

GIORDANO DE COSTE¹, EMERI FARINETTI², MATTEO ROSSI³

APPLICAZIONI IN ARCHEOLOGIA DI ANALISI GIS MULTI-CRITERIO: MODELLI PREDITTIVI E *LAND EVALUATION*⁴

1. *Introduzione*

Una delle sfide per le ricerche sul paesaggio regionale è quella di utilizzare al meglio i set di dati archeologici disponibili in diverse aree, creando un ambiente all'interno del quale il record archeologico eterogeneo, formato da dati spesso incoerenti fra loro e lacunosi, possa essere integrato in modo significativo, mirando alla creazione di modelli e all'analisi delle dinamiche di insediamento e di interazione essere umano-ambiente nei territori oggetto di studio (Farinetti, 2016).

GIS e analisi spaziali specifiche possono costituire un ambiente ideale in cui integrare i *datasets* disponibili per creare nuova informazione e tentare di colmare le lacune nella conoscenza e l'incompletezza intrinseche al dato archeologico per sua stessa natura⁵. In questo senso le tecniche di analisi multi-criterio in ambiente GIS (*GIS-based multicriteria analysis*), possono essere applicate con successo in ambito archeologico. Tra le principali finalità d'uso trova posto la realizzazione di modelli predittivi, di carte di plausibilità o di rischio archeologico (per un esempio si veda Hamadouche, Mederbal et al., 2013).

I modelli predittivi hanno una ormai lunga tradizione in archeologia e sono stati una delle prime applicazioni GIS dichiaratamente riguardanti l'analisi archeologica (Kamermans, 2000; Verhagen, Kamermans et al., 2010; Verhagen, Nuninger et al., 2013; Arnoldus-Huyzendveld, Citter, Pizziolo,

¹ Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università degli Studi di Siena, g.decoste@student.unisi.it

² Dipartimento di Studi umanistici, Università degli Studi Roma Tre, emeri.farinetti@uniroma3.it.

³ Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università di Roma "Tor Vergata", matteo.rossi.97@students.uniroma2.eu

⁴ Sebbene il testo sia il frutto del lavoro congiunto degli autori, sono da attribuire a Emeri Farinetti il paragrafo 1 e 4, a Matteo Rossi il 2 e a Giordano De Coste il 3.

⁵ Per gestire l'incompletezza del dato e per arrivare a risultati attendibili, è centrale la cura della qualità del dato e, in particolare, la sua risoluzione spaziale, che può inficiare i risultati; di significativa importanza è un DEM di partenza a risoluzione sufficiente per le analisi da condurre.

2016). Sono considerabili *Multicriteria Analysis* in quanto impiegano e integrano in modo omogeneo più variabili concorrenti alla creazione di un modello di potenziale o rischio archeologico. Le variabili possono essere di natura ambientale o culturale, come vedremo.

Da un punto di vista metodologico, la selezione e l'integrazione delle variabili può seguire due approcci diversi: si hanno, infatti, modelli *theory driven* e modelli *data driven*. Con la definizione *theory driven* vengono indicati i modelli per i quali la selezione e la quantificazione dei criteri predittivi avviene mediante un approccio induttivo, che tiene conto delle scelte soggettive che il ricercatore compie sulla base delle proprie conoscenze del fenomeno indagato. Al contrario, nei modelli *data driven* la selezione e la quantificazione dei criteri è guidata da un approccio deduttivo che individua, attraverso un procedimento statistico, le correlazioni esistenti tra una serie di siti conosciuti e alcune particolari caratteristiche del paesaggio (Kamermans, 2000, pp. 124-125).

In campo archeologico, il relativo grado di soggettività che caratterizza la fase di selezione e quantificazione dei criteri predittivi aveva spinto gli studiosi a mettere in secondo piano i modelli *theory driven*, accusati di essere eccessivamente speculativi. Al loro posto sono stati spesso preferiti i modelli *data driven* per i quali, invece, i procedimenti statistici sembravano garantire un maggiore grado di oggettività nella formulazione dell'ipotesi predittiva. Eppure, questa preferenza per i modelli *data driven* è principalmente la conseguenza di un *bias* cognitivo, legato alla sensazione di oggettività scientifica garantita dal procedimento statistico. La selezione dei criteri per la costruzione di un modello *data driven*, in realtà, dipende sempre e comunque da una scelta teorica e soggettiva del ricercatore e, anzi, la formulazione di criteri derivanti dall'osservazione del dato trova la sua forza proprio nelle capacità individuali del ricercatore di giungere a intuizioni e speculazioni in grado di far progredire la ricerca.

In aggiunta, i criteri predittivi nei modelli *theory driven*, essendo selezionati a partire dalle conoscenze acquisite attraverso lo studio dei *legacy data*⁶, non sono esito di una semplice scelta arbitraria, bensì il risultato di un'accurata selezione svolta all'interno di un *dataset* archeologico oggettivo (Verhagen, Kamermans et al., 2006, p. 15).

Queste considerazioni di fondo hanno informato i due casi di applicazione di analisi GIS multi-criterio illustrati in questa sede e sviluppati nel contesto di ricerca del progetto *Monti Lucretili Landscape Project* (MOLULAP)⁷.

⁶ I cosiddetti "dati ereditati", ovvero dati di natura eterogenea prodotti da altri ricercatori nel corso del tempo che interessano le medesime evidenze archeologiche (Allison, 2008; Huggett, 2015; Farinetti, 2016; Casarotto, 2022).

⁷ Il progetto MOLULAP (*Monti Lucretili Landscape project*) diretto da Emeri Farinetti e Riccardo Santangeli Valenzani (UniRoma3), con la direzione dei lavori sul campo di Martina Bernardi ha

Avviato nel 2020 dagli insegnamenti di Archeologia dei Paesaggi e di Archeologia Medievale dell'Università degli Studi Roma Tre, il progetto di ricerca segue un approccio diacronico e micro-regionale e mira a riconoscere i segni, le tracce materiali lasciati dalle azioni antropiche nell'ambiente naturale per ricostruire un paesaggio prodotto da secoli di interazioni tra esseri umani e natura, con l'obiettivo di ricostruire e analizzare le tipologie di insediamento e i diversi usi antropici del territorio nel lungo termine.

2. Un modello predittivo per la ricerca sull'edilizia rupestre

Il caso di studio presentato in questo contributo descrive l'applicazione di una analisi multi-criterio per la produzione di un modello predittivo finalizzato all'individuazione delle forme di edilizia rupestre presenti nel settore sud-occidentale dei Monti Lucretili (RM).

La difficile praticabilità di gran parte dell'area di indagine ha richiesto la realizzazione di un modello predittivo, in grado di semplificare l'organizzazione dei sopralluoghi sul campo, suggerendo al ricercatore una serie di *hotspots* con le caratteristiche più adatte allo sviluppo di forme di edilizia rupestre. La carta di plausibilità risultante è stata realizzata secondo un approccio ibrido che, seguendo il ragionamento esplicitato sopra, combina le caratteristiche dei modelli *theory driven* a quelle dei modelli *data driven*, superando l'apparente dicotomia con un modello in grado di coniugare entrambe le realtà metodologiche e le loro potenzialità, come una valida scelta alternativa che unisca l'affidabilità dei modelli *data driven* con la maggiore elasticità e facilità di costruzione dei modelli *theory driven*.

Il primo passo nella realizzazione di questa analisi ha previsto la selezione dei criteri sui quali fondare l'ipotesi predittiva e sopra i quali costruire in ambiente GIS le variabili da tenere in considerazione per la realizzazione della carta di plausibilità. Le informazioni utilizzate per la costruzione di queste variabili sono state inserite all'interno di un database gestito attraverso il software *open source* QGIS. Questo database archeologico-ambientale si componeva di tre *layer* vettoriali: lo *shapefile* relativo al posizionamento dei siti rupestri noti; lo *shapefile* relativo alle curve di livello in scala 1:5.000 dell'area; e, infine, lo *shapefile* relativo alle concentrazioni di frammenti ceramici individuate nell'area.

Il secondo passo nella costruzione dei criteri predittivi ha visto l'interpolazione e la rasterizzazione dei dati vettoriali al fine di produrre i dati *raster* con i quali procedere con le operazioni di *map algebra* per la costruzione della carta di plausibilità. In tutto sono stati selezionati quattro criteri che uniscono tre variabili di natura geomorfologica ad una di origine antropica. Alle quattro variabili corrispondono altrettanti *raster*, tutti caratterizzati da una elevata risoluzione

previsto, sinora, tre campagne di ricognizione archeologica e incontri con le comunità e sopralluoghi sul campo, nella forma di laboratori di archeologia partecipata e di costruzione di mappe partecipate in ambiente GIS (Bernardi, Farinetti, 2023; Farinetti, 2021).

spaziale (celle 1 x 1 m): il *raster* DTM (altitudine); il *raster* SLOPE (pendenza), il *raster* ASPECT (esposizione) e il *raster* CERAMICA (distanza dai frammenti ceramici).

La seconda fase ha visto la quantificazione dei criteri e la conseguenziale costruzione delle diverse *criterion maps* (Balla, Pavlogeorgatos et al., 2013, p. 405; Di Zio, Bernabei, 2009, p. 315). Il primo *step* coincide con la normalizzazione del valore delle celle che compongono i *raster* delle quattro variabili, in una scala di punteggi comune con un intervallo compreso tra il valore minimo di 1 e quello massimo di 10: al punteggio 1 corrisponde la più bassa probabilità di presenza di sito rupestre, al punteggio 10, invece, la probabilità più alta. I *raster* prodotti al termine di questo processo vengono definiti *criterion map* e costituiscono già di per sé quattro carte di plausibilità che, malgrado tengano conto di solamente una delle quattro variabili selezionate, sono in grado di suggerire una serie di zone caratterizzate da una maggiore o minore probabilità di incontrare un sito rupestre.

La prima *criterion map* realizzata è stata quella relativa all'altitudine (x_1). Dal momento che gli unici due siti noti per l'area sono posizionati rispettivamente a una quota di 712 m s.l.m. e di 765 m s.l.m., si è deciso di assegnare il punteggio 10 all'intervallo altimetrico di cui fa parte il valore medio delle quote (738 m s.l.m.) dei due siti noti. Per l'assegnazione dei punteggi agli altri intervalli altimetrici, invece, si è seguito un approccio più *theory driven* che ha tenuto conto, da un lato, dell'effettiva presenza di litotipi adatti allo sviluppo di forme di abitato rupestre, dall'altro, di condizioni climatiche favorevoli all'insediamento di comunità umane: sulla base di queste considerazioni si è deciso di assegnare rispettivamente punteggi inferiori sia alle porzioni di territorio poste sotto i 400 m s.l.m. sia alle porzioni di territorio poste sopra i 1.000 m s.l.m.

La seconda *criterion map* costruita è stata quella legata alla variabile della pendenza (x_2). L'assegnazione dei punteggi alle diverse classi di questo criterio è stata condizionata dal fatto che la presenza di salti rocciosi e di falesie è una condizione favorevole per lo sviluppo di forme di edilizia rupestre appartenenti alla stessa tipologia dei due siti noti. Dal momento che questi ultimi sono entrambi situati a ridosso di falesie con angoli superiori ai 70°, si è deciso di assegnare i punteggi più alti ai valori di pendenza compresi tra i 60° e gli 80°; a tutte le altre pendenze, invece, è stato assegnato il punteggio minimo di 1.

La terza *criterion map* costruita è stata quella connessa con la variabile della distanza dai frammenti ceramici (x_3). Essendo gran parte dell'area di indagine localizzata in un ambiente montano poco antropizzato, è ragionevole ipotizzare che le probabilità di incontrare un sito frequentato dall'uomo siano inversamente proporzionali all'aumentare della distanza dalle aree in cui una passata frequentazione umana è testimoniata dalla presenza di concentrazioni di frammenti ceramici. Per quantificare questo criterio – precedentemente costruito mediante la realizzazione di 10 anelli concentrici, intervallati ogni 50 m a partire dalle coordinate puntuali che individuano le diverse concentrazioni di elementi fittili – si è deciso di assegnare il punteggio più alto alle buffer zones più vicine ai frammenti ceramici e il valore più basso a quelle più lontane.

La quarta *criterion map* costruita è stata quella della variabile dell'esposizione (x4). Dal momento che i due siti noti risultano esposti a sud, si è deciso di assegnare il punteggio massimo alle porzioni di territorio esposte a meridione. Nella costruzione della variabile x1 si era assegnato un punteggio piuttosto alto alle fasce altimetriche comprese tra i 600 e gli 800 m. A queste quote è necessario che i siti godano di un'esposizione in grado di garantire, anche nei freddi mesi invernali, delle temperature compatibili con lo sviluppo di un insediamento umano: per questo motivo, si è deciso di assegnare dei punteggi bassi all'esposizione nord, preferendo a quest'ultimi gli spazi esposti a oriente e a occidente.

A questa considerazione si aggiunge anche il dato riguardante la qualità della roccia, molto bassa nelle esposizioni settentrionali e poco adatta a ospitare in condizioni di relativa sicurezza degli insediamenti rupestri.

Per concludere la costruzione di una carta di plausibilità, l'ultimo procedimento consiste nell'ottenere un *raster* in grado di sintetizzare in ogni *pixel* i singoli valori di tutte le *criterion maps* precedentemente realizzate: nel *workflow* delle analisi multicriterio; questa fase prende il nome di "aggregazione dei criteri".

La tecnica più utilizzata per l'aggregazione matematica delle varie *criterion map* è quella della combinazione lineare pesata o WLC (*Weighted Linear Combination*) (Di Zio, Bernabei, 2009, pp. 323-325; Balla, Pavlogeorgatos et al., 2013, pp. 405-406).

Quest'ultima può essere matematicamente espressa attraverso la seguente equazione:

$$S = \sum w_i x_i$$

dove S indica la probabilità di incontrare un sito rupestre, w_i il peso della variabile i , x il valore della variabile i . Questa tecnica, infatti, prevede che a ogni variabile venga assegnato un peso, vale a dire che le venga attribuito dal ricercatore un certo grado di importanza: pesi diversificati sono necessari in quanto è molto difficile che diverse variabili possano aver contribuito con lo stesso grado di importanza all'individuazione di un sito rupestre.

L'assegnazione di un peso, infatti, permette al ricercatore di potenziare o indebolire ogni variabile, adattando di volta in volta il modello alle diverse esigenze imposte dalla ricerca.

La tecnica più utilizzata nell'analisi multicriterio per assegnare un peso a ogni variabile è quella del confronto a coppie (*pairwise comparison*), elaborata da Thomas L. Saaty nell'ambito dell'AHP (*Analityc Hierarchy Process*) (Saaty, 1980). Questa tecnica prevede l'utilizzo di una scala da 1 a 9 attraverso la quale i criteri, organizzati in una tabella a doppia entrata, sono confrontati a coppie (tab. 1).

intensità	definizione
1	uguale importanza
2	da uguale a moderatamente più importante
3	moderatamente più importante
4	da moderatamente a molto più importante
5	molto più importante
6	da molto a fortemente più importante
7	fortemente più importante
8	da fortemente a estremamente più importante
9	estremamente più importante

Tabella 1. Scala di Saaty per il confronto a coppie.

Come è possibile vedere nella tabella sotto riportata (tab. 2), nella realizzazione di questo modello si è deciso di favorire i criteri di esposizione e pendenza dal momento che questi, essendo fattori imprescindibili per lo sviluppo di un insediamento rupestre, risultano di maggiore importanza rispetto a quelli della posizione altimetrica o della distanza dalle concentrazioni di frammenti ceramici.

variabili	x1	x2	x3	x4
x₁	1	1/8	3	1/5
x₂	8	1	8	2
x₃	1/3	1/8	1	1/7
x₄	5	1/2	7	1

Tabella 2. Confronto a coppie delle diverse variabili.

Da questa tabella – mediante il calcolo della matrice e l'individuazione dei relativi autovettori e autovalori (Di Zio, Bernabei, 2009, pp. 325-327) – è stato possibile ottenere il coefficiente con cui pesare ogni criterio (tab. 3).

altitudine (x₁)	pendenza (x₂)	distanza ceramica (x₃)	esposizione (x₄)
0,134	0,847	0,071	0,508

Tabella 3. Coefficienti con cui è stato pesato ogni criterio.

Per ottenere la carta di plausibilità finale, dunque, è bastato applicare in QGIS, mediante la *map algebra*, l'equazione che definisce la tecnica della WLC:

$$P = 0,134x_1 + 0,847x_2 + 0,071x_3 + 0,508x_4$$

La carta di plausibilità così costruita ha consentito di circoscrivere all'interno dell'area di indagine tre macroaree ad alta probabilità di presenza di sito rupestre sulle quali si sono concentrate le successive attività di ricognizione estensiva (fig. 1). Al termine dei sopralluoghi sul campo, l'individuazione di 15 insediamenti rupestri ha permesso di approfondire le conoscenze sulle origini e lo sviluppo di un fenomeno insediativo ancora molto poco documentato per il territorio dei Monti Lucretili (Rossi, in corso di stampa).

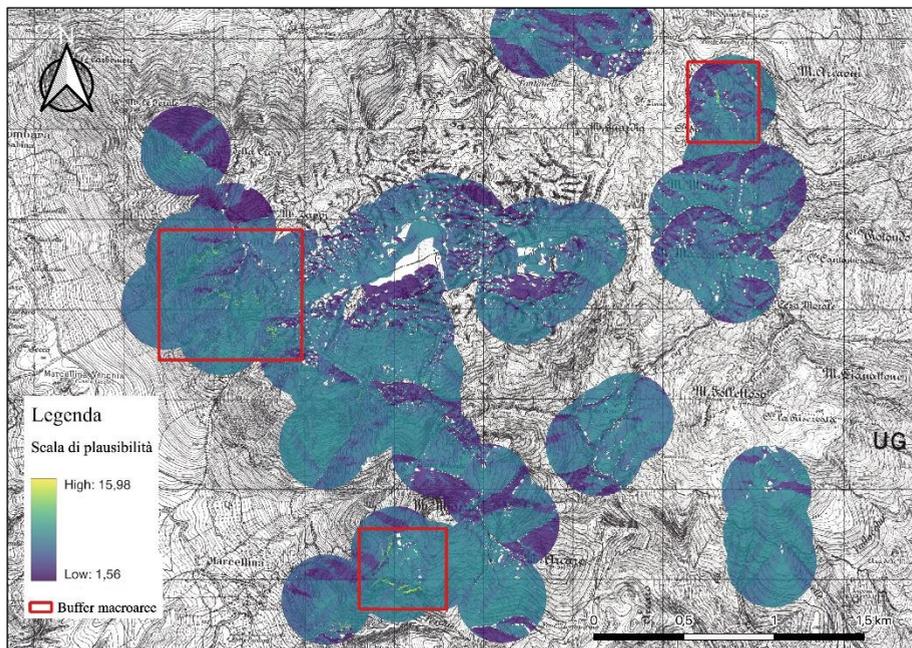


Figura 1. Le tre macroaree di indagine (Monti Lucretili – Lazio) dove il modello predittivo indica come più probabile la presenza di siti rupestri (in rosso) secondo la lettura della scala di plausibilità. (Fonte: elaborazione di M. Rossi).

3. Analisi multi-criterio per una proposta di Land Evaluation

Come già detto, le analisi multi-criterio possono essere applicate anche nello sviluppo di analisi volte a una *Land evaluation*. Un termine, quest'ultimo, che indica una serie di procedure scientifiche atte a rilevare le qualità e le potenzialità del terreno e, nello specifico, a determinare le potenzialità agricole dei suoli.

Attraverso l'introduzione di specifiche variabili storiche nella elaborazione di una *Land evaluation*, è possibile sondare l'adattabilità dei paesaggi ad antichi usi della terra. In tal senso, si vuole illustrare il modello di *Land evaluation* realizzato nell'ambito del progetto MOLULAP.

Le analisi di *Land evaluation* possono essere basate su una *Land capability classification* e una *Land suitability classification*. Attraverso una *capability classification* è possibile stimare la complessiva potenzialità dei suoli a scopi agricoli e agropastorali, mentre con una *suitability classification* viene espressa la predisposizione dei suoli per specifiche colture (McRae, Burnham, 1981).

Nell'ambito di questa ricerca si è optato per la prima soluzione, per via della penuria di studi specialistici di archeobotanica per l'area e la possibilità offerta dalla *Land capability classification* di avere un quadro generale sull'idoneità dei suoli nei confronti di tipologie indifferenziate di cultura e attività agropastorale⁸.

Si è quindi adottato lo standard USDA (*United States Department of Agriculture*) per il raggruppamento in 8 classi di qualità dei suoli, una categorizzazione definita nel 1961 dal Dipartimento di Agricoltura statunitense e nata dall'esigenza di disporre di standard nella pianificazione territoriale e per far fronte ai rischi di degradazione del suolo (Klingebiel, Montgomery, 1961). Nel nostro caso, l'adozione di un tale sistema di classi ha garantito la produzione di una carta piuttosto articolata (come visibile nella tabella 4)⁹.

Tali tipi di valutazioni possono essere utilizzati come uno dei criteri da inserire nella costruzione dei modelli predittivi di cui si è discusso prima, nonché risultano efficaci nella determinazione di aree di comunità, all'interno delle quali procedere ad analisi dei sistemi insediativi e dello sfruttamento economico del territorio¹⁰.

Le "aree di comunità" sono considerabili come lo spazio dove le attività economiche e sociali degli attori locali trovano luogo, uno spazio da queste strutturato e organizzato a sua volta in differenti unità a seconda dell'attività condotta¹¹; tra queste attività ci sono anche le pratiche legate all'agricoltura. La definizione di tali aree si può basare su precisi limiti fisici (corsi e specchi d'acqua, linee di spartiacque, ecc.), su precise scelte culturali o su considerazioni di carattere ambientale come la disponibilità o meno di spazi adatti e risorse specifiche.

⁸ Trattasi di una classificazione puramente qualitativa, in cui viene fornita una descrizione delle potenzialità dei suoli e non dei modelli numerici oggettivamente comparabili (Van Joolen, 2003, p. 20).

⁹ Le percentuali sulla destra indicano la copertura per ogni tipo di suolo nel territorio d'indagine. Essendo questo un territorio perlopiù montuoso, caratterizzato da elevata pendenza e alto grado di erosione, gli spazi altamente fertili sono una stretta minoranza.

¹⁰ Per casi applicativi si veda Farinetti, 2011; De Coste, in corso di stampa.

¹¹ La scuola di Praga ha fatto da guida in questo senso; si veda tra gli altri Neustupný, 1991.

classi	limitazioni dei suoli	%
I	suoli con poche limitazioni che ne condizionano l'uso	0%
II	suoli con alcune limitazioni che condizionano la scelta delle coltivazioni o richiedono modeste misure di preservazione del suolo	11.2%
III	suoli con forti limitazioni che condizionano la scelta delle coltivazioni e/o richiedono speciali misure di preservazione del suolo	11.3%
IV	suoli con limitazioni molto forti che condizionano la scelta delle coltivazioni e/o richiedono speciali misure di preservazione del suolo	10%
V	suoli a basso o assente rischio di erosione, ma le cui limitazioni consentono perlopiù la diffusione di pasture o aree boschive	12.9%
VI	suoli con forti limitazioni che rendono diffusamente impraticabile la coltivazione e consentono perlopiù la diffusione di pasture o aree boschive	27.7%
VII	suoli con limitazioni molto forti che li rendono inadatti alla coltivazione e che consentono perlopiù il pascolo e la diffusione di aree boschive	18.1%
VIII	suoli con limitazioni tali da precludere qualsiasi attività di coltivazione e il cui uso si limita a scopi ricreativi, di conservazione della fauna selvatica o per finalità estetiche	3.4%

Tabella 4. Classi di suolo in relazione alle limitazioni che presentano per culture e attività agropastorali.

Nel caso di studio qui presentato il grado di fertilità dei suoli risulta aver avuto influenze dirette sulle scelte insediative e di sfruttamento del territorio e la valutazione del potenziale agricolo si rivela determinante per comprendere più profondamente fenomeni di medio-lungo termine interessanti il paesaggio e la storia dell'occupazione antropica nell'area, le dinamiche di insediamento e sfruttamento del territorio o i fenomeni di abbandono.

Da un punto di vista pratico, la ricerca ha consentito l'individuazione di quattro variabili (o *criterion maps*): "quota", "erosione", "qualità dei suoli" e "lavorabilità dei suoli". I dati relativi alla morfologia e le caratteristiche fisiche/ambientali del territorio sono stati estrapolati dai dati altimetrici forniti dal Geoportale della Regione Lazio, così come dalla carta dei suoli¹². Ognuna di queste variabili è stata classificata su base qualitativa in *raster* comprensivi di un *range* di valori *pixel* (unità di misura di questi dati) da 1 a 8, in modo che il risultato finale risulti coerente con la categorizzazione per 8 classi USDA¹³.

¹² In particolare, il dato relativo all'acclività del terreno è stato estrapolato dal modello digitale del terreno, a sua volta ricavato dalle curve di livello (con passo di 5 m) relative alle CTR in scala 1:5.000, fornite dal Geoportale della Regione Lazio.

¹³ Per la *criterion map* relativa all'erosione del suolo sulla base della pendenza, sono state utilizzate le classi proposte da Davidson, 1994 e mutate a loro volta da Farinetti, 2011 per un contesto Mediterraneo.

A ciò si è voluto aggiungere una variabile storica relativa alle possibilità di lavorazione del suolo da parte di comunità rurali preindustriali. Seguendo quanto enunciato da Ester van Joolen nel suo studio sulle pratiche agricole delle comunità del primo millennio a. C. nella Penisola, si è voluto raffinare il dato relativo alla acclività del terreno tenendo in considerazione il range tra 0 e 13 % di pendenza come il migliore per lavori agricoli utilizzando aratri leggeri a trazione animale. I valori compresi tra il 13 e il 55 %, invece, si ritengono parzialmente limitati per lavori agricoli con questi mezzi, mentre valori superiori al 55 % si ritengono fortemente limitati (Van Joolen, 2003, p. 28).

I *raster criterion maps* sono stati aggregati utilizzando il succitato metodo della *Weighted Linear Comparison* (WLC). È stata infatti costruita una matrice in cui i 4 criteri sono stati confrontati a coppie secondo un modello di valutazione qualitativa e comparativa espresso dalla scala di Saaty visibile nella tabella 5. La matrice è stata quindi svolta, gli autovalori di questa sono stati ricavati e utilizzati come coefficienti per ogni singolo *raster* nel momento in cui sono stati aggregati.

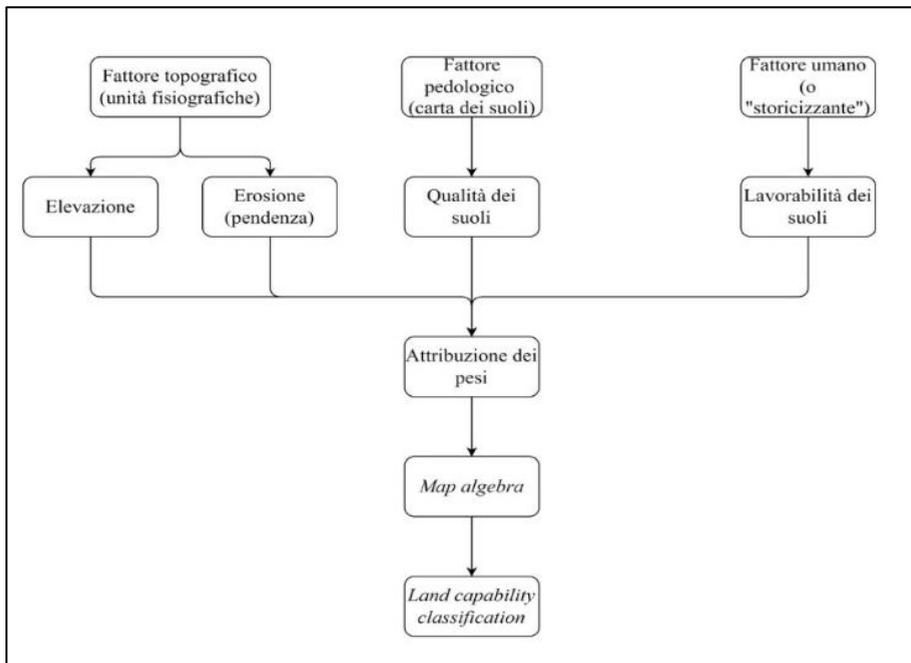


Figura 2. Diagramma che esemplifica il *workflow* per la realizzazione della *Land Capability Classification*. (Fonte: elaborazione di G. De Coste).

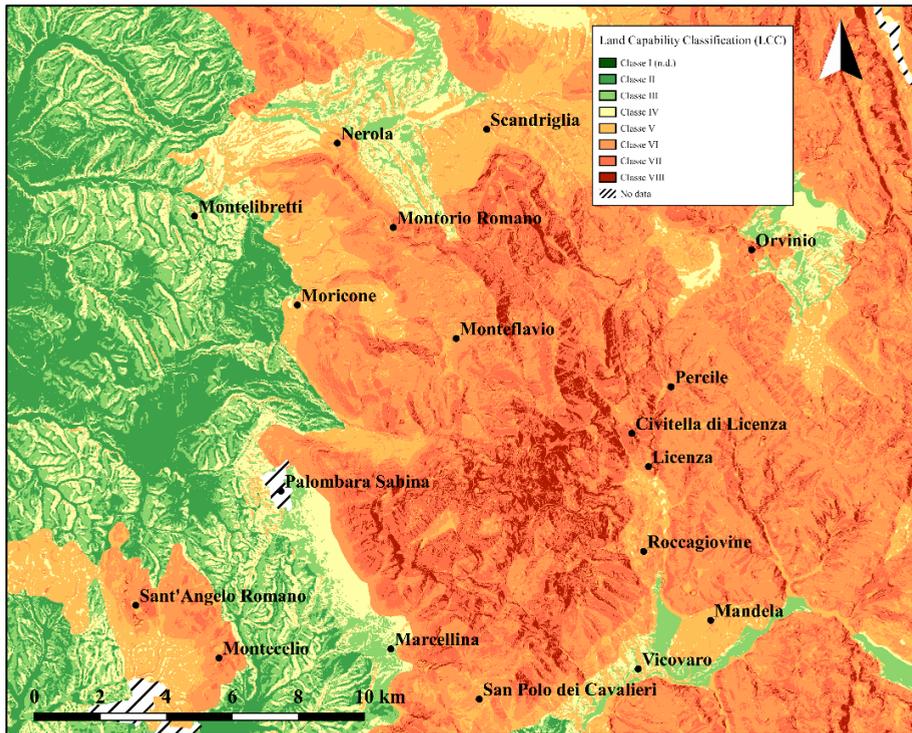


Figura 3. *Land Capability Classification (LCC)* e comuni del territorio dei Monti Lucretili. (Fonte: elaborazione di G. De Coste).

Il procedimento della “map algebra”, operazione conclusiva dei processi esemplificati nel diagramma visibile in figura 2, ha prodotto una mappa *raster* di *Land Capability Classification* apprezzabile in figura 3. Questo tipo di analisi ha permesso di meglio argomentare e supportare l’analisi storico-archeologica.

	elevazione	erosione (acclività)	qualità dei suoli	lavorabilità del suolo
elevazione	1	1/4	1/6	1
erosione	4	1	1/3	4
qualità dei suoli	6	3	1	6
lavorabilità del suolo	1	1/4	1/6	1

Tabella 5. Modello di valutazione qualitativa e comparativa dei criteri presi in considerazione, secondo la scala di Saaty.

Come desumibile dalla figura 4, per esempio, la distribuzione spaziale delle ville di età tardorepubblicana e imperiale trova la sua logica e il suo ordine nella

ricerca degli spazi più fertili nel comprensorio dei Monti Lucretili. Una *land evaluation* può, pertanto, informare la ricerca confermando e supportando i dati noti o evidenziando eventuali anomalie; può quindi rappresentare un utile strumento per il riconoscimento dei *pattern* di uso del suolo nelle economie passato e, in un'ottica relativa ai singoli siti, fornire un supporto interpretativo per la funzione di questi.

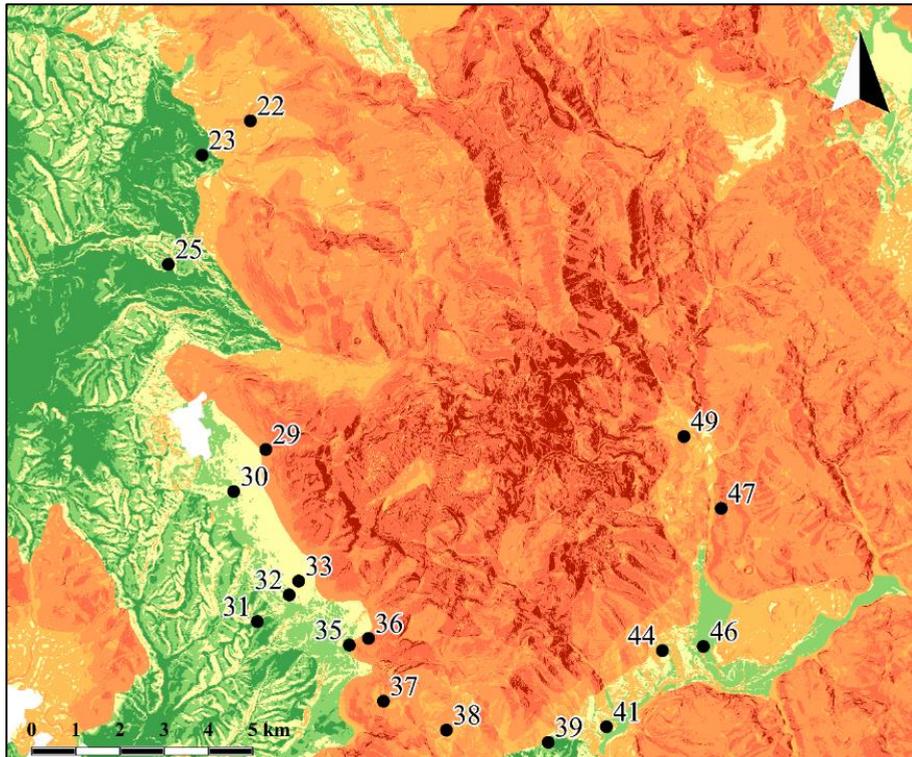


Figura 4. Distribuzione dei siti di età tardorepubblicana e imperiale identificabili come ville, sulla base della *Land Capability Classification (LCC)*. (Fonte: elaborazione di G. De Coste).

Tuttavia, come evidenzia Hans Kamermans, le tecniche di valutazione territoriale non sono esenti da alcune criticità (Kamermans, 2000). Innanzitutto, l'archeologo deve interfacciarsi con *dataset* accurati relativi esclusivamente all'ambiente odierno. Sebbene sia possibile condurre ricostruzioni paleoambientali, queste saranno inevitabilmente soggette a un margine di errore più o meno grande a seconda della zona presa in considerazione e della cronologia interessata (Dark, 2008; Bonnier, Finné, 2020). Inoltre, trattandosi di modelli deduttivi (*theory driven*), le *land evaluation* possono essere influenzate da considerazioni di carattere pregiudiziale. Tra queste, il presupposto per cui lo sfruttamento del territorio debba necessariamente seguire la filosofia del minor sforzo e massima resa (Vita-Finzi, Higgs, 1970). L'interazione uomo-ambiente

può essere complessa e imprevedibile e a volte, per ragioni culturali, può sfuggire agli schemi apparentemente più logici. Inoltre, essendo questo un modello deduttivo, vi è il rischio di applicare modelli e teorie di ordine generale a sistemi economici diversi per forma e cronologia (Kamermans, 2000, pp. 142-143). È pertanto necessario confrontare il dato sviluppato con quello archeologico noto e con le fonti storiche disponibili per evidenziare eventuali concordanze o anomalie nella distribuzione dei siti in rapporto con la *land evaluation* e, di conseguenza, migliorare l'interpretazione del dato archeologico.

4. Osservazioni conclusive

In conclusione, sulla scia degli studi di Antonia Arnoldus-Huyzendveld, Carlo Citter e Giovanna Pizziolo (2016), possiamo sottolineare come la costruzione di modelli basati su *multicriteria analysis* risulti uno strumento ottimale nella fase immediatamente precedente il lavoro sul campo. I modelli predittivi appaiono anche permeati di un forte valore euristico, in cui le fasi di verità a terra e la validazione attraverso i dati raccolti sul campo risultano centrali nelle rielaborazioni di modelli ibridi permeati da input teorici ma anche da accresciuti contenuti informativi derivanti dalla lettura dei dati raccolti e da successive rielaborazioni del modello iniziale. Il risultante processo circolare (fig. 5), atto ad affinare i presupposti di partenza e a migliorare i criteri di ricerca e la qualità della stessa, si configura in ultima analisi come un «processo riflessivo» (Berggren, Dell'Unto et al., 2015). La significanza dei risultati rispetto all'obiettivo delle ricerche e la valutazione dell'efficacia delle variabili impiegate agevolano l'aspetto riflessivo della ricerca, e le analisi multi-criterio costituiscono contesti euristici in cui il ricercatore può mettere a punto soluzioni che in fase iniziale non appaiono percorribili.

Nello specifico del progetto MOLULAP, le attività di ricognizione di superficie sono state guidate dai risultati di queste due analisi, in particolare nell'individuazione di aree campione. Questo ha anche permesso l'inserimento nei modelli di ulteriori variabili di natura “culturale”, quale la presenza di concentrazioni ceramiche in superficie o i punti di interesse segnalati dagli abitanti del luogo. A questo proposito, da sottolineare in generale è l'integrazione di variabili culturali nelle analisi multi-criterio (Verhagen, Kamermans et al., 2010; Verhagen, Nuninger et al., 2013). Nei casi di studio proposti in questa sede sono state prese in considerazione, per esempio, le conoscenze tecnologiche variabili nel lungo termine (per la *land evaluation*) e la determinazione di zone buffer a diversi livelli attorno a concentrazioni di materiale archeologico in superficie, opportunamente definite da criteri di rappresentatività (Van Leusen, 2002; Farinetti, 2011) e utilizzate per la realizzazione di modelli predittivi. L'inclusione di variabili culturali rende questo tipo di analisi sempre meno legate a un secco determinismo ambientale ma progressivamente inclusive della dimensione antropico-culturale sulla base anche di dati raccolti attraverso ricerche etno-archeologiche (che segnalano la presenza di stazzi e ricoveri per animali e uomini,

o di corridoi di mobilità, o di aree tradizionalmente adibite a particolari colture) e continuo dialogo con le comunità e gli attori operanti sul territorio. Per esempio, i risultati delle analisi predittive del rischio legato alla possibile presenza di siti rupestri, informate da continuo dialogo con gli enti per la salvaguardia del territorio, sono stati guida efficace per le attività di ricognizione nelle campagne immediatamente successive.

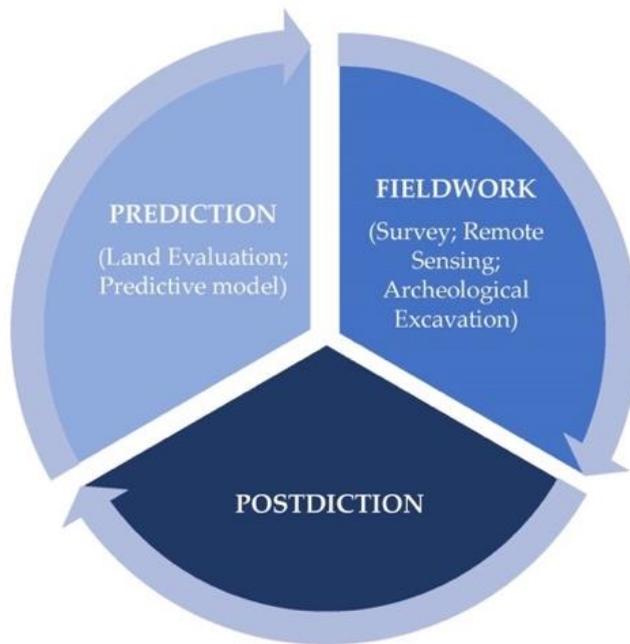


Figura 5. Diagramma relativo al processo circolare riflessivo. (Fonte: rielaborazione da Arnoldus-Huyzendveld, Citter, Pizziolo, 2016).

Le variabili culturali incluse nelle analisi multi-criterio svolgono un ruolo determinante in particolare quando i *datasets* risultanti vengono utilizzati per la determinazione di aree di comunità, attraverso l'analisi integrata con altri *datasets*, quali l'analisi della superficie di costo (*cost-surface analysis*), l'analisi di mobilità o le carte archeologiche di periodo, analizzate congiuntamente alla *land evaluation* (per esempi si vedano Farinetti, 2011; Coutsinas, Katifori et al., 2021; Bonnier, Finné, 2020; Moreno-Navarro, Brughmans, Bermejo Tirado, 2023). Il processo circolare in questo caso si apre e si chiude con le comunità, quali agenti attivi sul territorio nel lungo periodo, per cui trasformazioni complesse sociali e ambientali possono essere avvicinate attraverso analisi multi-criterio e integrazione dei *datasets* risultanti, con l'integrazione dei dati raccolti sul campo e attraverso dialoghi continui con chi vive e opera sul territorio.

BIBLIOGRAFIA

- Penelope Allison, *Dealing with Legacy Data. An Introduction*, in «Internet Archaeology», (2008), n. 24, <http://dx.doi.org/10.11141/ia.24.8> (ultimo accesso: ottobre 2023).
- Antonia Arnoldus-Huyzendveld, Carlo Citter, Giovanna Pizziolo, *Predictivity-Postdictivity. A Theoretical Framework*, in «Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology CAA2015. Keep the Revolution Going (Siena, 31 mar. - 2 apr. 2015)», a cura di Stefano Campana, Roberto Scopigno, Gabriella Carpentiero, Marianna Cirillo, Oxford, Archeopress Publishing Ltd, 2016, pp. 593-598.
- Aikaterini Balla, Gerasimos Pavlogeorgatos, Despoina Tsiafakis, George Pavlidis, *Locating Macedonian Tombs using Predictive Modelling*, in «Journal of Cultural Heritage», XIV (2013), n. 5, pp. 403-410.
- Martina Bernardi, Emeri Farinetti, *Monti Lucretili Landscape Project. Surveying an Upland Landscape around the Montefalco Castle (2020-2022)*, in «FOLD&R Archaeological Survey», (2023), n. 20, pp. 1-24.
- Anton Bonnier, Martin Finné, *Climate Variability and Landscape Dynamics in the Late Hellenistic and Roman North-Eastern Peloponnese*, in «Antiquity», XCIV (2020), n. 378, pp. 1482-1500.
- Åsa Berggren, Nicolo Dell'Unto, Forte Maurizio, Ian Hodder, Justine Issavi, Nicola Lercari, Camilla Mazzucato, Mickel Allison, James S. Taylor, *Revisiting Reflexive Archaeology at Çatalhöyük: Integrating Digital and 3D Technologies at the Trowel's Edge*, in «Antiquity», (2015), n. 89, pp. 433-448.
- Anita Casarotto, *Digitising Legacy Field Survey Data. A Methodological Approach Based on Student Internships*, in «Digital», II (2022), n. 4, pp. 422-443 (<https://doi.org/10.3390/digital2040023>; ultimo accesso: ottobre 2023)
- Nadia Coutsinas, Marianna Katifori, Konstantinos Roussos, Athanasios Argyriou, *The Settlement Patterns of the Praios Region (East Crete) from the Classical to the Venetian Periods, as Revealed Through the Settle in East Crete Program*, in «Annuario della Scuola Archeologica di Atene e delle Missioni Italiane in Oriente», XCIX (2021), n. 1, pp. 420-442.
- Petra Dark, *Paleoenvironmental Reconstruction, Methods*, in *Encyclopedia of Archaeology*, a cura di Deborah M. Pearsall, San Diego, Elsevier Academic press, 2008, 3 voll., pp. 1787-1790.
- Donald A. Davidson, Sideris Theocharopoulos, R. J. Bloksma, *A Land Evaluation Project in Greece using GIS and based on Boolean and Fuzzy Set Methodologies*, in «International Journal Geographical Information Systems», VIII (1994), n. 4, pp. 369-384.
- Giordano De Coste, *Per una lettura diacronica dell'insediamento nell'area dei Monti Lucretili*, in «Atti della Giornata di Studi Archeologia nei Monti Lucretili. Nuove ricerche e prospettive di indagine in un paesaggio montano del Lazio (Roma, 8 nov. 2022)», a cura di Martina Bernardi, Emeri Farinetti, Riccardo Santangeli Valenzani, Oxford, Archeopress Publishing Ltd, in corso di stampa.
- Simone Di Zio, Dora Bernabei, *Un modello multicriterio per la costruzione di mappe di plausibilità per la localizzazione di sito archeologici: il caso della costa teramana*, in «Archeologia e Calcolatori», XX (2009), pp. 309-329.

- Emeri Farinetti, *Boeotian Landscapes. A GIS-Based Study for the Reconstruction and Interpretation of the Archaeological Datasets of Ancient Boeotia*, Oxford, Archaeopress Publishing Ltd, 2011.
- Id., *Modelling Regional Landscape Through the Predictive and Postdictive Exploration of Settlement Choices: a Theoretical Framework*, in «Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology CAA2015. Keep the Revolution Going (Siena, 31 mar. -2 apr. 2015)», a cura di Stefano Campana, Roberto Scopigno, Gabriella Carpentiero, Marianna Cirillo, Oxford, Archeopress Publishing Ltd, 2016, pp. 57-67.
- Id., *Exploring the Interface between Landscape Archaeology and Contemporary society. Back to Community(-ies)*, in «Archeostorie. Journal of Public Archaeology», V (2021), pp. 1-22.
- Mohamed Amine Hamadouche, Khalladi Mederbal, Lakhdar Kouri, Zineb Regagba, Youcef Fekir, Djamel Anteur, *GIS-Based Multicriteria Analysis. An Approach to Select Priority Areas for Preservation in the Abaggar National Park, Algeria*, in «Arabian Journal of Geosciences», VII (2013), n. 2, pp.1-16.
- Jeremy Huggett, *Digital Haystack. Open Data and the Transformation of Archaeological Knowledge*, in Andrew T. Wilson, Ben Edwards (a cura di), *Open-Source Archaeology. Ethics and Practice*, Berlin, De Gruyter Open, 2015, pp. 6-79.
- Hans Kamermans, *Land Evaluation as Predictive Modelling. A Deductive Approach*, in Gary Lock (a cura di), *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 2000, pp.124-146.
- A. A. Klingebiel, P.H. Montgomery, *Land Capability Classification*, Washington DC, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, 1961.
- Stuart Gordon McRae, Christopher Paul Burnham, *Land Evaluation*, Oxford, Clarendon Press, 1981.
- Fernando Moreno-Navarro, Tom Brughmans, Jesús Bermejo Tirado, *Exploring Economic Integration of Peasant Settlements in Roman Central Spain (1st c. -3rd c. AD)*, in «Journal of Archaeological Science: Reports», LI (2023); <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352409X2300281X> (ultimo accesso: novembre 2023).
- Evžen Neustupný, *Community areas of prehistoric farmers in Bohemia*, in «Antiquity», LXV (1991), pp. 326-331.
- Matteo Rossi, *Edilizia rupestre nei Monti Lucretili*, in «Atti della Giornata di studi *Archeologia nei Monti Lucretili. Nuove ricerche e prospettive di indagine in un paesaggio montano del Lazio* (Roma, 8 nov. 2022)», a cura di Martina Bernardi, Emeri Farinetti, Riccardo Santangeli Valenzani, Oxford, Archeopress Publishing Ltd, in corso di stampa.
- Thomas L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York, McGraw-Hill, 1980.
- Ester van Joolen, *Archaeological Land Evaluation. A Reconstruction of the Suitability of Ancient Landscape for Various Land Uses in Italy Focused on The First Millennium BC*, PhD thesis, University of Groningen, 2003.
- Martijn van Leusen, *Pattern to Process. Methodological Investigations into the Formation and Interpretation of Spatial Patterns in Archaeological Landscapes*, PhD thesis, University of Groningen, 2002. Si veda il sito (ultimo accesso: novembre 2023): <http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/arts/2002/p.m.van.leusen/>

- Philip Verhagen, Hans Kamermans, Martijn Van Leusen, *Whither Archaeological Predictive Modelling?*, in «Atti del *Workshop 10 Archäologie und Computer. Kulturelles Erbe und Neue Technologien* (Wien, 7-10 nov. 2005)», a cura di Wolfgang Borner, S. Uhrhitz, Wien, 2006, pp. 13-25.
- Philip Verhagen, Hans Kamermans, Martijn Van Leusen, Jos Deebe, Paul Zoetbrood, *First Thoughts on the Incorporation of Cultural Variables into Predictive Modelling*, in «Papers from the 32nd Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past* (Prato, 13-17 apr. 2004)», a cura di Franco Niccolucci, Sorin Hermon, in «*Archaeolingua*», (2010), p. 307-311.
- Philip Verhagen, Laure Nuninger, François Pierre Tourneux, Frédérique Bertonecello, Karen Jensen, *Introducing the Human Factor in Predictive Modelling. A Work in Progress*, in «Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) *Archaeology in the Digital Era*. (Southampton, 26-29 mar. 2012), a cura di Graeme Earl, Timothy Sly, Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta-Flores, Costas Papadopoulos, Iza Romanowska, David Wheatley, Amsterdam, Amsterdam University Press, 2013, p. 379-388.
- Claudio Vita-Finzi, Eric Sidney Higgs, *Prehistoric Economy in the Mt. Carmel Area of Palestine. Site Catchment Analysis*, in «*Proceedings of the Prehistoric Society*», XXXVI (1970), pp. 1-37.

APPLICAZIONI IN ARCHEOLOGIA DI ANALISI GIS MULTI-CRITERIO: MODELLI PREDITTIVI E LAND EVALUATION – Le tecniche di *multicriteria analysis* combinate all'uso del GIS possono essere applicate in campo archeologico con diverse finalità d'uso. Tra queste, un ruolo principale è rivestito dalla ideazione di modelli predittivi e di carte di plausibilità o di rischio archeologico. Il caso di studio presentato in questa sede illustra la costruzione di un modello predittivo per lo studio delle forme di edilizia rupestre nel territorio dei Monti Lucretili. Realizzata con un approccio ibrido, che combina le caratteristiche dei modelli *theory driven* a quelle dei modelli *data driven*, questa carta di plausibilità, integrando le variabili di natura geomorfologica a quelle di origine antropica, ha permesso di individuare sul territorio una serie di *hotspot* favorevoli allo sviluppo di forme di edilizia rupestre, semplificando e indirizzando l'organizzazione e lo svolgimento dei sopralluoghi sul campo. Le analisi multicriterio possono aiutare anche nella produzione di carte di *land evaluation*, la determinazione del potenziale agricolo dei suoli, con cui è possibile sondare l'adattabilità dei paesaggi ad antichi usi della terra attraverso l'introduzione di specifiche variabili storiche all'interno dell'elaborazione. Nel caso di studio qui presentato la fertilità o meno dei suoli ha avuto influenze dirette sulle scelte insediative e di sfruttamento del territorio e la sua valutazione si rivela determinante per comprendere più profondamente fenomeni di medio-lungo termine interessanti il paesaggio.

ARCHAEOLOGICAL APPLICATIONS OF GIS MULTI CRITERIA ANALYSIS: PREDICTIVE MODELLING AND LAND EVALUATION – The techniques of multicriteria analysis combined with the use of GIS can be applied in the archaeological field for different purposes. Among the main aims is the realization of predictive models and maps of plausibility or archaeological risk. The case study presented here illustrates the application of predictive modelling for the study of rock-carved constructions in the Lucretili Mountains, which follows a hybrid approach that combines the characteristics of theory-

driven models to those of data-driven models, as well as variables of geomorphological nature and other of anthropic origin. This allowed us to identify a series of hotspots over the landscape that are favourable to the development of rock-dwelling forms, simplifying and directing ground-truthing and fieldwork. Multicriteria analyses can also help in the production of land evaluation maps, showing the agricultural potential of soils, with which it is possible to probe the adaptability of landscapes to past anthropic uses through the introduction of specific historical variables within the elaboration. In the case study presented here, the fertility or not of the soils had a direct influence on the settlement choices and exploitation of the land and its evaluation is crucial to understand more deeply medium-long term phenomena interesting the landscape.

Parole chiave: analisi multi-criterio; *Land Evaluation*; modelli predittivi; GIS; archeologia del paesaggio.

Keywords: Multicriteria Analysis; Land Evaluation; Predictive Models; GIS; Landscape Archaeology.