

# Informatica, logica e tempo

**Angelo Montanari**

Dipartimento di Scienze Matematiche, Informatiche e Fisiche  
Università degli Studi di Udine

Parole della Scienza  
Roma, 26 ottobre, 2018

Molte cose hanno **bisogno di tempo**.

Il **tempo per pensare**, per riflettere, per cercare la soluzione di un problema (matematico). Problemi risolti dopo alcuni giorni, problemi che hanno richiesto mesi o (molti) anni, problemi aperti.

Il **tempo di calcolo** necessario per eseguire alcune elaborazioni particolarmente complesse (ciò accade molto spesso, ad esempio, nell'ambito dei big data).

Il **tempo** necessario **per studiare/prepararsi** (contro l'ignoranza al potere in diversi ambiti).

# Struttura dell'intervento

- una breve introduzione
- tempo e linguaggio
- logica e tempo: dalla sintesi alla dissociazione
- logica e tempo: la riconciliazione
- informatica e tempo

# Una questione preliminare

Il tempo tra scienza e filosofia: **continuità o contrapposizione?**

Einstein (cito a memoria) ha affermato che il senso comune altro non è che l'insieme dei pregiudizi acquisiti nei primi 18 anni di vita.

**Esempio.** La fisica prerelativistica postulava l'esistenza di un tempo universale uguale per tutti gli osservatori.

Cercherò di evidenziare il **filo rosso** che lega la riflessione sul tempo in ambito scientifico e filosofico. In particolare, legame che intercorre tra alcune tematiche logico-filosofiche classiche e diverse problematiche di interesse per l'informatica.

**Esempio.** Leibniz si oppose al concetto di tempo assoluto di Newton ("Il tempo assoluto, vero e matematico fluisce di per se stesso e per la sua propria natura, in modo eguale senza relazione con alcuna cosa esterna" Principia, Newton): secondo Newton l'universo **ha un orologio** (gli istanti di tempo esistono indipendentemente dagli eventi), secondo Leibniz **è un orologio** (il tempo è derivato dagli eventi, non viceversa).

# Cos'è il tempo?

“Cos'è il tempo allora? Se nessuno me lo chiede, lo so; se voglio spiegarlo a qualcuno che me lo chiede, non lo so” (S. Agostino, Confessioni XI, c. XIV, xvii).

**Osservazione 1.** (Appellandoci, più o meno legittimamente, a S. Agostino) rinunciamo programmaticamente a tentare di rispondere alla domanda: “cos'è il tempo?”, limitandoci ad assumerlo come un **utile strumento concettuale** per trattare un certo numero di problemi di rilievo in un dato ambito disciplinare.

**Osservazione 2.** Di fatto, **questioni classiche** relative alla natura del tempo riemergono, più o meno esplicitamente, nella ricerca contemporanea in logica temporale e informatica (il problema del “dividing instant”, le unità fondamentali: punti o intervalli, la natura discreta o densa del tempo, tempo lineare, ramificato, ciclico, etc.).

# Tempo oggettivo e tempo soggettivo

Ogni concetto di tempo sorge nel contesto di una **specifica attività umana**, finalizzata ad uno dato scopo, ed è segnato, in modo inevitabile ed essenziale, da tale scopo (Lawrence, Levels of Language of Discourse about Time).

## Alcuni esempi:

- il calendario gregoriano (date, orologi, etc.)
- la nozione di istante corrente (now) e la direzione del tempo (passato/presente/futuro)

Il **legame col linguaggio** naturale: uno studio appropriato del tempo non può prescindere da un'analisi delle caratteristiche e degli strumenti generali della comunicazione (linguistica).

# Tempo, logica e linguaggio

**Tempo, logica e linguaggio:** la logica come strumento per l'analisi e la formalizzazione delle strutture sintattiche e semantiche del linguaggio naturale (buona parte della filosofia del '900 è caratterizzata da un approccio logico-linguistico ai problemi filosofici).

Lo studio del linguaggio (in particolare, lo studio del significato delle espressioni in linguaggio naturale) è essenziale per la comprensione del tempo.

Come catturare la dimensione temporale insita nel linguaggio naturale? La logica dei tempi verbali (**tense logic**).

**Osservazione.** I destini di linguaggio e logica temporale sembrano essere strettamente legati. L'interesse/disinteresse per l'uno e l'altra sembrano procedere di pari passo. Non a caso, la nozione di linguaggio (formale) occupa un posto centrale in informatica.

## (Dal)la logica classica

La verità atemporale della logica classica e la verità della logica modale/temporale.

**Esempio 1.** “Se nessuno scapolo è un uomo felice, allora nessun uomo felice è scapolo” (Carnap). Si noti che la verità di tale enunciato dipende dal significato delle parole logiche “se”, “allora”, “non” ed “è”, ma non dipende dal significato di “scapolo”, “felice” e “uomo”.

**Esempio 2.** “Nessuno scapolo è sposato” (Quine). La verità dell’enunciato dipende dal significato attribuito a “scapolo” e “sposato”, o, meglio, dal sapere che hanno significati incompatibili.

**Esempio 3.** “I corpi cadono verso la terra con una accelerazione di 9,8 metri al secondo per secondo” (Carnap). La verità di tale enunciato dipende dall’informazione fattuale intorno al mondo fisico.



## (a) la logica modale/temporale

**Esempio 4.** “Il presidente della repubblica è calvo”. La verità di tale affermazione può variare nel tempo (la verità di un'affermazione dipende dal momento in cui viene formulata).

**Esempio 5.** “Domani ci sarà una battaglia navale”. È il classico esempio di Aristotele. È possibile assegnare un valore di verità ad una tale affermazione?

**Esempio 6.** “Se è vero che sto tenendo una conferenza su informatica, logica e tempo, allora sarà sempre vero che ho tenuto una conferenza su informatica, logica e tempo”. Tale affermazione rimane vera sostituendo a “sto tenendo una conferenza su informatica, logica e tempo” una qualunque altra proposizione.

## Alcune osservazioni

**Osservazione 1.** Non confondere la tradizionale distinzione tra verità analitiche e verità sintetiche/fattuali con la distinzione tra logiche classiche e logiche temporali.

**Osservazione 2.** Le proposizioni della logica temporale sono funzioni proposizionali con argomenti temporali (van Frassen), ossia non sono semplicemente vere o false, ma sono vere o false in un dato istante/intervallo temporale.

**Osservazione 3.** Il tentativo di fornire una caratterizzazione logica del linguaggio naturale (dai filosofi e teologi medievali a Prior) non può prescindere dal trattamento della dimensione temporale.

# Fisica, logica, informatica e tempo

Qual è il legame che intercorre tra le nozioni di tempo in fisica, filosofia, logica (matematica) e informatica?

Affronteremo nell'ordine i seguenti punti:

- il tempo della **fisica**: un breve cenno
- il tempo della filosofia e della **logica** (matematica): un veloce viaggio attraverso i secoli
- il tempo dell'**informatica**: alcuni elementi fondamentali

# Il tempo della fisica

## Alcuni **snodi fondamentali**:

tempo percepito come strettamente collegato al movimento/cambiamento e descrivibile attraverso numeri

la meccanica newtoniana (le leggi della dinamica e la simmetria temporale: predizioni e postdizioni)

i paradossi di Zenone e l'analisi infinitesimale (l'infinita divisibilità del tempo / **tempo denso**)

la termodinamica (l'entropia e la freccia del tempo)

la relatività e la meccanica quantistica

## Logica e tempo in una prospettiva storica

Un **problema metodologico**: è lecito (ri)formulare problemi classici (la battaglia navale di Aristotele, l'argomento vittorioso di Diodoro Crono, etc.) usando formalismi moderni, quando proprio l'assenza di un formalismo adeguato era uno dei maggiori problemi (il problema)?

**Tre momenti fondamentali**: sintesi, dissociazione e riconciliazione.

Il tempo è parte integrale della riflessione logica durante i periodi classico e medievale;

viene rimosso nel periodo rinascimentale;

viene reintrodotta a pieno titolo nel diciannovesimo e, soprattutto, nel ventesimo secolo.

**Riferimento.** P. Ohrstrom and P.F.V. Hasle, Temporal Logic. From Ancient Ideas to Artificial Intelligence, Kluwer Academic Publishers, 1995.

# Logica e tempo: dalla sintesi alla dissociazione

## Alcune tappe importanti:

- movimento e tempo (Aristotele)
- il problema dei contingenti futuri (Aristotele)
- l'argomento vittorioso (Diodoro Crono)
- amplatio: termini che fanno riferimento ad entità che attualmente non esistono (Alberto di Sassonia)
- la durata del presente (Buridano)
- incipit/desinit (Sherwood)
- tempo e conseguenza logica (Ockham, Buridano)
- temporalis: connettivi e proposizioni temporali (Avicenna, Buridano)
- prescienza divina, determinismo e libero arbitrio (Anselmo, Ockham, Leibniz)

## Movimento e tempo

Aristotele mette in luce la stretta relazione che intercorre tra **tempo e movimento**, caratteristica distintiva della sostanza sensibile, oggetto di indagine della filosofia seconda, o fisica.

Il movimento è il passaggio dall'essere in potenza all'essere in atto. Caratteristica del movimento è la **continuità**. Nel continuo si distinguono **il prima e il poi**. "Il tempo è il numero del movimento secondo il prima e il poi" (Aristotele, Fisica).

Per Aristotele, il tempo è un **infinito potenziale**, in quanto non può esistere tutto insieme attualmente, ma si svolge e si accresce senza fine.

## Tempo, verità e possibilità

Il famoso esempio della **battaglia navale** (problema dei **contingenti futuri**), ovvero come vanno interpretate le due affermazioni (Aristotele, De Interpretatione):

“Domani ci sarà una battaglia navale”

“Domani non ci sarà una battaglia navale”

Possiamo sostenere che affermazioni come le precedenti sono vere o false già oggi? O, al contrario, dobbiamo affermare che il loro valore di verità è indeterminato e che quindi non si può affermare che esse possiedano oggi un effettivo valore di verità? Le risposte a tali questioni sono strettamente connesse alle nozioni modali di **necessità** e **possibilità** (i modi della verità).



## Necessità e possibilità

Se assumiamo la verità della prima affermazione oggi, non ne segue che essa è **necessariamente** vera oggi?

Ancora, se domani dovessimo constatare che non vi è stata alcuna battaglia, sarebbe corretto affermare oggi una tale **possibilità**?

Sulla base di un'assunzione di base di **indeterminatezza**, Aristotele afferma che nessuna delle due affermazioni è oggi necessaria (necessariamente vera).

Differentemente, affermazioni relative al passato o al presente sono, per Aristotele, o necessariamente vere o necessariamente false.

## Logiche a tre valori

Lukasiewicz vede nella posizione di Aristotele un argomento in favore delle **logiche a tre valori** (vero, falso, indefinito / indeterminato).

Per un certo periodo, Prior (protagonista della riscoperta della logica temporale nel secolo scorso) condivide tale interpretazione ritenendola l'unica via possibile per costruire una **logica temporale non deterministica**.

Successivamente, Prior proporrà due diverse logiche temporali non deterministiche bivalenti (vero/falso), l'una basata su idee di Ockham, l'altra su idee di Peirce.

# Tempo lineare e tempo ramificato

Come modellare i futuri contingenti (non determinismo) con le nozioni modali di necessità e possibilità?

Il **tempo ramificato**: “Se il determinista vede il tempo come una linea, l'indeterminista lo vede come un sistema di cammini ramificati” (Burgess, *The Unreal Future*).

**Tempo e determinismo / non determinismo:**  
determinismo = tempo lineare vs. non determinismo = tempo ramificato

## L'argomento vittorioso di Diodoro Crono

L'argomento vittorioso di Diodoro Crono fu interpretato nel mondo classico come un argomento utilizzato per provare la verità del **fatalismo**. Sfortunatamente solo le premesse e la conclusione dell'argomento sono note.

L'argomento vittorioso è un **trilemma**. Nella formulazione di Epitteto, Diodoro prova che le seguenti tre proposizioni non possono essere tutte vere:

“Ogni proposizione vera circa il passato è necessaria”

“Una proposizione impossibile non può seguire da una possibile”

“C'è una proposizione che è possibile, ma che non è né sarà vera”

# Significato dell'argomento vittorioso di Diodoro Crono

Diodoro usa tale incompatibilità, combinata con la plausibilità delle prime due proposizioni, per concludere la falsità della terza.

Assumendo la verità delle prime due proposizioni, Diodoro definisce possibilità e necessità nel seguente modo:

- il possibile è ciò che è o sarà vero
- il necessario è ciò che, essendo vero, non può essere falso

Recentemente, l'argomento vittorioso di Diodoro Crono è stato interpretato come (i) un argomento a favore del determinismo; (ii) un tentativo di chiarire le relazioni concettuali tra **tempo e modalità**.

## Incipit/desinit o dei limiti temporali

La logica medievale ha dedicato particolare attenzione all'analisi delle problematiche poste dall'uso dei verbi "iniziare/finire", legate alla definizione di **limite temporale**, questioni in parte già presenti nella Fisica di Aristotele (Kilvington, Sophismata; Sherwood, Syncategoremata).

Si consideri la frase:

“Socrate comincia a correre”,

oppure la frase:

“Socrate cessa di vivere”.

Diverso è il caso della frase:

“Socrate comincia ad incanutire”.

## Permanentia e successiva

Occorre distinguere tra stati/cose **permanenti** (che possono manifestarsi simultaneamente) e stati/cose **successivi** (che si manifestano uno dopo l'altro).

Come va compresa la frase: "Socrate comincia a correre"? Può essere interpretata come: "Ora Socrate non sta correndo, ma correrà immediatamente dopo"? Come si passa dallo stato di quiete allo stato di moto?

È il problema del **dividing instant** ancor oggi dibattuto nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale.

Nel caso di stati successivi, occorre evitare sia la coesistenza di stati incompatibili (vita e morte) che la presenza di buchi (gap) nei valori di verità (in ogni stato Socrate o è vivo o è morto). Occorre inoltre distinguere tra domini temporali discreti e densi.

# Anticipazioni

Nella soluzione proposta da Sherwood ad alcuni “sofismi” relativi a incipit/desinit si prefigura la possibilità di distinguere tra tempo discreto e denso attraverso formule (assiomi) della logica temporale.

La distinzione tra permanentia e successiva anticipa la **caratterizzazione dei verbi** della linguistica contemporanea in (Vendler, *Linguistics and Philosophy*):

- stati (permanentia; ad esempio, incanutire)
- eventi istantanei (achievement)
- eventi non istantanei/processi (accomplishment)
- attività (successiva; ad esempio, correre)



# Logica medievale e tempo

Prior afferma che la posizione dei **logici medievali** nei confronti del tempo si può riassumere nelle seguenti due affermazioni:

- le distinzioni temporali sono un tema rilevante per la riflessione logica
- ciò che è vero in un dato istante è in molti casi falso in un altro istante e viceversa

Nel passaggio dalla scolastica all'**umanesimo rinascimentale** viene meno l'interesse per la disciplina della dialettica, per gli studi e le dispute logici, percepiti come astratti e senza costrutto.

# Non c'è spazio per il tempo

L'assenza della logica (temporale) nell'età rinascimentale:

- la logica e la disciplina della retorica (Valla, Agricola)
- la logica umanistica, l'arte dell'argomentazione, che rifiuta il linguaggio "artificiale" (oggi diremmo formale/logico) dei logici scolastici (Vives, Ramus)
- la logica come metodologia e la sua separazione dal linguaggio (Bacone)
- verità (logica) senza tempo (Leibniz, Kant, Frege)

**Osservazione.** La logica medievale sconta l'assenza di un formalismo adeguato.

## Verità (logica) senza tempo

Per Frege la verità in logica è completamente atemporale: il tempo in cui viene fatta una certa affermazione è considerato parte del pensiero che si vuole esprimere.

Se qualcuno vuole dire oggi la stessa cosa che ha detto ieri, deve sostituire il termine oggi con il termine ieri.

Non c'è spazio per una concezione delle proposizioni come funzioni nella variabile tempo.

# La riconciliazione di logica e tempo

La **(ri)scoperta** della logica temporale:

- logica, linguaggio e tempo (Boole)
- tempo e modalità (Peirce)
- tempo e logica trivalente (Lukasiewicz)
- una struttura a tre punti dei tempi verbali: tempo dell'evento, tempo di riferimento e tempo dell'affermazione nella frase: "io avrò visto Giovanni" (Reichenbach)
- (sistemi formali/calcoli per) la logica dei tempi verbali (Prior)
- determinismo, libero arbitrio e tempo ramificato (Prior)
- l'enfasi sul tempo corrente della logica dei tempi verbali e la relatività ristretta (Prior)

**Un'anticipazione letteraria** dell'idea del tempo ramificato si trova nel racconto "The Garden of Forking Paths", in Ficciones, J.L. Borges, 1962.

# Il tempo in informatica

Il tempo entra in gioco esplicitamente in una grande varietà di **aree** dell'informatica:

- sistemi per l'**elaborazione del linguaggio naturale** (traduzione automatica, generazione automatica di sommari, riconoscimento del parlato, ..)
- sistemi di **pianificazione** in intelligenza artificiale (ad esempio, la pianificazione del comportamento di un robot finalizzato al conseguimento di un certo obiettivo, in un dato ambiente, date certe condizioni iniziali)
- **basi di dati** temporali (archivi medici, sistemi di supporto alle decisioni in ambito medico, ..)
- **specifica, verifica e sintesi** dei sistemi reattivi (sistemi per la produzione e la distribuzione di energia, programmi per il monitoraggio di sistemi remoti, sistemi distribuiti e mobili, ..)

## Il tempo dell'informatica

La chiave di comprensione del tempo dell'informatica è la nozione di **algoritmo**.

**Esempio.** Quanti sono i possibili ordinamenti di  $n$  oggetti distinti (permutazioni)?

Un programma per il calcolo del fattoriale di un intero  $n \geq 1$ :

$$n! = n \cdot (n - 1) \cdot \dots \cdot 1$$

```
procedure FATTORIALE(n)
  begin k := 1; i := 1;
    while i ≤ n do
      begin k := k · i; i := i + 1 end;
    return k
  end;
```

# Computazioni e tempo discreto

Ogni algoritmo deve possedere le seguenti proprietà:

- (i) deve essere finitamente descrivibile
- (ii) deve consistere di un insieme di passi discreti, ciascuno dei quali deve essere eseguibile automaticamente

Una **computazione** è una successione, finita o infinita, di stati di esecuzione dell'algoritmo, dove stato = valore delle variabili (ogni stato di esecuzione dell'algoritmo per il calcolo del fattoriale è caratterizzato dal valore delle variabili  $k$  ed  $i$ ).

Computazioni e **tempo discreto** (passi/stati/istanti).

# Problemi (semi)decidibili e tempo indefinito

Problemi decidibili e indecidibili.

Un problema si dice **semi-decidibile** se esiste un “algoritmo” che, qualora la risposta sia positiva, è in grado di fornirla correttamente, mentre nel caso in cui la risposta sia negativa può o fornire la risposta corretta o non terminare la propria esecuzione (e, quindi, non fornire alcuna risposta).

**Temp indefinito:** non è possibile fissare una durata massima per le esecuzioni terminanti; se fosse possibile, il problema risulterebbe decidibile.

**Esempi** di problema semi-decidibile:

- il problema della terminazione (della Macchina di Turing)
- il problema di stabilire se un polinomio a coefficienti interi in un qualsiasi numero di variabili ammetta radici intere (decimo problema di Hilbert)



# Tempo e complessità computazionale

Problemi trattabili e intrattabili.

Come misurare la complessità di un problema (e di un algoritmo):  
**tempo**, spazio, energia.

Limiti superiori (bubble sort) e inferiori (calcolo del massimo di un insieme di numeri) alla complessità di un problema.

**Complessità temporale** e spaziale di un problema / algoritmo.

**Esempio.** Stabilire se due numeri interi, rappresentati in binario, sono uguali o meno:

- complessità temporale: lineare nella dimensione dell'input (al più un numero di operazioni di confronto pari al numero di cifre dell'intero più piccolo)
- complessità spaziale: costante (non occorre memorizzare l'input)

# Complessità temporale vs. complessità spaziale

Modello di calcolo di riferimento: la **macchina di Turing** (per semplicità, assumiamo un alfabeto binario, al quale va aggiunto il simbolo vuoto)

- numero (finito) di stati della macchina:  $k$
- input di lunghezza  $n$
- tempo (= numero di passi) massimo:  $t(n)$
- spazio (= numero di celle) massimo:  $s(n)$

**Legame** tra complessità temporale e spaziale.

E' facile vedere che  $t(n) \geq s(n)$  (il numero di celle utilizzate mai eccede il numero di passi compiuti).

E' anche possibile mostrare che  $t(n) \leq k \cdot s(n) \cdot 3^{s(n)}$  (numero di possibili configurazioni diverse della macchina di Turing su uno spazio massimo utilizzato di dimensione  $s(n)$ ).

# PTIME vs. PSPACE

**Problemi trattabili:** la classe dei problemi PTIME, ossia dei problemi che possono essere risolti in un numero di passi polinomiale nella dimensione dell'input (complessità asintotica che ignora il grado e le costanti del polinomio)

La classe dei problemi PSPACE: problemi che possono essere risolti utilizzando uno spazio di dimensione polinomiale nella dimensione dell'input

PTIME è meglio di PSPACE

(ma LOGSPACE è meglio di PTIME:

$\text{LOGSPACE} \subseteq \text{PTIME} \subseteq \text{PSPACE}$  e  $\text{LOGSPACE} \subset \text{PSPACE}$ )

**Trade off spazio/tempo:** problemi e situazioni in cui l'aver poca memoria obbliga a perdere tempo (ordinamento di un file di dati in memoria secondaria).

## Programmi reattivi e tempo infinito

Programmi imperativi (che terminano) e **programmi reattivi** (non terminanti).

**Esempio.** Un programma reattivo: gestione in mutua esclusione di una risorsa critica condivisa (ad esempio, una stampante).

```
local y: integer where y = 1
  l0: loop forever do
    l1: non critical;
P1:: l2: request y;
     l3: critical;
     l4: release y
    ||
  m0: loop forever do
    m1: non critical;
P2:: m2: request y;
     m3: critical;
     m4: release y
```

## Specifica di proprietà di programmi reattivi

Ogni **computazione** (infinita) del programma deve soddisfare due proprietà fondamentali:

1. **accessibilità**: ogni richiesta di accedere alla regione critica da parte di P1 o di P2 deve essere prima o poi (in un tempo **arbitrariamente lungo**, ma **finito**) soddisfatta;
2. **mutua esclusione**: P1 e P2 non possono **mai** trovarsi contemporaneamente all'interno della regione critica.

Tali proprietà possono essere specificate usando la **logica temporale** (Pnueli, Turing Award).

## Verifica di proprietà di programmi reattivi

Come possiamo padroneggiare **nondeterminismo** e **infinito** che entrano in gioco quando vogliamo specificare il comportamento atteso di un sistema reattivo (a stati finiti)?

Programmi reattivi e **nondeterminismo**: dato lo stato corrente del programma ad un certo punto della computazione, può accadere che vi siano più possibili stati successivi. In tal caso, il programma sceglie non deterministicamente uno di essi quale stato successivo della computazione (**tempo ramificato**).

Il comportamento di un programma è descritto da numero **infinito** di computazioni. Ogni computazione è **infinita** (**tempo infinito**).

**Esempio.** Con riferimento al programma per la gestione della mutua esclusione, come è possibile verificare finitamente se una data computazione (non) rispetta il requisito di accessibilità?

# Algoritmi di verifica

Come possiamo verificare che una specifica non contenga richieste contraddittorie (**verifica della soddisfacibilità** di una formula della logica temporale)?

Come possiamo verificare che un programma soddisfi le proprietà richieste, ossia che tutte le possibili computazioni del programma rispettino le condizioni volute (**verifica del modello**)?

Decidibilità e algoritmi per la verifica della soddisfacibilità e per la verifica del modello.

Il ruolo fondamentale della **periodicità** (cicli di un grafo).

Trade-off **espressività** e **complessità computazionale**.

# Sistemi ibridi, distribuiti e multiagente

## **Tempo e sistemi ibridi.**

Come specificare e verificare il comportamento di sistemi ibridi che integrano componenti continue e componenti discrete? Logiche del **tempo denso**.

## **Tempo e sistemi distribuiti.**

Come modellare l'interazione fra le componenti di un sistema distribuito, le cui componenti evolvono in larga misura in modo indipendente? Assenza di un orologio universale e meccanismi di **comunicazione asincrona**.

## **Tempo e sistemi multiagente.**

Come determinare le responsabilità dei singoli attori di un sistema multiagente al verificarsi di una data situazione? Estensione delle logiche temporali con **operatori per il passato** (espressività vs. succintezza).



# Una breve ricapitolazione

Il tempo è una **dimensione essenziale** di una molteplicità di discipline (e della vita umana).

La logica del tempo occupa una **posizione centrale** in informatica.

Un ampio insieme di problemi vecchi, riformulati in nuovi contesti, e problemi nuovi, che richiedono nuovi strumenti (concettuali): c'è ancora **molto spazio per il tempo**.