) allora qualcosa brucia ( $s_1$ ).

Ovviamente queste relazioni possono essere definite anche in senso inverso (*casualità*) oppure bidirezionale (*riflessività*). *Transitività* e *simmetria* sono quindi proprietà logiche valide e attribuibili alle situazioni descritte.

Fondamentalmente l'obiettivo della ST è quello di mostrare come è possibile ragionare in termini di concetti eventivi per addurre previsioni e proprietà dal mondo formalizzato partendo da situazioni estensionalmente determinate (definite cioè attraverso un numero  $n$  di *infons*)<sup>3</sup>.

In realtà risulta abbastanza chiaro che l'intento di questo formalismo non combacia perfettamente con i tre contesti presentati nella prima sezione, ma è sicuramente questo un notevole sforzo teorico al fine di catturare alcune generalizzazioni dalle situazioni descritte. In particolare, partendo dal concetto di "localizzazione temporale puntiforme", la rappresentazione degli eventi risulta come un insieme di punti discreti all'interno di un continuum lineare infinito in un senso e nell'altro (solitamente ci si riferisce a questo come al modello fisico newtoniano).



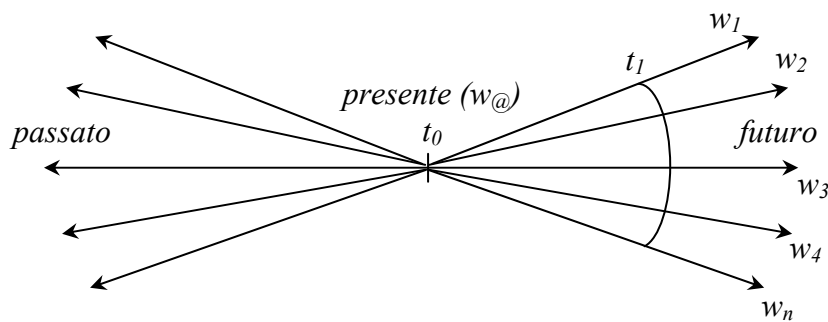
**Figura 1** Visione lineare del tempo secondo il modello fisico newtoniano

Trascuriamo al momento il problema della "risoluzione" di questi punti e proviamo a ragionare astrattamente su come in realtà questa formalizzazione sia inadeguata per il modello che ci prefiggevamo inizialmente di implementare: ipotizzando infatti di dover

<sup>3</sup> Famosi dilemmi quali lo *Yale Shooting Problem* (Hanks, McDermott 1986), trovano in questo framework una soluzione possibile.

implementare un agente in grado di pianificare delle azioni, questo agente si troverebbe profondamente in crisi, utilizzando la logica appena descritta, nella valutazione di due situazioni *ipotetiche* distinte al tempo  $t_1$  futuro rispetto a quello  $t_0$  di valutazione: pensiamo infatti che in  $t_1$  il sistema debba poter valutare la consistenza dei suoi schemi di individuazione differenti rispetto alla proprietà  $p$  (banalizzando, l'agente dovrebbe essere in grado di confrontare due situazioni alternative in cui, ad esempio, la mela si trova sulla testa di Guglielmo oppure no). L'imbarazzante circostanza che si verrebbe a creare è che nella situazione  $s$ , identificata dallo schema di individuazione al tempo  $t_1$ ,  $s \models p$  e  $s \not\models p$ . Ciò è ovviamente inconsistente e rende trivialmente derivabile qualsiasi implicazione successiva.

Esistono varie soluzioni al problema. Una di queste potrebbe essere quella di passare da una visione del tempo lineare ad una multilineare, prerequisito per la logica modale o, in termini lewisiani (Lewis 1973, Prior 1957-69), dei mondi possibili.



**Figura 2** Visione multilineare del tempo secondo il modello dei mondi possibili

La valutazione della proprietà  $p$  al tempo  $t_1$  verrebbe così shiftata in contesti diversi (o mondi possibili) a cui normalmente ci si riferisce con i termini  $w_1, w_2 \dots w_n$  aggirando così l'inconsistenza del sistema di valutazione. Il contesto di riferimento, o mondo attuale, è chiamato usualmente  $w_@$  e da questo la *conoscenza* può essere espressa attraverso il concetto di *accessibilità*:  $w_n$  è accessibile da  $w_@$ , sse riesco a valutare  $p$  (dire se è vera o falsa) in  $w_n$  da  $w_@$ .

Sebbene modelli più ricchi ed ontologicamente più adeguati siano discussi in letteratura<sup>4</sup>, questa sembra essere una prima approssimazione sufficientemente adeguata ad esprimere formalmente la *modalità* così come è stata presentata nella sezione 2: ad esempio il concetto di *necessità* implica che la proposizione  $p$  necessaria sia vera in tutti i mondi accessibili da  $w_@$ , mentre dire che  $p$  è possibile implica che esista almeno un mondo  $w_n$  accessibile da  $w_@$  in cui  $p$  è vera<sup>5</sup>. La necessità di una valutazione *modale* evidenzia chiaramente il problema della limitatezza dell'approccio unicamente *temporale* al concetto di evento. Proprio questo problema sarà approfondito anche da un punto di vista *aspettuale* nel prossimo paragrafo.

<sup>4</sup> Vedere ad esempio Belnap (2003) per una visione ramificante dello spazio-tempo che usa come relazione d'ordine parziale primitiva tra eventi puntuali la *causalità* (che permette di derivare in un modo interessante il concetto di "storia" e di "punto di scelta").

<sup>5</sup> Evoluzioni della logica modale permetterebbero di esprimere anche concetti più sottili quali il grado di possibilità, ma le *graded modalities logics* (Fattorosi-Barnaba, De Caro 1985) sono troppo complesse per i fini che si prefigge questa breve discussione.

### 3.2 *Non è tutto tempo quel che trascorre*

La riflessione precedente si è concentrata essenzialmente sui concetti temporali, ma come accennato nell'introduzione e come spiegato nella prima sezione, la collocazione temporale di un evento è solo una delle diverse proprietà delle entità che si cercano di trattare. Adesso verranno mostrati due problemi che richiedono una riflessione più ampia: il problema degli intervalli e le estremità di un evento.

Il problema degli intervalli può essere così espresso: estendendo il ragionamento applicato nella ST, data una proprietà valida in un intervallo, si può affermare che tale proprietà vale per ogni sottointervallo proprio dell'intervallo dato. Ovvero se io dico:

(4) Luigi il mese scorso era malato

presumo che ad ogni sottoinsieme di istanti  $t$  dell'insieme di istanti *mese scorso* valga la proprietà <Luigi, malato>.

Ora non sarebbe sorprendente se qualcuno considerasse questa affermazione vera, anche se Luigi il giorno 12 del mese scorso non aveva la febbre. Comunque consideriamo, con qualche riserva, che generalmente

(5) se la proprietà  $p$  perdura (è valida) per un certo periodo  $\Delta t$ , allora in ogni istante  $t_i \in \Delta t$ ,  $p$  è valida.

Adesso pensiamo ad un'altra circostanza:

(6) La porta si sta chiudendo

(5) sembra adesso ancora più assurda: all'istante  $t_i$  appartenente all'intervallo descritto da (6) ovviamente la porta è immobile, potrebbe aprirsi quanto chiudersi, ma soprattutto *istantaneamente* questa proprietà non può essere descritta.

Lo stesso dicasi per (7):

(7) Luigi ha raggiunto la vetta

La proprietà espressa in (7) non vale semplicemente in un intervallo passato, ma vale *da* un intervallo passato in poi.

Facendo un salto indietro, è facile notare come queste riflessioni trovino una certa appropriatezza descrittiva nella categorizzazione proposta nella tabella 1 (sezione 2).

*Stati, attività, compimenti, completamenti ed eventi puntuali*, sembrano quindi categorizzazioni primitive degli eventi, che rendono conto di "aspetti" diversi in relazione ai concetti di *intervallo* Vs *istante*, non semplicemente descrivibili in termini di localizzazioni temporali.

È a questo punto difficile essere soddisfatti degli strumenti logici presentati nella sezione precedente, che precludono il trattamento di interessanti fenomeni appena espressi.

Come rendere conto di questa divisione da un punto di vista formale? Una soluzione, proposta tra gli altri da Wagner (1998), è quella di ricorrere agli automi a stati finiti: un automa a stati finiti è una macchina astratta costituita da un insieme (finito appunto) di stati e transizioni possibili tra questi stati.

Un automa può essere rappresentato da una quintupla ordinata  $\langle Q, S, q_0, d, f \rangle$  tale che:

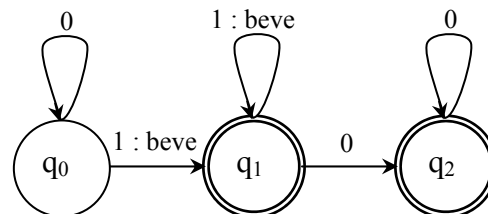
- $Q$  è un insieme finito di stati
- $S$  una stringa finita di input
- $q_0 \in Q$  è lo stato iniziale
- $d$  è una funzione di transizione che mappa  $Q \times S$  in  $Q$
- $F \subseteq Q$  è un sottoinsieme finito di stati finali (in cui l'automata si blocca)

Questa formalizzazione non necessita di una memoria esplicita e il suo comportamento è determinato completamente dallo stato attuale della macchina e dall'input ricevuto in quel determinato stato. L'obiettivo di questa formalizzazione sarebbe quello di mappare la descrizione aspettuale e temporale degli eventi, con i contesti reali: in termini minimali, alcuni operatori linguistici (tratti lessicali, morfemi e/o sintagmi avverbiali) rappresenterebbero l'input che dovrebbe condurre la computazione in un preciso stato con tratti temporali e aspettuati esplicitamente definiti.

I vantaggi di questa formalizzazione sono notevoli: una volta che ogni aspetto viene codificato (stiamo parlando di non più di trenta possibilità cross-linguisticamente valide) ogni problema che a queste macchine verrà sottoposto risulterà computazionalmente trattabile in un tempo accettabile. La possibilità di unificare con una stessa analisi formale fenomeni nell'ambito dei sintagmi verbali e di quelli nominali avrebbe un notevole impatto sulla complessità del sistema e sull'eleganza dell'implementazione informatica di questo modello (problema peraltro al centro della riflessione in Krifka 1989). Gli svantaggi derivano dall'assunzione che le modificazioni temporali/aspettuati siano "locali" visto che il dispositivo adottato non permette di catturare in un modo semplice o elegante dipendenze a distanza<sup>6</sup>.

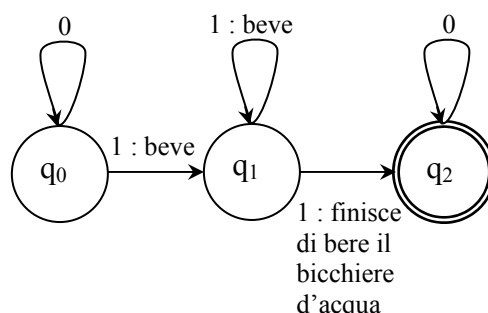
Praticamente questo modello sfrutta l'idea che ad ogni stato transitorio (quindi intrinsecamente telico) di un evento corrisponde uno stato di valutazione della macchina, mentre agli "stati" atelici (che quindi non hanno una "culminazione naturale") corrisponde un loop sullo stesso stato. Per chiarezza grafica si utilizzerà la formalizzazione standard che prevede dei cerchi come indicatori degli stati, due cerchi concentrici per indicare gli stati terminali, delle frecce per indicare le transizioni marcate da un valore di verità (1 vero, 0 falso) sulla base della validità o meno dello stato di transizione nel contesto di valutazione. Prendiamo ad esempio in esame l'implementazione delle due macchine fondamentali, quella *telica* e quella *atelica* e vediamo in cosa consiste la distinzione essenziale tra queste due formalizzazioni:

(8) Marco beve



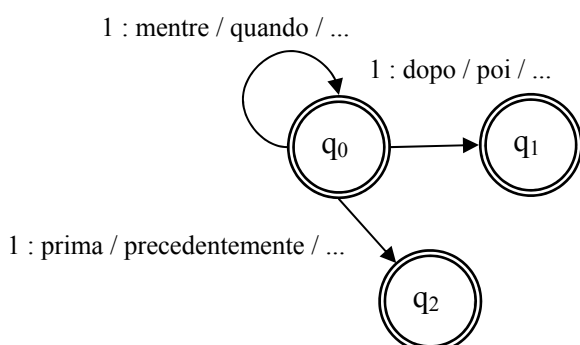
<sup>6</sup> In concreto sarebbe abbastanza difficile catturare situazioni in cui le modificazioni aspettuati/temporali avvengono in modo incassato: es. [<sub>e1</sub> T<sub>1</sub> A<sub>1</sub> [<sub>e2</sub> T<sub>2</sub> A<sub>2</sub> verbo<sub>2</sub>] verbo<sub>1</sub>] (cioè cose del tipo: [ieri ripetutamente [dopo che Marco è partito] Luisa ha pianto])... è comunque possibile in linea teorica, anche se complesso, catturare tali dipendenze purché il numero di incassamenti sia limitato, ad esempio potremmo scrivere espressioni regolari che colgano fino a tre/quattro dipendenze incassate; questo a scapito però di un'adeguatezza esplicativa).

(9) Marco beve un bicchiere d'acqua



In (9) la transizione finale tra  $q_1$  e  $q_2$  cattura la natura non-omogenea dei predicati telici richiedendo come necessario il passaggio all'ultimo stadio in cui l'attività termina. Per il resto i predicati non durativi possono essere descritti da semplici transizioni tra due stadi di cui il secondo finale: solo durante la transizione la proprietà risulta valida (es. Marco ha vinto la gara). Queste macchine basilari possono essere facilmente combinate in eventi più complessi, semplicemente sincronizzandone l'avvio: questo può essere fatto attraverso la definizione di *hold functions* (funzioni che associano gli stati delle macchine agli stati del mondo) e quindi specificandone la collocazione temporale attraverso i concetti di *sovrapposizione* e *precedenza*.

Opportuni operatori temporali (congiunzioni, complementatori ed avverbiali) determinano la relazione tra le macchine e quindi tra gli eventi predicati:



**Figura 3** Macchina per la valutazione temporale comparata di stati aspettuali ( $q_0$  corrisponde alla contemporaneità,  $q_1$  indica la precedenza,  $q_2$  la successione)

In effetti, date due macchine aspettuali,  $M_1$  ed  $M_2$ , per ogni coppia di stati finali  $q_{M1}$ ,  $q_{M2}$ , che descrivano l'aspetto saliente di un evento predicato, dato un opportuno operatore temporale  $R$  che metta in relazione  $R(q_{M1}, q_{M2})$ , risulta sempre decidibile la relazione di precedenza tra  $q_{M1}$  e  $q_{M2}$  (in  $q_0$ :  $q_{M1} = q_{M2}$ ; in  $q_1$ :  $q_{M2} < q_{M1}$ ; in  $q_2$ :  $q_{M1} < q_{M2}$ ).

### 3.3 Valutazione empirica del modello proposto

Queste ultime semplificazioni potrebbero sembrare estreme dal punto di vista logico-linguistico in un campo così complesso. Sarebbe quindi utile valutare su base empirica la bontà di tali riflessioni. La valutazione è iniziata su una porzione del corpus linguistico Childes (corpus di Camilla, Antelmi 1992): un corpus di produzioni spontanee di bambini di età solitamente compresa tra i 2 ed i 4 anni di età. L'intero corpus è stato taggato<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Taggare significa assegnare un'etichetta grammaticale, ed eventualmente altre informazioni morfologiche, ad un elemento lessicale analizzato. Un tagger è un dispositivo formale/informatico che espleta questa funzione.

usando un lessico (Morph-it: Zanchetta, Baroni 2005) con informazioni morfologiche di base (ad esempio per i verbi era specificata la modalità, il tempo e l'accordo con il soggetto o con il participio passato) a cui sono state aggiunte indicazioni aspettuative, modali e temporali su verbi, avverbi e congiunzioni usate nei file analizzati (es. [V mood-indic tense-pres asp-activity agr-3ps mangia], [ASP asp-termin già] ...). Un algoritmo simulava il comportamento di macchine a stati finite (deterministiche) il cui stato finale indicava, se raggiunto, i tratti aspettuativi, temporali e modali dell'evento individuato. Precisi elementi lessicali (essenzialmente i tratti morfologici espressi dal verbo e gli avverbiali indicati nella seconda sezione di questo articolo) facevano cambiare lo stato alla macchina in modo da modificare aspetto/tempo/modo dell'evento specificato dal sintagma verbale analizzato.

Delle 2015 espressioni prodotte dal bambino e analizzate automaticamente, 273 (il file cam211.cha, corrispondente circa al 14% del corpus) sono state verificate manualmente in modo da valutare la bontà dell'analisi condotta. Gli eventi espressi dal bambino (142 espressioni verbali su 273 espressioni analizzate) sono stati tutti individuati e nel 98% dei casi è stata attribuita loro la corretta valutazione modale, temporale e aspettuale. Questo risultato non è sorprendente alla luce di diversi fattori: l'eloquio dei bambini nei primi anni di età (nel file analizzato Camilla ha 2 anni e 11 mesi) è abbastanza limitato (delle 194 espressioni verbali analizzate meno del 25% sono "complesse", cioè i tratti modali/aspettuativi e temporali sono espressi da ausiliari, modali o avverbiali separati dal verbo principale); un'ulteriore semplificazione è determinata dall'uso prevalente del tempo presente o imperfetto e della modalità indicativa o imperativa. Simili riflessioni sono valide anche per l'analisi delle produzioni degli adulti nello stesso file per cui si ottengono risultati comparabili (194 espressioni verbali su 243 prodotte dalla sperimentatrice di cui circa il 50% è "complesso" nel senso indicato sopra). Nella stragrande maggioranza dei casi la modificazione "complessa" è locale, ovvero, salvo l'interposizione di negazioni o pronomi clitici comunque facilmente isolabili, le particelle che modificano l'evento sono sempre in prossimità del verbo principale e questo rende efficace l'uso di semplici automi a stati finiti. In fase di testing, per ovviare al problema dell'indeterminatezza ("passeggino" è un nome o la terza persona plurale presente congiuntivo del verbo "passeggiare"?) si è ricorsi nella quasi totalità dei casi ad un riordino su base probabilistica dei risultati del tagger; questo ha semplificato di molto il lavoro dell'algoritmo anche se la robustezza di tale soluzione andrebbe valutata su un campione più ampio di dati. Infine, sempre nel campione analizzato, non sono state individuate significative interazioni tra aspetto e (in)transitività (cfr. (2a.b)) o definitezza dell'oggetto (cfr. (2a.c)).

#### 4. Riflessioni conclusive

Riassumendo quindi quello che è stato osservato in queste pagine:

- la rappresentazione formale degli eventi è un concetto complesso sia dal punto di vista cognitivo che specificamente linguistico non riducibile alla sola riflessione sulle entità temporali;
- questo concetto può essere ragionevolmente rappresentato come una struttura gerarchica a tre macrolivelli: modale, temporale e aspettuale;
- ognuno di questi livelli può essere formalizzato utilizzando una logica decidibile e computazionalmente trattabile;
- le proprietà fondamentali delle formalizzazioni proposte sono catturabili attraverso l'impiego di automi a stati finiti che permettono, con un'ottima approssimazione, di effettuare uno shallow parsing sufficiente ad individuare le principali proprietà degli eventi predicati (almeno in contesti dialogici adulto-bambino).

Da un punto di vista linguistico resta ancora da capire pienamente che relazione intercorra tra i vari livelli (sia nominali che verbali) di definizione dell'evento. Il fatto che, come mostrato nella sezione 2, i fenomeni di interferenza siano presenti (es. quantificazione e proprietà aspettuali), lascia aperti diversi interrogativi; sarebbe interessante approfondire altre relazioni tra fenomeni nell'area nominale (determinazione, massificazione, caso etc.) e quelli nell'area verbale (modalità, complementazione etc.). Sarebbe questo un interessante percorso di ricerca che si potrebbe perseguire in futuro, tempo permettendo.

### Riferimenti bibliografici

- D. ANTELMI, *L'ipotesi maturazionale nell'acquisizione del linguaggio: indagine longitudinale su una bambina italiana*. Tesi di dottorato. Padua, 1992.
- R.ARMONI, L. FIX, R. GERTH, B. GINSBURG, T. KANZA, S. MADOR -HAIM, E. SINGERMAN, A. TIEMEYER, M.Y. VARDI, *ForSpec : A Formal Temporal Specification Language*, Proceedings of CAV'01, 2001.
- J. BARWISE, J. PERRY, *Situations and Attitudes*. MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
- N. BELNAP, *Branching space-time*, postprint January, 2003.
- G. CINQUE, *Adverbs and functional heads: A cross-linguistic perspective*. New York: Oxford University Press, 1999.
- D.R. DOWTY, *Word Meaning and Montague Grammar: the Semantics of Verbs and Times in Generative Semantics and Montague's PTQ*. Dordrecht: Reidel, 1979
- M. FATTOROSI-BARNABA, F. DE CARO, *Graded modalities I*. *Studia Logica*, 44, 1985. pp.197-221.
- W. KLEIN, *Time in language*. London: Routledge, 1994.
- M. KRIFKA, *Nominal reference, temporal constitution and quantification in event semantics*. In R. Bartsch, J. van Benthem, and Boas P.v.E. (Eds.), *Semantics and contextual expressions*. Dordrecht: Foris, 1989. pp. 75-115
- D. LEWIS, *Counterfactuals*. Cambridge: Harvard University Press. 1973.
- J. MCCARTHY, P.J. HAYES, *Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence*. in D. Michie (ed), *Machine Intelligence 4*, American Elsevier, New York, NY, 1969.
- M. B. Olsen, *A Semantic and Pragmatic Model of Lexical and Grammatical Aspect*. Garland, New York. 1997
- C. G. POLLARD, I.A. SAG, *Head-driven phrase structure grammar*. Stanford Chicago: Center for the Study of Language and Information; University of Chicago Press, 1994.
- A. N. PRIOR, *Time and Modality*, Oxford: Clarendon Press.1957.

- A. N. PRIOR, *Past, Present and Future*, Oxford: Clarendon Press. 1967.
- A. N. PRIOR, *Papers on Time and Tense*, Oxford: Clarendon Press. 1969.
- H. REICHENBACH, *Elements of Symbolic Logic*, New York: Macmillan. 1947.
- Z. VENDLER, *Linguistics in philosophy*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1967.
- L. WAGNER, *The Semantic and Acquisition of Time in Language* PhD Thesis, University of Pennsylvania. 1998.
- E. ZANCHETTA, M. BARONI, *Morph-it! A free corpus-based morphological resource for the Italian language*, in Proceedings of Corpus Linguistics 2005: Birmingham