

ACTION GIS: UN MODELLO PREDITTIVO DEL MOVIMENTO ANTROPICO IN UN PAESAGGIO ANTICO. IL CASO DI STUDIO ARCHEOLOGICO DELLA VAL D'ALPONE (VR)

1. PREMESSA

In questi ultimi anni i GIS hanno trovato ampia applicazione in ambito archeologico: per la loro capacità sia di simulare in digitale un paesaggio antico, attraverso l'applicazione di modelli predittivi e quantitativi che indagano le possibili strategie di localizzazione di siti archeologici in un territorio, sia di favorire lo sviluppo di ipotesi sulle dinamiche del comportamento e sui meccanismi decisionali dell'uomo del passato.

La ACTION-based GIS, maturata all'incrocio fra il tecnicismo dei Sistemi Geografici Informativi e gli indirizzi più recenti dell'antropologia nord-americana, sembra rappresentare una terra promessa: oltre ad offrire la già acquisita e accattivante prospettiva da Realtà Virtuale con una *simuland* anisotropica a quattro dimensioni (x,y,z, tempo) e ospitarvi vecchi e nuovi strumenti (dai Poligoni di Thiessen ai nuovi tool delle "superfici di costo" o di "visibilità"), essa immette nella scena un attore sociale nuovo (e politico) sempre più complesso, con capacità tipicamente umane, come soggetto centrale dei cambiamenti sociali (DE GUIO 2000, 19). Gli attuali modelli spaziali digitali sono il prodotto evoluto di un lungo percorso metodologico e scientifico iniziato negli anni '60, in corrispondenza della nascita della *New Archaeology*: si documenta in questo momento un grande sforzo di rinnovamento indirizzato soprattutto verso le analisi quantitative e/o geometriche (FORTE 2002, 95). I modelli possono essere definiti come delle rappresentazioni idealizzate di osservazioni e, in particolar modo quelli computazionali, capaci di ridurre drasticamente il tempo di verifica che determinati condizionamenti/variabili hanno sulle scelte dell'attore sociale. Oggi con il GIS è possibile crearne di nuovi e più complessi nel tentativo di indagare, con sempre maggior profondità, la palinsestica grammatica spaziale di un paesaggio archeologico.

A Marcos Llobera, docente del corso di Archeologia del paesaggio ed esperto in Sistemi Informativi Geografici dell'Università di Washington, dobbiamo, in un contributo molto recente (LLOBERA 2000), un riesame puntuale del concetto di movimento rispetto soprattutto alle nuove potenzialità tecnologiche del GIS in questo ambito. Secondo Llobera il movimento deve costituire una specifica routine dei Sistemi Informativi Geografici per lo studio delle dinamiche di spostamento in un paesaggio antico (FORTE 2002, 110). Sono le attività quotidiane, quindi anche il movimento da luogo a luogo per reperire risorse o per soddisfare un bisogno, che portano alla formazione di

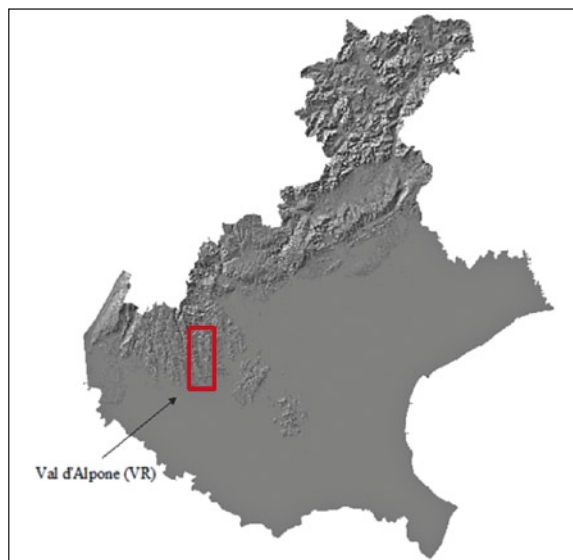


Fig. 1 – Posizionamento indicativo dell'area di indagine.

un paesaggio organizzato secondo i principi e le categorie culturali di una società estinta, intendendo per paesaggio un tutto dinamico in perenne trasformazione, un contesto di luoghi “fatti” da preesistente naturale e costruito antropico, creati e sperimentati attraverso il movimento stesso.

Monitorando l'andamento e la morfologia degli antichi sentieri è possibile capire quale concezione l'uomo avesse dello spazio in cui stava e ricostruire le mappe cognitive che spiegano quella particolare organizzazione, amministrazione e gestione del territorio.

2. INTRODUZIONE

«Comprendere il paesaggio vuol dire decodificarne tracce di vita e segni che ne trascendono la mera fisicità, trascinandolo in metaspazio tale per cui, citando Louis Kahn, esso divenga “quel luogo in cui il bambino, mentre cammina, può vedere qualcosa che può fare da grande”»

COCCHIARELLA 2006, 35

Indagando il contesto specifico della Val d'Alpone (Lessinia orientale in provincia di Verona, Fig. 1) è stato creato, in ambiente GIS (Idrisi32 e ArcGIS 9.0), un modello predittivo comportamentale in grado di dare una probabilità di presenza di sentieri antichi, ottimali dal punto di vista dei costi

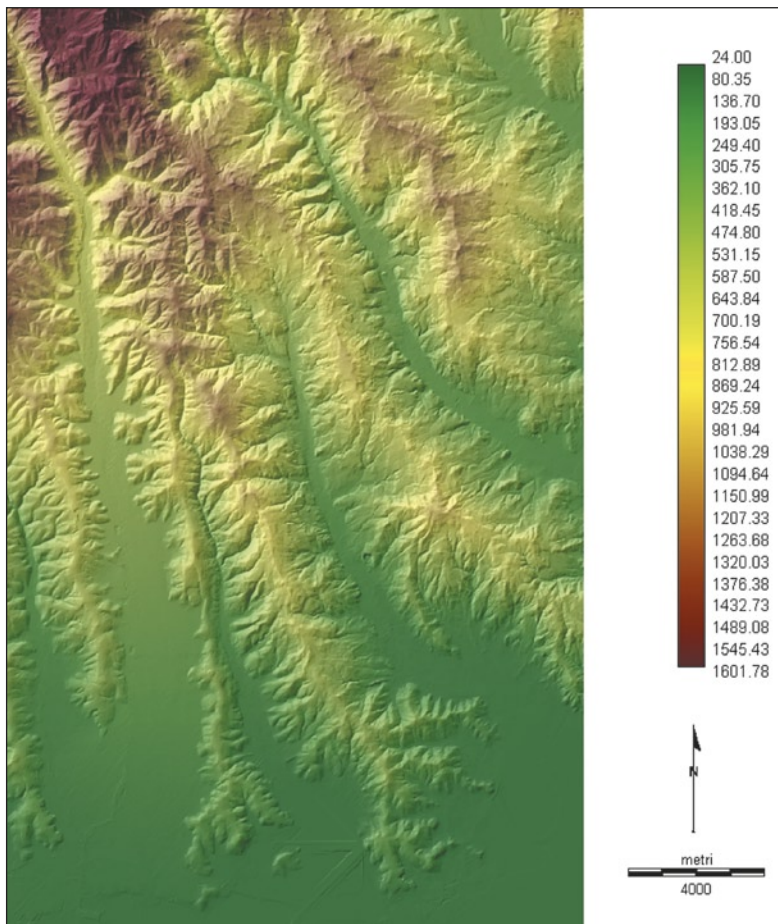


Fig. 2 – Scena finale del DTM a 5 m della Val d’Alpone con tinte altimetriche e lumeggiamento, prodotto dall’unione di due DEM; uno derivato dall’unione di sette TIN convertiti in formato raster dell’area d’indagine e uno, meno raffinato, ottenuto con un algoritmo più semplice (INTERCON) che comprende zone fuori area d’indagine ma dentro il minimo raster rappresentabile.

topografici, che collegano due siti archeologici della stesa fase o un sito con particolari morfologie del paesaggio (dorsali, creste, fondovalle, fiumi, pascoli, etc.). Come presupposto fondamentale, è necessario connotare il soggetto movente dal carattere ottimizzante attribuito al comportamento antropico, che lo porta a seguire tendenzialmente la regola e la strategia della minima spesa energetica per raggiungere qualsiasi tipo di target. In questo modo è stato possibile inizialmente ridurre le variabili in gioco e considerare solo

quelle di tipo topografico per creare, con un metodo quantitativo, un modello del movimento. Ovviamente qualsiasi simulazione computazionale è un'approssimazione dei processi che interessarono il mondo reale; gli algoritmi usati e le variabili considerate nell'analisi determinano la natura dei risultati (SCHENEIDER, ROBBINS 2007).

Dopo la preelaborazione dei dati e la georeferenziazione di carte tematiche dell'area d'indagine – carta dei sentieri CAI in scala 1:20.000; carta topografica IGM 1:25.000; carta CAI turistica per escursionisti in scala 1:25.000; Carta Archeologica del Veneto (CAPUIS *et al.* 1990) – è stato creato un database digitale (FileMakerPro 8.5) che cataloga tutti i siti editi nella Carta Archeologica del Veneto, implementato nel GIS e associato al tematismo vettoriale, in formato punto, dei siti archeologici.

Per il calcolo dei costi topografici del movimento è stato necessario costruire il DTM della valle con risoluzione a 5 m ottenuto con un metodo di interpolazione TIN *constrained* da isolinee con *tunnel edge removal*, *parabolic shape* di Idrisi32. L'unico problema che si è riscontrato in tale ambiente è stata la grande mole di dati da elaborare, insostenibile per il software Idrisi32 e per le macchine a disposizione: per superare l'impasse è stata divisa l'area di studio in 7 porzioni delle quali è stato calcolato il TIN, trasferito in formato raster per avere il DTM e quindi uniti i 7 DTM. Questo file finale, unendo porzioni dislocate in modo non sempre allineato, presenta anche una serie di pixel senza quota, necessari per completare il raster stesso (un raster, essendo formato da righe e colonne, è per forza di forma rettangolare o quadrata). Pertanto, si è deciso di completare la scena realizzando un DTM con algoritmo più semplice, in grado di gestire tutte le isolinee in un unico calcolo (modulo INTERCON di Idrisi32). Questo DTM è stato utilizzato per assegnare un valore di quota alle celle (pixel) fuori area d'indagine ma dentro il minimo raster rappresentabile (Fig. 2).

Su queste basi di dati sono state condotte le analisi spaziali e comportamentali, per la ricostruzione virtuale del paesaggio antico e del movimento antropico nella Val d'Alpone.

3. VARCOST E PATHWAY ANALYSIS

La difficoltà del movimento in genere dipende da frizioni anisotropiche (come la pendenza) e da frizioni isotropiche (come l'uso del suolo e altri elementi qualitativi del paesaggio reale). L'*Anisotropic Cost* è, in questo caso, il costo necessario per affrontare la pendenza (*slope*). Il suo indice di valore varierà e dipenderà dalla direzione con la quale si affronta la pendenza (*aspect*, dà la direzione di massima pendenza).

L'*Isotropic Cost* qui considerato è il costo richiesto per attraversare, in formato digitale, indici che esprimono l'uso del suolo (*land use*): terreni

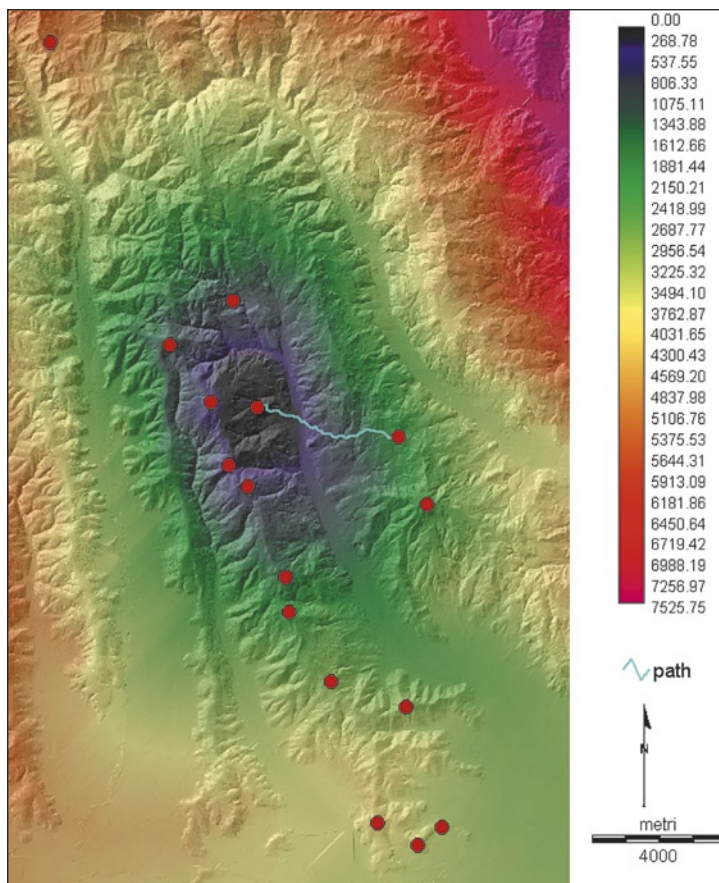


Fig. 3 – Sentiero calcolato dal GIS: ottimale dal punto di vista dei costi affrontati, congiunge due siti archeologici della stessa fase: il sito archeologico del Monte Biron e il sito archeologico del Monte Madarosa.

adibiti a pascoli, boschi, prati, vegetazione in evoluzione etc. avranno ognuno un proprio valore di costo. Il costo che è necessario per affrontare un'area di particolare destinazione di uso del suolo sarà uguale in qualsiasi direzione si decida di attraversarla. Tali informazioni sono state ottenute dalla carta *Corine Land Cover* del Veneto. Questa carta è la rappresentazione dell'uso del suolo attuale, ricavata da dati Landsat nel 1991 con una risoluzione a 500 m; non avendo dati più raffinati a disposizione, è stata considerata un'approssimazione della situazione ambientale in antico.

Con il modulo VARCOST di Idrisi32 è possibile combinare i valori di questi due tipi di costo isotropico e anisotropico e produrre una superficie

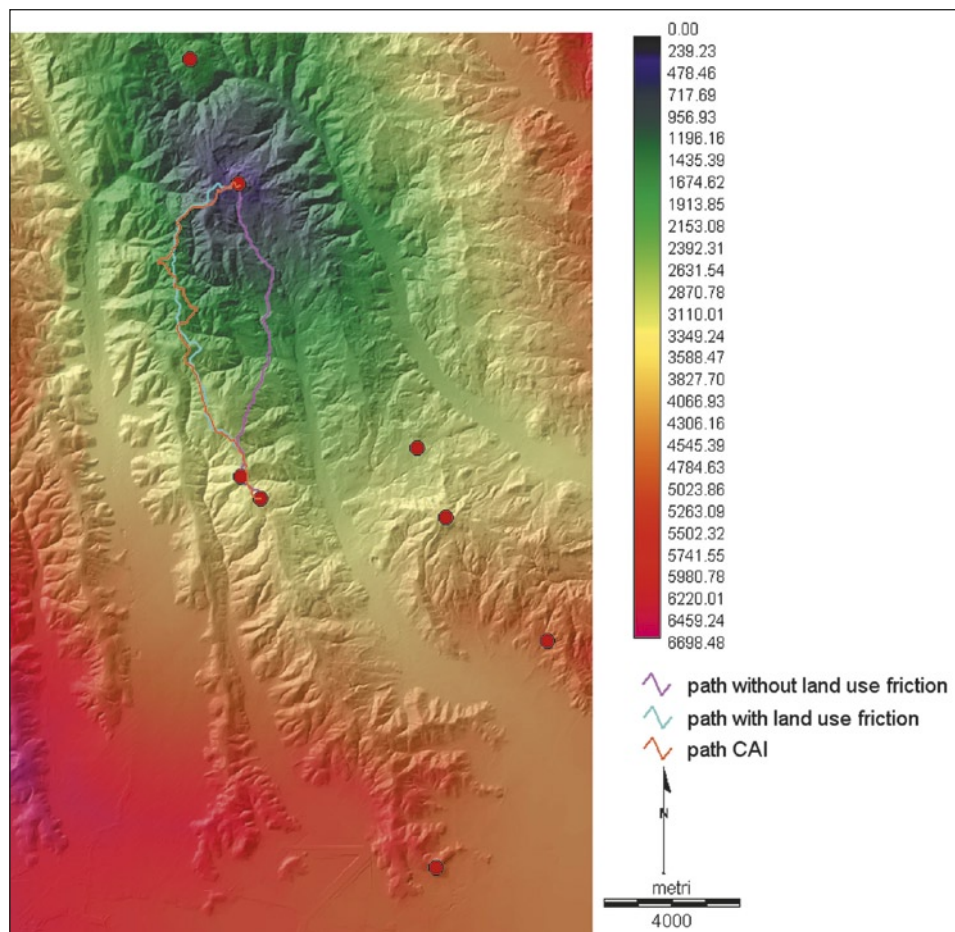


Fig. 4 – Confronto fra sentieri che congiungono i siti archeologici dell’età del Ferro della Purga di Bolca con il sito del Monte Soeio e delle Tre Punte di Prealta. Andamento del sentiero CAI confrontato con gli andamenti di due sentieri calcolati dal GIS: uno ottimale dal punto di vista delle pendenze affrontate, l’altro ottimale dal punto di vista delle pendenze affrontate coniugate però con il tipo di superficie attraversata. Base raster: VARCOST image del sito della Purga di Bolca.

di costo energetico costituita da indici numerici, associati ad ogni pixel, che corrispondono al coefficiente dell’energia antropica necessaria per affrontare la pendenza, la distanza e il tipo di terreno in quel punto, con valori che progressivamente aumentano allontanandosi dai punti sorgente (siti archeologici). È un modello, questo, che fa esplicito riferimento alla *Site Catchment Analysis* sviluppata da VITA-FINZI e HIGGS (1970) per l’analisi del “bacino di cattura”

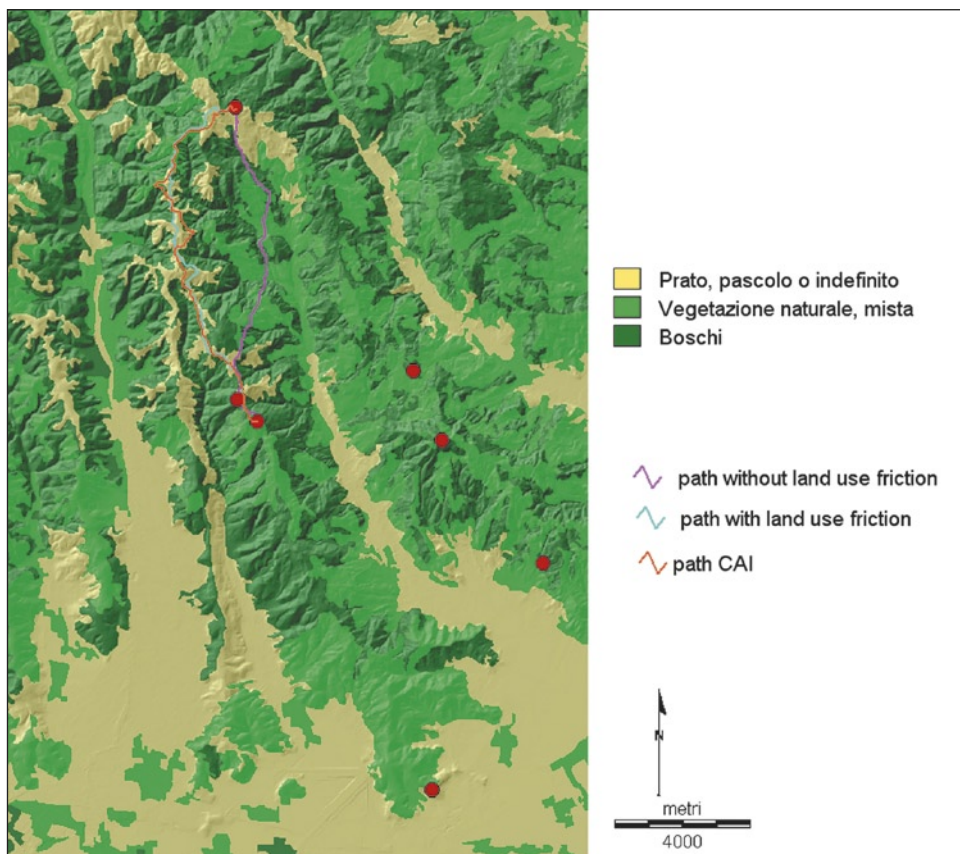


Fig. 5 – Confronto fra i sentieri che congiungono i siti archeologici dell'età del Ferro della Purga di Bolca con il sito del Monte Socio e delle Tre Punte di Prealta. Base raster: *Corine Land use* dell'area d'indagine.

di risorse di un sito. Il principio è lo stesso, cambiano le variabili misurate. Nel modello statistico predittivo di Vita-Finzi e Higgs la variabile calcolata è la presenza di risorse che decade in modo monotono man mano che ci si allontana dal sito; qui la variabile misurata è il costo energetico, il quale aumenta in modo tendenzialmente monotono man mano che ci si allontana dal sito perché aumentano le distanze e le pendenze affrontate. Inoltre, ugualmente alla *Site Catchment Analysis*, in presenza di un paesaggio anisotropico (quindi come quello della nostra valle) a seconda della direzione intrapresa si percorreranno distanze diverse a parità di costi e di tempo.

Successivamente caricando nell'operatore di distanza *PATHWAY* la superficie di costo prodotta e il target da raggiungere, è possibile calcolare

il percorso ottimale di minimo costo che collega un sito archeologico con qualsiasi altro punto dell'area d'indagine (Fig. 3).

Si è scelto di calcolare e visualizzare due tipi di percorsi: quelli ottenuti considerando solo l'*anisotropic friction*, cioè la pendenza e la direzione di massima pendenza, e quelli ottenuti considerando oltre all'*anisotropic friction* anche l'*isotropic friction* dovuta all'uso del suolo. Oltre a questi *virtual pathways* sono stati editati e monitorati anche i sentieri CAI (Club Alpino Italiano) che interessano la Val d'Alpone, soprattutto quelli che corrono sulle dorsali est e ovest. La maggior parte dei siti archeologici dell'età del Bronzo e dell'età del Ferro si colloca in cresta (probabilmente per un fattore difensivo e di controllo sul territorio) e i sentieri CAI, essendo su dorsale, li intercettano e li collegano. Per tal motivo si pensa che in corrispondenza o in prossimità di questi corressero un tempo i sentieri antichi che collegavano i siti archeologici della stessa fase. Dopo aver prodotto una folta rete sentieristica virtuale sono stati messi a confronto i vari profili altimetrici dei sentieri. Particolare è il confronto, indicato sia in Fig. 4 che in Fig. 5, di tre tipi di sentieri che congiungono i siti archeologici dell'età del Ferro della Purga di Bolca con il sito del Monte Soeio e delle Tre Punte di Prealta: un tratto del sentiero CAI n. 19, il sentiero calcolato dal GIS ottimale dal punto di vista delle pendenze affrontate e il sentiero calcolato dal GIS ottimale dal punto di vista delle pendenze affrontate coniugate però con il tipo di superficie attraversata. È stato altamente confortante notare come quest'ultimo sentiero potenziale molto spesso coincida o si avvicini al sentiero CAI attuale.

4. APPLICAZIONE DELLA FUNZIONE DELL'ENERGIA METABOLICA SPESA DURANTE IL CAMMINO

Secondo quanto proposto da M. LLOBERA (2000) e da A. MINETTI (2002), si è tentato di applicare la funzione dei costi topografici ai profili altimetrici dei sentieri visualizzati dal GIS.

Il grafico in Fig. 6 rappresenta il costo topografico misurato nel rapporto fra energia e pendenza: all'incremento della pendenza corrisponde un aumento dell'energia spesa (la pendenza è calcolata in gradi). Esso mostra che l'*optimum gradient* per camminare alla minima spesa energetica non è 0 ma -10% ($\approx -5,71^\circ$) quindi in leggera discesa. I valori da $+30^\circ$ a $+49^\circ$ sono derivati da un individuo che sale una scala mobile.

È stata ricostruita la funzione matematica che sottende a tale grafico, leggendo i valori dei punti di cambiamento di pendenza della sua curva: in ambiente Excel (Visual Basic Editor) si è creata una funzione che fornisce l'indice di energia in funzione dell'angolo affrontato. Moltiplicando tale indice per la distanza percorsa con quell'angolo di pendenza, si ha l'ammontare di energia spesa per tutto il tragitto in questione.

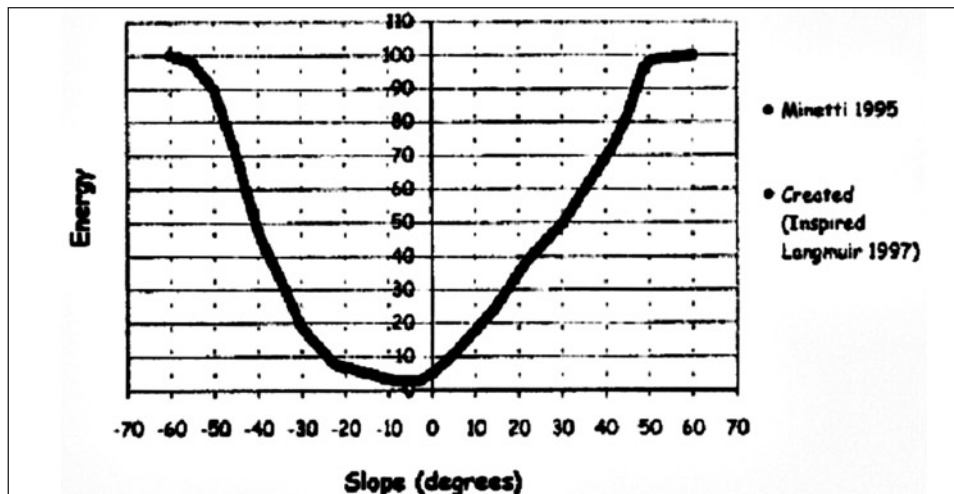


Fig. 6 – Costo topografico misurato nel rapporto fra energia e pendenza: all'incremento della pendenza corrisponde un aumento dell'energia spesa (la pendenza è calcolata in gradi). L'*optimum gradient* per camminare alla minima spesa energetica non è 0 ma -10% ($\approx -5,71^\circ$) quindi in leggera discesa (LOBERA 2000, 71).

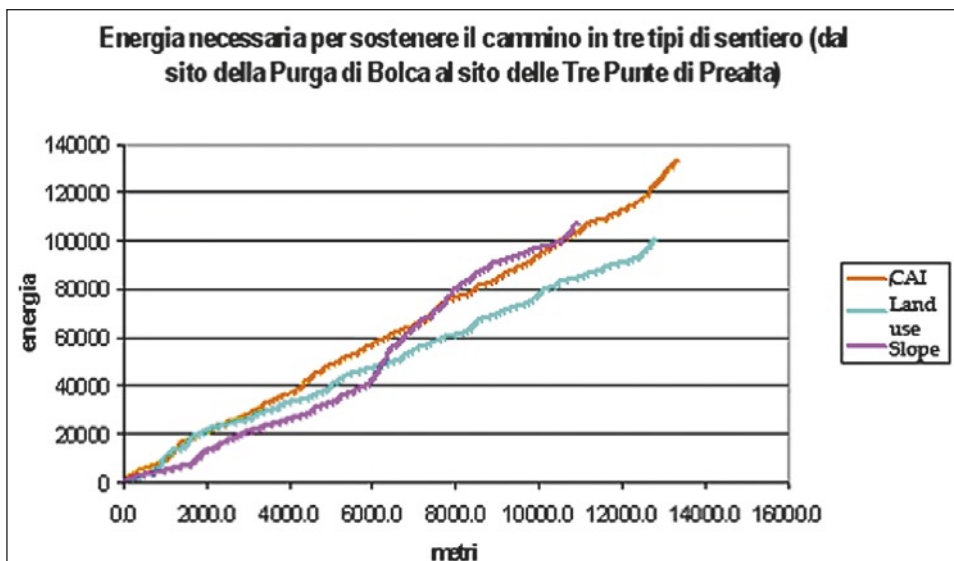


Fig. 7 – Energia metabolica necessaria per percorrere i sentieri di Fig. 4: il sentiero che considera anche l'uso del suolo è più conveniente energeticamente rispetto al sentiero che considera solo la pendenza e, a parità di distanza planimetrica, più conveniente anche del sentiero CAI, per la cui percorrenza occorre una quantità maggiore di energia, perché più lungo rispetto agli altri.

È possibile così produrre dei grafici degli andamenti dell'energia metabolica necessaria per sostenere il cammino lungo vari profili altimetrici, sapendo che non basta la *friction* anisotropica della pendenza per determinare l'andamento del percorso ottimale per muoversi da un sito ad un altro.

Il GIS, infatti, interpreta come "ottimale" la combinazione tra distanza ed energia spesa senza essere in grado di discriminare la salita e la discesa, cioè il verso della percorrenza. Dal grafico di M. Llobera (Fig. 6), infatti, è possibile osservare come la pendenza ottimale, in cui il costo energetico è minimo, si aggiri intorno al -10% (= -5,71°) e come a pendenze via via inferiori (quindi lungo tratti in discesa sempre più ripidi) l'energia aumenti in modo continuo.

Grazie alla funzione riportata in Fig. 6, infatti, è possibile convalidare sentieri virtuali per testare la loro attendibilità topografica: si è potuto effettivamente osservare come il percorso calcolato dal GIS, che considera oltre alla frizione di *slope* anche la frizione di *land use*, sia conveniente energeticamente rispetto a quello che considera solo la frizione anisotropica della pendenza (Fig. 7). Tale funzione potrà essere utilizzata per calcolare l'energia metabolica necessaria a sostenere il cammino in qualsiasi tipo di sentiero e strada antica e in qualsiasi contesto ambientale per studiare ancora più a fondo le dinamiche del movimento antropico in un paesaggio antico.

5. LIMITI DELLO STRUMENTO GIS PER QUESTO TIPO DI ANALISI

Ad influenzare le scelte dell'attore sociale, oltre ai fattori statistici e quantitativi con esiti facilmente predicibili sul piano comportamentale, intervengono altri tipi di condizionamenti difficili da tradurre numericamente.

Se infatti il calcolo dei costi topografici è di fatto un'elaborazione geometrica, meno prevedibile è l'impatto percettivo (visivo, uditivo, olfattivo e tattile) che alcune caratteristiche dei luoghi possono aver avuto sul soggetto movente. Se si immaginasse un paesaggio totalmente neutro e naturale gli indici del movimento dipenderebbero solo dai valori altimetrici del modello digitale del terreno, cioè dalla morfologia dell'area indagata. L'uomo però segue tendenzialmente la meta-regola comportamentale della minima spesa energetica e si lascia condizionare dalla sua capacità negoziabile di produrre eventi soggettivi: ad influenzare le scelte di locomozione possono intervenire la presenza nel paesaggio di particolari strutture come fossati, terrapieni, necropoli, torrenti, aree ad elevata concentrazione di risorse che deviano il percorso atteso del movimento.

Lo stesso Llobera attribuisce enfasi a tutti i fattori fisici, mentali, antropologici, sociali e comportamentali che possono caratterizzare e influenzare le scelte individuali e collettive del movimento umano in un ecosistema e nel corso del tempo, affermando che i costi possono avere una duplice origine: il

costo dovuto alla topografia (*Topographic Cost*) e il costo dovuto alla presenza di determinate caratteristiche del paesaggio (costo qualitativo del paesaggio o *Landscape Feature Cost*). Il limite del GIS sta proprio in questo: in quanto macchina è in grado di operare soltanto su valori quantitativi e numerici: è difficile trasformare in quantità qualcosa che in realtà è qualità, rendere oggettivo ciò che è soggettivo. In questo senso si sta cercando di rendere il GIS un Mind-GIS più adatto per ricostruire la percezione del paesaggio non solo nella sua fisicità ma anche nella sua qualità: l'obbiettivo ultimo di un'analisi archeologica e spaziale infatti deve essere la ricostruzione di una realtà virtuale che sia simulazione della mappa mentale e cognitiva antica.

6. VIEWSHED ANALYSIS

Per *Viewshed Analysis* si intende l'analisi della visibilità, cioè dell'estensione del campo visivo umano a partire da un punto di osservazione. È un'analisi fondamentale per lo studio di un paesaggio archeologico e per la sua possibile ricostruzione percettiva. È possibile infatti determinare che cosa e quanto si poteva osservare da un determinato punto scorgendo l'orizzonte. Quanto può rientrare in un campo visuale, sia partendo da un'area sommitale sia da una regione piana, corrisponde alla simulazione di un paesaggio antico. Dal punto di vista informatico una tipica *viewshed* corrisponde ad una griglia in cui ogni cella ha un valore di visibilità, rappresentante il numero di punti di osservazione dai quali si può rilevare l'orizzonte prescelto. In senso strettamente tecnico e basilare, l'analisi di visibilità si applica su un DEM o DTM, un modello di elevazione del terreno, calcolando, in base all'altimetria del punto di osservazione e dell'area osservata, quali regioni rientrano nel campo visuale (FORTE 2002, 100-101).

Anche nel caso di studio della Val d'Alpone, è stata avviata una "GIS Analysis" in Idrisi32 usando il modulo VIEWSHED. È stata selezionata l'immagine raster del DTM come orizzonte visivo e come punto d'osservazione uno o più siti archeologici. Abbiamo impostato a 1,50 m l'altezza ipotetica dell'osservatore e a 8000 m il raggio visivo. Il GIS ha calcolato così il campo visivo del singolo sito assegnando ai vari pixel del DEM valori booleani di "0" (ai pixel invisibili da quel sito), "1" (ai pixel visibili da quel sito) e "2" (alla *location*, cioè al punto da dove parte lo sguardo dell'osservatore). Mentre per il calcolo del bacino visivo di più siti archeologici di una stessa fase il GIS ha dato a ciascun pixel dell'immagine raster valori proporzionali che indicano da quanti punti di osservazione (siti archeologici) quel pixel è visibile.

Possiamo così intuire il "bacino di controllo" di ogni sito e vedere quali di essi hanno la magnitudo maggiore per ipotizzare una loro localizzazione territorialmente strategica. Procedendo in questo modo, però, consideriamo solo un punto di quel sito, o meglio, consideriamo quel sito come un punto

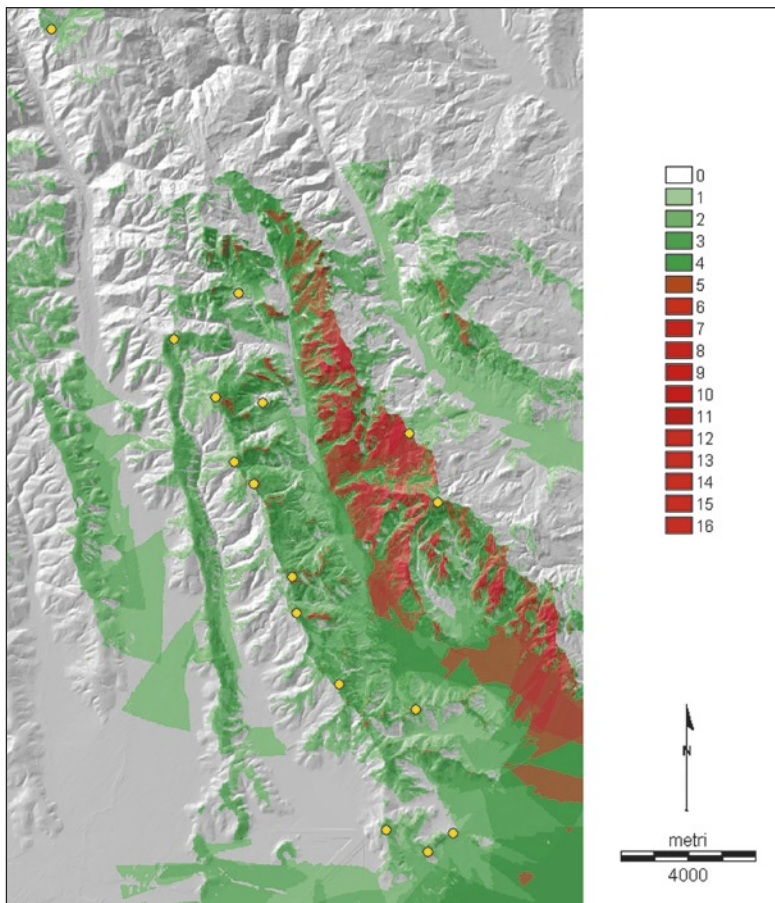


Fig. 8 – Bacino visivo di tutti i siti archeologici dell’età del Bronzo (intesi come cerchi di 200 m di raggio) calcolato dal GIS: risulta molto controllato il versante est della valle e il fondovalle, questo perché la maggior parte dei siti si colloca sul versante ovest.

(5x5 m). Occorre infatti tracciare un poligono o un cerchio di pertinenza del sito (si è scelto un’area buffer di 200 m di raggio) e considerare tutti i punti che formano la sua area. Stabilito il raggio visivo, sarà possibile calcolare e visualizzare la *view catchment area* (il bacino visivo) di quel sito.

La stessa metodologia è stata usata per calcolare il bacino visivo di tutti i siti dell’età del Bronzo, considerando ora i siti non più come punti ma come cerchi di 125.600 m². Risulta così un controllo visivo maggiore del versante est della valle, soprattutto perché la maggior parte dei siti archeologici noti dell’età del Bronzo è localizzata sulla dorsale ovest della Val d’Alpone (Fig. 8).

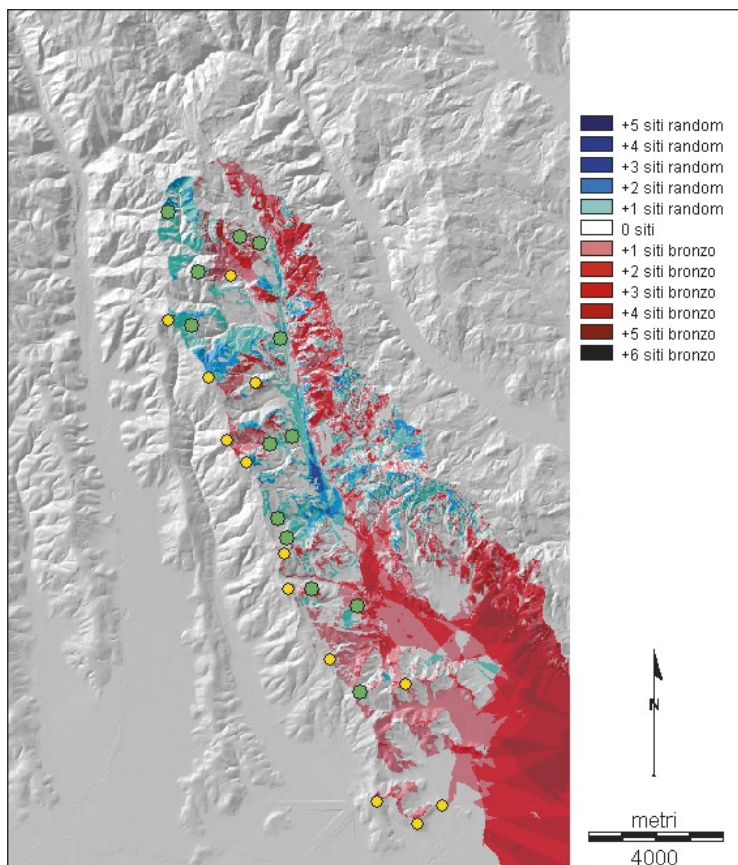


Fig. 9 – Immagine raster prodotta con l’algoritmo OVERLAY che sottrae due immagine di *viewshed*: quella della *viewshed* di 13 siti del Bronzo (punti gialli) posizionati sul versante ovest della valle e quella della *viewshed* di 13 siti random (punti verdi) posizionati sul versante ovest della valle presi all’interno dell’area del bacino idrografico dell’Alpone.

Si può inoltre cercare di avvalorare l’ipotesi di un posizionamento strategico, per il controllo del territorio, di alcuni siti archeologici. Occorrerebbe calcolare il bacino di visibilità di alcuni punti campione scelti con modalità random (casualmente: per evitare vizio campionario) nello spazio d’indagine. Se l’intensità del loro campo visivo è minore dell’intensità del campo visivo dei nostri siti, si può confermare l’idea di partenza, cioè che la localizzazione dei siti archeologici è strategica. Si tratta di un metodo statistico che analizza gli esiti attoriali, scegliendo a suo rischio e pericolo le variabili in gioco, senza pretesa di “mettersi nella testa dell’antico” (modo empatico cognitivo). Si è

così scelto di fare l'analisi della visibilità di 13 siti dell'età del Bronzo che si trovano sul versante ovest e di 13 siti random anch'essi posizionati sul versante ovest e all'interno dell'area del bacino idrografico dell'Alpone (Fig. 9). Il risultato ha confermato l'idea di partenza: i siti archeologici noti hanno un controllo visivo sul territorio maggiore (controllano 5484 ettari) rispetto ai siti campione scelti casualmente (controllano 1594 ettari).

7. CONCLUSIONI

Questo progetto GIS si è dimostrato utile soprattutto per la metodologia d'indagine adottata, oltre ad aver prodotto risultati molto confortanti. I tipi di dati a nostra disposizione risultano ancora troppo incompleti per avanzare risposte oggettive ad ipotesi iniziali. Occorrerà incrementare le informazioni e raffinare le variabili in gioco per dimostrare gli assunti di partenza. Per esempio, in futuri sviluppi, si dovrà cercare di rendere più complessa e più articolata la carta dell'uso del suolo (nel nostro caso di studio abbiamo usato solo i valori che indicano la presenza o l'assenza del bosco), introducendo altri dati riferibili al paleoambiente e al paesaggio antico. Inoltre occorrerà aggiungere altre variabili che indipendentemente dai costi topografici possono condizionare il movimento, come la presenza di elementi apotropaici e di *features* qualitative del paesaggio.

Quello che però è altamente confortante è l'aver osservato in ambiente ArcGIS, tramite il confronto con le carte CAI georeferenziate, come i sentieri calcolati dal GIS (soprattutto quelli che considerano la *friction* isotropica dell'uso del suolo) molto spesso ripercorrono o si avvicinano a tratti di mulattiere, di strade, di carrarecce o di sentieri CAI effettivamente esistenti. Per esempio, sono stati monitorati due sentieri prodotti dal GIS che tengono in considerazione oltre alla pendenza anche la *friction* isotropica dell'uso del suolo (Fig. 10):

1) Il sentiero che congiunge il sito archeologico dell'età del Ferro delle Tre Punte di Prealta con il sito archeologico dell'età del Ferro della Purga di Bolca lungo 12.835 m: per i primi 4541 m coincide o si avvicina al sentiero CAI n. 20; per i successivi 1441 m si avvicina e spesso coincide con il sentiero (giallo) segnalato dal CAI; per i successivi 1327 m si avvicina ad una mulattiera (gialla) segnalata dal CAI e inoltre si avvicina al sentiero CAI n. 19; per i successivi 371 m coincide con il sentiero CAI n. 19; per i successivi 695 m si discosta dal sentiero CAI n. 19 di circa 300 m e ripercorre una mulattiera (gialla) segnalata dal CAI; per 2070 m ripercorre pari pari il sentiero CAI n. 19; per gli ultimi 1100 m si discosta dal sentiero CAI n. 19 di soli 250 m circa.

2) Il sentiero che congiunge il sito archeologico dell'età del Ferro della Purga di Bolca con il fondovalle lungo 18.276 m: per i primi 737 m si avvicina al sentiero CAI n. 21, seguendolo parallelamente a 200 m circa; per i successivi

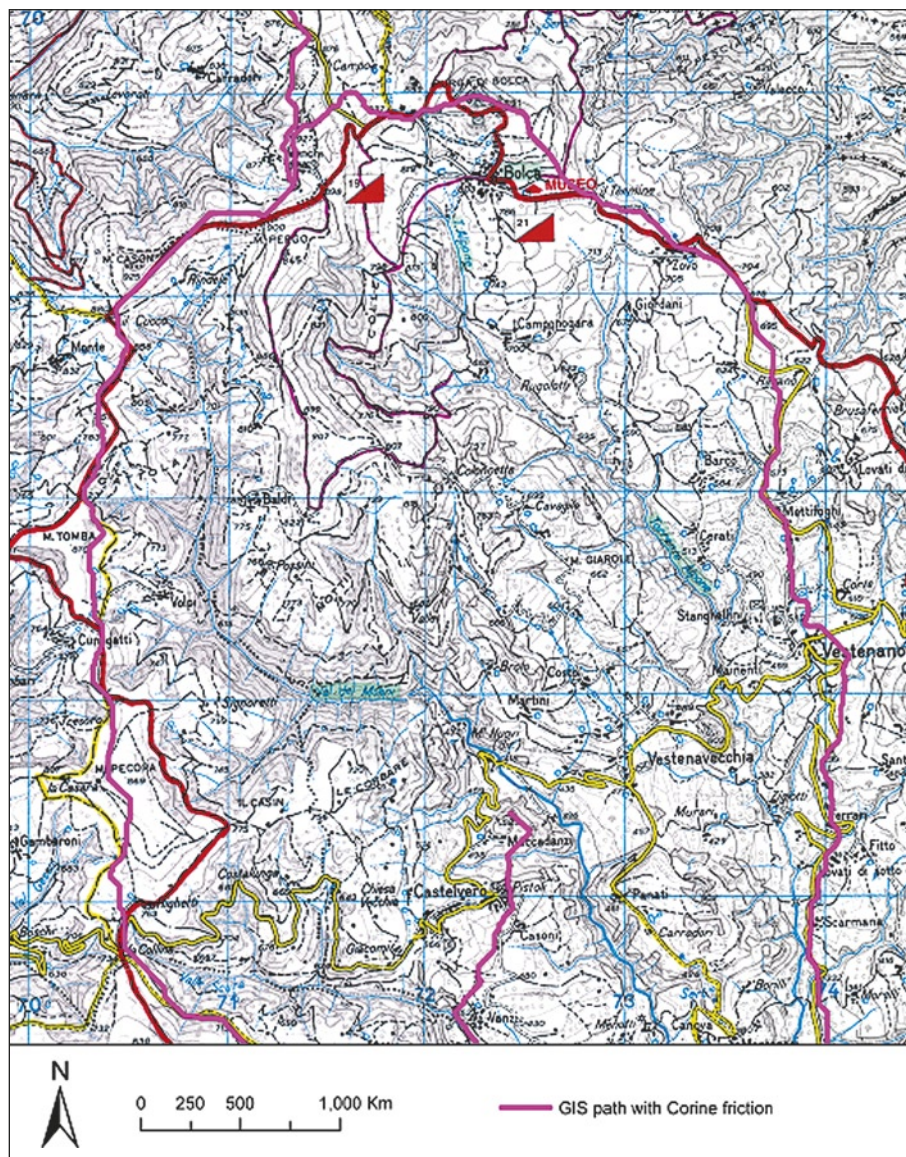


Fig. 10 – I sentieri calcolati dal GIS molto spesso, nel loro andamento, coincidono con quelli del CAI, con mulattiere o strade.

1096 m si avvicina o coincide con il sentiero CAI n. 21; per i successivi 2496 m abbandona il sentiero CAI n. 21 e ripercorre una strada asfaltata importante; per i successivi 1297 m si discosta di circa 200 m dalla strada e resta ancora parallelo; per i successivi 3484 m coincide con la strada asfaltata importante già incrociata prima; per i successivi 473 m si discosta dalla strada; per i rimanenti metri coincide con la strada provinciale.

È stato prodotto quindi un modello predittivo ripetibile in altri contesti ambientali e, nella Val d'Alpone, si è potuta dare una probabilità di presenza di sentieri, che andrà verificata a terra, per vedere se esiste una coincidenza o meno con sentieri reali moderni o antichi. Inoltre, dopo aver applicato la funzione dell'energia metabolica del grafico dei costi topografici proposto dall'antropologo M. Llobera, si è potuto convalidare maggiormente l'attendibilità dei profili topografici ottenuti con il GIS, vista la loro convenienza energetica per il movimento antropico. Si è così potuto provare come lo strumento GIS, oltre ad essere indispensabile per l'archiviazione e l'elaborazione del dato, è utilissimo per lo sviluppo della ricerca stessa. Ad oggi, infatti, per un eventuale progetto di investigazione archeologica su scala territoriale della valle, potrà essere sfruttata la strategia operativa che qui viene proposta, utile perché offre all'archeologo un particolare orizzonte d'attesa: egli saprebbe, cioè, orientarsi su dove verificare la presenza o meno di sentieri e strade antiche, riducendo così drasticamente i tempi, i costi e l'invasività della ricerca.

ANITA CASAROTTO, ARMANDO DE GUIO
Dipartimento di Archeologia
Università degli Studi di Padova

FRANCESCO FERRARESE
Dipartimento di Geografia "G. Morandini"
Università degli Studi di Padova

BIBLIOGRAFIA

- CAPUIS L., LEONARDI G., PESAVENTO MATTIOLI S., ROSADA G. (eds.) 1990, *Carta archeologica del Veneto*, Vol. II, Foglio 49, Modena, Franco Cosimo Panini, 96-99; 117-152.
- COCCHIARELLA L. 2006, *Paesaggio: sguardo, forma, immagine*, in COCCHIARELLA et al. 2006, 25-40.
- COCCHIARELLA L., GIORDANO A., ZANCHETTA C. (eds.) 2006, *Frames: frammenti di architettura e paesaggio*, Padova, Cortina.
- DE GUIO A. 1996, *Archeologia della complessità e pattern recognition di superficie*, in E. MARAGNO (ed.), *La ricerca archeologica di superficie in area padana. Atti del Workshop (Villadose 1994)*, Villadose (RO), Linea ags Edizioni, 275-313.
- DE GUIO A. 2000, *Power to the people? "Paesaggi di potere" di fine millennio...*, in G. CAMASSA, A. DE GUIO, F. VERONESE (eds.), *Paesaggi di potere, problemi e prospettive. Atti del seminario (Udine 1996)*, Roma, Quasar, 3-29.

- FERRARESE F. 2008, *I modelli digitali del terreno*, Corso di geomatica, Università di Padova, a.a. 2008/09 (presentazione in pdf).
- FORTE M. 2002, *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, Roma, Mondo GIS.
- GIBSON E. 2007, *Archaeology of movement and interaction in a Mediterranean landscape*, «Journal of Mediterranean Archaeology», 20, 1, 61-87.
- LLOBERA M. 2000, *Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement*, in G. LOCK (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 65-84.
- LLOBERA M., SLUCKIN T. 2007, *Zigzagging: theoretical insights on climbing strategies*, «Journal of Theoretical Biology», 249, 206-217.
- LOCK G., STANČIČ Z. 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems*, London, Taylor & Francis.
- MINETTI A., MOIA C., ROI G., SUSTA D., FERRETTI G. 2002, *Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes*, «Journal of Applied Physiology», 93, 1039-1046.
- SCHENEIDER K., ROBBINS P. (eds.) 2007, *GIS and Mountain Environments*, Explorations in Geographic Information Systems Technology 5, Clark University, Worcester, Unitar (CD-Rom).
- VITA-FINZI C., HIGGS E.S.C. 1970, *Prehistoric economy in the Mount Carmel area of Palestine: Site Catchment Analysis*, «Proceedings of the Prehistoric Society», 36, 1-37.

ABSTRACT

This paper proposes a predictive theoretical model of ancient human movement in the Alpone Valley (VR). The aim of this study is to calculate, using GIS tools, the optimal pathways to move from an archaeological site to another considering a series of frictions, like topography or land use, that can affect movement. The reliability of these virtual ancient paths is tested using a mathematical function of metabolic energy created in Visual Basic editor: it facilitates the choice of the best frictions for the model to simulate the archaeological landscape and its possible human perception. The results are compared to verify if there is any correlation between present and past pathways using topographic maps. This GIS methodology is useful for an archaeological survey because it gives a preliminary presence probability of ancient paths in a landscape.

