

# Integrazione tra GIS e approcci multicriteria per l'individuazione del sito di una struttura ospedaliera

Caterina Caprioli<sup>(a)</sup>, Marta C. Bottero<sup>(a)</sup>, Paola Guerreschi<sup>(a)</sup>, Franco Vico<sup>(a)</sup>

(<sup>a</sup>) Dip. DIST, Politecnico di Torino e Università degli Studi di Torino, Viale Mattioli 39, Torino, [caterina.caprioli@gmail.com](mailto:caterina.caprioli@gmail.com), [marta.bottero@polito.it](mailto:marta.bottero@polito.it), [paola.guerreschi@unito.it](mailto:paola.guerreschi@unito.it), [franco.vico@polito.it](mailto:franco.vico@polito.it)

## Riassunto

Il presente testo illustra il contributo fornito dai *Multicriteria-Spatial Decision Support Systems* (MC-SDSS) nella risoluzione di problemi complessi di natura territoriale e urbana. Il metodo nasce dall'integrazione dei *Geographic Information Systems* (GIS) e le tecniche *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), la cui combinazione determina l'introduzione dell'esplicita considerazione della dimensione spaziale dei problemi decisionali.

In modo particolare si intende evidenziare il ruolo svolto dallo strumento GIS nella risoluzione del problema localizzativo del progetto ospedaliero "Parco della Salute" per la Città Metropolitana di Torino.

## Abstract

The present paper explains the importance of the Multicriteria-Spatial Decision Support Systems (MC-SDSS) for supporting decision processes of territorial and urban complex problems. This method is provided by the contribution of Geographic Information Systems (GIS) and multicriteria analysis (MCDA): their integration introduces the explicit presence of a spatial component in decision-making processes.

The study underlines the role played by GIS in the choice of the most suitable area for the hospital project "Parco della Salute" of Turin.

## Introduzione

Nella struttura urbana di una città la realizzazione di un nuovo polo ospedaliero, soggetto dell'indagine di questa ricerca, ha un ruolo strategico sia per la funzione pubblica e sociale che esso riveste sia per le ricadute a livello territoriale. Al tempo stesso l'analisi di molti dei più recenti progetti in campo sanitario ha messo in evidenza una reale criticità, quella della rapidissima obsolescenza che caratterizza gli organismi ospedalieri contemporanei e la conseguente necessità di rendere flessibili le strutture e le aree che le conterranno.

La selezione di un sito appropriato a ospitare un nuovo polo ospedaliero, quindi, può essere considerato come un problema altamente complesso in cui la potenzialità della localizzazione si unisce ad altri fattori da quelli normativi a quelli tecnici, da quelli sociali a quelli ambientali. Pertanto di fronte a simili interventi urbani diviene sempre più rilevante l'impiego e lo sviluppo di approcci integrati in grado di fornire validi supporti alla formulazione di pareri

dei diversi attori chiamati al processo decisionale. Nel corrente dibattito sulla risoluzione di problemi spaziali complessi, come quello che ci troviamo ad affrontare, i *Multicriteria-Spatial Decision Support Systems* (MC-SDSS) (Malczewski, 1999) hanno assunto sempre più rilevanza. Questo approccio nasce dall'integrazione dei *Geographic Information Systems* (GIS) e le tecniche *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA). Alla base dei MC-SDSS vi è la volontà e necessità di raccogliere metodi e applicazioni in grado trasformare e integrare dati geografici (tematizzazione di tutti i criteri) con le preferenze e/o le incertezze (ossia i giudizi di valore) del decisore, in modo tale da ottenere informazioni utili per la valutazione e per le alternative decisionali.

Il presente testo illustra l'integrazione tra la tecnica multicriteria, *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) (Zadeh, 1965), e gli strumenti GIS, per lo sviluppo di un modello MC-SDSS per il nuovo polo ospedaliero per la Città Metropolitana di Torino.

Tale sperimentazione è definibile innovativa perché se a livello internazionale pochi sono i casi di applicazione di queste due tecniche nel settore ospedaliero, in ambito nazionale essa rappresenta oggettivamente il primo tentativo.

Si è creato quindi un modello ripetibile in grado di supportare i decisori nell'individuazione dell'area ottimale per la localizzazione del nuovo polo ospedaliero e, al tempo stesso, poiché in questi anni sono state promosse diverse alternative localizzative, si è formulato un giudizio per stabilire quale tra esse rappresenti l'ipotesi più convincente. Infine, con i risultati ottenuti è stato possibile sollevare interessanti riflessioni sui diversi scenari di trasformazione e miglioramento delle suddette aree.

### Approccio Metodologico

Gli MC-SDSS rappresentano dei modelli in grado di identificare e comparare soluzioni rispetto a una problematica spaziale attraverso la combinazione di diversi fattori visualizzati attraverso mappe tematiche. Questo percorso che, dagli indicatori espressi attraverso dati geo-riferiti conduce fino all'identificazione della soluzione, si compone in realtà di diversi momenti che hanno lo scopo di dividere il problema decisionale in parti più piccole che vengono prima analizzate singolarmente, poi integrate in uno schema logico complessivo. In particolare, seguendo il modello proposto da Simon (1960) è possibile individuare tre fasi principali di strutturazione del modello: *the intelligence*, *the design* e *the choice phase*; a queste si aggiunge una fase di *review* in cui si verifica la robustezza del modello e si confrontano i risultati (vedi Tab.1).

<b>INTELLIGENCE</b>	<b>DESIGN</b>	<b>CHOICE</b>	<b>REVIEW</b>
Strutturazione del problema decisionale	Normalizzazione	Aggregazione dei risultati	Analisi di sensitività
Acquisizione dei dati	Pesatura (confronto a coppie)		Risultati e raccomandazioni
Processing dei dati			

Tabella 1 - Le fasi del processo decisionale

### **a. Fase di *Intelligence***

La fase di *intelligence* ha lo scopo di approfondire l'ambito di analisi individuando problematiche e opportunità da considerare nel processo decisionale. Al tempo stesso costituisce il primo momento in cui analisi multicriteria e GIS si trovano a collaborare. In prima istanza viene specificato l'obiettivo che costituisce un momento cruciale per chiarire l'orientamento dell'analisi e con esso si definiscono i criteri e sotto-criteri di valutazione. Quest'ultimi rappresentano uno *standard* di giudizio o una regola per testare la desiderabilità delle alternative decisionali, costituendo di fatto lo strumento attraverso il quale è possibile confrontare tra di loro le alternative rispetto all'obiettivo prefissato. Di conseguenza la scelta dei sotto-criteri è di fondamentale importanza, in quanto dovrà tenere conto di tutti gli aspetti che concorrono alla definizione della soluzione ottimale. Nella presente applicazione la consultazione della bibliografia scientifica sulle tematiche localizzative ospedaliere e delle normative sulla progettazione di nuove strutture sanitarie ha portato alla selezione di 25 indicatori (o sotto-criteri) raggruppati poi in 4 famiglie di criteri (1. Caratteristiche dell'area, 2. Sistema dell'accessibilità, 3. Aspetti ambientali, 4. Aspetti sociali).

Come accennato in fase introduttiva ogni sotto-criterio deve diventare operabile, ossia descritto e misurato da indicatori generati da dati esistenti: in particolare per il presente caso studio si sono impiegati unicamente *open data* in modo tale da rendere possibile la replicabilità dell'intero processo decisionale. A questo aspetto si aggiunge il fatto che è tanto ragionevole quanto mandatorio trovare il giusto compromesso tra precisione, tempi e costi di lavoro. Se l'impiego di dati disponibili in rete riduce i tempi di osservazione e rilievo dei fenomeni, dato il gran numero di indicatori considerati, è pur vero che non sempre è possibile trovare dati adatti a descrivere ciascun fenomeno o peggio aggiornati al momento dell'analisi. Si è tentato in ogni caso di consultare quanti più Geoportali possibili da quelli realizzati dagli enti pubblici (Geoportale della Regione Piemonte, del Comune di Torino, della Provincia di Torino, dell'Arpa Piemonte, dell'Istat e del Miur) a quelli che passano sotto il nome di *volunteered geographic information (Open Street Map)* perché il fenomeno fosse rappresentato nella maniera più accurata.

Una volta che i dati sono stati acquisiti e sono stati tutti riportati allo stesso sistema di riferimento in WGS84 UTM 32N, vengono eseguite le vere e proprie analisi spaziali. Quest'ultime sono state realizzate in ambiente *raster* consentendo così l'attenuazione del problema della dipendenza areale dei dati. Infatti, la possibilità di ricondurre tutti i fenomeni e le analisi realizzate su di essi ad una griglia uguale in forma e dimensione (10x10m) consente di eliminare il problema delle informazioni riferite a livelli territoriali differenti, (sezioni di censimento, area comunale, regione etc.). Il GIS mette a disposizione diversi strumenti per realizzare analisi spaziali: in questo studio se ne sono utilizzati due contenuti nel modulo *Spatial Analyst* di ArcGIS (ESRI): la *Kernel Density* e l'*Euclidean Distance*. Il primo evidenzia l'intensità di un fenomeno associato ad un generico punto: in particolare la funzione implementata distribuisce il valore noto riferito ad un punto su un'area circolare. La densità è tanto maggiore quanto si è in prossimità del punto e diminuisce avvicinandosi all'estremità del raggio impostato. Il secondo invece

rappresenta la distanza tra due punti, ossia la misura del segmento avente per estremi i suddetti vertici. Poiché questo strumento lavora in ambiente *raster*, la distanza viene calcolata dal centro contenente l'elemento considerato alle altre celle comprese nella distanza massima definita. L'algoritmo permette di definire per ciascuna cella la distanza dalla cella d'origine attraverso il calcolo dell'ipotenusa a partire dai lati del triangolo ( $x_{max}$  e  $y_{max}$ ).

A questo punto ogni indicatore è rappresentato da una mappa *raster* che descrive la distribuzione di un particolare fenomeno sul territorio: nelle immagini seguenti viene riportato a titolo di esempio l'indicatore relativo alla alle fermate del trasporto pubblico. La Figura 1 mostra la distribuzione di fermate all'interno dell'area di analisi: il dato originariamente in formato *.kml* è stato convertito in *shapefile* e adeguato al sistema di riferimento. La Figura 2 riporta l'analisi spaziale eseguita con lo strumento della *Kernel Density*: quest'ultima valuta la densità di fermate all'interno di un raggio pari a 500 m.

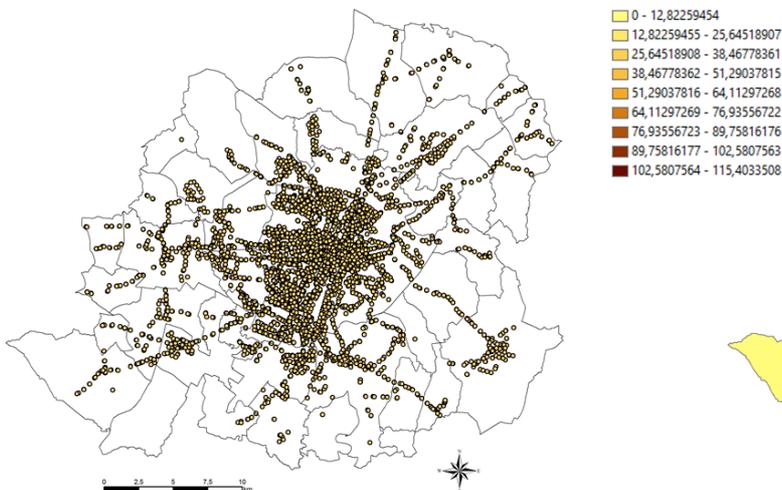


Figura 1 - Mappa ottenuta dalle prime elaborazioni sul dato

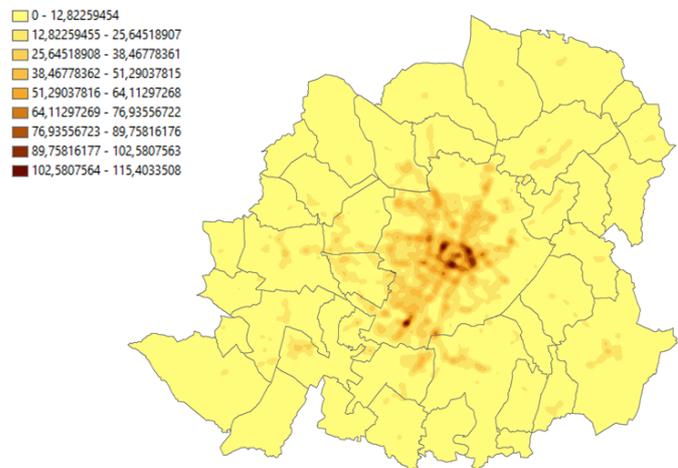


Figura 2 - Rappresentazione della Kernel Density

## b. Fase di Design

La fase di *design* si compone di due momenti: quello della normalizzazione e quello della pesatura. La normalizzazione ha lo scopo di ricondurre tutti gli indicatori ad un'unica scala di misura, dal momento che non sempre sono confrontabili tra di loro: si pensi a valori di distanza e quelli di densità o alle tipologie di usi del suolo. Per semplicità si è impiegata per tutti gli indicatori una trasformazione di tipo lineare rispetto al valore minimo e massimo della mappa  $(x-x_{min})/(x_{max}-x_{min})$ , in questo modo ciascun attributo è stato ricondotto ad una scala che varia tra 0 e 1. In ambiente GIS questo tipo di operazione è stata eseguita grazie all'utilizzo dello strumento della *Map Algebra*, anch'esso come *Kernel Density* ed *Euclidean Distance* contenuto nel modulo *Spatial Analyst*. In Figura 3 si riporta la mappa ottenuta a seguito della normalizzazione e un ingrandimento della stessa per evidenziare la distribuzione ottenuta in ambiente *raster*.

La pesatura permette invece di assegnare un peso a ciascun criterio rispetto alle preferenze espresse dai decisori e così verificare la desiderabilità delle alternative decisionali. È inevitabile che in questa fase emerga la soggettività di chi ne assegna il punteggio: per questa ragione è opportuno affidarsi, come nel nostro caso, al giudizio di esperti e, se possibile, al maggior numero di essi,

così da ridurre l'aleatorietà del responso. In questo caso il contributo maggiore è fornito dall'analisi MCDA e la tecnica scelta per la definizione del peso (nello specifico la *Fuzzy AHP*).

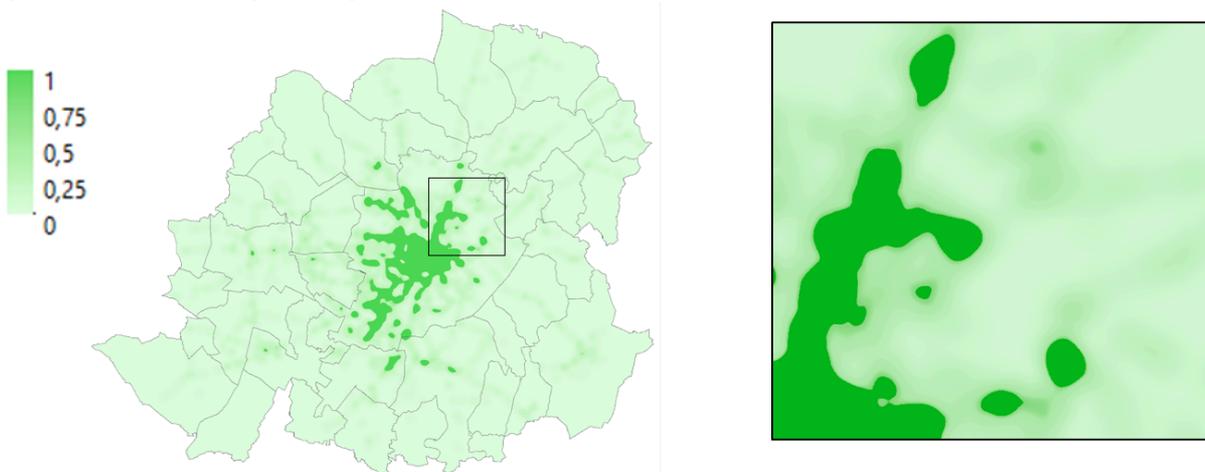


Figura 3 - Mappa e suo ingrandimento rispetto alla densità di fermate del trasporto pubblico locale a seguito della normalizzazione

### c. Fase di *Choice* e Fase di *Review*

Nella fase di *choice* viene generata, per ogni gruppo di criteri, una mappa di idoneità o *suitability map* intermedia, che deriva dalla somma di tutti gli indicatori della medesima classe (Figura 4, 5, 6, 7) rispetto al peso assegnato dagli esperti. A partire da questi sotto-criteri, attraverso l'utilizzo della *Map Algebra*, si sono create rispettivamente una mappa di *suitability* intermedia per le caratteristiche dell'area (Figura 8), una per il sistema di accessibilità (Figura 9), una per gli aspetti ambientali (Figura 10) e una per quelli sociali (Figura 11). Per poter visualizzare però le aree idonee ad ospitare la nuova struttura ospedaliera e contestualmente verificare le mancanze e le potenzialità di determinate aree, è necessario che le mappe precedentemente create vengano a loro volta sommate rispetto al peso assegnato loro nella fase precedente. L'aggregazione delle quattro mappe intermedie genera la mappa finale di *suitability* (Figura 12, con relativo ingrandimento in Figura 13). Questa è il risultato dell'utilizzo di espressioni logiche e matematiche, presenti nella *Map Algebra*, che consentono la somma di livelli diversificati (precedentemente rasterizzati e normalizzati, ossia ricondotti alla stessa scala di valori, come descritto nella fase di *design*).

Si potrebbe pensare che una volta ottenuta questa mappa finale l'obiettivo si sia raggiunto, ma poiché alcuni momenti dell'analisi si sono caratterizzati per scelte soggettive (si pensi per esempio alla selezione stessa degli indicatori, alle funzioni di normalizzazione utilizzate o ancora alle tecniche di assegnazione dei pesi) si introduce una fase di *review* caratterizzata dal confronto dei risultati della mappa di *suitability* con quelli dell'analisi di sensitività. Quest'ultima permette di fornire maggior trasparenza e validità alla graduatoria di preferibilità finale, mettendo in discussione tutti i momenti di incertezza che hanno caratterizzato il processo valutativo, in modo da assicurare l'affidabilità e la robustezza del modello decisionale. L'analisi di sensitività si può realizzare in diverse maniere e su diversi momenti di

incertezza del processo decisionale: nel nostro caso specifico si è attuata sulla fase di pesatura, andando a variare i pesi dati a ciascun indicatore e verificando la variazione del modello. Anche in questo caso lo strumento adeguato a svolgere questo ruolo in ambiente GIS è sempre la *Map Algebra*.

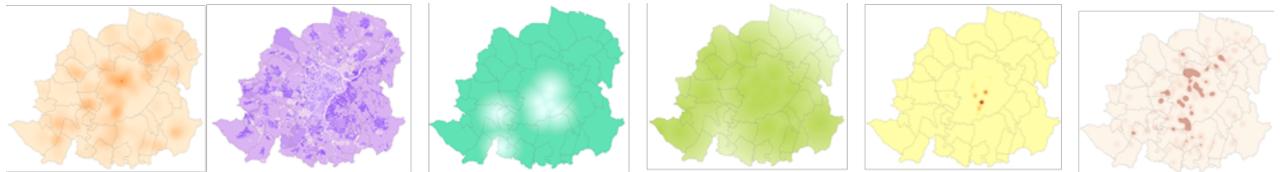


Figura 4 - Mappe normalizzate dei sotto-criteri sulle caratteristiche dell'area

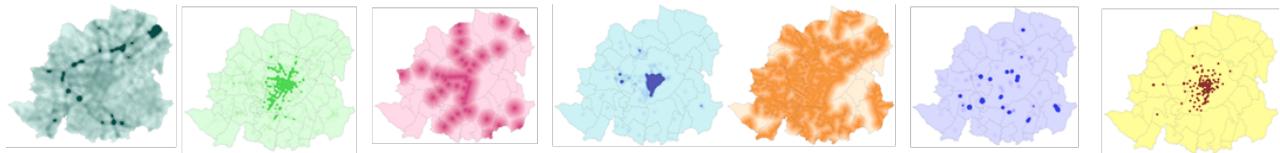


Figura 5 - Mappe normalizzate dei sotto-criteri di accessibilità

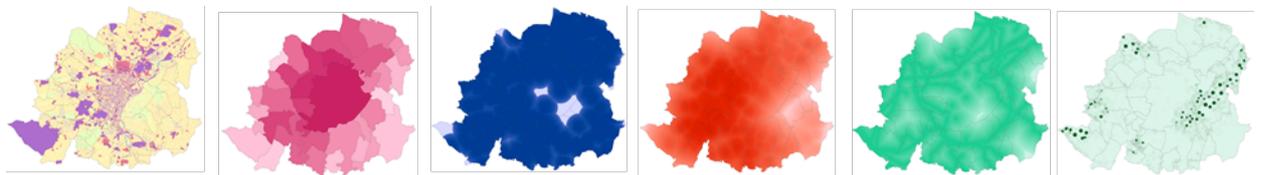


Figura 6 - Mappe normalizzate dei sotto-criteri ambientali

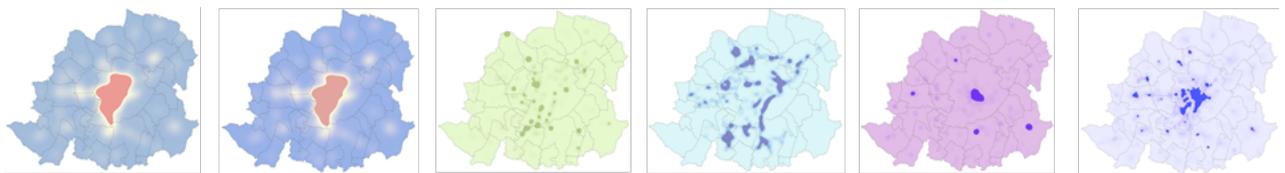


Figura 7 - Mappe normalizzate dei sotto-criteri sociali

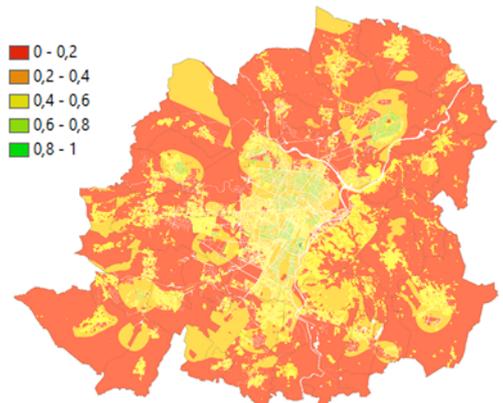


Figura 8 - Mappa di suitability intermedia per le caratteristiche dell'area

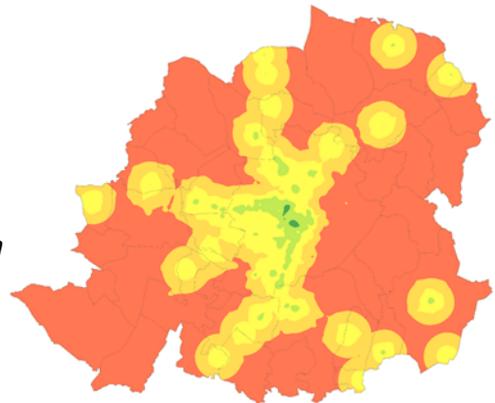


Figura 9 - Mappa di suitability intermedia per il sistema di accessibilità

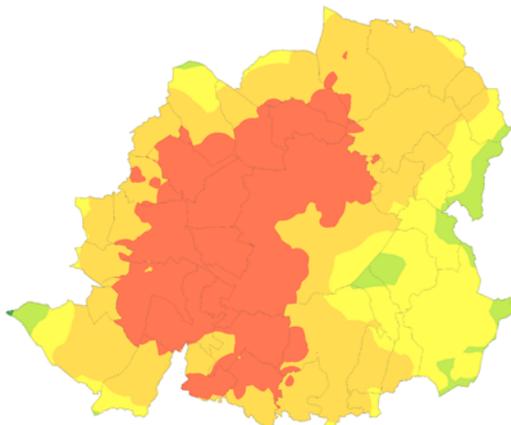


Figura 10 - Mappa di suitability intermedia per gli aspetti ambientali

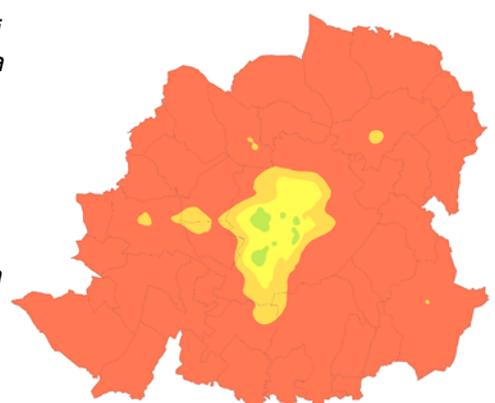


Figura 11 - Mappa di suitability intermedia per gli aspetti sociali

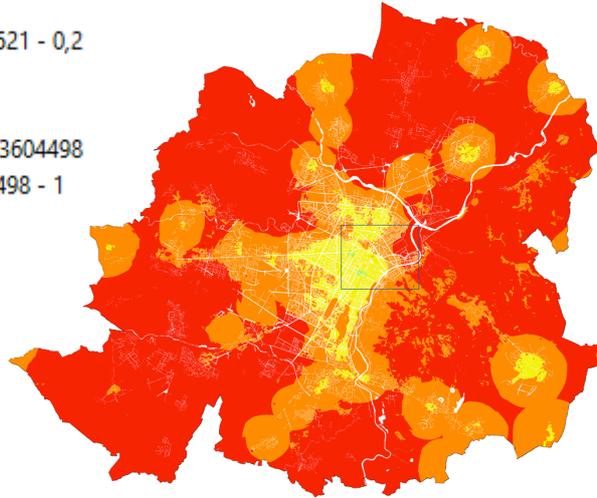
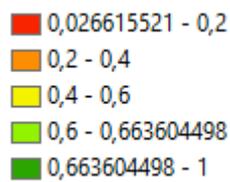


Figura 12 - Mappa finale di suitability

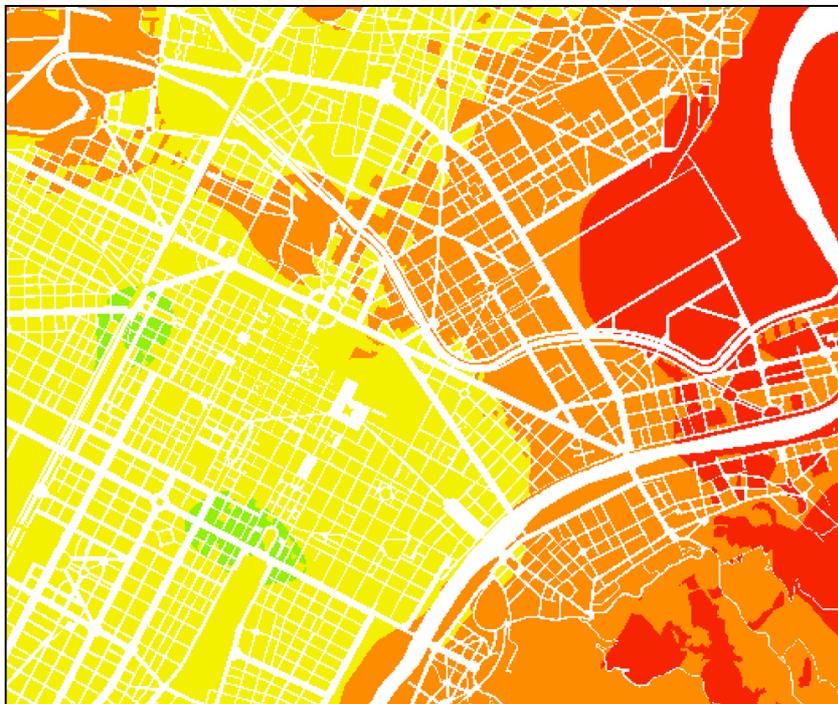


Figura 13 - Ingrandimento della mappa finale di suitability

### Riflessioni critiche e possibili implementazioni all'analisi

Osservando l'intero quadro di analisi poc'anzi descritto due sono le considerazioni principali.

In primis è doveroso sottolineare che nel panorama attuale i *Multicriteria-Spatial Decision Support Systems* sembrano essere la risposta più convincente nella risoluzione di problematiche urbane e territoriali, in cui il livello di complessità va di pari passo con l'avanzamento tecnologico-culturale e con la richiesta di *standard* di sostenibilità sempre più alti. La potenzialità del MC-SDSS deriva proprio dalla collaborazione tra GIS e analisi MCDA: quest'ultime offrono un supporto efficiente ed efficace alla modellazione dei problemi complessi, scomponendoli in unità più semplici, i sistemi informativi geografici invece rappresentano un potente strumento di gestione e analisi spaziali di dati geo-riferiti.

In secondo luogo è necessario evidenziare che uno strumento valutativo non dà una risposta netta e inconfutabile rispetto ad un problema e così i software e gli strumenti matematici non possono sostituire il ruolo del decisore. Essi piuttosto rappresentano un aiuto nella strutturazione dell'analisi, generando una maggiore consapevolezza rispetto all'ambito di approfondimento e una trasparenza e ri-percorribilità del processo decisionale. I risultati poi vanno sempre interpretati e compresi alla luce delle scelte fatte in ogni fase dell'analisi.

Nell'ottica di implementazione del processo decisionale invece risulta particolarmente vantaggiosa la possibilità di un'automazione di alcuni *step* metodologici: si pensi per esempio all'analisi di sensitività e alla possibilità di realizzare una variazione dei pesi nell'ambito di un dibattito decisionale con più attori coinvolti. In linea generale infatti realizzare attraverso il GIS un'automazione del processo decisionale migliora sia la consapevolezza e il coinvolgimento di diversi attori sia consente implementazioni e aggiornamenti del modello. Questa potenzialità è garantita dall'uso in ambiente GIS del *Model Builder*, ossia un linguaggio di programmazione visuale che consente la costruzione di flussi di lavoro di geo-processamento: in particolare il modello viene rappresentato come un diagramma che collega sequenze di processi e strumenti di *geoprocessing*, utilizzando l'output di un processo come input di un altro processo. In questo modo non solo è possibile visualizzare le sequenze che compongono il flusso di lavoro ma anche aggiornare l'intero modello al variare di singole parti di esso.

## **Bibliografia**

- Ferretti V., Bottero M., Mondini G. (2015), *A Spatial Decision Tool to Study Risks and Opportunities of Complex Environmental Systems*, Journal of Environmental Accounting and Management, 3(2): 192-212
- Capolongo S. (2012), *Architecture for flexibility in healthcare*, FRANCOANGELI, Milano
- Demetrio V., Guerreschi P. (2012), *Analisi statistica e analisi spaziale nello studio delle performance d'impresa: il caso della Provincia di Cuneo*, Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia
- Geneletti D. (2010), *Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites*, Waste Management, 30(2): 328-337
- Chang N.-B., Parvathinathan G., Breedenc J.B. (2008), *Combining GIS with fuzzy multicriteria decision making for landfill siting in a fast growing urban region*, Journal of Environmental Management., 87(1):139-153
- Malczewski J. (2006), *GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature*, International Journal of Geographical Information Science, 20(7): 703-726
- Malczewski J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, New York
- Hwang C. L., Yoon K. (1981), *Multiple attributes decision making methods and applications*, Springer, Berlin
- Saaty T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York