

**LANDSCAPE ARCHAEOLOGY E MODELLI 3D.
NUOVE METAFORE DELLO SPAZIO, ILLUSIONI OTTICHE E TRANELLI
MATEMATICI**

**LANDSCAPE ARCHAEOLOGY AND 3D MODELS. NEW METAPHORS OF
THE SPACE, OPTICAL ILLUSIONS AND MATHEMATICAL TRAPS.**

Andrea D'Andrea*, Franco Niccolucci**, Guido Vannini**

dandrea@iuo.it franco.nic@libero.it vannini@unifi.it

Riassunto

Il contributo esplora l'uso in archeologia dei modelli tridimensionali soffermandosi in particolare sull'applicazione di alcuni specifici algoritmi in due differenti contesti: l'area di Cuma, la più antica colonia greca in Occidente ed il castello di al-Wu'aira a Petra, 'chiave' strategica della valle di Petra in Transgiordania. Si tratta di due casi di studio in cui diversi sono i dati di partenza e le metodologie impiegate per le ricostruzioni 3D. Il lavoro indaga le modalità di acquisizione dei dati e lo sviluppo dei modelli 3D con una attenzione sui risultati raggiunti e sulle forme di validazione delle elaborazioni finora realizzate. Le esperienze hanno dimostrato che nella realizzazione dei modelli 3D devono essere considerati molteplici fattori, tra cui i modi di acquisizione dei punti e gli algoritmi di interpolazione. Il contributo considera infine come né l'ampiezza, né la regolarità delle quote fornisca una maggiore accuratezza al modello, che dipende fortemente dall'algoritmo prescelto e dalla complessità della superficie da ricostruire.

PAROLE CHIAVE: 3D, DEM, interpolazione.

Summary

The paper explores the use of 3D models in archaeology in particular the application of specific algorithms in two different case-studies: Cuma, the most ancient Greek colony in Western, and the castle of al-Wu'aira, the strategic key of Petra Valley in Transjordan. The two cases differ for initial data and the methodology used for 3D reconstruction. The paper investigates the way of data gathering and the development of 3D models with a specific attention on achieved results and on the method used to validate them. The experience demonstrated that in the construction of 3D model several factors should be considered, among other distribution points and interpolation

algorithms. Finally the paper considers how neither the mesh width, nor the regularity of points alone can assure a greater accuracy to the model. This depends strongly on the selected algorithm and on the complexity of the surface being reconstructed.

KEY WORDS: Interpolation, 3D Model, DEM

1. Introduzione

L'ampio sviluppo nel campo della *landscape archaeology* delle analisi a connotazione spaziale richiede probabilmente una profonda riflessione non solo sui risultati scientifici raggiunti, ma anche sulle procedure e sulle soluzioni informatiche adoperate. Se numerose applicazioni GIS si fondano sull'esame di ambienti ricostruiti in 3D, non possiamo ignorare che dietro l'elaborazione e l'analisi dello spazio tridimensionale, si nasconde un procedimento matematico. L'uso della tecnologia spaziale è spesso insostituibile nella creazione di nuove metafore dello spazio visuale, culturale e sociale; tuttavia l'interesse degli studiosi non deve limitarsi all'esplorazione di nuovi mondi digitali. Esso deve a nostro avviso indirizzarsi anche alle forme ed alle modalità di elaborazione dei modelli poiché ogni soluzione proposta è condizionata da una pluralità di fattori: la base di dati, la scala, le variabili, gli algoritmi 3D ed infine le routine impiegate per analizzare il paesaggio digitale (*surface, viewshed, cost surface, pathway, isotropic and anisotropic distance*, etc.).

L'inadeguatezza di alcune soluzioni 3D è stata da tempo segnalata per il settore delle analisi archeologiche in particolare sull'assenza di strumenti in grado di validare l'esattezza della ricostruzione di un territorio antico basandosi, nella maggior parte delle esperienze, tali ricostruzioni sulle informazioni ricavate dall'ambiente fisiografico moderno (da ultimo: Wheatley, Gillings 2000). Dietro queste ricostruzioni non c'è tuttavia solo una realtà fisica, ma anche numerose soluzioni matematiche in grado di rappresentare la realtà in 3D. E' evidente che se i modelli che possiamo generare sulla base degli algoritmi matematici sono molteplici, numerose saranno le possibili esplorazioni del paesaggio. Se il territorio digitale che noi simuliamo non è la riproduzione della realtà fisica, ma solo una delle possibili varianti dipendenti dal set di dati e dalle procedure matematico-statistiche, dobbiamo soffermarci ad indagare come il modello 3D venga generato prima di analizzarne la sua effettiva utilità nell'analisi

storica. E' qui a nostro avviso che si annida il punto debole di qualsiasi procedimento conoscitivo che ignori queste cautele.

Dietro un modello può nascondersi un'illusione o peggio un tranello. Ci può essere una sola verità fisica dietro la varietà di soluzioni 3D? E' questa riproduzione oggettivamente cognitiva oppure questa forma di rappresentazione del paesaggio è soggettivamente cognitiva, cioè connessa alla scelta dell'algoritmo prescelto dal ricercatore e da questi ritenuto adeguato agli scopi prefissati? Insomma quando un modello è scientificamente utile e significativo per ulteriori analisi? E come facciamo a validare un modello? Oppure più semplicemente dobbiamo limitarci ad affermare (correttamente) che questa è la realtà riproducibile in funzione dei nostri scopi?

Sembra in definitiva che dietro la costruzione di un modello tridimensionale non ci sia solo una rappresentazione fisica, intesa come ricostruzione geometrico-topografica. Qualsiasi modello 3D appare come una pura definizione matematica dietro la quale può nascondersi una preoccupante generalizzazione. L'assenza di una riflessione sulle forme e sulle modalità di elaborazione dei modelli tridimensionali viene nella migliore delle ipotesi, mascherata dall'ambizione (errata sul piano epistemologico e metodologico) di raggiungere in tal modo una verità vera in quanto proiezione matematica e quindi precisa; nella peggiore, nasconde non solo la scarsa conoscenza degli strumenti utilizzati, ma anche la poca consapevolezza dei limiti degli strumenti stessi, in sé e per sé e nel loro impiego archeologico, che comunque traspare da non pochi filmati 'a volo d'uccello' che, pur generando un'insolita prospettiva dello spazio fisico, sorprendono per la loro insufficiente efficacia sul versante dell'interpretazione archeologica.

Il nostro contributo tenta di esplorare l'uso in archeologia dei modelli tridimensionali soffermandosi in particolare sulle modalità di elaborazione dei modelli 3D e sull'applicazione di alcuni specifici algoritmi in due differenti contesti: l'area di Cuma, la più antica colonia greca in Occidente ed il castello di al-Wu'aira a Petra, la 'chiave' strategica della valle di Petra in Transgiordania. Si tratta di due casi di studio in cui diversi sono i dati di partenza e le metodologie impiegate per le ricostruzioni 3D. Il nostro lavoro si propone dunque di indagare le modalità di acquisizione dei dati e lo sviluppo dei modelli 3D con una attenzione sui risultati raggiunti e sulle forme di validazione delle elaborazioni finora realizzate.

2. Creazione di un DEM per interpolazione

2.1. Metodi di interpolazione

Com'è noto, la necessità di creare un modello digitale del terreno nasce dall'esigenza di rappresentare in forma digitale una superficie continua (quella del terreno) basandosi su un insieme discreto di dati acquisiti in vario modo (misurazione diretta, rilevazione con GPS, fotogrammetria, digitalizzazione di mappe cartacee, estrapolazione matrici di punti, etc.). Si deve perciò ricorrere ad un'interpolazione per completare le parti mancanti, ad un procedimento cioè che calcola la quota in un punto qualsiasi effettuando operazioni di carattere matematico-statistico sulle coordinate delle quote note. Alcuni dei modelli di interpolazione rispettano i punti noti, altri costruiscono una superficie che non passa necessariamente per tali coordinate, ma restituisce un terreno 'virtuale' con un andamento più dolce. Fra i primi annoveriamo il TIN (*triangulated irregular network*) che rappresenta il terreno come composto da facce triangolari che uniscono i punti noti; le facce possono essere piane (interpolazione lineare) o curve (ad esempio, ARC/INFO consente l'uso di superfici curve di quinto grado). Allo stesso tipo appartiene il metodo detto delle superfici *spline* cubiche che utilizza tali particolari superfici del terz'ordine passanti per i punti noti. Questo metodo, poco usato in campo archeologico (ad esempio Verhagen 1996), è in realtà inconsapevolmente familiare a molti per l'uso comune delle curve *spline* cubiche in molti programmi di grafica vettoriale di larga diffusione. Altri metodi calcolano una media ponderata: a questa tipologia appartiene IDW (*inverse distance weighting*) e le sue varianti che tendono ad eliminare taluni effetti indesiderati. Infine il metodo detto di kriging che ipotizza che la quota di ogni punto del terreno sia composta da un trend costante, una componente aleatoria, ma correlata spazialmente e un rumore casuale; la componente aleatoria correlata spazialmente è ipotizzata sufficientemente omogenea in modo da essere funzione (casuale) soltanto della distanza dei rispettivi punti. La stima della varianza di tale grandezza utilizzata in uno dei diversi sottomodelli disponibili permette di determinare i parametri necessari per il calcolo dell'interpolazione.

Praticamente tutti i software per GIS disponibili permettono di svolgere automaticamente le operazioni necessarie per ognuno dei modelli sopra descritti, previa impostazione di alcuni parametri o scelte, per le quali vengono comunque forniti valori di *default*. Ognuno è affetto da diversi tipi di errore, che vanno da quelli relativi ai dati e al disallineamento dei punti (analizzato ad esempio in Wood 1996, all'interno di un approfondito confronto di metodologie di caratterizzazione geomorfologiche), a quelli derivanti dalla distribuzione dei punti noti, a quelli connessi con il metodo di interpolazione prescelto.

Franco Niccolucci

2.2. Modelli digitali del terreno e ricerca archeologica

Pur ammettendo che l'uso dei modelli tridimensionali in archeologia sia corretto e fondato su solide basi teoriche (il che non sempre è), da un punto di vista puramente pragmatico si può affermare che il modello ricostruito è giusto? Si sceglie un modello perchè lo si ritiene il più idoneo o solo perchè è a portata di click nel software che si utilizza? Se ne analizzano le implicazioni nel contesto archeologico di applicazione?

La scelta del procedimento di interpolazione, come si può facilmente immaginare, non è neutrale: tuttavia una gran parte di applicazioni tralasciano di descrivere il metodo utilizzato, pochi ne enunciano le caratteristiche, pochissimi sembrano consapevoli dei rischi che possono esservi nascosti. Alcuni tranelli già nel passato sono stati evidenziati anche se a livello di applicazione sperimentale e quasi mai senza il supporto di una reale applicazione archeologica.

Mentre in campo geografico già nel 1990 si descrivono i possibili errori nella creazione del DEM e si suggeriscono strumenti di valutazione, soltanto nel volume *Beyond the map* (Lock 2000), l'argomento diviene centrale nelle analisi archeologiche. Nel saggio di Wheatley e Gillings (2000) è presente un'analisi dettagliata dei problemi che possono derivare alle applicazioni archeologiche dagli errori connessi con le diverse modalità di interpolazione usate per il DEM, segnalando che si sono verificate variazioni anche del 50% causate dall'uso di algoritmi diversi; senza peraltro argomentarlo, si suggerisce che nelle applicazioni di visibilità il metodo TIN è preferibile. Lo stesso metodo è proposto e commentato da Chapman (2000). Nell'articolo di Forte si propone una lista di possibili

modelli di interpolazione, affermando che "si possono ottenere nuove prospettive analitiche del paesaggio archeologico combinando diversi tipi di interpolazioni di DEM e cambiando i dettagli del modello e la risoluzione" (Forte 2000: 200). Dei metodi elencati, tuttavia soltanto il TIN e *Grid interpolation* sono stati utilizzati nelle applicazioni archeologiche.

In un saggio dedicato interamente all'analisi dell'errore nei DEM (Hageman e Bennet 2000) gli autori forniscono una chiara panoramica dei problemi connessi alla creazione dei modelli tridimensionali. Tuttavia, l'articolo si inserisce in un volume che affronta il particolare contesto dei modelli predittivi e l'esempio sviluppato non presenta caratteri archeologici, limitandosi a illustrare con dati geografici reali le modalità di esecuzione del test proposto per il confronto di modelli diversi. A parte ciò, il saggio pone le due domande fondamentali:

C'è un 'miglior' algoritmo di interpolazione in senso assoluto?

Quale criterio si può usare per scegliere l'algoritmo più efficace per lo specifico problema?

Alla prima domanda, la risposta è negativa. Sembra infatti consolidato che nessun algoritmo è migliore di tutti gli altri indipendentemente dall'applicazione, dai dati disponibili e dal grado di approssimazione desiderato. E' certo, comunque, che un mix di metodi diversi non produce vantaggi: semmai si possono confrontare 'visivamente' diversi risultati con il terreno reale per testare, empiricamente, la bontà dell'approssimazione: giocare con differenti interpolazioni non produce nuova conoscenza, ma solo confusione. Tale analisi empirica è uno dei criteri suggeriti per scegliere il modello 'migliore'. In realtà ci sono vari fattori che pesano sul metodo più idoneo alla nostra elaborazione:

- la regolarità delle rete dei punti base: il *kriging* probabilmente richiede una rete regolare per funzionare meglio;
- le caratteristiche morfologiche del terreno: TIN risponde meglio per terreni accidentati, con pendenze ripide e fianchi scoscesi, oppure nelle applicazioni in cui un'elevata fedeltà di riproduzione di picchi e creste (come ad esempio nelle analisi di visibilità) è determinante.

Robinson e Zubrow (1999), dopo aver sottolineato l'importanza anche in campo

disegnare

archeologico della piena comprensione del modello di interpolazione utilizzato per la costruzione del DEM, ne testano diversi tipi (TIN, TIN quintica, interpolazione quintica senza triangolazione e *kriging*) su quattro superfici artificiali campione. Tre di esse sono definite in modo da presentare forti variazioni di pendenza: due sono generate da un'onda sinusoidale, con diverse ampiezze, la terza è ottenuta aggiungendo alla seconda la sua trasposta; la quarta superficie è invece un piano. A tali superfici viene poi aggiunto un rumore casuale. Vengono generati casualmente dei poligoni, di diversa grandezza, fino a considerarne 200 usati come base di punti di quota nota a cui applicare i diversi metodi di interpolazione. L'errore è misurato dal valore assoluto della differenza fra 'reale' e quota interpolata, che viene rappresentata mediante un grafico. Analogo procedimento viene seguito partendo da una base di punti disposti su una griglia casuale, fino a un massimo di 200 'celle'. I risultati sono illustrati da una serie di grafici che riportano il coefficiente di correlazione fra superficie interpolata e superficie 'reale' e l'errore, rispetto al numero di punti o di poligoni. Le conclusioni sono molto dettagliate, ma parzialmente in contrasto con quelle da noi segnalate: vengono riconosciute come 'migliori' le quintiche (superfici interpolanti di quinto grado), mentre il *kriging* viene valutato come inferiore, per il costo in termini di tempo di calcolo e senza un proporzionale risultato, quando non peggiore in assoluto. E' proprio l'artificialità della base di partenza per l'esecuzione del test a non convincere pienamente: sarebbe certo più interessante eseguire una verifica su terreni reali, magari 'tipici' di determinate situazioni archeologiche.

Andrea D'Andrea - Franco Niccolucci

3. I casi di studio

3.1. Il modello tridimensionale dell'antica città di Cuma

Nell'ambito di un più vasto progetto destinato allo studio dell'antica colonia greca di Cuma in Campania, da parte di un'équipe del CISA-IUO di Napoli in collaborazione con l'ITABC-CNR si è avviato uno specifico programma di ricerca finalizzato al posizionamento topografico delle evidenze archeologiche; l'indagine è in particolare dedicata alla individuazione ed all'analisi dell'antica fortificazione mediante l'impiego e

l'integrazione di differenti tecnologie spaziali (Colosi, D'Andrea, Fratta, Gabrielli, c.s.). In tale prospettiva grande importanza è stata attribuita alla creazione di un DTM al fine di evidenziare le eventuali correlazioni tra il circuito murario e la morfologia del terreno.

Il Modello 3D è stato ottenuto estrapolando dal rilievo fotogrammetrico al 1.000 le curve di livello acquisite alla distanza di 1 mt. con un range compreso tra 1 e 119 m. s.l.m. Mediante un programma scritto in basic che dal file dxf delle curve ricava per ogni singolo nodo le coordinate e la quota, è stato realizzato un file ASCII contenente una matrice di punti (x, y, z). Il file così ottenuto memorizza circa 746.000 punti estrapolati per un area di 1,43 Km².

Con questo procedimento i vertici ottenuti dal file dxf rappresentano tutti i nodi segnati per evidenziare le curve di livello e i vari cambi di direzione delle isoipse. Diversamente da un disegno ottenuto mediante la definizione di una griglia di tipo regolare i punti acquisiti in questo modo corrispondono alla natura, nel nostro caso molto complessa, della morfologia del territorio e pertanto sembrano, almeno in partenza, assicurare una maggiore accuratezza al rilievo tridimensionale.

La matrice di punti è stata successivamente elaborata con differenti applicativi ed algoritmi di interpolazione al fine di generare diversi modelli tridimensionali da confrontare. Una prima elaborazione è stata eseguita con Surfer, un programma che dispone di un ampio set di metodi di interpolazione e possibili filtri e modifiche dei parametri di campionamento e di risoluzione dei dati (fig.1A). Le immagini ottenute sono state importate all'interno del software IDRISI per eseguire un'analisi dei modelli; questo programma consente tra l'altro di calcolare le pendenze ed analizzare le superfici 3D (fig.1B). Non è stato possibile eseguire direttamente l'elaborazione del 3D senza il passaggio intermedio con Surfer, in quanto IDRISI può elaborare solo (!) 16.000 punti. Un terzo trattamento è stato realizzato con ArcView che tuttavia dispone nella versione 3.1 soltanto del metodo TIN per la creazione del DTM: per generare il modello sono stati realizzati oltre 1.490.000 triangoli (fig.1C). I risultati ottenuti con questi differenti software ed algoritmi possono essere facilmente comparati. Solo una verifica autoptica dei diversi modelli può validare la ricostruzione elaborata. Ad ogni modo, nonostante l'ampio numero di punti utilizzati, sembra necessario dover infittire la maglia del rilievo

in alcune zone particolarmente ripide e scoscese che nessuna elaborazione ha saputo rappresentare in modo soddisfacente.

Andrea D'Andrea

3.2. Il modello tridimensionale del castello crociato di al-Wu'aira a Petra (Giordania)

Dal 1986 l'area del castello fortificato di al-Wu'aira (la *Li Vaux Maises* delle fonti franche) - prospiciente l'accesso principale alla Valle di Petra, a Nord del Wadi *Mahata* - è interessata dalle indagini condotte da un'équipe dell'Università di Firenze nell'ambito di un più vasto programma dedicato allo studio delle forme dell'insediamento crociato nella Signoria della Transgiordania nel XII secolo (Vannini, Tonghini 1997). Il castello sorge su un isolato acrocoro roccioso a strapiombo su profondi *Wadi* circostanti che creano una vera e propria difesa naturale rinforzata da una doppia cortina esterna lungo le quali si sono individuate ben 14 torri quadrangolari (fig. 2A). La complessa situazione morfologica della superficie rocciosa influenzò decisamente non solo la scelta del sito ma, profondamente, lo stesso sviluppo topografico e strutturale del castello.

Come per il precedente caso di studio, la ricostruzione tridimensionale dell'area risulta di estrema produttività sia per 'leggere' e documentarne le scelte 'urbanistiche' e costruttive di dettaglio con un grado di precisione corrispondente allo stesso grado di comprensione delle scelte progettuali dei costruttori del complesso ed articolato impianto difensivo, sia per evidenziare la relazione tra conformazione orografica del naturale acrocoro e le forme insediative dell'insieme topografico che costituisce il vero e proprio sistema incastellato 'classico' della valle. Considerata la presenza di forti discontinuità altimetriche non era semplice produrre un modello tridimensionale ricorrendo a strumenti di tipo tradizionale, né si dispone di planimetrie eseguite con sufficiente precisione. Per tali motivi con la missione 2000 è stata avviata una specifica campagna topografica con il DGPS in modalità cinematica al fine di ottenere una vista tridimensionale dell'area (D'Andrea, Gabrielli, Reali, Sonini, Verde, c.s.); le indagini preliminari sono state fin qui condotte in forma intensiva sulla cittadella, il ridotto difensivo del cassero (con il posizionamento di ca 14.000 punti digitali per una superficie di 4.000 mq) ed a maglie larghe sugli altri siti incastellati, interni (al-Habis)

ed esterni (Shawbak) alla valle.

I risultati fin qui raggiunti elaborando i dati con il metodo TIN di ArcView sono estremamente positivi soprattutto se si confronta in alcuni dettagli l'accuratezza del modello ricostruito con una ripresa fotografica dell'area (fig. 2B) e da una lettura di raffronto con quanto in passato già rilevato con metodologie aggiornate ma, rispetto a tali prospettive di metodo, tradizionali.

Guido Vannini

4. Conclusioni

Le esperienze realizzate ci hanno dimostrato che nell'elaborazione dei modelli 3D devono essere considerati molteplici fattori tra cui i modi di acquisizione dei punti (estrapolazione, misurazione diretta) e gli algoritmi di interpolazione. Indubbiamente non è né l'ampiezza, né la regolarità delle quote a fornire una maggiore accuratezza al nostro modello. Va inoltre considerato che esiste un legame tra quote processate, algoritmo prescelto e soprattutto complessità della superficie da ricostruire. In conclusione sembra che spetti al ricercatore dimostrare in modo logico, spesso anche empiricamente, la correttezza del modello proposto prima di utilizzarlo per successive elaborazioni. La scarsa conoscenza di questi argomenti non può essere sottovalutata o mascherata da improduttive correzioni matematico-statistiche o da pericolose moltiplicazioni di modelli. Il rischio è quello di aggiungere soltanto confusione compromettendo qualsiasi risultato scientifico e offrendo al contrario un quadro dell'archeologia computazionale che, a dispetto della potenza delle tecniche impiegate, sembra incapace di proporre un coerente percorso metodologico.

Così, ad esempio, una ricostruzione computerizzata virtuale del sistema dei castelli crociati di Petra, condotta sulla base di un apparato documentario selettivamente criticato ed organizzato secondo specifici codici di riferimento, può consentire un vero e proprio sistema di restituzione scientifica degli stessi risultati della ricerca, comprese soluzioni di dettaglio anche soggette ad interpretazioni differenziate e corrispondentemente rappresentate. Un sistema che, inoltre, può prevedere anche più 'uscite' - dalla comunicazione strettamente specialistica ad una espressamente mirata a temi o utilizzi specifici, fino ad una essenziale e divulgativa - ma tutte ugualmente e

'tecnicamente' fondate sull'apparato di fonti (si badi, non solo materiali) e di interpretazioni storico-archeologiche messo a punto dalla ricerca di base. Un approccio, questo, che dispone di una oramai significativa sperimentazione, tuttora in corso su di una casistica assai differenziata in diversi progetti in corso e più volte 'testato' metodologicamente, e che comporta la ridefinizione di molte delle procedure e delle tecniche attualmente correnti. Un tracciato, si può dire, che coniughi la rappresentatività delle soluzioni grafiche proposte con l'autenticità offerta dall'articolazione di una base documentaria filologicamente 'criticata' per un'autentica (scientifica/verificabile nei dettagli) ricostruzione archeologica della stratificazione storica quale emerge dai risultati della ricerca in atto; non solo fotorealismo quindi, ma soprattutto approccio critico e corrispondente 'architettura' virtuale; non solo 'illusione', ma anche una specifica proposizione di quadri interpretati, a cominciare con il consueto corredo di problematicità che caratterizza ogni ricostruzione storica.

Guido Vannini

Riferimenti Bibliografici

H. Chapman, *Understanding wetland archaeological landscapes: GIS, environmental analysis and landscape reconstruction; pathways and narratives*, in G. Lock (a cura di.), *Beyond the map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 2000, pp. 49-59.

F. Colosi, A. D'Andrea, F. Fratta, R. Gabrielli, *The integration of different technologies for the 3D Model of Cuma (Naples)*, in <<Proceedings of International Euroconference>>, *Virtual Archaeology between Scientific Research and Territory Marketing*, (Arezzo - Italy, 24-25 November 2000), F. Niccolucci (a cura di), Oxford, Archaeopress, International BAR Series, (in press).

A. D'Andrea, R. Gabrielli, E. Reali, S. Tucci, G. Verde, *Data acquisition and three-dimensional models of medieval castles: a comparison between two case-studies Rocca Ricciarda (Tuscany) and Wu'ayra (Petra, Jordan)*, in <<Proceedings of International Euroconference>>, *Virtual Archaeology between Scientific Research and Territory Marketing*, (Arezzo - Italy, 24-25 November 2000), F. Niccolucci (a cura di), Oxford, Archaeopress, International BAR Series, (in press).

M. Forte, *Archaeology and virtual micro-topography: the creation of DEMs for reconstructing fossil landscapes by Remote Sensing and GIS applications*, in G. Lock (ed.), *Beyond the map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 2000, pp. 199-213.

J.B. Hageman, D.A. Bennet, *Construction of Digital Models for Archaeological Applications*, in K. L. Westcott, R. J. Brandon (a cura di), *Practical Application of GIS for Archaeologists*, London, Taylor & Francis, 2000, pp. 113-127.

G. Lock (a cura di), *Beyond the map. Archaeology and Spatial Technologies*. Amsterdam, IOS Press, 2000.

J.M. Robinson, E. Zubrow, *Between spaces: Interpolation in Archaeology*, in M. Gillings, D. Mattingly, J. Van Dalen (a cura di), *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology*, Oxford, Oxbow Books, *The Archaeology of Mediterranean Landscapes* 3, 1999, pp. 65-83.

G. Vannini, C. Tonghini, *Mediaeval Petra. The stratigraphic evidence from recent archaeological excavations at al-Wu'aira*, in <<Studies in the History and Archaeology of Jordan>>, VI (Torino 1995), Amman, 1997, pp. 371-384.

P. Verhagen, *The use of GIS as a tool for modeling ecological change and human occupation in the Middle Aguas Valley (S.E. Spain)*, in <<Proceedings of the 23th CAA conference>>, *Interfacing the Past*, (Leiden 1995), H. Kamermans, K. Fennema (a cura di), Leiden, University of Leiden, 1996, pp. 317-324.

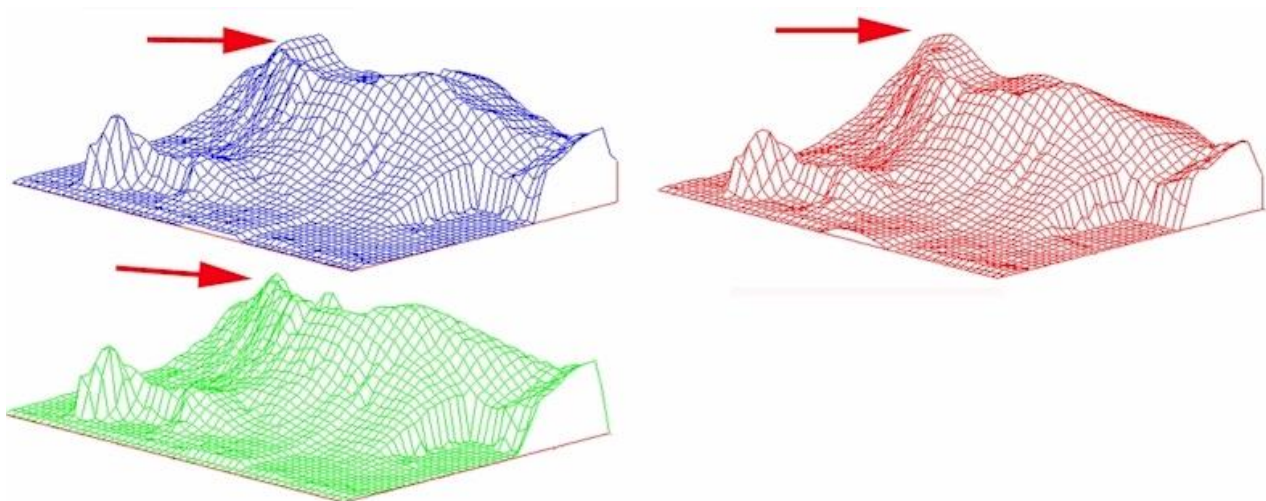
D. Wheatley, M. Gillings, *Vision, perception and GIS: developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, in G. Lock (a cura di), *Beyond the map. Archaeology and Spatial Technologies*. Amsterdam, IOS Press, 2000, 1-27.

J. Wood, *The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models*, Ph. D. Thesis, Department of Geography, University of Leeds, 1996. Accessibile all'URL (18.6.2001):

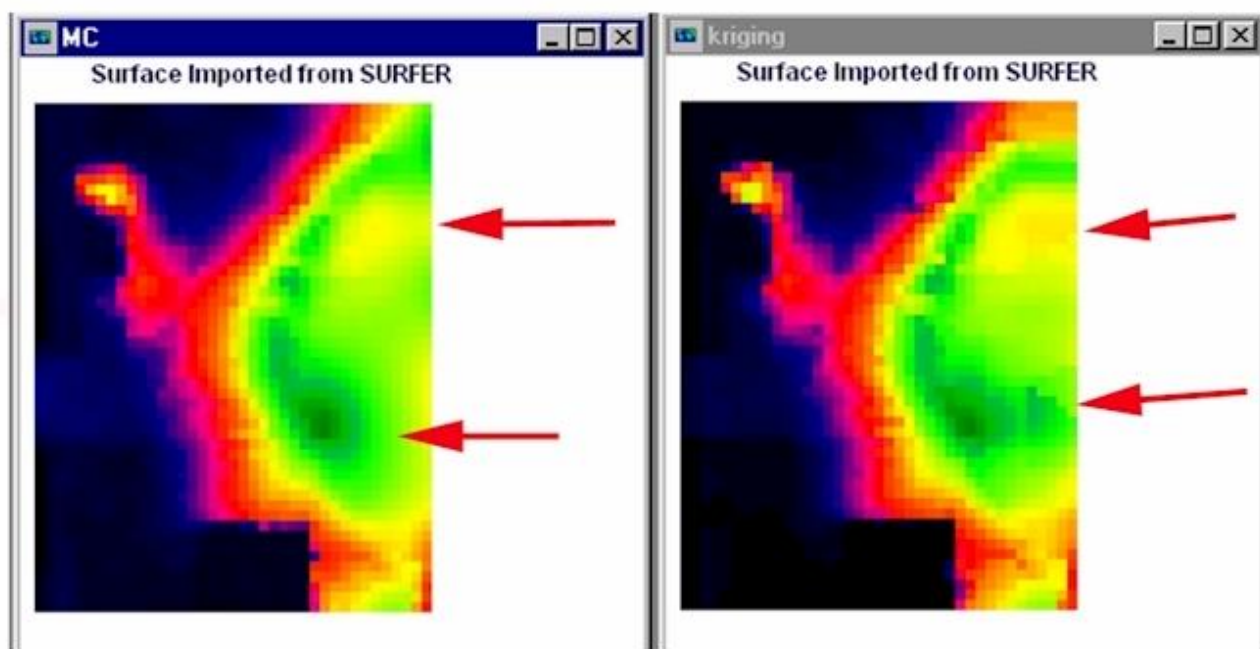
www.geog.le.ac.uk/jwo/research/dem_char/thesis/index.html

*CISA-IUO Napoli

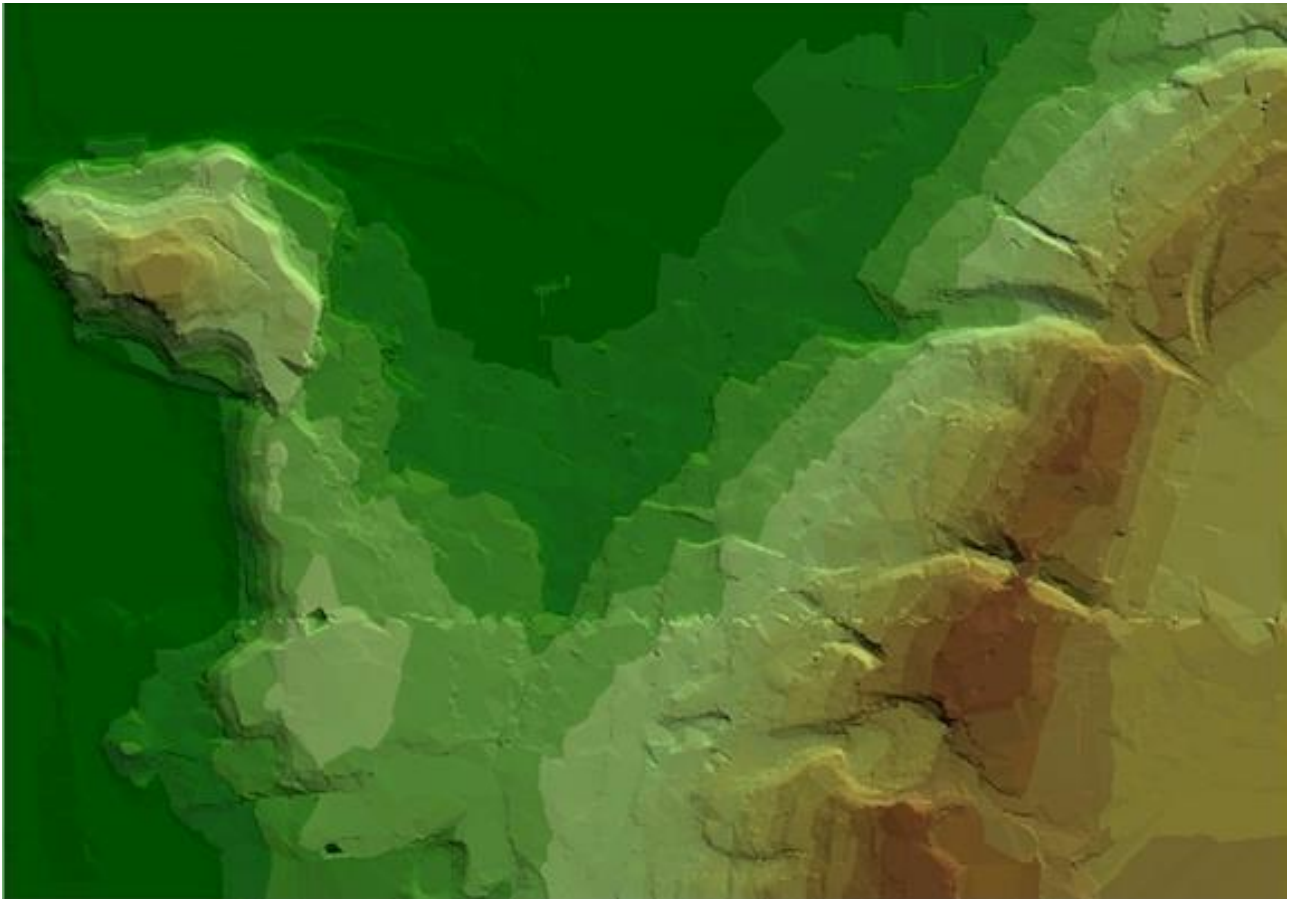
** Università di Firenze



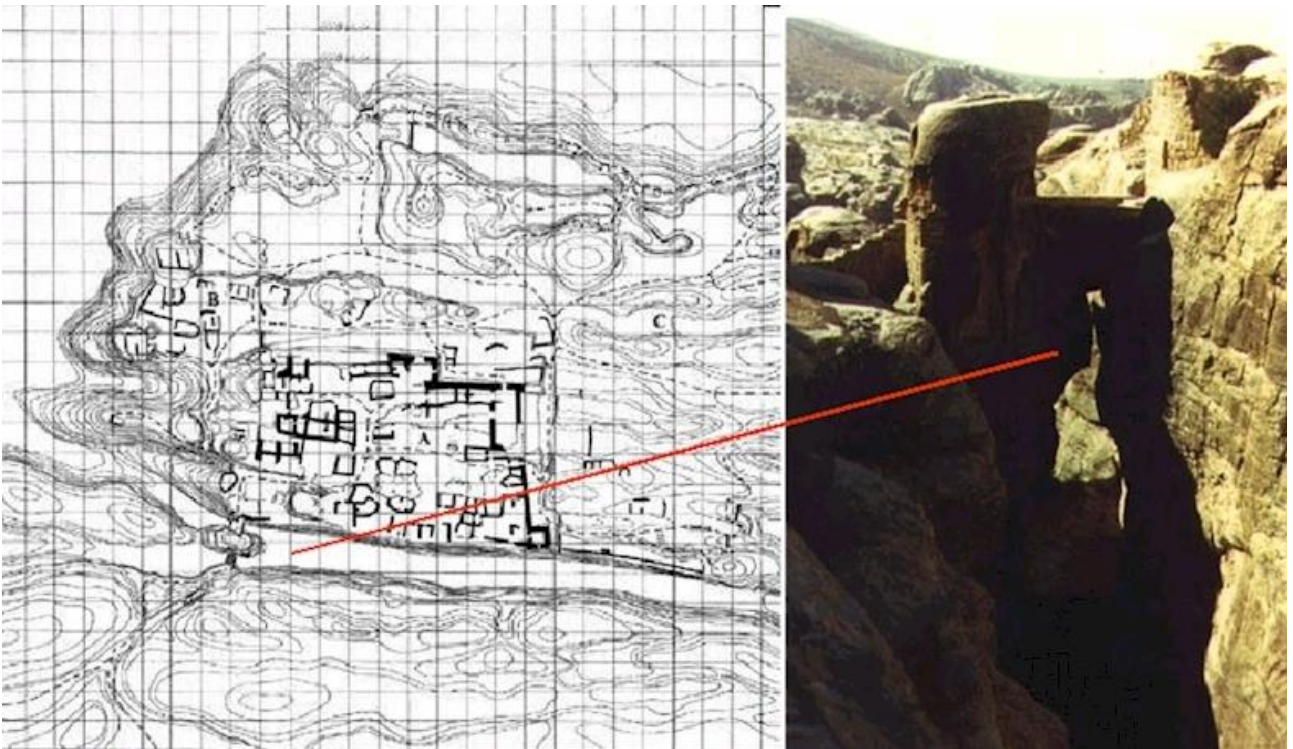
1A - Confronto di tre differenti algoritmi adoperati per l'elaborazione del modello tridimensionale di Cuma. Il software impiegato è Surfer: in blu è rappresentata l'elaborazione prodotta con il metodo Kriging, in rosso con il Minimum Curvature ed in verde con il TIN. Le frecce indicano le difformità dei modelli ricostruiti.



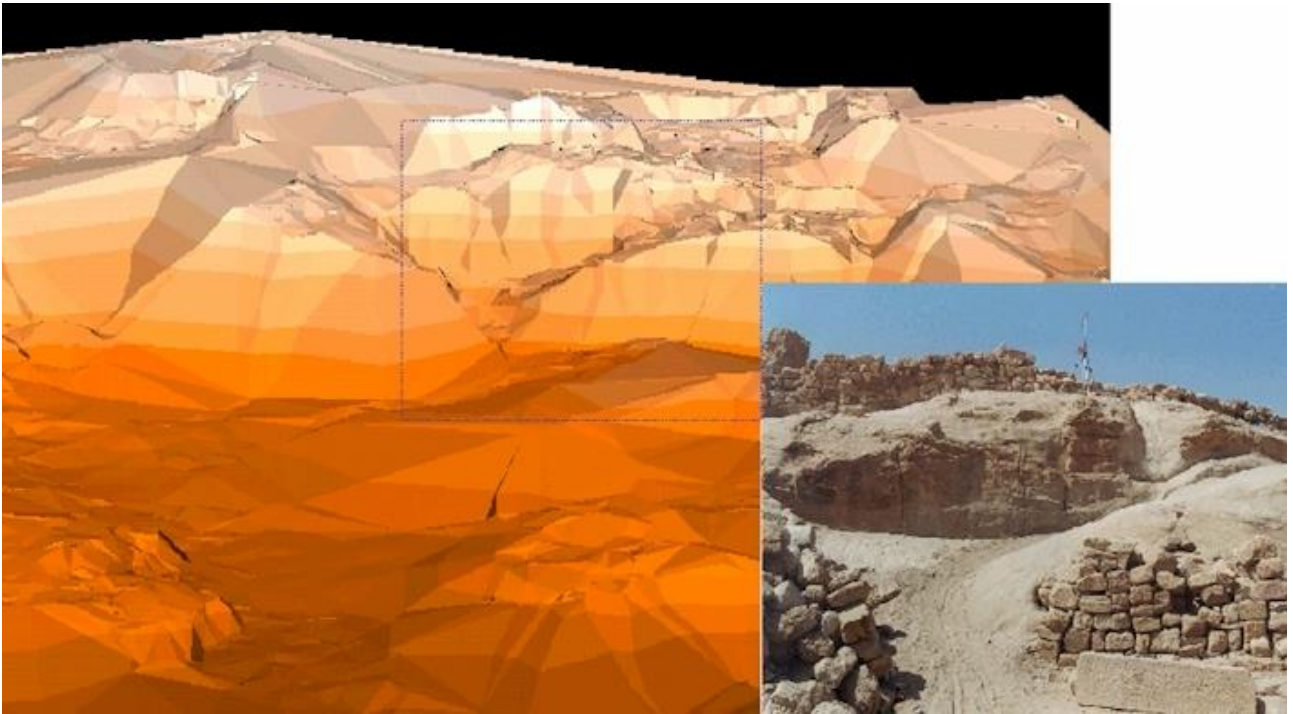
1B - Confronto di due algoritmi impiegati per la costruzione del 3D di Cuma. Programma Idrisi: a sx. il metodo Minimun Curvature, a dx. Kriging.



1C - Ricostruzione 3D eseguita con il programma ArcView



2A - Il cassero: la planimetria dell'area fortificata ed un particolare fotografico dell'accesso che evidenzia le ripide pareti del castello.



2B - Il modello tridimensionale del Cassero. La rampa di accesso alla terrazza superiore: un particolare del modello confrontato con una foto della stessa area.