

# **MA IL TEMPO E' UN TEMPO REALE?**

## **ONTOLOGIA DEL TEMPO E INFORMATICA**

**Prof. Ing. Fabio A. Schreiber**  
**Politecnico di Milano**



# INDICE DELLA PRESENTAZIONE

## ■ LA **NATURA** DEL TEMPO

- NELLA FILOSOFIA
- NELLA FISICA



## ■ LA **MATERIALIZZAZIONE** DEL TEMPO

- INGEGNERIA ELETTRONICA
- INGEGNERIA INFORMATICA



## ■ LA **RAPPRESENTAZIONE** DEL TEMPO

- NELL'INGEGNERIA DEI CALCOLATORI
- NEI SISTEMI INFORMATIVI

$\square [Gp \supset p] \supset [Gp \supset Hp]$

$\square [(\square r \wedge \diamond t) \rightarrow \diamond t]$



# LA NATURA DEL TEMPO NELLE ANTICHE CIVILTÀ (1)

- **IL TEMPO E' COLLEGATO AGLI EVENTI NATURALI**
  - **RIPETIZIONE DI PROCESSI CICLICI**
  - **LE ECCEZIONI GENERANO SUPERSTIZIONE**





# LA NATURA DEL TEMPO NELLE ANTICHE CIVILTÀ (2)

- IL TEMPO HA UNA **CONNOTAZIONE PRATICA** PER LE ATTIVITA' UMANE
- LA **MISURA DEL TEMPO** E' IMPORTANTE
  - SVILUPPO DELL'ASTRONOMIA (ASSIRO-BABILONESI, MAYA)
  - LA RILEVAZIONE E DIFFUSIONE DELLE INFORMAZIONI TEMPORALI SONO AFFIDATE **AI SACERDOTI**





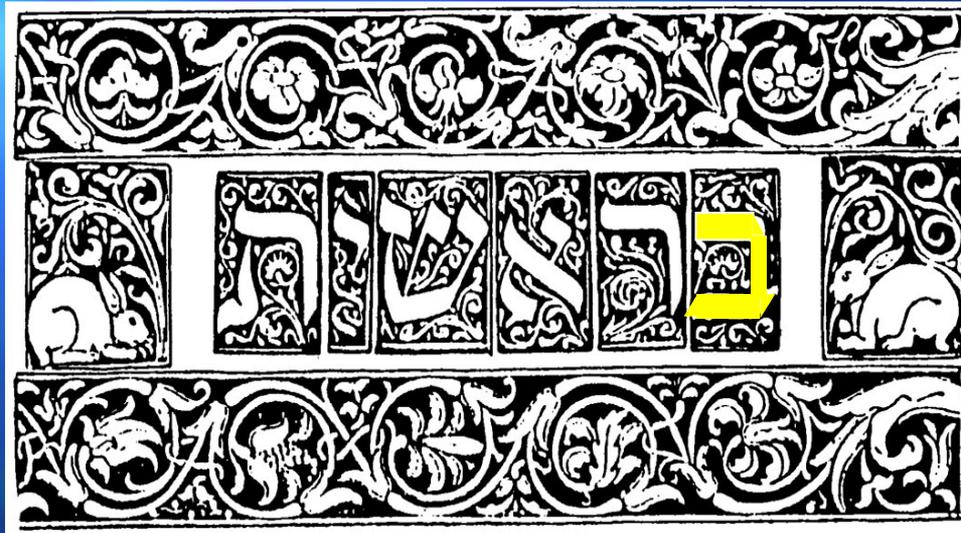
# LA NATURA DEL TEMPO NELLE ANTICHE CIVILTÀ (3)

- **IN PERSIA, I SEGUACI DI ZOROASTRO HANNO UNA CONCENZIONE APERTA DELLA STRUTTURA DEL TEMPO**



# LA NATURA DEL TEMPO NELLE ANTICHE CIVILTÀ' (4)

- GLI EBREI CONSIDERANO UNA  
STRUTTURA **APERTA E LINEARE**





# TEORIE FILOSOFICHE (1)

- **TEMPO E SPAZIO SONO PERCEPITI COME COSE DIVERSE DAGLI ALTRI OGGETTI E PROCESSI**
  - **CONTENITORI** DI EVENTI NATURALI (**ASSOLUTISTI**)
  - **ASTRAZIONI** CHE RAPPRESENTANO **RELAZIONI** TRA OGGETTI E PROCESSI (**RELATIVISTI**)



## TEORIE FILOSOFICHE (2)

- **SI DA' PIU' IMPORTANZA ALLO SPAZIO CHE AL TEMPO**
  - **GLI ELEATICI** (PARMENIDE, ZENONE,...) CONSIDERANO IL TEMPO COME UN DISTURBO DI UN ESSERE IMMUTABILE
  - **ERACLITO** E GLI **STOICI** CONSIDERANO IL DIVENIRE COME CICLI DI TRASMutAZIONE DI NASCITA E MORTE DI UNA SOSTANZA IMMUTATA



## TEORIE FILOSOFICHE (3)

- PER **PLATONE** IL TEMPO È PRODOTTO DALLA **RIVOLUZIONE DELLA SFERA CELESTE**, ESSENDO STATO CREATO CON ESSA



## TEORIE FILOSOFICHE (4)

- **ARISTOTELE** FU IL PRIMO A DARE AL TEMPO UNA **DIGNITÀ AUTONOMA**
  - **IL TEMPO È L'ASPETTO NUMERABILE DEL MOTO**
  - **IL TEMPO INTRODUCE L'ORDINAMENTO PRIMA → DOPO**
  - **IL MOTO CIRCOLARE UNIFORME È USATO PER MISURARE IL TEMPO**
  - **IL PRESENTE SEPARA PASSATO E FUTURO**
  - **INFINITÀ E CONTINUITÀ IMPLICANO CIRCOLARITÀ**
  - **IL TEMPO È UNA SENSAZIONE SOGGETTIVA?**



## TEORIE FILOSOFICHE (5)

- **LA SCUOLA ATOMISTICA** (DEMOCRITO, EPICURO, ...) ABBANDONA LA VISIONE CICLICA
  - IL TEMPO È **APERTO A SINISTRA** (NON CREATO) E **CHIUSO A DESTRA** (L'EVOLUZIONE È UNA TRASFORMAZIONE DI STATI)
- **STOICI E MEGARICI** INTRODUCONO LE **MODALITÀ TEMPORALI**



## TEORIE FILOSOFICHE (6)

- **S. AGOSTINO** RISCOPRE IL TEMPO COME PROBLEMA FILOSOFICO
  - IL TEMPO HA UNA **STRUTTURA LINEARE**
  - IL TEMPO È UNA **PERCEZIONE SOGGETTIVA**
    - **SOLO IL PRESENTE È REALE**
    - **IL PASSATO È NELLA MEMORIA**
    - **IL FUTURO È NELL'ASPETTATIVA**



## TEORIE FILOSOFICHE (7)

- PER **KANT** SPAZIO E TEMPO SONO LE DUE **MODALITÀ DELL'INTUIZIONE** CHE CONSENTONO I **GIUDIZI SINTETICI A PRIORI**
- DOPO KANT, SPAZIO E TEMPO DIVENTANO **OGGETTI SCIENTIFICI** ESSI STESSI, DA STUDIARE NEL DOMINIO DELLA FISICA



# I PRINCIPALI PROBLEMI FILOSOFICI

- **LINEARE vs. CIRCOLARE**
- **FINITO vs. INFINITO**
- **APERTO vs. CHIUSO**
- **DISCRETO vs. CONTINUO**
- **ORDINAMENTO**
  - **ASSOLUTO** {passato, presente, futuro}
  - **RELATIVO** {prima, contemporaneo, dopo}
- **OGGETTIVO vs. SOGGETTIVO**
- **MODALITÀ TEMPORALI**



# LE TEORIE FISICHE (1)

## LA NASCITA DELLA MECCANICA

- IL TEMPO È LA **VARIABILE INDIPENDENTE PRIVILEGIATA** PER L'OSSERVAZIONE E LA DESCRIZIONE DEL MOTO E PER LA FORMULAZIONE DELLE LEGGI FISICHE



## LE TEORIE FISICHE (2)

### ■ NEWTON

- IL TEMPO È UN'ENTITÀ MATEMATICA ASSOLUTA

### ■ LEIBNITZ

- IL TEMPO È UNA RELAZIONE D'ORDINE RELATIVA



## LE TEORIE FISICHE (3)

### ■ EINSTEIN

- **IL TEMPO È SOLAMENTE UNA VARIABILE LOCALE**
- **LE LETTURE DEGLI OROLOGI POSSONO ESSERE CONFRONTATE SOLAMENTE CON LO SCAMBIO DI INFORMAZIONI**
- **LE INFORMAZIONI NON POSSONO VIAGGIARE A VELOCITÀ SUPERIORI A QUELLA DELLA LUCE (RELATIVITÀ DELLA SIMULTANEITÀ)**



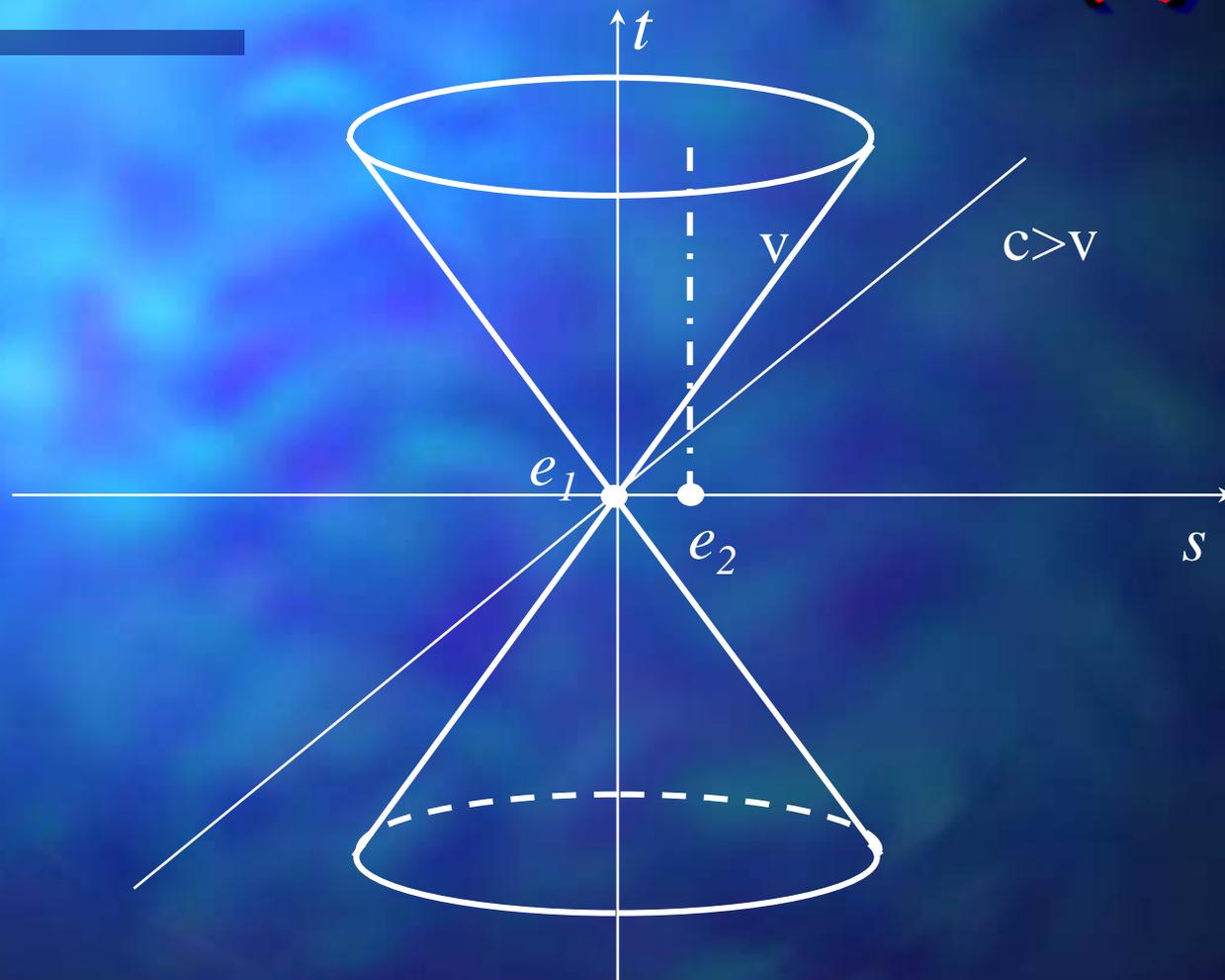
## LE TEORIE FISICHE (4)

### LE CONSEGUENZE DELLA TEORIA DELLA RELATIVITÀ

- ESISTE UN **UNICO CONTINUO SPAZIO-TEMPORALE** A QUATTRO DIMENSIONI
- LE RELAZIONI DI **CAUSALITÀ** POSSONO ESISTERE **SOLAMENTE ALL'INTERNO DEL CONO DI LUCE**



# LE TEORIE FISICHE (5)





# ALTRE QUESTIONI DI FISICA (1)

- **IL DIVENIRE È REALE?**
  - **ESISTENZA DI UNA FRECCIA DEL TEMPO**
  - **ESISTENZA DI FENOMENI IRREVERSIBILI (BOLTZMAN, PRIGOGINE)**



## ALTRE QUESTIONI DI FISICA (2)

- NON ESISTE UNA DESCRIZIONE **CONSISTENTE** DEL TEMPO TRA MACROCOSMO E MICROCOSMO
  - TEORIA DELLA **RELATIVITÀ GENERALE**
  - TEORIA DEI **QUANTI**

**MA ALLORA, IL TEMPO È REALE?**



# **LA MATERIALIZZAZIONE DEL TEMPO NEI SISTEMI INFORMATICI**

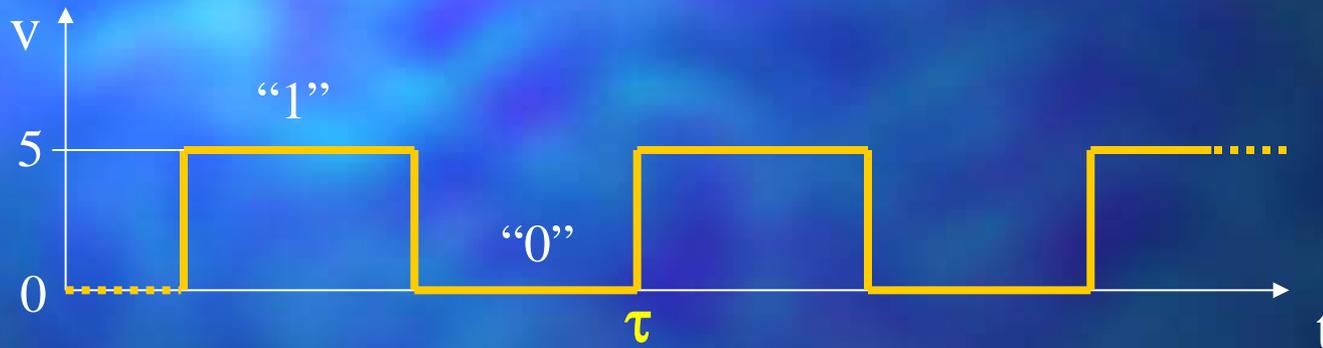
**IL CLOCK È L'OROLOGIO CHE  
PRESIEDE AL FUNZIONAMENTO DI  
OGNI SISTEMA DIGITALE**

- **GENERAZIONE DEL CLOCK**
- **DISTRIBUZIONE DEL CLOCK**
- **SINCRONIZZAZIONE DEI CLOCK**



# GENERAZIONE DEL CLOCK (1)

IL CLOCK È UN **SEGNALE BINARIO**  
COSTITUITO DA UNA FORMA D'ONDA  
RETTANGOLARE



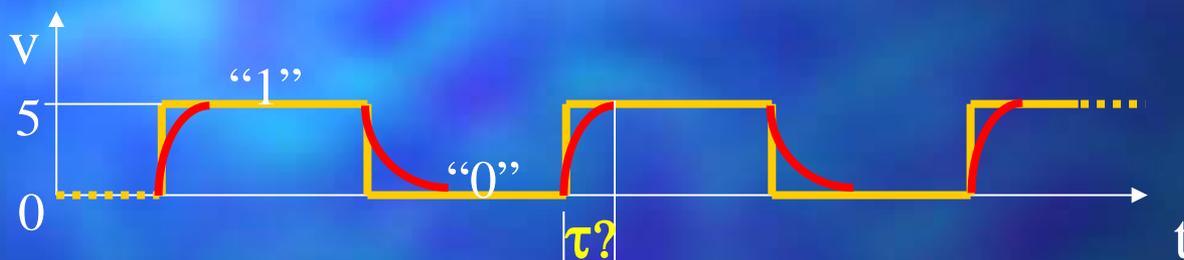
I **FRONTI** DI SALITA (DISCESA)  
DETERMINANO GLI **ISTANTI** (TICK)



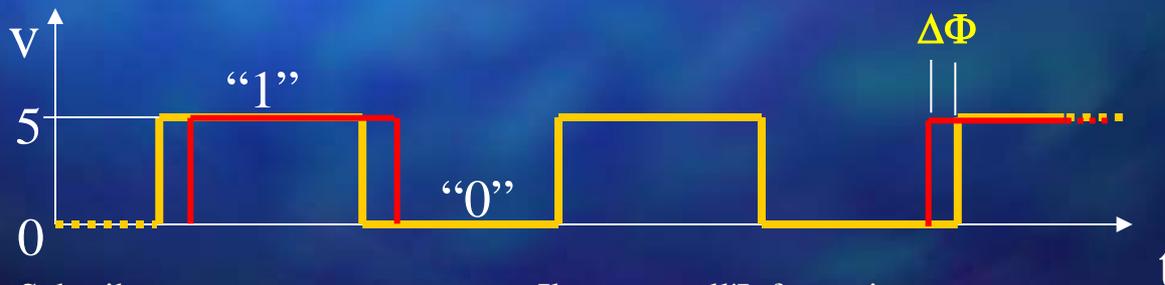
# GENERAZIONE DEL CLOCK (2)

## IL CLOCK È SOGGETTO A ERRORI E IMPRECISIONI

### ■ TEMPO DI TRANSIZIONE FINITO



### ■ VIBRAZIONI DI FASE (JITTER)





# GENERAZIONE DEL CLOCK (3)

## EQUAZIONE GENERALE DEL CLOCK

$$x(t) = p(((f + \Delta f)t + \Phi(t)) \bmod 1)$$

## FREQUENZA ISTANTANEA

$$f(t) = f + \Delta f + d\Phi(t)/dt$$

- SE  $(f + \Delta f) = \text{costante}$  → **ISOCRONIA**
- SE  $\Delta f = \Delta f(t)$  → **ANISOCRONIA**



## GENERAZIONE DEL CLOCK (4)

### STABILITÀ DELLA FREQUENZA

- MASER A  $H_2$   $\rightarrow 2 \cdot 10^{-14}/d \pm 1 \cdot 10^{-12}/y$
- QUARZO  $\rightarrow 10^{-6}/d$



# SINCRONIZZAZIONE DEI SISTEMI DISTRIBUITI (1)

- **IL RITARDO DI TRASMISSIONE DEI MESSAGGI NON È TRASCURABILE RISPETTO AL TEMPO TRA DUE EVENTI IN UN SINGOLO PROCESSO**
- **ESISTONO QUINDI MOLTI CLOCK LOCALI QUASI ALLINEATI (PLESIOCRONIA)**



# **SINCRONIZZAZIONE DEI SISTEMI DISTRIBUITI (2)**

**LA SINCRONIZZAZIONE FA SÍ CHE**

- **DIFFERENTI PROCESSI IN UNA RETE  
DI CALCOLATORI**
- **DIFFERENTI PARTI DI UN CIRCUITO**
- **DIFFERENTI CLOCK**

**CONCORDINO SULLA STESSA LETTURA  
TEMPORALE**



# IMPORTANZA DELLA SINCRONIZZAZIONE

**IN AMBIENTI DI ELABORAZIONE CONCORRENTE, ASSICURA L'ORDINAMENTO LOGICO DELLE OPERAZIONI E LA POSSIBILITÀ DI STABILIRE RELAZIONI DI CAUSA – EFFETTO**

- LA RELAZIONE *È AVVENUTO PRIMA DI* È IMPLICITA IN QUALSIASI COMPUTAZIONE **SEQUENZIALE**
  - CLOCK  **Globale** → ORDINAMENTO **TOTALE** DEGLI EVENTI
  - CLOCK  **Locali** → SOLO ORDINAMENTI **PARZIALI**



# TIPI DI CLOCK

## ■ CLOCK LOGICO

**FUNZIONE MONOTONA NON DECRESCENTE  
CHE MAPPA GLI EVENTI SULL'INSIEME DEI  
NUMERI INTERI (MARCHE DI TEMPO)  
FORNISCE UN TEMPO RELATIVO**

## ■ CLOCK FISICO

**DISPOSITIVO FISICO CHE FORNISCE UN  
TEMPO ASSOLUTO**

**UN INSIEME DI BUONI CLOCK FISICI È  
PLESIOCRONO**



# PROTOCOLLI DI SINCRONIZZAZIONE

**IN OGNI CASO SONO NECESSARI  
PROTOCOLLI DI SINCRONIZZAZIONE CHE  
SIANO **ROBUSTI** ANCHE IN PRESENZA DI  
**GUASTI****

- **NEI NODI DI ELABORAZIONE**
- **NEL SISTEMA DI TRASMISSIONE**
- **NELLA STESSA PROCEDURA DI  
SINCRONIZZAZIONE**



# QUESTIONI ONTOLOGICHE SULLA SINCRONIZZAZIONE

- I CLOCK FISICI SONO CONTINUI
- I CLOCK LOGICI SONO DISCRETI
- IL TEMPO RELATIVO È SUFFICIENTE A SINCRONIZZARE PROCESSI IN SISTEMI ISOLATI
- IL TEMPO ASSOLUTO È NECESSARIO A STABILIRE RELAZIONI CAUSALI IN SISTEMI APERTI



# LA RAPPRESENTAZIONE DEL TEMPO (ANCORA LA LOGICA!)

## TEORIE DEL LINGUAGGIO NATURALE

- **TENSER** (I TEMPI VERBALI SONO COMPONENTI FONDAMENTALI DEL LINGUAGGIO)
  - PASSATO – PRESENTE – FUTURO
  - USO DELLA LOGICA MODALE
  - PATROCINATA DAI LINGUISTI
- **DETENSER** (I TEMPI VERBALI POSSONO ESSERE DERIVATI)
  - ANTERIORE – SIMULTANEO – POSTERIORE
  - USO DELLA LOGICA DEL PRIMO ORDINE
  - PATROCINATA DA MATEMATICI E FISICI

LA LOGICA DEL PRIMO ORDINE PUÒ ESSERE  
CONSIDERATA UN'INTERPRETAZIONE DI QUELLA  
MODALE



# LA RAPPRESENTAZIONE DEL TEMPO

## APPLICAZIONI ALLA **TEORIA DELLA CONOSCENZA**

... LA LOGICA TEMPORALE VIENE USATA PER PERMETTERE AI **PROGRAMMI INFORMATICI DI RAGIONARE SUL MONDO** ...

## APPLICAZIONI ALL'**INGEGNERIA DEL SOFTWARE**

... LA LOGICA TEMPORALE VIENE USATA PER PERMETTERE AL **MONDO DI RAGIONARE SUI PROGRAMMI INFORMATICI** ...

*(Galton)*



# **QUESTIONI ONTOLOGICHE SULLA RAPPRESENTAZIONE**

- **ENTITÀ TEMPORALI PRIMITIVE**
- **RELAZIONI TEMPORALI**
- **LIMITI TEMPORALI**
- **TOPOLOGIA DEL TEMPO**
- **STRUTTURA DEL TEMPO**
- **METRICHE TEMPORALI**



# ENTITÀ TEMPORALI PRIMITIVE

- **ISTANTI** (PUNTI TEMPORALI)
- **SEGMENTI** (INTERVALLI DI TEMPO)
- **EVENTI** (OCCORRENZE NEL TEMPO)
  
- **VISIONE ASSOLUTISTICA**
  - IL TEMPO PRECEDE ONTOLOGICAMENTE GLI EVENTI
- **VISIONE RELATIVISTICA**
  - GLI EVENTI PRECEDONO ONTOLOGICAMENTE IL TEMPO

**GLI EVENTI SONO ENTITÀ SPAZIO-TEMPORALI,  
QUINDI LA LORO SCELTA COME PRIMITIVE  
TEMPORALI È CRITICABILE**



# RELAZIONI TEMPORALI

- **ISTANTI** → RELAZIONE DI PRECEDENZA
- **INTERVALLI** → 13 RELAZIONI (ALLEN)



*before* (x y)

*meet* (x y)

*overlap* (x y)

*during* (x y)

*start* (x y)

*finishes* (x y)

*equal* (x y)

**E LE 6  
SIMMETRICHE**



# LIMITI TEMPORALI

## ESISTE UN INIZIO (FINE) DEL TEMPO?

- **NON ESISTONO INIZIO E FINE**
  - LA STRUTTURA DEL TEMPO È **OMOGENEA**
- **GLI INTERVALLI SONO APERTI (CHIUSI) AD UNO O AD ENTRAMBI GLI ESTREMI**
  - PROBLEMA DELL'**ISTANTE DI TRANSIZIONE** DEL VALORE DI UNA VARIABILE TRA UN ISTANCE E IL SUCCESSIVO
  - PRINCIPIO DEL **TERZO ESCLUSO** ( $p$  e  $\neg p$  non possono essere contemporaneamente **FALSO**)
  - PRINCIPIO DI **NON CONTRADDIZIONE**  $p$  e  $\neg p$  non possono essere contemporaneamente **VERO**)



# LA TOPOLOGIA DEL TEMPO

**UNA TRAIETTORIA NEL TEMPO EQUIVALE AD UNA RELAZIONE DI ORDINE (prima → dopo)**

- **TOTALE (SCIENZE NATURALI)**

- LINEARE

- PERIODICO

- **PARZIALE (INFORMATICA)**

- RAMIFICATO NEL PASSATO (indagine di polizia)

- RAMIFICATO NEL FUTURO (pianificazione aziendale)

**IL PROBLEMA FILOSOFICO CONSISTE NEL CONSIDERARE UNA RAMIFICAZIONE DEL TEMPO O NEL TEMPO**



# LA STRUTTURA DEL TEMPO

- CONTINUO  $\rightarrow \mathcal{R}$  (numeri reali)
- DENSO  $\rightarrow \mathcal{Q}$  (numeri razionali)
- DISCRETO  $\rightarrow \mathcal{Z}$  (numeri interi)
  
- $\mathcal{Q}$  E  $\mathcal{Z}$  NON PONGONO PROBLEMI QUANTO ALL'ISTANTE DI SEPARAZIONE DEGLI INTERVALLI
  
- $\mathcal{R}$  E  $\mathcal{Q}$  ESCLUDONO UN TEMPO FINITO



# METRICHE TEMPORALI (1)

PERMETTONO DI PASSARE DA SISTEMI TEMPORALI QUALITATIVI A SISTEMI CRONOLOGICI

- **FUNZIONE DISTANZA**

- DISTANZA NULLA  $d(t,t')=0$  iff  $t=t'$
- DISEGUAGLIANZA TRIANGOLARE  $d(t,t') + d(t',t'') \geq d(t'',t')$

- **ELEMENTO DI RIFERIMENTO**

- L'ISTANTE 0 VIENE INTERPRETATO COME IL PRESENTE



# METRICHE TEMPORALI (2)

## ■ ORDINAMENTO LINEARE

CON LE STRUTTURE A TEMPO RAMIFICATO LA NOZIONE DI METRICA SI COMPLICHA

- DEFINIZIONE DI **SIMULTANEITÀ** TRA I DIVERSI RAMI
- **CONFRONTABILITÀ** DEGLI OROLOGI NEI DIVERSI RAMI



## **METRICHE TEMPORALI (3)**

### **UNITÀ DI MISURA → GRANULARITÀ**

- **DATE CRONOLOGICAMENTE STABILI**  
(4 Maggio 2018)
- **PSEUDO-DATE CRONOLOGICAMENTE INSTABILI** (ieri, oggi, domani)
- **PERIODICITÀ** (ogni 10 giorni)



# **APPLICAZIONI AL RAGIONAMENTO E ALLA PIANIFICAZIONE**

- **PIANIFICAZIONE DI ATTIVITÀ**
- **SISTEMI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI**
- **DIAGNOSI DI GUASTI**
- **SISTEMI PER L'UFFICIO**
- **BASI DI DATI DEDUTTIVE E TEMPORALI**



# **SISTEMI DI RAGIONAMENTO TEMPORALE**

**SONO PER LO PIÙ BASATI SUGLI  
INTERVALLI TEMPORALI DI ALLEN**

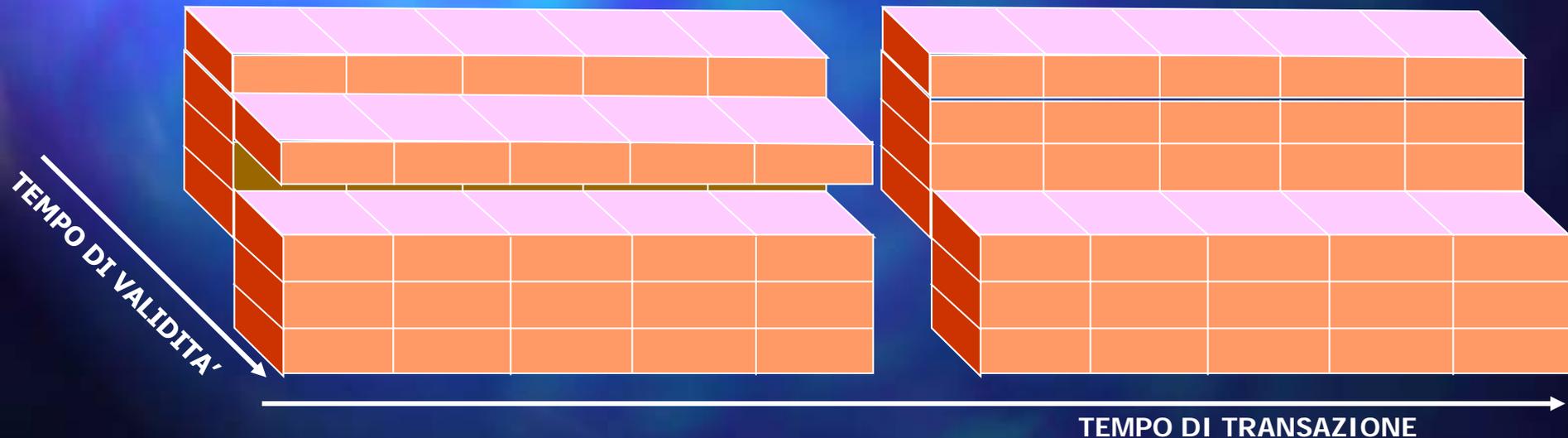
- **LE PROPRIETÀ DEGLI OGGETTI** VALGONO IN OGNI SOTTOINTERVALLO
- **GLI EVENTI** DEFINISCONO L'INTERVALLO NEL QUALE AVVENGONO
- **I PROCESSI** SI SVOLGONO IN QUALCHE SOTTOINTERVALLO

**LA MAGGIOR PARTE DEGLI AUTORI PREFERISCE IL  
CALCOLO DEL PRIMO ORDINE ALLA LOGICA  
MODALE**



# BASI DI DATI TEMPORALI (1)

- MANTENGONO LA STORIA COMPLETA DEGLI AGGIORNAMENTI
- PERMETTONO FORME COMPLESSE DI TRANSAZIONI TEMPORALI





## **BASI DI DATI TEMPORALI (2)**

- **SNAPSHOT**
  - **BASI DI DATI CONVENZIONALI**
- **ROLLBACK**
  - **TUTTI GLI SNAPSHOT MARCATE CON IL TEMPO DI TRANSAZIONE**
- **STORICHE**
  - **SOLO LE TUPLE VALIDE MARCATE CON IL TEMPO DI VALIDITÀ**
- **TEMPORALI**
  - **TUTTA LA STORIA DELLA BASE DI DATI**



# BASI DI DATI TEMPORALI (3)

## CONFRONTO TRA LINGUISTICA E BASI DI DATI TEMPORALI

### REICHENBACH

TEMPO DI PRONUNCIA

TEMPO DELL'EVENTO

TEMPO DI RIFERIMENTO



### SNODGRASS

TEMPO DI INTERROGAZIONE

TEMPO DI VALIDITÀ

TEMPO DI TRANSAZIONE

Ieri Svetonio raccontò  
che Cesare giunse a Roma

un mese dopo il passaggio del Rubicone  
e vi rimase per il resto dei suoi giorni

TP/TI

TR/TT

TE/TV



# APPLICAZIONI ALL'INGEGNERIA DEL SOFTWARE (1)

- LA PROGRAMMAZIONE **SEQUENZIALE** NON PRESENTA PARTICOLARI PROBLEMI DI TEMPORIZZAZIONE
- LA PROGRAMMAZIONE **CONCORRENTE** RICHIEDE UN'ANALISI DI TEMPORIZZAZIONE
  - LOGICA PROPOSIZIONALE E CALCOLO DEL PRIMO ORDINE VENGONO UTILIZZATI PER L'ANALISI STATICA
  - LA LOGICA MODALE SERVE PER COGLIERE LA DINAMICA
- SISTEMI **REATTIVI**
  - INTERAGISCONO CON L'AMBIENTE
  - NON TERMINANO



# APPLICAZIONI ALL'INGEGNERIA DEL SOFTWARE (2)

## PROPRIETÀ DEI SISTEMI REATTIVI

- **SAFETY** → non accadrà alcunchè di male
  - ESPRESSA CON LA CLAUSOLA MODALE **ALWAYS** (NECESSITÀ)
    - CORRETTEZZA PARZIALE
    - ASSENZA DI DEADLOCK
- **LIVENESS** → qualche cosa di buono succederà
  - ESPRESSA CON LA CLAUSOLA MODALE **SOMETIMES** (POSSIBILITÀ)
    - CORRETTEZZA TOTALE
    - RESPONSABILITÀ
- **FAIRNESS** → qualche evento precede sempre qualche altro evento
  - ESPRESSA CON LA CLAUSOLA MODALE **UNTIL**
    - NON ESISTONO RISPOSTE NON RICHIESTE
    - LE RISPOSTE RISPETTANO LE PRECEDENZE



# APPLICAZIONI ALL'INGEGNERIA DEL SOFTWARE (3)

- LA LOGICA **MODALE** VIENE PREFERITA A QUELLA STANDARD
- I MODELLI DEL TEMPO SONO **DISCRETI**
- GLI **ISTANTI** O GLI **EVENTI** VENGONO ASSUNTI COME ENTITÀ FONDAMENTALI



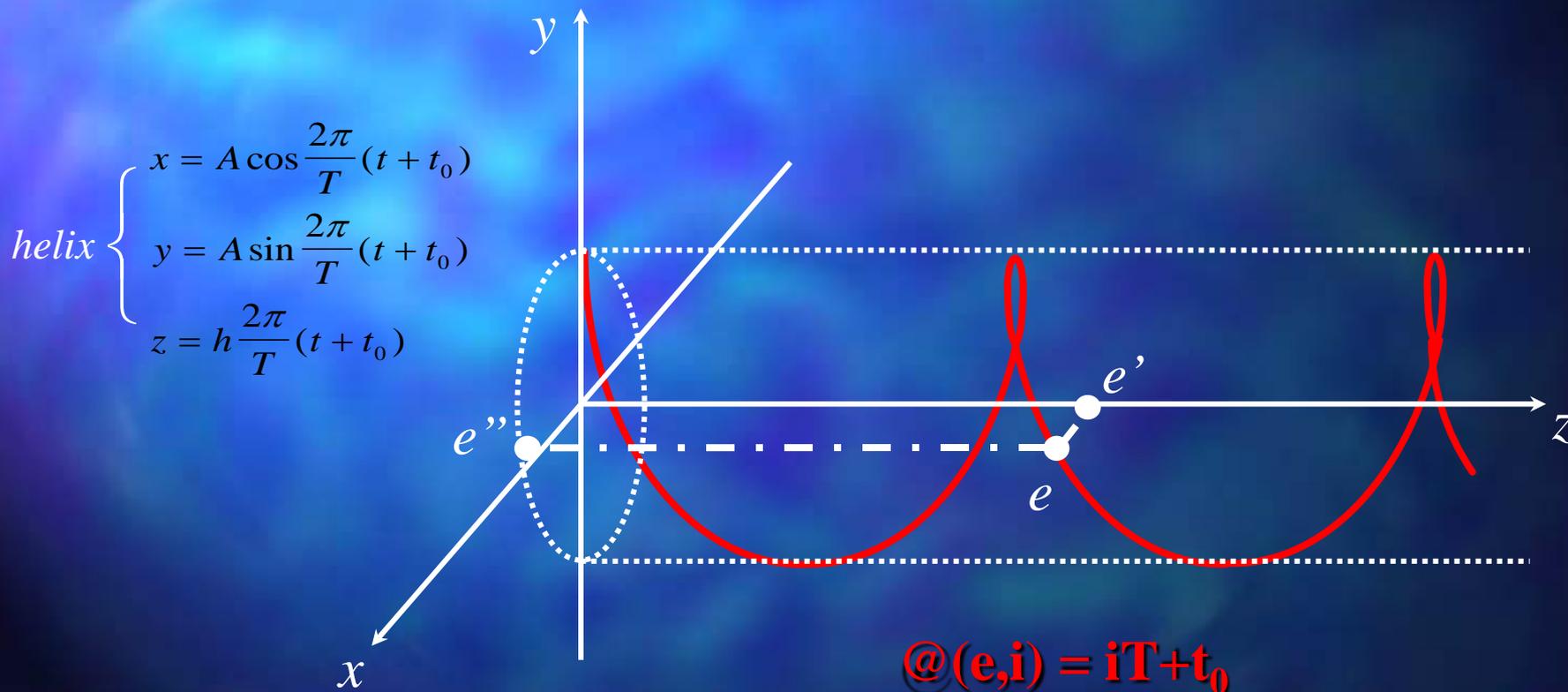
# APPLICAZIONI ALL'INGEGNERIA DEL SOFTWARE (4)

- **SISTEMI DI VERIFICA**
  - **CALCOLO PROPOSIZIONALE**
  - **TOPOLOGIE LINEARI O RAMIFICATE**
  - **NON METRICI**
  
- **LINGUAGGI DI SPECIFICA PER R-T**
  - **CALCOLO DEI PREDICATI DEL 1° ORDINE**
  - **TOPOLOGIA LINEARE**
  - **METRICI**



# LINGUAGGI DI SPECIFICA PER R-T

## TOPOLOGIA DELLA FUNZIONE @ IN RTL





# OROLOGI MOLLI, LA PERSISTENZA DELLA MEMORIA





# BIBLIOGRAFIA

- Schreiber F.A. – Il tempo dell'Informatica è un tempo reale? –KOS, n. 141 giugno, pp. 34-39, (1997)  
<http://www.elet.polimi.it/upload/schreibe/listpub.html>
- Redondi P. - Storie del Tempo – Laterza 2007, pp.391
- Schreiber F.A. – Is Time a Real Time? An Overview of Time Ontology in Informatics – in W.A. Halang, A.D. Stoyenko (Eds.) – Real Time Computing – , Springer Verlag NATO-ASI Vol. F127, pp. 283-307, (1994)  
<http://www.elet.polimi.it/upload/schreibe/listpub.html>
- Pizzi C. – La logica del tempo – Boringhieri 1974, pp. 410
- Rovelli C. - L'ordine del tempo – Adelphi 2017, pp. 207