



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Archeoastronomia

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 4

# I Metodi e le Tecniche Tradizionali 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

# Rilievo Archeoastronomico Tradizionale

basato sul rilievo topografico  
eseguito nei siti archeologici

# Rilievo Archeoastronomico Moderno

utilizza le risorse fornite dalla  
tecnologia spaziale

**l'Analisi Archeoastronomica  
deve essere consistente  
rispettando tre criteri:**

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

**...criterio di Schaefer**

# 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

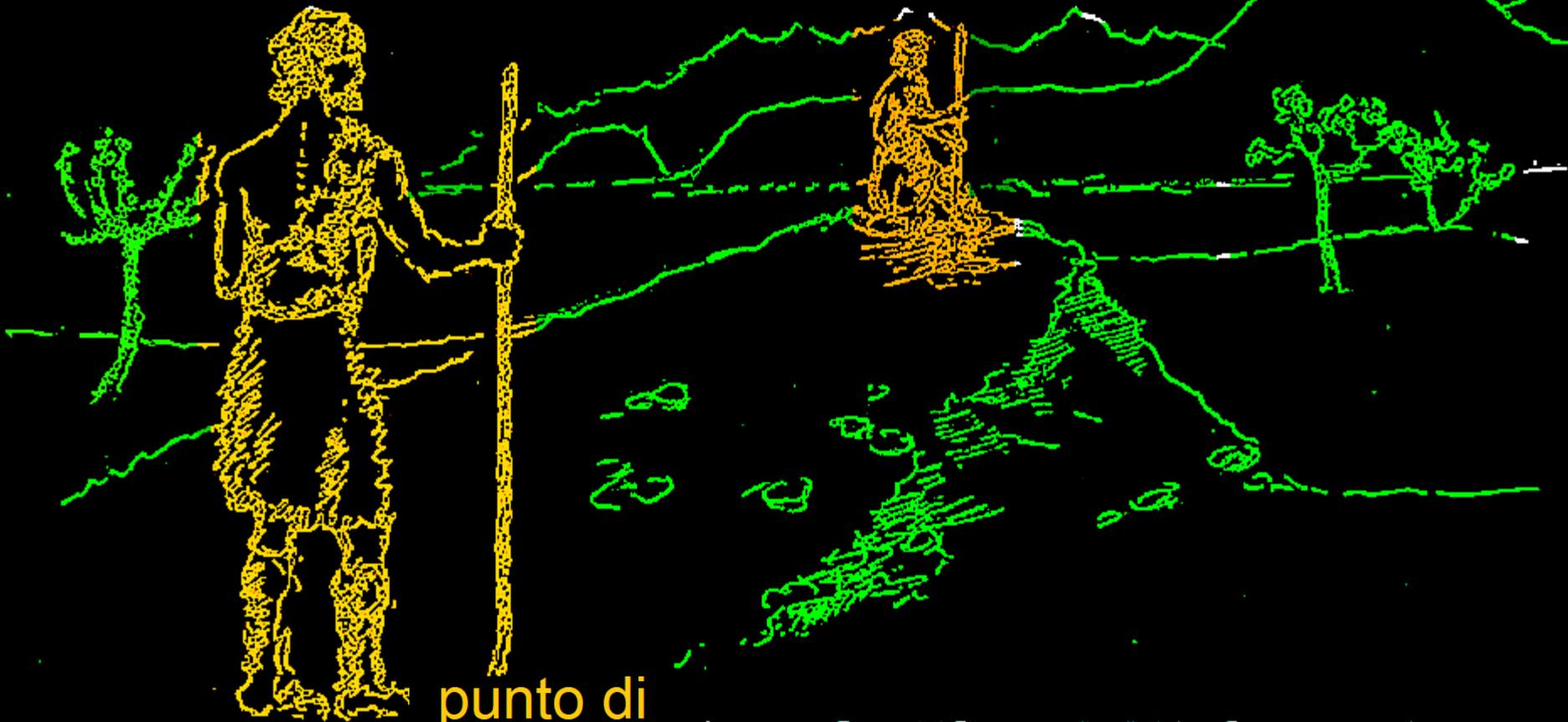
target  
astronomico

punto di  
collimazione



punto di  
stazione

Codifica dell'Informazione



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

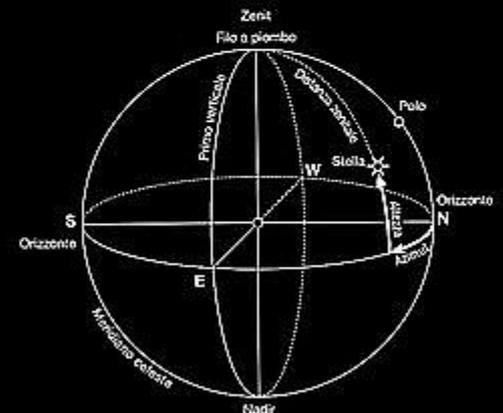
Si misurano:

Azimut (Az)

Altezze Angolari (ho)

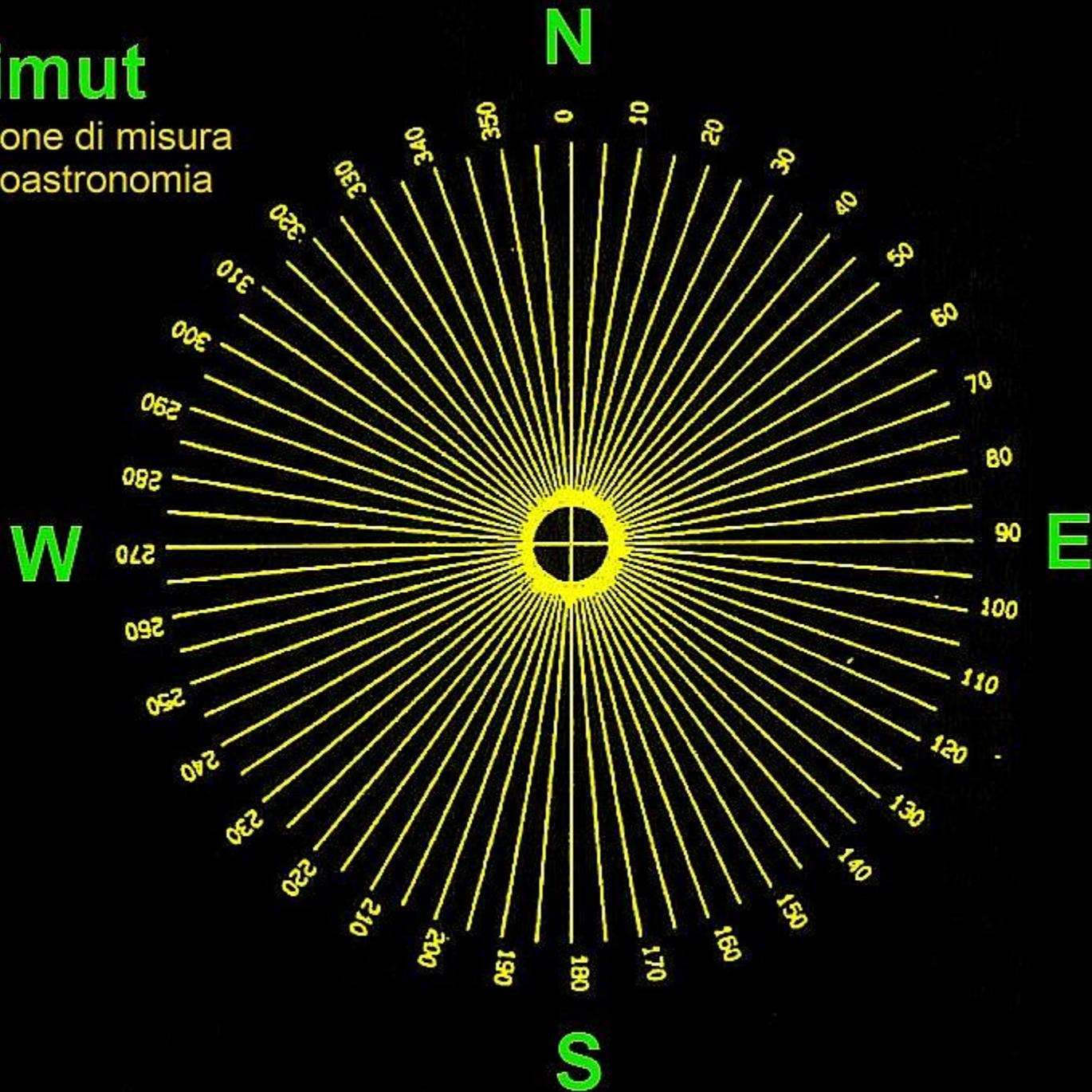
per ogni singolo allineamento

Coordinate Altazimutali



# Azimut

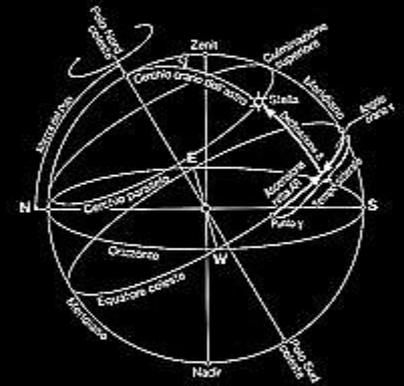
Convenzione di misura  
in Archeoastronomia



I calcoli astronomici vanno invece eseguiti nel Sistema Equatoriale

Ascensione Retta ( $\alpha$ )  
Declinazione ( $\delta$ )

Coordinate Equatoriali



per ogni singolo allineamento

# Allineamenti

"un allineamento è un segmento orientato che interseca la linea dell'orizzonte astronomico locale in un punto".

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

## Allineamenti "esatti"

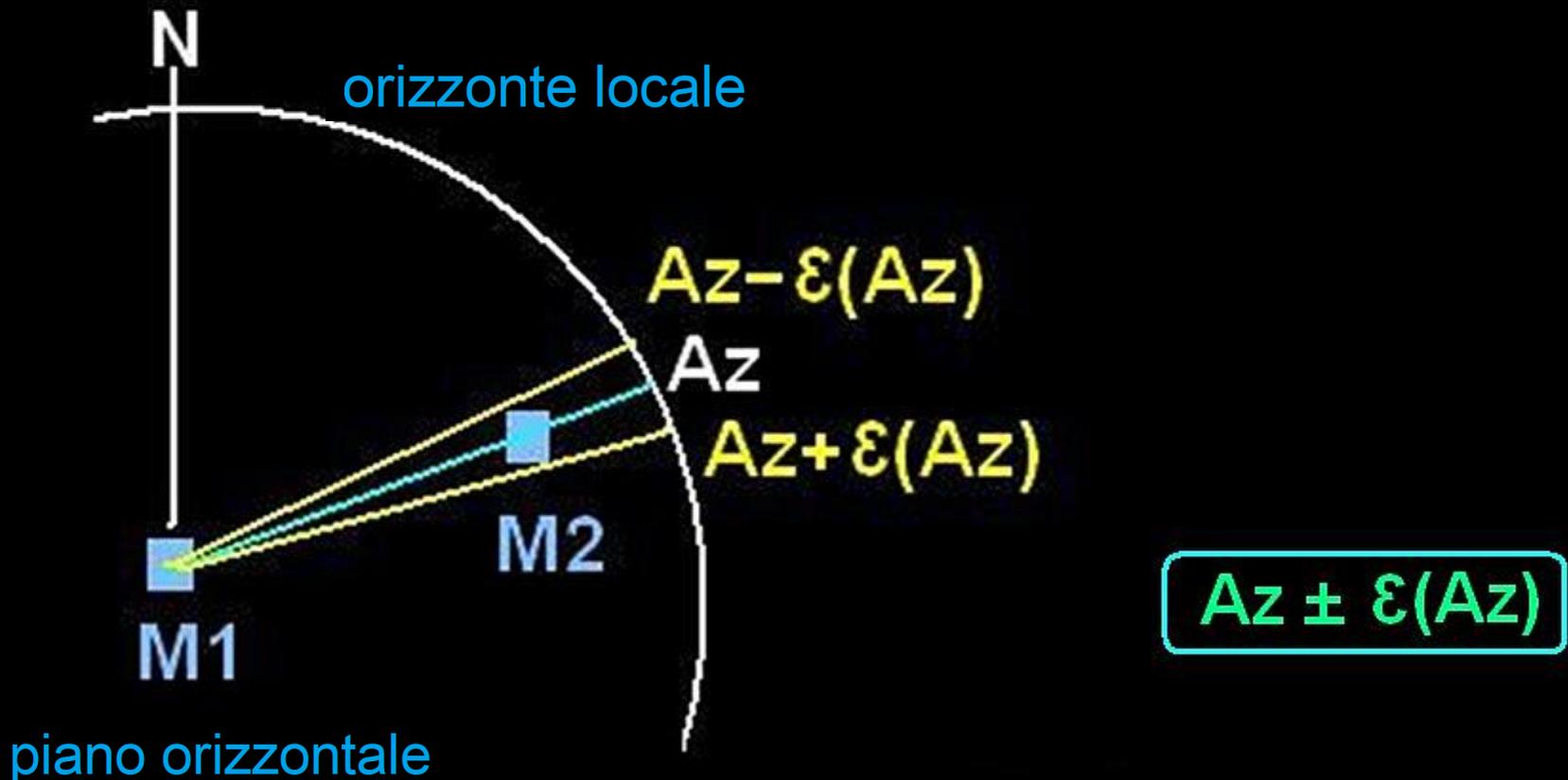
Diretti "esattamente" verso un punto dell'orizzonte dove era visto sorgere un particolare astro

## Allineamenti simbolici

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

# Margini di incertezza

Un allineamento definito da 2 marcatori M1 e M2 è definito dal suo azimuth astronomico di orientazione  $Az$  il quale è generalmente noto con un margine di incertezza  $\pm \varepsilon(Az)$

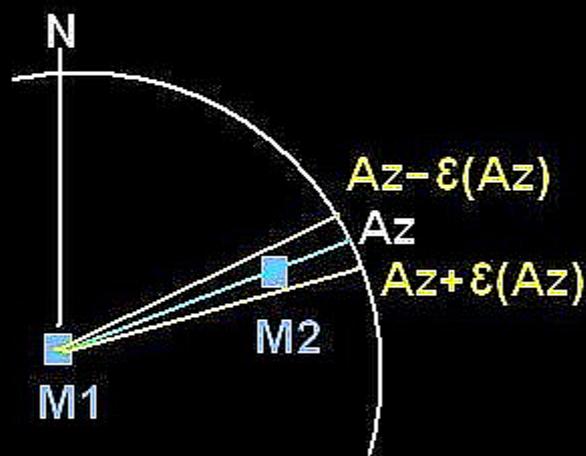


**La valutazione dell'errore  $\varepsilon(Az)$   
sull'azimut astronomico misurato  
è di fondamentale importanza!**

**$\varepsilon(Az)$  non è il "*pointing error*"  $\Delta(Az)$**

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

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

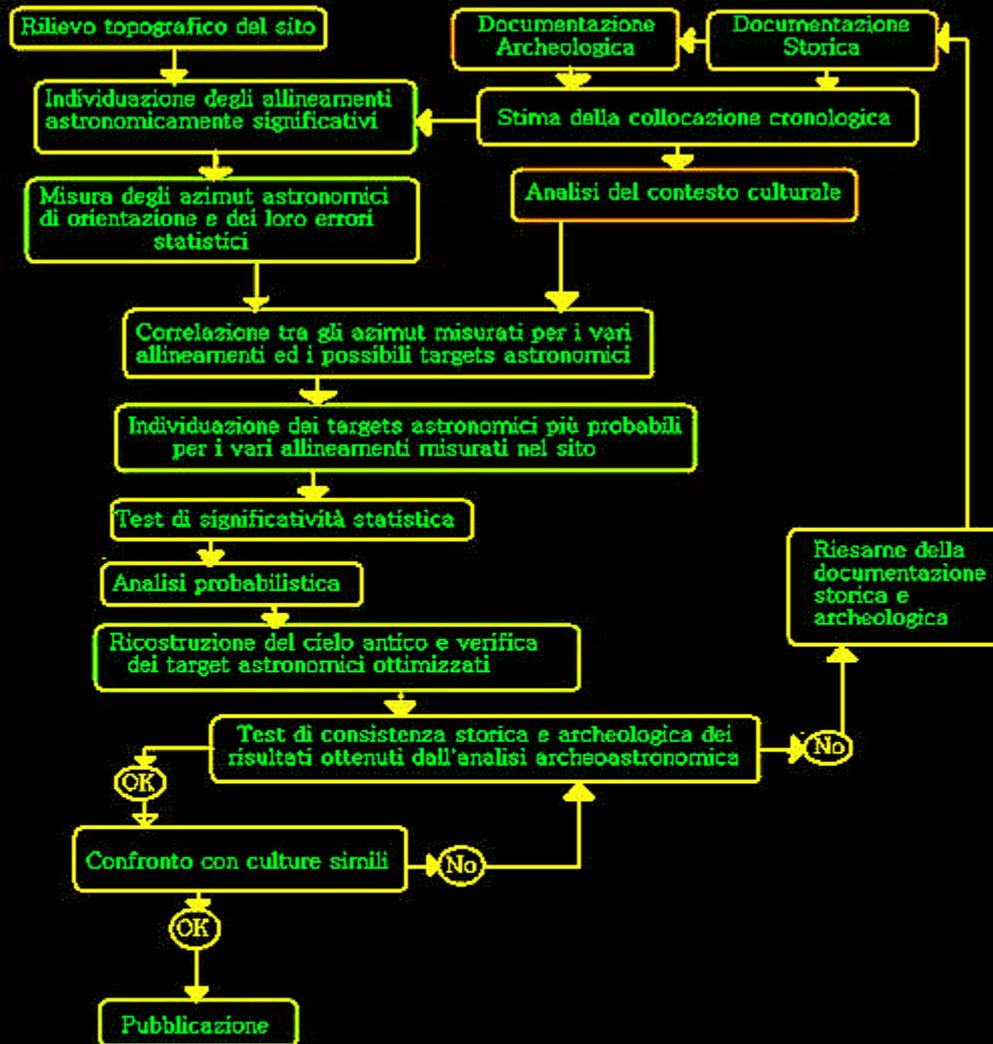


$$\Pr(Az) = \frac{2 \varepsilon(Az)}{360^\circ} = \frac{\varepsilon(Az)}{180^\circ}$$

(principio del "Blind Marksman")

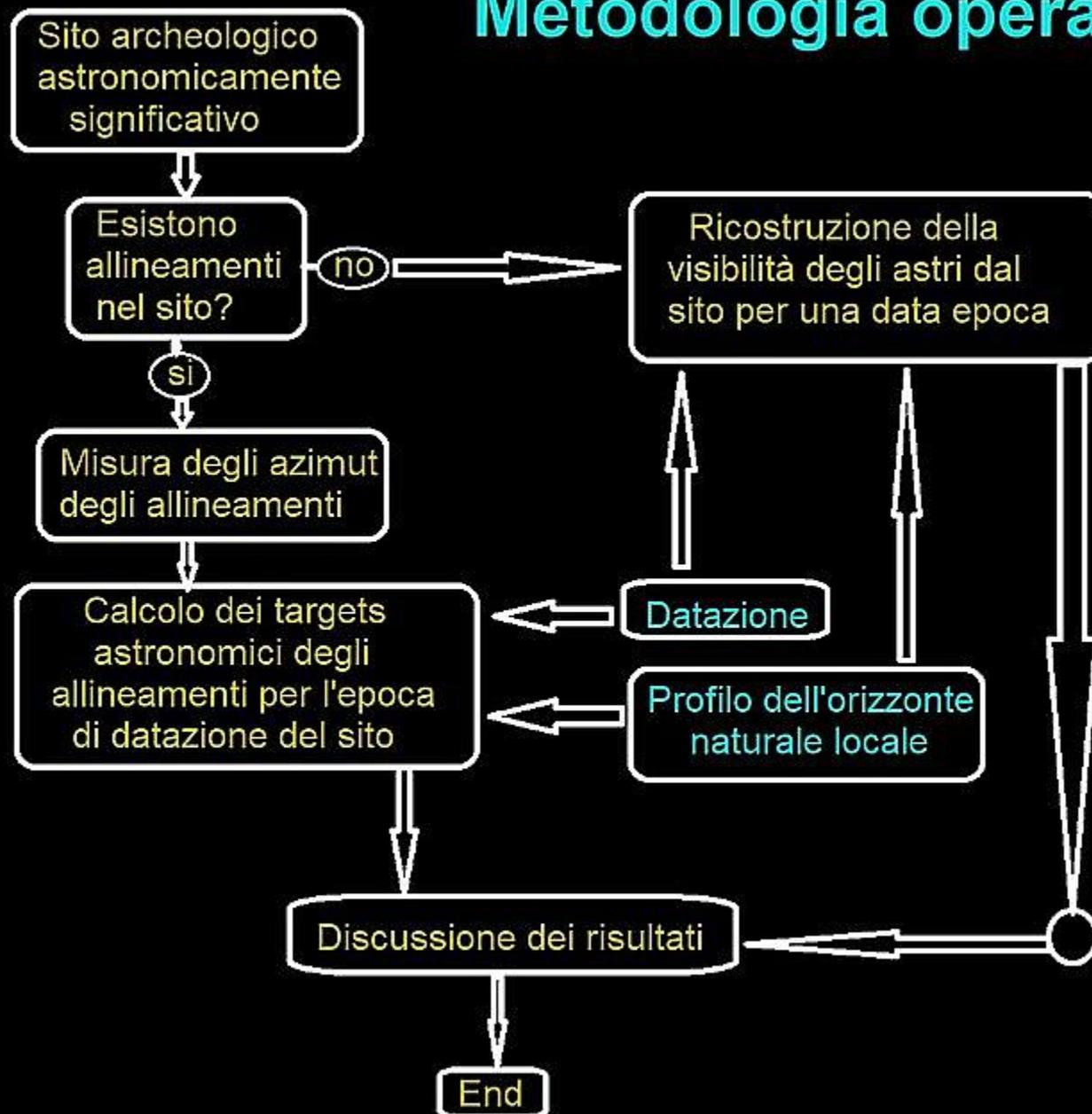
$\Pr(AZ)$  è la probabilità geometrica che in un sito esista casualmente un allineamento di azimuth  $Az$  con un margine di incertezza  $\varepsilon(Az)$

# Metodologia operativa



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

# 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**

Rilievo Archeoastronomico

tradizionale

Tecniche di Rilievo  
sul Territorio



Teodolite Zeiss Theo10

# Squadro Cilindrico Graduato Salmoiraghi



# Incertezza sugli angoli orizzontali misurati mediante lo Squadro Cilindrico Graduato Salmoiraghi



Il nonio dello squadro cilindrico graduato Salmoiraghi permette la lettura di un angolo orizzontale Hz accurato a 5 cc cioè:

$$v = 0,05 \text{ gons, pari a: } v = 0^{\circ},045.$$

Eseguendo una singola misura, l'accuratezza  $e(\text{Hz})$  attesa è quindi pari a:

$$e(\text{Hz}) = \pm v/2$$

in termini numerici:

$$e(\text{Hz}) = 0,025 \text{ gon} \quad \text{oppure:} \quad e(\text{Hz}) = 0^{\circ},0225$$

Nel caso si eseguano  $N$  misure dello stesso angolo orizzontale ciascuna indipendente dalle altre, l'accuratezza attesa è pari a:

$$e_N(\text{Hz}) = \pm \frac{v}{2\sqrt{N}}$$

vale a dire:

$$e_N(\text{Hz}) = \frac{0,025}{\sqrt{N}} \text{ gon}$$

oppure:

$$e_N(\text{Hz}) = \frac{0^{\circ},0225}{\sqrt{N}}$$



Questi valori si riferiscono all'incertezza minima ottenibile per un osservatore perfetto in condizioni ideali, in realtà eseguendo la media di  $N$  misure indipendenti si otterrà una barra d'errore di entità maggiore rispetto ai valori indicati.

# Tipi di bussole adatte per il rilievo archeoastronomico dei siti archeologici



Bussola topografica  
Wilkie mod. 9610



Bussola Tacheometrica

Bussola topografica  
Wilkie mod. 9610



Durante il rilievo archeoastronomico di un sito archeologico eseguito utilizzando una bussola topografica di precisione (generalmente di tipo prismatico ad armilla mobile) possono essere applicate due possibili modalità operative. La prima prevede l'utilizzo della bussola tenuta direttamente in mano durante le collimazioni, mentre la seconda prevede l'utilizzo di uno stativo (non ferromagnetico) che sostiene la bussola. In questo caso si raggiunge una maggior precisione di misura. Generalmente l'armilla della bussola possiede una divisione in unità angolari ( $1^\circ$  oppure  $0,5$  o altro) detta "granularità" e indicata con "g". A seconda della granularità della bussola e della modalità operativa adottata durante il rilievo archeoastronomico si possono raggiungere due differenti livelli di accuratezza.

In generale si avrà che l'errore  $e(A_m)$  commesso su una singola misura di azimuth magnetico sarà:

$$e(A_m) = \frac{1}{2} g$$

bussola tenuta in mano

$$e(A_m) = \frac{1}{6} g$$

bussola montata su stativo

con:  $g$  = granularità = intervallo di divisione dell'armilla



Bussola Topografica  
Wilkie mod. 9610.



**Nikon** 7x50 22° CF WP  
COMPASS

**Nikon**

Attenzione allo strumento che si utilizza per il rilievo  
archeoastronomico del sito...



Bussola Topografica  $e(Az) = \pm 0^{\circ},25$



Squadro Cilindrico  $e(Az) = \pm 0^{\circ},045$



Teodolite

$e(Az) = \pm 0^{\circ},005$



Altezza angolare

graduazione :10 mills

1 mil = angolo sotteso  
da 1 metro a 1000 m

$$1 \text{ mil} = 0^{\circ}.0573$$

Azimut Magnetico

graduazione: 1 grado  
sessagesimale



In generale la Funzione Densità di Probabilità  $f(A_m)$  associata alle misure di azimut magnetico sarà:

$$f(A_m) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{A_m - A_o}{\sigma} \right)^2}$$

dove la deviazione standard  $\sigma$  vale:

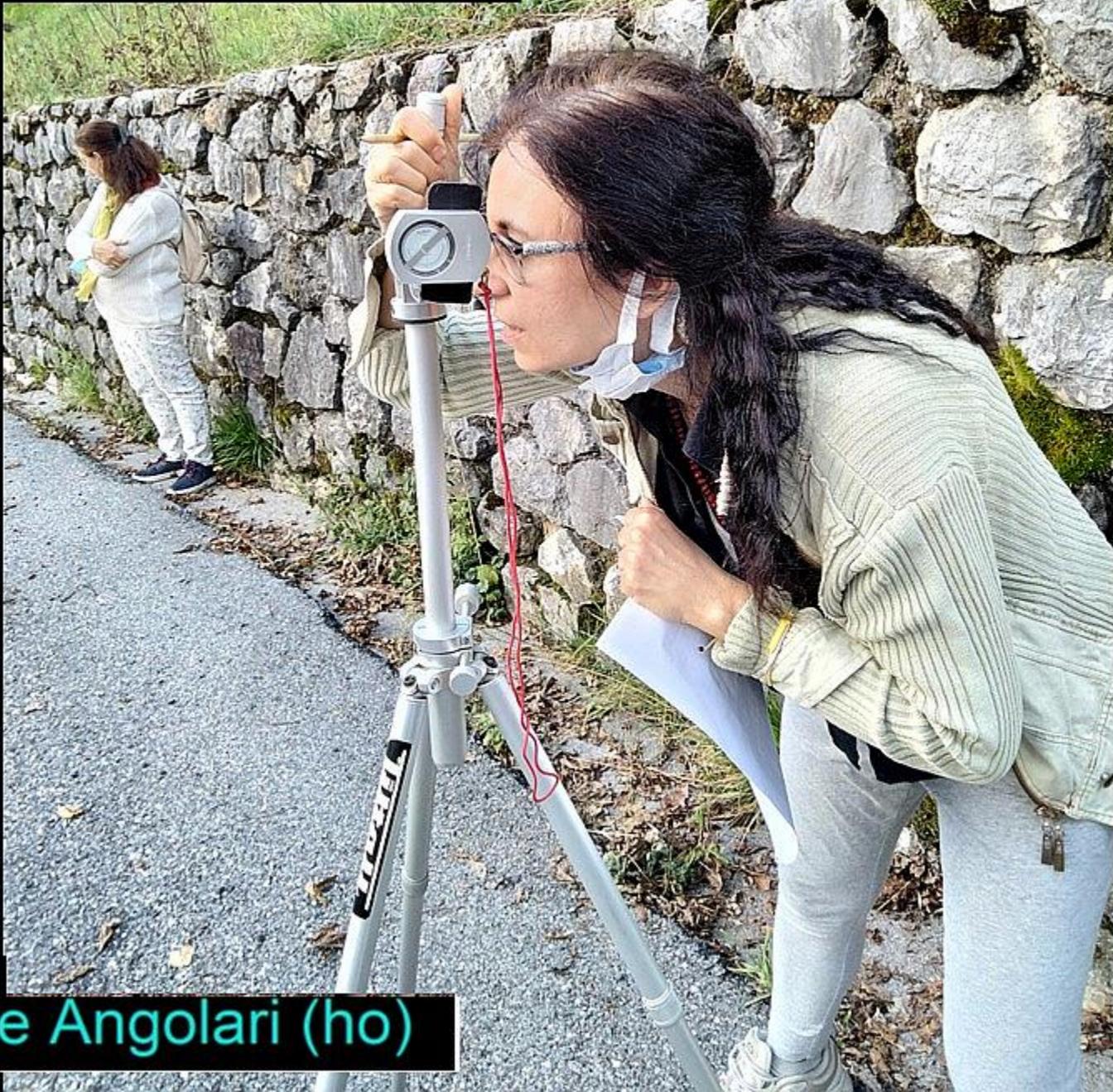
$$\sigma = e(A_m)$$

Allora in generale la formulazioni della p.d.f. diventa:

$$f(A) = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\frac{2}{g^2} (A_m - A_o)^2}$$

in cui  $A_m$  è l'azimut magnetico misurato e  $A_o$  è l'azimut magnetico vero.

# Clinometro SUUNTO Kr 360



Altezze Angolari (ho)

# Altezze Angolari (ho)



**Clinometro SUUNTO Kr 360**

# Cosa abbiamo misurato?

## a) Angoli orizzontali

Squadro, Teodolite, vari goniometri

## b) Azimut magnetici

Bussole topografiche e da rilevamento

## c) Azimut geodetici

Sistemi GPS, GyroTeodolite

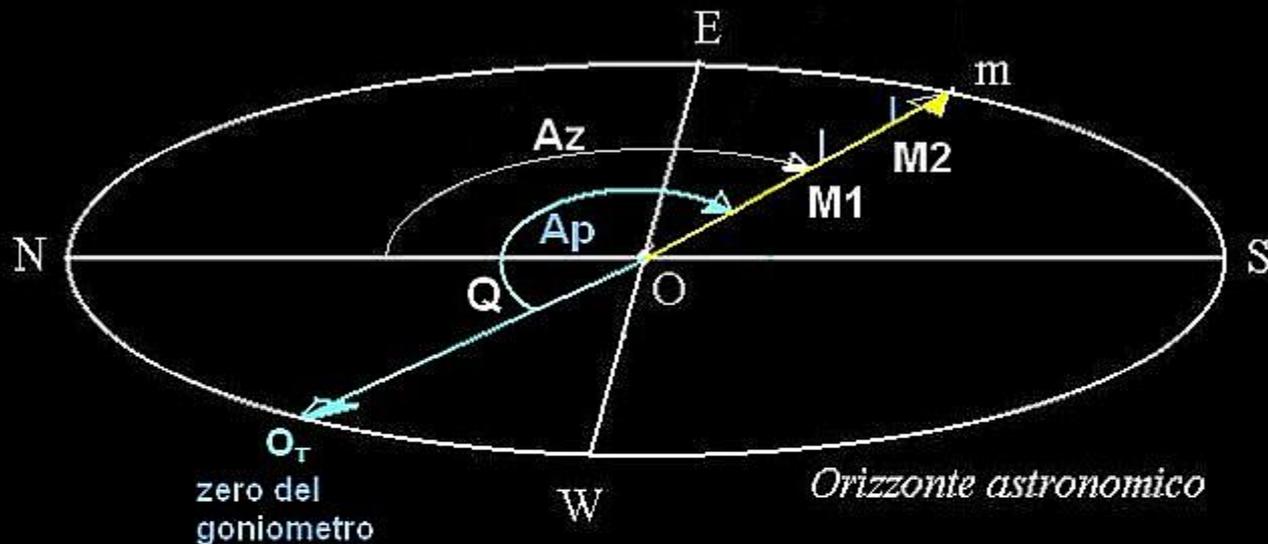
# la Calibrazione

**Conversione degli angoli  
orizzontali (misurati) in  
azimut astronomici**

$$\text{Az(astro)} = \text{Angolo orizzontale} + C$$

**C = correzione (offset)**

# Calibrazione



**Az = Azimut Astronomico (da determinare)**

**Ap = Angolo Orizzontale (misurato)**

**Calibrazione:**

$$Az = Ap - Q$$

**La Calibrazione richiede SEMPRE la misura dell'Azimut Astronomico (Geodetico) di una direzione di riferimento collimabile con lo strumento utilizzato per il rilievo archeoastronomico**

La linea di riferimento può essere:

**Topografica o Geodetica (Base GPS o ibrida)**  
**Astronomica (direzione solare o stellare)**