

INTRODUZIONE ALL'ARCHEOASTRONOMIA NUOVE TECNICHE DI ANALISI DEI DATI

Di Cernuti Silvia
cernuti @merate.mi.astro.it

Abstract

In all these cases in which an ancient place is considered interesting from the archaeoastronomy point of view, the analysis carried out, has to put in evidence the presence of possible astronomical alignments, using a methodology of analysis, that must be as most rigorous as possible. In this way we tried to developpe an handbook (at the moment in printing) that collects informations about this discipline, the traditional techniques with whom we operate and the presentation of new techniques whether of analysis or of dates survey in an archaeoastronomical place.

Riassunto

In tutti quei casi in cui un sito antico è ritenuto di interesse archeoastronomico l'analisi effettuata deve mettere in evidenza la presenza di eventuali allineamenti astronomicamente significativi avvalendosi di una metodologia di analisi che sia la più rigorosa possibile. In questa ottica si è cercato di sviluppare un manuale (attualmente in stampa) che raccogliesse informazioni riguardo questa disciplina, le tecniche tradizionali con cui si opera e la presentazione di nuove tecniche sia di analisi che di rilevazione dei dati in un sito archeoastronomico.

Presentazione del manuale:

Introduzione

- 1.1 Introduzione all'archeoastronomia: cosa intende studiare questa disciplina e quale è stato e sarà il suo sviluppo.
- 1.2 Le problematiche che si evidenziano nello studio di reperti di interesse archeoastronomico.
- 1.3 Breve storia dell'archeoastronomia
- 1.4 Errori da evitare

La datazione dei reperti archeologici

- 2.1 Metodi di datazione in archeologia
- 2.2 L'astronomia non consente di datare i reperti archeologici

Richiami di astronomia sferica

- 3.1 Moto del Sole
- 3.2 Moto della Luna
- 3.3 Le Eclissi
- 3.4 Determinazione empirica della posizione sull'orizzonte del punto di levata del Sole agli Equinozi.
- 3.5 La determinazione empirica della linea meridiana
- 3.6 La posizione degli astri durante il trascorrere del tempo

- La precessione
- L'obliquità dell'eclittica
- La Nutazione
- L'Aberrazione
- Il moto proprio
- La parallasse Annuale
- La frazione di cielo osservabile nella preistoria e nella protostoria

3.7 Le stelle polari dell'antichità

3.8 L'obliquità dell'eclittica

3.9 Il problema matematico della determinazione delle linee Equinoziale e Meridiana

3.10 Le Costellazioni

3.11 I Pianeti

3.12 Cataloghi di stelle per l'archeoastronomia

Simulazione del cielo antico

4.1 Tecniche di simulazioni del cielo antico: Il software commerciale di simulazione

L'Atmosfera: quanto interferisce l'atmosfera nell'osservazione astronomica ad occhio nudo.

5.1 Ottica dell'atmosfera

- Rifrazione
- L'estinzione
- L'angolo di estinzione
- La luminosità del cielo
- L'alone

5.2 L'osservazione visuale delle stelle nell'antichità

5.3 La luminosità degli oggetti osservati ad occhio nudo nell'antichità

5.4 L'occhio come strumento di osservazione astronomica

5.5 La misura della luminosità degli oggetti celesti

5.6 l'osservazione degli astri ad occhio nudo

5.7 Il potere risolutivo

5.8 Effetti dell'atmosfera terrestre sull'osservazione visuale degli oggetti celesti

5.9 Dimensione delle immagini delle stelle

5.10 Adattamento dell'occhio all'oscurità

5.11 La levata eliaca

5.12 Il sorgere e il tramontare degli astri in epoca remota

Tecniche tradizionali nel rilevamento dei siti

Introduzione

- Gli orientamenti negli scavi archeologici
 - Le misure di azimut ed altezza
 - Il rilievo dell'orizzonte
- 6.1 Gli strumenti di misura per archeoastronomia

- 6.2 La rilevazione degli allineamenti nei siti di importanza arqueoastromonica
- 6.3 Procedura di misura degli azimut astronomici mediante rilevamento magnetico perturbato.

Nuove tecniche di rilevamento dei siti

- 7.0 Introduzione : il GPS in arqueoastronomia
- 7.1 Il sistema GPS
- 7.2 Il sistema GLONASS
- 7.3 Accuratezza raggiungibile
- 7.4 Applicazione all'arqueoastronomia
- 7.5 Alcune esperienze oggettive
- 7.6 Conclusione
- 7.7 Schede tecniche

Tecniche tradizionali di analisi

- 8.1 Test di significatività

Nuove tecniche di analisi dei dati

- 9.1 Tecniche fondamentali nella rilevazione e nello studio dei siti arqueoastronomici: Applicazione delle reti neurali e della Logica Fuzzy.
- 9.2 Allineamenti astronomicamente significativi o perverse combinazioni di direzioni casuali?
- 9.3 La disposizione delle Tombe nella rilevazione e nello studio delle necropoli antiche.
- 9.4 Applicazione di metodi neuro-fuzzy agli effetti perturbatori dell'atmosfera.

In questo poster vengono presentati alcuni brani degli argomenti sviluppati nel manuale:

Allineamenti significativi

Se studiamo, ragionando in un ottica arqueoastronomica, la disposizione delle pietre o delle buche di palo che mostrano una natura regolare e non casuale (posizionate appositamente dall'uomo, con qualche intento), è logico supporre che questi marcatori definiscano degli allineamenti diretti verso un punto sull'orizzonte corrispondente al sorgere o al tramontare di qualche oggetto celeste all'epoca della collocazione cronologica del sito. E' stato ipotizzato da Somerville (1920) che in qualche caso gli allineamenti venissero utilizzati in combinazione con dei traguardi naturali, posti in lontananza al fine di aumentare l'accuratezza della direzione individuata. In questo caso la probabilità che l'allineamento fosse diretto verso un oggetto astronomico dovrebbe essere ancora più elevata. Infatti l'uso di basi molto lunghe fu probabilmente motivato dall'esigenza di ottenere una maggior precisione nel puntamento. Tali livelli di accuratezza sono giustificabili solamente tentando di riguardare oggetti astronomici, ma deve sempre esistere il ragionevole sospetto che ciò non sia vero, ma solamente frutto del caso. Ad ogni modo una conveniente analisi probabilistica consente di discriminare tra direzioni astronomicamente significative e direzioni casuali nella maggioranza dei casi con un buon margine di affidabilità.

Dobbiamo però sempre tenere ben presente un fatto di fondamentale importanza:

Praticamente quasi tutta l'Arqueoastronomia è fondata sulla nozione di allineamento che potremmo sintetizzare mediante la seguente definizione formale:

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

Questa definizione è formalmente esatta, ma ben poco operativa dal punto di vista pratico. Gli allineamenti che possiamo rilevare nei siti di interesse archeoastronomico possono essere di due tipi: allineamenti esatti e allineamenti simbolici. Gli allineamenti di monoliti o buche di palo sono stati in passato considerati come realizzazioni statistiche di direzioni esatte orientate verso precisi punti dell'orizzonte locale. L'errore di posizionamento era, secondo questo modo di vedere le cose, descrivibile in termini di variabili casuali che ammettono una funzione Densità di Probabilità, quindi l'analisi del sito poteva procedere con l'impiego di metodi standard basati sulla Statistica. Vedremo perché questo approccio è metodologicamente e concettualmente poco corretto. Gli allineamenti simbolici richiedono invece solo che il posizionamento dei marcatori (monoliti e/o pali) fosse disposto già in origine in maniera grossolana, non per cattivo lavoro da parte dei costruttori, ma perché non esisteva la reale necessità di costruirli esattamente diretti verso un determinato punto dell'orizzonte locale dove sorgeva o tramontava un astro. Allineamenti di questo tipo non sono trattabili mediante gli usuali metodi statistici, ma richiedono l'applicazione di tecniche basate sulla Logica Fuzzy che sostituiscono alla nozione di Probabilità quella di Possibilità e che forniscono gli strumenti matematici necessari per trattare le informazioni secondo un'ottica più efficace. In realtà possiamo facilmente renderci conto che gli allineamenti "esatti" non esistono in quanto nulla ci autorizza a ritenere la disposizione dei monoliti o delle buche di palo che rileviamo in un sito come affetti da errori casuali. Gli allineamenti saranno quindi nella maggioranza dei casi frutto di disposizioni simboliche dei marcatori che li definiscono e gli errori rispetto alle direzioni vere (che tra l'altro è proprio quello che ci si prefigge di determinare con una parte dell'indagine archeoastronomica) non è detto che siano tali, ma potrebbero essere frutto di un deliberato criterio adottato dai costruttori nel disporli.

Il riconoscimento degli allineamenti astronomicamente significativi :Approccio basato sulla Teoria dell'Informazione

In generale il calcolo del reale livello di significatività statistica di un gruppo di allineamenti è un problema molto complesso e non è chiaro se esistano soluzioni matematicamente soddisfacenti ad esso. Addizionalmente l'applicazione dei criteri statistici usuali richiede che si stia studiando un processo casuale di qualche natura. In un sito di importanza archeoastronomica non esistono processi casuali in quanto la struttura mostrerà sempre qualche tipo di organizzazione ordinata e ben definita lontana da quella casuale richiesta al fine di soddisfare i teoremi che ci autorizzano l'applicazione delle usuali tecniche statistiche. Questo è il motivo per cui la direzione complessiva definita da una linea di più di due marcatori non può essere ottenuta per mezzo di una semplice media delle direzioni individuali oppure usuali tecniche di regressione lineare. Chi dispose gli allineamenti che sono rilevabili nei siti non lo fece con gli occhi bendati. In questo genere di problemi l'applicazione delle reti neurali artificiali si rivela vincente grazie alla loro abilità di autoassociare configurazioni che sfuggono ad una codifica matematicamente trattabile in termini rigorosi. A questo punto è necessario fare alcune considerazioni sulla natura degli allineamenti che possono essere identificati dalla particolare disposizione di buche di palo o pietre (che qui chiameremo "marcatori"), disposte dall'uomo. Dal punto di vista strettamente geometrico un allineamento è determinato al minimo dalla disposizione di due marcatori quindi se essi sono più di due, diciamo N , il numero degli allineamenti individuati cresce abbondantemente arrivando a $N(N-1)$, cioè tutte le possibili permutazioni. In questo caso il numero degli allineamenti possibili cresce a dismisura e alla fine saremo in grado di identificare praticamente un allineamento per ciascun oggetto celeste visibile ad occhio nudo nel cielo!. Paradossalmente risulta molto più difficile per noi che analizziamo oggi la disposizione dei marcatori presenti in un sito dimostrare

che effettivamente i costruttori tentarono di marcare un determinato punto dell'orizzonte locale che per gli antichi costruttori posizionare fisicamente le pietre nel modo corretto o scavare le buche e innalzare i pali. Supponendo che un uomo antico avesse disposto sul terreno quattro marcatori al fine di definire due allineamenti diversi, oggi noi rilevando la loro posizione sul terreno ci troviamo di fronte a 12 allineamenti possibili, ma in realtà solamente due sono quelli utilizzati in passato. Come è possibile identificare tra i 12 allineamenti possibili quelli giusti? Apparentemente il problema di discriminare in modo da identificare gli allineamenti astronomicamente significativi sembrerebbe essere molto mal condizionato, soprattutto se il numero dei marcatori è elevato. Esiste anche un altro problema, cioè quello di discriminare tra le disposizioni di marcatori destinate in origine a funzioni architettoniche e quelle invece genuinamente astronomiche. Qui le cose si complicano molto in quanto la discriminazione diventa molto difficile. Infatti se un sito presenta una disposizione regolare di buche di palo poste a distanza ravvicinata è possibile che in origine i pali in esse infitti fossero in realtà destinati a sostenere una copertura, una tettoia ad esempio, e non abbiano nulla a che vedere con gli allineamenti astronomici, anche se bisogna fare attenzione al fatto che nulla vietava di costruire delle capanne astronomicamente orientate, (i tepee dei pellerossa americani ne sono un esempio). La regolarità delle configurazioni è misurabile se si ha l'accortezza di applicare particolari tecniche di analisi che sono divenute disponibili solamente in epoca moderna. Il problema della corretta scelta degli allineamenti astronomicamente significativi è un complesso problema di "pattern processing" contro cui quasi tutte le tecniche matematiche tradizionali falliscono, ma il quale può ragionevolmente essere risolto con buoni risultati mediante un particolare dispositivo matematico noto con il nome di Rete Neuronale Artificiale.

La rete neurale artificiale è in grado, dopo una opportuna fase di addestramento, di associare le configurazioni presenti sul terreno (le disposizioni dei marcatori) riconoscendo quelle significative (o almeno la maggioranza di esse) con una probabilità di successo superiore al 90% a seconda della architettura della rete, della complessità del problema e del grado di addestramento. Ma questo è solo un aspetto dei tanti vantaggi che un algoritmo di questo tipo permette di ottenere e gli esperimenti eseguiti fino ad ora su questa strada hanno fornito risultati molto positivi.

Interpretazioni di siti archeoastronomici: un problema di Logica Fuzzy

Analizzando i siti che potrebbero mostrare qualche caratteristica significativa dal punto di vista archeoastronomico non dobbiamo essere indotti a credere che avendo a disposizione un discreto campionario di reperti che potrebbero risultare in qualche modo correlati con l'Astronomia, sia possibile trarre delle conclusioni sicure e significative applicando i metodi standard della Statistica o della Teoria della Probabilità. Questo approccio è molto comune tra gli studiosi, come appare evidente

dalla letteratura, ma risulta talvolta fonte di conclusioni dubbie e fallaci. La letteratura disponibile ci propone spesso analisi di siti megalitici da cui emergerebbe una incredibile abilità da parte degli "astronomi" antichi a definire e misurare, mediante allineamenti, la posizione di un oggetto celeste, per esempio il punto di levata di una stella, con una rigorosità e una precisione elevatissima. Accuratezze quali quelle che sono state spesso proposte nei lavori pubblicati sono frutto solo di preconcetti, e dell'applicazione di tecniche statistiche non adatte ai dati da analizzare. Non dobbiamo dimenticare che l'uomo antico operava prevalentemente in maniera simbolica e rituale, non mediante il puro ragionamento deduttivo e completamente distaccato che dovrebbe essere invece il "modus operandi" degli scienziati moderni. Ci accorgiamo quindi che l'analisi di un sito megalitico, dell'età del Bronzo o di un santuario dell'età del Ferro porta con sé una certa quantità di inevitabile incertezza che non dipende dal fatto che il reperto sia antico, mal conservato, male datato o di difficile interpretazione. La sorgente principale di questa incertezza è proprio il pensiero dei costruttori i quali non ebbero probabilmente mai né lo scopo preciso, né la reale necessità di realizzare degli allineamenti "esatti", o quanto meno di precisione molto spinta, diretti verso un determinato oggetto celeste, ma le loro intenzioni li indussero alla realizzazione di allineamenti di

tipo simbolico che indicassero punti "in vicinanza" dell'oggetto celeste considerato e non esattamente verso di esso. L'interpretazione dei reperti e dei siti di rilevanza astronomica non è, e non può essere, vista come un problema puramente statistico, o risolvibile con metodi solo statistici, in quanto le grandezze in gioco non sono descrivibili mediante variabili casuali per le quali può esistere una distribuzione, una funzione densità di probabilità con una media e una varianza, ma un problema "fuzzy", cioè sfumato, dai contorni mal definiti e come tale deve essere affrontato e risolto. Le tecniche matematiche adatte ad affrontare questo genere di problemi nei quali il grado di incertezza è inerente al fenomeno e quindi irrinunciabile, esistono da quando negli ultimi decenni il matematico americano Lofti Zadeh sviluppò una metodologia di analisi che è nota con il nome di "Fuzzy Logic", letteralmente "logica sfumata". La differenza sostanziale che esiste tra l'analisi statistica e quella "fuzzy" di un sito o di un reperto archeologico di rilevanza astronomica è paragonabile a quella che passa tra "l'esatto" e il "simbolico". Ad esempio, l'analisi statistica tenderà a restituirvi un valore di *probabilità* che un certo allineamento fosse diretto in origine verso il punto di sorgere o tramontare di un oggetto celeste sull'orizzonte in un dato anno o periodo storico, mentre l'analisi "fuzzy" potrà fornirvi un valore di una quantità matematica equivalente, che potremmo chiamare "*possibilità*", la quale è in grado di farci conoscere fino a che livello un dato allineamento poteva essere "in relazione" con la posizione sull'orizzonte relativa al sorgere o al tramontare di un determinato oggetto

celeste durante una determinata epoca. Un allineamento di tipo simbolico, difficilmente sarà esatto, nel senso che la differenza tra l'azimut teorico e quello calcolato valga meno di un ϵ comunque piccolo che avremo fissato nei nostri programmi al computer per stabilire se l'allineamento è significativo oppure no, ma è sicuramente "in relazione" con l'oggetto celeste considerato e non è assolutamente scontato che lo scostamento dalla posizione teorica sia definibile in termini di probabilità che aumenta monotonicamente diminuendo lo scostamento. Anzi, è invece vero che fissato un valore per l'incertezza sulla datazione del sito analizzato essa corrisponderà ad un segmento di orizzonte la cui estensione dipenderà anche dalla posizione dell'oggetto celeste nel cielo all'epoca durante la quale il sito fu frequentato. Tale segmento è matematicamente assimilabile ad un "Fuzzy Set" nella terminologia di Lofti Zadeh e ad esso verrà assegnata una "membership function" che rappresenterà il grado di connessione logica esistente tra un allineamento, che identifica un punto preciso dell'insieme fuzzy e il centroide dell'insieme che coincide con il punto teorico di sorgere della stella. Tutti i punti di questo segmento possono ragionevolmente essere il punto vero verso cui l'allineamento presente nel sito fu diretto in origine in quanto non ci è dato esplicitamente di sapere quale fosse stato il criterio realmente adottato dai costruttori nella disposizione di due o più marcatori (pali in legno o monoliti) che lo individuavano. La metodologia di analisi basata sulla "Fuzzy Logic" ci permette di trarre importanti conclusioni che altrimenti, applicando il puro ragionamento probabilistico classico, ci sarebbero sfuggite. Infatti le tecniche statistiche si basano tutte sull'assunzione preventiva di analizzare variabili casuali di cui esista da qualche parte, in qualche spazio matematicamente inquadrabile, una distribuzione di probabilità con media e varianza ben determinate. Un allineamento di pietre non è stato disposto, in origine, dai costruttori, secondo un criterio casuale. In più le eventuali deviazioni verso l'allineamento astronomico teorico, che ragionando statisticamente definiremmo come "errori", non sono tali, ma potrebbero corrispondere invece ad una deliberata collocazione dei monoliti o dei pali. Neanche è possibile assumere un errore di posizionamento casuale dei marcatori in quanto se l'allineamento fu di tipo simbolico la disposizione fu esattamente e consciamente orientata verso una certa zona dell'orizzonte che era ritenuta importante. L'orientazione fu diretta verso una zona diffusa dove grosso modo si vedeva sorgere l'astro durante una determinata epoca e non verso il punto astronomicamente esatto di sorgere di quell'astro. Questo non per un errore o per cattivo lavoro, ma perché semplicemente non era richiesto di identificare il punto esatto, ma solo la direzione simbolica verso quel punto. In realtà il punto di orientazione "esatta" non sarà più la stella, ma poteva essere benissimo un punto del paesaggio situato lì vicino, per esempio la cima di una collina o uno sperone di roccia, non coincidente, ma in ogni caso non molto discosto da essa. Il

termine "esatto" va letto in questa sede nel senso di " prescelto dai costruttori dell'allineamento". Volendo esemplificare con una battuta, potremmo dire che "un uovo è in quest'ottica una fuzzy-sfera..." A questo punto siamo in grado di introdurre il concetto di "Fuzzy- -Allineamento" e di darne una appropriata definizione.

" Due marcatori generano un fuzzy-allineamento verso un punto dell'orizzonte locale qualora il punto di intersezione tra il cerchio dell'orizzonte e la direzione identificata dall'allineamento sia solo un punto opportunamente prossimo a quello che rappresenta l'obbiettivo dell'allineamento ".

Un fuzzy-allineamento è quindi un allineamento simbolico diretto verso un ben determinato punto dell'orizzonte e la differenza tra il punto di intersezione tra la retta passante per i due marcatori e il cerchio dell'orizzonte e questo punto non può essere considerato un errore di posizionamento dei due marcatori, ma potrebbe invece avere un preciso significato. Questo porta in maniera naturale a classificare tutti gli allineamenti presenti nei siti archeoastronomicamente significativi come "fuzzy". L'analisi e l'interpretazione dei siti significativi condotta oggi deve tener conto di questo fatto evitando di inventarsi competenze astronomiche che gli antichi "astronomi" in realtà non hanno mai avuto, e non si sarebbero mai sognati di desiderare di avere, e invece identificare la reale attività astronomica portata avanti dalle antiche culture.

Il GPS in Archeoastronomia



Il sistema di navigazione GPS (*Global Positioning System*), noto anche con il nome di NAVSTAR, fu concepito dal Ministero della Difesa degli USA come mezzo efficace per determinare con grande precisione le coordinate geografiche e la quota altimetrica di un punto, in cui è posto il ricevitore dei segnali. Il sistema funziona su tutto il pianeta e oltre ad un'accurata definizione della

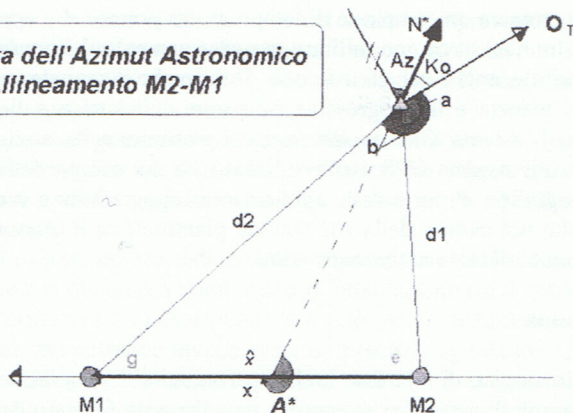
posizione geografica, permette di ottenere un campione di tempo molto preciso. Le applicazioni del sistema GPS furono inizialmente limitate al campo militare, successivamente il segnale emesso dai satelliti NAVSTAR fu reso accessibile, anche per gli usi civili. Il fatto che il segnale sia disponibile 24 ore su 24 in ogni angolo del pianeta e la progressiva riduzione dei costi e delle dimensioni fisiche dei ricevitori hanno reso il sistema GPS molto usato soprattutto nella navigazione. Dal punto di vista scientifico e tecnico, il sistema GPS viene utilizzato sia nel campo della Geodesia a grande scala sia per il rilievo topografico. Proprio dalle applicazioni topografiche è venuta l'idea di sperimentare il sistema GPS anche nel campo della rilevazione planimetrica e topografica ai fini dello studio dei siti rilevanti dal punto di vista archeoastronomico.

Applicazione all'Archeoastronomia

Durante la rilevazione di sito archeologico di interesse archeoastronomico è generalmente richiesta la misura di un certo numero di angoli di azimut astronomico, cioè l'angolo formato dalla direzione che ci interessa, rappresentata ad esempio dall'asse di una tomba antica, da una linea di monoliti allineati oppure da una griglia in uno scavo archeologico etc., con la direzione del meridiano astronomico locale (ben diverso da quello magnetico lungo cui si dispone l'ago della bussola). La prima tentazione potrebbe essere quella di rilevare, con il GPS, le coordinate geografiche di almeno due punti dell'allineamento e calcolare l'azimut di orientazione mediante le opportune formule trigonometriche. In teoria questo è possibile con ricevitori con accuratezza centimetrica, ma in pratica, dai tests che si sono condotti¹, è risultato che la difficoltà di posizionare correttamente il centro di fase dell'antenna ricevente sopra i punti di riferimento e altre difficoltà pratiche quali ad esempio il dover eseguire misure in un edificio che ha un tetto (una chiesa o una cripta) o nei boschi durante l'estate, quando le foglie degli alberi oscurano il cielo precludendo la ricezione dei segnali provenienti dai satelliti, rende il metodo della rilevazione diretta scarsamente praticabile. Anche se a prima vista la situazione potrebbe apparire scoraggiante, in realtà con qualche accorgimento, il GPS si rivela uno strumento potentissimo, in particolare se non viene usato da solo, ma in connessione con un misuratore di angoli, quale un teodolite, un tacheometro, uno squadra graduato o addirittura con una semplice bussola topografica. Precedentemente è stato messo in evidenza che il ricevitore GPS, nelle versioni di piccole dimensioni, facilmente trasportabili, è mediamente in grado di ottenere la posizione geografica del centro di fase della sua antenna con uno scarto di alcuni metri, con una singola misura. Questo fornisce subito, con precisione sufficiente, la latitudine e la longitudine del luogo che saranno impiegate nei calcoli e nelle simulazioni del cielo antico durante la successiva fase di analisi dei dati e di studio del sito. Il grande vantaggio del GPS a questo punto è la possibilità di determinare la direzione del meridiano astronomico locale, oppure l'azimut astronomico di una direzione facilmente identificabile che poi verrà usata come riferimento durante i rilievi eseguiti con il teodolite o altri strumenti misuratori di angoli. La procedura, che va sotto il nome di "determinazione di una base GPS", prevede che siano determinate con precisione le coordinate geografiche di due punti estremi e da esse la lunghezza e l'azimut astronomico del segmento che li congiunge. Dal punto di vista operativo la procedura è relativamente semplice e può essere svolta in maniera simultanea con due ricevitori operanti agli estremi della base lunga dai 5 ai 15 Km oppure in maniera differita con un solo ricevitore operante prima in un estremo e poi nell'altro. Nel primo caso l'accuratezza raggiungibile è maggiore in quanto entrambi i ricevitori osservano simultaneamente la stessa configurazione di satelliti. I due punti della base devono essere visibili l'uno dall'altro e deve essere possibile collimare l'uno dall'altro e viceversa con un teodolite o con qualche altro conveniente strumento misuratore di angoli orizzontali. Eseguendo due rilevazioni delle coordinate geografiche, nei due punti di stazione, è possibile con semplici calcoli trigonometrici, ottenere con grande precisione, l'azimut astronomico della linea congiungente i due punti e successivamente riferire ad essa le misure di azimut delle direzioni importanti presenti nel sito da rilevare eseguite con il teodolite.

¹ Cernuti-Gaspani

Misura dell'Azimut Astronomico dell'Allineamento M2-M1



S : Punto di Stazione
O_T : Zero del cerchio Hz
N* : Nord Astronomico
d1 : Distanza di M2 da S
d2 : Distanza di M1 da S
x : Distanza di M1 da M2
a : Angolo Hz di M2
b : Angolo Hz di M1
Ko : Azimut Astro. di O_T
A* : Azimut Astronomico
e(A*) : Errore su A*
Q : Errore sulla Compensazione
χ̂ : x misurato

$$x = \sqrt{d1^2 + d2^2 - 2 d1 d2 \cos(b-a)}$$

$$e = \arcsin[(d2/x) \sin(b-a)]$$

$$g = \arcsin[(d1/x) \sin(b-a)]$$

$$A^* = 90^\circ + 0.5 (a + b + g - e) + Ko$$

$$Q = 0.5 | a - e - b - g | - 90$$

$$e(A^*) = 0.5 \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + 4 \sigma_{Ko}^2}$$

Dati Misurati sul Campo

- o) Angoli orizzontali a, b
- o) Distanze d1 e d2
- o) Distanza χ̂ (opzionale)

Criterio di consistenza interna:
 $|\hat{x} - x| \sim 0$

Sh.1

Misura dell'azimut astronomico dell'allineamento M2-M1 con il metodo del punto di stazione fuori centro. Il punto di stazione viene fatto coincidere con un estremo della base GPS di riferimento che permette di ottenere direttamente l'azimut riferito al meridiano astronomico locale. Nel punto di stazione viene posizionato un teodolite con cui vengono rilevati gli angoli orizzontali degli estremi dell'allineamento, che si ottiene in maniera accurata con semplici calcoli trigonometrici.

I vantaggi del metodo sono:

1. È richiesto un unico punto di stazione in cui posizionare il teodolite, quindi lo strumento va messo in stazione una sola volta senza bisogno di ulteriori spostamenti.
2. Facendo stazione lungo l'allineamento da misurare non siamo mai sicuri che il punto di stazione corrispondente al piombino ottico del teodolite sia esattamente sull'allineamento da misurare. Invece con questo metodo il teodolite può essere posizionato dovunque.
3. Il punto di stazione può essere scelto in maniera indipendente dalla posizione dell'allineamento.
4. È possibile misurare tutti gli allineamenti di un sito scegliendo convenientemente un solo punto di stazione.
5. Il punto di stazione può essere un estremo della base GPS, la quale può essere calcolata una sola volta anche per misurare tutti gli allineamenti del sito.

Bibliografia

ASTRONOMIA E CALCOLO ASTRONOMICICO

- M. Chapront-Touze, J. Chapront: "Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000.", Willman Bell, 1991.
- P. Bretagnon, J. L. Simon: "Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800.", Willman Bell, 1986.
- L. di Franco: "Esercitazioni di Navigazione", Helvetia, 1986.
- F. Flora: "Astronomia Nautica", Hoepli, 1993.
- A. Nicoli: "Navigazione Astronomica", Del Bianco, 1994.
- F. Zagar: "Astronomia Sferica e Teorica", Zanichelli, 1948.
- W. M. Smart: "Textbook on Spherical Astronomy", Cambridge University Press, 1980.
- J. Meeus: "Astronomical Formulae for Calculators" Willman Bell, 1978.
- J. Meeus: "Astronomical Algorithms", Willman Bell, 1991.
- J. Meeus: "Astronomical Tables of the Sun, Moon, and Planets", Willman Bell, 1983.
- J. Meeus: "Astronomical Morsels", Willman Bell, 1997.
- C. W. Allen: "Astrophysical Quantities", Athlone Press, 1985.
- B. E. Shafer: "Astronomy and the Limits of the Vision", Vistas in Astronomy, Vol. 36, 1993.
- G. S. Hawkins, S. K. Rosenthal: "5000 and 10000-Year Star Catalogs", Smithsonian Contribution to Astrophysics, Vol. 10, No. 2, 1968.
- Gargiulo- Vassallo, Saggi didattici, Istituto Idrografico della Marina Militare, Giugno 1999
- P. Davis, I misteri del tempo. L'universo dopo Einstein. Ed. Mondadori, 1995
- Hawking-Penrose, La natura dello spazio e del tempo Ed. Sansoni, 1996

ARCHEOASTRONOMIA

- G. Romano: "Archeoastronomia Italiana", CLEUP, 1992
- E. Proverbio: "Archeoastronomia", Teti, 1989.
- H. Thurston: "Early Astronomy", Springer, 1994
- G. S. Hawkins: "Astro-Archaeology", Smithsonian Institution Astrophysical Observatoy, Research in Space Science, No. 226, 1966.
- R. H. Allen: "Star Names, their lore and meaning", Dover, 1963.
- W. H. Stahl: "La Scienza dei Romani", BUR, 1991.
- J. North: "Il Mistero di Stonehenge", Ed. PiEmme, 1997
- Walker, L'Astronomia prima del telescopio Ed. Dedalo 1997
- A. David, N. Linford, Phisics and Archeology rev. Physics World May 2000

RETI NEURONALI E LOGICA FUZZY

- Banks S., 1990, "Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition" Prentice Hall International Series in Acoustics, Speech and Signal Processing, Prentice Hall.
- Churchland P.S., Sejnowsky T.J, 1992, "The Computational Brain". Cambridge MA, MIT Press.
- Cichocki A., Unbehauen R., 1992, "Neural Networks for Optimization and Signal Processing", John Wiley.
- Faggin F., 1991, "VLSI implementation of neural networks", Tutorial Notes. International Joint Conference on Neural Networks, Seattle, WA.

Haykin S., 1994, "Neural Networks, A Comprehensive Foundation", McMillan, New York.

- Gaspani A., S.Cernuti 1994a, "On the Visual Sensing of the Faint Light Sources", paper submitted to the 1994 LWHM prize.
- German et Al., 1992, "Neural Networks and the bias/variance dilemma." *Neural Computation*, 4, 1-58.
- Levine M., 1985, "Man and Machine Vision.", New York, McGraw-Hill.
- Marr D., 1982, "Vision", New York: Freeman.
- Masters T., 1994, "Signal and Image Processing with Neural Networks", New York, J.Wiley.
- Pitas and Venetsanopoulos , 1991, "Nonlinear Filters and Applications.", Kluwer, New York.
- Ramon y Cajal S., 1911, "Histologie du systeme nerveux de l'homme et des vertebres.", Paris: Maloine; Edition Francaise Revue: Tome I, 1952; Tome II, 1955; Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Cientificas.
- Rosenblatt F., 1962, "Principles of Neurodynamics", Whashington, DC,: Spartan Books.
- Shepherd, G.M., Koch C., 1990, "Introduction to Synaptic Circuits.", in "The Synaptic Organization of the Brain", (G.M. Shepherd Ed.), pp. 3-31. New York: Oxford University Press.
- A. Kosko, *Il Fuzzy Pensiero. Teoria e Applicazioni della Logica Fuzzy* Ed. Baldini & Castoldi 1993