Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Archeoastronomia

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 10

Considerazioni filosofiche ed epistemologiche sui risultati dell'Archeoastronomia

Archeoastronomia:
scienza multidisciplinare che si occupa di ricostruire l'idea del Cielo, del Cosmo e del Tempo delle antiche popolazioni

L'Archeoastronomia trae le sue conclusioni dallo studio dei siti archeologici, dei reperti, dei documenti antichi, etc.
che si pensa siano astronomicamente significativi

l'Analisi Archeoastronomica deve essere consistente rispettando tre criteri:

- o) Consistenza Astronomica
- o) Consistenza Archeologica
- o) Consistenza Etnografica

...criterio di Schaefer

Criterio Archeologico

Il sito o il reperto deve essere cronologicamente consistente e essere stato prodotto da una cultura interessata al Cielo e all'Astronomia

Criterio Astronomico

Il sito archeologico o il reperto deve chiaramente mostrare una possibile significatività astronomica

Criterio Etnografico

Nell'area geografica dove il sito archeologico è posto, oppure da dove proviene il reperto, deve esistere (o è documentato) un insieme di usanze e tradizioni connesse con il Cielo e i suoi fenomeni

Dopo aver concluso l'analisi archeoastronomica di un sito archeologico, ci si deve porre una fondamentale domanda:

...sarà vero?

Il sito è veramente astronomicamente significativo?

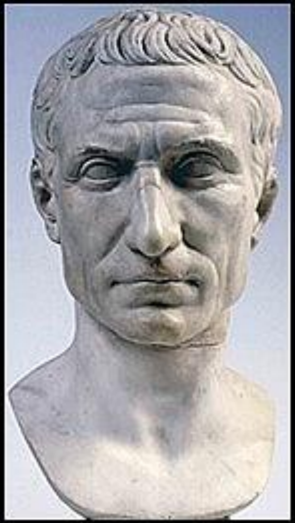
Il cielo antico che è stato ricostruito è quello giusto?

E' pertinente alla collocazione cronologica e alle caratteristiche della cultura a cui dobbiamo i manufatti studiati?

Abbiamo inconsciamente riflesso nelle presunte conoscenze astronomiche della antica civiltà le nostre cosnoscenze astronomiche attuali?

Abbiamo operato rigorosamente o in maniera euristica, trovando quello che volevamo trovare?

Molti autori trovano quello che desiderano….



Gli uomini credono volentieri a quello che desiderano…

Caio Giulio Cesare
(Commentarii de Bello Gallico)

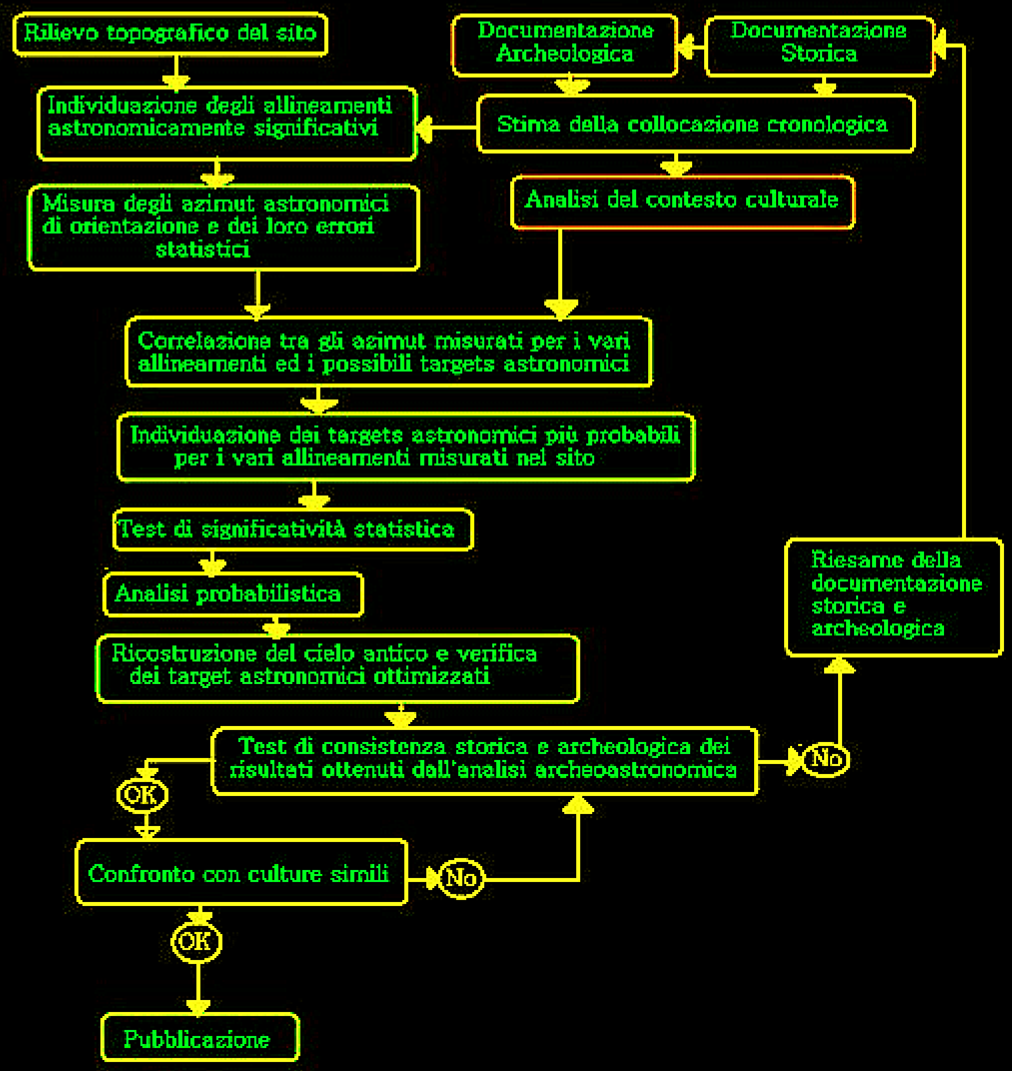
Archeoastronomia e Informazione

Studiare un sito archeologico archeoastronomicamente significativo equivale a tentare di recuperare l'informazione residua codificata in esso secondo qualche schema che non conosciamo a priori

L'informazione si deteriora con il tempo

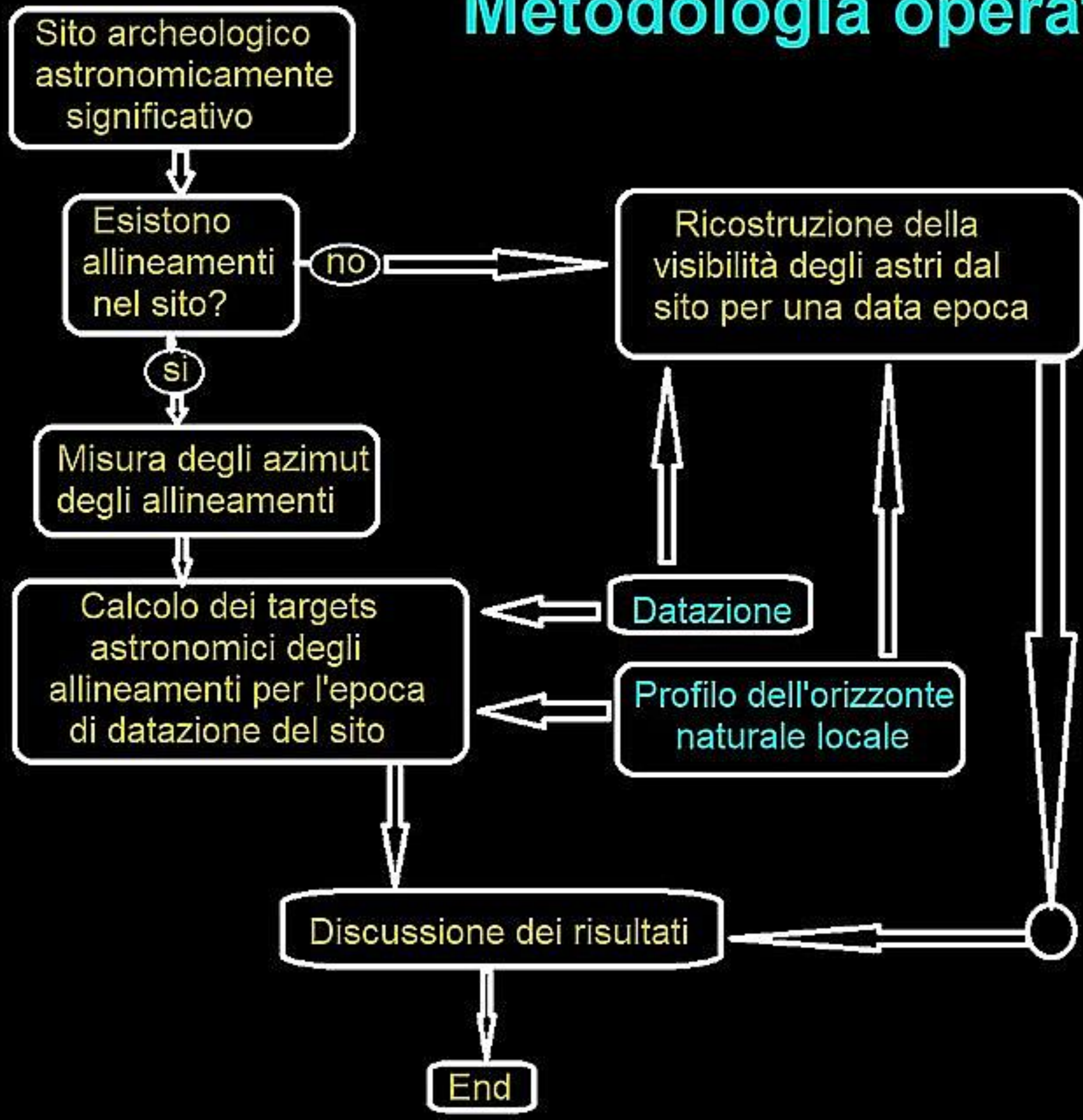
Eseguire lo studio di un sito archeoastronomico corrisponde a recuperare una parte dell'informazione contenuta in esso

Metodologia operativa

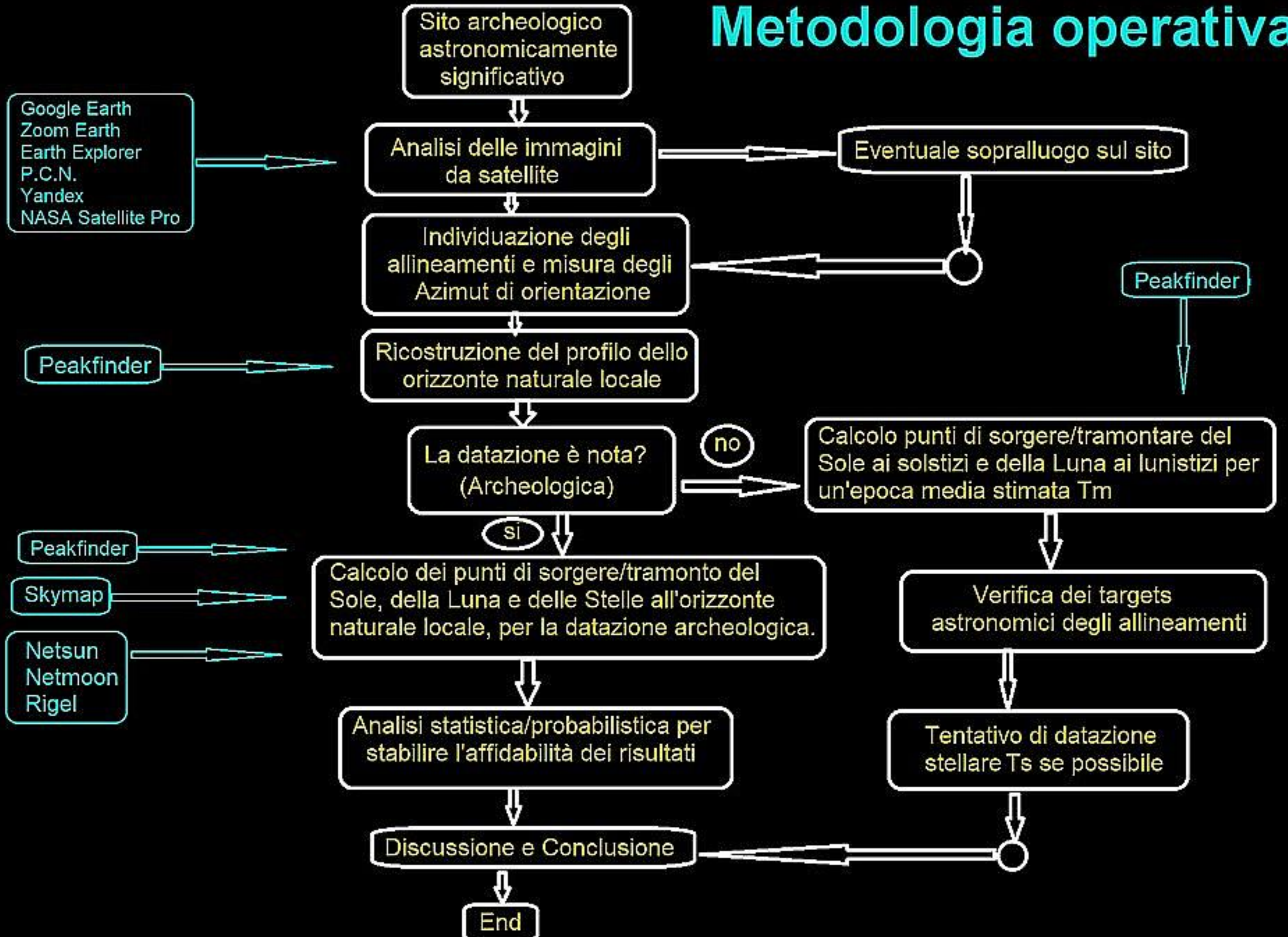


Linee guida per l'analisi archeoastronomica di un sito archeologico
potenzialmente astronomicamente significativo

Metodologia operativa



Metodologia operativa



Visione Zen dell'Archeoastronomia

Bisogna eseguire correttamente e rigorosamente la procedura completa di analisi archeoastronomica senza preoccuparsi dei risultati.

Se ci sono, verranno da sè

Impostazione Assiomatica dell'Archeoastronomia:

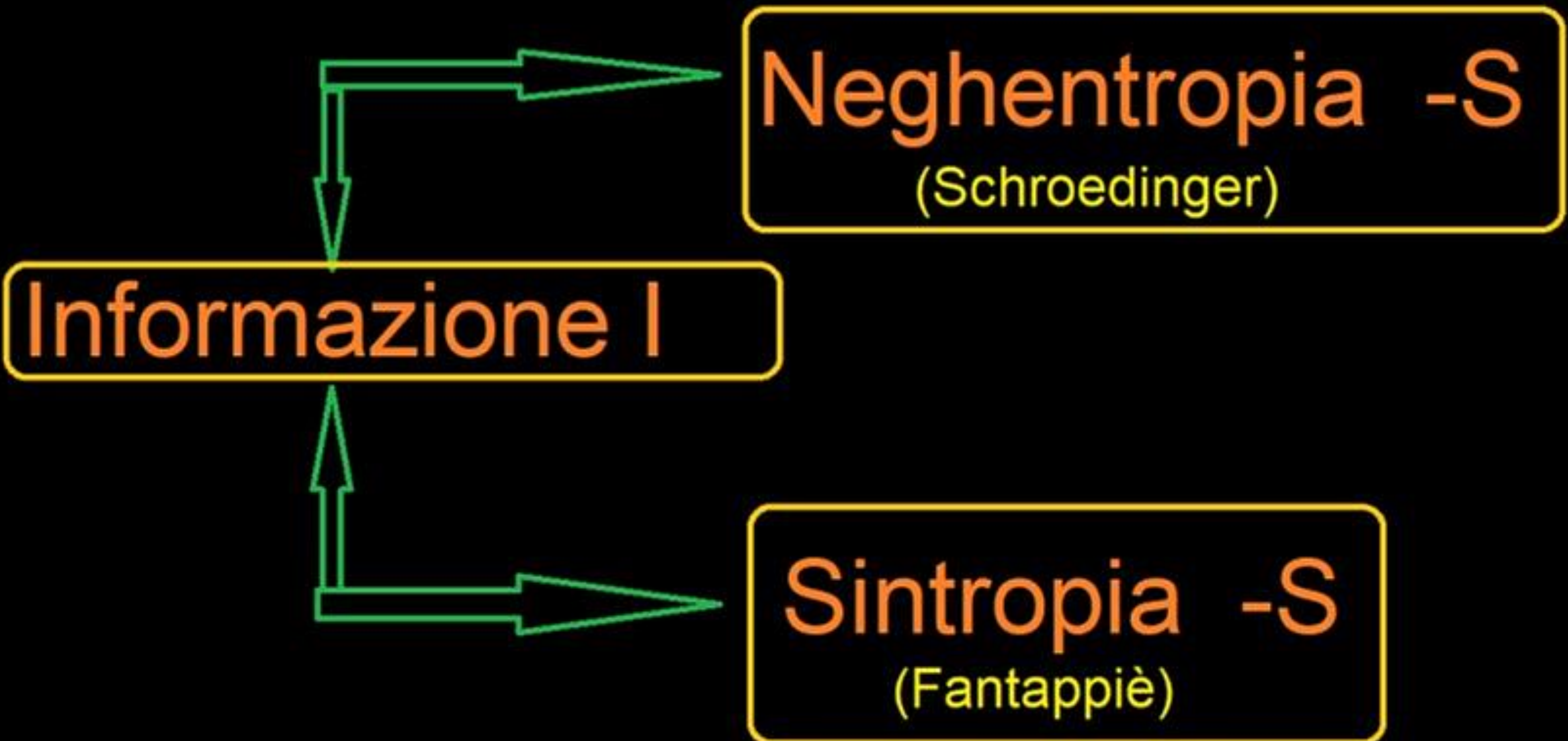
Le conoscenze astronomiche degli antichi sono codificate negli allineamenti diretti verso punti di sorgere e di tramontare degli astri visibili ad occhio nudo all'epoca in cui gli allineamenti furono materializzati

Non è detto che sia vero...

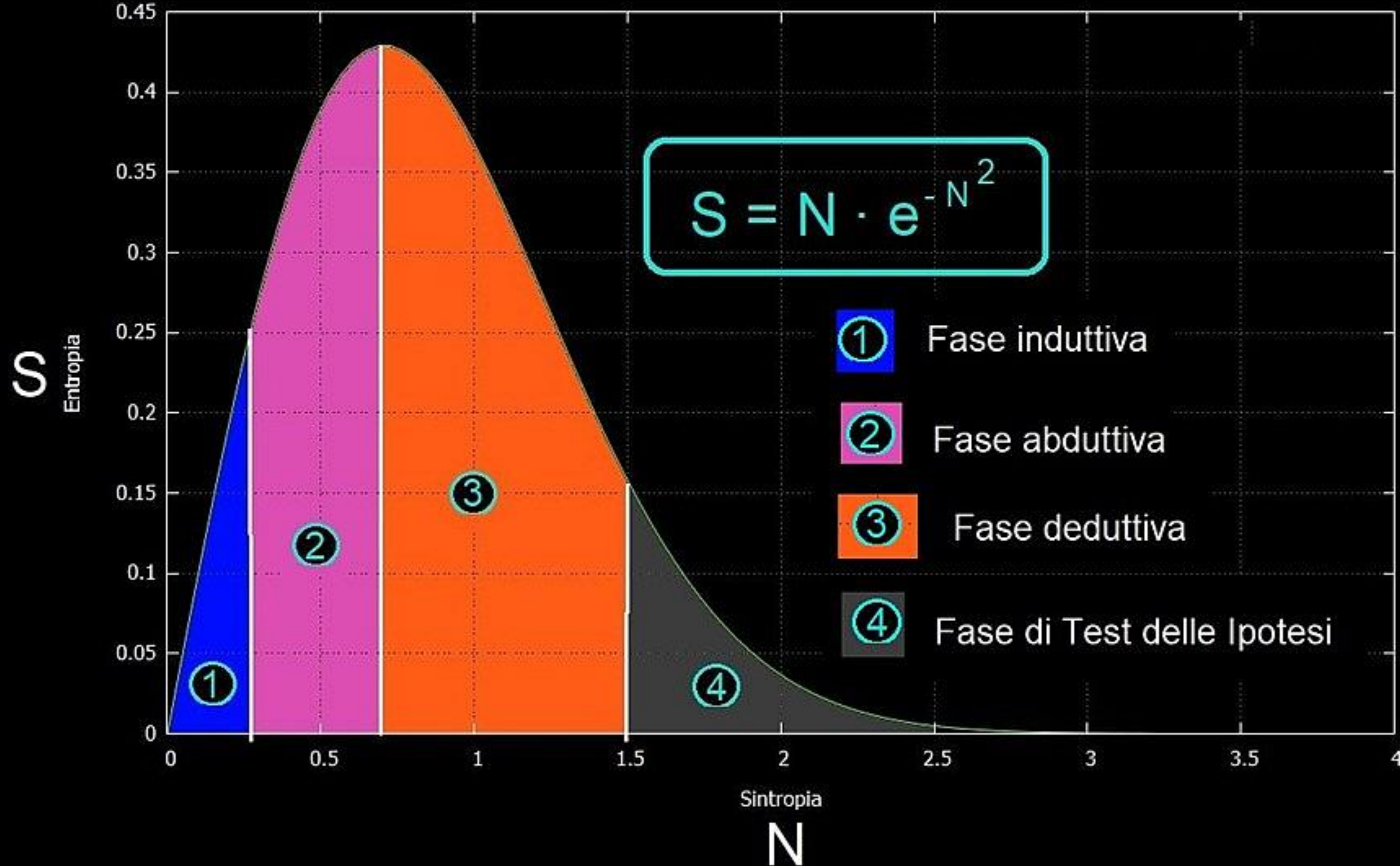
Allineamento Archeoastronomico

Un allineamento astronomico è una semiretta orientata che parte da un punto di stazione, passa per il punto di collimazione e interseca l'orizzonte locale in un punto dove, in taluni periodi dell'anno sorge o tramonta un particolare astro

Codifica dell'Informazione


Neghentropia -S
(Schroedinger)
Informazione I
Sintropia -S
(Fantappiè)

S = Entropia



$S = N \cdot e^{-N^2}$
1 Fase induttiva
2 Fase abduttiva
3 Fase deduttiva
4 Fase di Test delle Ipotesi
S
Entropia
Sintropia
N
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

1 Fase induttiva

Esame consapevole del problema da risolvere

2 Fase abduttiva

Processi inconsci che conducono ad intuire la soluzione del problema (*brainstorming*)

③ Fase deduttiva

Raccolta delle informazioni ed esecuzione delle misure, esecuzione dei calcoli e sviluppo delle soluzioni possibili,

④ Fase di Test delle Ipotesi

Test statistici della soluzione determinata, analisi della sua consistenza e della sua affidabilità.
Nel caso: accettazione o rigetto di essa.

il principio di Brillouin

Brillouin (1964) ha enunciato il suo famoso principio:

$$\Delta I = \Delta S + C$$

$$\Delta I > 0$$

dove: $C = K_B \cdot \ln(2)$

$$C \ll 1$$

K_B = costante di Boltzmann $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23}$ $\mathrm{J\,K^{-1}}$

ΔS = aumento di entropia

ΔI = informazione acquisita studiando un sistema

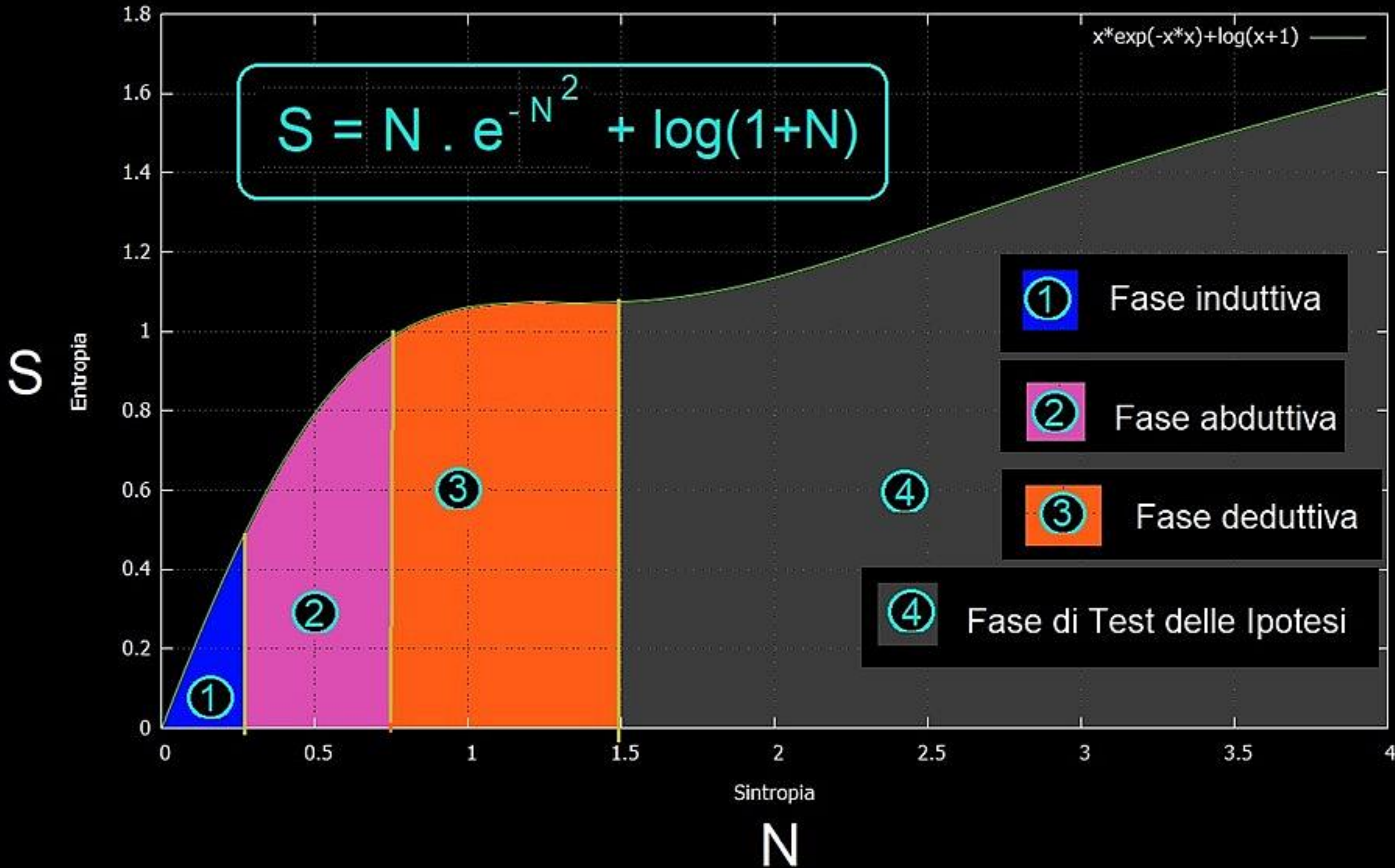
Leon Brillouin (Sèvres, 7 agosto 1899 – New York, 1969) è stato un fisico francese

$$\Delta I = \Delta S$$

L'osservazione di un sistema fisico (= studio di un sito archeoastronomico) permette di gradagnare una quantità di informazione ΔI, ma questo si paga con un aumento ΔS di entropia del sistema. Quindi:

Quando si studia un sito archeoastronomico, lo si modifica aumentando la sua entropia. Lo studio archeoastronomico di un sito agisce su di esso…

…ma anche sull'Entropia dell'Universo.



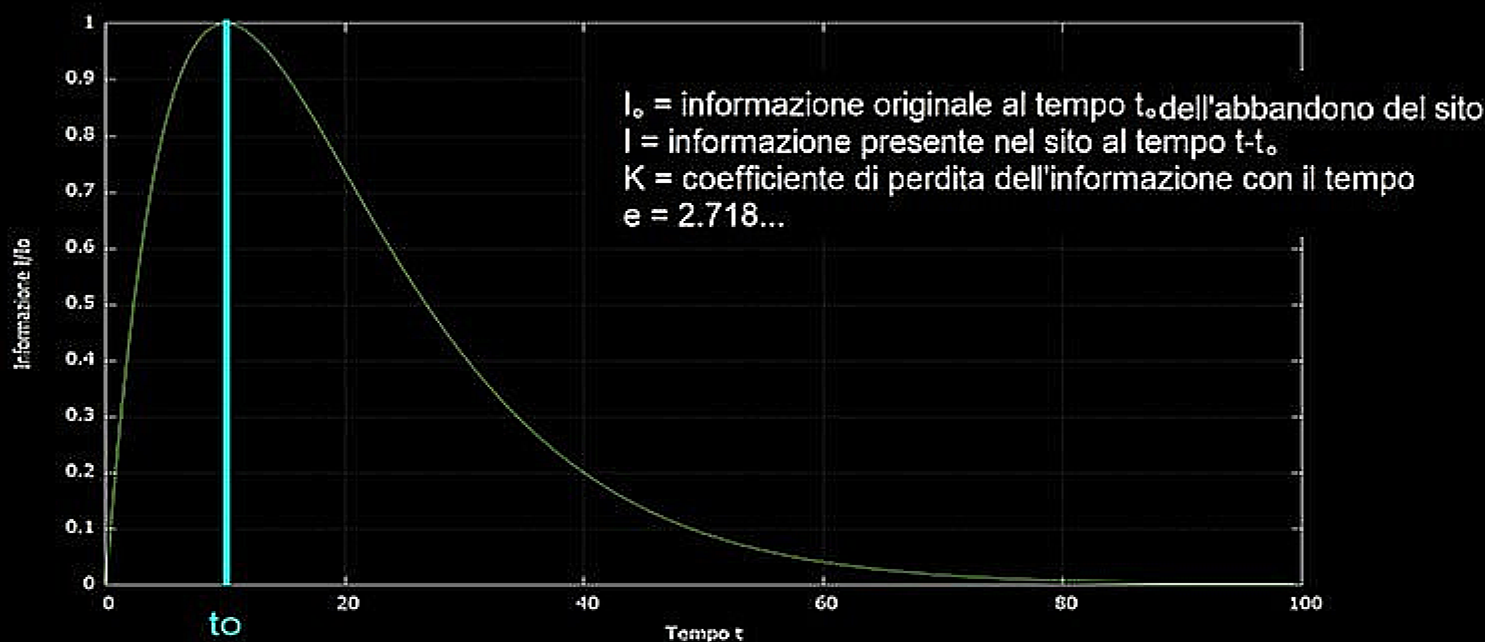
x*exp(-x*x)+log(x+1)
$S = N . e^{-N^2} + \log(1+N)$
S
Entropia
N
Sintropia
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
1
2
3
4
1 Fase induttiva
2 Fase abduttiva
3 Fase deduttiva
4 Fase di Test delle Ipotesi

In generale:

Più il sito archeologico è antico e maggiore è l'incertezza sui risultati dell'analisi archeoastronomica.

Informazione codificata in un sito archeoastronomico

$$I = I_o \cdot \frac{t}{t_o} \cdot e^{-K \cdot (t - t_o)}$$



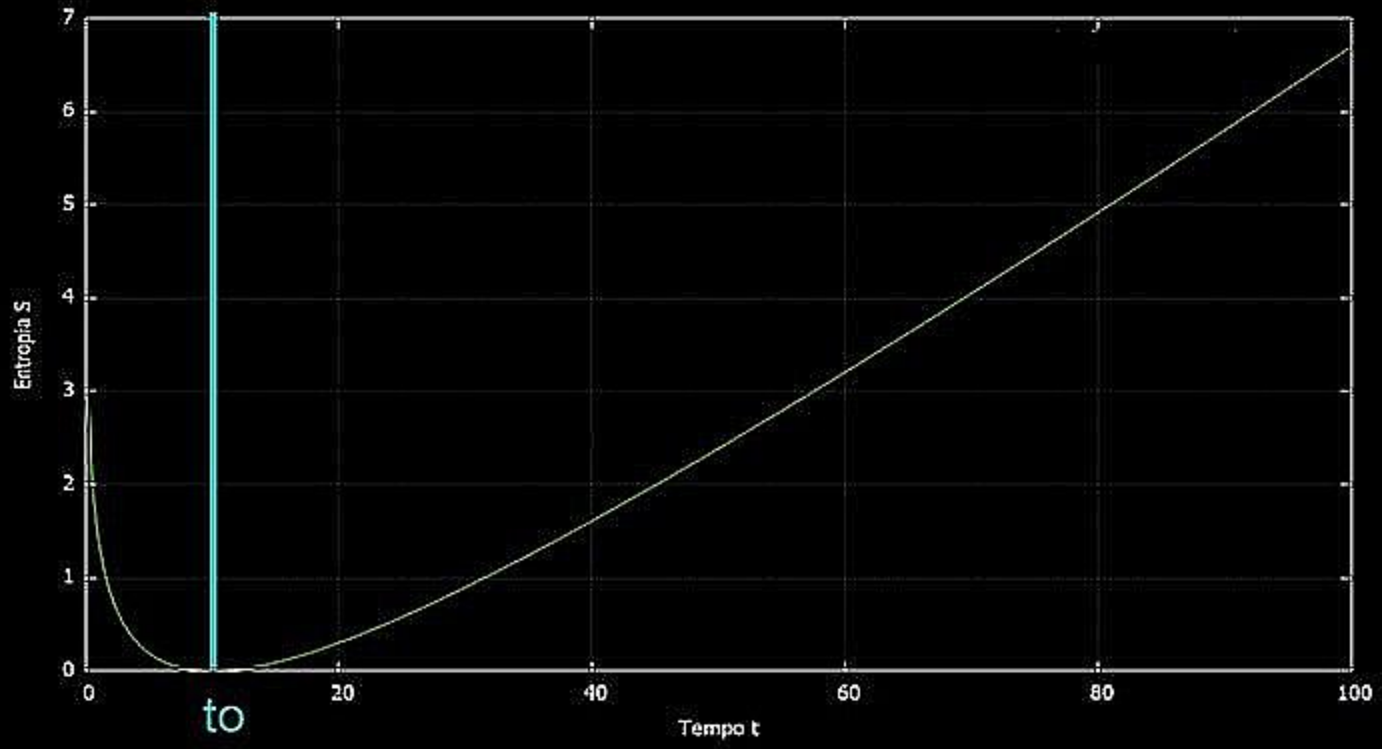
t = 0 : il sito viene costruito. L'Informazione è I = 0
0 < t < to : il sito viene usato e l'informazione codificata cresce nel tempo
t = to : il sito viene abbandonato e contiene tutta l'informazione accumulata: I=Io
t > to : il sito si deteriora e l'informazione viene gradualmente persa

Entropia

$$S = -\ln(I/I_o)$$

$$S = \ln(t_o) - \ln(t) + K \cdot (t - t_o)$$

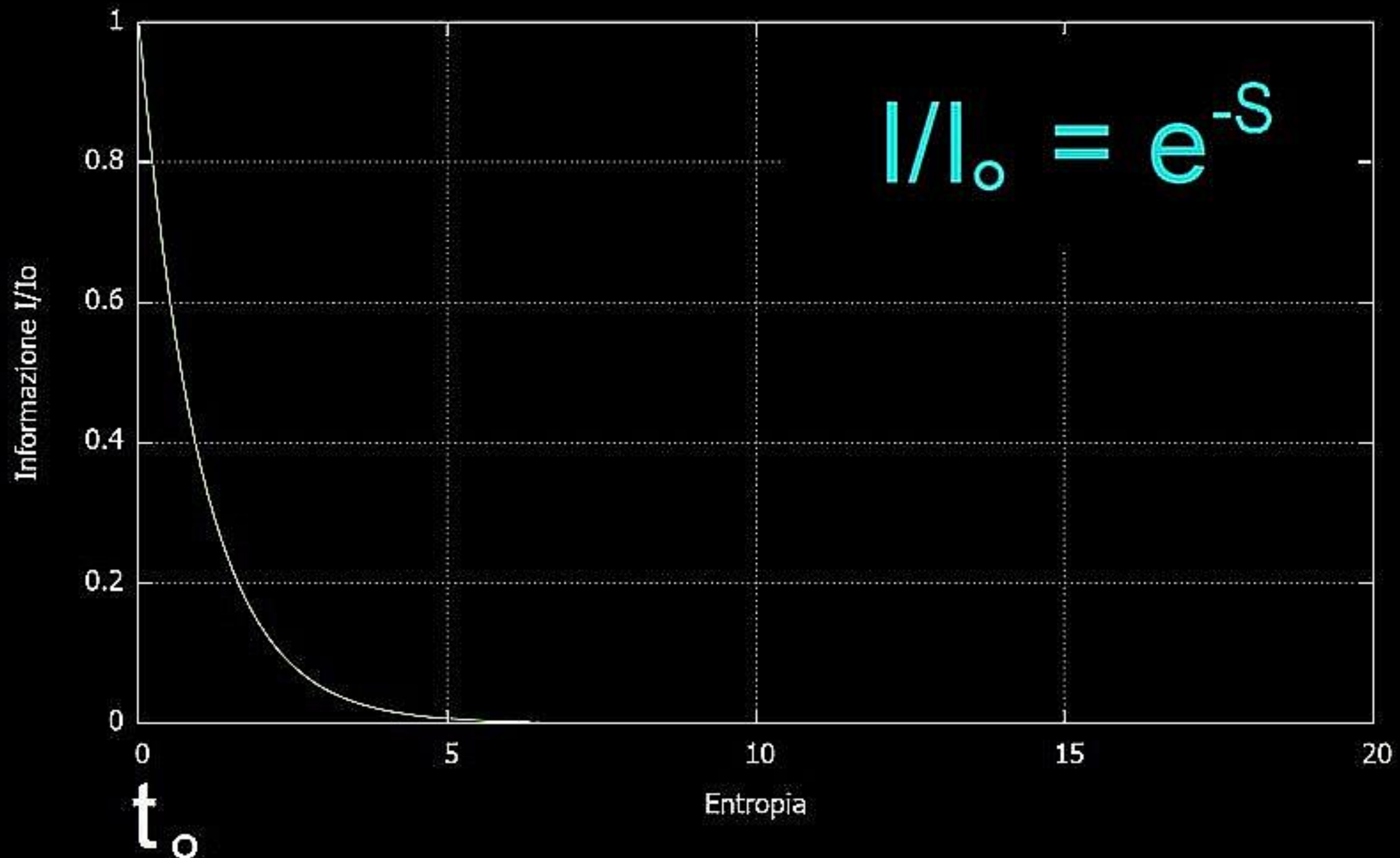
t = 0 : il sito viene costruito. l'Entropia è altissima
0 < t < to : il sito viene usato e l'Entropia diminuisce.
t = to : il sito viene abbandonato e l'Entropia è al valore minimo.
t > to : il sito si deteriora e l'Entropia aumenta linearmente con il tempo.



A noi interessa sapere cosa succede al sito archeoastronomico dopo il suo abbandono, quindi per $t>t_0$

a) Energia $E(t)$
b) Entropia $S(t)$
c) Informazione $I(t)/I_0$
d) Probabilità $P(t)$

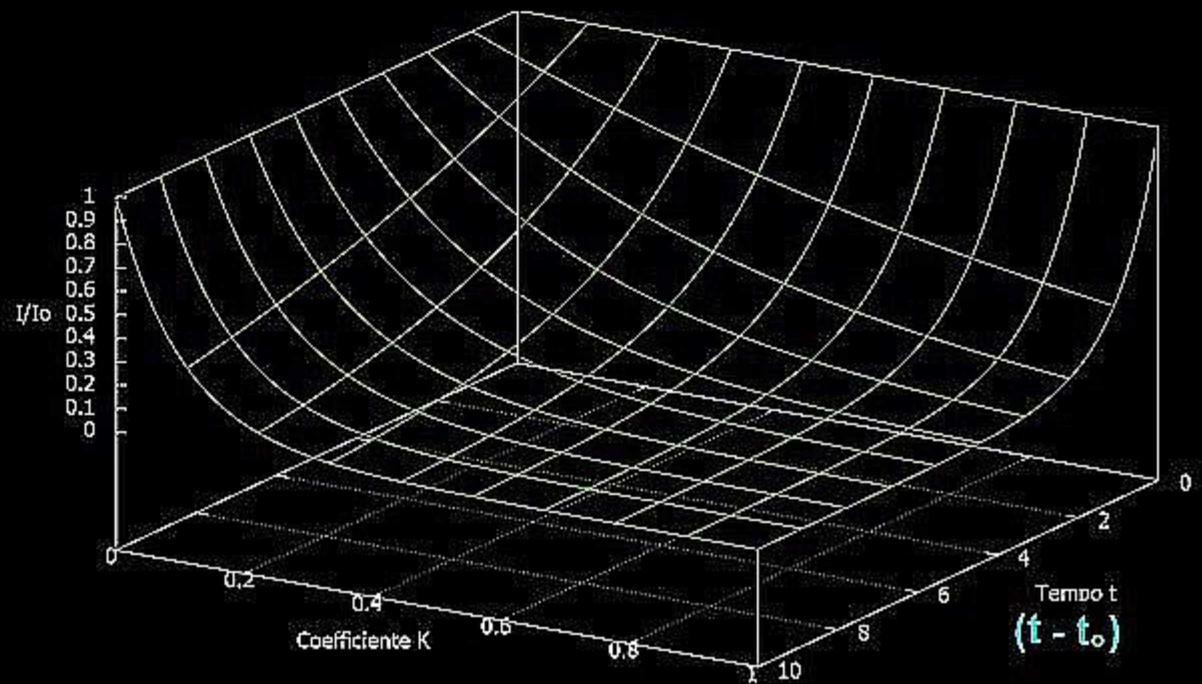
Perdita di informazione codificata in un sito archeoastronomico a causa del graduale aumento di Entropia (=Tempo...)



Deterioramento dell'informazione in un sito archeoastronomico

$$I = I_o \cdot e^{-K \cdot (t - t_o)}$$

I_o = informazione originale al tempo t_o dell'abbandono del sito
I = informazione presente nel sito al tempo $t-t_o$
K = coefficiente di perdita dell'informazione con il tempo
e = 2.718...

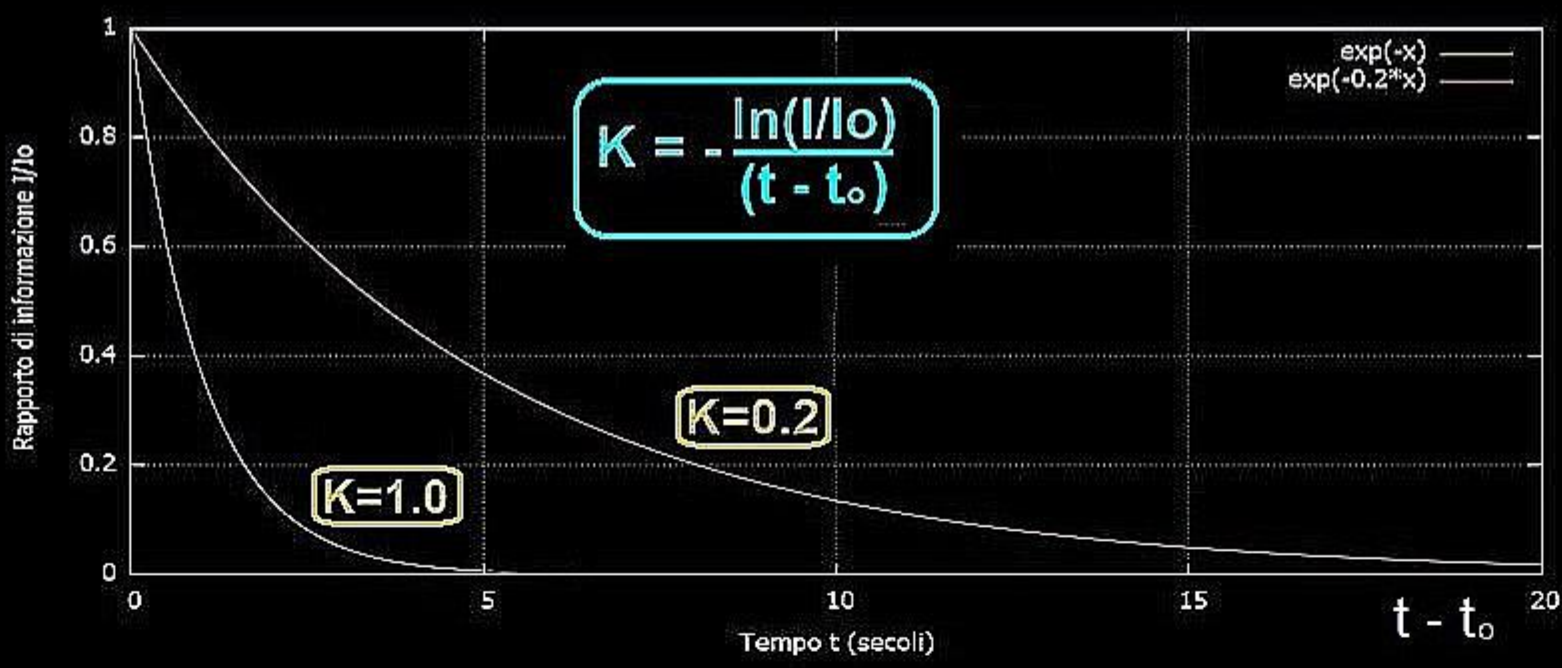


$$\frac{I}{I_o} = \frac{\text{Informazione recuperata}}{\text{informazione originale}} < 1$$

$$\frac{I}{I_o} = \frac{\text{Informazione recuperata}}{\text{informazione originale}} = e^{-K \cdot (t - t_o)}$$

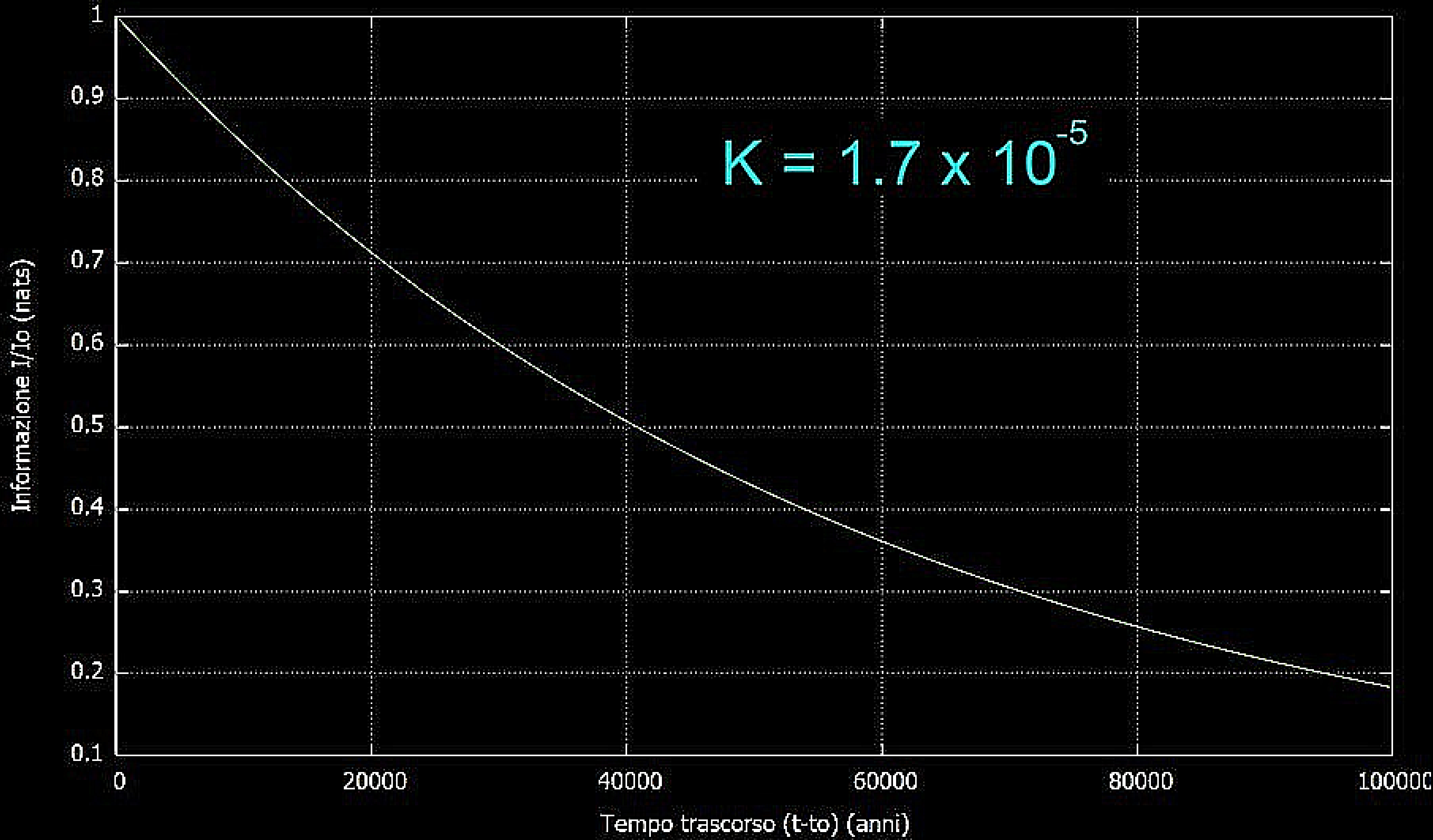
t = tempo trascorso

K = coeff. di perdita dell'informazione



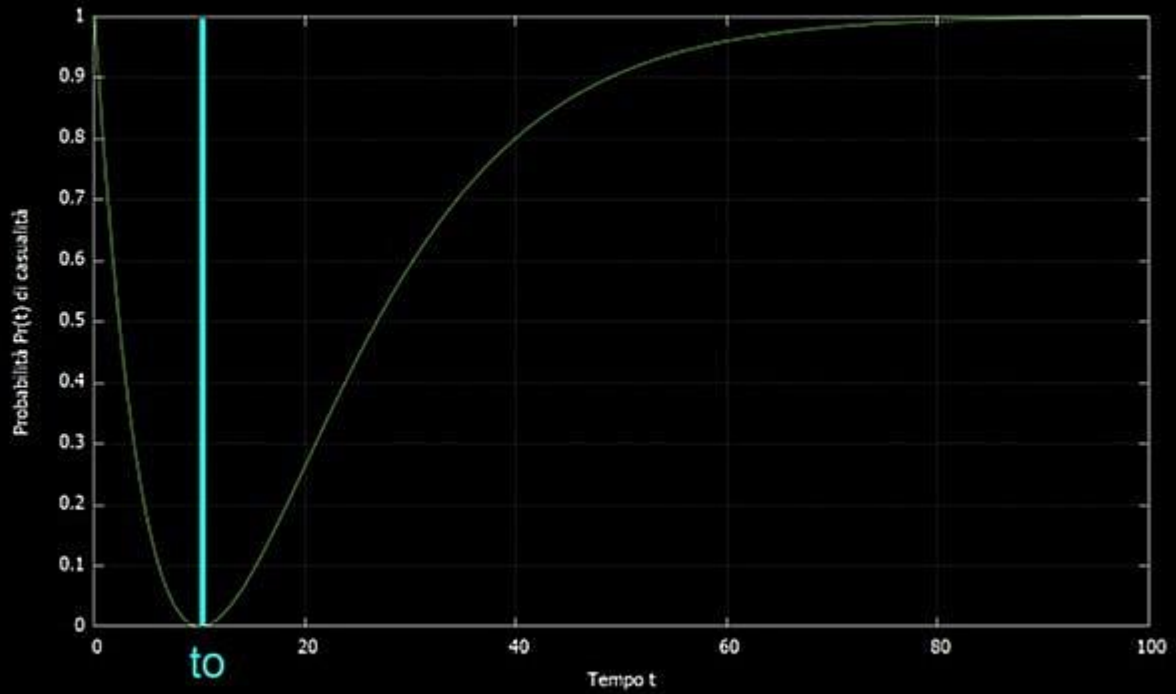
Perdita di Informazione

$$I = I_o \cdot e^{-K\cdot(t - t_o)}$$



Probabilità di casualità dei risultati dello studio archeoastronomico del sito dopo un certo tempo t dal suo abbandono

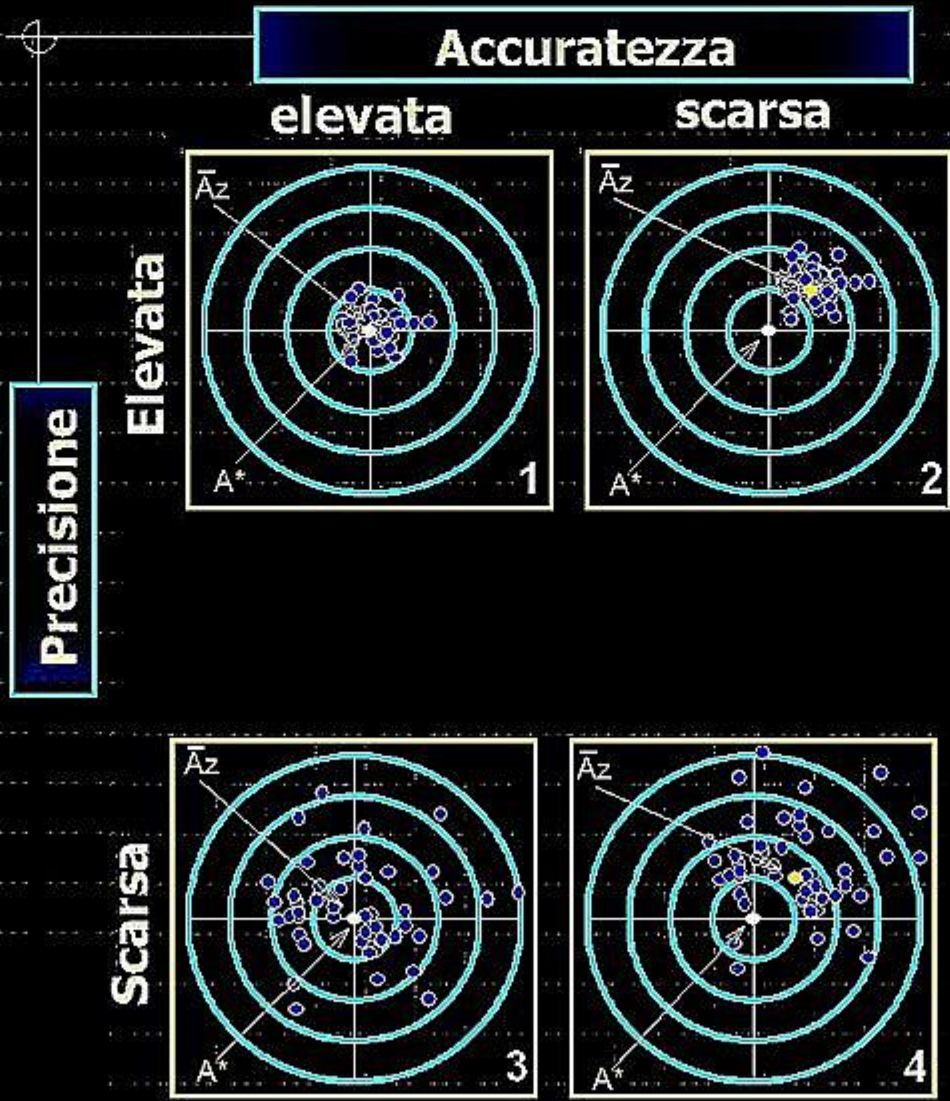
$$Pr(t) = 1 - \frac{t}{t_o} \cdot e^{-K \cdot (t - t_o)}$$



t = 0 : il sito viene costruito; la probabilità di casualità è 1 (100%).
0 < t < to : il sito viene usato; la probabilità di casualità diminuisce.
t = to : il sito viene abbandonato; la probabilità di casualità è zero.
t > to : il sito si deteriora e la probabilità di casualità aumenta con il tempo.

Lo studio di un sito archeologico astronomicamente significativo viene, di norma, eseguito rilevando e misurando gli allineamenti che si suppone possano essere stati astronomici...

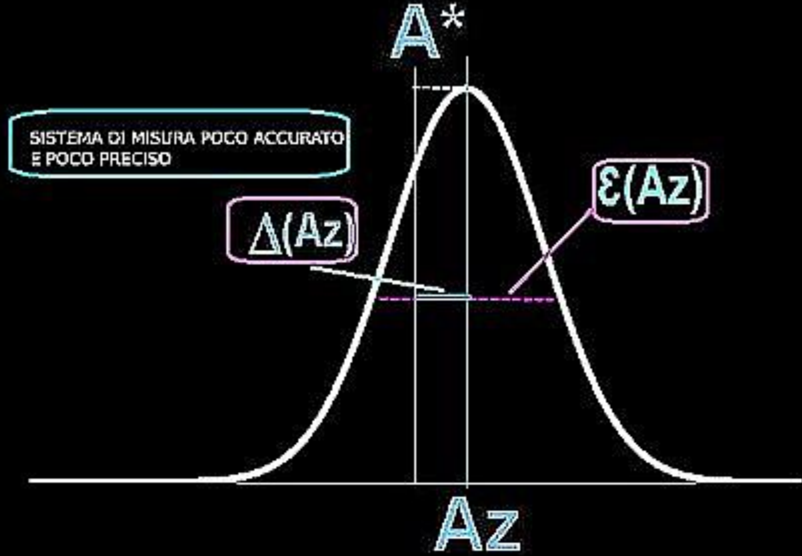
PRECISIONE E ACCURATEZZA

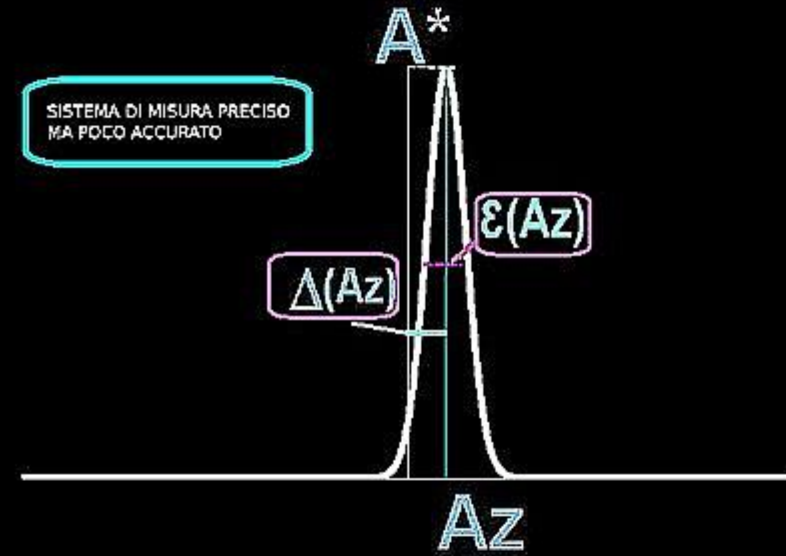


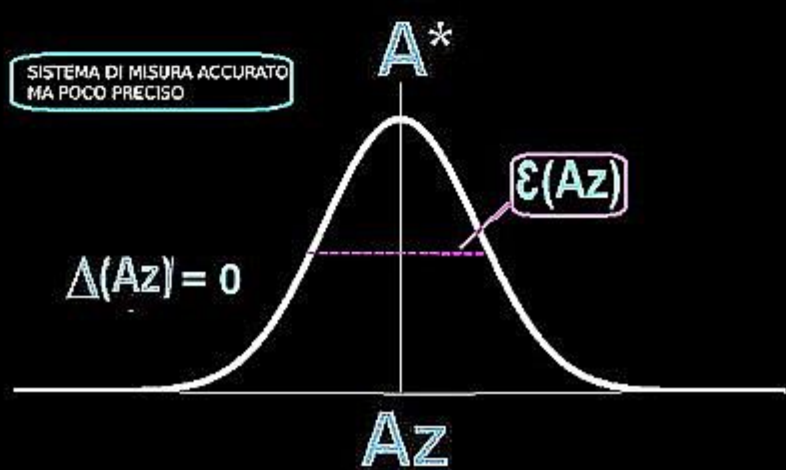
Risultati di 50 determinazioni analitiche di un medesimo valore Az

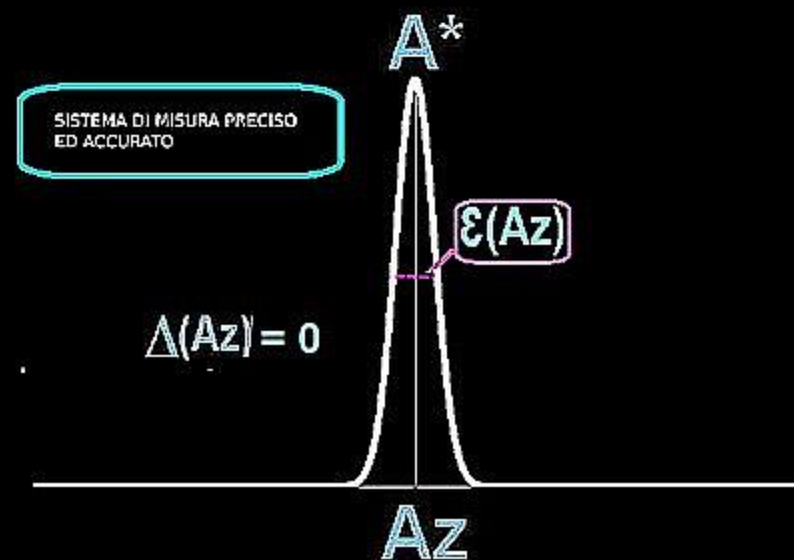
A*= Azimut del target
Az = Azimut di un allineamento
$\bar{A}z$ = valore medio di Az
ε (Az) = errore sull'Azimut $\bar{A}z$

1- preciso ed accurato
2-preciso ed inaccurato
3-impreciso ed accurato
4-impreciso ed inaccurato


A*
SISTEMA DI MISURA POCO ACCURATO
E POCO PRECISO
Ɛ(Az)
Δ(Az)
Az


A*
SISTEMA DI MISURA PRECISO
MA POCO ACCURATO
Ɛ(Az)
Δ(Az)
Az

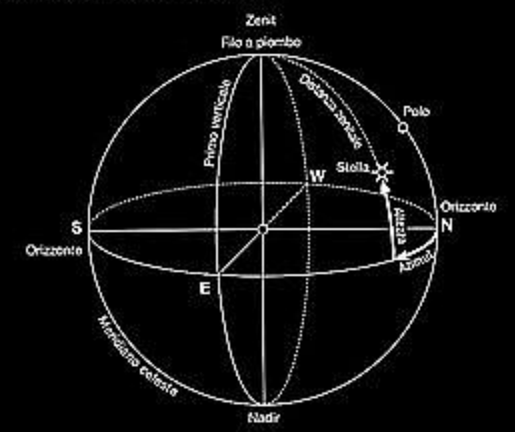

A*
SISTEMA DI MISURA ACCURATO
MA POCO PRECISO
Ɛ(Az)
Δ(Az) = 0
Az


A*
SISTEMA DI MISURA PRECISO
ED ACCURATO
Ɛ(Az)
Δ(Az) = 0
Az

Il rilievo archeoastronomico di un sito archeologico viene sempre eseguito nel sistema di coordinate altazimutali.

Si misurano:

Coordinate Altazimutali

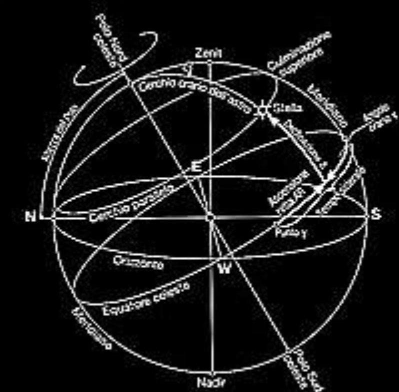


Azimut (Az)
Altezze Angolari (ho)

per ogni singolo allineamento

I calcoli astronomici vanno invece eseguiti nel Sistema Equatoriale

Coordinate Equatoriali



Ascensione Retta (α)
Declinazione (δ)

per ogni singolo allineamento

Allineamento

Un allineamento è una semiretta uscente da un punto che interseca la Sfera Celeste in un punto di Azimut Astronomico Az e di Altezza angolare ho.

Entrambi Az e ho sono soggetti ad errori:

$$Az \pm \varepsilon(Az) \quad ; \quad ho \pm \varepsilon(ho)$$

La Teoria dell'Informazione ha obbligato gli archeoastronomi a riesaminare il ruolo giocato dagli errori sperimentali (di misura) e ha richiesto di riconsiderare il loro effettivo ruolo

Formalmente gli errori di misura erano considerati di secondaria importanza nelle analisi archeoastronomiche tanto da poter essere trascurati nella teoria e nei calcoli, con l'idea che le misure di Azimut e Altezza potessero essere eseguite con una precisione arbitrariamente alta.

Questo non è vero!

Come misuriamo?

per ogni allineamento presente nel sito archeologico eseguiamo n misure di Azimut astronomico le quali hanno un errore $\varepsilon(Az)$ che dipende da chi misura e dallo strumento utilizzato per misurare.

$$\varepsilon(Az) = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_o^2(Az)}$$

con

$\varepsilon(Az)$ = errore sul singolo azimut Az misurato

ε_o = errore strumentale (in genere costante)

$\varepsilon_o(Az)$ = errore di misura (dipende dall'osservatore)

...e per ogni allineamento otteniamo:

$$\boxed{Az \pm \varepsilon(Az)}$$

Eseguendo N misurazioni di ogni singolo allineamento abbiamo:

Az = media delle N misurazioni.

$\varepsilon(Az)$ = scarto quadratico medio (rms, sd)

...e per ogni allineamento otteniamo:

$$\boxed{Az \pm \varepsilon(Az)}$$

Cause di errore:

a) errore originale dell'allineamento:
b) deterioramento nel tempo:
c) manomissione dei marcatori:
d) errori di misura durante il rilievo:

$$\text{Errore globale} = \sqrt{\sum_{1}^{n} (\text{errori})^2}$$

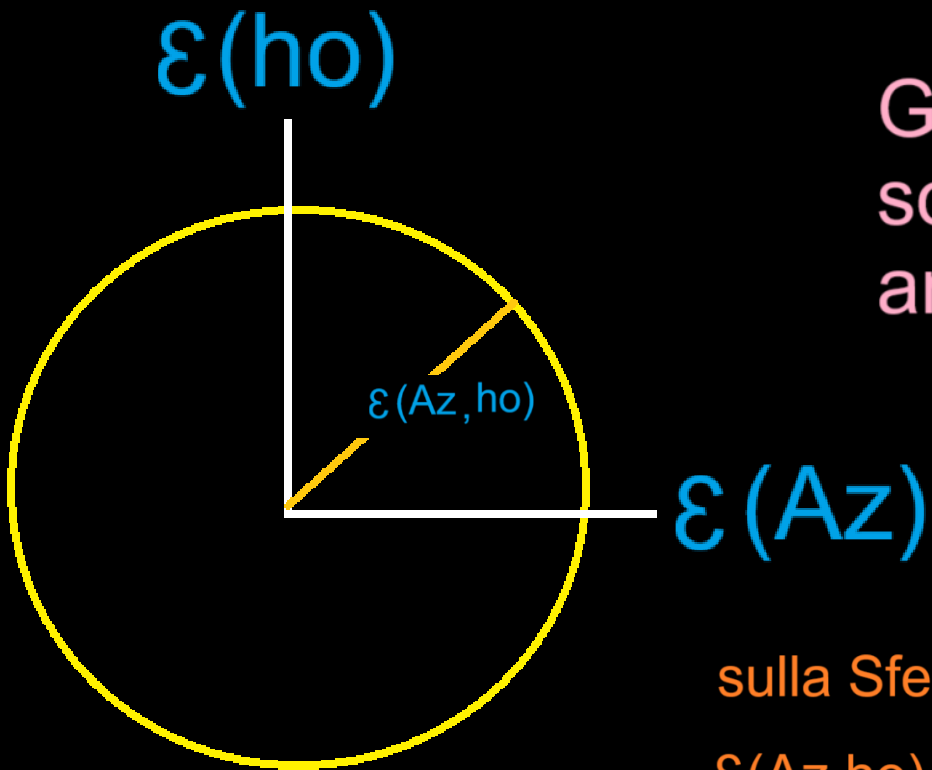
noi conosciamo a malapena l'errore d)

$\pm\ \varepsilon(Az)$ $\pm\ \varepsilon(ho)$

Come si combinano gli errori $\varepsilon(Az)$ e $\varepsilon(ho)$?

Sul piano tangente
la Sfera Celeste

$$\varepsilon(Az, ho) = \sqrt{\varepsilon(Az)^2 + \varepsilon(ho)^2}$$



Gli errori $\varepsilon(Az)$ e $\varepsilon(ho)$ sono, per definizione, angoli piccoli

sulla Sfera Celeste:

$$\varepsilon(Az,ho) = \arccos[\cos(\varepsilon(Az))\cdot\cos(\varepsilon(ho))]$$

Tipi di allineamento misurabili

Allineamenti "esatti"

Diretti "esattamente" verso un punto dell'orizzonte dove era visto sorgere un particolare astro

Allineamenti simbolici

Diretti approssimativamente verso un segmento di orizzonte dove era visto sorgere un particolare astro

Livelli di errore:

Allineamenti esatti: $\varepsilon(Az) = \varepsilon o$

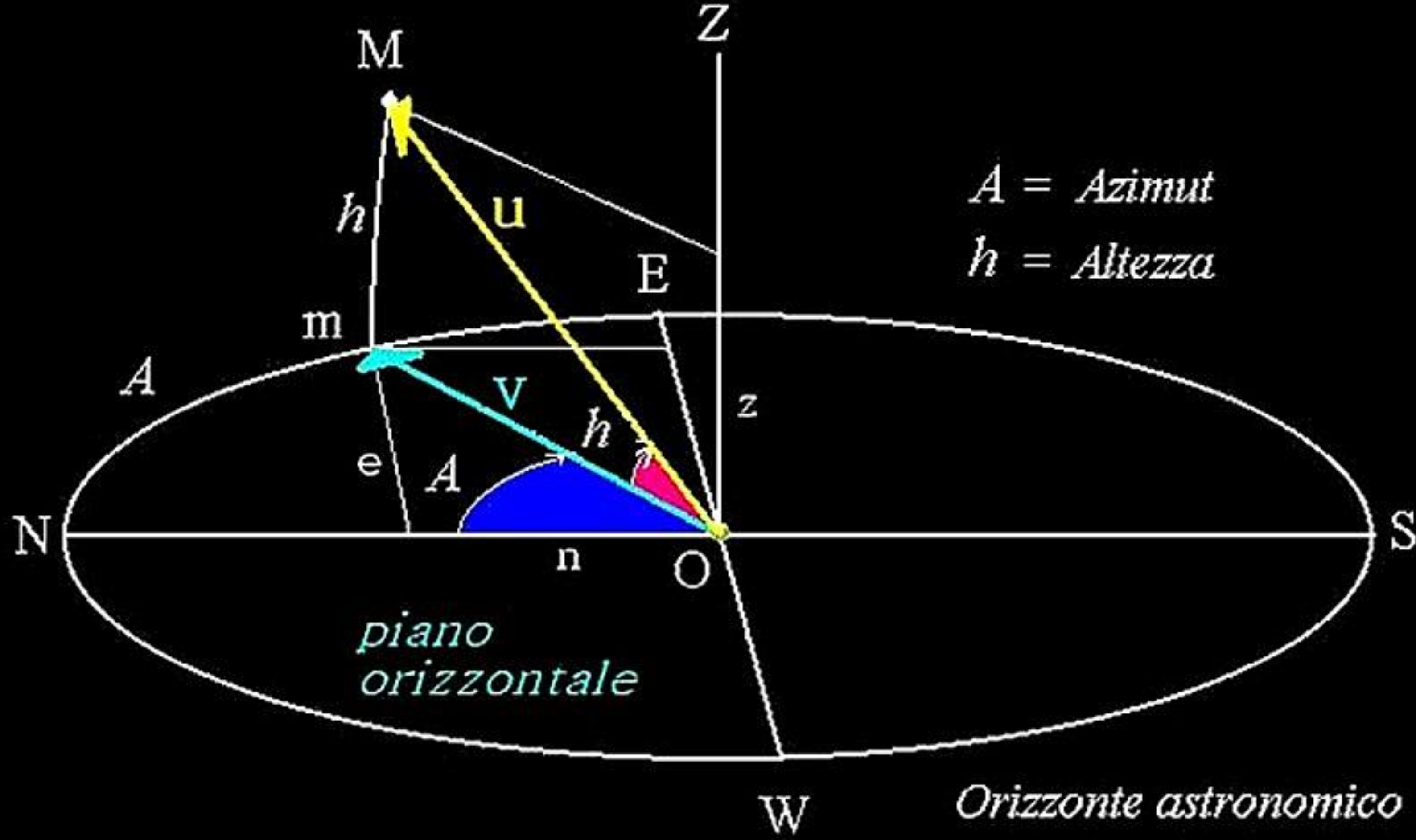
Allineamenti simbolici $\varepsilon(Az) = \pi \cdot \varepsilon o$

Un allineamento simbolico ha un margine d'errore 3 volte più grande di un allineamento "esatto"

Definizione di Allineamento

Un allineamento $\vec{u}$ (OM) è un vettore definito da tre coordinate ortogonali n, e, z :(n = northing; e = easting ; z = elevation)

oppure da una coppia di coordinate angolari Az, h
(Az = Azimut astronomico; h = altezza angolare), poichè $\|u\| := 1$.

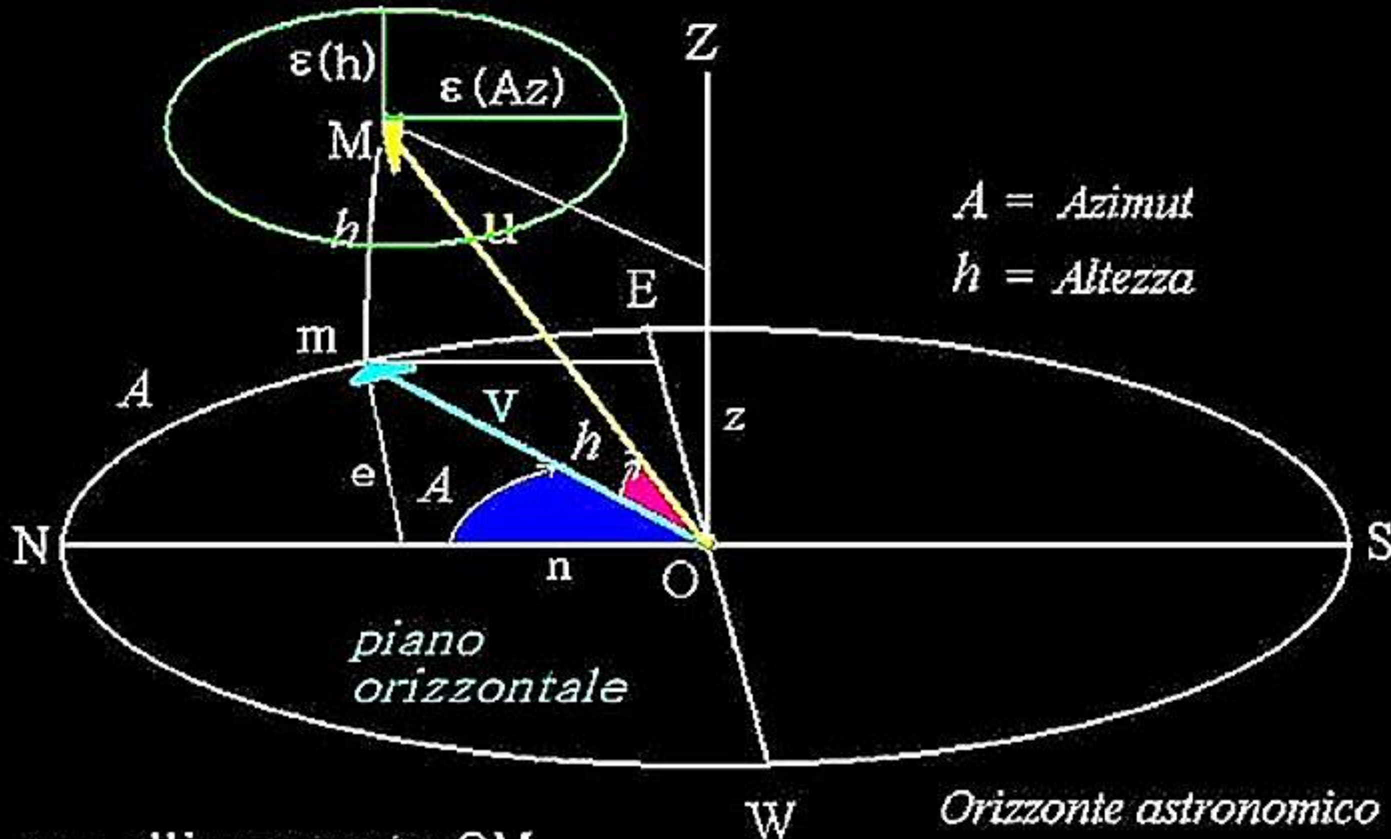


Ellisse d'errore di un allineamento misurato

Il rilievo di un allineamento produce una coppia di coordinate altazimutali Az (Azimut) e h (Altezza angolare) riferite alla direzione nord del meridiano astronomico locale (Az) e alla linea dell'orizzonte astronomico (h). Ciasuna delle due coordinate è misurata con una barra d'errore $\pm\varepsilon(Az)$ e $\pm\varepsilon(h)$ rispettivamente.

Queste due quantità rappresentano i semiassi di un'ellisse d'errore centrata nel punto M le cui coordinate sono Az e h lka quale definisce sulla Sfera Celeste uno spot di incertezza relativo al quel particolare allineamento misurato.

Da notare che $\pm\varepsilon(Az)$ e $\pm\varepsilon(h)$ dipendono anche dalla strumentazione con cui i rilievi sono stati eseguiti.

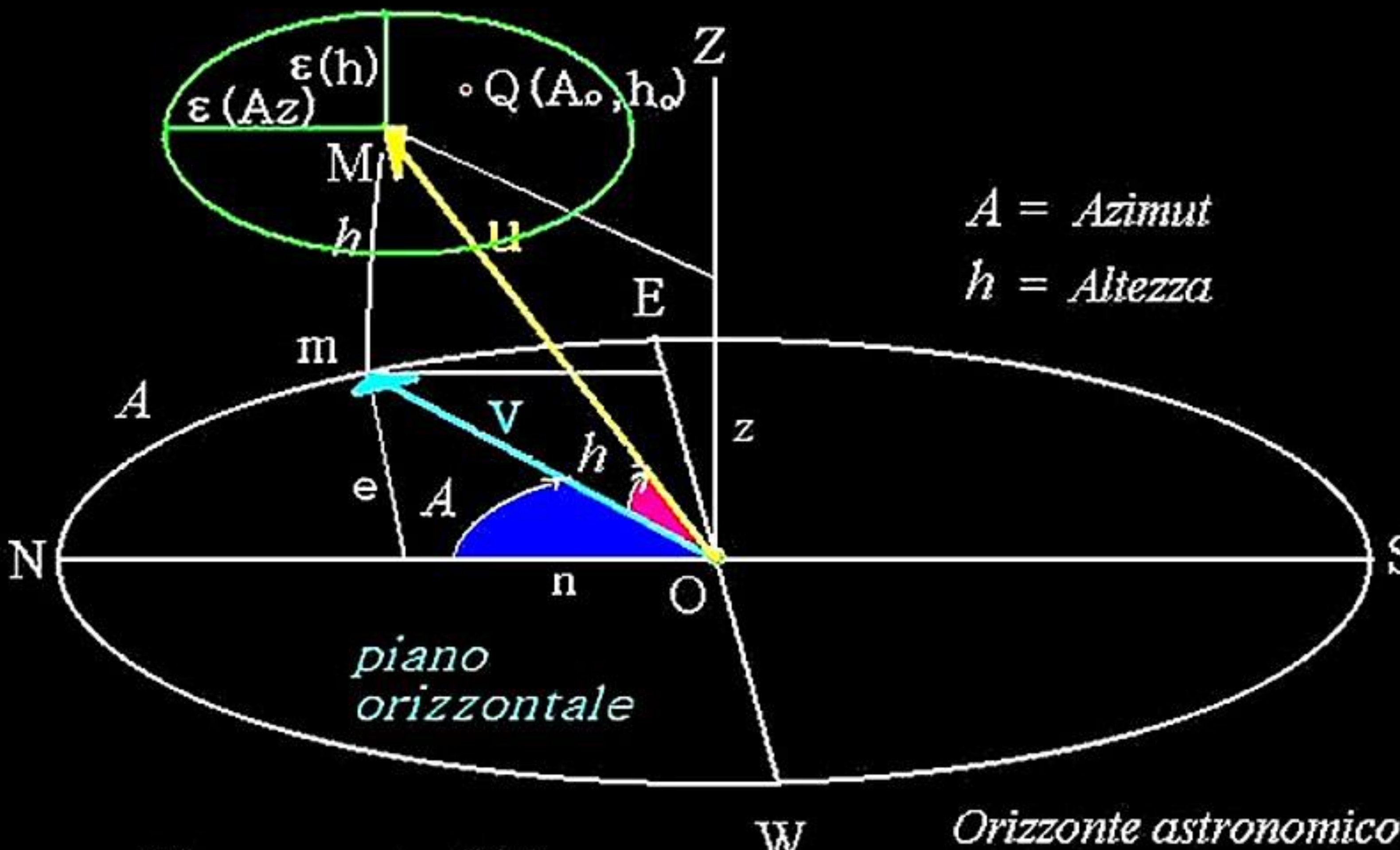


u = allineamento OM
v = proiezione dell'allineamento OM sul piano orizzontale
Az = Azimut astronomico
h = altezza angolare dell'orizzonte naturale locale

L'equazione dell'ellisse d'errore è:

$$\left(\frac{(Az - A_M)}{\varepsilon(Az)}\right)^2 + \left(\frac{(h - h_M)}{\varepsilon(h)}\right)^2 = 1$$

Distribuzione di probabilità associata all'ellisse d'errore su un allineamento

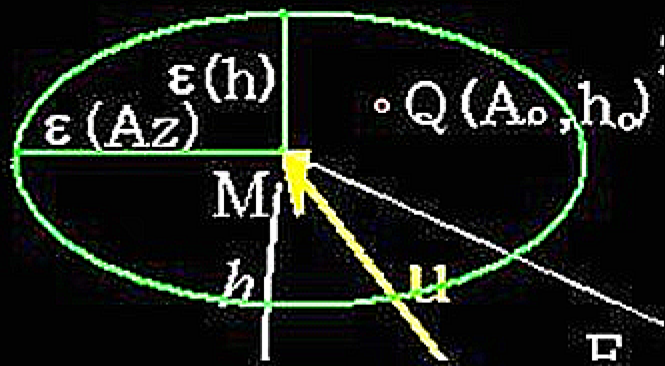


u = allineamento OM
v = proiezione dell'allineamento OM sul piano orizzontale
Az = Azimut astronomico
h = altezza angolare dell'orizzonte naturale locale

e la Funzione Densità di Probabilità (PDF) è:

$$f(Az,h) = \frac{1}{2\pi\,\varepsilon(Az)\,\varepsilon(h)}\; e^{-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{(Az - A_M)}{\varepsilon(Az)}\right)^2 + \left(\frac{(h - h_M)}{\varepsilon(h)}\right)^2\right)}$$

dove A_M è l'azimut astronomico dell'allineamento u che interseca la Sfera celete nel punto M.

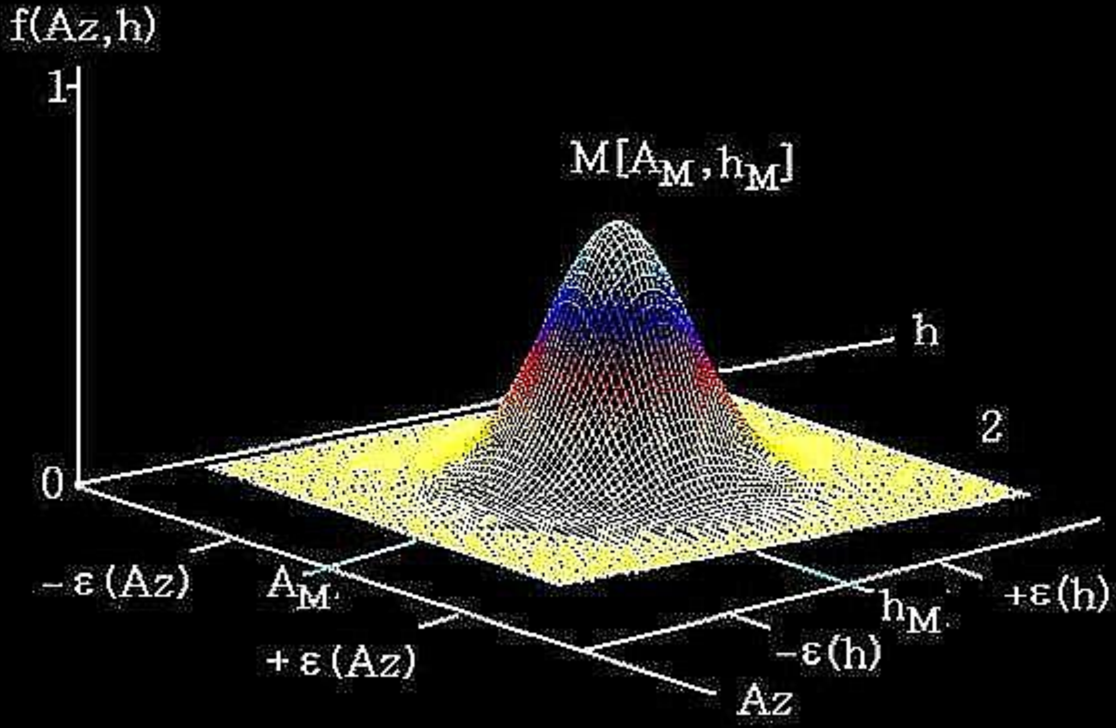


La probabilità $P(A_0, h_0)$ che un punto della Sfera Celeste capiti a caso in un preciso punto le cui coordinate altazimutali sono A_0 e h_0 è data da:

$$\boxed{P(A_0, h_0) = 1 - e^{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{(A_0 - A_M)}{\varepsilon(Az)}\right)^2 + \left(\frac{(h_0 - h_M)}{\varepsilon(h)}\right)^2\right]}}$$

dove A_M è l'azimut a tronomico dell'allineamento u che interseca la Sfera celeste nel punto M.

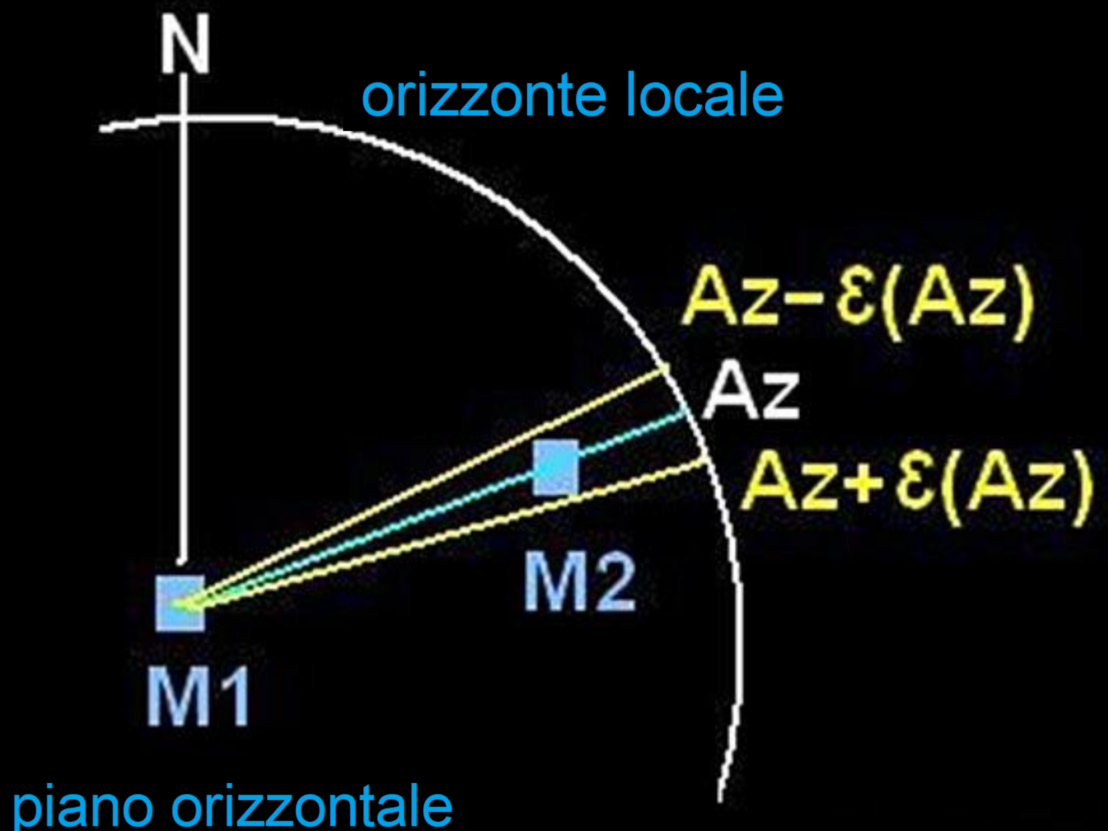
Funzione Densità di Probabilità di un allineamento sperimentalmente misurato



$$f(Az,h) = \frac{1}{2\pi\,\varepsilon(Az)\,\varepsilon(h)}\; e^{-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{(Az - A_M)}{\varepsilon(Az)}\right)^2 + \left(\frac{(h - h_M)}{\varepsilon(h)}\right)^2\right)}$$

Margini di incertezza

Un allineamento definito da 2 marcatori M1 e M2 è definito dal suo azimut astronomico di orientazione Az il quale è generalmente noto con un margine di incertezza ± ε(Az)



$Az \pm \varepsilon(Az)$

La valutazione dell'errore $\varepsilon(Az)$ sull'azimut astronomico misurato è di fondamentale importanza!

$\varepsilon(Az)$ <u>non</u> è il *"pointing error"* $\Delta(Az)$

$$\Delta(Az) = Az - A^*$$

Errore di misura

L'errore di misura $\varepsilon(Az)$ è una variabile casuale che deve essere trattata con metodi statistici perché sottointende una particolare Funzione Densità di Probabilità (P.D.F.)

Pointing Error

Il "pointing error" $\Delta(Az)$ è la differenza tra l'Azimut astronomico misurato per un allineamento e quello dell'astro a cui potrebbe riferirsi. Esso non è una variabile casuale, ma è una quantità deterministica, tendenzialmente funzione del tempo, a causa della variazione delle coordinate dell'astro a causa della Precessione o della variazione dell'Obliquità dell'Eclittica.

...richiedono differenti trattamenti matematici

Errore di misura $\varepsilon(Az)$

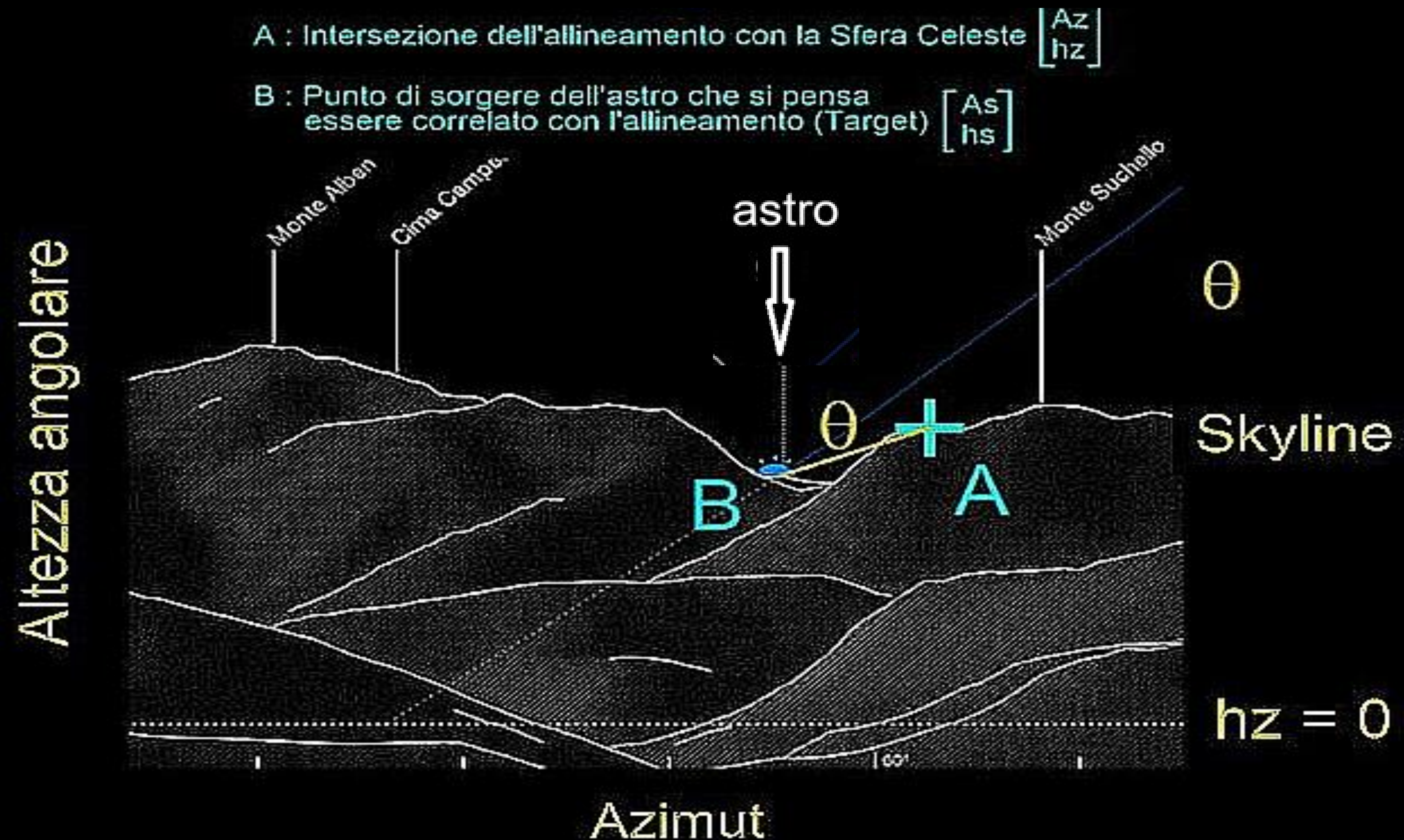
si tratta con i metodi statistici usuali (gaussiani)

Pointing Error $\Delta(Az)$

richiede metodi statistici particolari detti "per dati circolari e assiali"

...ma non è così semplice!

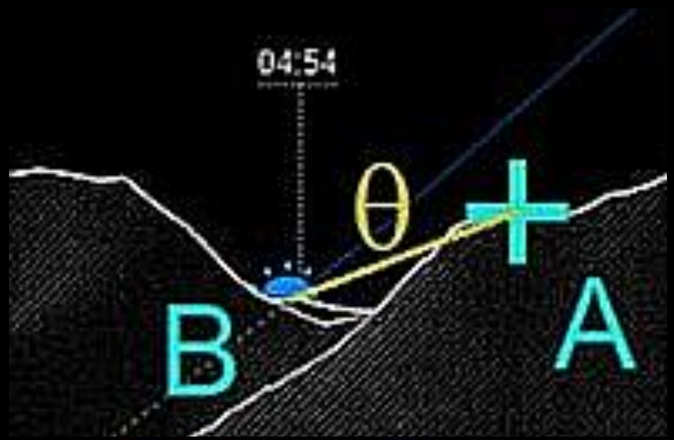
il "pointing error" è obliquo!



θ = Pointing Error

La Trigonometria Sferica (...che non è geometria euclidea) ci dice che il pointing error:

$$\theta = \text{Pointing Error} = \Delta(Az, ho)$$



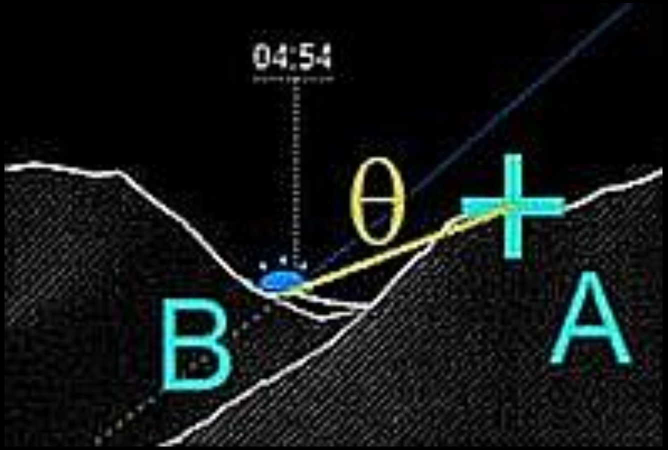
A : Intersezione dell'allineamento con la Sfera Celeste $\begin{bmatrix} Az \\ hz \end{bmatrix}$

B : Punto di sorgere dell'astro che si pensa essere correlato con l'allineamento (Target) $\begin{bmatrix} As \\ hs \end{bmatrix}$

$$\theta = \arccos(\cos(Az-As) \cdot \cos(hz-hs))$$

Siccome θ è un arco piccolo sulla Sfera Celeste possiamo approssimare θ con:

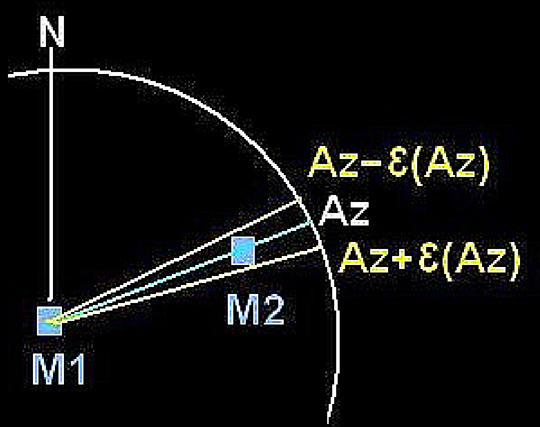
$$\theta = \sqrt{(Az-As)^2 + (hz-hs)^2}$$



senza perdere precisione.

Errore di misura

Supponiamo che in un sito sia stato identificato un singolo allineamento astronomicamente significativo di azimut Az e margine d'errore $\pm \varepsilon(Az)$ in gradi



$$Pr(Az) = \frac{2\,\varepsilon(Az)}{360°} = \frac{\varepsilon(Az)}{180°}$$

(principio del "Blind Marksman")

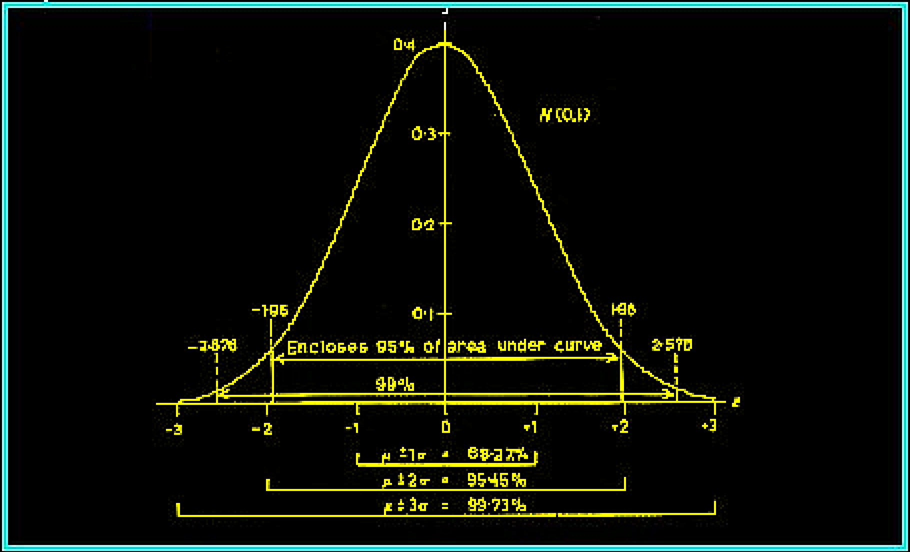
Pr(AZ) è la probabilità geometrica che in un sito esista casualmente un allineamento di azimut Az con un margine di incertezza $\varepsilon(Az)$

La misura sperimentale dell'errore sull'Azimut dovuto all'osservatore potrebbe essere eseguita mediando più misure dello stesso allineamento e determinando la deviazione standard della media.

Quante misure eseguire?

Il maggior numero possibile .... (in teoria)

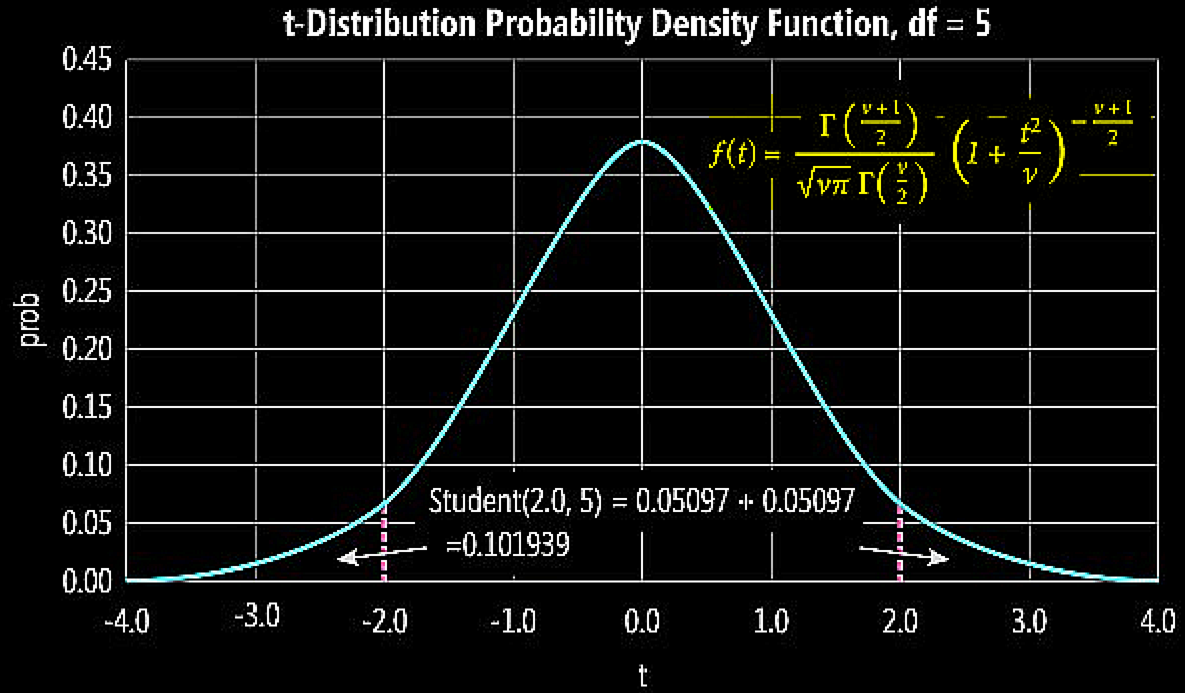
N=30 per rispettare il Teorema del Limite Centrale
distribuzione di probabilità Gaussiana

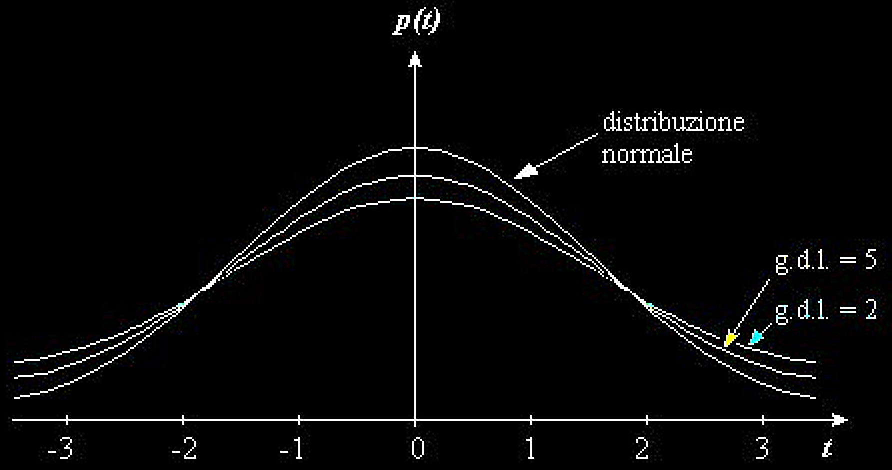


in pratica bastano 12 misure (indipendenti)

più misure eseguite su una stessa immagine non sono indipendenti....

N<12: distribuzione t-Student



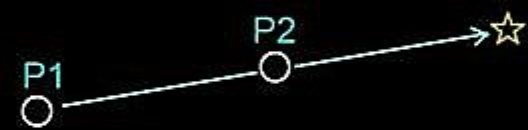


Confronto tra la distribuzione Normale e t-Student

Probabilità di casualità:

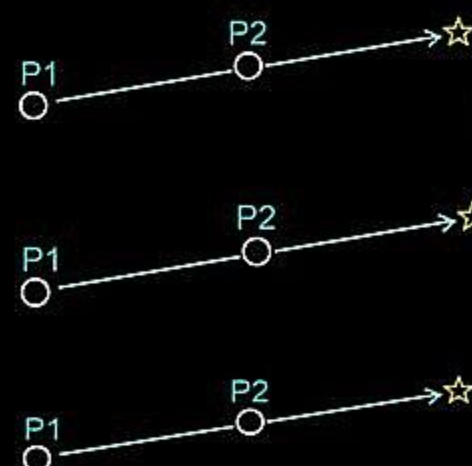
singolo allineamento:

$$Pr = \frac{\varepsilon(Az)}{180°}$$



n allineamenti indipendenti:

$$Pr = \left[\frac{\varepsilon(Az)}{180°}\right]^n$$

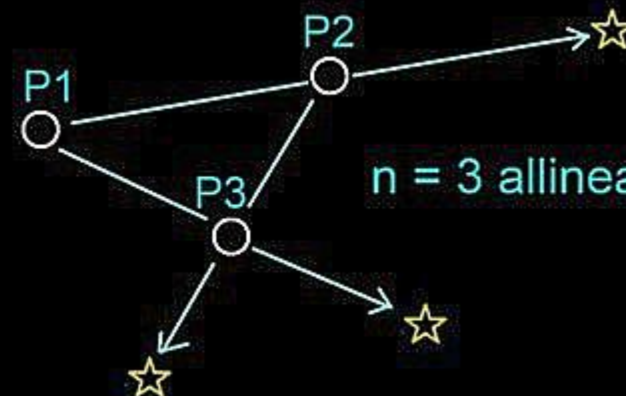


n = 3 allineamenti

Probabilità di casualità:

n allineamenti <u>non</u> indipendenti:

$$Pr = n \cdot \left[\frac{\varepsilon(Az)}{180°}\right]^{(n-1)}$$



n = 3 allineamenti

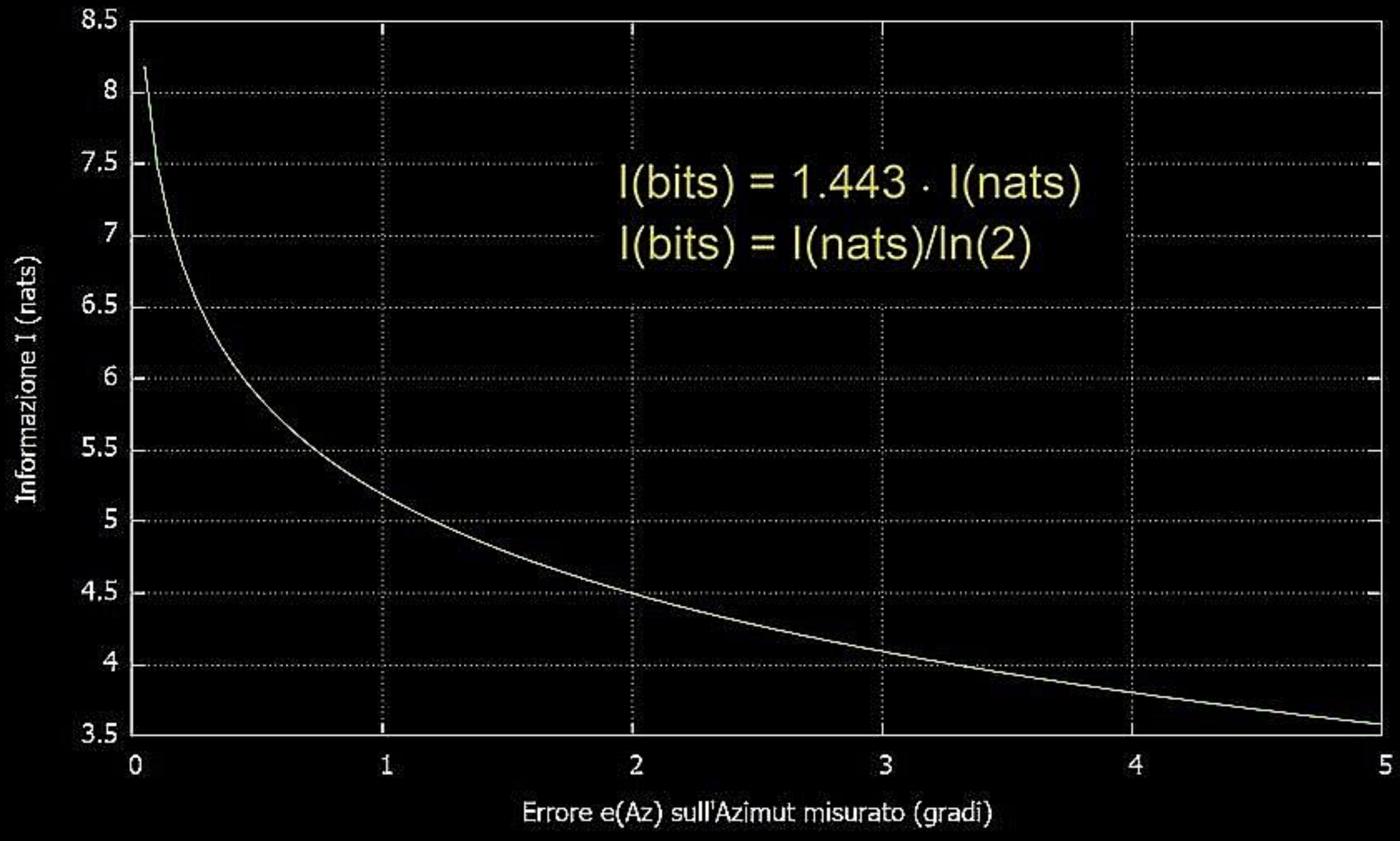
n = 2 allineamenti

n = numero degli allineamenti studiati

$\varepsilon(Az)$ = errore sull'azimut misurato

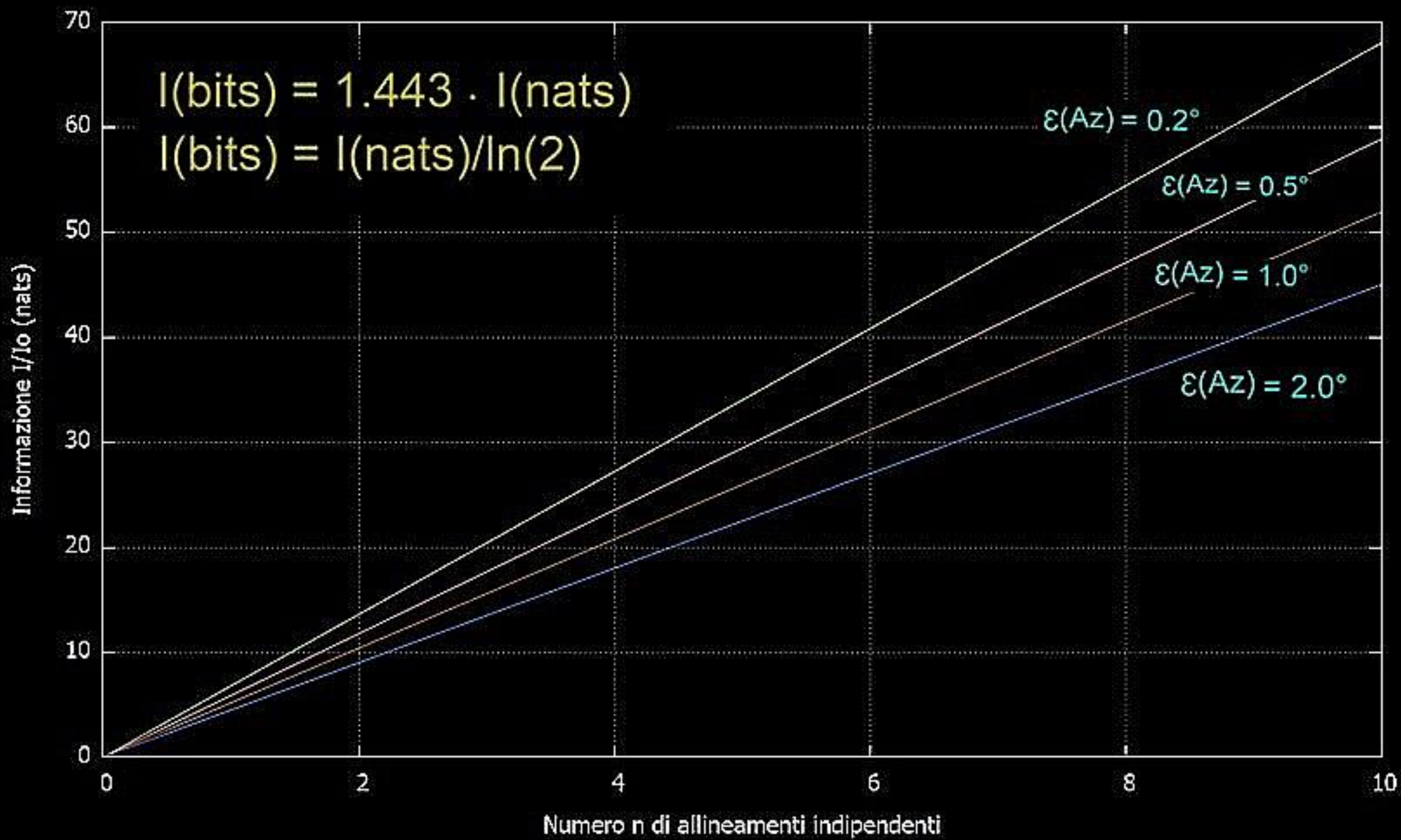
Informazione codificata in un singolo allineamento

$$I = -\ln(\mathcal{E}(Az)) + \ln(180°)$$

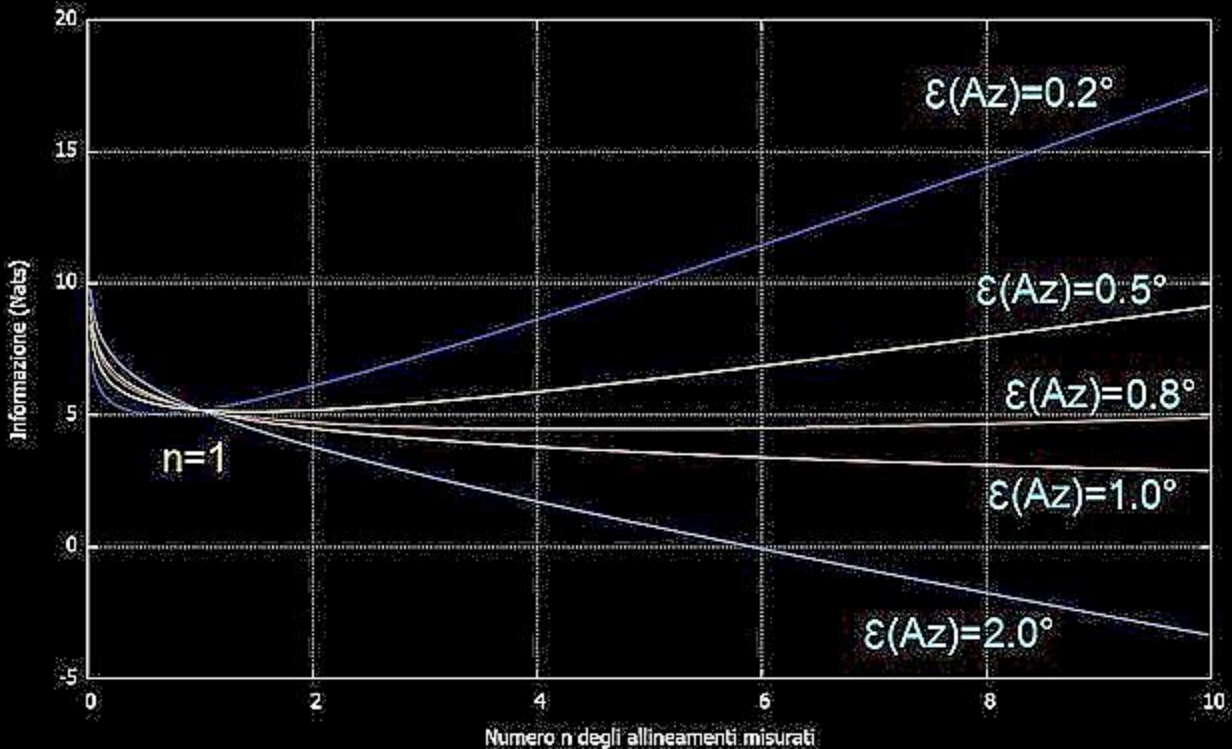


Informazione codificata in n allineamenti indipendenti

$$I = -n \cdot \ln(\varepsilon(Az)) + n \cdot \ln(180°)$$



Informazione codificata in n allineamenti <u>non</u> indipendenti



$$I = -\ln(n) - (n-1) \cdot \ln(\varepsilon(Az)) + \ln(180°)$$

I = informazione (nats)
n = numero degli allineamenti misurati
ε(Az) = errore sull'azimut misurato (in gradi)

I(bits) = 1.443 · I(nats)
I(bits) = I(nats)/ln(2)

Probabilità di casualità dell'analisi archeoastronomica in funzione del tempo trascorso dall'utilizzo del sito archeoastronomico

$$Pr(t) = 1 - e^{-K \cdot (t - t_o)}$$

$$K = 1.7 \times 10^{-5}$$

Perdita di Informazione

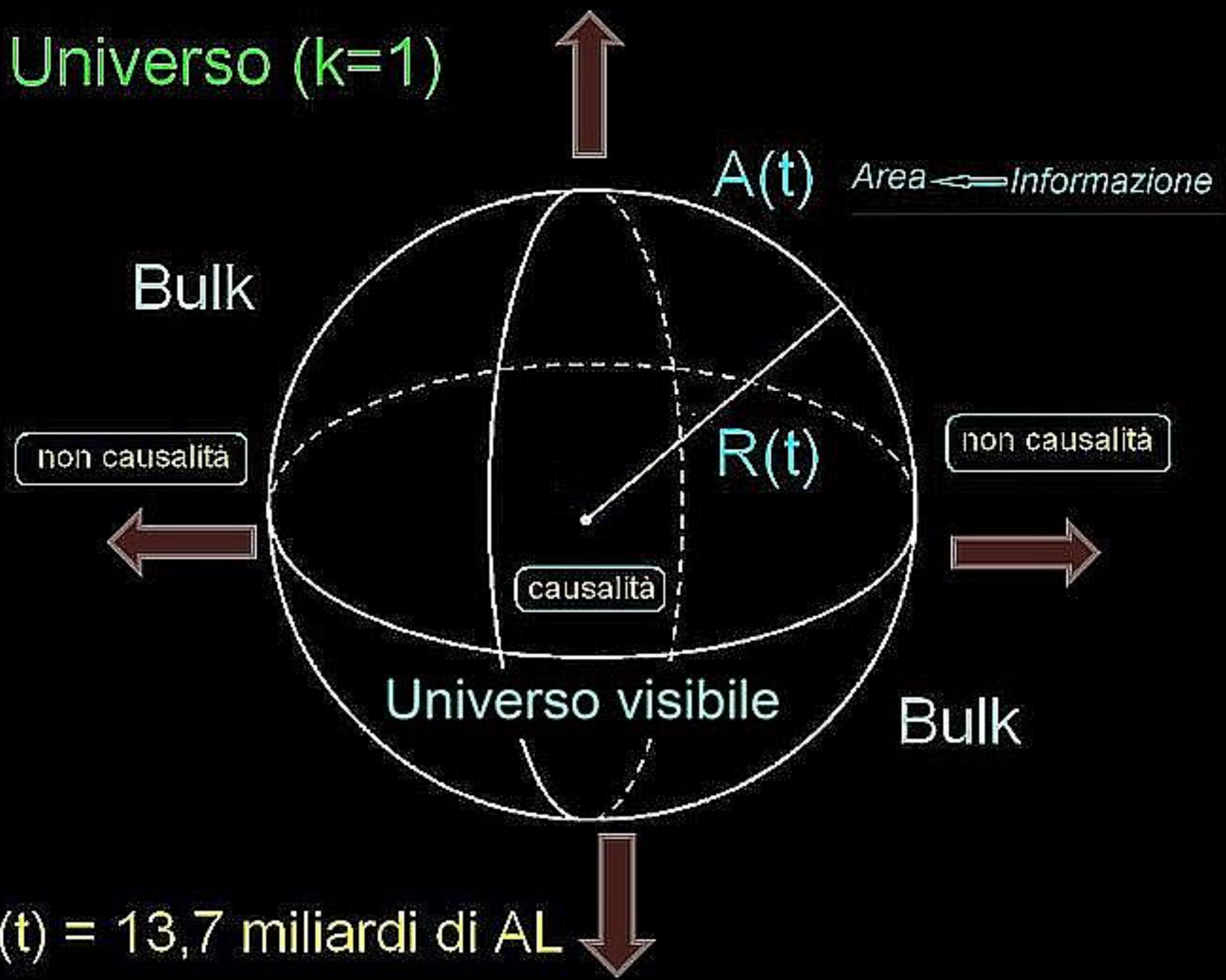
$$I = I_o \cdot e^{-K \cdot (t - t_o)}$$

Cosa provoca la perdita
di informazione?

...il trascorrere del tempo.

....Cioè?

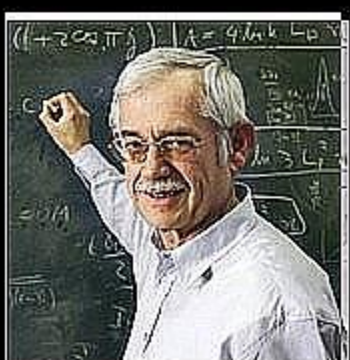
Il continuo aumento dell'Entropia dell'Universo a causa della sua espansione



Entropia dell'Universo al tempo t

Entropia di Beckenstein - Hawking

Hawking



Beckenstein

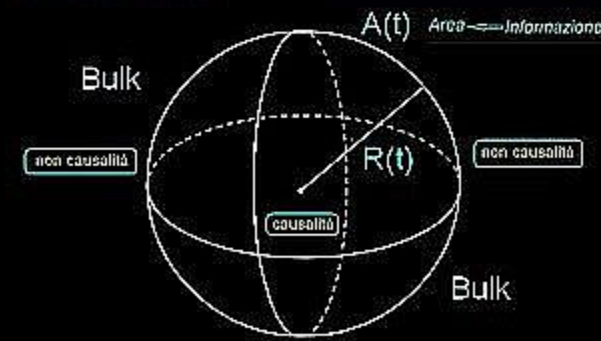
$$S_u(t) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot A(t)$$

E' possibile applicare la definizione di Entropia di Beckenstein - Hawking all'intero Universo.

Essa sarà proporzionale all'area del suo inviluppo (orizzonte cosmologico) al tempo t

$$A(t) = 4 \cdot \pi \cdot R(t)^2$$

Universo (k=1)



$R(t)$ = 13,7 miliardi di AL

$$S_u(t) = 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot R(t)^2$$

h = costante di Plank
G = costante di gravitazione universale
K_B = costante di Boltzmann
c = velocità della luce nel vuoto

...il trascorrere del tempo.

$$(t - t_o) = \frac{3.17 \times 10^{-8}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{S_u(t)}} \cdot \left[S_u(t) - S_u(t_o) \right] \qquad \text{(anni)}$$

ma anche:

$$(t - t_o) = 3.17 \times 10^{-8} \cdot \left[R(t) - R(t_o) \right] \qquad \text{(anni)}$$

dove:

$S_u(t)$ = Entropia dell'Universo al tempo t

$S_u(t_o)$ = Entropia dell'Universo al tempo t_o

$R(t)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo t (anni luce)

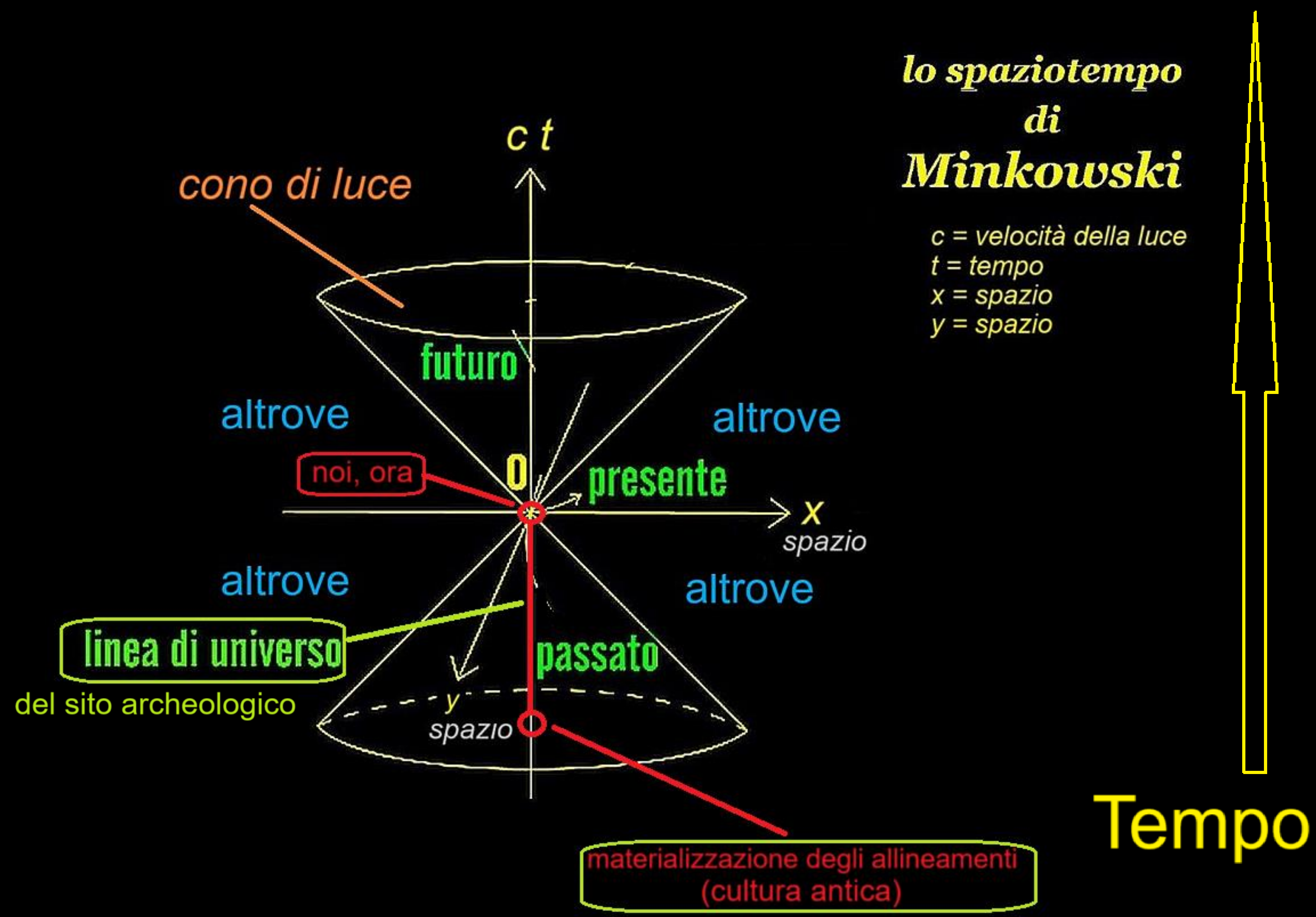
$R(t_o)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo t_o (anni luce)

h = costante di Plank $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34}$ J s

G = costante di gravitazione universale $6.674\,08(31) \times 10^{-11}$ $m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}$

K_B = costante di Boltzmann $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23}$ $J\,K^{-1}$

c = velocità della luce nel vuoto $299\,792\,458$ $m\,s^{-1}$



lo spaziotempo
di
Minkowski
c = velocità della luce
t = tempo
x = spazio
y = spazio
c t
cono di luce
futuro
altrove
altrove
noi, ora
O
presente
x
spazio
altrove
altrove
linea di universo
del sito archeologico
passato
y
spazio
materializzazione degli allineamenti
(cultura antica)
Tempo

Intervalli tra eventi

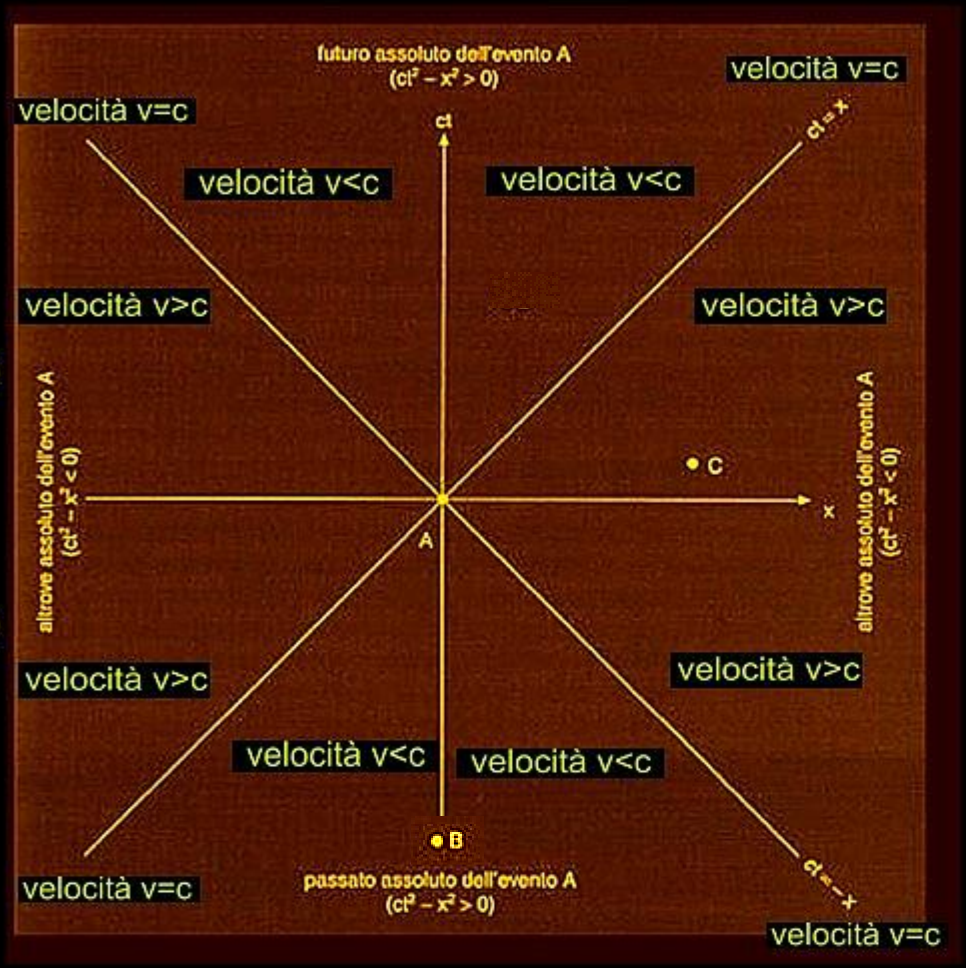
Cono di Luce

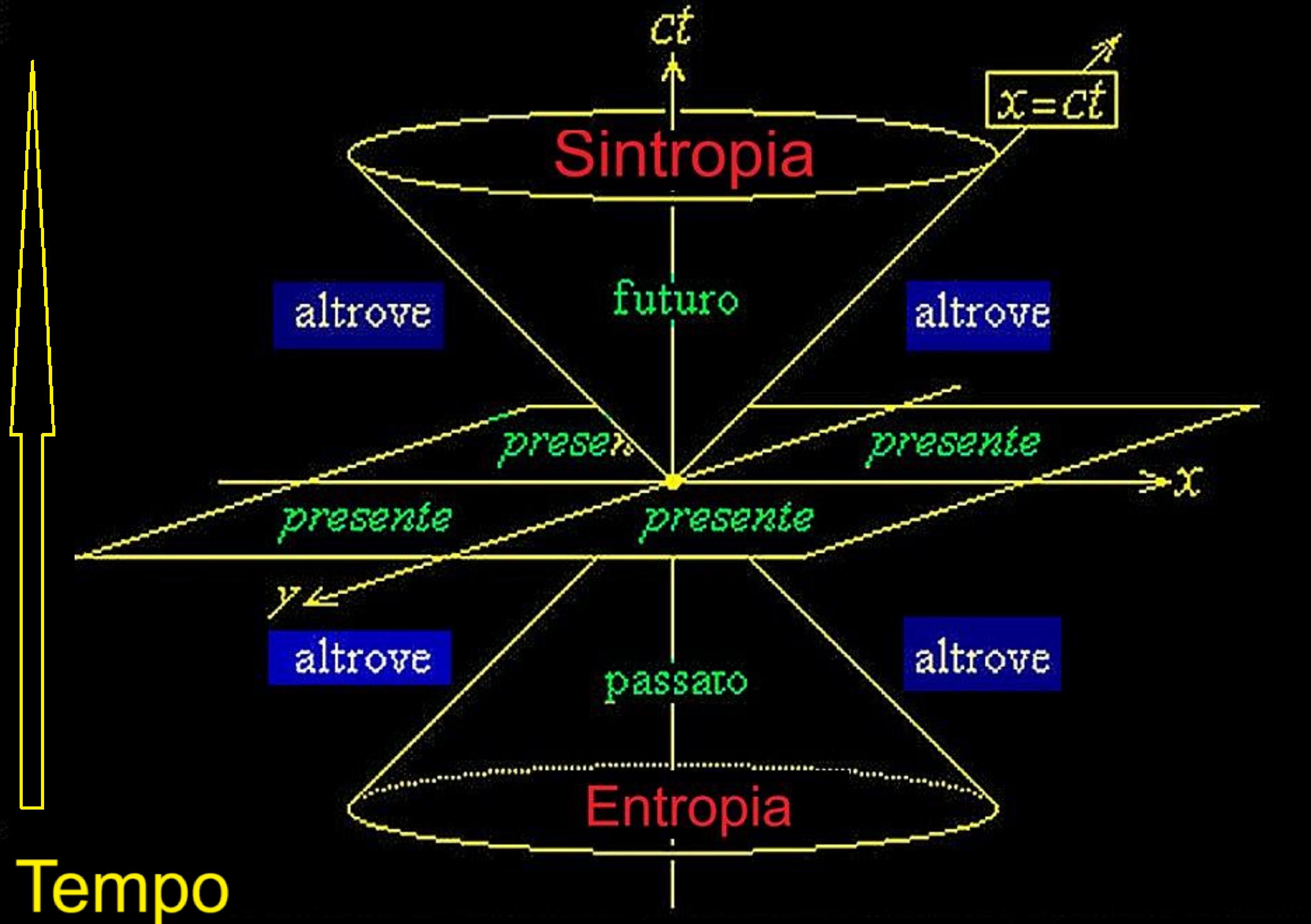
Per comodità, è raffigurata una sola dimensione spaziale.

A e B sono eventi separati da un intervallo di genere tempo.

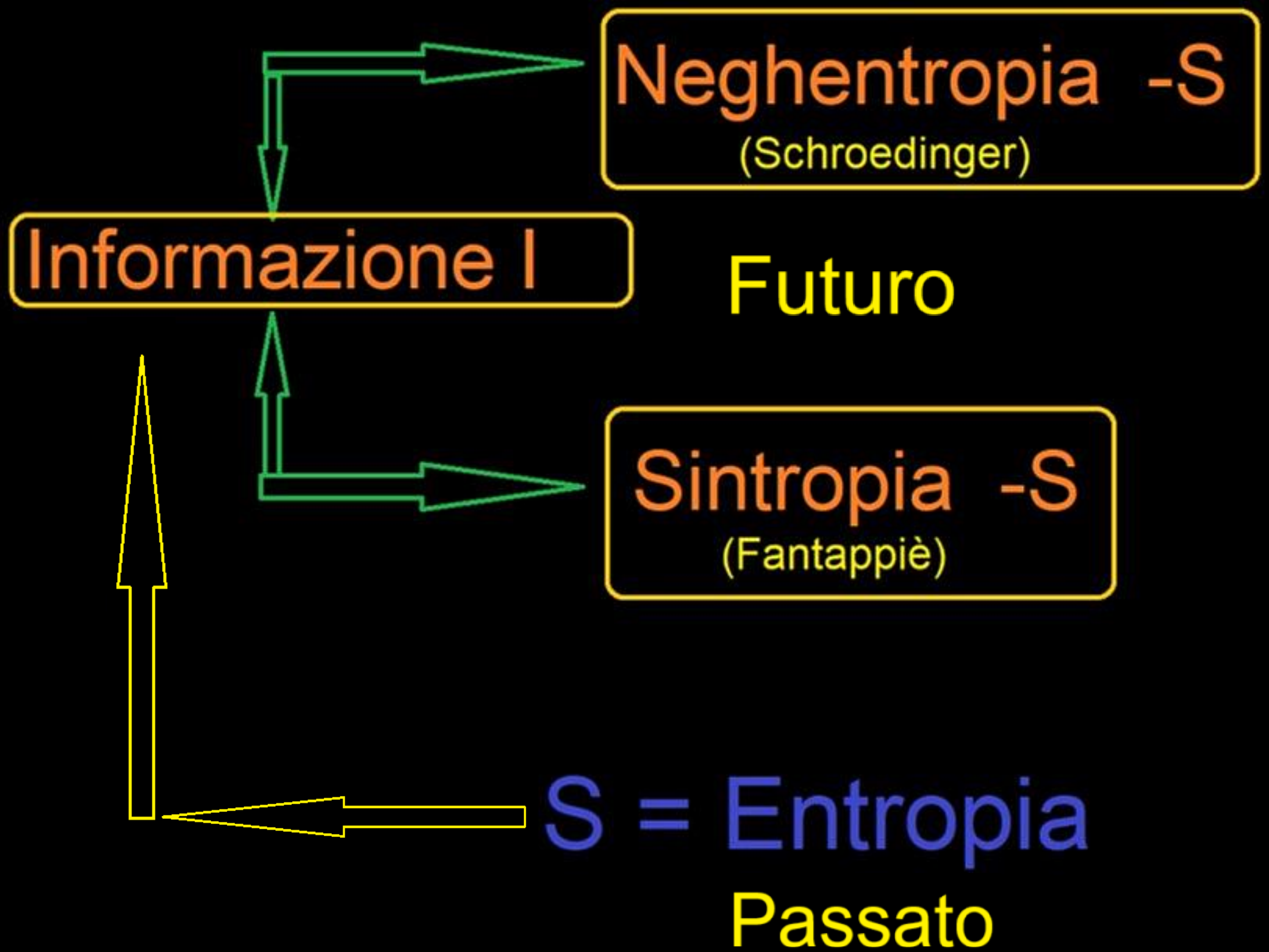
A : noi ora
B : Cultura antica

A e C sono eventi separati da un intervallo di genere spazio.





ct
x=ct
Sintropia
futuro
altrove
altrove
presen
presente
presente
presente
x
y
altrove
altrove
passato
Entropia
Tempo


Neghentropia -S
(Schroedinger)
Informazione I
Futuro
Sintropia -S
(Fantappiè)
S = Entropia
Passato

Presente = F(Passato, Futuro)

Stato Presente = G(Entropia, Sintropia)

Informazione attuale = H(Info(passato), Info(futuro))

dove:

F(.), G(.), H(.) : funzioni incognite altamente nonlineari

Interpretazione vettoriale di "allineamento"

(Gaspani, 2014)

Vettore "allineamento"

$$\mathbf{u} := \begin{bmatrix} Az \\ hz \end{bmatrix}$$

Azimut astronomico

Altezza angolare

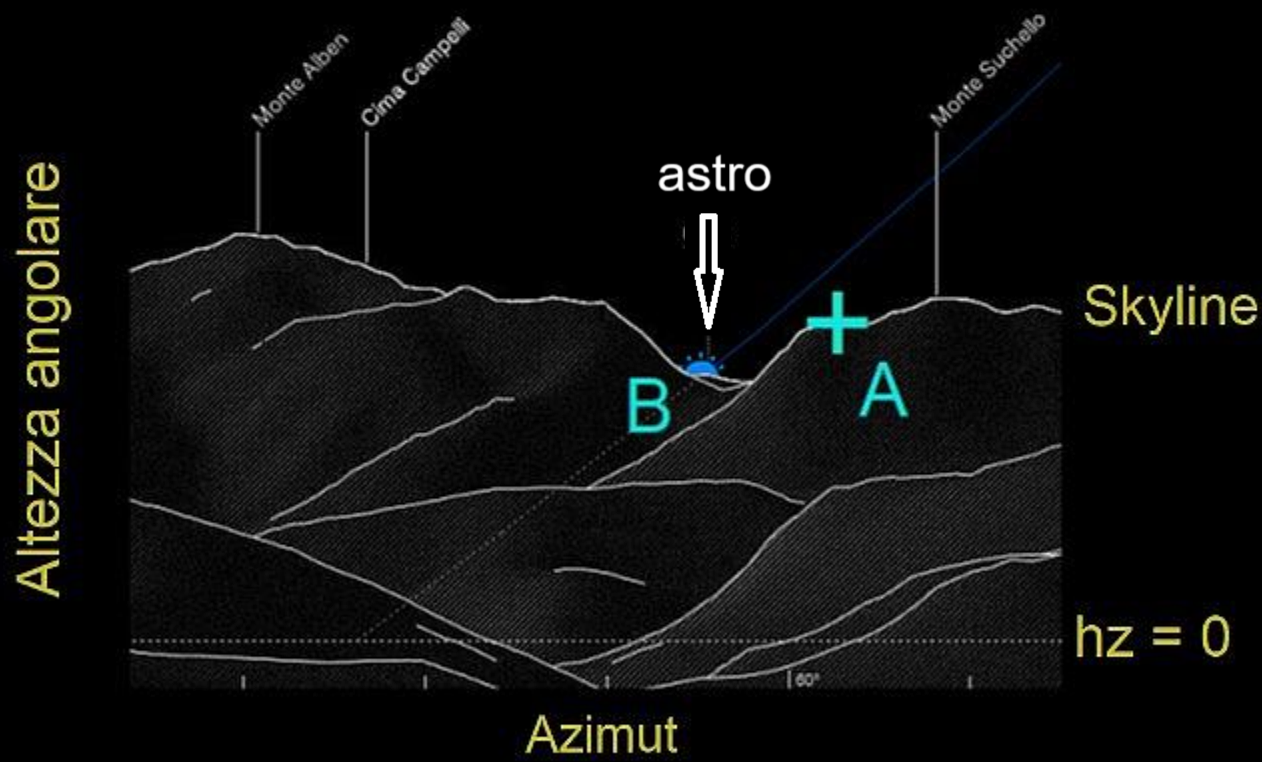
Vettore "Target Astronomico"

$$\mathbf{v} := \begin{bmatrix} As \\ hs \end{bmatrix}$$

Azimut astronomico

Altezza angolare

Un allineamento è un segmento orientato che interseca la Sfera Celeste in un punto



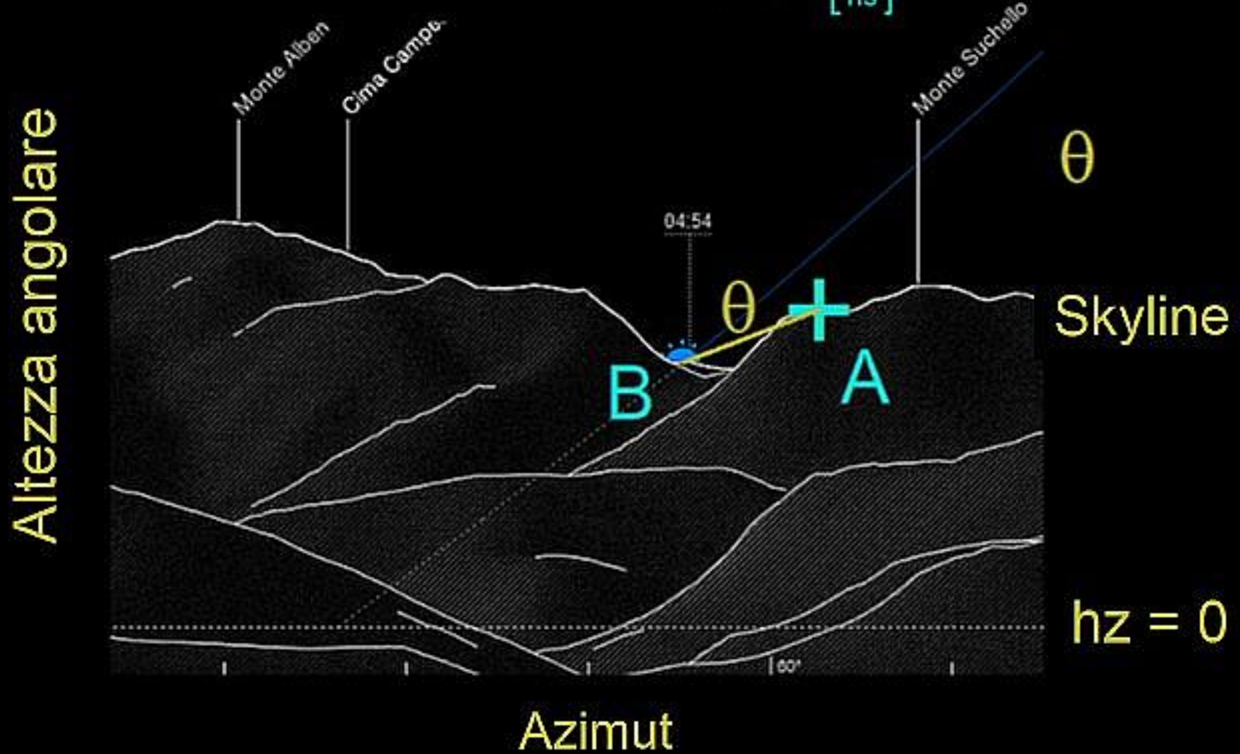
A : Intersezione dell'allineamento con la Sfera Celeste $\begin{bmatrix} Az \\ hz \end{bmatrix}$

B : Punto di sorgere dell'astro che si pensa essere correlato con l'allineamento (Target) $\begin{bmatrix} As \\ hs \end{bmatrix}$

Pointing Error

A : Intersezione dell'allineamento con la Sfera Celeste $\begin{bmatrix} Az \\ hz \end{bmatrix}$

B : Punto di sorgere dell'astro che si pensa essere correlato con l'allineamento (Target) $\begin{bmatrix} As \\ hs \end{bmatrix}$



$$\theta = \text{Pointing Error}$$

$$\cos(\theta) = \cos(Az - As) \cdot \cos(hz - hs)$$

Test statistici

E' quindi possibile progettare dei tests statistici congiunti che siano in grado di valutare l'affidabilità globale dei risultati dell'analisi archeoastronomica di un sito archeologico.

Test statistici

Ciascuna delle quantità :

R($\mathbf{u}$,$\mathbf{v}$), Pr($\mathbf{u}$,$\mathbf{v}$), S($\mathbf{u}$,$\mathbf{v}$), E($\mathbf{u}$,$\mathbf{v}$) , I($\mathbf{u}$,$\mathbf{v}$)

Produrrà un test statistico per mettere alla prova la correlazione tra l'allineamento e il target astronomico

Occorre valutare i valori critici delle varie quantità

e confrontarli con quelli ottenuti dall'analisi archeoastronomica

Informazione globale contenuta in n allineamenti indipendenti

$$I(n) = - \sum_{j=1}^{n} \log_2 [\, Pr(j) \,]$$

allora:

$$I(n) = \sum_{j=1}^{n} I(j)$$

L'informazione globale I(n) contenuta in n allineamenti indipendenti è la somma delle informazioni individuali di ciascun allineamento.

Pr(j) = probabilità di casualità del j-esimo allineamento

Informazione globale

n allineamenti <u>non</u> indipendenti:

$$I(n) = -\log_2(n) - \sum_{j=1}^{n-1} \log_2 [\, Pr(j) \,]$$

Pr(j) = probabilità di casualità del j-esimo allineamento

allora:

$$I(n) = \sum_{j=1}^{n-1} I(j) - \log_2(n)$$

L'informazione globale I(n) contenuta in n allineamenti <u>non</u> indipendenti è data dalla somma delle n-1 informazioni contenute in n-1 allineamenti diminuita del logaritmo in base 2 del numero di allineamenti <u>non</u> indipendenti

qualcuno va dicendo che le antiche civiltà sono di origine extraterrestre...

...o per lo meno che gli "antichi astronauti" hanno condizionato lo sviluppo delle antiche civiltà...


China
Atzteken
Japan
Mayas

L'Archeoastronomia non ha mai trovato alcuna traccia di reperti o siti archeologici ascrivibili a civiltà aliene che abbiano visitato la Terra in epoca antica.

conclusione finale:

Pedes in Terra, ad Sidera Visus!