A.C.A. – Associazione Cernuschese Astrofili

LA FRECCIA DEL TEMPO

by Andrea Grieco

"Cos'è dunque il tempo? Se nessuno me lo chiede, lo so, se voglio spiegarlo a uno che me lo domanda, non lo so più"

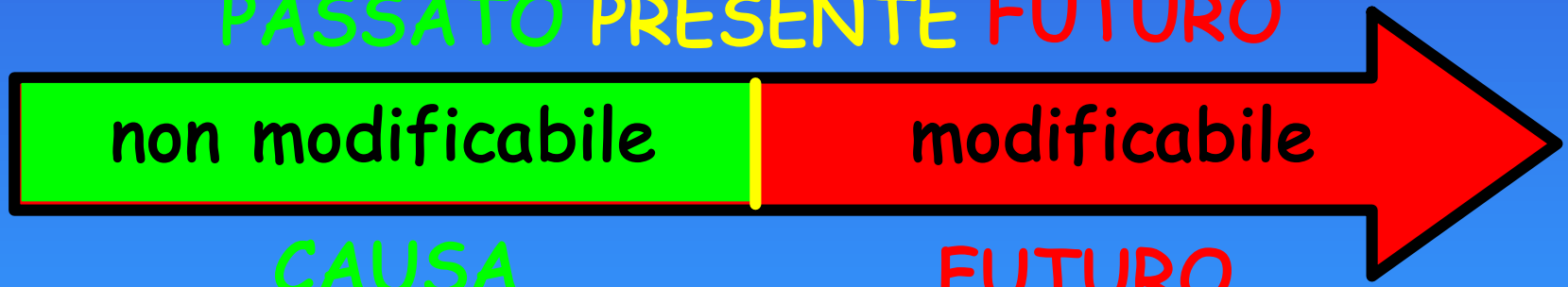
S. Agostino "Confessioni"

"La persistenza della memoria"
S. Dalì

LA FRECCIA DEL TEMPO

Nell'Universo i fenomeni sembrano accadere in un ordine ben definito che separa nettamente il passato dal futuro, secondo un rapporto di causa ed effetto che non può essere invertito

PASSATO PRESENTE FUTURO



CAUSA FUTURO

ESISTE REALMENTE UN ORIENTAMENTO DEL TEMPO O, COME DISSE EDDINGTON, UNA

"FRECCIA DEL TEMPO"?

ETERNI CICLI?

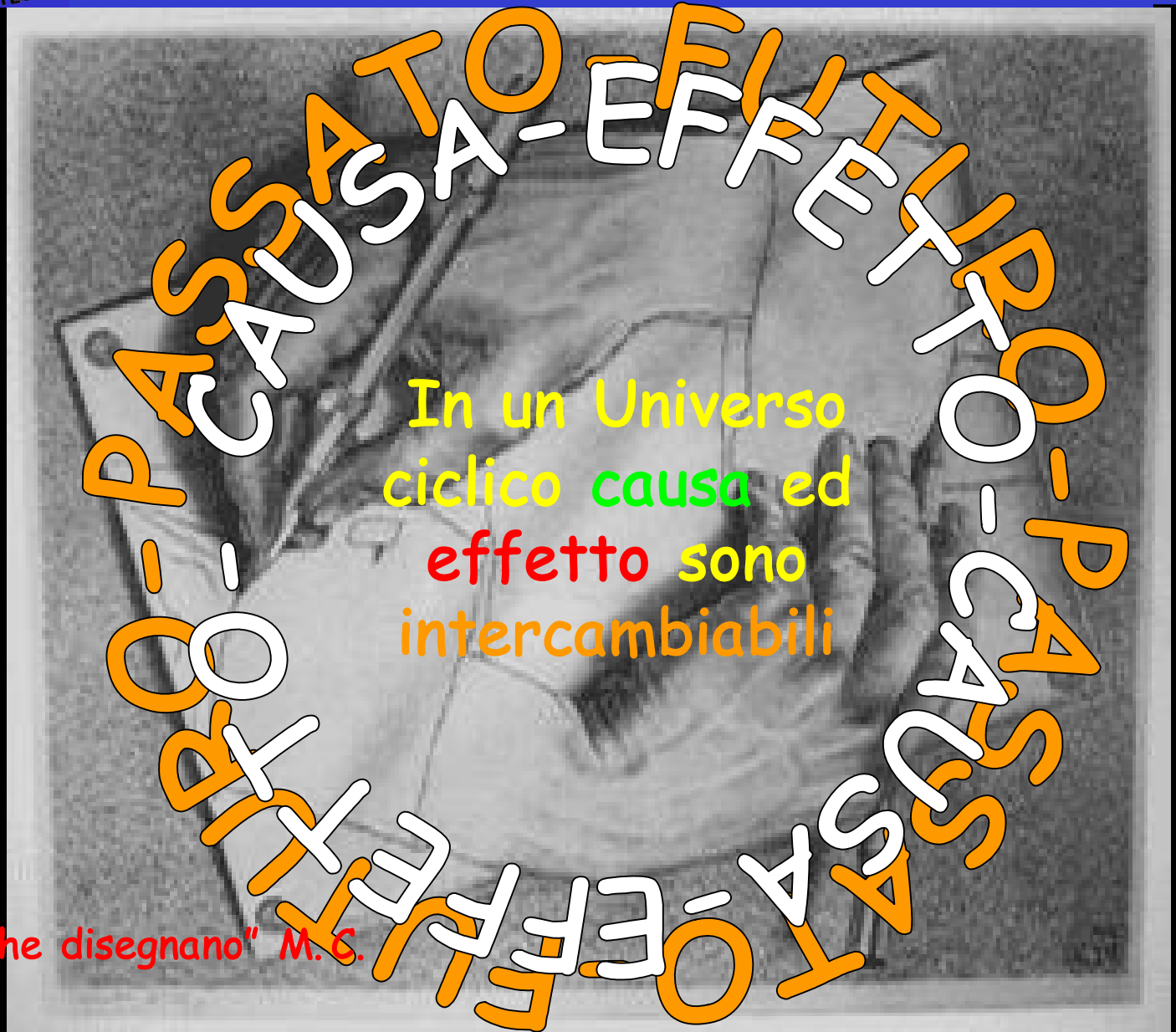
I fenomeni ciclici naturali sono indice dello "scorrere del tempo"?

PASSATO → FUTURO

FUTURO ← PASSATO

Molti fenomeni ciclici naturali appaiono eterni, ma non lo sono

CAUSA-EFFETTO

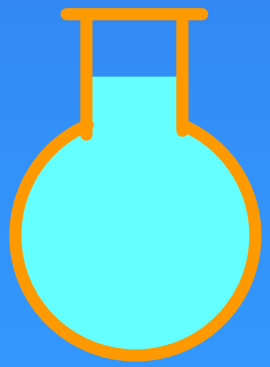


"Mani che disegnano" M.C. Escher

COCCI…

Molti fenomeni naturali non sono ciclici, questi fenomeni determinano una distinzione tra passato e futuro

INTERA



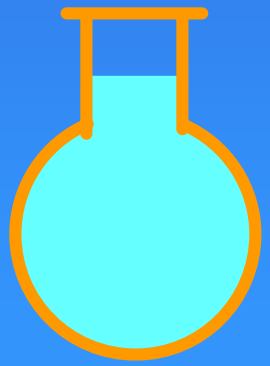
PASSATO → FUTURO

~~FUTURO ← PASSATO~~

ROTTA

IRREVERSIBILITA'

INTERA



PASSATO → FUTURO

~~FUTURO ← PASSATO~~

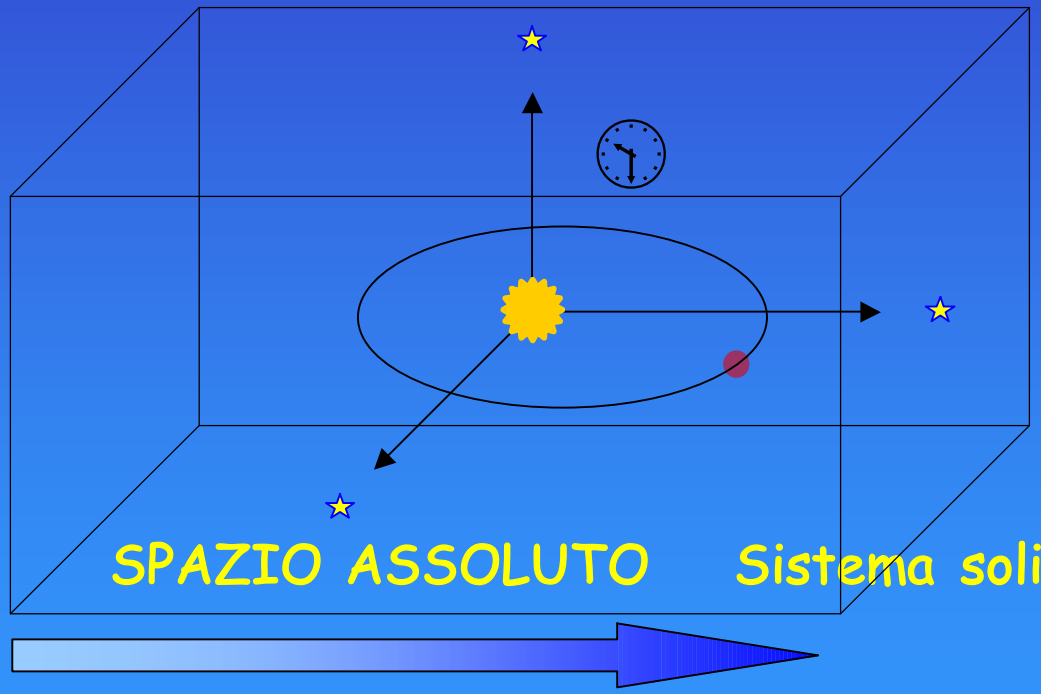
ROTTA

IRREVERSIBILITA'

IL TEMPO DI NEWTON

"Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente "

I. Newton "Principia"



SPAZIO ASSOLUTO Sistema solidale con le stelle fisse

TEMPO ASSOLUTO Tempo delle effemeridi

1° $\underline{V}$ = cost. lontano da altri corpi

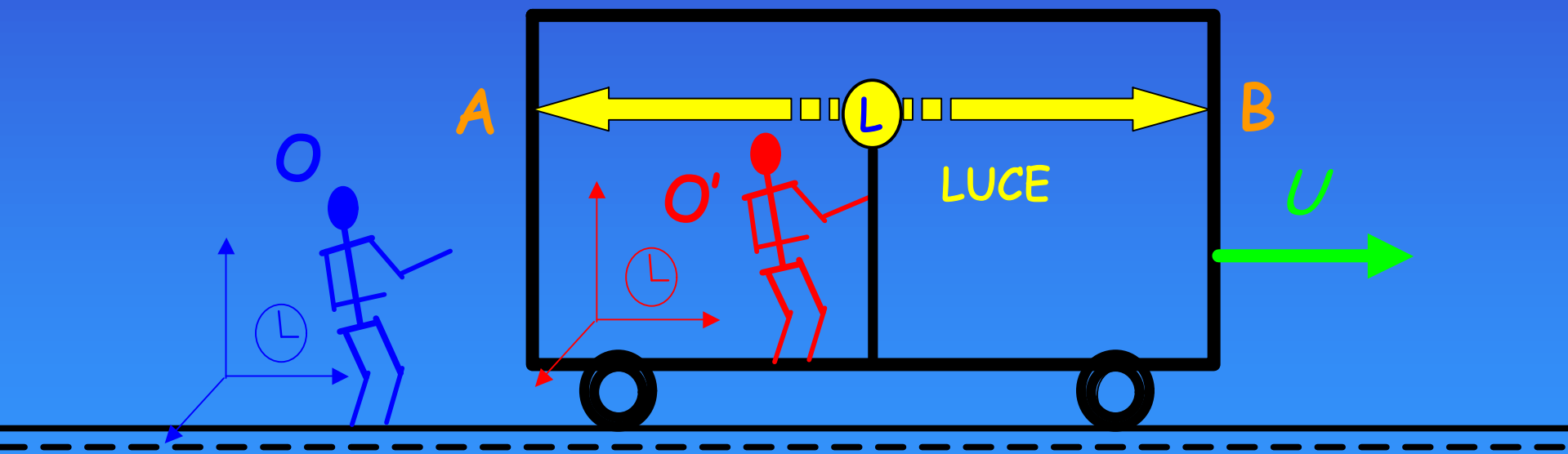
2° $\underline{F} = m\underline{a}$

3° $\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21}$

TEMPO ASSOLUTO

TEMPO ASSOLUTO

- Scorre indipendentemente dai fenomeni che avvengono nello spazio
- E' uguale per tutti gli osservatori
- Il concetto di simultaneità è assoluto



O: "A e B sono illuminati SIMULTANEAMENTE"

O': "A e B sono illuminati SIMULTANEAMENTE"

DETERMINISMO

"Un'intelligenza che, ad un dato istante, conoscesse tutte le forze da cui è animata la natura e la situazione degli esseri rispettivi che la compongono, se per di più fosse abbastanza profonda per sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe nella stessa formula i movimenti dei più grandi corpi dell'Universo e dell'atomo più leggero: nulla sarebbe incerto per essa e l'avvenire come il passato sarebbe presente ai suoi occhi" P.S. de Lapalce "*Essai philosophique sur le probabilités*"

TUTTO SI CALCOLA

FORZE

POSIZIONI E VELOCITA' AD UN DATO ISTANTE

LEGGI DELLA MECCANICA

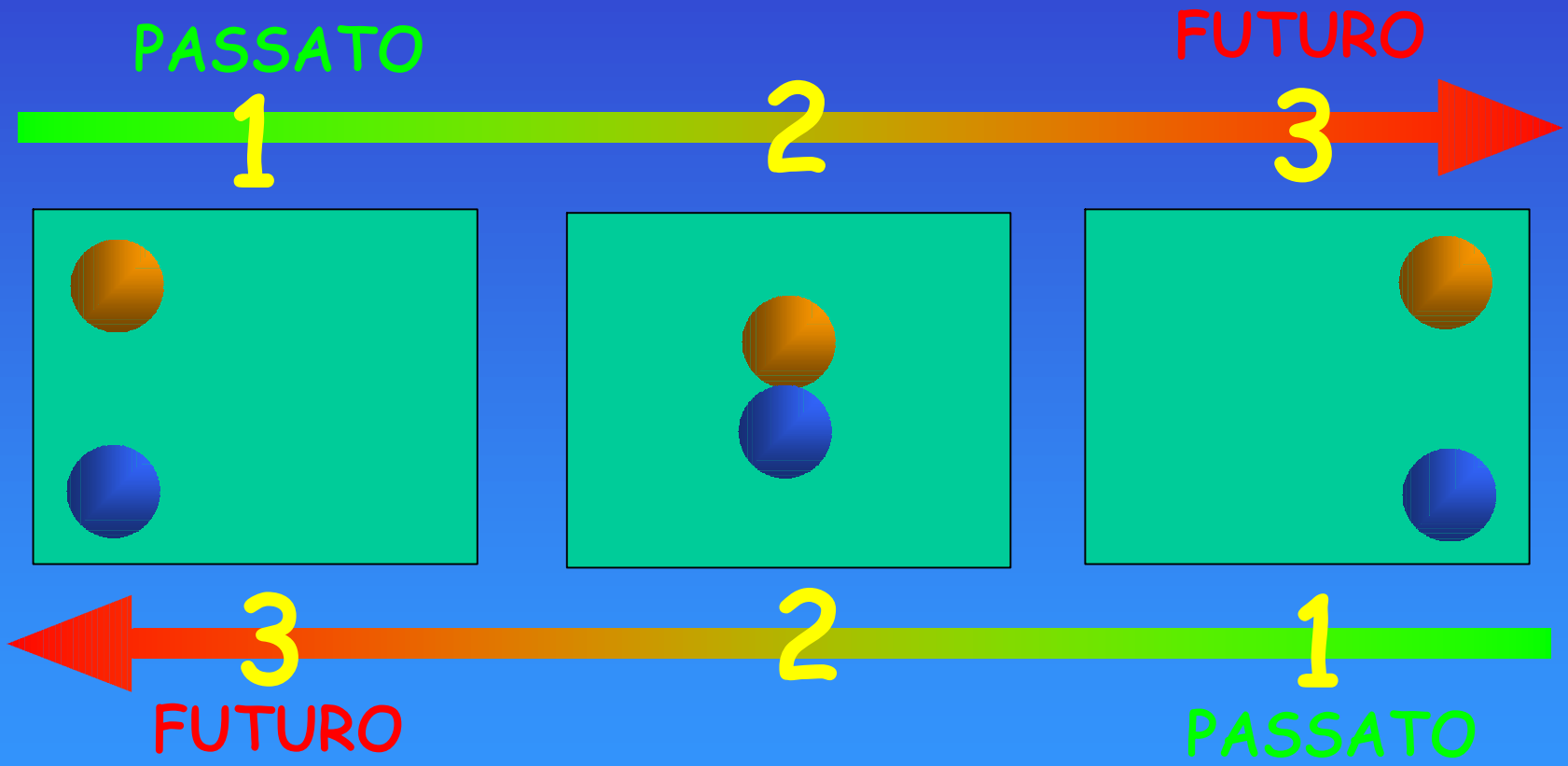
POSIZIONI E VELOCITA' AD UN ISTANTE QUALSIASI

POSSIAMO CALCOLARE LA POSIZIONE DEI PIANETI IN QUALUNQUE ISTANTE DEL PASSATO O DEL FUTURO

FONTE NASA

DA CHE PARTE PER IL FUTURO?

LE LEGGI DELLA DINAMICA NON "DICONO" DA CHE PARTE IL TEMPO DEBBA SCORRERE



LE DUE SEQUENZE TEMPORALI SONO ENTRAMBE POSSIBILI

RIBALTARE IL TEMPO

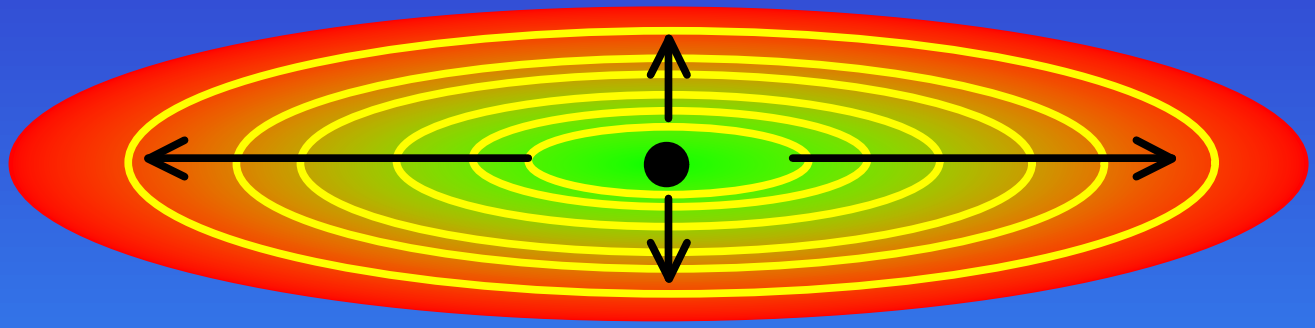
LE LEGGI DELLA DIMAMICA CLASSICA SONO INVARIANTI PER INVERSIONE TEMPORALE

t	$-t$
$\underline{V} = \Delta\underline{s}/\Delta t$	$\underline{V} = \Delta\underline{s}/\Delta(-t) = -\underline{V}$
$\underline{a} = \Delta\underline{V}/\Delta t$	$\underline{a} = \Delta(-\underline{V})/\Delta(-t)$
$\underline{F} = \underline{F}(\underline{r})$	$\underline{F} = \underline{F}(\underline{r})$
$\underline{F} = m\underline{a}$	$\underline{F} = m\underline{a}$

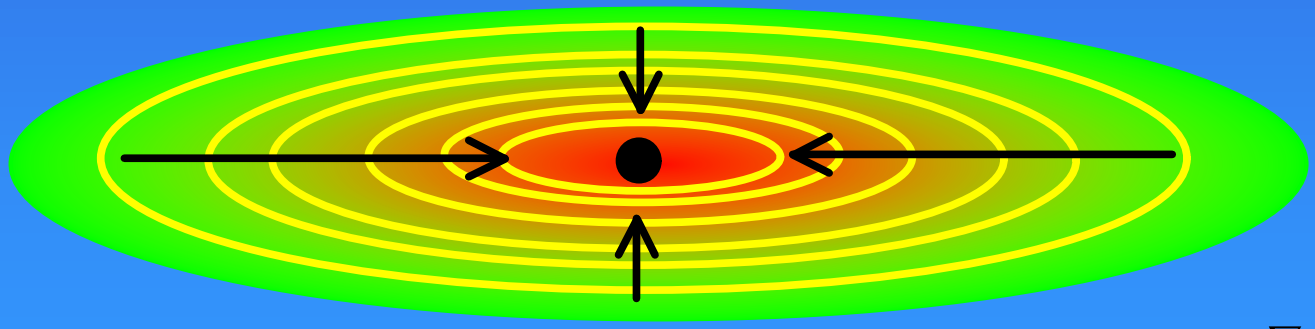
LA FRECCIA RADIATIVA

J.C. Maxwell "*Treatise on Electricity and Magnetism*" 1873

EQUAZIONI DI MAXWELL SIMMETRICHE RISPETTO AL TEMPO



ONDE RITARDATE



ONDE ANTICIPATE

$$\nabla \cdot \vec{D} = 4\pi\rho$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

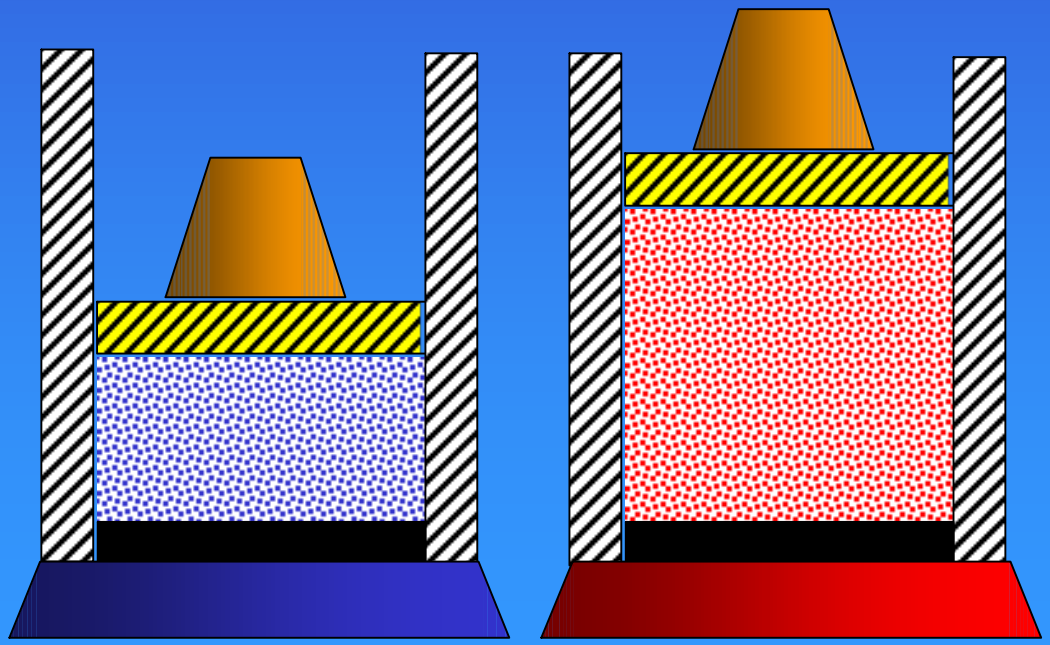
$$\nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c}(4\pi \vec{j} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$$

L'ELETTROMAGNETISMO NON DISTINGUE PASSATO E FUTURO

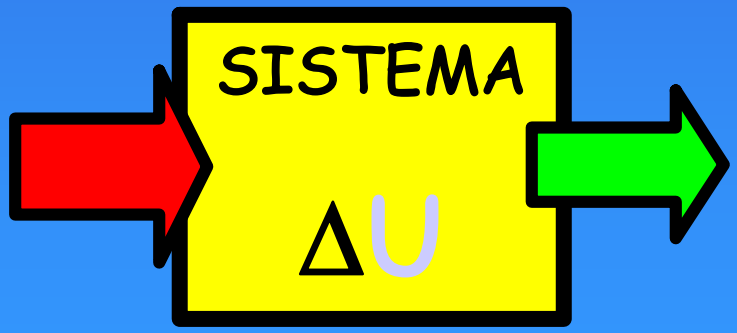
NULLA SI CREA…

TERMODINAMICA: STUDIA LO SCAMBIO DI ENERGIA TRA SISTEMI, IN PARTICOLARE ENERGIA MECCANICA E TERMICA

PRIMO PRINCIPIO: IL CALORE FORNITO AD UN SISTEMA E' UGUALE AL LAVORO PRODOTTO PIU' LA VARIAZIONE DI ENERGIA INTERNA (CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA)

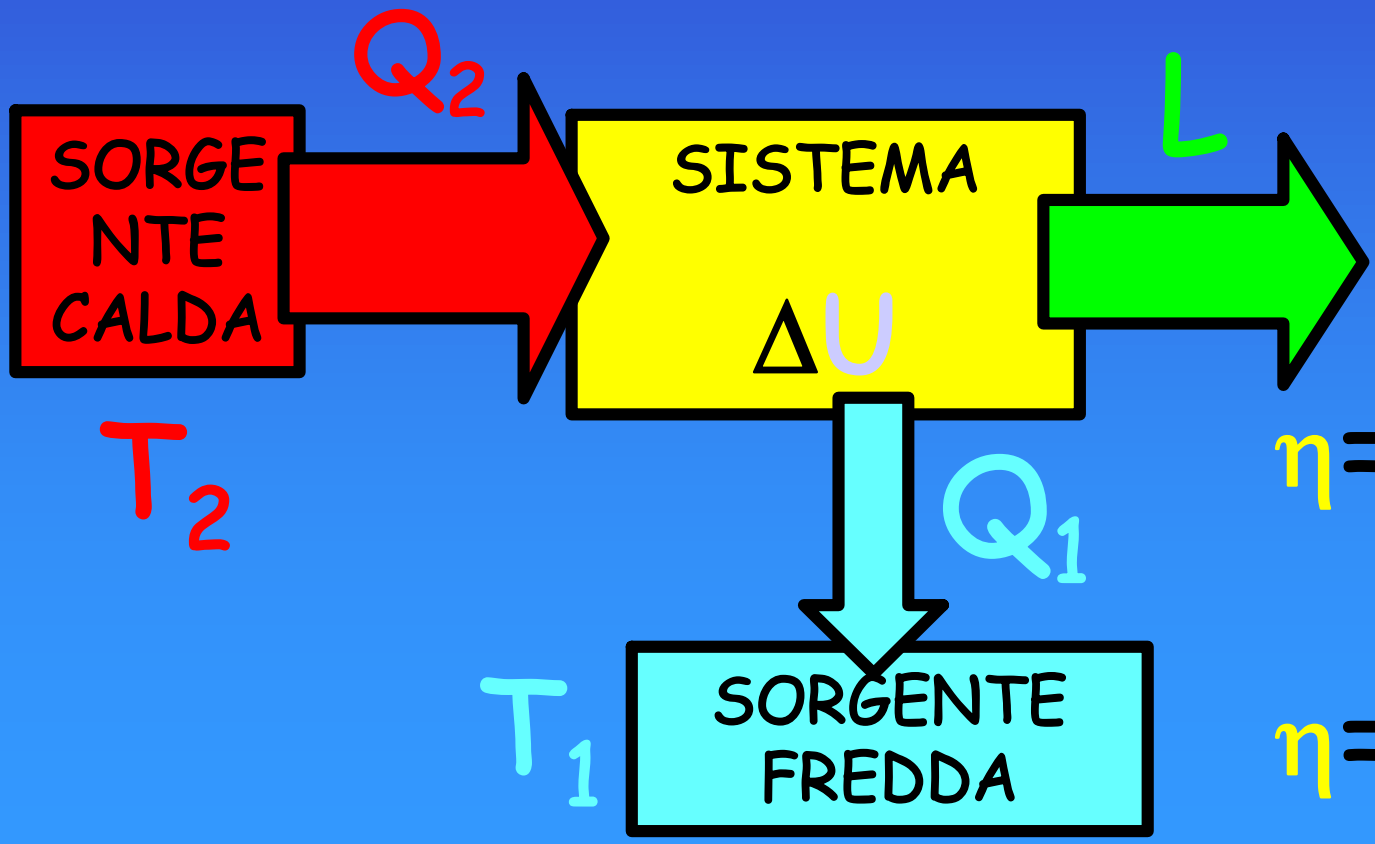


$$Q = L + \Delta U$$



…MA QUALCOSA SI PERDE

SECONDO PRINCIPIO: E' IMPOSSIBILE REALIZZARE UNA TRASFORMAZIONE TERMODINAMICA IL CUI UNICO RISULTATO SIA CONVERTIRE INTEGRALMENTE IN LAVORO IL CALORE PRELEVATO DA UNA SOLA SORGENTE (KELVIN)



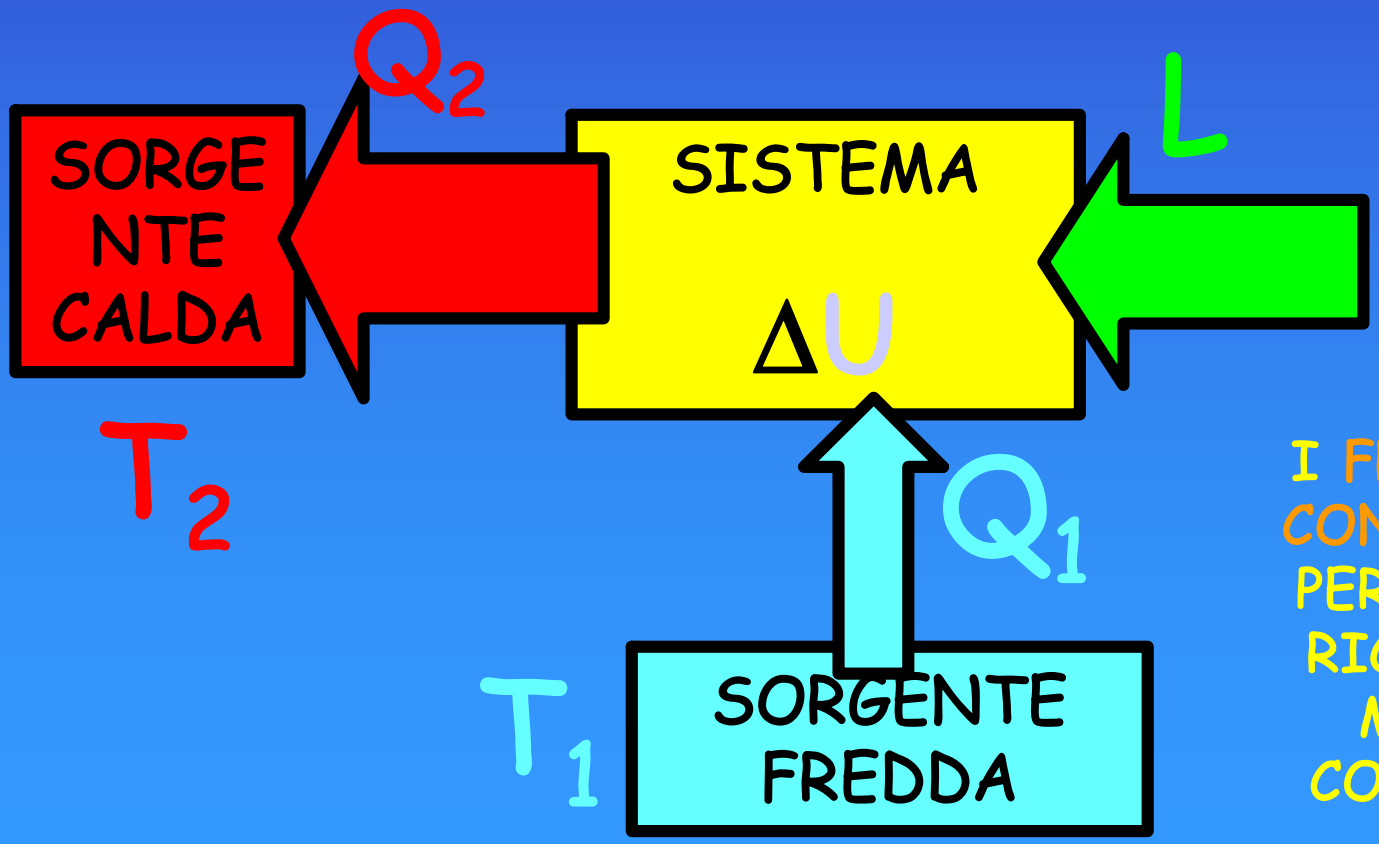
$$\eta = L / Q_2$$

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$$

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

RAFFREDDARE

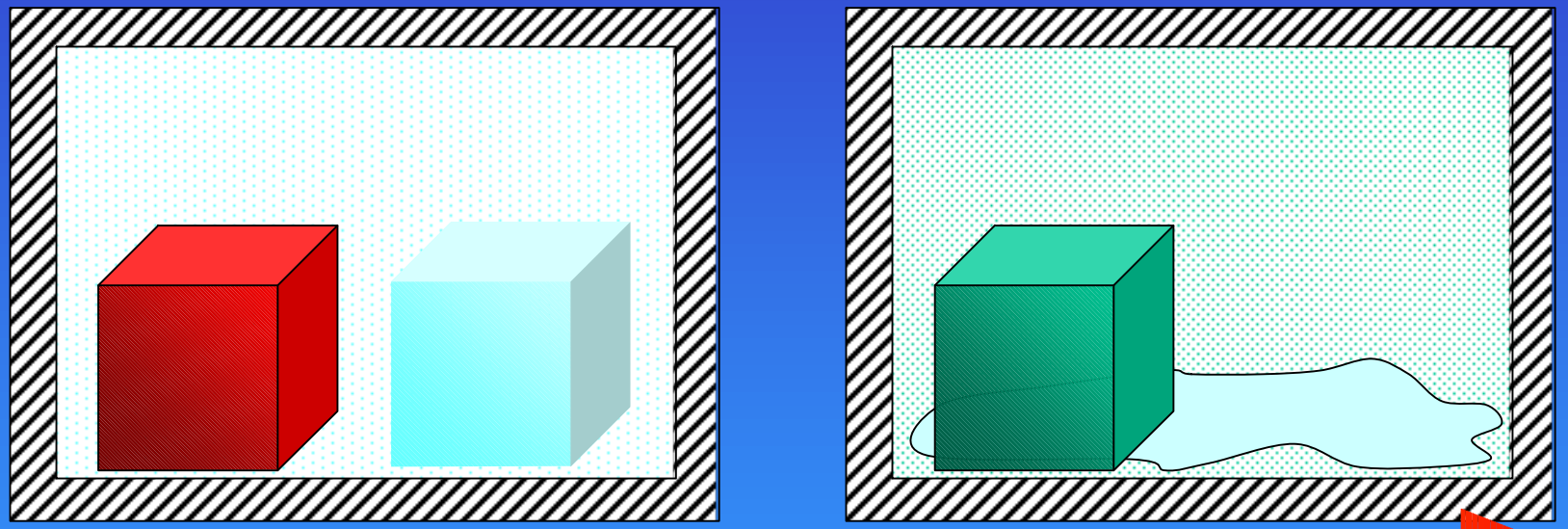
SECONDO PRINCIPIO: E' IMPOSSIBILE REALIZZARE UNA TRASFORMAZIONE TERMODINAMICA IL CUI UNICO RISULTATO SIA TRASFERIRE CALORE DA UN CORPO AD UN ALTRO A TEMPERATURA SUPERIORE (CLAUSIUS)



I FRIGORIFERI E I CONDIZIONATORI PER FUNZIONARE RICHIEDONO UN MOTORE CHE COMPIA LAVORO

LA FRECCIA TERMODINAMICA

IL CALORE FLUISCE SPONTANEAMENTE DAI CORPI A TEMPERATURA PIU' ALTA A QUELLI A TEMPERATURA PIU' BASSA



FRECCIA TERMODINAMICA

PASSATO

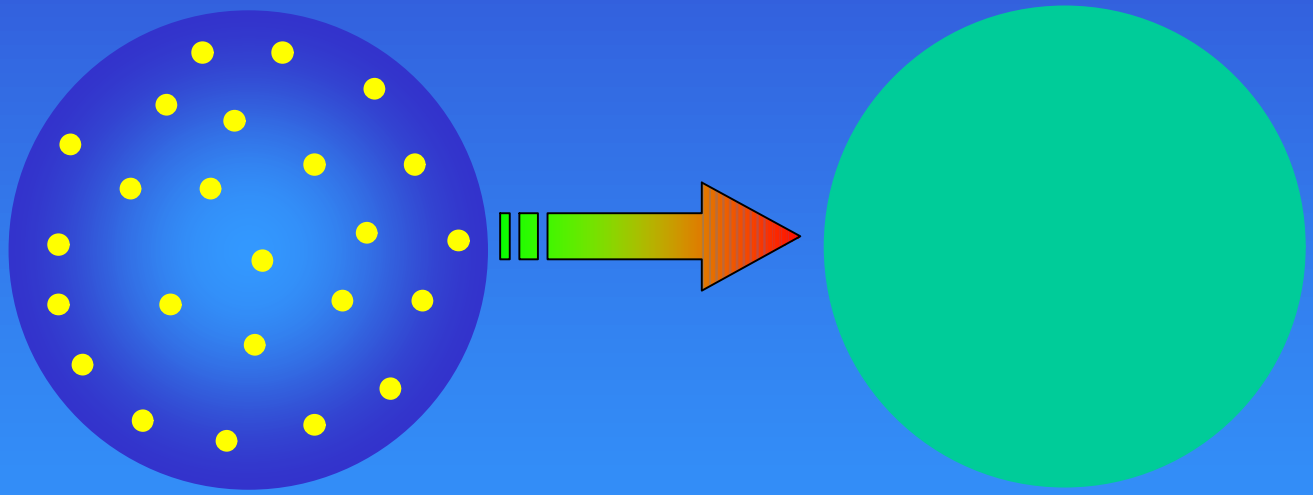
FUTURO

I SISTEMI ISOLATI EVOLVONO VERSO L'EQUILIBRIO TERMICO

IL FLUSSO SPONTANEO DI CALORE DISTINGUE IL PASSATO DAL FUTURO E DETERMINA LA FRECCIA TERMODINAMICA

LA MORTE TERMICA

1854 H. von Helmholtz MORTE TERMICA: L'UNIVERSO COME SISTEMA ISOLATO TENDE VERSO UNO STATO DI EQUILIBRIO TERMICO IN CUI OGNI SCAMBIO ENERGETICO CESSA



PASSATO

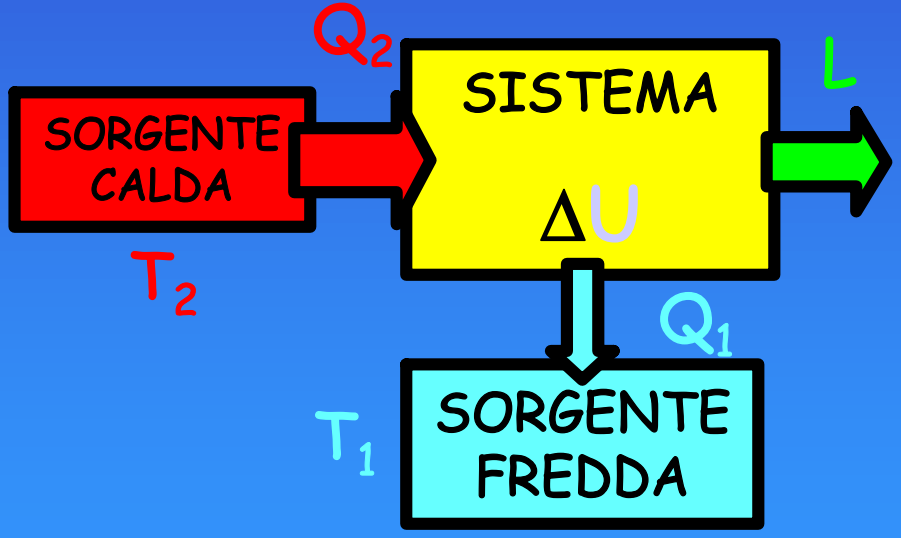
FUTURO

IL DESTINO DELL'UNIVERSO E' UNA LENTA MORTE TERMICA?

ENTROPIA

1864 R. Clausius *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*

LA VARIAZIONE DI ENTROPIA E' LA SOMMA DEI CALORI SCAMBIATI REVERSIBILMENTE DA UN SISTEMA DURANTE UNA TRASFORMAZIONE TERMODINAMICA CIASCUNO DIVISO PER LA TEMPERATURA ASSOLUTA ALLA QUALE AVVIENE



$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{rev}}{T}$$

$$\Delta S = \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1}$$

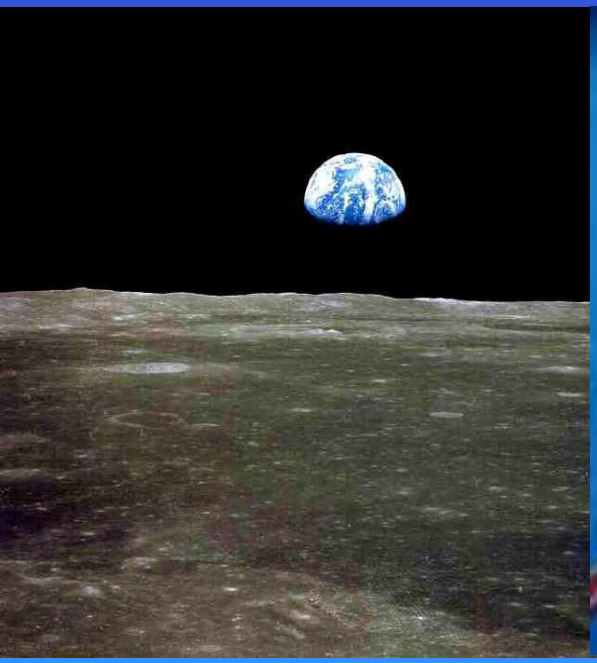
IN UN SISTEMA ISOLATO L'ENTROPIA NON PUO' MAI DIMINUIRE

UNA CORSA INARRESTABILE?

"Il tempo, come un flusso inesauribile, porta via con se tutti i suoi figli" I. Watts

MECCANICA STATISTICA

PER SISTEMI COSTITUITI DA "MOLTE PARTICELLE" (N> 2) NON E' POSSIBILE IN GENERALE RISOLVERE LE EQUAZIONI DI MOTO



NUMERO PARTICELLE

MECCANICA + STATISTICA = MECCANICA STATISTICA

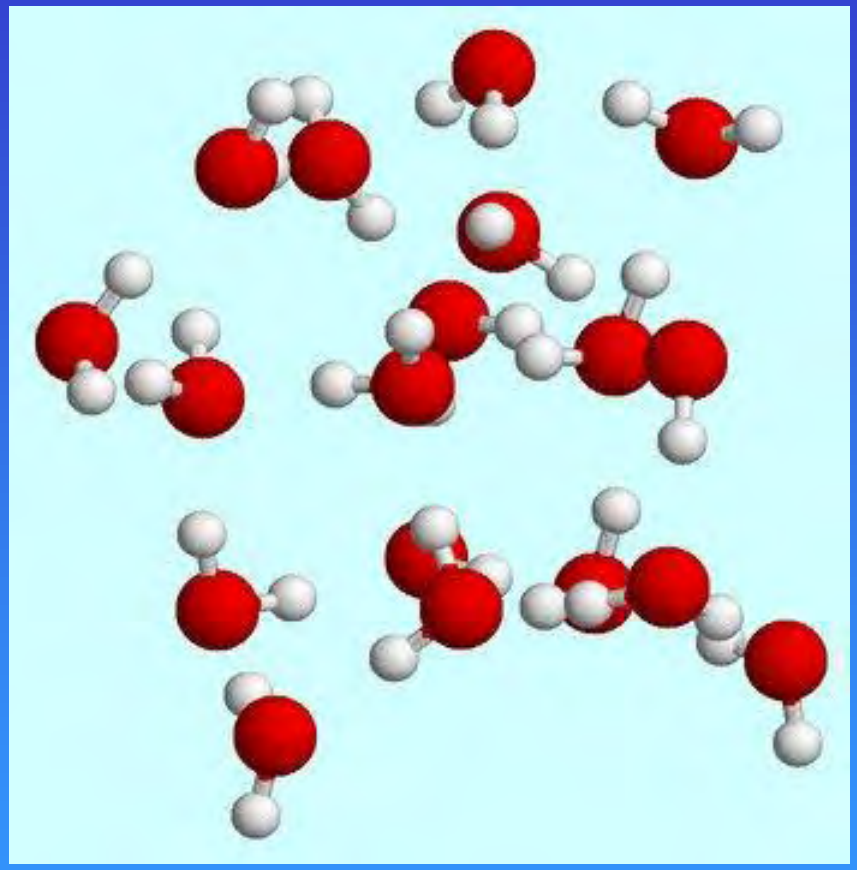
MACROSTATI

I SITEMI COSTITUITI DA MOLTE PARTICELLE SONO DESCRITTI DA GRANDEZZE MACROSCOPICHE QUALI VOLUME, PRESSIONE E TEMPERATURA

$$N_A = 6 \times 10^{23}$$

LE VARIABILI DI STATO INDIVIDUANO IL MACROSTATO DEL SISTEMA

MICROSTATI

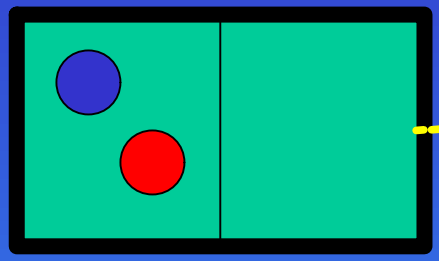
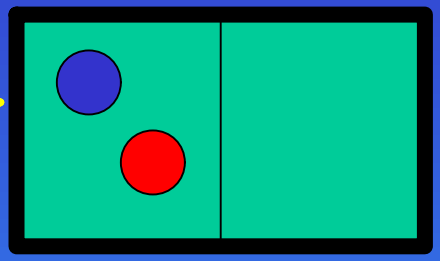
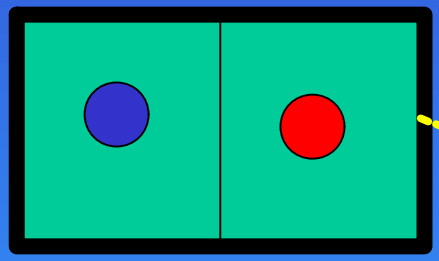
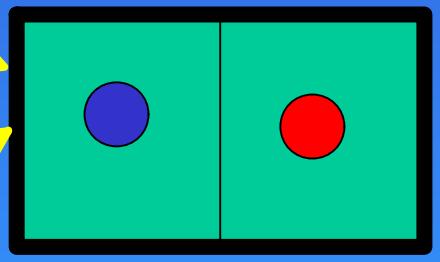
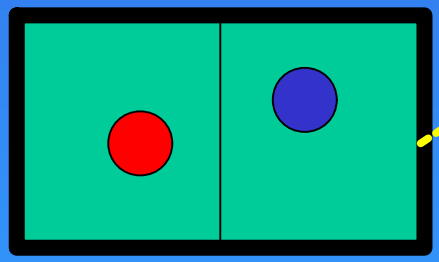
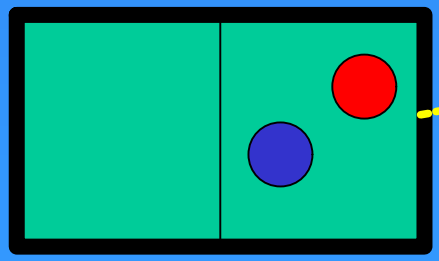
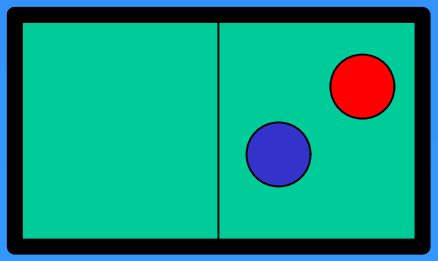


CIASCUNA PARTICELLA COSTITUENTE IL SISTEMA PUO' ESSERE DESCRITTA MEDIANTE LA SUA POSIZIONE E LA SUA VELOCITA' AD UN CERTO ISTANTE

$$N_A = 6 \times 10^{23}$$

LE VARIABILI DINAMICHE DI TUTTE LE PARTICELLE INDIVIDUANO IL MICROSTATO DEL SISTEMA

IL CAOS ENTRA IN GIOCO

PROBABILITA'	MICROSTATI	MACROSTATI	PROBABILITA'
1/4			1/4
1/4			1/2
1/4			
1/4			1/4

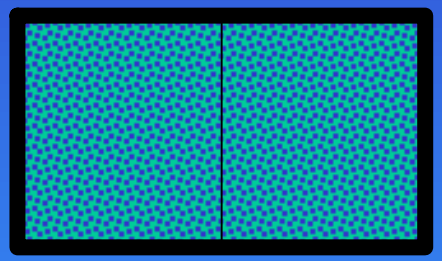
IL CAOS ENTRA IN GIOCO

"La lotta generale per l'esistenza degli esseri viventi non è una lotta per l'energia, [...] ma è una lotta per l'entropia" L. Boltzmann

PROBABILITA' MICROSTATO

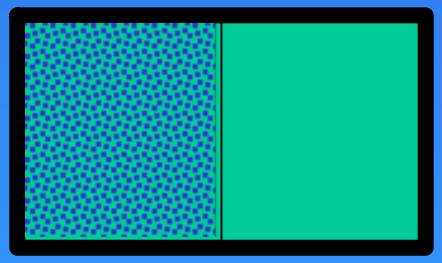
PROBABILITA' MACROSTATO

$1/2^N \sim 0$



~ 1

$1/2^N \sim 0$



$1/2^N \sim 0$

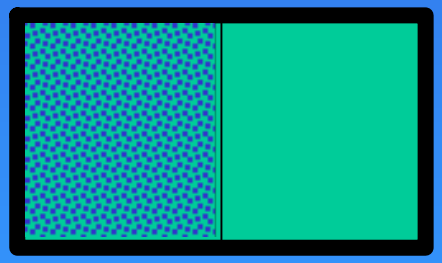
I SISTEMI ISOLATI EVOLVONO SPONTANEAMENTE VERSO I MACROSTATI PIU' PROBABILI

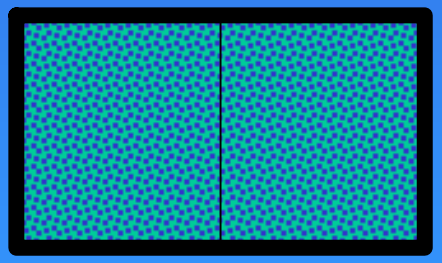
IL DISORDINE AUMENTA

"La lotta generale per l'esistenza degli esseri viventi non è una lotta per l'energia, [...] ma è una lotta per l'entropia" L. Boltzmann

BOLTZMANN COLLEGA L'ENTROPIA S AL NUMERO W DI MICROSTATI DEL SISTEMA CORRISPONDENTI A UN DATO MACROSTATO

$$S = k_B \ln W$$





W_A W_B

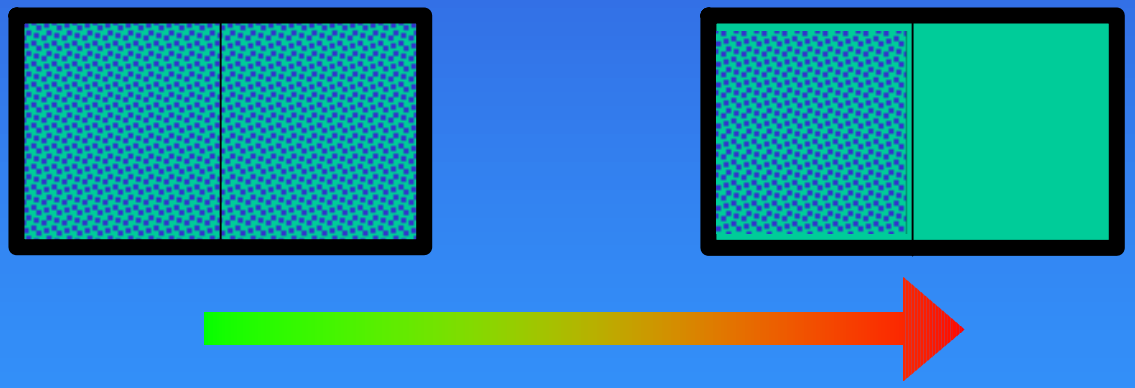
FRECCIA PROBABILISTICA

PASSATO FUTURO

RIACCENDERE LE STELLE?

"Il tempo scorrerà all'indietro e riporterà l'età dell'oro" j. milton

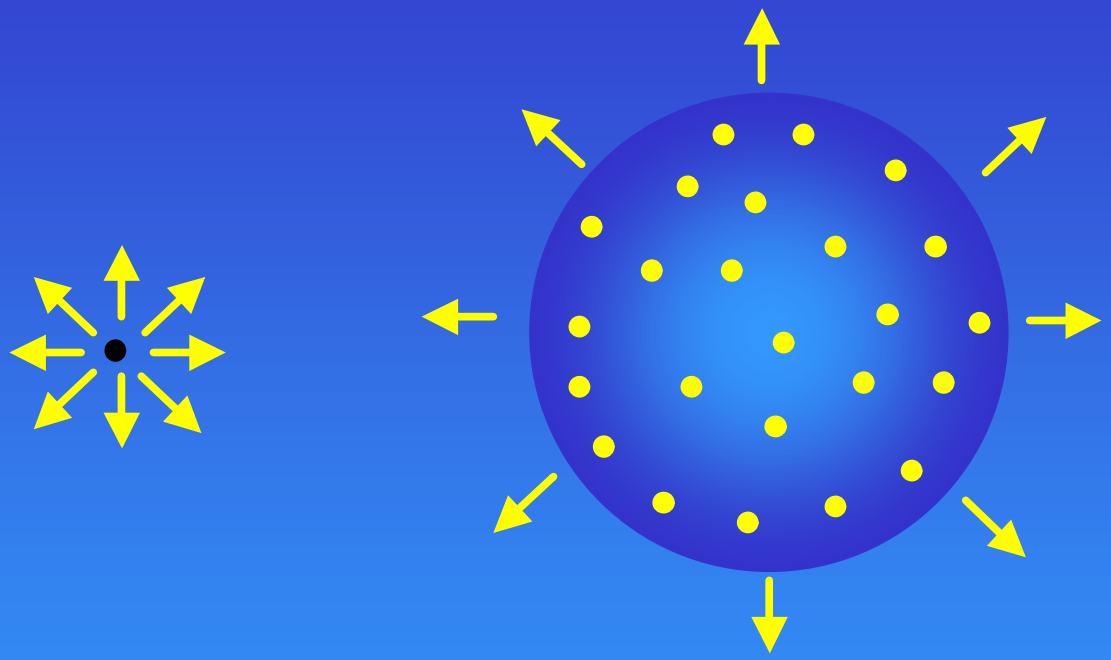
1890 H. Poincaré TEOREMA DI RICORRENZA: UN SISTEMA DINAMICO, DOPO UN TEMPO SUFFICIENTEMENTE LUNGO, TORNA IN UNO STATO PROSSIMO QUANTO SI VUOLE ALLO STATO INIZIALE



$$t_R \div 2^N$$

LA FRECCIA COSMOLOGICA

IL TEMPO SCORRE NEL VERSO DI ESPANSIONE DELL'UNIVERSO



FRECCIA COSMOLOGICA

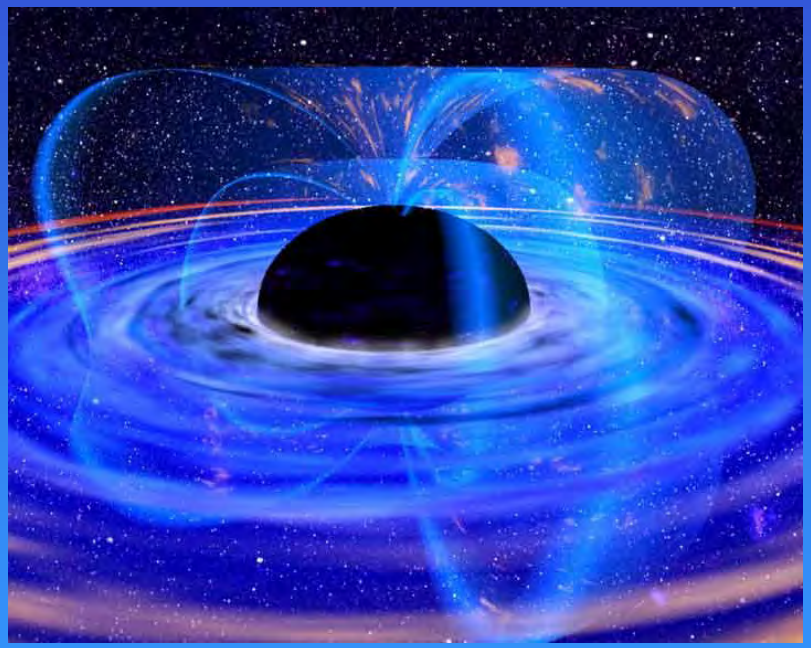
PASSATO

FUTURO

COSA ACCADRA' ALLA FRECCIA NEL CASO L'ESPANSIONE DOVESSE TRASFORMARSI IN CONTRAZIONE?

LO SPAZIO INGHIOTTE IL TEMPO

S. HAWKING, J. BEKENSTEIN LA SUPERFICIE DELL'ORIZZONTE DEGLI EVENTI DI UN BUCO NERO SI COMPORTA COME L'ENTROPIA



$$S_{BH} \div A/l_P^2$$

AI BUCHI NERI E' ASSOCIATA UNA TEMPERATURA ED EMETTONO ENERGIA

$$T_{BH} \div 1/M$$

I BUCHI NERI "EVAPORANO"!!!

$$t_{BH} \sim (M/M_\odot)^3 \times 10^{66}\ y$$

L'EQUAZIONE D'ONDA

1926 E. SCHRÖDINGER *"Quantisierung als Eigenwertproblem" An. Ph.*

AD OGNI PARTICELLA E' ASSOCIATA UN'ONDA
DESCRITTA DA UNA FUNZIONE

I VALORI CHE ASSUME LA FUNZIONE SONO LEGATI ALLA PROBABILITA' DI RILEVARE LA PARTICELLA IN UN CERTO PUNTO DELLO SPAZIO-TEMPO

L'EVOLUZIONE DELLA FUNZIONE D'ONDA ψ E' DETERMINATA DALL'EQUAZIONE DI SCRÖDINGER

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi = H\psi$$

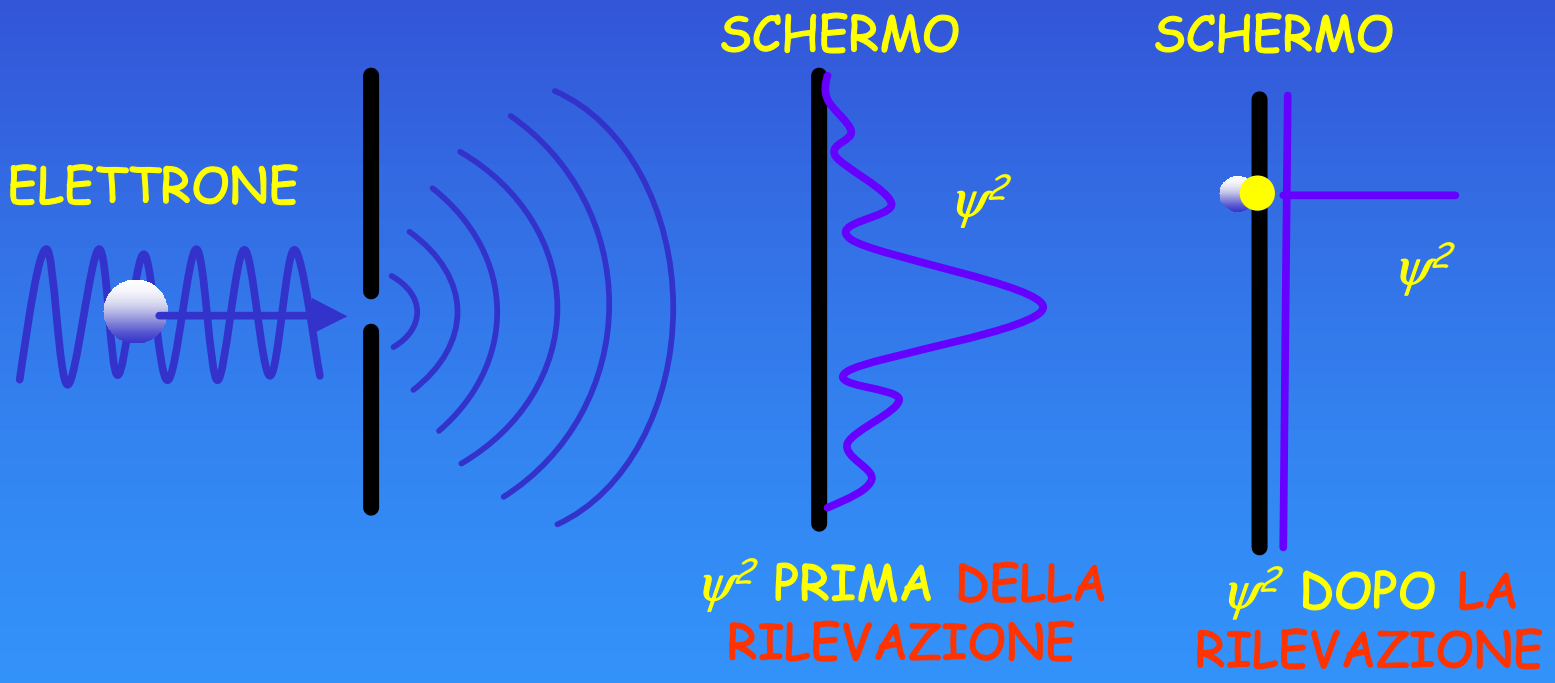
EQUAZIONE DI SCHRÖDINGER

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi + V(x)$$

OPERATORE HAMILTONIANO

IL COLLASSO DEL TEMPO

L'EVOLUZIONE DELLA FUNZIONE D'ONDA E' SIMMETRICA RISPETTO AL TEMPO MA NON LO E' IL COLLASSO DELLA FUNZIONE QUANDO SI COMPIE UN'OSSERVAZIONE



L'OSSERVAZIONE DI UNA GRANDEZZA E' UN FENOMENO IRREVERSIBILE

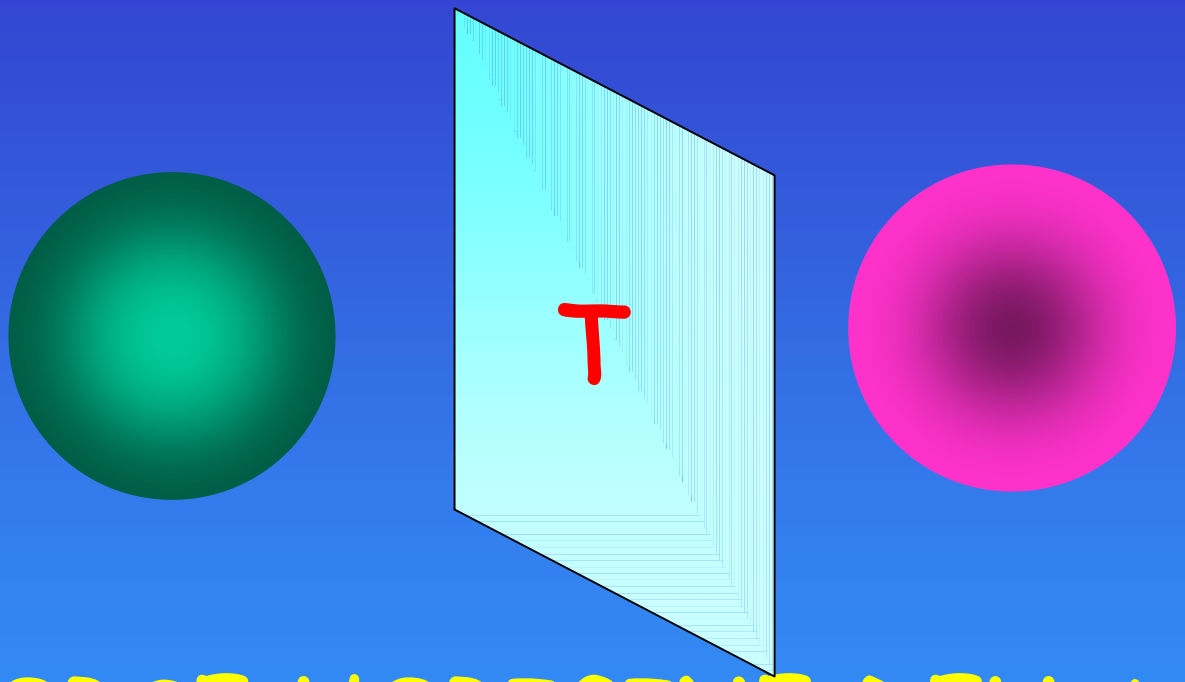
IL TEOREMA CPT

TEOREMA CPT: SE NELL'UNIVERSO SI SCAMBIANO TUTTE LE PARTICELLE CON LE RISPETTIVE ANTIPARTICELLE (CONIUGAZIONE DI CARICA C), SI RIFLETTONO TUTTI GLI OGGETTI IN UNO SPECCHIO (SCAMBIO DI PARITA' P) E SI INVERTE IL FLUSSO DEL TEMPO (INVERSIONE TEMPORALE T) SI OTTIENE UN UNIVERSO EQUIVALENTE AL NOSTRO

CPT

LO SPECCHIO DEL TEMPO

IL MESONE K NEUTRO VIOLA L'INVERSIONE TEMPORALE



FORSE L'ORIGINE DELLA FRECCIA DEL TEMPO VA RICERCATA QUI

LA FINE DEL TEMPO?

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!!

DOMANDE?