

UN MODELLO GIS MULTICRITERIO PER LA COSTRUZIONE DI MAPPE DI PLAUSIBILITÀ PER LA LOCALIZZAZIONE DI SITI ARCHEOLOGICI: IL CASO DELLA COSTA TERAMANA

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro ha lo scopo di fornire un quadro delle dinamiche insediative relative ai siti fortificati nella provincia teramana, in Abruzzo, con particolare attenzione alla fascia costiera, compresa fra i fiumi Tronto e Vomano.

Dopo una ricognizione dei siti ancora esistenti, sono state considerate le zone con siti di dubbia localizzazione, ovvero le aree che allo stato attuale non presentano emergenze archeologiche, ma delle quali si trovano indicazioni nelle fonti storiche. Tali informazioni documentali, però, non consentono una esatta localizzazione dei siti, mentre per ognuno di essi è possibile solo individuare uno spazio, più o meno circoscritto, all'interno del quale si può ipotizzare, con una data plausibilità, la presenza di elementi difensivi. Tale plausibilità decresce mano a mano che ci si allontana dalla zona citata nelle fonti, ma non è possibile ricavare dai documenti storici altre informazioni che consentano una maggiore precisione nella localizzazione.

Attraverso alcune variabili legate al territorio e alle caratteristiche insediative dei siti esistenti, si possono identificare, all'interno di un dato raggio di distanza dai punti indagati, delle porzioni molto piccole di territorio con livelli di maggiore o minore plausibilità di presenza dei siti incerti. Le variabili considerate riguardano sia aspetti geo-morfologici, come la distanza dai siti noti, dai fiumi e dal mare, che la intervisibilità, ovvero la caratteristica precipua di tali insediamenti che sfruttavano posizioni sopraelevate o comunque con maggiori possibilità di controllo visivo del territorio.

La tecnologia GIS consente di tradurre in variabili quantitative tutti questi elementi e di gestire la loro distribuzione territoriale. L'utilizzo di modelli di dati specifici (raster), assieme ad apposite tecniche di somma pesata di variabili (combinazione lineare pesata), permette la costruzione di una mappa di plausibilità. All'interno di ciascuna area citata nelle fonti storiche si ottiene una distribuzione di valori che rappresentano la diversa possibilità di presenza degli elementi non più evidenti. Di particolare utilità è risultato anche l'utilizzo di un sistema di ponderazione delle variabili generato da esperti, basato sulla tecnica della comparazione a coppie (*Pairwise Comparison*), che rientra nell'ambito delle tecniche decisionali multicriterio (*Multicriteria Decision Analysis*).

In questo lavoro, in cui è stato utilizzato il modulo ArcMap di ArcGIS 9.2, parleremo di "siti noti" in riferimento alle torri e alle fortificazioni che sono ad oggi ancora esistenti, o comunque che presentano delle evidenze

strutturali, mentre indicheremo come “siti incerti” gli insediamenti per i quali non si hanno tracce ma che sono riportati nei documenti storici e per i quali si vogliono costruire le mappe di plausibilità.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DINAMICHE INSEDIATIVE

2.1 *Caratteri fisici della costa teramana*

Limiti naturali della zona presa in esame sono i fiumi Tronto e Vomano, rispettivamente confine settentrionale e meridionale, il complesso del Gran Sasso e Monti della Laga, che ne costituisce il limite occidentale e il Mare Adriatico, estremo limite orientale. Il quadro ambientale del versante medio-adriatico è caratterizzato da un’alternanza di file quasi parallele di rilievi montuosi e collinari, i cui livelli altimetrici digradano verso il mare, e di valli fluviali, che si allargano in prossimità della costa. Dunque, ad un’orografia caratterizzata in senso longitudinale va a sovrapporsi una rete idrografica con corsi d’acqua trasversali ai rilievi, che dalla catena appenninica scendono al mare con uno schema solitamente definito “a pettine”. I maggiori corsi d’acqua nella fascia costiera teramana, procedendo da nord verso sud, sono: il Tronto, che per molti secoli ha segnato il confine con le Marche, il Vibrata e il Salinello (secondo alcuni separatasi in epoca storica), il Tordino e il Vomano, estremo limite meridionale della provincia.

2.2 *Inquadramento territoriale e toponomastica antica*

L’attuale provincia teramana costituiva in antico la parte meridionale della *Regio V* o *Picenum* unitamente alle Marche (Fig. 1). Questa denominazione deriva dalla ben nota riorganizzazione territoriale augustea, con cui vennero stretti saldamente i rapporti tra le Marche e la provincia teramana, in considerazione delle antiche affinità che univano Piceni e Pretuzi. L’idrografia della zona è stata oggetto di numerosi studi (BUONOCORE, FIRPO 1998) e se per alcuni idronimi l’identificazione è stata semplice, per altri c’è ancora disaccordo. Nel noto passo pliniano relativo al territorio piceno i nomi *Vomanum*, *Truentum*, *Albula* e *Tessuinum* non offrono difficoltà, in quanto identificabili con gli omonimi odierni Vomano, Tronto, Albula e Tesino (gli ultimi due a nord del Tronto).

Tra *Truentum* (attuale Martinsicuro) e *Castrum Novum* (attuale Giulianova) scorrono oggi i fiumi Salinello e Vibrata. Qui i pareri si dividono: alcuni studiosi sostengono l’identificazione dei due fiumi (separatisi solo recentemente) col *Batinus* antico (ALFIERI 1949), altri ritengono che l’idronimo *Batinus* sia da riferire all’attuale fiume Tordino (CERULLI 1968). Fra *Castrum Novum* e *Hadria* (attuale Atri) scorrono il Tordino e il Vomano; ora, se del Tordino non si conosce definitivamente l’idronimo antico, l’identificazione del Vomano apre

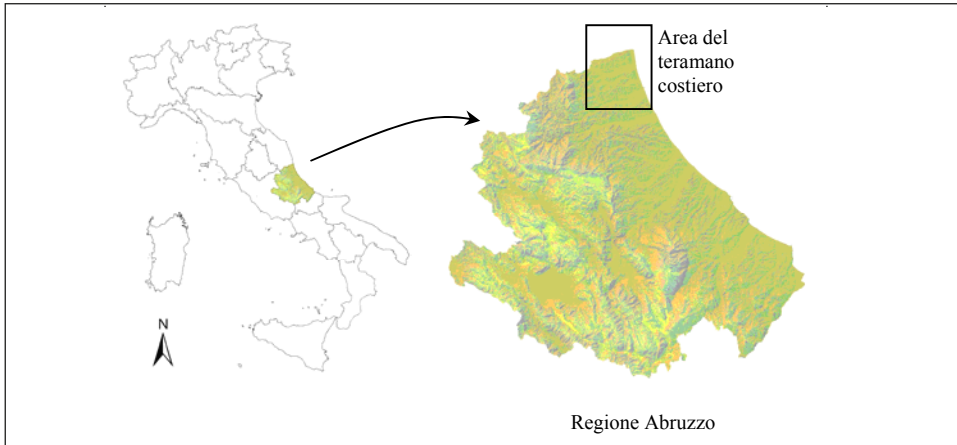


Fig. 1 – Area di indagine: il teramano costiero.

il campo ad ulteriori discussioni. Un'ipotesi riconosce nel fiume attuale l'antico *Matrinus* sulla base di ritrovamenti archeologici avvenuti alla foce del Vomano; secondo altri il fiume risulterebbe essere l'antico *Comara*, descritto nella *Tabula Peutingeriana*, ipotesi resa possibile dalla varietà delle denominazioni simili assunte in periodi successivi dal Vomano (ALFIERI 1949).

2.3 Dinamiche insediative dei presidi militari

Nell'ambito di questo studio, ai fini della definizione del modello GIS, concentriamo l'analisi sulle dinamiche insediative dei siti fortificati, rintracciati attraverso la lettura delle fonti storiche¹.

Sono stati individuati e indagati diversi siti, con attestazioni a volte risalenti all'Alto Medioevo. La caratteristica orografia a pettine della provincia teramana è stata la causa principale del sistema difensivo abruzzese. Gli impianti difensivi cambiano a seconda della loro ubicazione ma, semplificando, possiamo dire che risentono di due fattori principali: l'orografia e l'idrografia (RONGAI 1985). Un sistema di castellazione vera e propria si trova nella zona montuosa, la cui struttura edilizia risulta differenziata dall'importanza del centro, dall'asperità del terreno e dalla visibilità del territorio circostante. Scendendo sulle

¹ Nel quadro delle fonti utilizzate, fondamentale per lo studio della zona è risultato il *Catalogus Baronum* (JAMISON 1972; CUOZZO 1984), una sorta di catasto feudale in cui sono indicate le terre assegnate e i relativi servizi feudali, compilato fra la fine del regno di Ruggero II e l'inizio del regno di Guglielmo II, poi trascritto nel XIV secolo nel Registro Angioino n. 242. È costituito da tre parti, delle quali la prima (databile fra il 1150 e il 1168) riguarda la spedizione organizzata per contrastare le minacce al Regno di Sicilia dopo l'alleanza fra Corrado III di Germania e l'imperatore bizantino Alessio Comneno, mentre le altre due la zona della Capitanata (scritte fra il 1175 e il 1240).

dorsali collinari, la tipologia difensiva predilige riqualificare i piccoli e medi centri, circondandoli di mura e, a volte, dotandoli di torri d'avvistamento, nel periodo in cui più forte si fa il pericolo di minacce esterne. Infine, troviamo una nutrita schiera di torri costiere ubicate in luoghi strategicamente favorevoli per il controllo diretto del mare, degli sbocchi fluviali e dei centri dell'entroterra.

L'uso delle torri lungo la costa, attestato sin dall'antichità (STAFFA 2002), rimane durante tutto il periodo medievale caratterizzato dalle periodiche migrazioni dei popoli germanici, dalle incursioni saracene e dalle continue lotte per l'acquisizione del potere da parte delle dominazioni successive. Un'importante opera di riqualificazione delle strutture costiere fu operata da Svevi e Angioini, a partire dal XV secolo, che ristrutturarono e ricostruirono *ex novo* torri a difesa delle loro coste (RONGAI 1985), dall'architettura facilmente riconoscibile. Le torri sono costruite a forma di tronco di piramide ad un solo piano, con zona superiore chiusa da merlatura con caditoie sorrette da beccatelli, funzionante da piazzola per i mezzi d'artiglieria. Seppure molte delle torri costiere si presentino come costruzioni degli ultimi secoli del periodo medievale, non è azzardato ipotizzare che molte delle stesse insistano su strutture preesistenti, continuandone la funzione difensiva. Va sottolineato che queste torri erano il punto focale del territorio circostante, che, attraverso i borghi murati e turrati, era impegnato a fornire rifornimenti e uomini ai presidi militari in considerazione del numero della popolazione.

3. RACCOLTA DATI E COSTRUZIONE DEL DATABASE GIS

Un modello di dati GIS si basa essenzialmente sull'integrazione di due tipi di informazioni: le informazioni geografiche e le informazioni descrittive, cioè attributo. Le prime sono legate alla localizzazione geografica degli oggetti del territorio, che si esprime attraverso la misura della latitudine e longitudine dell'elemento considerato. Le informazioni alfanumeriche, invece, prescindono dal posizionamento sulla superficie terrestre e dalla localizzazione di altri elementi, simili o diversi, presenti sullo stesso territorio e possono riguardare qualunque aspetto quali-quantitativo legato all'oggetto analizzato.

Le due tipologie di informazione sono diverse ma integrate, per cui nella modellizzazione degli oggetti del mondo reale non si può prescindere dal considerarle congiuntamente. La parte attributo viene tipicamente organizzata in una tabella a doppia entrata, mentre per la parte geografica si utilizza una carta geografica digitale. I software GIS in genere utilizzano due principali formati di dati geografici noti come vettoriale e raster (in questo studio faremo uso di entrambi i formati) e i dati all'interno del database geografico vengono organizzati in strati informativi sovrapponibili, chiamati layer.

L'analisi della distribuzione spaziale dei siti noti ha costituito il primo passo per lo studio della zona in esame e, successivamente, per la determinazio-

ne di dati utili alla ricostruzione delle dinamiche insediative dei siti incerti. La costruzione delle variabili per la realizzazione delle mappe di plausibilità non può che partire dall'analisi dei siti noti, dato che le caratteristiche del territorio, assieme alla distribuzione spaziale di torri e fortificazioni ancora esistenti, forniscono un primo importante elemento per lo studio in questione.

Così, attraverso un ricevitore GPS, durante la ricognizione dell'area di studio sono state rilevate le coordinate geografiche dei siti noti. Partendo da queste è stato possibile costruire uno strato informativo vettoriale (di tipo puntuale) contenente i 26 siti della ricognizione, ovvero un layer di punti che rappresentano il modello dei siti noti (Fig. 2). Il sistema di proiezione utilizzato è l'UTM (*Universal Transverse Mercator*), zona 33 nord, con riferimento *European Datum 1950* (Ellissoide Internazionale 1924). Durante la ricognizione sono state compilate le schede tecniche dei siti, contenenti dati relativi alla toponomastica, alla lettura e all'analisi delle fonti storiche. Ogni parte della scheda tecnica è stata convertita in un attributo della tabella relativa al layer dei siti noti, che accoglie non solo le coordinate geografiche dei siti, ma anche tutte le informazioni attributo che sono state ricavate *in situ* o dalle fonti documentali, costituendo di fatto un database geografico completo.

È nota l'importanza della vicinanza alle fonti di approvvigionamento di acqua per la costruzione delle strutture oggetto di studio, per cui un dato da considerare risulta quello dei principali corsi d'acqua della zona in esame. Partendo da una carta IGM, attraverso una digitalizzazione a video, è stato generato il layer vettoriale lineare relativo ai principali corsi d'acqua.

L'analisi dei siti noti evidenzia come, pur trattandosi di una zona costiera, gli insediamenti rilevati si posizionano sulle principali alture, a conferma del fatto che il controllo del territorio imponeva comunque una predilezione per le zone sopraelevate. Così, questi insediamenti si concentrano su fasce parallele che formano le alture che separano le valli scavate dai fiumi (Fig. 2). Questo ci porta a considerare un altro importante dato, ovvero quello relativo alla quota del terreno. In tal senso il dato migliore è sicuramente il modello DTM (*Digital Terrain Model*), cioè un raster che fornisce il dato sulla quota per porzioni quadrate di territorio (pixel). La dimensione dei pixel determina la risoluzione del raster e in questo studio abbiamo utilizzato un DTM con risoluzione 20 metri.

Nella classe dei siti incerti, che quindi non presentano evidenze archeologiche, distinguiamo due diverse tipologie: quelli che possono essere spiegati con l'abbandono dell'abitato o con uno sviluppo di un centro maggiore nelle vicinanze e quelli per i quali risulta difficile proporre una interpretazione plausibile in tal senso. In questo studio abbiamo focalizzato l'attenzione sulla seconda tipologia di sito e, nel teramano costiero, possiamo annoverare le seguenti cinque aree:

- 1) Casale S. Benedetto, nella zona di Tortoreto;
- 2) Colle di S. Donato, compreso nel comune di Tortoreto;
- 3) Monte Falcone, nel comune di Morro d'Oro;

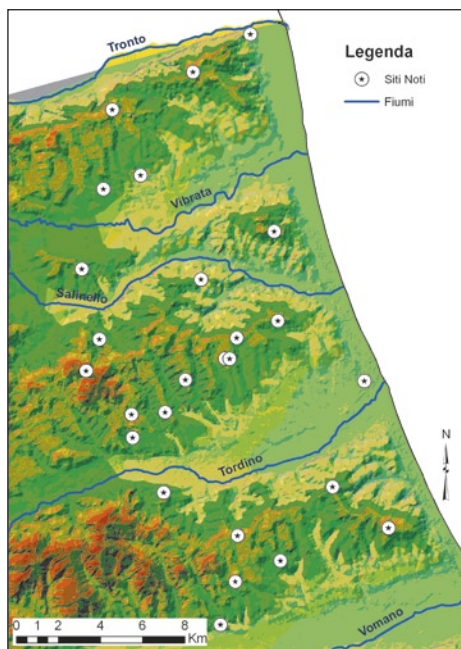


Fig. 2 – Siti noti e fiumi del teramano costiero.

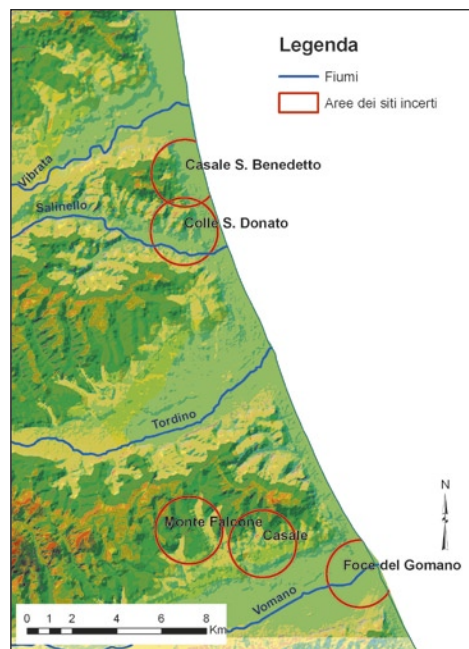


Fig. 3 – Aree relative ai siti incerti.

- 4) Casale, da localizzarsi nella frazione di Casal Thaulero, nel comune di Roseto;
- 5) Foce del *Gomano*, nei pressi della foce del fiume Vomano².

Partendo dalla carta IGM sono state individuate tali aree e, al fine di considerare una sufficiente porzione di territorio per ognuna di esse, abbiamo considerato un cerchio di 1500 m di raggio, ovvero un'area circolare di circa 7 km². Tecnicamente è stato creato un apposito layer in formato vettoriale (di tipo areale), costruendo dei cerchi centrati sul relativo toponimo identificato sul layer IGM (Fig. 3). Per ogni località, la porzione di territorio che cade dentro il relativo cerchio costituisce l'area dove concentrare l'analisi, ovvero la zona sulla quale vogliamo costruire la mappa di plausibilità.

4. APPROCCIO MULTICRITERIO

I metodi di Analisi Multicriterio (*MCA-Multi Criteria Analysis*) si utilizzano quando, di fronte a un problema decisionale, si ha la necessità di

² In riferimento alla Foce del *Gomano*, facciamo notare che si tratta di una tipologia leggermente diversa dalle altre, essendo riconducibile a un punto che si rapporta alle dinamiche degli insediamenti portuali e non delle torri o fortificazioni.

dover scegliere tra più soluzioni alternative oppure quando bisogna creare un ordinamento di importanza tra tutte le alternative possibili (MALCZEWSKI 1999). In questo ultimo caso l'ordinamento deve basarsi su criteri ben definiti, che le alternative devono rispettare. Nel nostro caso vogliamo creare un ordinamento fra i pixel di territorio (le nostre alternative), in base ad una scala di plausibilità di presenza del sito incerto.

Il solo dato delle fonti non è sufficiente per costruire una mappa di plausibilità, ed è per questo che risulta utile integrare queste informazioni, di tipo storico, con tutte le altre che sono state rilevate sul campo o che derivano da analisi spaziali, con un approccio multicriterio. Una volta creato il database geografico, infatti, è possibile sfruttare una enorme quantità di dati che risultano utili ai fini del nostro studio. Il GIS fornisce un modello organico per razionalizzare e gestire i dati disponibili ma, cosa ancora più importante, offre delle funzionalità di analisi spaziale che creano informazioni nuove, non desumibili dalle fonti e non rilevabili sul campo.

L'integrazione delle informazioni storiche, dei dati rilevati e dei risultati delle analisi spaziali fornisce nuove variabili che costituiscono la base per il calcolo delle mappe di plausibilità. In un'ottica "multicriteriale spaziale" si tratta di costruire un modello per la generazione di una mappa di plausibilità, che tenga conto di tutte le variabili che sono legate alle dinamiche insediative dei siti analizzati.

Ogni variabile tecnicamente costituisce una mappa (*criterion map*) e l'uso di tecniche di sovrapposizione (*overlay*) consente di integrare le variabili attraverso l'impiego di un opportuno sistema di pesi, che in genere sono forniti da uno o più esperti. Le alternative sono di tipo spaziale e rappresentano singole porzioni di territorio (ad es. celle quadrate di 20 m di lato) su cui le variabili assumono un dato valore. L'alternativa, quindi, è un luogo ben definito dove si andrà a calcolare un valore di plausibilità per la presenza dei siti incerti.

Ogni variabile all'interno di ogni alternativa verrà pesata e il valore di plausibilità finale terrà conto sia del valore "oggettivo" risultante da ogni variabile, che di quello "soggettivo" relativo al peso attribuito ad esso dall'esperto. Quindi, in questo lavoro seguiamo un modello che integra informazioni di tipo quantitativo, desumibili dalle analisi spaziali, e informazioni di tipo soggettivo, che intervengono nella definizione dei pesi da assegnare alle variabili.

5. LE VARIABILI DELL'ANALISI MULTICRITERIO

5.1 *Analisi di intervisibilità*

È noto che l'aspetto di visibilità di un luogo è stato per molto tempo un elemento fondamentale nella scelta dei luoghi per l'impianto di un insedia-

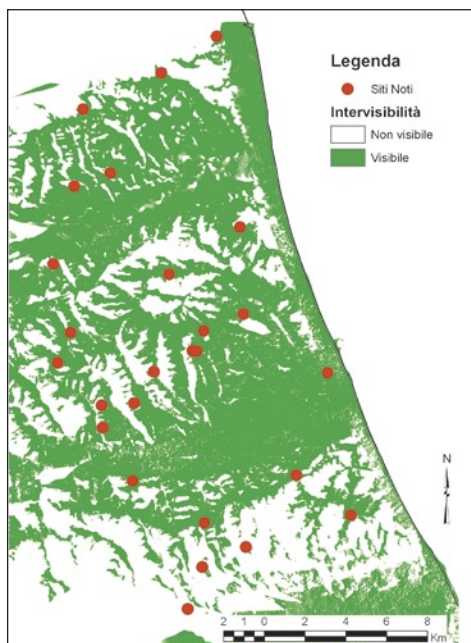


Fig. 4 – Siti noti e aree di intervisibilità (X_1).

mento urbano (PECERE 2006) e, nel caso dei siti fortificati, che prevedevano un controllo del territorio a scopo difensivo, tale aspetto diventa fondamentale.

L'analisi di intervisibilità fa parte di una categoria più generale di analisi GIS nota come *viewshed analysis*. Questa comprende sia lo studio del campo di osservazione di un individuo che si trova in un determinato punto del territorio (analisi del campo visivo), che le relazioni di visibilità fra un certo numero di siti (analisi di intervisibilità). Nel primo caso si determinano le zone di territorio visibili da un uomo che si trova, ad esempio, su un'altura, mentre nel secondo caso si parte da un insieme di punti, ad esempio delle torri, e si calcolano le porzioni di territorio che sono visibili dal complesso di tali punti.

In entrambi i casi si parte da un modello digitale del terreno (DEM o DTM) per generare una griglia in cui ogni cella reca un numero che indica la presenza o meno di visibilità a partire dai punti di osservazione prescelti (FORTE 2002). Nei software GIS è possibile fissare una serie di parametri come l'altezza dell'osservatore, il raggio di osservazione, che in genere si aggira intorno ai 18 km, e l'angolo di osservazione, che normalmente viene posto a 360° cioè tutte le direzioni possibili. Dalle caratteristiche morfologiche del

territorio desunte dal DTM, il GIS genera una mappa raster di tipo dicotomico, cioè con soli due possibili valori: 1 indica una cella di territorio visibile, 0 indica una cella non visibile. Si noti che la intervisibilità, o reciproca visibilità, viene in molti casi sottovalutata, ma nell'analisi archeologica questo fattore è importante per lo studio dei sistemi difensivi che, oltre alla funzione militare, avevano uno scopo "propagandistico", quindi dovevano essere facilmente visibili dalle zone circostanti (RONGAI 1985).

L'analisi di intervisibilità fra i siti noti viene dunque utilizzata al fine di ricavare elementi utili per la determinazione dei siti incerti. La definizione delle aree di reciproca visibilità fra i siti noti offre indicazioni molto importanti sulla possibile localizzazione degli insediamenti che, insistendo sullo stesso territorio, dovevano essere necessariamente in rapporto di visibilità con gli altri siti tuttora esistenti.

Partendo da un DEM abbiamo calcolato una mappa di intervisibilità (Fig. 4), con pixel quadrati di lato 20 m, considerando la rete di punti costituita dai siti noti: nell'ambito del nostro modello, chiameremo questa variabile X_1 . Per tutte le variabili utilizzeremo un sistema di punteggi standard, che vanno da minimo 0 a massimo 10. Per quanto riguarda l'intervisibilità, possiamo assegnare punteggio massimo, cioè 10, alle zone visibili e punteggio molto basso, ovvero 1, ai pixel non visibili.

5.2 La costa

Una delle funzionalità GIS che permette la creazione di valore aggiunto ai dati esistenti è quella relativa alla creazione di aree di rispetto, o buffer. Si tratta di aree che si estendono attorno ad una primitiva geometrica vettoriale (area, linea o punto) in modo che tutti i punti del territorio che si trovano ad una distanza inferiore a un certo raggio dalla primitiva fanno parte del buffer stesso. Con i buffer multipli si creano aree adiacenti con valori di distanza che possono anche essere variabili.

Data l'importanza che la linea di costa rappresenta in questo tipo di analisi, il primo elemento da considerare è la distribuzione spaziale dei siti noti in relazione alla distanza dalla costa. Generando un buffer multiplo che parte dalla linea di costa e si estende verso l'interno è possibile calcolare quanti siti noti ricadono all'interno di ogni fascia di distanza. Abbiamo scelto una distanza fra i vari anelli di 2 km, generando un buffer multiplo con 6 zone (2, 4, 6, 8, 10 e 12 km dal mare). La distribuzione dei siti noti in relazione alla distanza dalla costa risulta la seguente: 2 siti da 0 a 2 km dalla costa; 5 siti da 0 a 4 km; 8 siti da 0 a 6 km; 13 siti da 0 a 8 km; 17 siti da 0 a 10 km e 25 siti fino a 12 km dalla costa.

Quindi, circa il 30% dei siti si colloca a meno di 6 km dalla costa e il 50% di essi si trova a una distanza compresa entro 8 km dal mare. Partendo dal presupposto che lo studio concerne la ricerca di cinque siti vicinissimi al

Zona	Distanza dalla costa	Punteggio
1	da 0 a 2 Km	10
2	da 2 a 4 Km	8
3	da 4 a 6 Km	6
4	da 6 a 8 Km	4
5	da 8 a 10 Km	2
6	da 10 a 12 Km	0

Tab. 1 – Punteggi della variabile costa (X_2).

Zona	Distanza dai fiumi	Punteggio
1	da 0 a 1000 m	2
2	da 1000 a 1500 m	4
3	da 1500 a 2000 m	10
4	da 2000 a 2500 m	8
5	da 2500 a 3000 m	7
6	da 3000 a 4000 m	5
7	da 4000 a 5000 m	2

Tab. 2 – Punteggi della variabile fiumi (X_3).

mare, è logico assegnare dei punteggi di plausibilità decrescenti, da un massimo di 10 a un minimo di 0, mano a mano che ci si allontana dalla costa. Così ad ogni anello del buffer multiplo abbiamo assegnato, rispettivamente, i punteggi riportati nella Tabella 1.

A questo punto abbiamo per ogni porzione di territorio un valore che indica la maggiore o minore plausibilità di esistenza di un sito incerto; chiamiamo X_2 questa variabile relativa alla distanza dal mare.

5.3 I corsi d'acqua

Un altro elemento da considerare è legato all'approvvigionamento di acqua, quindi possiamo costruire una variabile legata alla distanza dai fiumi. Partendo dalla distribuzione delle distanze dei siti noti dai corsi d'acqua si evince che solo 3 siti si trovano a meno di 1000 m dal fiume più vicino mentre 13 siti (pari al 50% di tutti i siti noti) si trovano a meno di 2000 m. Se consideriamo una fascia di 4000 m dai fiumi allora si arriva a 23 siti, pari all'88% di tutti quelli analizzati.

Molto vicino ai fiumi troviamo pochi siti, perché comunque la necessità di stare vicino ai corsi d'acqua doveva essere contemperata con la diversa e contrapposta esigenza di posizionarsi sulle alture per scopi difensivi e di controllo del territorio. Infatti, la maggior parte dei siti, esattamente il 54%, si colloca in una fascia intermedia che va da 1500 a 3000 m di distanza dai fiumi. Quindi, considerando la distribuzione dei siti noti in relazione alla distanza dai fiumi abbiamo costruito un buffer multiplo con sette anelli, ai quali sono stati assegnati i punteggi riportati nella Tabella 2.

Si noti che le distanze calcolate con il sistema dei buffer sono distanze in linea retta, mentre per un'analisi più approfondita si dovrebbe tener conto della morfologia del territorio. Comunque, dato che la zona considerata è di tipo collinare, le distanze in linea retta sono una buona approssimazione della distanza reale fra due punti del territorio. Indichiamo con X_3 la variabile relativa alla distanza dai fiumi.

Zona	Distanza dai siti noti	Punteggio
1	da 0 a 500 m	2
2	da 500 a 1000 m	5
3	da 1000 a 1500 m	8
4	da 1500 a 2000 m	10
5	da 2000 a 2500 m	9
6	da 2500 a 3000 m	7
7	da 3000 a 4000 m	5
8	da 4000 a 6000 m	2

Tab. 3 – Punteggi della variabile distanza dai siti noti (X_4).

5.4 I siti noti e la distanza dal prossimo vicino

Passando all'analisi dei siti noti e di come questi possano darci informazioni per la localizzazione di quelli incerti, come primo elemento di elaborazione, ai fini di una esplorazione della loro distribuzione spaziale, abbiamo calcolato un indicatore di sintesi e uno di variabilità. La distanza media fra i 26 siti è di 10.530 m, mentre la deviazione standard è pari a 5610 m. Ma, ai fini del nostro studio, è più importante considerare la distanza fra un sito e quelli immediatamente circostanti. Così, se calcoliamo la distanza di ogni sito con il suo "vicino più prossimo", risulta che i due siti più vicini si trovano a 217 m di distanza, mentre il sito più isolato si trova ad appena 5021 m da quello ad esso più prossimo. In media la distanza tra un sito e il suo prossimo vicino è di 2090 m con una deviazione standard di 1198 m. Questo ci porta a considerare la fascia intorno a 2 km di distanza da ogni sito come quella con maggiore probabilità di contenere un sito vicino (esattamente, fra 1 e 3 km troviamo 17 siti, pari al 65% del totale).

Quindi, dato un sito noto, possiamo dire che fino a 1 km e oltre 3 km di distanza da esso c'è una minore probabilità di incontrare un prossimo vicino, mentre nella fascia di distanza compresa fra 1 e 3 km la probabilità è maggiore, con un massimo fra 1,5 e 2 km. Se consideriamo un buffer multiplo con raggio di 500 m, possiamo proporre, sempre con valori da 0 a 10, il sistema di punteggi riportato in Tabella 3. Indichiamo con X_4 la variabile relativa alla distanza dai siti noti.

5.5 La pendenza del suolo

Un ulteriore elemento da considerare nella localizzazione dei siti in analisi è quello relativo alla pendenza del terreno. Partendo dal DTM è possibile calcolare la pendenza in celle di 20 m di lato. Anche per questa variabile partiamo dall'analisi statistica descrittiva dei valori di pendenza dei siti noti, cioè esploriamo la distribuzione delle pendenze relative alle aree dove si collocano i siti rilevati. È interessante notare che il 50% di essi (ovvero 13 siti)

Zona	Pendenza (in %)	Punteggio
1	da 0 a 5	10
2	da 5 a 10	6
3	da 10 a 20	3
4	da 20 a 30	1
5	oltre 30	0

Tab. 4 – Punteggi della variabile pendenza (X_5).

si colloca su aree con pendenza inferiore al 5%, quindi praticamente pianeggianti, mentre altri 8 siti si trovano su una pendenza fra il 5% e il 10%. Fra i rimanenti, 4 si trovano su una pendenza compresa nella fascia 10%-20% e solo 1 è posizionato su un terreno con pendenza di poco inferiore al 30%. Si noti, per inciso, che nell'area studiata ci sono pendenze che raggiungono anche il 90%. Dunque, è necessario considerare questa variabile, costruendo una scala di punteggi inversamente proporzionale alla pendenza del suolo, ovvero con valori alti in corrispondenza di pendenze basse e viceversa. Indichiamo con X_5 la variabile pendenza e, tenendo conto della distribuzione dei valori di pendenza dei siti noti, abbiamo la graduatoria di punteggi riportata in Tabella 4.

5.6 L'esposizione

Passiamo ora a descrivere un diverso aspetto legato alla collocazione dei siti noti: la loro esposizione. Sempre partendo dal DTM abbiamo calcolato una mappa di esposizione e, in analogia a quanto fatto per le altre variabili, abbiamo costruito una distribuzione statistica dei siti noti rispetto alla variabile esposizione. Questa, in genere, è indicata con un angolo che varia da 0 a 360°, ma ai fini della costruzione della distribuzione risulta utile raggruppare i valori in 8 classi che rappresentano le direzioni dei punti cardinali: est, sud-est, sud, sud-ovest, ovest, nord-ovest, nord e nord-est, più una ulteriore classe che accoglie le parti di terreno pianeggiante, che perciò non hanno una esposizione ben definita.

Dalla sovrapposizione fra il raster dell'esposizione e il layer dei siti noti si evincono i seguenti valori: 1 sito esposto a ovest, 4 siti a sud-ovest, 7 a sud, 3 a sud-est, 5 ad est, 5 a nord-est e 1 si trova su terreno pianeggiante. Ciò significa che ben il 73% dei siti è collocato su terreni esposti tra sud-ovest ed est. Inoltre, la presenza di molti siti esposti ad est e ben 5 con esposizione nord-est si spiega con il fatto che il mare si trova proprio in direzione est/nord-est quindi, evidentemente, tali posizioni sono rivolte verso il controllo della costa. Inoltre, se osserviamo più in dettaglio i siti esposti a nord-est troviamo che sono siti molto vicini alla costa (Montepagano, Cologna, Tortoreto e Mosciano S. Angelo), a conferma di quanto detto. Una rappresentazione grafica della

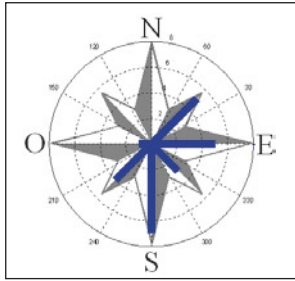


Fig. 5 – Distribuzione dei siti rispetto all'esposizione.

Esposizione	Punteggio
Nessuna	1
N	0
N-O	0
O	1
S-O	4
S	8
S-E	9
E	10
N-E	9

Tab.5 – Punteggi della variabile esposizione (X_6).

distribuzione è presente nella Fig. 5, che riporta un grafico polare con i raggi posizionati lungo i punti cardinali e la lunghezza di ogni raggio rappresenta il numero di siti esposti in quella direzione.

Da quanto detto, e ricordando ancora una volta che stiamo costruendo un valore di plausibilità per siti incerti che si trovano molto vicini al mare, è opportuno fissare dei punteggi molto alti per le esposizioni che vanno da sud ad est, con valore massimo alla direzione est, con un valore abbastanza alto anche ai terreni esposti a nord-est. Per cui è ragionevole ricavare un sistema di punteggi come in Tabella 5: indichiamo con X_6 la variabile esposizione.

5.7 Le fonti storiche

Come ultima variabile dobbiamo tenere conto delle informazioni derivanti dai documenti storici, che indicano delle aree dove i siti non più evidenti dovrebbero trovarsi. Come detto nel § 3, sono 5 ipotetici punti su cui abbiamo costruito dei cerchi di raggio 1500 m. In analogia a quanto fatto per le altre variabili, possiamo considerare queste informazioni come una ulteriore variabile (X_7) da inserire nell'analisi.

Se da un lato non si conosce l'esatta localizzazione del sito incerto all'interno dell'area circolare, è anche vero che mano a mano che ci si allontana dal centro del cerchio la probabilità di trovare il sito diminuisce proporzionalmente. Questo ci porta a definire dei buffer multipli, con fasce di raggio molto stretto in modo da poter assegnare dei punteggi decrescenti a piccole variazioni di distanza. In pratica, possiamo fissare un raggio di 250 m e con 6 anelli si copre l'intero cerchio. Il sistema di punteggi usato è quello indicato nella Tabella 6.

A chiusura di questo paragrafo riportiamo un prospetto (Tabella 7) con i principali dati sui siti noti, che sono serviti per la costruzione delle distribuzioni di frequenza necessarie per la derivazione delle variabili. Si noti che per i fiumi e la costa sono state riportate le fasce di appartenenza e non la distanza reale.

Zona	Distanza dal centro del buffer	Punteggio
1	da 0 a 250 m	10
2	da 250 a 500 m	8
3	da 500 a 750 m	6
4	da 750 a 1000 m	4
5	da 1000 a 1250 m	2
6	da 1250 a 1500 m	1

Tab. 6 – Punteggi della variabile fonti storiche (X_7).

Id	Comune di appartenenza	Quota IGM	Pendenza	Esposizione	Distanza dai fiumi	Distanza dal mare	Distanza dal vicino prossimo
1	Notaresco	251	2.53	N-E	4.0	12	2.168
2	Montepagano	301	2.58	N-E	4.5	4	3.304
3	Giulianova	25	0.72	FLAT	1.0	2	5.021
4	Ripattoni	217	7.21	E	2.0	12	1.099
5	Bellante	355	5.19	S	3.0	14	1.611
6	Tortoreto	239	3.07	N-E	2.5	4	4.157
7	Poggio Morello	151	1.43	S	1.5	8	0.999
8	Sant'Omero	202	1.60	S-E	2.0	12	3.444
9	Nereto	180	5.19	E	2.0	10	1.891
10	Corropoli	136	23.52	E	2.5	8	1.891
11	Controguerra	264	7.61	S-E	2.0	10	0.999
12	Colonnella	303	19.97	S	1.5	6	3.253
13	Guardia Vomano	157	5.15	S-E	2.0	12	2.168
14	Morro d'Oro	205	3.07	S-O	4.5	8	0.998
15	Capo di Ripa	251	2.58	S-O	3.0	10	2.181
16	Cologna	219	9.09	N-E	2.0	6	3.304
17	Villa Torre	205	2.86	S	1.0	12	2.989
18	Colle Izzano	251	4.04	S-O	3.0	12	0.998
19	Selva Alta	228	1.43	E	3.0	12	1.593
20	Peticciano	202	2.86	O	4.0	8	0.217
21	Mosciano S. A.	214	2.02	N-E	4.0	8	0.217
22	Colle Pietro	227	6.05	S-O	4.5	10	1.811
23	Montecchio	207	5.37	S	3.0	6	1.042
24	Colle Troia	182	18.79	S	1.5	12	1.611
25	Montone	220	15.68	S	2.0	4	2.12
26	Martinsicuro	39	15.35	E	1.0	2	3.253

Tab. 7 – Dati relativi ai siti noti.

6. IL MODELLO DI INTEGRAZIONE DEI DATI TRAMITE L'USO DELLA MAP ALGEBRA

Ricapitolando, le variabili analizzate nei paragrafi precedenti, che riteniamo possano fornire indicazioni sulla localizzazione dei siti incerti, sono le seguenti: X_1 : intervisibilità; X_2 : distanza dal mare; X_3 : distanza dai fiumi; X_4 : distanza dai siti noti; X_5 : pendenza del suolo; X_6 : esposizione; X_7 : distanza dai siti incerti.

Per l'applicazione della tecnica della Map Algebra è necessario che tutte le variabili siano in formato raster. Mentre le variabili X_1 , X_5 e X_6 sono già per costruzione in questo formato, le altre variabili derivate dalla generazione dei buffer devono essere convertite in raster. Dopo tale conversione, tutti e sette i raster sono stati riclassificati, nel senso che sono stati attribuiti ai pixel i valori corrispondenti ai punteggi definiti nei paragrafi precedenti, secondo i criteri volta per volta illustrati. In tal modo otteniamo sette raster con valori che variano lungo la stessa scala, da 0 a 10. Mentre nella Fig. 4 abbiamo la variabile X_1 , nella Fig. 6 riportiamo le mappe raster delle variabili da X_2 a X_7 .

Tutte le variabili considerate assumono valori diversi per ogni pixel, cioè per ogni singola cella di territorio. Nella costruzione della mappa finale di plausibilità bisogna considerare per ogni cella un solo valore che deriva dai diversi raster, ovvero si deve utilizzare un modello che sintetizzi in un unico valore (rispetto ad un singolo pixel) i sette valori delle corrispondenti celle di ogni variabile.

Con la tecnica della Map Algebra è possibile integrare i valori di tali variabili, per ogni singolo pixel del territorio, in modo da ottenere un unico raster, che rappresenta una mappa di plausibilità di presenza dei siti non più visibili. L'integrazione dei raster può avvenire tramite varie tecniche, ma la più utilizzata in questi casi è sicuramente la combinazione lineare pesata o WLC (*Weighted Linear Combination*) il cui modello è il seguente:

$$P_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$$

dove $n = 7$ è il numero delle variabili in input, i è l'indice del pixel, x_{ij} indica il valore che la variabile j -esima assume nel pixel i -esimo, P_i il risultante valore di plausibilità nel pixel i -esimo e w_j sono i pesi della combinazione lineare, normalizzati in modo che la somma sia pari a 1. Nel linguaggio della Map Algebra questa tecnica rientra nella classe degli operatori locali.

Se i pesi sono tutti uguali a 1, allora il punteggio finale P_i sarà dato dalla semplice somma dei punteggi di ogni variabile, ma in genere pesi diversificati sono necessari perché le variabili considerate non possono contribuire tutte allo stesso modo nel fornire la plausibilità finale, cioè nel dare informazioni per la ricerca di un sito incerto. I pesi di norma vengono assegnati da uno o più esperti, con l'unica condizione che devono avere somma unitaria.

7. LA TECNICA PAIRWISE COMPARISON E LA MAPPA FINALE DI PLAUSIBILITÀ

Esistono numerose tecniche per assegnare dei pesi ad una combinazione lineare di variabili e, in genere, se si tiene conto del giudizio di esperti tali pesi riflettono l'importanza che l'esperto (o gli esperti) attribuisce ad ogni variabile.

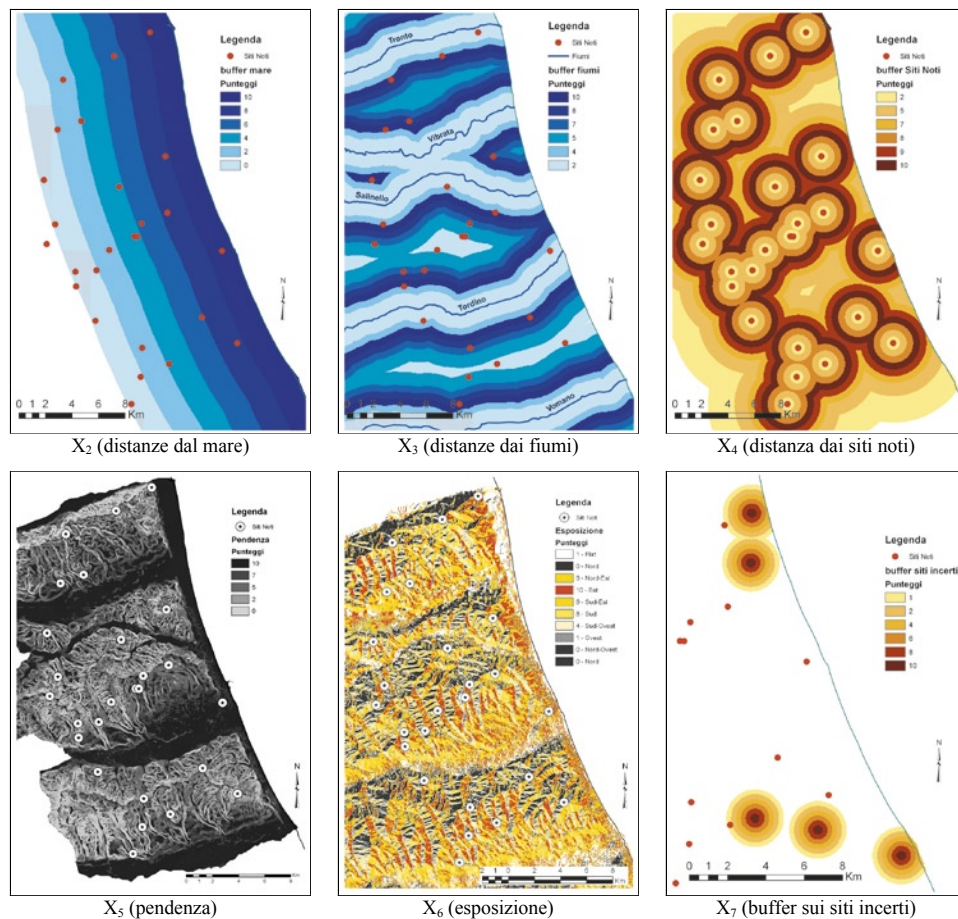


Fig. 6 – Mappe raster delle variabili da X₂ a X₇, con relativi punteggi .

La tecnica più semplice è quella del *ranking*, che si basa sulla creazione di un ordinamento delle variabili da parte dell'esperto e, definito l'ordinamento, è possibile derivare in vari modi i pesi. Un'altra tecnica consiste nell'assegnare dei valori di importanza all'interno di una scala predefinita (*rating*). Ad esempio, si possono dare valori da 0 a 100 così che se una variabile riceve valore 30 avrà peso 0,3.

Il problema delle tecniche precedenti è che quando le variabili sono molte è difficile creare un ordinamento tenendo conto di tutte contemporaneamente. Sarebbe invece più semplice per un esperto, date due sole variabili, stabilire quale risulta essere più importante, ed è da questa intuizione che

SAATY (1980) ha messo a punto la tecnica del confronto a coppie (*pairwise comparison*), nell'ambito dell'*analytic hierarchy process* (MALCZEWSKI 1999). La *pairwise comparison* rientra nelle tecniche di analisi multicriterio e si basa su una scala di punteggi, da 1 a 9, che esprimono l'importanza relativa della prima variabile rispetto alla seconda (Tab. 8). Per fare i confronti di tutte le possibili coppie di variabili i punteggi vengono organizzati in una tabella a doppia entrata (Tab. 9).

Per capire come si passa dalla matrice dei confronti a coppie al calcolo dei pesi facciamo un esempio, utilizzando le 7 variabili della nostra applicazione. La matrice che l'esperto deve compilare avrà 7 righe e 7 colonne, ma dato che si escludono i confronti di ogni variabile con se stessa (perché sono sempre uguali a 1) e dato che il confronto fra A e B è reciproco al confronto fra B e A, in totale dovranno essere assegnati solamente $n(n-1)/2$ elementi: nel nostro caso 21 valori. Tali valori prendono il nome di coefficienti di dominanza. Sulla base dello studio fatto, proponiamo i coefficienti riportati nella Tabella 9³.

Le matrici come questa sono sempre definite positive, ovvero ogni elemento è maggiore di zero ($m_{ij} > 0$) e, per costruzione, soddisfano la reciprocità, vale a dire $m_{ij} = 1/m_{ji}$. Il problema è che non è rispettata a pieno la proprietà della consistenza, che dipende dal sistema di preferenze date dall'esperto. La consistenza deriva essenzialmente dalla proprietà transitiva: $m_{ik} = m_{ij} m_{jk}$. Quando la matrice dei confronti a coppie è consistente, le colonne sono tutte proporzionali, per cui il rango della matrice è uno. Dunque si ha un solo autovalore diverso da zero e la traccia della matrice risulta uguale alla somma degli autovalori, vale a dire al numero delle righe.

Da questo consegue che il vettore dei pesi si ottiene calcolando l'autovettore associato all'autovalore massimo e normalizzandolo a somma uno. In ogni caso, se l'errore di consistenza è abbastanza piccolo, l'autovettore principale normalizzato fornisce una buona stima per il vettore dei pesi. Per valutare la consistenza della matrice dei confronti a coppie, si possono calcolare l'indice di consistenza (IC) e il rapporto di consistenza (RC):

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad RC = \frac{IC}{RI}$$

³ Ad esempio, il valore 6 nella seconda cella della prima riga significa che la variabile intervisibilità (X_1) è considerata "da molto a fortemente più importante" rispetto alla distanza dal mare (X_2). Oppure, l'ultimo valore della seconda riga - 1/7 - significa che la distanza dai siti incerti (X_7) è ritenuta "fortemente più importante" della distanza dal mare (X_2).

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

Tab. 8 – Scala di Saaty.

Variabili	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
X ₁	1	6	4	3	8	6	1
X ₂	1/6	1	1/2	1/2	4	3	1/7
X ₃	1/4	2	1	1	7	3	1/3
X ₄	1/3	2	1	1	8	6	1/3
X ₅	1/8	1/4	1/7	1/8	1	1/3	1/8
X ₆	1/6	1/3	1/3	1/6	3	1	1/6
X ₇	1	7	3	3	8	6	1

Tab. 9 – Matrice dei coefficienti di dominanza.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
0.3131	0.0674	0.1141	0.1368	0.0221	0.0397	0.3068

Tab. 10 – Vettore normalizzato dei pesi.

dove λ_{\max} è l'autovalore massimo, n è la dimensione della matrice e RI (*Random Index*) è la media degli indici di consistenza calcolati su un numero elevato di matrici casuali quadrate di dimensione n . Per una matrice perfettamente consistente si ha $IC=0$, ma in genere un valore del rapporto di consistenza inferiore a 0.10 è considerato accettabile. Nel nostro caso abbiamo ottenuto dei buoni indici, $IC=0.0612$ e $RC=0.0488$, che ci permettono quindi di applicare il metodo dell'autovettore.

L'autovalore massimo associato alla matrice dei confronti a coppie è $\lambda_{\max}=7.3674$, a cui corrisponde il vettore normalizzato di pesi della Tabella 10.

La somma dei punteggi, moltiplicata per i rispettivi pesi, fornisce un valore finale di plausibilità (P) per ogni pixel di territorio, secondo il modello seguente:

$$14 \cdot X_{i3} + 0.137 \cdot X_{i4} + 0.022 \cdot X_{i5} + 0.040 \cdot X_{i6} + 0.307 \cdot X_{i7}$$

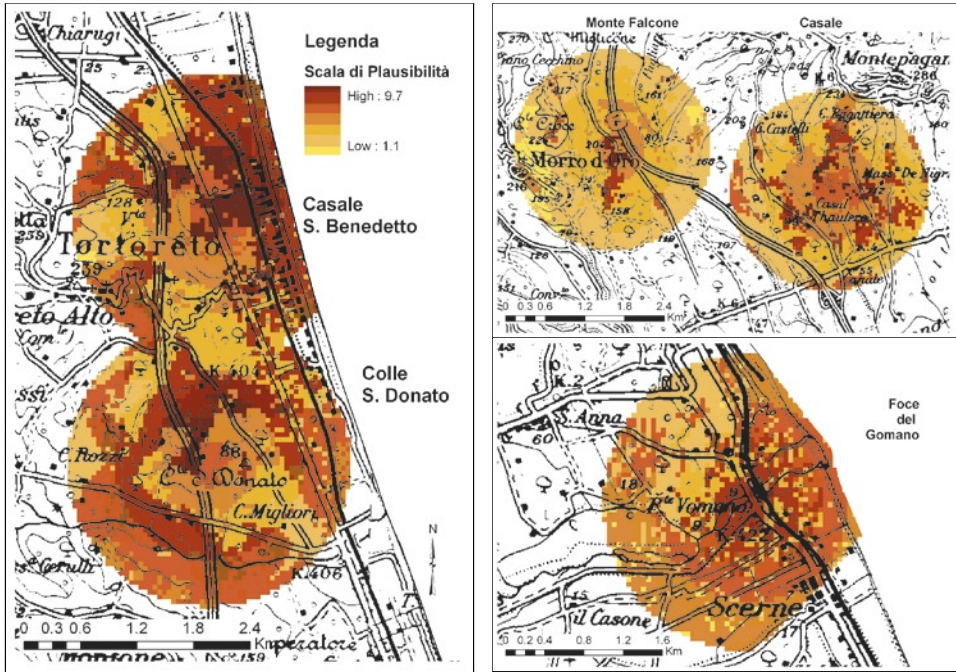


Fig. 7 – Mappe di plausibilità per i cinque siti incerti.

Quindi, la mappa finale avrà valori diversi di possibilità di esistenza di siti archeologici di dubbia localizzazione. Tale mappa si può rappresentare con una scala di colori, dal più scuro (maggiore plausibilità di presenza di un sito) al più chiaro (minore plausibilità di presenza di un sito). I risultati sono esposti in Fig. 7, in cui per comodità sono state raffigurate separatamente la zona nord, contenente Casale S. Benedetto e Colle S. Donato, la zona sud, con Monte Falcone e Casale, e il sito di Foce del Gomano.

Anche se in questa applicazione abbiamo descritto il caso in cui un singolo esperto assegna un vettore di pesi (di dimensione $1 \times n$) alle variabili, bisogna precisare che nell'ambito dell'analisi multicriterio è possibile altresì utilizzare un gruppo di esperti. In tal caso si possono seguire due strade (MALCZEWSKI 1999): o si apre un *focus group* per arrivare ad un accordo sui pesi da assegnare alle variabili (quindi si torna al caso di un singolo vettore di pesi) oppure ogni esperto fornirà un vettore di pesi diverso per cui, alla fine, si avrà una matrice di pesi (con k esperti tale matrice ha di dimensione $k \times n$). Se poi si possono attribuire dei pesi di importanza anche agli esperti, con un ulteriore prodotto fra la matrice finale dei punteggi e il vettore dei pesi riferito agli esperti si ottiene la mappa finale, con un unico valore per ogni pixel.

8. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le analisi spaziali utilizzate per la costruzione delle variabili inserite nell'analisi multicriterio devono essere viste come un importante momento esplorativo finalizzato allo studio del territorio, a prescindere dalla costruzione della mappa di plausibilità qui proposta. Il caricamento dei dati su un database geografico offre la possibilità di estrarre informazioni che con la sola ricognizione non sono rilevabili, come ad esempio l'intervisibilità o lo studio delle varie distanze.

Ciò premesso, l'uso di modelli multicriterio sembra essere un interessante strumento per sintetizzare tutti i dati raccolti ed elaborati. Nell'ottica dei problemi decisionali, abbiamo utilizzato le tecniche di definizione dei pesi che scaturiscono da giudizi di esperti, in modo da aggiungere un elemento soggettivo ai dati oggettivi scaturiti dalle elaborazioni. Ovviamente l'aspetto quali-quantitativo di questo approccio non si sostituisce ma integra l'approccio tradizionale alle fonti storiche, e vuole essere solo un supporto allo studio topografico e non un'alternativa ai metodi tradizionali di analisi.

Inoltre, la costruzione di una mappa di plausibilità diventa un valido esercizio per testare il modello proposto ma, allo stesso tempo, riteniamo sia un utile supporto per ulteriori studi e approfondimenti nell'ambito della ricerca dei siti ad oggi non localizzabili.

Infine, bisogna considerare che nel modello proposto è stata utilizzata una matrice di pesi unica per tutti i siti indagati, ma a un livello di analisi maggiore si può proporre una matrice di pesi separata per ogni sito incerto, in modo da dare diversa importanza alle variabili a seconda della localizzazione e delle caratteristiche del sito da studiare. Ad esempio, per quanto riguarda il caso della Foce del *Gomano* (che sembra avere proprietà portuali piuttosto che difensive) sarebbe utile applicare un modello a parte, con un sistema di pesi differente che tenga conto delle diverse caratteristiche di tale tipologia di sito.

SIMONE DI ZIO

Dipartimento di Metodi Quantitativi e Teoria Economica
Università "G. d'Annunzio" – Chieti-Pescara

DORA BERNABEI

BIBLIOGRAFIA

- ALFIERI N. 1949, *I fiumi adriatici delle regioni augustee V e VI*, «Athenaeum», 37, 122-141.
- ANSELIN L. 1999, *Interactive techniques and exploratory spatial data analysis*, in P.A. LONGLEY, M.F. GOODCHILD, D.J. MAGUIRE, D.W. RHIND (eds.), *Geographical Information System*, New York, John Wiley, 253-266.
- BEVAN A., FREDERICK C., KRAHTOPOULOU A. 2003, *A digital Mediterranean countryside: GIS approaches to the spatial structure of the post-medieval landscape on Kythera (Greece)*, «Archeologia e Calcolatori», 14, 217-236.

- BUONOCORE M., FIRPO G. 1998, *Fonti latine e greche per la storia dell'Abruzzo antico*, in *Documenti per la storia dell'Abruzzo*, Deputazione Abruzzese di Storia Patria, Vol. II, L'Aquila.
- CERULLI R. 1968, *Giulianova 1860*, Teramo, Abruzzo Oggi.
- CHAKHAR S., MARTEL J.M. 2003, *Enhancing Geographical Information Systems capabilities with multi-criteria evaluation functions*, «Journal of Geographic Information and Decision Analysis», 7, 2, 47-71.
- CUOZZO E. (ed.) 1984, *Catalogus Baronum, Commentario*, Fonti per la Storia d'Italia 101**, Roma, Istituto storico italiano per il Medio Evo.
- ELDRANDALY K., ELGIN N., SUI D. 2003, *A COM-based spatial decision support system for industrial site selection*, «Journal of Geographic Information and Decision Analysis», 7, 2, 72-92.
- FORTE M. 2002, *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, Roma, Mondo GIS.
- GETIS A., ORD J.K. 1992, *The analysis of spatial association by use of distance statistics*, «Geographical Analysis», 24, 189-206.
- JAMISON E. (ed.) 1972, *Catalogus Baronum*, Fonti per la Storia d'Italia 101, Roma, Istituto storico italiano per il Medio Evo.
- JOERIN F., MUSY A. 2000, *Land management with GIS and Multicriteria Analysis*, «International Transactions in Operational Research», 7, 67-78.
- LAARIBI A., CHEVALLIER J.J., MARTEL J.M. 1996, *A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach*, «Computational, Environmental and Urban Systems», 20, 6, 351-366.
- MALCZEWSKI J. 1999, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York, John Wiley.
- O'SULLIVAN D., UNWIN D.J. 2003, *Geographic Information Analysis*, New York, John Wiley.
- PECERE B. 2006, *Viewshed e Cost Surface Analyses per uno studio dei sistemi insediativi antichi: il caso della Daunia tra X e VI sec. a.C.*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 177-213.
- RAJALA U. 2004, *The landscapes of power: visibility, time and (dis)continuity in central Italy*, «Archeologia e Calcolatori», 15, 393-408.
- RONGAI L. 1985, *I sistemi difensivi e di controllo della costa teramana e dell'entroterra teramano*, in *Gli Acquaviva d'Aragona duchi di Atri e conti di S. Flaviano. Atti del Sesto Convegno*, Centro abruzzese di ricerche storiche, Teramo, 137-147.
- SAATY T.L. 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, New York, McGraw-Hill.
- STAFFA A.R. 2002, *L'Abruzzo costiero. Viabilità, insediamenti, strutture portuali ed assetto del territorio fra Antichità ed Alto Medioevo*, Lanciano, R. Carabba.

ABSTRACT

This paper aims to describe the settlement dynamics in the province of Teramo, in the Abruzzo region, along the coastal area between the Tronto and the Vomano rivers, in the Norman Age. Starting from the study of 26 sites, relevant to both towers and medieval fortifications, the objective is to construct a GIS probability map for the presence of five other sites that are mentioned in various historic documents but have now disappeared.

Analysing some variables linked to the territory and exploiting the spatial distributions of the existing sites, in particular in relation to the sea and the rivers, it is possible to obtain useful data for prediction. More precisely we have considered: 1) the viewshed analysis, 2) the distances from the sea, 3) the distances from the rivers, 4) the distances among the existing sites, 5) the slope, 6) the aspect and 7) the distance from the toponym of the uncertain locations. Linear combination of the raster representing these variables lead to a final map, which contains different values of plausibility related to the presence of a dubious site. The weights of the linear combination are provided by an expert using the pairwise comparison technique, through a multicriteria approach.

