

Introduzione

Nell'ambito di una collaborazione tra due Istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per gli Studi Micenei ed Egeo-Anatolici e l'Istituto di Astrofisica Spaziale, si è sviluppata nel corso di più di un decennio un'attività di ricerca, finalizzata ad un'indagine archeologico-territoriale, basata su metodologie informatiche. Il progetto si prefigge la ricostruzione storica dell'assetto del territorio in aree interessate da emergenze archeologiche. Lo scopo principale è la determinazione delle ragioni delle scelte insediamentali in diversi periodi storici, in aree geograficamente distanti e diverse dal punto di vista ambientale. In particolare si sono presi in esame la regione compresa tra il Mar Tirreno ed il Lago di Bolsena, al confine tra Lazio e Toscana (Immagine 1, Fig. 1)¹, in un arco temporale compreso tra il Neolitico e l'età del Ferro e l'area meridionale del lago Sevan (Armenia)², nel periodo compreso tra l'età del Bronzo e il VII sec. a.C. (Immagine 2, Fig. 2).

1. Morfometrico

La geomorfologia quantitativa o geomorfometria può essere considerata una disciplina di tramite tra gli studi basati sull'analisi di campagna (topografica) e la modellizzazione fisica dei processi geomorfologici; l'analisi morfometrica permette di ottenere una misura della forma del paesaggio. In particolare, se si prendono in esame le morfologie vulcaniche, la geomorfologia quantitativa rappresenta un mezzo utile per studiare il risultato che si ottiene "bilanciando" la messa in posto dei prodotti vulcanici a seguito di diversi fenomeni endogeni e i susseguenti processi di erosione delle superficie topografica.

Normalmente negli studi di geomorfometria si prende in considerazione una rappresentazione digitale dell'assetto altimetrico di una certa regione, conosciuto come DEM (*Digital Elevation Model*). Il DEM (sia vettoriale che

raster) è una rappresentazione “discreta” (cioè non continua) sia dell’altimetria che della distribuzione spaziale dei punti. Nel caso del DEM *raster* – creato tramite procedure di interpolazione delle curve di livello digitalizzate – si è in presenza di un dato simile a un’immagine telerilevata in cui, su una griglia di celle equidistanziate, invece dei valori spettrali sono rappresentate le quote. Il DEM può essere elaborato al fine di ottenere i cosiddetti modelli spaziali, cioè la quota stessa, l’acclività, l’esposizione ed il rilievo ombreggiato (Immagini 3, 4, Figg. 3-4). Il secondo è una misura del valore modulare della pendenza (gradiente topografico), il terzo una misura della direzione azimutale rispetto al nord dell’angolo di pendenza, il quarto infine simula le condizioni di illuminazione di un paesaggio, considerando diverse posizioni al di sopra dell’orizzonte di una sorgente luminosa (sole). Questo tematismo viene usato, tra l’altro, per correggere l’effetto topografico presente nelle immagini telerilevate (HORN 1982, BURROUGH 1986).

La quota è legata all’escursione termica giornaliera e stagionale con ripercussioni sullo stato e sul tipo di vegetazione, nonché sull’uso del suolo.

L’acclività serve a determinare i diversi gradi di difficoltà di fruizione del territorio (uomo, allevamento e agricoltura).

L’esposizione fornisce una descrizione del territorio nei confronti degli agenti esogeni atmosferici (vento, pioggia, escursione termica con particolare influenza sulle tipologie vegetazionali e sull’uso del suolo).

Il lavoro svolto nell’ambito delle applicazioni geomorfometriche hanno riguardato tre aree test:

1. Si è iniziato con una analisi delle variazioni dell’assetto paesaggistico di un abitato del Bronzo Finale effettuato ad una scala di dettaglio (circa 3 m/pixel). Per questo studio si è creato un DEM con risoluzione spaziale, come detto di 3 m, perchè questa scala rappresentava un giusto bilancio tra l’equidistanza delle isolinee delle carte topografiche digitalizzate (5 m) e la scala delle stesse (1:1.000).

2. Si è poi effettuato uno studio di carattere più regionale, sempre nella stessa zona, per indagare i rapporti, nel tempo e nello spazio, tra comunità preprotostoriche e territorio circostante. In questo caso si è scelta una risoluzione spaziale dei pixel del DEM di 100 m, considerando la scala 1:100.000 delle carte topografiche di partenza.

3. Un’ultima indagine ha riguardato l’area situata lungo le coste meridionali del lago di Sevan (Armenia), per chiarire le motivazioni di carattere territoriale delle vie di espansione dell’impero urarteo, considerando anche la dislocazione degli insediamenti preesistenti. Per l’analisi morfometrica si sono creati due DEM, rispettivamente a scala di 50 e 20 m, a partire da una carta topografica 1:100.000, per studiare le relazioni degli insediamenti a carattere regionale e locale. Utilizzando delle tecniche avanzate di interferometria SAR (radar ad apertura sintetica) a partire da una coppia di immagini ERS 1

e 2, riprese a distanza di un giorno, è stato possibile ricostruire un DEM raster, con risoluzione di circa 18 m, da cui si sono ricavati rilievi ombreggiati la cui fotointerpretazione ha permesso di estrarre delle informazioni di tipo vulcanico e tettonico, che sono state confrontate con informazioni di tipo analogo descritte nella nuova carta geologica redatta dalla missione italo-armena.

2. *Morfoidrologico*

Lo studio dei rapporti tra siti archeologici e territorio non può tralasciare di esaminare il loro rapporto con l'acqua, considerata come bene economico primario. Infatti dal momento in cui le popolazioni passavano dall'essere raccoglitori, cacciatori e pescatori a coltivatori e pastori, la scelta dell'insediamento è stata sempre legata alla vicinanza di corsi d'acqua e risorse idriche. Perciò queste ultime hanno rappresentato un punto di riferimento essenziale nella ricerca.

A tal fine si sono prese in considerazione le informazioni idrografiche e idrogeologiche estratte sia dal DEM che da carte tematiche. Dal DEM, con tecniche sviluppate in ambiente FORTRAN e attualmente presenti in molti GIS (*Geographical Information System*), si è ricavata la carta di scorrimento delle acque meteoriche (che descrivono tra l'altro la distribuzione spaziale di linee di fondovalle e di spartiacque). Da carte tematiche classiche, idrografiche e idrogeologiche, si sono estratti i seguenti dati: aste fluviali, linee di spartiacque, localizzazione delle sorgenti e dei punti di misura della portata fluviale, linee di coste marina e lacustre, limiti delle unità idrogeologiche, isopieze (linee di uguale profondità nella falda idrica) e strutture tettoniche.

Questi dati sono utili per comprendere le scelte insediamentali in funzione sia dell'approvvigionamento idrico che delle principali vie di comunicazioni.

Si è presa in considerazione soltanto la regione dell'Alto Lazio, già analizzata nel paragrafo 1, che presentava delle caratteristiche territoriali rimaste inalterate nel tempo e di cui si possedevano i dati da analizzare.

3. *Spettrale*

L'uso dei sensori di radiazioni elettromagnetiche per acquisire immagini del territorio, che possono essere interpretate per ottenere informazioni utili in vari ambienti disciplinari, ha permesso di determinare alcune caratteristiche fisiche dei terreni presenti nelle aree analizzate. In particolare si sono analizzati i valori delle sei bande del sensore TM (*Thematic Mapper*), che coprono le regioni dello spettro elettromagnetico nel riflesso (VIS, visibile; NIR, infrarosso vicino; SWIR, infrarosso medio), di una sottoscena LANDSAT. Elaborando le sei bande del TM si sono ricavati alcuni indici spettrali tra cui le più importanti sono le cosiddette *Tasseled Cap Features* (CRIST, CICONE

1984, CRIST *et al.* 1986): *Brightness* (Luminosità), *Greenness* (Densità di verde) e *Wetness* (Umidità) (Immagine 5, Fig. 5).

La Luminosità è una somma pesata di tutte le 6 bande TM dello spettro riflesso, come tale documenta i cambiamenti di riflettanza totale e quei processi fisici che influenzano la riflettanza. Le differenze nelle caratteristiche dei suoli, quali la distribuzione delle dimensioni delle particelle, vengono chiaramente espresse nella Luminosità, che invece è meno sensibile alle variazioni nella densità vegetazionale.

La Densità di verde è essenzialmente un contrasto tra la somma delle bande del visibile (TM 1/2/3) e la banda dell'infrarosso vicino (TM 4). Il risultato scaturisce dalla combinazione dell'assorbimento elevato nelle bande del visibile (dovuto ai pigmenti della pianta, in particolare alla clorofilla) e dell'alta riflettanza nell'infrarosso vicino (dovuto alla struttura interna fogliare), caratteristiche delle vegetazione allo stato verde.

L'Umidità deriva dal contrasto tra la somma delle bande del visibile (TM 1/2/3) e dell'infrarosso vicino (TM 4) e la somma delle bande infrarosse a lunghezza d'onda maggiore. Questo contrasto mette in evidenza caratteristiche della scena legate all'umidità, poichè cambiamenti nello stato dell'umidità influenzano le bande infrarosse a lunghezza d'onda maggiore in maniera più sostanziale delle bande, del visibile del vicino infrarosso.

Dalle stesse 6 bande TM si sono ricavati altri parametri spettrali peculiari:

- a: TM 4-3 (NDVI o ND43, «indice di differenza normalizzata di vegetazione», detto anche indice di verde, TUCKER 1979);
- b: TM 4-7 (ND47 equivalente al MI, *Moisture Index*, citato in HUGH-JONES *et al.* 1992);
- c: TM 5-7 (ND57 = indicatore di umidità, MUSICK, PELLETIER 1988).

L'NDVI è un metodo per definire la *greenness* (la superficie coperta da vegetazione) all'interno di una immagine. Esso, come la TC *Greenness*, si basa sul principio che la piante presentano una riflettanza elevata nell'infrarosso vicino e una bassa nella banda del rosso.

Il TM5/TM7 è un indice che descrive l'umidità dei terreni: esso aumenta in forma quasi lineare col contenuto gravimetrico in acqua di qualsiasi suolo e documenta caratteristiche fisiche superficiali analoghe a quelle descritte dalla TC *Wetness*.

Inoltre la banda TM che copre l'intervallo spettrale dell'infrarosso termico (TM 6) è stata radiometricamente calibrata ottenendo temperature di brillantezza apparente, così da fornire una descrizione delle caratteristiche termiche dei terreni analizzati.

4. *Trattamento statistico dei parametri*

Tutti i parametri sia morfometrici che spettrali sono stati analizzati mediante metodi di analisi statistica multivariata, cioè il calcolo della matrice dei coefficienti di correlazione tra variabili, che ha permesso di identificare i rapporti di correlazione tra tutti i parametri considerati, e l'applicazione separata, ai parametri morfometrici e spettrali, di una procedura di *Cluster analysis* gerarchica, basata sulla tecnica «*average linkage-weighted pair group*» (SOKAL, SNEATH 1963). A tal fine nei primi lavori si è utilizzato il programma Fortran DENDR sviluppato da BIETTI *et al.* (1978) mentre, per visualizzare i risultati, si sono usate le librerie grafiche del package GDDM (*Graphical Data Display Manager*) sviluppato dall'IBM per la serie di terminali video 3270 (IBM 1979). Successivamente si sono utilizzate procedure tratte dal Software grafico-statistico "Statistica" che ha permesso anche di visualizzare la distribuzione dei parametri morfometrici e spettrali (*scatter plots* bi-tridimensionali) e i risultati dell'analisi statistica (dendogrammi).

5. *Analisi morfometrica a scala locale*

Il primo lavoro di analisi geomorfometrica ha avuto come scopo la ricostruzione dell'assetto morfologico del territorio in cui era collocato l'abitato del Bronzo Finale di Sorgenti della Nova.

L'insediamento di Sorgenti della Nova si trova su una rupe, in una zona molto appartata della Maremma laziale, lontana da qualsiasi centro abitato o da strade di agevole percorso. È delimitato a nord dal fosso della Varlenza, che segna il confine tra Lazio e Toscana, a sud dal corso del fosso della Porcareccia, mentre nella parte occidentale sgorga la Sorgente della Nova le cui acque, prima che i lavori di una cava ne alterassero la morfologia, confluivano nel fosso della Porcareccia, che circondava, e circonda ancora in parte, il perimetro meridionale dell'insediamento. L'unione di quest'ultima con la Varlenza dà luogo al fosso della Nova che poi confluisce nel fiume Fiora.

Al fine di definire quantitativamente i cambiamenti intervenuti nell'assetto geomorfologico si sono digitalizzate due carte topografiche, in particolare: la carta catastale a scala 1:1.000 antecedente gli interventi antropici (d'ora in poi indicata come "Precava") e una carta risultante dal rilevamento topografico, effettuato alla stessa scala, dal Prof. Sena del Politecnico di Torino (indicata come "Postcava", SENA 1981). In entrambe le carte (Immagine 6, Fig. 6) sono state digitalizzate solo le isoipse con equidistanza di 5 m ottenendo dei *file* che presentavano i valori delle coordinate planimetriche e dell'altimetria (dati vettoriali). L'elaborazione successiva di questi dati ha permesso, applicando metodi classici di interpolazione, di creare una griglia di punti, distribuiti ad intervalli regolari lungo le due direzioni, a cui sono stati

attribuiti i valori di quota. Il risultato ottenuto è rappresentato dai due DEM raster (Precava e Postcava) a cui si è già accennato. Da questi DEM si sono ricavati i già menzionati parametri morfometrici di acclività, esposizione e rilievo ombreggiato. I due DEM sono stati coregistrati al fine di calcolare le variazioni morfologiche (Immagini 7a-7b) e di sovrapporci i settori di scavo e la successione degli strati litologici (ONORATI 1995). La sequenza stratigrafica è caratterizzata da formazioni vulcaniche dell'apparato Vulsino dominato principalmente da unità piroclastiche, per lo più ignimbriche.

RISULTATI DELL'ANALISI MORFOLOGICA

L'obiettivo dell'analisi è stato quello di comprendere le ragioni delle scelte insediamentali nei vari settori, rinvenuti nell'indagine archeologica (vedi nota 1). A tal fine si è operato un confronto qualitativo e quantitativo, tra l'andamento altimetrico precedente e successivo l'impostazione della cava. Lo scavo archeologico aveva evidenziato che le abitazioni più articolate e ricche di rinvenimenti si trovavano nella zona della rupe geograficamente più sfavorevole (lato nord-ovest) e attualmente più scoscesa.

Dall'analisi dei prodotti ottenuti elaborando i DEM pre/postcava (assetto altimetrico, dell'acclività e dell'esposizione) si è potuto evidenziare che la pendenza del versante nord-ovest, tra le quote 240 e 255 m, era di 28°, mentre attualmente si presenta più che raddoppiata. La parte più a valle è stata tagliata e livellata ad una quota media di 235 m (si noti il picco nell'istogramma di frequenza delle quote in Immagine 8, Fig. 7) allontanando l'alveo del fosso della Varlenza dalla base della rupe ad una distanza di circa 85 m.

La più radicale conseguenza dell'attività estrattiva della cava si è avuta nell'angolo occidentale della collina, in direzione del punto di confluenza della Porcareccia con la Varlenza e non lontano dalla Sorgente, con la completa rimozione di uno sperone che si estendeva per circa 130 m lungo l'asse est-ovest tra le quote di 250 e 225 m. L'asse maggiore dello sperone presentava una pendenza di circa 17° mentre attualmente il fronte occidentale, che risulta molto più arretrato, scende quasi a picco dalla quota di 250 m a quella di 235 m con un gradiente altimetrico di circa 70°, degradando poi molto più dolcemente fino alla quota della sorgente (225 m).

L'aumento di 10 metri del livello del fondo valle (da 225 a 235 m) ha prodotto l'interramento del corso finale della Porcareccia cancellando così le tracce di un ipotizzato punto di approdo in vicinanza del sito, nella zona della sorgente. Un analogo interramento si è avuto anche nella zona sud-est della collina, interessando il corso superiore della Porcareccia, il cui livello, a seguito di lavori agricoli, è stato innalzato dalla quota di 249 m a 254 m.

Per analizzare le variazioni morfologiche lungo i pendii della collina si sono poi costruiti, elaborando i DEM, alcuni profili altimetrici: uno lungo l'asse minore (nord-ovest/sud-est) della rupe, da cui si sono potuti ricostruire i vari livelli di terrazzamento (sul lato nord-ovest), rimossi a seguito dell'atti-

vità estrattiva della cava e sui quali si trovavano grotte e capanne in parte perdute (Immagine 9, Figg. 8a-8b). I terrazzamenti sono rimasti inalterati sul lato sud-est della collina dalla quota di 260 m fino alla sommità.

Analizzando gli istogrammi di frequenza delle due carte di acclività si sono evidenziati il notevole aumento delle aree pianeggianti, dovuto ai lavori della cava, e la corrispondente diminuzione dei valori di pendenza compresi fra 25° e 45° (Immagine 10, Fig. 9). Lo stesso aumento delle aree pianeggianti si riscontra nell'istogramma delle frequenze dell'esposizione.

Confrontando i due DEM si è calcolato che il volume totale del materiale rimosso, a seguito dei vari interventi antropici, è di circa 140.000 m³.

Questa analisi geomorfologica comparata ha permesso di ricavare e confermare alcune ipotesi archeologiche che si possono così riassumere:

- si è individuato il probabile punto di approdo della comunità protostorica di Sorgenti della Nova;
- si è avuta la conferma della presenza, sul lato nord-ovest della collina, dei terrazzamenti ipotizzati dall'indagine archeologica;
- si sono compresi i motivi della scelta del fianco settentrionale della collina, come sede delle abitazioni più articolate: infatti questo lato, attualmente molto scosceso, presentava prima dei lavori della cava una morfologia che degradava dolcemente verso l'alveo della Varlenza, consentendo così un facile approvvigionamento idrico.

6. *Analisi morfometrica a scala regionale*

Lo studio morfometrico regionale relativo all'alto Lazio ha preso in considerazione il territorio che comprendeva dapprima i bacini dei fiumi Albegna e Fiora, limitando successivamente l'indagine ad una area, geologicamente omogenea e caratterizzata dai terreni del Complesso Vulcanico dei Monti Vulsini (VEZZOLI *et al.* 1987, FREDA *et al.* 1990), corrispondente per lo più al bacino orientale del fiume Fiora (Immagine 11).

L'intera area presenta una conformazione geologica complessa costituita dalla successione metamorfica toscana, da una sequenza di unità sedimentarie tettonicamente sovrapposte (Carbonatica Meso-cenozoica, silico-clastica e pelitica) e dalle formazioni vulcaniche che comprendono i prodotti del Mt. Amiata e dei Monti Vulsini. I Vulsini sono costituiti da più 100 coni e crateri che si distribuiscono su una superficie di 2200 kmq; essi sono situati, ai limiti NO della cosiddetta Regione Comagmatica Romana, tra i fiumi Fiora e Tevere, tutt'intorno al Lago di Bolsena (FREDA *et al.* 1990; TRIGILA 1985). L'attività vulcanica, per lo più esplosiva, abbraccia un intervallo di tempo che va da 900.000 e 100.000 anni fa: essa appare fortemente influenzata dalla tettonica distensiva del Pliocene Inferiore, che ha interessato il basamento sedimentario fagliato e piegato.

Il distretto dei Monti Vulsini è caratterizzato dalla sovrapposizione di tre complessi principali: Bolsena, Montefiascone e Latera. Bolsena è il più vasto e ha dato luogo alla depressione vulcanico-tettonica attualmente occupata dal lago omonimo; Montefiascone è situato al limite sud-orientale della depressione di Bolsena e presenta una caldera il cui diametro è di circa 2,5 km.; Latera è situata tra il corso del fiume Fiora e il Complesso di Bolsena: circa 200.000 anni fa si è formata una struttura piroclastica, parzialmente collassata, attualmente costituita da una caldera ellittica (estesa 10×8 km) situata lungo le rive occidentali del Lago di Bolsena (ONORATI *et al.* 1987). I prodotti del complesso di Latera³ coprono un'area di quasi 1000 kmq, lungo il lato sinistro del bacino del Fiume Fiora.

Il DEM utilizzato è stato ricavato dai dati altimetrici dell'Archivio delle Quote Medie⁴, assemblato seguendo il reticolo geografico dei fogli topografici a scala 1:100.000 dell'Istituto Geografico italiano (IGMI). Lo stesso DEM è stato poi georeferenziato in proiezione UTM (ellissoide Hyford 1909 - ED50) tramite la procedura CPWARP (con 16 punti di controllo) e ricampionato fino ad ottenere una risoluzione spaziale di 100 m seguendo il metodo di interpolazione "bilineare".

Dalle carte tematiche morfometriche, menzionate nel paragrafo 1, posizionando i siti pre-protostorici tramite le loro coordinate geografiche, sono stati estratti i valori dei seguenti parametri: quota, acclività ed esposizione (vedi Immagine 4; ONORATI *et al.* 1992, ONORATI, POSCOLIERI 1988). Inoltre dallo stesso DEM sono stati calcolati i valori dell'energia del rilievo (*local terrain relief*) (MARK 1975) e della densità areale di reticolo di drenaggio. Questi ultimi due sono stati ricavati considerando un'area di un kmq centrata attorno ad ogni sito: il primo viene calcolato prendendo in considerazione la differenza tra quota massima e minima nell'ambito dell'area esaminata (1 kmq), il secondo si ottiene sommando la lunghezza delle aste fluviali contenute nell'area medesima: entrambi i parametri presentano una dimensione di m⁻¹.

Dal DEM è stata creata un'immagine di rilievo ombreggiato che simula le condizioni di illuminazione solare relative al momento dell'acquisizione della scena LANDSAT TM utilizzata per lo spettrale: 17° di angolo zenitale e 138° di angolo azimutale da nord (circa 9,30 di mattina – Immagine 12).

RISULTATI DELL'ANALISI STATISTICA

I coefficienti della matrice di correlazione, calcolata dalle variabili morfometriche presentano in genere valori molto bassi; unica eccezione risulta essere una lieve correlazione positiva tra energia del rilievo e acclività, spiegabile col fatto che entrambe le variabili costituiscono una misura, a diversa scala, di gradiente altimetrico (Immagine 13).

Applicando il metodo di cluster analisi (BIETTI *et al.* 1978) ai parametri morfometrici attribuiti a 151 siti archeologici rinvenuti nell'area di studio,

sono stati individuati due gruppi principali, la cui variabile discriminante è essenzialmente la quota; infatti i siti si collocano sopra o sotto i 300 m (Immagine 14).

Per la visualizzazione della loro distribuzione spaziale si è usato come sfondo la banda 5 della scena Landsat TM (risoluzione di 20 m per pixel), dove con il simbolo “+” vengono indicati i siti appartenenti al primo cluster mentre con il simbolo “×” quelli del secondo (Immagine 15).

Il primo gruppo comprende due classi peculiari corrispondenti a morfologie vulcaniche ben definite (Immagine 16, Fig. 10).

1) la prima classe comprende 14 siti di cui 10 (2 eneolitici e 8 dell'età del Bronzo, 6 abitati e 2 aree di frammenti ceramici) sono situati lungo il fianco SE della Selva del Lamone che è una caratteristica struttura vulcanica (colata lavica) attualmente coperta da una fitta foresta (Immagine 17). Questi siti presentano anche caratteristiche spettrali uniformi dei terreni, cioè: luminosità media, bassa densità vegetazionale e umidità medio-bassa.

2) la seconda classe comprende 6 siti collocati per lo più su crateri monogenetici, a cui sono associate frequentemente colate laviche, lungo o all'interno della Caldera di Latera, legate alla sua attività finale (Immagine 18).

Applicando il metodo gerarchico di cluster analisi (implementato sul *package* “Statistica”) ai valori morfometrici di quota, esposizione ed acclività di 51 abitati pre-protostorici dell'area, si sono sempre discriminati due gruppi principali: il primo comprende siti collocati al di sopra dei 400 m, il secondo invece, più articolato, è caratterizzato da due sottoclassi che comprendono, l'uno abitati situati fra 50 e 200 m, e l'altro fra 200 e 400 m. Il diagramma tridimensionale (Immagine 19, Fig. 11) evidenzia la funzione discriminante della quota e mostra una agglomerazione di siti compresi fra 57 e 204 m con valori piuttosto bassi di acclività. Alcune di questi raggruppamenti di abitati presentano anche una omogeneità dal punto di vista cronologico.

CODICE MORFOMETRICO

Per una migliore definizione delle caratteristiche geomorfologiche dell'area attorno ad ogni sito, si è messa a punto una procedura che analizza, a partire dal DEM, l'assetto altimetrico circostante il sito, per una superficie utile di 300×300 m.

In questo modo si è ottenuta una codifica “morfometrica digitale” del sito che ha permesso una immediata lettura del paesaggio locale e rappresenta una semplice descrizione morfologica del terreno attorno al sito: picco, vallecchia, cresta, circo, terrazzo, ecc. (LEE 1994).

Lo schema della procedura è il seguente: dal punto centrale (corrispondente alla collocazione del sito) si considerano gli otto punti circostanti, lungo le direttrici della rosa dei venti (Immagine 20, Fig. 12). A partire dall'an-

golo nord-ovest, in senso orario, si definisce un codice numerico corrispondente alle otto direzioni citate, dove l'1 indica differenze positive o nulle di quota tra il punto centrale e quello circostante, e lo 0 le differenze negative. La codifica binaria a otto bit di questo codice ha permesso di creare una carta morfometrica digitale che mette in particolare evidenza il rilievo del terreno (Immagine 21).

Lo stesso metodo di codifica binaria è stato applicato per creare due tavole a colori che permettono una immediata visualizzazione dell'assetto morfologico locale di abitati e necropoli presenti nell'area di studio. Si sono usate le sfumature che vanno dai toni del blu al verde per descrivere le differenze di quota negative, e toni dal giallo al rosso per le differenze positive (Immagine 22a-22b).

7. *Analisi morfoidrologica a scala regionale*

Per questa analisi si avevano a disposizione le seguenti carte:

– la carta idrografica a scala 1:250.000 pubblicata nel 1904 dal Ministero di Agricoltura e Foreste (PERRONE 1904) da cui si sono digitalizzate aste fluviali, linee di spartiacque, sorgenti e punti di misura della portata fluviale, linee di coste marina e lacustre (Immagine 23).

– la carta idrogeologica della Regione Lazio, da cui sono stati digitalizzati, oltre a aste fluviali, sorgenti lineari e puntuali, coste di laghi e mare, limiti delle unità idrogeologiche, isopieze e strutture tettoniche (Immagine 24).

Le coordinate delle strutture idrografiche estratte sono state trasformate in coordinate geografiche mediante un metodo ai minimi quadrati (KORK 1986) basato sul calcolo di una regressione polinomiale, iterativa rispetto al grado del polinomio, scelto, interattivamente o automaticamente, secondo la bontà del test di *fitting*. Per le trasformazioni applicate si sono utilizzati almeno due punti di controllo e per lo più una funzione polinomiale di secondo grado. Dopo aver riportato le coordinate geografiche in coordinate UTM i dati idrografici sono stati sovrapposti sulle carte tematiche georeferenziate relative all'intera area di studio.

Prendendo in esame il reticolo del bacino del fiume Fiora si sono calcolate le distanze euclidee dei siti archeologici considerati dalla fonte idrica più vicina (corso d'acqua o sorgente) e dal fiume Fiora (DIST). In particolare si sono misurate separatamente le distanze dal fiume Fiora e dai suoi principali affluenti.

Oltre a queste distanze, dalle isopieze, è stata estratta la profondità della falda stessa in corrispondenza dei siti, tenendo conto anche del valore di quota degli stessi. Dalle unità idrogeologiche (Immagine 25), terreni caratterizzati da litologia e permeabilità omogenee, è stata ricavata una descrizione dello stato di permeabilità e del tipo di terreno su cui il sito è situato.

I valori di distanza dalle strutture idrografiche sono stati elaborati statisticamente, così da ottenere istogrammi di frequenza separando le tre tipologie dei siti archeologici (aree di frammenti, necropoli ed abitati, Immagine 26, Fig. 13). Da essi si può notare come, nel caso degli affluenti del fiume Fiora, si ha un addensamento di siti entro la distanza di un km, mentre per quanto riguarda la distanza dal fiume Fiora si ha una distribuzione più uniforme fino alla distanza di circa 17 km.

Esaminando la distribuzione dei siti rispetto alle unità idrogeologiche si nota che più del 50% di essi si trova nell'ambito del "Complesso delle unità piroclastiche", mentre dal 10 al 14% è situata rispettivamente sui "Travertini", "Depositi fluvio-palustri", "Complesso delle lave e ignimbriti" e "Complesso metamorfico" (BONI *et al.* 1988). L'analisi della profondità della falda acquifera ha invece messo in rilievo che per il 35% dei siti la falda si trova tra 0 e 10 m, per il 44% tra 11 e 50 m, per il 15% tra 51 e 100 m, mentre solo per il 5% la falda si trova tra 100 e 150 m.

8. *Analisi spettrale a scala regionale*

L'area di indagine è coperta da una sottoscena LANDSAT TM, acquisita il 22 gennaio 1983 (Immagine 27, Tav. IX, a), e da una scena Landsat 3 MSS (*Multispectral Scanning System*), acquisita nel 22 maggio 1979 ad una risoluzione di 80 m/pixel. Il secondo sensore è caratterizzato da 4 bande, due nel visibile (centrate sul verde e sul rosso) e due nell'infrarosso vicino. Le due nel visibile corrispondono grosso modo alle bande TM 2-3, le altre due alla TM 4. La banda MSS 7 (infrarosso vicino - vedi Immagine 11), dopo essere stata georeferenziata in proiezione UTM rispetto al DEM, è stata utilizzata solo per visualizzare, come carta tematica di base, i risultati della ricerca.

Considerando invece i valori delle 6 bande TM del riflesso ed esaminando la matrice dei coefficienti di correlazione dei parametri spettrali ricavati (*Tasseled Cap Features* e rapporti di differenze normalizzate, NDVI, ND47 e ND57, vedi Immagine 13) si può notare come siano presenti valori generalmente bassi eccetto alcuni alti valori di correlazione negativi (= inversamente proporzionali) quale -0,746 tra la WET e la BRI; un valore abbastanza più piccolo (-0,50) si ottiene se vengono presi in esame tutti i pixels della sottoscena Landsat TM. I parametri ND47 e WET sono inoltre direttamente correlati (0,721), il che conferma che entrambi descrivono lo stato di umidità dei terreni. Infine NDVI e GRN (0,96) sono fortemente correlati.

Analizzando quindi i risultati della *cluster* analisi (BIETTI *et al.* 1978) applicata ai valori delle stesse 6 bande TM attribuiti a 151 siti si constata che essi si distribuiscono in due gruppi principali (Immagine 28), con un terzo costituito da un solo sito (Poggio Olivastro). L'interpretazione di queste classi, in termini di caratteristiche fisiche dei terreni, viene effettuata tenendo

presenti i valori delle corrispondenti *Tasseled Cap Features* e degli altri indici spettrali dei siti esaminati. Il sito a sé stante è caratterizzato da suolo ad elevata luminosità e bassa umidità, mentre gli altri due raggruppamenti appaiono discriminati dai rispettivi valori di luminosità e umidità (Immagine 29). In particolare il primo comprende siti caratterizzati da copertura superficiale con diverse percentuali di suolo e vegetazione, valori medio-bassi di umidità e medio-alti di luminosità. Il secondo invece comprende siti collocati su suoli umidi e scuri con rara vegetazione; vi sono anche inclusi siti dalle caratteristiche spettrali tipiche dell'acqua (Mezzano e Poggi del Mulino).

La *cluster* analisi applicata ai valori spettrali di 46 abitati ⁵ (implementato su *package* "Statistica") ha discriminato due grandi gruppi separando due siti con caratteristiche peculiari. Questi ultimi sono Poggio Olivastro, caratterizzato da valori di intensità di verde ed umidità molto bassi ed elevata riflettività, e Poggi del Mulino, che presenta una altissima percentuale di vegetazione, alta riflettività e valori medio alti di umidità. I due raggruppamenti hanno le seguenti caratteristiche: il primo include gli abitati situati su terreni con riflettività medio-alta, percentuale di vegetazione medio-bassa e umidità variabile; il secondo presenta abitati giacenti su terreni costituiti da suolo per lo più scuro e molto umido. Questo secondo cluster è omogeneo anche dal punto di vista archeologico, comprendendo un terzo degli abitati appartenenti al periodo del Bronzo Finale. Esaminando la distribuzione degli abitati in un grafico tridimensionale, in cui sono riportati i valori delle tre *Tasseled Cap Features* (Immagine 30, Fig. 14), si evidenzia che i 4 gruppi discriminati si dispongono in maniera nettamente distinta in particolare nei valori della luminosità.

Un'ulteriore applicazione dell'indagine archeologica basata sulle informazioni fornite dall'analisi dei valori delle bande multispettrali della scena LANDSAT, già descritta, ha riguardato la caratterizzazione delle proprietà fisiche dei terreni giacenti lungo la fascia peri-costiera al confine tra Lazio e Toscana. Lo studio si propone di ricostruire le caratteristiche delle aree umide attuali o fossili (soprattutto lagune) e correlarle ai siti pre-protostorici identificati nella zona.

La combinazione delle 6 bande TM del riflesso ha permesso di calcolare gli stessi indici spettrali già descritti. Sui prodotti tematici ottenuti sono stati poi sovrapposti i limiti di paleo-lagune e di aree umide, nonché i reticoli idrografici principali, ricavandoli da Carte antiche: ciò ha permesso di fornire, per queste aree, una valutazione quantitativa soprattutto dello stato di umidità dei terreni in rapporto alla presenza della vegetazione e alla distribuzione spaziale dei siti esaminati.

Per ottenere una rappresentazione 3D dei prodotti tematici ricavati elaborando l'immagine LANDSAT, quest'ultima è stata coregistrata con il DEM utilizzato per i parametri morfometrici. Inoltre la mappa che descrive le antiche lagune, le zone umide ed il reticolo idrografico è stata rasterizzata e

coregistrata anch'essa rispetto alla scena Landsat (Immagine 31, Tav. IX, b).

Al fine di evidenziare solo i terreni caratterizzati da suolo nudo con diverso contenuto di umidità, possibilmente correlati a depositi di antiche lagune o aree umide, si è applicata una sequenza di procedure di “mascheramento” su tutti i prodotti tematici ottenuti.

– La prima procedura ha riguardato la separazione tra aree coperte da corpi d'acqua (invasi d'acqua) e terra tramite un metodo di classificazione *supervised*.

– In una seconda fase si sono individuate le aree poco e per nulla vegetate (la scena Landsat tra l'altro è stata acquisita in gennaio quando la vegetazione presente è minima) analizzando l'immagine NDVI e selezionando i terreni con poca vegetazione corrispondenti ai valori negativi dell'NDVI. I *pixels* appartenenti a questi terreni sono state mascherati nell'immagine di *Wetness* così da evidenziare soltanto i terreni coperti da pochissima vegetazione o da suolo con gradazione diversa di umidità.

La carta che ricostruisce le antiche lagune è stata sovrapposta alle immagini della *Wetness* e della banda termica TM (banda 6), al fine di verificare i valori di umidità e di temperatura all'interno di due antiche lagune presenti a sud e a nord dell'attuale laguna di Orbetello (PRANZINI, SANTINI 1998). Si è inoltre constatato che le due antiche lagune appaiono per lo più coperte da suolo nudo con contenuto di umidità analogo.

9. Esempi di analisi archeologico-territoriale integrata

IPOTESI SULLE VIE DI COMUNICAZIONE TRA I SITI DEL BACINO DEL FIUME FIORA

L'analisi dei tematismi morfometrici e idrologici (carta di acclività, carta del reticolo idrografico) ha trovato una particolare applicazione nella possibilità di formulare ipotesi sui percorsi tra i vari insediamenti del Bronzo Finale, tenendo conto della complessità morfologica dell'area, caratterizzata da lunghe e strette valli.

Nella ricerca sono state analizzate due tipi di carte di acclività:

La prima, derivata dal DEM ottenuto assemblando i dati dell'Archivio delle Quote Medie, è stata sovrapposta a quella del reticolo idrografico (derivato dallo stesso DEM) al fine di visualizzare l'andamento del deflusso delle acque meteoriche rispetto all'assetto morfologico del territorio. I valori di acclività sono espressi in gradi e sono stati codificati a colori secondo la LUT (*look-up-table*) del GIS GRASS (Immagine 32).

La seconda è il risultato della digitalizzazione dei limiti delle sei classi di pendenza disegnate sulle carte tematiche corrispondenti, a scala 1:50.000, redatte dalla Regione Lazio. I fogli sono il 343 “Manciano” e il 344 “Tuscania” (Regione Lazio), che ricoprono l'area compresa tra il fiume Fiora ed il lago di Bolsena. Essa è stata ottenuta costruendo il mosaico delle due carte di acclività contigue; si sono digitalizzati i limiti dei valori percentuali di pendenza

suddivisi nelle seguenti classi, che sono state rappresentate con diversi colori nella carta finale (Immagine 33):

- 1) da 0 a 2 % = pianeggiante (celeste)
- 2) da 2 a 10% = leggermente inclinato (nero)
- 3) da 10-20% = inclinato (arancio)
- 4) da 20 a 35% = moderatamente ripido (verde)
- 5) da 35 a 50% = ripido (marrone)
- 6) > 50% = estremamente ripido (magenta)

infine l'area in blu corrisponde al lago di Bolsena e alla Regione Toscana.

I due fogli (nn. 343 e 344) sono stati convertiti in formato Raster, uniti e georeferenziati rispetto alla proiezione UTM, così da permettere l'integrazione con altri dati territoriali.

Sulle due carte di acclività descritte si sono sovrapposte le strutture idrologiche principali, digitalizzate dalla Carta idrogeologica del 1988 e dalla Carta idrografica del 1904 e sono stati collocati gli abitati del Bronzo Finale.

Dall'analisi della carta di acclività, ricavata dai dati della Regione Lazio, si è constatato che la maggior parte degli abitati del Bronzo Finale si trovano su terreni con pendenza che varia dal 20% al 50%. Quelli che risalgono invece a periodi più antichi (dall'Eneolitico in poi) presentano una acclività tra il pianeggiante ed il leggermente inclinato (da 0 al 10%) (Immagine 34). Unica eccezione è costituita dal sito di Castiglionco S. Lucia (n. 41), che si data dal Bronzo Medio e si colloca nella stessa fascia clivometrica (dal 35 al 50%) del sito fortificato di Le Castellare (n. 153) e di quello di Sorgenti della Nova (n. 022a). Infine gli abitati che iniziano nel Bronzo Finale e continuano nell'Età del Ferro si trovano in area mediamente pianeggianti o leggermente acclivi.

Anche l'esame della distribuzione spaziale degli abitati del Bronzo Finale sulla carta di acclività ricavata elaborando il DEM ottenuto dall'Archivio delle Quote Medie, conferma che la maggior parte di essi si colloca su posizioni prominenti, in corrispondenza di aree a maggiore pendenza, indicate in Immagine 32 in giallo e magenta, lungo dorsali allungate in direzione NE-SO, parallele a profonde e incise valli in cui si raccolgono le acque di deflusso meteorico che vanno ad alimentare gli affluenti di sinistra del fiume Fiora.

Queste informazioni, ricavate dall'analisi delle carte di acclività e relative alla collocazione sul territorio degli abitati, sono state arricchite con i dati sulle possibili vie di comunicazioni tra i siti. A tal fine si sono presi in considerazione i rilevamenti viario ed idrografico, documentati sulle Carte del Catasto Gregoriano la cui compilazione è terminata sotto il pontificato di Gregorio XVI nel 1835 ⁶. Da queste Carte ne è stata ricavata un'altra che riportava il percorso dei corsi d'acqua e dell'assetto viario, rispettivamente in blu e in rosso nella mappa (PARMEGIANI 1981). La nuova carta è stata

rasterizzata, riportata in proiezione UTM e sovrapposta, dopo averla coregistrata, sulla banda TM5 della sottoscena Landsat ⁷ già utilizzata nello studio a scala regionale per ricavare i parametri spettrali (Immagine 35, Tav. X).

Il risultato della sovrapposizione è che il reticolo idrografico-viario, estratto dal Catasto Gregoriano, si inserisce quasi perfettamente nella situazione morfologica del medio corso del fiume Fiora: in particolare ai fondovali si sovrappongono le asti fluviali, mentre gli assi viari si trovano lungo il corso dei fiumi principali, ma soprattutto lungo le linee di spartiacque e lungo i tratturi montani situati nelle zone della Caldera di Latera e della Selva del Lamone.

In conclusione l'analisi integrata di carte di acclività e della carta tematica ottenuta dalla sovrapposizione degli assi viari del Catasto Gregoriano sulla scena Landsat TM, ha permesso di evidenziare come le vie di collegamento tra gli abitati del Bronzo Finale, collocati su posizioni prominenti, seguono l'andamento di dorsali e di linee di spartiacque.

RICOSTRUZIONE DELLE VIE DI CONQUISTA URARTEA (ARMENIA)

Fin dal 1994 un progetto avente come obiettivo la ricostruzione della civiltà urartea (IX-VII sec. a.C.) è stato avviato dall'Istituto per gli Studi Micenei ed Egeo-Anatolici (ISMEA). Il lavoro è svolto in collaborazione con l'Istituto di Archeologia dell'Accademia delle Scienze della Repubblica Armena (IANAS): fino ad oggi sono state condotte cinque campagne di ricognizione, indirizzate ad indagare la regione meridionale del lago Sevan, dove sono stati catalogati circa 80 siti che spaziano dal Bronzo Antico al periodo medievale (BISCIONE, PARMEGIANI 1994, 1995, 1996; PARMEGIANI c.s.).

Lo studio territoriale è stato effettuato prendendo in considerazione carte topografiche classiche e dati SAR acquisiti dai satelliti ERS-1 e 2 dell'ESA. Dalla digitalizzazione di una carta topografica a scala 1:100.000 si sono realizzati due DEM *raster* che sono stati poi georeferenziati rispetto al grigliato chilometrico della proiezione geografica UTM. I due DEM presentano risoluzione spaziale del pixel rispettivamente di 50 e 20 m: il primo è stato utilizzato per una analisi a scala regionale, il secondo per verificare assetti locali del territorio.

Anche in questo caso i DEM sono stati elaborati per ricavare carte altimetriche, di acclività, di esposizione e di rilievo ombreggiato. Quest'ultimo è stato ottenuto scegliendo una sorgente di illuminazione posta a sud-ovest, 30° al di sopra dell'orizzonte.

Sulle carte tematiche, ottenute dal DEM con risoluzione spaziale di 50 m, si sono sovrapposti i siti rinvenuti (fortezze, forti, insediamenti aperti e fortificati – Immagine 36, Tav. X, b). Esse mostrano chiaramente come gli Urartei controllavano il territorio sistemandosi in posizione strategica lungo la linea di costa del Lago Sevan e all'imbocco delle valli principali. Le popolazioni preesistenti, invece, appaiono disseminate lungo la fascia collinare e montuosa che circonda la piana affacciata sul Lago Sevan meridionale, rag-

gruppate intorno a 3 o 4 fortezze secondo un criterio gerarchico. In quest'ultimo caso per una indagine più di dettaglio è stata analizzata, sulle carte con 20 m di risoluzione, la distribuzione spaziale dei siti al fine di esaminare il controllo del territorio a livello locale (Immagine 37, Fig. 15).

L'esame dei mutui rapporti tra alcuni di questi ultimi siti è stata realizzato delineando il profilo altimetrico tra coppie di siti lungo il DEM con 20 m di risoluzione del pixel: è stato così possibile stabilire la linea di vista reciproca, evidenziando inoltre la complessità del cammino sul territorio compreso tra i siti indagati.

Per meglio esaminare l'assetto geologico della regione del Lago Sevan e le fluttuazioni del livello del lago, correlati al controllo del territorio da parte delle popolazioni succedutesi nel tempo, si sono analizzate immagini SAR raccolte dai sensori dei satellite ERS (PARMEGIANI, POSCOLIERI 1999).

Le prime immagini analizzate sono due scene acquisite dal satellite ERS-1 nell'estate del 1995. Esse sono state elaborate ed analizzate visualizzando le sintesi additive a Falsi Colori di scene multitemporali, comprendenti le due scene ed un terzo strato costituito dalla 1^a Componente Principale ricavata dalle stesse; quest'ultima immagine presenta un S/N (rapporto segnale rumore) elevato, con un buon contenuto informativo riguardante le caratteristiche del terreno che non variano col tempo (strade, fiumi, acclività/esposizione dei versanti, ecc.)

Sono state inoltre utilizzate immagini SAR acquisite dai satelliti ERS sull'area del Lago Sevan per generare un DEM più puntuale di quelli già descritti. I dati provengono da una coppia di scene *tandem* ERS-1 e ERS-2 riprese a distanza di un giorno. Questa coppia di immagini, una volta elaborata, ha permesso di creare un DEM molto dettagliato sulla base delle tecniche cosiddette di "Interferometria". Le immagini ricavate hanno dimostrato la loro utilità nel delineare strutture geologiche e tettoniche dell'area.

Un altro importante oggetto della ricerca in atto sul Lago Sevan è lo studio delle variazioni della linea di costa del lago stesso. Per poter identificare le possibili variazioni di livello a partire dal 1930 si è presa in esame una carta batimetrica redatta considerando dati idrometrici e di altra natura, raccolti tra il 1928 e il 1931. Questa carta è stata poi analizzata congiuntamente alle immagini SAR del 1995 rispetto alle quali è stata georeferenziata seguendo il grigliato UTM.

L'analisi delle immagini SAR ha reso possibile una relativa misura quantitativa delle fluttuazioni del livello del lago e dell'andamento delle correnti superficiali influenzate dalla forma del fondo del lago. La tessitura delle immagini SAR dell'ERS è fortemente influenzata da queste correnti; perciò il confronto tra la carta batimetrica e le immagini SAR rende possibile un'accurata delineazione della morfologia del fondo del lago.

NEDA PARMEGIANI *, MAURIZIO POSCOLIERI **

Bibliografia

- A. BIETTI, A. RAMBALDI, L. ZANELLO, 1978, *DENDR - Un programma FORTRAN di 'Cluster analysis' per applicazioni archeologiche, paleontologiche e paleoecologiche*, «Quaternaria», 20, pp. 49-85.
- R. BISCIONE, N. PARMEGIANI, 1994-1995-1996, *Missione archeologica italo-armena nel territorio del lago Sevan*, in «SMEA», XXXIV (1994), pp. 146-149; XXXVI (1995), pp. 149-151; XXXVIII (1996), pp. 196-199.
- C. BONI, P. BONO, G. CAPPELLI, 1988, *Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio*, Roma, Regione Lazio e Dipartimento Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza".
- P.A. BURROUGH, 1986, *Principles of Geographical Information System for land resources assessment*, Monographs on soil and resources survey, 12, Clarendon Press, Oxford.
- M. CARDOSA, 1993, *Gli aspetti territoriali protovillanoviani e villanoviani alla luce dei modelli dell'archeologia spaziale*, «PPE. Atti 1», pp. 261-268.
- M.T. CARROZZO, A. CHIRENTI, D. LUZIO, C. MARGIOTTA, T. QUARTA, A.M. TUNDO, F. ZUANNI, 1985, *Data base of Mean Height Values for the whole Italian Landmass and surrounding areas: determining and statistical analysis*, «Bollettino Geodesia di Scienze Affiliate», 44, 1, pp. 37-56.
- E.P. CRIST, R. CICONE, 1984, *A physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data. The TM Tasseled Cap*, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22, n. 3, Maggio 1984, pp. 126-263.
- E.P. CRIST, R. LAURIN, R.C. CICONE, 1986, *Vegetation and soils information contained in Transformed Thematic Mapper Data*, in *Atti del Simposio IGARSS'86*, Zurigo (Sv), ESA SP-254, pp. 1465-1470.
- C. FREDA, D. PALLADINO, S. PIGNATTI, R. TRIGILA, G. ONORATI, M. POSCOLIERI, 1990, *Volcano-tectonic scenario of Mt. Vulsini (Central Italy) from Landsat-MSS Images and digital elevation data*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 45, pp. 316-328.
- B.K.P. HORN, 1982, *Hillshading and the Reflectance Map*, «Geoprocessing», 2, pp. 65-146.
- M. HUGH-JONES, N. BARRE, G. NELSON, K. EHNE, J. WARNER, J. GARVIN, G. GARRIS, 1992, *Landsat-TM identificazione of *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) habitats in Guadaloupe*, «Remote Sensing and Environment», 40, pp. 43-55.
- IBM, *Graphical Data Display Manager - Release 2 User's Manual*, 1979, SC33-0101-1.
- T.O. KORK, 1986, *JGDIGIT, a program to control digitizing board fro geologist written in BASIC for a IBM Personal Computer*, «USGS Bull.», 1616, pp. 1-69.
- J. LEE, 1994, *Digital Analysis of Viewshed Inclusion and Topographic Features on Digital Elevation Models*, «Photogrammetric Engineering and Remote Sensing», 60, 4, pp. 451-456.
- D.M. MARK, 1975, *Geomorphometric parameters: a review and evaluation*, «Geographiska Annaler», 57A, pp. 165-177.
- M. MIARI, 1987, *La documentazione dei siti archeologici dei bacini del Fiora e dell'Albegna: criteri di classificazione e analisi dei modelli di insediamento dell'età del Bronzo*, «Padusa 1-4», XXIII, pp. 113-145.
- H.B. MUSICK, R.E. PELLETIER, 1988, *Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in Thematic Mapper wavebands*, «Remote Sensing and Environment», 25, pp. 167-184.

- N. NEGRONI CATAACCHIO, M. CARDOSA, M. MIARI, N. PARMEGIANI, M. POSCOLIERI, 1998, *Indagine archeologico-ambientale sui bacini dei fiumi Fiora e Albegna (Etruria meridionale) durante l'età pre e protostorica*, in *Territorio storico ed ambiente*, Atti del Convegno "Il sistema uomo-ambiente tra passato e presente", pp. 171-179.
- N. NEGRONI CATAACCHIO, N. PARMEGIANI, M. POSCOLIERI, 1995, *Analisi delle caratteristiche territoriali degli abitati pre-protostorici dell'Etruria meridionale*, in *Atti del 1st International Congress on "Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the Mediterranean basin"*, Nov. 27-Dic. 2, 1995, Catania-Siracusa, Italia, pp. 245-259.
- G. ONORATI, 1995, *L'assetto geologico*, in *Sorgenti della Nova: l'abitato del Bronzo Finale*, Origines, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, a cura di N. Negroni Cataacchio, Firenze, pp. 39-54.
- G. ONORATI, M. POSCOLIERI, S. SALVI, R. TRIGILA, 1987, *Use of TM Landsat data as a support to classical ground-based methodologies in the investigation of a volcanic site in central Italy: the Caldera of Latera*, in *Atti del Simposio IGARSS'87*, Ann Arbor (Mi-USA), pp. 1173-1178.
- G. ONORATI, M. POSCOLIERI, 1988, *The Italian Mean Heights Archive digital data set useful for thematic mapping and geomorphological units analysis*, in *Atti dell'8° Simposio EARSel*, Capri (Italia), pp. 451-466.
- G. ONORATI, M. POSCOLIERI, R. VENTURA, V. CHIARINI, U. CRUCILLÀ, 1992, *The Digital Elevation Model of Italy for geomorphology and structural geology*, «CATENA», 19, pp. 147-178.
- N. PARMEGIANI, 1981, *Problemi della viabilità antica*, in N. NEGRONI CATAACCHIO (a cura di), *Sorgenti della Nova, una comunità protostorica e il suo territorio nell'Etruria meridionale*, Catalogo della mostra, CNR, Roma, pp. 299-314.
- N. PARMEGIANI, c.s., *Control of Sevan Lake (Armenia) during the Urartian Period*, in *Atti del 1st International Congress on the "Archaeology of the Ancient Near East"*, Roma (Italia), 18-23 Maggio 1998.
- N. PARMEGIANI, M. POSCOLIERI, 1994, *Studio dell'assetto del territorio attuale e ricostruzione del medesimo nel periodo protostorico: abitato di Sorgenti della Nova (Viterbo)*, «Geoarcheologia», 1992: 2, pp. 133-155.
- N. PARMEGIANI, M. POSCOLIERI, 1997, *Study of the relationships between landscape characteristics and pre-protobhistoric sites in southern Etruria (Italy)*, Atti del "II Colloquium UISPP XIIIth Congress", Forlì (Italia), 8-14 Settembre 1996, Ian Johnson & MacLaren North (a cura di), CD Sydney Univ. Archaeological Methods Series 5.
- N. PARMEGIANI, M. POSCOLIERI, 1999, *Historical-environmental scenario of the southern Lake Sevan region (Armenia) during the Urartian period*, in *Atti della EUROPTO Conference on "Remote Sensing for Earth Science Applications"*, Firenze (Italia), 20-24 Settembre 1999, SPIE Vol. 3868, pp. 322-331.
- E. PERRONE, 1904, *Carta idrografica di Italia*, Roma (Italia), Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio.
- E. PRANZINI, C. SANTINI, 1998, *Analisi dei dati Landsat TM multitemporali per lo studio dell'umidità dei suoli della pianura di Pisa*, in *Atti della II Conferenza ASITA*, Bolzano (Italia), 2, pp. 233-340.
- Regione Lazio - Assessorato Urbanistica, *Fogli 343 e 344*, tematismo: clivometria, scala 1:50.000.
- C. SENA, 1981, *La fotogrammetria per lo studio delle preesistenze antropiche nel territorio*, in *Sorgenti della Nova, Una comunità protostorica e il suo territorio nell'Etruria meridionale*, a cura di N. Negroni Cataacchio, Roma, pp. 161-171.

- R.R. SOKAL, P.H.A. SNEATH, 1963, *Principles of numerical taxonomy*, Freeman ed., S. Francisco e Londra.
- R. TRIGILA, 1985, *Vulsini Volcanoes*, «IAVCEI-1985 Scient. Assoc., Excursions Guide-book», pp. 4-12.
- C.J. TUCKER, 1979, *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*, «Remote Sensing and Environment», 8, pp. 127-150.
- L. VEZZOLI, S. CONTICELLI, F. INNOCENTI, P. LANDI, P. MANETTI, D.M. PALLADINO, R. TRIGILA, 1987, *Stratigraphy of the Latera Volcanic Complex: proposals for a new nomenclature*, «Per. Mineral.», 56, pp. 89-110.

Abstract

In the framework of a co-operation, lasting since the end of the '80s, between the CNR ISMEA (Istituto per gli Studi Micenei ed Egeo-Anatolici) and IAS (Istituto di Astrofisica Spaziale) several archaeology landscape analysis projects have been carried out. Their main aim has been to give insight to the reasons of settlement location choices in geographically far and environmentally different regions during separated historic periods. In particular, two study areas have taken into account: the region encompassed between the Thyrrhenian sea and Bolsena Lake, at the boundary of Latium and Tuscany Italian regions, from Neolithic to Iron Ages, and the zones facing the southern Sevan Lake (Armenia), from the Bronze Age to the Urartian period (VII cent. BC).

¹ Questa ricerca, iniziata nel 1989, si è sviluppata sulla collaborazione, in atto fin dal 1978, tra l'allora Istituto di Archeologia dell'Università degli Studi di Milano e l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni culturali del CNR, nelle persone delle dott.sse Nuccia Negroni Caccchio, direttrice dello scavo di Sorgenti della Nova e del Centro Studi di Preistoria e Protostoria che effettua le ricerche archeologiche nella zona fra i fiumi Albegna e Fiora, e di N. Parmegiani a quel tempo in servizio presso l'ITABC (Istituto per le tecnologie applicate ai Beni culturali), che aveva collaborato ai lavori della Mostra di "Sorgenti della Nova: una comunità protostorica e il suo territorio nell'Etruria meridionale" tenutasi a Milano nel 1980. Il Centro Studi di Preistoria e Archeologia ha fornito tutte le informazioni archeologiche. Ci si è avvalso dei risultati degli scavi dell'abitato di Sorgenti della Nova e delle ricerche condotte dai dottori M. Miari e M. Cardoso. I dati dei siti archeologici usati per le ricerche nell'area di studio sono stati inseriti su una base informatica in DBIII secondo un codice alfanumerico (MIARI 1987). Ad ogni sito è stato assegnato un codice che può assumere valori da 1 a 3 secondo il suo livello di confidenza. Il codice 3 indica i dati presi dalla letteratura con una definizione del contesto spaziale approssimativo; il codice 2 riguarda i dati con una descrizione geografica locale più precisa, il codice 1 infine è attribuito ai siti in cui le coordinate geografiche sono state misurate. Nell'analisi sono stati scartati i siti codificati come 3 e quelli relativi alle grotte.

² Titolo del libro sull'Armenia "The North-Eastern Frontier Urartian and non-Urartians in the Sevan Lake basin. I. the southern shores" in corso di stampa.

³ I prodotti di Latera sono rappresentati da una sequenza piroclastica dominata dalle rocce piroclastiche che sono state raggruppate in 7 unità ignimbriche principali (VEZZOLI *et al.* 1987). La loro attività finale è stata caratterizzata dalla formazione, per lo più lungo o all'interno della caldera di Latera, di crateri monogenetici con associate colate laviche, queste ultime determinano morfologie litologicamente omogenee con basso grado di erodibilità: tra di esse è da ricordare la Selva del Lamone.

⁴ Distribuito dal Servizio Geologico Nazionale (CARROZZO *et al.* 1985) secondo matrici numeriche di 180×160 pixel che rispecchiano i fogli topografici al 100.000 e presentano una risoluzione spaziale del pixel di 7.5" di latitudine e 10" di longitudine (circa 230 m/pixel).

⁵ In questo caso si sono ridotti a 46 perché l'immagine non copriva l'area archeologica di Vulci.

⁶ Questo Catasto fornisce una descrizione della viabilità nella zona all'epoca in cui l'economia era basata sulla pastorizia.

⁷ La scelta di questo abbinamento è legata al fatto che i dati da satellite, soprattutto quelli registrati tramite i sensori TM e SPOT, per il loro maggior dettaglio, forniscono una descrizione del territorio più puntuale.

* CNR - Istituto Studi Micenei ed Egeo-Anatolici.

** CNR - Istituto Astrofisica Spaziale.