

I DEPOSITI ARCHEOLOGICI IN AMBIENTE ARIDO: IL CONTRIBUTO DELL'ANALISI DI IMMAGINE AL SITO ANTICO OLOCENICO DI UAN AFUDA (SAHARA LIBICO)

1. DECODIFICA DEI DEPOSITI ARCHEOLOGICI IN AMBIENTI ARIDI: POSIZIONE DEL PROBLEMA¹

L'analisi dei processi formativi dei depositi archeologici è un campo di alta potenzialità informativa (e.g. NASH, PETRAGLIA 1987; SCHIFFER 1987; LEONARDI 1992), e sembra esserlo in misura notevole nei contesti relativi ad ambienti aridi. Nell'ambito dei depositi olocenici centro-Sahariani, la scarsità di precipitazioni e, più in generale, la quasi totale assenza di scorrimento di acque hanno fortemente limitato i chimismi: in questo modo vengono a mancare processi tipici dei depositi archeologici in ambienti umidi, quali, ad esempio, la lisciviazione, l'eluviazione, l'illuviazione e la rubefazione.

La straordinaria conservazione che tali contesti sedimentari mostrano, sembra essere di particolare interesse per analisi più approfondite dei processi formativi; inoltre, anche i problemi specifici legati alle frequentazioni umane possono essere utilmente investigati attraverso questa prospettiva di analisi: differenti strategie economiche e *patterns* insediativi, sono ovviamente in relazione con le specifiche modalità di occupazione del sito, che sono riflesse nei caratteri specifici di formazione del deposito archeologico.

In realtà, tale orientamento di studi non è particolarmente diffuso nell'ambito della preistoria Sahariana, e in generale Nord Africana: ciò sembra particolarmente in contrasto con le potenzialità che un'analisi di questo tipo ha in queste aree. Infatti, oltre a fornire interessanti angolazioni per la comprensione di problemi quali la caratterizzazione paleoclimatica, le dinamiche di accumulo e di smantellamento di ogni specifico deposito archeologico, lo studio dei processi formativi aiuta a estrapolare i processi postdeposizionali (e.g. WOOD, JOHNSON 1978; BURILLO 1993), che risultano particolarmente attivi in sedimenti generalmente sabbiosi: fenomeni gravitativi di manufatti archeologici o rielaborazioni anche consistenti di orizzonti archeologici, come ad esempio il *dung*, dovrebbero necessariamente essere tarati in questa prospettiva di analisi.

Il contributo dell'informatica a questo dominio di studi è assai ampio, spaziando dalla gestione quantitativa di informazioni multidimensionali, alla possibilità di integrare numerose metodiche provenienti da differenti discipline.

¹ Savino di Lernia ha redatto i paragrafi 1, 2, 3, 4; Luca Trombino i paragrafi 2, 4; Mauro Cremaschi i paragrafi 2, 3. Il paragrafo conclusivo (5) è frutto della discussione di tutti gli autori.

In questa direzione, l'analisi di immagine di depositi archeologici può rappresentare un utile campo di indagine; essa, infatti, è stata utilizzata generalmente per estrapolare caratteri più nascosti nelle configurazioni spaziali dei depositi o dei siti nella loro totalità, ricorrendo frequentemente a manipolazioni di vario tipo (e.g. GOTTARELLI 1987; ANGLE *et al.* 1988; GUIDAZZOLI, FORTE 1992; DI LERNIA, MANZI 1992).

In un senso più ampio, l'interfaccia calcolatore - immagine archeologica ha avuto un notevole impulso in relazione allo sviluppo di periferiche dedicate alla velocizzazione di rilievi e documentazioni grafiche (GOTTARELLI 1992), seguito dalla crescita di modelli ricostruttivi in 3D di contesti archeologici, fino alla realizzazione di paesaggi virtuali, integrando nei GIS immagini di vario tipo e formato correlate a informazioni generali (per es. FORTE, questo volume).

La messa a punto di sistemi di riconoscimento automatico o interattivi di forme o soggetti sembra essere al contrario nelle fasi embrionali, con particolari campi di applicazione (per es. sulle tracce d'uso sui manufatti litici: BIETTI, questo volume). D'altra parte lo sviluppo di *software* dedicati permette l'esecuzione di calcoli e operazioni assai complessi, fornendo un'approfondita lettura del record archeologico preso in esame.

Scopo del presente lavoro è quindi quello di fornire strumenti analitici per effettuare alcune indagini su depositi archeologici utilizzando le metodiche tipiche della micromorfologia pedologica e più in generale della scienza del suolo interfacciata al calcolatore (nello specifico utilizzando il contributo dell'analisi di immagine). Il successivo passaggio a differenti valori di scala, come ad esempio un intero deposito archeologico, fornisce ulteriori sistemi speditivi di analisi, che garantiscono la possibilità di analizzare un alto numero di contesti, e quindi un miglioramento sensibile dei rapporti costi - benefici.

2. ASPETTI TEORICI E LINEE METODOLOGICHE: IL CONTRIBUTO DELL'INFORMATICA

L'importanza di un approccio geopedologico nell'ambito della ricerca archeologica è stato più volte affermato negli ultimi anni (e.g. CREMASCHI 1989); in generale, questo tipo di approccio riveste un ruolo da non sottovalutare sia sul piano dell'acquisizione dei dati, sia su quello della loro interpretazione (CREMASCHI, RODOLFI 1991): i suoli infatti si comportano come archivi capaci di conservare al loro interno tracce degli eventi ambientali del passato.

In questo senso, uno studio geopedologico dei depositi archeologici e dei paleosuoli ad essi connessi non può prescindere da uno dei principali strumenti della paleopedologia quale è lo studio micromorfologico di sezioni sottili, metodo in grado di rivelare al massimo dettaglio le singole fasi evolutive attraverso le quali si è sviluppato un suolo (KUBIĚNA 1971).

Durante i primi 25 anni della sua storia, la micromorfologia è stata essenzialmente uno studio di tipo qualitativo, ma questa tendenza ha subito una evoluzione all'inizio degli anni sessanta, con i primi lavori quantitativi concernenti studi sulle dimensioni, distribuzioni e orientazioni di corpi discreti (KUBIÈNA 1967).

Un salto di qualità definitivo è stato possibile grazie allo sviluppo di metodi di analisi elettronici (Analisi di Immagine), che hanno permesso approcci quantitativi estremamente più veloci e precisi, affiancando al microscopio (ottico o elettronico) computer con *software* dedicati a questo tipo di misurazioni (JONGERIUS *et al.* 1972). La diffusione di una cultura informatica, lo sviluppo di applicazioni di Analisi di Immagine anche in altre discipline e la relativa semplicità di reperimento degli strumenti hanno consentito, in questi ultimi anni, un notevole sviluppo degli studi e della divulgazione di dati (PROTZ *et al.* 1987).

Da un punto di vista metodologico, le caratteristiche più comunemente esaminate in uno studio di Analisi di Immagine risultano essere: frequenze (numero di elementi per unità di superficie), dimensioni (lunghezze, perimetri), aree, orientazioni. I limiti di applicabilità riguardano essenzialmente il passaggio da due a tre dimensioni e la rappresentatività dei risultati, quest'ultima legata sia al carattere eterogeneo dei campioni studiati, sia a possibili errori statistici e/o metodologici. Un terzo ordine di problemi è legato alle limitazioni qualitative allo studio quantitativo, ovvero la scelta e l'identificazione degli elementi da misurare, ed il loro reale significato nel contesto esaminato.

La micromorfologia quantitativa e l'Analisi di Immagine applicate alla scienza del suolo nascono come studio di sezioni sottili al microscopio, ma spostandosi da una scala microscopica ad una macroscopica, l'approccio resta pur sempre valido e scientificamente rilevante, pur con alcuni limiti di applicabilità.

3. IL CASO STUDIO: LA GROTTA DI UAN AFUDA (TADRART ACACUS CENTRALE, SAHARA LIBICO)

Accanto alle tradizionali finalità che uno studio micromorfologico offre, l'applicazione di tecniche quantitative di analisi di immagine sembra essere promettente per problemi di carattere specificatamente archeologico.

La grotta di Uan Afuda, posta nel Tadrart Acacus centrale (Fig. 1), è un caso emblematico di una successione stratigrafica rappresentativa, sul piano dei processi formativi, di profondi cambiamenti nell'ambiente e nelle differenti modalità di occupazione (CREMASCHI, DI LERNIA 1995).

La serie stratigrafica (Fig. 2) evidenzia, a partire dal basso, un imponente ciclo di sabbie eoliche (Unità 3), indicatore di un clima iperarido, nella cui parte intermedia sono attestate frequentazioni riferibili al Paleolitico Medio

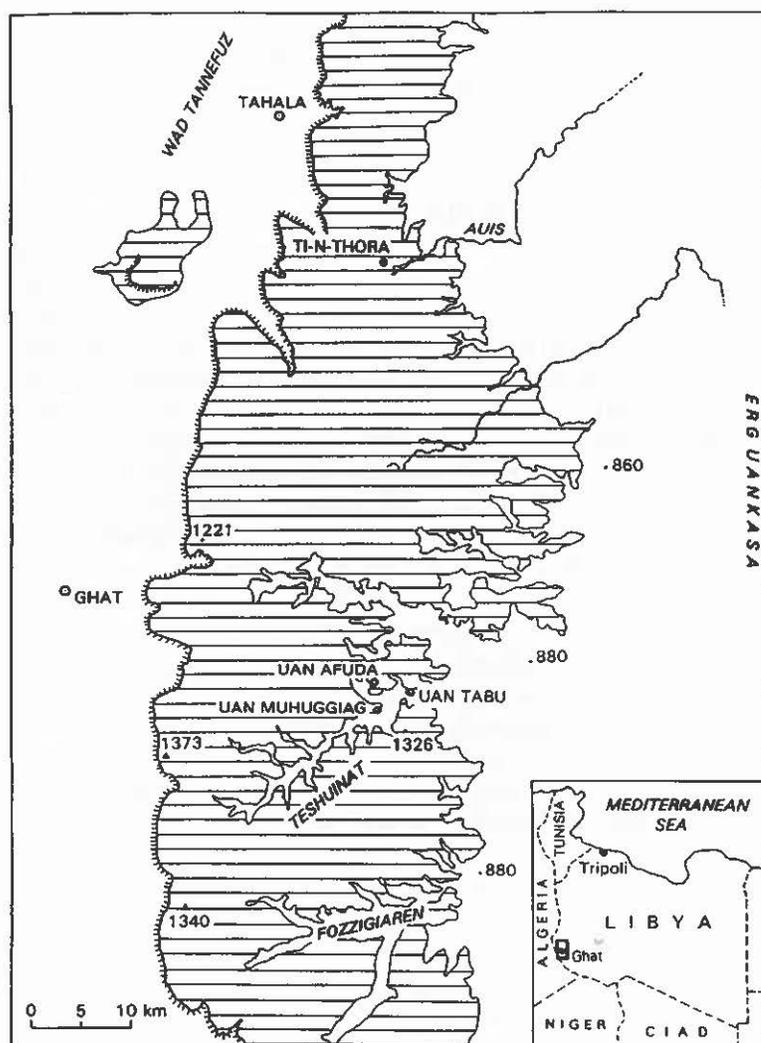


Fig. 1 – Il massiccio del Tadrart Acacus (Sahara Libico) e la localizzazione della grotta di Uan Afuda (Uadi Kessan).

(Ateriano?). La parte superiore di questa duna è interessata da importanti fenomeni pedogenetici (bioturbazioni, etc): si sviluppa quindi l'Unità 2, che è rappresentata da sabbie colluviali, indicatrici di maggiore umidità. In questa fase la grotta è abitata da gruppi di cacciatori – raccoglitori epipaleolitici, dedicati prevalentemente alla caccia di *Ammotragus lervia*: tale occupazione è datata al C14 tra 9800 e 9000 anni BP. La serie prosegue con un pacco di sedimenti spesso circa 1 metro (Unità 1), con presenza di sostanza organica

mente e quantitativamente, determinati fattori utilizzando filtri colorimetrici e morfologici. Ciò viene tentato essenzialmente sulla base di valutazioni bidimensionali, con i limiti di applicabilità prima descritti; l'inferenza su un piano tridimensionale è certamente da integrare con ulteriori, sistematici campionamenti.

La possibilità di "contare" le componenti del deposito, sulla base di rilievi fotografici mirati e integrati da analisi delle sezioni sottili di suolo, fornisce un ulteriore elemento per la comprensione delle modalità di accumulo di questi vegetali, le relazioni interne tra le componenti specifiche (legno incombusto; carboni), e il contributo della parte sabbiosa del suolo.

4. APPLICAZIONE

Lo studio del deposito archeologico di Uan Afuda attraverso l'analisi di immagine è stato realizzato utilizzando il *software* dedicato OPTIMAS 5.1a (Optimas Corporation); il *software* lavora in ambiente MS Windows™ su un personal computer debitamente attrezzato con un secondo monitor di qualità televisiva, direttamente collegato alla scheda di acquisizione.

L'acquisizione delle immagini da microscopio ottico in luce trasmessa (Leitz Laborlux 12 pol) è stata effettuata tramite telecamera CCD Sony interfacciata con una scheda *frame grabber* VISIONPLUS AT, mentre per le immagini fotografiche (Tav. XXVI, d) si è utilizzato uno scanner piano a colori AGFA (risoluzione della scansione 1200 dpi).

Il *software* gestisce e permette un controllo completo di tutte le fasi di trattamento dell'immagine e della quantificazione su di esse operata: in questo senso è possibile agire su parametri di luminosità e contrasto (per i singoli canali di colore) sin dal momento dell'acquisizione; l'immagine acquisita risulta memorizzabile e viene quindi gestita come un normale *file*, seppur di notevoli dimensioni (generalmente > 2 Mega Byte). Sono possibili ulteriori trattamenti di miglioramento dell'immagine acquisita, attraverso filtri e *macro* che permettono l'eliminazione di disturbi e distorsioni oppure di disomogeneità dello sfondo, piuttosto che, più semplicemente, incrementare nitidezza e contrasto di tutta l'immagine o di particolari elementi rilevanti; sono anche applicabili vari filtri colorimetrici. All'immagine può essere attribuita una scala, attraverso lo strumento di calibrazione, in modo da ottenere i risultati nelle unità di misura desiderate. Tutti questi processi sono in linea di massima già configurati e presenti come funzioni *macro* o *utility*; l'operatore può comunque in ogni momento intervenire e modificare i parametri secondo le proprie esigenze ed eventualmente salvare le modifiche apportate al processo.

Terminata questa fase di pre-trattamento si può passare ad uno dei passi fondamentali di questo tipo di approccio, ovvero l'identificazione corretta di specifiche figure: tale operazione, soprattutto in situazioni complesse, assume una rilevanza fondamentale per l'intero lavoro. L'identificazione può avvenire manualmente, attraverso marcature di punti, tracciamento di linee,

aree o limiti, oppure in modo automatico, attraverso la determinazione di una o più soglie, sia a colori, sia in toni di grigio; anche l'identificazione automatica è un processo altamente configurabile passo dopo passo. In ogni caso, anche le figure, una volta identificate, possono subire ulteriori manipolazioni, in particolare per risolvere i problemi spaziali e geometrici che potrebbero fornire dati imprecisi.

L'ultima fase dell'approccio è quella quantitativa, realizzata attraverso la misura delle grandezze densitometriche, dei parametri di forma e dimensionali, del conteggio e della classificazione delle figure sulla base delle misure effettuate. Le funzioni matematiche e/o statistiche disponibili sono estremamente numerose (sono possibili anche elaborazioni sofisticate, quali analisi volumetriche) ed i dati possono venire elaborati prima ancora della loro esportazione. Esportazione che avviene direttamente ed automaticamente su un qualsiasi foglio elettronico, attraverso *links* di grande gestibilità.

5. RISULTATI PRELIMINARI: DISCUSSIONE E POSSIBILI SVILUPPI

L'analisi al microscopio ottico in luce trasmessa delle sezioni sottili interfacciata al calcolatore ha permesso di distinguere le seguenti componenti del suolo archeologico:

1. il carbone di legno [colore nero];
2. i vegetali incombusti [colore bruno-rossiccio] (Tav. XXVII, b);
3. lo scheletro di sabbia quarzosa [incolore].

Tale caratterizzazione è stata mantenuta nel trattamento della fotografia della sezione stratigrafica (in luce riflessa), in cui sono rappresentati gli accumuli di vegetali alternati a lenti cinerose e focolari (Tav. XXVII, a). I risultati quantitativi ottenuti, sebbene preliminari, sembrano evidenziare la validità del metodo, come espresso nella Tabella 1:

	SEZIONE SOTTILE	SEZIONE STRATIGRAFICA
<i>Carbone</i>	4.6 %	12.9 %
<i>Vegetali incombusti</i>	16.0 %	17.2 %
<i>Scheletro del sedimento</i>	79.4 %	69.8 %

Tab. 1 - Valori percentuali delle aree riconosciute

Gli scarti nei valori relativi all'incidenza dei carboni richiedono un commento specifico; le differenze nei rapporti percentuali sono infatti imputabili alla possibilità di discriminare il carbone dai vuoti anche nell'immagine fotografica: mentre in luce trasmessa qualsiasi corpo particellato amorfo è evidentemente identificabile, in luce riflessa le zone d'ombra possono interferire nella leggibilità degli elementi più scuri, portando quindi ad una loro possibile sovrastima.

L'applicabilità di tali trattamenti, se effettuati sistematicamente su un numero maggiore di campioni stratigrafici, e utilizzando metodi statistici di correzione più raffinati, potrebbe indicare specifici caratteri di valenza archeologica nell'ambito degli studi di depositi legati per esempio alla gestione di animali (aree compressive; volumi degli accumuli vegetali; etc.). Questi ultimi possono essere relazionati a determinati fattori e integrati da ulteriori analisi (per esempio, specie animale; biomassa relativa; numero presunto di animali o capacità di foraggiamento fornite da specifici accumuli di vegetali). In questa direzione, il contributo di analisi archeobotaniche consentirebbe un'ulteriore discriminazione tra differenti specie vegetali o differenti parti anatomiche dei vegetali presenti.

La consistenza dei risultati ottenuti apre quindi nuove prospettive di analisi per la comprensione dei processi formativi in ambienti aridi ed alle problematiche culturali ad essi sottese, fornendo un utile strumento di lavoro, esportabile anche in altri contesti di ricerca.

SAVINO DI LERNIA

Dipartimento di Scienze Storiche
Archeologiche e Antropologiche dell'Antichità
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

LUCA TROMBINO

Dipartimento di Scienze della Terra
Sezione di Geologia e Paleontologia
Università degli Studi di Milano

MAURO CREMASCHI

CNR, Centro per lo Studio della Geodinamica
Alpina e Quaternaria - Milano

Ringraziamenti

Tale progetto rientra nell'ambito della Missione Congiunta Italo-Libica nel Sahara Libico (Tadrart Acacus e Messak Settafet), diretta da Fabrizio Mori (Università di Roma). Cogliamo l'occasione per ringraziare lo staff della Missione ed i colleghi libici, in particolare Ebrahim Azzabi e Abib Ben Aun, che hanno collaborato all'attività di scavo.

L'analisi di immagine è stata effettuata utilizzando le attrezzature CNR - Centro per lo Studio della Geodinamica Alpina e Quaternaria di Milano diretto da Pietro Mario Rossi, e quelle del C.I.R.S.A., Centro Interuniversitario di Ricerca sulla Civiltà e l'Ambiente del Sahara Antico (sedi consorziate Roma, Milano, Modena), diretto da Fabrizio Mori.

BIBLIOGRAFIA

- ANGLE *et al.* 1988, *Il computer nello strato: integrazione di tecniche informatiche alla ricerca archeologica*, «Quaderni dei Dialoghi di Archeologia», 4, 83-124.
- BURILLO F. (ed.) 1993, *Procesos postdeposicionales*, «Arqueología Espacial», 16-17.
- CREMASCHI M. 1989, *Gli apporti delle scienze della terra in archeologia per la ricostruzione degli ambienti del passato*, in *Atti XXVII Riunione Scientifica Istituto Italiano Preistoria e Protostoria* (Ferrara 17-20 novembre 1987), 339-356.

- CREMASCHI M., DI LERNIA S. 1995, *The transition between Late Pleistocene and Early Holocene in the Uan Afuda cave (Tadrart Acacus, Libyan Sahara)*. *Environmental changes and human occupation*, «Quaternaire», 6, (3-4), 173-189.
- CREMASCHI M., RODOLFI G. (edd.), 1991, *Il Suolo*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.
- GOTTARELLI A. 1987, *Tecniche di documentazione dello scavo archeologico: introduzione alla videometria digitalizzata*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Informatica e Archeologia Classica, Atti del Convegno Internazionale (Lecce 1986)*, Galatina.
- GOTTARELLI A. 1992, *La video-documentazione elettronica dello scavo archeologico (V.M.D.). Studi ed esperienze per il progetto di una periferica dedicata*, «Archeologia e Calcolatori», 3, 77-99.
- GUIDAZZOLI A., FORTE M. 1992, *Archeologia e tecniche di eidologia informatica*, «Archeologia e Calcolatori», 3, 37-76.
- KUBIÉNA W.L. 1967, *Die Mikromorphometrische Bodenanalyse*, Stuttgart, Ferd. Enke Verlag.
- KUBIÉNA W.L. 1971, *Discussion at the Symposium on the Age of Parent Materials and Soils (Amsterdam, Netherlands, August 10-15, 1970)*, in D.H. YALON (ed.), *Paleopedology: Origin, Nature and Dating of Paleosols*, Jerusalem, Israel Universities Press.
- JONGERIUS A., SCHOONDERBEEK D., JAGER A. 1972, *The application of Quantimet 720 in Soil Micromorphology*, «Microscope», 20, 243-254.
- LEONARDI G. 1992 (ed.), *Processi formativi della stratificazione archeologica*, «Saltuarie dal Laboratorio del Piovego», 3, 13-47.
- DI LERNIA S., MANZI G. 1992, *La sepoltura preistorica presso Uan Muhuggiag (H2) e le nuove ricerche nel Tadrart Acacus (Sahara libico)*, «Origini», XVI, 161-180.
- NASH D.T., PROTZ M.D. (edd.) 1987, *Natural Formation Processes and the Archaeological Record*, BAR International Series 352.
- PROTZ R., SHIPTALO M.J., MERMUT A.R., FOX C.A. 1987, *Image Analysis of Soils: Present and Future*, «Geoderma», 40, 115-125.
- SCHIFFER M.B. 1977, *Toward a unified science of the cultural past*, in S. SOUTH (ed.), *Research Strategies in Historical Archaeology*, New York, Academic Press, 13-50.
- WOOD W.R., JOHNSON D.L.J. 1978, *A survey of disturbance processes in archaeological site formation*, «Advances in Archaeological Method and Theory», 1, 315-381.

ABSTRACT

Analysis of site formation processes is a field research which can be potentiated by means of computer applications. In this paper, the authors suggest the use of image analysis applied to the study of soil micromorphology and to archaeological deposits, aimed at the qualitative and quantitative evaluation of the soil components. The presence of specific devices and software allow us to face these problems in a fast and friendly way, thanks to the Windows™ interface. The case study is the Uan Afuda cave in the Tadrart Acacus (Libyan Sahara), and namely the sediments related to the Mesolithic occupation (8900-8000 BP), which is characterised by vegetable accumulations alternating to ashes layers. The application let us weigh the specific components of the layers, from both a microscopic (soil thin sections) and macroscopic (excavated stratigraphic section) level. Consistence of results opens new perspective of analysis for the comprehension of the formation processes in arid environments and for the cultural problems linked to them.