

LA VISUALIZZAZIONE SPAZIALE DELLE ANALISI MULTI-CRITERIA:
UN CASO APPLICATIVO NEL PROCESSO DECISIONALE

Isabella M. LAMI¹, Elena MASALA², Stefano PENSA³

SOMMARIO

La ricerca descritta in questo articolo tratta dell'integrazione tra analisi multicriteria per valutazioni alla scala territoriale con tecnologie di modellazione e visualizzazione interattive al fine di ottenere uno strumento capace di supportare i processi di pianificazione e *decision-making*. In particolare, lo studio proposto si inserisce all'interno di una letteratura tematica che vede nella geovisualizzazione uno dei possibili strumenti di comunicazione del dato riferito al territorio. Partendo da tecnologie GIS (Geographic Information System) e incrociandole con pesi e attributi derivati dalle analisi multicriteria, con il sistema di modellazione e visualizzazione qui descritto si ottengono difatti mappe dinamiche ed interattive che possono guidare visivamente i decisori nella comprensione delle relazioni di causa ed effetto che regolano le trasformazioni del territorio.

Questo sistema è stato applicato nello studio del progetto europeo CoDe24, evidenziando la sua efficacia e versatilità nel valutare le differenze tra differenti aree e migliorando la discussione tra gli esperti durante i workshop e i focus group.

1 DICAS, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: isabella.lami@polito.it.

2 DICAS, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: elena.masala@polito.it.

3 DIPRADI, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: stefano.pensa@polito.it.

1 Introduzione

L'evoluzione del processo decisionale relativo alle trasformazioni urbane e territoriali ha stimolato negli ultimi anni lo sviluppo di nuovi studi sul rapporto tra strumenti di analisi e metodi di partecipazione. Difatti, il processo decisionale in questo ambito è reso sempre più complesso dalla necessità di far fronte alla maggiore eterogeneità di pubblico, interessi e risorse. La necessità che ne deriva è quella di rendere tale processo il più democratico e trasparente possibile, per affrontare i problemi di rapido cambiamento e legittimità sociale.

Alcune tecnologie informative possono migliorare molte delle questioni inerenti la comunicazione e la condivisione delle informazioni, permettendo in tal modo una migliore conoscenza del territorio (Andrienko *et al.*, 2007; Van de Brink *et al.*, 2007).

Nella letteratura tematica sulle valutazioni territoriali è generalmente condiviso l'utilizzo delle Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) come supporto efficace ai problemi decisionali. Le MCDA sono utilizzate per produrre valutazioni comparative di progetti alternativi o misure eterogenee (Roy and Bouyssou, 1993; Figueira *et al.*, 2005). Questi metodi permettono di considerare, all'interno di una situazione complessa, diversi criteri contemporaneamente e di aiutare i decisori ad integrare e confrontare le differenti opzioni.

Le MCDA sono generalmente utilizzate per supportare i processi decisionali e pianificatori, ma la condivisione delle informazioni, molto spesso, risulta limitata da due fattori. Prima di tutto molti utenti mostrano difficoltà nella lettura dei dati, in particolare quando questi dati sono costituiti da tabelle, matrici o database. In seconda istanza, la partecipazione di molti attori implica anche la compresenza di differenti discipline, conoscenze, interessi e, soprattutto, di diversi linguaggi.

Il lavoro illustra una ricerca in corso che tenta di superare i limiti sopra evidenziati attraverso l'integrazione di una metodologia MCDA di natura compensatoria (Analytic Network Process, Saaty, 2005, Saaty T. L., Vargas L. G., 2006) con sistemi di visualizzazione di dati spaziali (Lami, *et al.*, 2011). In questo senso si utilizzano alcune tecniche di visualizzazione informatica al fine di creare una grammatica comune tra gli attori partecipanti al processo decisionale e predisporre in tal modo le basi per alimentare la discussione. Attraverso sistemi interattivi di visualizzazione dei dati, le MCDA possono quindi trovare un valido supporto nella valutazione di opzioni alternative, fornendo un sostanziale strumento per condividere le informazioni fra i diversi attori (Van den Brink *et al.*, 2007; MacEachren *et al.*, 2004).

Si è scelto di affiancare alle MCDA un modello spaziale costruito con il software "Rhinoceros" della McNeel's Inc., che è un software di grafica tri-dimensionale, già esistente e molto utilizzato nella modellazione spaziale. Rhinoceros non è un software nato per supportare l'interazione fra diversi attori, né creato come visualizzatore di analisi spaziale, ma con una opportuna programmazione permette di visualizzare in tempo reale gli effetti spaziali

di alcune scelte pianificatorie. Attraverso l'implementazione con il plug-in "Grasshopper" e script in Visual Basic, il sistema costruito in Rhinoceros può correlare con formule matematiche, anche piuttosto complesse, i dati quantitativi e qualitativi con il loro effetto sulla forma del territorio. Ciascun elemento progettuale viene immesso in una struttura in cui vengono esplicitate relazioni e gerarchie fra tutti gli oggetti, assumendo in tal modo un comportamento dipendente da un disegno deciso a priori. Su questa struttura di base, i diversi attori possono modificare alcune variabili del disegno assegnando a ciascuna relazione un peso diverso e visualizzare pertanto gli effetti delle proprie scelte sul comportamento del modello nello spazio.

L'output del sistema è costituito sia da mappe bi-dimensionali che da modelli tri-dimensionali, entrambi di tipo dinamico, che possono raffigurare diverse tipologie di dati. Il sistema può inoltre avere differenti usi. Si parte dalla più generica analisi spaziale per passare alla valutazione delle scelte prese durante i processi di *decision-making*, ma può essere utilizzato anche per geo-refenziare dati che non hanno una propria forma spaziale (attraverso le tecniche di *info-visualization*) ed evidenziare la localizzazione di alcune caratteristiche (attraverso metodi di *data mining*).

Queste particolarità nella visualizzazione dei modelli permettono di utilizzare il nuovo sistema di valutazione e visualizzazione anche durante riunioni o workshop, consentendo un supporto visivo, pertanto anche più intuitivo, alle discussioni e valutazioni, combinando dati numerici con dati di natura qualitativa e mostrando gli effetti sulle decisioni direttamente sulla forma spaziale.

La ricerca qui descritta è stata utilizzata nel corso di un workshop sperimentale presso l'ETH di Zurigo sulle trasformazioni territoriali di un tratto svizzero del Corridoio 24, Genova-Rotterdam, parte di un Interreg IVB NEW Project, chiamato "Code24", che coinvolge 15 partner da 5 diverse nazioni per 4 anni (2010 – 2013).

L'obiettivo dell'applicazione dell'ANP riguarda la classificazione di tre scenari di sviluppo riguardanti l'area di Bellinzona; in vista dei tre workshop che avranno luogo nel 2012 con stakeholders effettivamente dotati di un ruolo attivo nel processo decisionale.

Nei paragrafi seguenti verrà fornito un inquadramento delle principali tecniche di visualizzazione dati e illustrata l'integrazione tra ANP e il sistema di generazione di mappe dinamiche sia in termini teorici, sia attraverso l'applicazione al caso studio.

2 Tecniche di visualizzazione dati

L'integrazione fra i sistemi di valutazione multicriteria e le tecnologie GIS (Geographic Information System) è un tema di ricerca in discussione oramai da più di venti anni (Malczewski, 2006). Già nel 1988 Diamond e Wright affrontano l'argomento aprendo le porte ad un filone che attualmente rientra nel panorama internazionale di diverse discipline. Difatti,

sia la valutazione multicriteria che le tecnologie GIS hanno avuto in questi anni un grande sviluppo, generando al loro interno diversi ambiti di ricerca relativi a specifiche metodologie di approccio ai fenomeni reali.

L'integrazione fra GIS e MCDA non viene solo dalla opportunità di basare le valutazioni su dati largamente utilizzati nella descrizione del territorio come i dati GIS, ma anche dalla necessità di visualizzare questi dati (Rinner, 2006; Lidouh *et al.*, 2009). Infatti, molti dati sono di tipo spaziale o possono essere ricondotti ad una localizzazione spaziale e pertanto distribuiti su una mappa.

Tra i numerosi esempi di applicazione che la letteratura tematica ci propone, la visualizzazione dei dati provenienti da elaborazioni GIS ed affini si basa per lo più su sistemi di modellazione generativa (Lammeren *et al.*, 2008), ovvero strumenti che producono automaticamente dei modelli 3D a partire da database e librerie di modelli o tipologie di estrusione, attraverso l'assegnazione di attributi morfologici a specifici elementi contenuti dei database di partenza. Tra questi strumenti, si possono ricordare alcuni strumenti di pianificazione territoriale come "Community Viz" (Orton Family Foundation and Placeways, LLC), e "Metroquest" (Envision Sustainability Tools Inc.).

Guardando alle tecnologie che lavorano alla scala territoriale, si trovano diversi sistemi di visualizzazione a supporto della pianificazione, ma non con le caratteristiche proprie della modellazione parametrica. Molti strumenti sono orientati a fornire una pre-figurazione di forma (Masala *et al.*, 2005), accentuando il lato più estetico della simulazione territoriale e, di fatto, tralasciando l'aspetto più tecnico-scientifico che relaziona i dati di input con un determinato tipo di output. Pertanto in questi software, la generazione delle forme produce immagini che poco contribuiscono alla lettura dei dati, mantenendo il sistema di simulazione racchiuso all'interno di una scatola nera (Latour, 1987). I modelli spaziali che ne derivano risultano un patchwork creato sulla base di librerie di modelli (assegnazione di icone 3D a una maglia di punti in base ad 1 o 2 parametri specifici) o all'estrusione di *shapefiles* o a modelli generati direttamente in ambienti GIS, come ESRI ArcMap.

La vastità della scala di applicazione è tale per cui molti di questi software non gestiscono le quantità di dati da processare. Inoltre i parametri attribuibili sono discreti e molto spesso non possono essere modificati direttamente dall'utente finale; ci sono sistemi che permettono all'utente finale di modificare i parametri interattivamente, ma sempre all'interno di modelli generati da scatole nere che non permettono di valutare effettivamente le relazioni di causa ed effetto che regolano le trasformazioni di un territorio.

Nel panorama internazionale si possono trovare numerose applicazioni di sistemi generativi, che relazionano i modelli spaziali tridimensionali con database di diversa entità; anche perché le ultime versioni di ArcMap della ESRI permettono attraverso semplici comandi di generare questo tipo di prodotti. Pertanto la presentazione degli esiti derivati dalle analisi territoriali risulta di facile accessibilità anche per coloro che non si occupano di visualizzazione. Cosa

diversa risulta l'esplorazione dei dati. Solo attraverso un sistema interattivo, che permetta al singolo utente di gestire e di analizzare contemporaneamente i dati e la loro visualizzazione, è possibile ottenere un innalzamento del livello conoscitivo delle informazioni (MacEachren *et al.*, 2004). Proprio attraverso un continuo scambio fra il modello e l'utente si ottiene ciò che può essere definito come sistema di supporto al processo decisionale.

Al momento, nel panorama internazionale, pochi studi si avvicinano all'ottenimento di un sistema realmente interattivo. Tra questi "Metroquest" permette all'utente di selezionare dei *range* specifici per lo sviluppo di scenari progettuali all'interno di ambiti già pre-calcolati, fornendo un tentativo di personalizzazione della simulazione. Parallelamente, in un ambiente puramente bidimensionale, "Geovista" offre un sistema per analizzare i dati in relazione alla loro posizione geografica attraverso il sistema delle coordinate parallele. Mancano al momento sistemi che integrino la generazione di forme con sistemi di simulazione o con funzioni parametriche che permettano agli utenti di muoversi all'interno di scale di valori continui.

3 L'integrazione fra ANP e la geo-visualizzazione

Nello studio di opzioni alternative per la trasformazione del territorio, l'utilizzo dell'ANP nei processi decisionali reali ha mostrato diversi indirizzi per un possibile sviluppo. Prima di tutto, l'assegnazione di pesi ai cluster e nodi richiesti dalla ANP può creare fraintendimenti dovuti alla mancanza di abilità da parte di alcune categorie di utenti nella comprensione del loro significato. In seconda istanza, una grammatica più facilmente percettiva potrebbe generare una base comune per la condivisione delle informazioni e la facilitazione della discussione. Questo aspetto è particolarmente importante dal momento che i pesi e le graduatorie derivati dalle analisi ANP sono oggetto di discussione. Terzo punto, la grande quantità di dati da gestire durante i processi decisionali ha messo in evidenza la necessità di filtrare le informazioni in modo tale da meglio identificare ed isolare le più interessanti.

Per affrontare questi aspetti, è stata avviata una ricerca su un sistema di modellazione che visualizza in tempo reale differenti tipologie di dati. La visualizzazione dei dati spaziali, nota anche come "geo-visualizzazione", è un ramo della scienza cartografica ed è definita come la tecnica per l'esplorazione dei dati spaziali e spazio-temporali attraverso l'utilizzo di strumenti interattivi (Andrienko *et al.*, 2007). In questo caso, la geo-visualizzazione è usata come tecnica per supportare le MCDA, attraverso la creazione di un linguaggio più intuitivo che possa realmente migliorare il processo cognitivo degli attori coinvolti. Il processo di conoscenza dei dati è quindi implementato da due fattori in particolare: la localizzazione delle informazioni, che definisce la posizione spaziale dei dati; e la relazione causa-effetto che incorre tra le decisioni degli attori e le forme spaziali che cambiano la loro forma in tempo-reale contemporaneamente alla variazione dei voleri dei decisori (Masala, 2009).

Questo sistema di modellazione è basato sul software “Rhinoceros” della McNeel e sul suo plug-in gratuito "Grasshopper". Esso lavora su funzioni parametriche e generative applicate a insiemi di dati. Sebbene questo plug-in sia stato creato per supportare la produzione industriale e le architetture generative, questa ricerca si propone di utilizzarlo per supportare i processi di *decision-making* di scala vasta. In particolare, il plug-in Grasshopper offre nuove opportunità alla pianificazione. Difatti, le implementazioni delle funzioni generative e parametriche permettono al sistema di lavorare in tempo reale, di relazionare delle forme con delle formule comportamentali e di utilizzare database di grandi dimensioni attraverso Microsoft Excel. Il sistema può inoltre essere implementato ulteriormente attraverso altri plug-in gratuiti e script nel linguaggio informatico Visual Basic, disponibili anche questi sul Web.

Questo sistema di modellazione permette molte funzioni ed usi grazie alla sua capacità di correlare valori numerici e qualitativi con i loro effetti sulla forma spaziale, fornendo una localizzazione spaziale delle scelte pianificatorie in un ambiente tri-dimensionale, in modo tale da supportare i processi con numerosi attori. Poiché ciascun dato viene relazionato ad un comportamento spaziale, è possibile investigare scenari alternativi in processi di pianificazione di aree molto ampie. Inoltre, esso visualizza i risultati in tempo reale, fornendo uno strumento davvero efficace per l'interazione col modello durante lo svolgimento di workshop e focus group.

Il modello può simulare funzioni e forme di un luogo in scenari specifici attraverso l'applicazione di formule matematiche anche complesse. Esso può anche visualizzare i dati selezionati sulla base di specifici valori e interagire con questi, evidenziando le aree che corrispondono a particolari requisiti, migliorando così i processi cognitivi relazionati ai rapporti di causa ed effetto. Questo sistema può essere impostato in modo da produrre relazioni, strutture e gerarchie tra gli elementi presenti nel disegno, in modo tale che ciascun oggetto possa variare a seconda delle trasformazioni applicate sugli altri oggetti.

3.1 La combinazione dei due strumenti: ANP e la modellazione in Grasshopper

Per ottenere un utilizzo combinato fra la tecnica delle ANP e la tecnologia di modellazione tri-dimensionale attraverso Grasshopper, si è reso necessario risolvere tre questioni principali:

- la traduzione di informazioni qualitative in forma spaziale;
- la costruzione di una struttura di relazioni pesate tra gli oggetti spaziali che rappresentano i nodi, i cluster e le subnet del modello ANP;
- l'interazione fra il modello e gli utenti.

Durante i processi pianificatori, molti aspetti del processo decisionale fanno riferimento a specifiche aree e hanno una forma e localizzazione spaziale ben definite. Questi elementi e la loro influenza sul territorio possono essere facilmente rappresentati in un modello tri-

dimensionale. Per esempio, potrebbero costituire una nuova strada, una zona residenziale o rappresentare le fattezze geometriche incluse in dati GIS. Altri elementi, però, non possiedono questa connessione diretta con una forma spaziale specifica, come per esempio gli elementi economici o sociali, e devono trovare un modo per essere rappresentati. Per affrontare questo problema, la geo-visualizzazione offre parecchie tecniche (Bertin, 1981; Tufte, 1990, 2001) che fanno uso di elementi simbolici applicati ad elementi spaziali.

In questo modo, nel caso illustrato nel documento dove si è adottata una rete complessa di ANP, strutturata secondo sottoreti corrispondenti a Benefici, Opportunità, Costi e Rischi (BOCR), ciascun elemento di ogni sottorete è stato tradotto in una mappa pesata, che descrive il suo comportamento sul territorio.

La ANP lavora assegnando dei pesi alle diverse relazioni che intercorrono tra i nodi, i cluster e le sottoreti. Pertanto questo sistema di modellazione deve essere strutturato al fine di generare forme spaziali sulla base di relazioni pesate tra le differenti componenti del disegno. Per questo motivo, la stessa struttura di relazioni e pesi che caratterizza gli elementi della ANP è stata riprodotta per costituire il modello 3D.

Per ogni nodo della ANP è stata creata una mappa, dove il nodo è rappresentato attraverso una modalità di visualizzazione simbolica. Ciascuna mappa cambia in accordo con i pesi che sono stati assegnati alla sua relazione con tutti gli altri nodi, cluster e scenari. Questa struttura di relazioni risulta molto complessa, ma permette di visualizzare l'effetto spaziale di ogni livello. Di conseguenza, questo sistema di modellazione può produrre una mappa per ciascun livello della struttura in cui è organizzata la ANP, permettendo sia la loro sovrapposizione che il loro confronto. Gli utenti possono interagire col modello di visualizzazione, il quale può aggiornare visivamente la propria forma sulla base degli input dati dai decisori. Se durante i focus group, i pesi così come le formule matematiche di comportamento spaziale vengono modificati, il sistema aggiorna in tempo reale i propri output, offrendo un importante strumento per chiarire le relazioni di causa ed effetto tra le decisioni e i risultati di forma spaziale.

Nuovi input possono essere immessi sia manualmente che in maniera automatica. Il sistema manuale prevede un'interfaccia di comunicazione tra l'utente e la macchina, mentre quella automatica è da strutturare in modo tale che legga i dati direttamente dalle matrici generate dal calcolo delle ANP. Nel caso di focus group, la modalità automatica può limitare la possibilità di interazione col modello, pertanto la modalità manuale è preferibile. Al momento, ancora nessuna interfaccia grafica è stata realizzata, pertanto per il suo funzionamento è necessaria la presenza di un tecnico che gestisca le impostazioni del modello e immetta i valori richiesti direttamente nella struttura del modello.

4 Caso studio Bellinzona

Uno dei casi studio su cui è stata testata questa combinazione fra ANP e il sistema di modellazione e visualizzazione in Grasshopper riguarda l'area di Bellinzona, Svizzera. Il workshop sperimentale si è svolto presso l'ETH di Zurigo.

Il caso analizzato è di assoluta attualità poiché il cambiamento delle condizioni di accessibilità dell'area metropolitana di Bellinzona, garantita dai lavori per il Corridoio 24, può modificare notevolmente il carattere economico e urbanistico dell'area.

La questione è aperta dal momento che sono ancora da definire:

- *aspetti trasportistici* (tracciati ferroviari, ubicazioni di stazioni);
- *aspetti urbanistici* (recupero aree ferroviarie dismesse; creazione di nuove centralità; realizzazione di nuovi insediamenti residenziali);
- *aspetti economici* (promozione del carattere turistico dell'area, aumento degli scambi commerciali);
- *aspetti ambientali* (pressioni insediative sull'area di Magadino, un ambito pianeggiante di collegamento tra Bellinzona e Locarno che rappresenta da anni il tema di discussione principale della pianificazione ticinese).

Per quanto riguarda in particolare gli aspetti trasportistici, si discute attualmente se realizzare un nuovo by-pass ferroviario che dovrebbe servire a evitare l'attraversamento della città da parte del traffico merci, eliminando quindi gli impatti acustici nel centro urbano. Il timore è però che questo tunnel ferroviario venga anche utilizzato per le connessioni passeggeri veloci, con la realizzazione di una nuova stazione al di fuori di Bellinzona, declassando quindi la città da nodo della rete europea a nodo regionale.

4.1 Struttura del modello BOCR

Per analizzare il problema riguardante l'identificazione della miglior strategia di intervento per lo sviluppo del polo di Bellinzona, il problema decisionale è stato strutturato attraverso un modello BOCR, secondo la letteratura (Bottero *et al*, 2008, Saaty 2008) e l'analisi effettuata dagli autori in collaborazione con i ricercatori di ETH.

Sono state identificate tre alternative di intervento (tab. 1) che riassumono il dibattito corrente.

Tabella 1 - Alternative di sviluppo del polo di Bellinzona

<i>Alternative</i>	<i>Caratteristiche</i>
Scenario 1	Creazione di un bypass ferroviario per merci e passeggeri (nuovo tunnel ferroviario + nuova stazione in località Magadino)
Scenario 2	Potenziamento della linea esistente (aumento della capacità di trasporto) + mitigazione dell'impatto acustico
Scenario 3	Creazione di un bypass ferroviario destinato solo al trasporto merci

I cluster individuati sono stati quattro (trasportistici, urbanistici, ambientali e economici, tab.2).

Tabella 2. Cluster e nodi

<i>BOCR</i>	<i>CLUSTERS</i>	<i>ELEMENTI</i>
Benefici	- Aspetti ambientali	- Riduzione delle emissioni acustiche
		- Conservazione dell'area protetta in Magadino
	- Aspetti economici	- Valorizzazione immobiliare delle aree
		Valorizzazione sistema turistico locale
	- Aspetti trasportistici	- Aumento dell'accessibilità
		- Riduzione dei tempi di percorrenza
		- Aumento della capacità di trasporto merci ??
Opportunità	- Aspetti economici	- Opportunità di creazione di nuovi posti di lavoro
		- Maggiori scambi commerciali
	- Aspetti urbanistici	- Potenziamento dell'area ticinese e della sua attrattività
		- Creazione di nuove centralità urbane (recupero delle aree industriali dismesse)
Costi	- Aspetti trasportistici	- Possibilità di connessioni con la Lombardia
	- Aspetti economici	- Costi di investimento
		- Acquisizione/esproprio delle aree per l'inserimento di un nuovo binario
Rischi	- Aspetti ambientali	- Impatti negativi del cantiere (rumore + vibrazione)
	- Aspetti trasportistici	- Congestione del traffico dovuta a lavori di realizzazione/adeguamento dell'infrastruttura
	- Aspetti economici	- Estensione dei tempi di realizzazione dovuti all'opposizione sociale
	- Aspetti urbanistici	- Dispersione insediativa
		- Pressione negativa sui siti Unesco
	- Aspetti ambientali	- Perdita di biodiversità
		- Rischio idrogeologico
	- Aspetti trasportistici	- Inefficienza del sistema

4.2 Sviluppo del modello di visualizzazione

A ciascun nodo della ANP è stata associata una mappa all'interno del sistema di modellazione (tab. 3). Dove il dato non è localizzabile in un luogo specifico ma ha conseguenze diffuse sul territorio, come per molti nodi relativi ad aspetti economici, il suo effetto è descritto attraverso l'uso di un valore costante distribuito sull'intera area di studio. Al contrario, i nodi con un effetto specifico su determinate aree hanno generato rappresentazioni con valori diversificati a seconda della localizzazione. È questo il caso dei valori relativi alla protezione di aree ambientali, all'inquinamento, o all'incremento delle capacità trasportistiche così come agli impatti sull'accessibilità dei luoghi.

Tabella 3. Struttura della ANP e mappe associate a ciascun nodo.

BOCR	CLUSTERS	ELEMENTS	MAPS
Benefits	- Environmental aspects	- Reduction in acoustic emission	Railway Network Buffer
		- Conservation of protected area of Magadino	Protected Area of Magadino
	- Economic aspects	- Valorization of the real estate market	Railway Stations Buffer
		- Valorization of touristic local system	Constant
	- Transport aspects	- Increase in accessibility	Railway Stations Buffer
		- Increase in capacity of freight transport	Railway Network
Opportunities	- Economic aspects	- Creation of employments directly related to the transport improvement	Railway Network
	- Urban aspects	- Development of the Ticino area and of its attractiveness	Constant
		- Creation of new urban centrality	Railway Stations Buffer
	- Transport aspects	- Increase in connections between Ticino and Lombardy region	Railway Stations
Costs	- Economic aspects	- Investments' costs	Constant
		- Acquisition/expropriation of areas for the insertion of the new railway line	Railway Network Buffer
	- Environmental	- Negative impact of the building site (noise + vibrations)	Railway Network
	- Transport	- Traffic congestion due to realization/according works of the infrastructure	Road Network
Risks	- Economic	- Possible extensions of implementation time due to the conflicts arising with the local population	Constant
		- Lack of demand in the real estate market	Railway Stations Buffer
	- Urban	- Dispersion settlement	Protected Area of Magadino
		- Negative pressures on UNESCO sites	UNESCO Sites
	- Environmental	- Hydro geological risk	Inland Waterways Network
		- Loss of biodiversity in the park	Protected Area of Magadino

3.3 I risultati del modello

Una volta che tutti i pesi vengono associati a ciascun nodo, cluster e scenario, il sistema di modellazione può produrre differenti tipologie di visualizzazione. Un primo output diretto può essere una mappa bi-dimensionale che indica attraverso una scala di colori l'importanza dei nodi per ciascuna sottorete di ciascun scenario.

Questa tipologia di mappa può avere anche una visualizzazione tri-dimensionale, basata sulla estrusione dei punteggi assegnati dai partecipanti al focus group. La rappresentazione che ne consegue deforma il territorio e crea un diagramma tri-dimensionale delle mappe simboliche prestabilite. Questa visualizzazione dimostra la sua efficacia in particolare quando è associata con dei piani di sezione, che “tagliano via” le aree con i valori più bassi, e quindi nel caso delle sottoreti benefici e opportunità con preferibilità maggiore, e permettono agli utenti di selezionare visivamente le aree con maggiore potenziale.

Nella sottorete dei benefici (fig. 1), il sistema ha dato come esito per i tre scenari una localizzazione molto diversificata delle esternalità positive. Il primo scenario evidenzia un miglioramento lungo la tratta ferroviaria dovuto alla diminuzione dell'inquinamento acustico, mentre il secondo scenario li concentra sull'area protetta del Magadino che rimarrebbe non coinvolta dalle opere di trasformazione dell'infrastruttura. Solo il terzo scenario consente una maggiore diffusione dei benefici, distribuendoli sia lungo le tratte ferroviarie che nell'area protetta del parco, generando di fatto la migliore soluzione relativa a questa sottorete (fig.2).

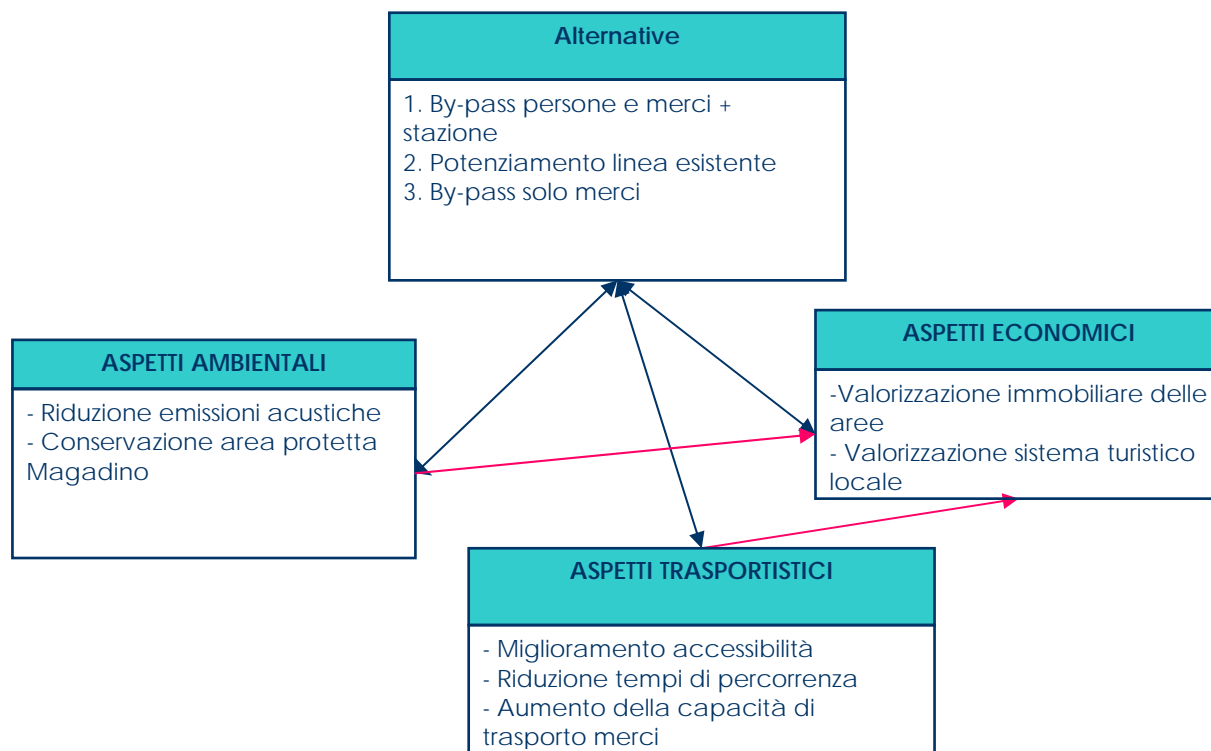


Figura 1 - Sottorete Benefici

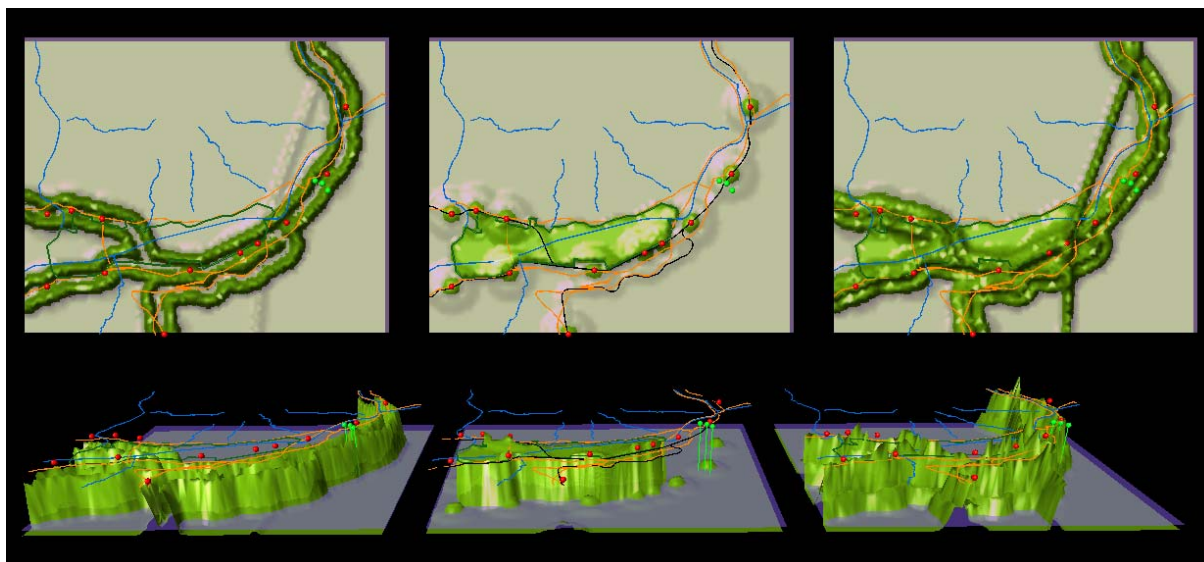


Fig. 2 Visualizzazione della sottorete Benefici attraverso diagrammi 3D: confronto fra scenari.

Nella valutazione delle opportunità offerte dai diversi scenari (fig. 3) è stata preponderante l'importanza attribuita al miglioramento delle connessioni tra Ticino e Lombardia, elemento rilevante nel primo scenario grazie alla presenza della AV, insieme alla possibilità di creare nuove opportunità lavorative direttamente legate allo sviluppo infrastrutturale.

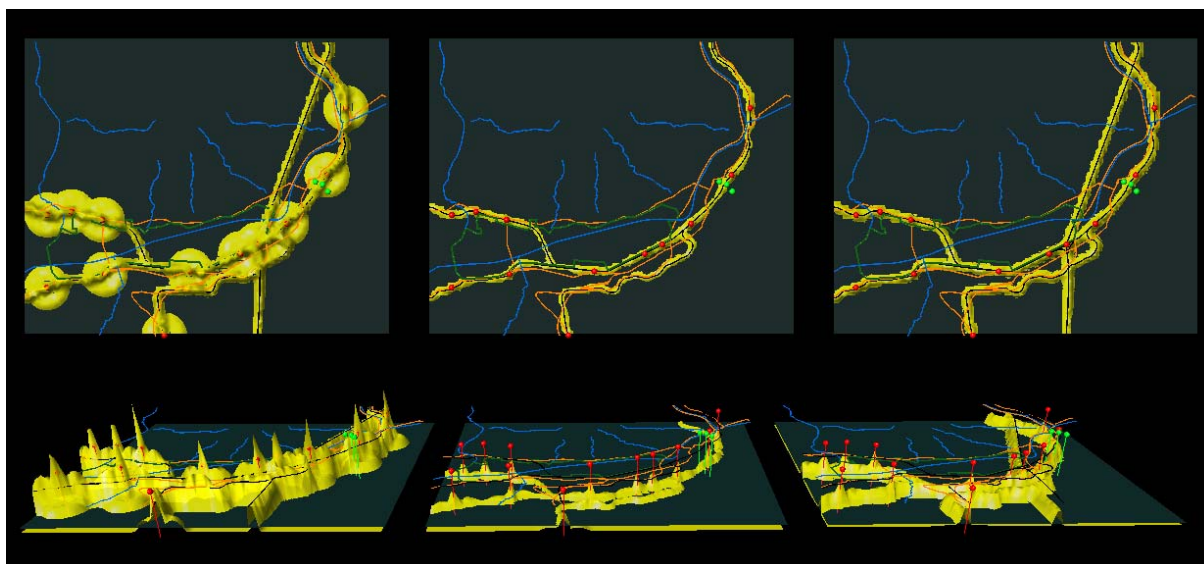


Figura 3. Visualizzazione della sottorete Opportunità attraverso diagrammi 3D: confronto fra scenari.

Per quanto riguarda l'analisi dei costi è emerso dalla discussione che, mentre gli scenari due e tre sarebbero fortemente caratterizzati da costi diffusi dovuti al grande investimento necessario per la realizzazione di un bypass sotterraneo, il secondo scenario vedrebbe invece i

costi concentrati lungo la linea stessa a causa soprattutto degli espropri. In generale il terzo scenario è quello che risulta più accettabile in termini di costo (fig. 4).

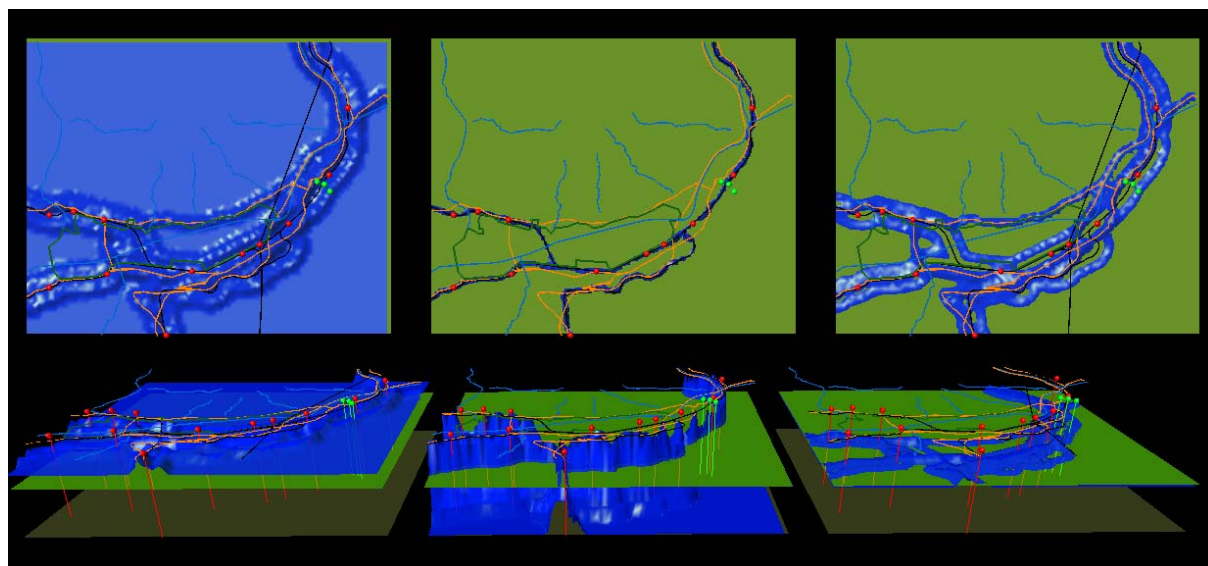


Figura 4. Visualizzazione della sottorete Costi attraverso diagrammi 3D: confronto fra scenari.

Il secondo scenario risulta quello con i rischi più contenuti, dovuti per lo più ad un possibile contraccolpo del mercato immobiliare per il potenziamento della rete ferroviaria. Al contrario invece gli scenari uno e tre presentano diverse criticità dovute ad una possibile estensione dei tempi di realizzazione delle opere, di difficoltà legate alle questioni idrogeologiche e nel primo scenario anche ad un notevole impatto per l'area parco di Magadino per la creazione della stazione in aggiunta al tunnel ferroviario (fig.5).

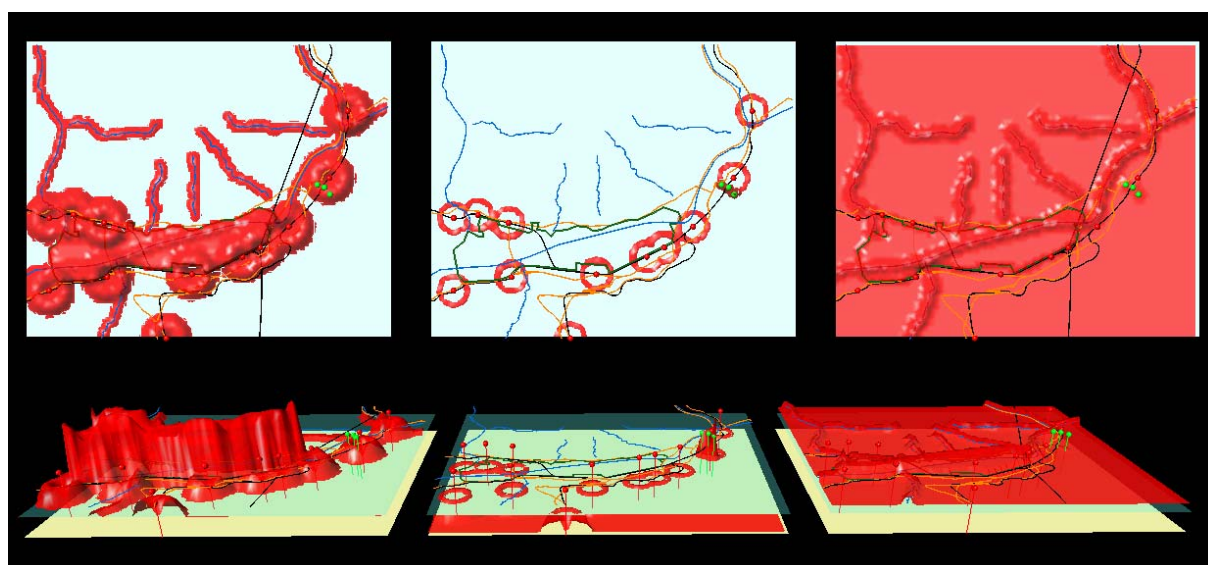


Figura 5. Visualizzazione della sottorete Rischi attraverso diagrammi 3D: confronto fra scenari.

Oltre a quelle evidenziate nelle figure antistanti, sono possibili altre tipologie di visualizzazione ma necessitano formule più complesse per descrivere il comportamento spaziale di ciascun nodo. Solo attraverso delle regole ben definite il modello può offrire prefigurazioni spaziali più dettagliate, nelle quali i cambiamenti nelle scelte dei decisori modificano significativamente la forma del territorio. Comunque, l'obiettivo di questo caso studio era quello di ottenere delle visualizzazioni semplici ma coerenti con i risultati della ANP. Pertanto, al momento, il sistema è stato utilizzato per produrre delle mappe bidimensionali e dei volumi 3D molto semplici, che hanno fornito un responso generalmente positivo all'utilizzo combinato fra ANP e sistema di modellazione spaziale.

5 Conclusioni

Questo articolo presenta un nuovo approccio per l'integrazione del sistema di modellazione per la visualizzazione spaziale della ANP. La metodologia ANP è in grado di prendere in considerazione sia criteri materiali che immateriali, considerando in modo sistematico le relazioni fra loro. Ciò è particolarmente importante per la valutazione dei processi di trasformazione urbana e territoriale, come il caso reale qui presentato. Il documento cerca di fare un ulteriore passo per facilitare il DM nella gestione dei dati e l'analisi delle influenze tra i diversi elementi del sistema, così come viene percepito dallo stesso DM, utilizzando specifiche mappe 2D e 3D create dalla modellazione del sistema. L'applicazione di questo strumento di valutazione mostra che non è necessario un nuovo software, ma un modo più creativo di usare quelli esistenti.

A conclusione di questa che costituisce una delle prime applicazioni all'interno del progetto europeo Code24, i risultati ottenuti sono sufficientemente promettenti. La visualizzazione spaziale di un'applicazione simbolica della ANP è coerente con le scelte di ingresso. Il documento dimostra come le caratteristiche parametriche e generative del sistema di modellazione per la visualizzazione spaziale ben si adattino all'uso di pesi proprio della ANP. I pesi assegnati agli elementi definiti nella struttura BOCR sono stati legati a forme spaziali, e rappresentati attraverso mappe dinamiche. Ciò significa che il modello tridimensionale cambia forma sulla base di tabelle, matrici o valori di set di dati, aggiornando costantemente la sua forma e mostrando in questo modo gli effetti che i pesi assegnati nella ANP hanno sulla forma spaziale. In particolare, la possibilità di modificare i pesi e le relazioni tra gli elementi BOCR rende questo strumento un supporto interessante per la generazione di discussioni e confronti tra esperti nel corso di un workshop. Questa prima applicazione ha mostrato l'efficacia di questa ricerca in corso nel valutare le differenze tra le aree, a dimostrazione che la rappresentazione spaziale può davvero fornire una base comune per la condivisione di informazioni tra DM. Un ulteriore perfezionamento del sistema sarà effettuato sulla base delle

applicazioni nei focus group con stakeholders effettivamente dotati di un ruolo attivo nel processo decisionale.

6 Bibliografia

- Andrienko, G., N. Andrienko, P.Jankowski, D. Keim, M.J. Kraak, A.M. MacEachren, and S. Wrobel (2007) "Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda" *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), pp. 839-857.
- Bertin, J. (1981). *La graphique et le traitement graphique de l'information*, Berlin-New York: de Gruyter.
- Bottero, M, Lami, I M, Lombardi, P (2008). *Analytic Network Process. La valutazione di scenari di trasformazione urbana e territoriale*. Firenze: Alinea.
- Chen, J., A.M. MacEachren and D. Guo (2006) "Visual inquiry toolkit - an integrated approach for exploring and interpreting space-time, multivariate patterns", *AutoCarto 2006 Research Symposium in Vancouver, proceedings*
- Diamond, J. T. and Wright, J. R. (1988) "Design of an integrated spatial information system for multiobjective land-use planning", *Environment and Planning B*, 15: pp. 205–214
- Figueira J., Greco S., Ehrgott (eds) (2005), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York: Springer
- Guo, D., M. Gahegan, A.M. MacEachren and B.Zhou (2005) "Multivariate Analysis and Geovisualization with an Integrated Geographic Knowledge Discovery Approach", in *Cartography and Geographic Information Science*, 32(2), pp. 113-132
- Lami, I.M., Masala E., Pensa S. (2011), "Analytic Network Process (ANP) and visualization of spatial data: the use of dynamic maps in territorial transformation processes", *ISAHP 2011 proceedings Sorrento, Naples, Italy, 15-18 June, 2011*, F. De Felice, E. Esposito, A. Petrillo, T.L. Saaty (eds), AHP Academy press, Sorrento.
- Lammeren, R. van, M. Hilferink, A. Bergsma, A.; Beek, M. van (2008) *Google Earth based visualization of sustainable outlook (GESO)*, Wageningen : Center for Geo-Information (CGI), CGI report 1568-1874; 2008-03
- Latour, B. (1987) *Science in action. How to follow scientists and engineers through society*, Harvard University Press, Harvard
- Lidouh, K., De Smet Y., Zim'anyi E. (2009) GAIA Map: A Tool for Visual Ranking Analysis in *Spatial Multicriteria Problems, 13th International Conference Information Visualisation proceedings*.
- Davis, P.K. (2000) "Exploratory Analysis enabled by multiresolution, multiperspective modelling", *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang and P.a. Fishwick (Eds.) , Orlando, FL, USA

- MacEachren, A.M., M. Gahegan, W. Pike, I. Brewer (2004) “Geovisualization for knowledge construction and decision-support”, *Computer Graphics & Applications*, Volume 24, Number 1, p.13-17
- Malczewski, J. (2006) 'GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature', *International Journal of Geographical Information Science*, 20: 7, 703 — 726
- Masala, E. (2009) *The construction of a land image: data and their space-time visualization*, PhD thesis, Politecnico di Torino, Torino.
- Masala, E., Bonicco C., Lucà R. (2005) “Temporal Simulation and Generative Modelling for Large Scale Planning”, *CUPUM 2005: Computers in Urban Planning and Urban Management - Abstracts of the 9th International Conference, London, June 29th – July 1st, 2005*, S. Batty (Ed.), London
- Rinner, C. (2006) A Geographic Visualization Approach to Multi-Criteria Evaluation of Urban Quality of Life, *2006 VASDS Workshop Proceedings Re-Visualization (GIScience 2006)*
- Roy B., Bouyssou D. (1993) *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*. Paris : Economica
- Saaty, T L (2008), *The Encyclicon: A Dictionary of applications of Decision Making with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process*, Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty T.L. (2005), *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh
- Saaty, T L, Vargas, L G (2006), *Decision Making with the Analytic Network Process*, New York: Springer Science
- Tufte, E.R. (1990) *Envisioning Information*, Graphics Press, Cheshire, CT
- Tufte, E.R. (2001) *The visual Display of quantitative Information*, Graphics Press, Cheshire, CT
- Van den Brink, A. et al. (2007) *Geo-visualization for participatory spatial planning in Europe: imaging the future*, Wageningen Academic Publishers, Mansholt publication series vol. 3, Wageningen, NL

ABSTRACT

The research described in this article concerns the integration between multi-criteria analysis for land evaluation and interactive modeling and visualization technologies in order to obtain a tool for supporting planning and decision-making processes. In particular, the proposed study is part of a thematic literature that looks at geo-visualization as possible means of communication of spatial data. Starting with GIS technology (Geographic Information System) and crossing them with weights and attributes derived from multicriteria assessments, the here described modeling and visualization system provides dynamic and interactive maps which can visually guide decision-makers in understanding the cause-effect relationships governing land transformations.

This system was applied in the study of the European project “CoDe24”, showing its effectiveness and versatility in assessing the differences between different areas and improving the discussion between experts during numerous workshops and focus groups.