

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio



Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti

“Luigi Tocchetti”

**Tesi di Laurea in Valutazione Economica ed Ambientale delle
Infrastrutture Viarie**

Abstract

*Analisi Multicriteria in ambiente GIS per la scelta di corridoi preferenziali di linee
ferroviarie Alta Velocità*

Relatori

Ch.mo Prof. Ing. Renato Lamberti

Ch.mo Prof. Ing. Gianluca Dell’Acqua

Correlatori

Ch.mo Ing. Mario De Luca

Candidato

Stefano Santarpia

Matr. 324/263

Anno Accademico 2010-2011

Definizione del problema

Le infrastrutture viarie, siano esse stradali o ferroviarie, vengono considerate patrimonio pubblico e bene comune e costituiscono elemento di qualità, di funzionalità e di servizio della vita delle persone. Le reti ferroviarie però, a differenza delle strade, non sono di norma caratterizzate da un rapporto diretto con il territorio e quindi solo l’integrazione delle scelte può renderne possibile la realizzazione.

Gli elementi che concorrono al processo di progettazione, ideazione e realizzazione di un qualsiasi progetto, in particolare nel caso di una infrastruttura viaria, sono molteplici, e diversi sono i modi con cui questi elementi intervengono nel processo entrando in rapporto tra loro e spesso anche in conflitto gli uni con gli altri. Atto conclusivo di tale processo è la definizione delle scelte progettuali, alle quali si potrà giungere impiegando una metodologia più o meno “razionale”. L’importanza del fattore *ambiente* nella definizione delle scelte progettuali assume una rilevanza prioritaria, soprattutto perché notevolissimo è l’*impatto*, che il progetto dell’infrastruttura avrà sull’equilibrio ambientale preesistente.

Il lavoro di tesi riguarda la formalizzazione di un metodo per l’ottimizzazione della scelta di corridoi preferenziali di linee ferroviarie Alta Velocità utilizzando come strumento l’analisi multicriteria in ambiente GIS. Il metodo è stato applicato ad un caso reale con lo scopo di valutare la prefattibilità economica, sociale ed ambientale, di tre ipotesi di corridoio per la realizzazione della linea ferroviaria Alta Velocità del tratto Ogliastro Cilento – Sapri, nel territorio meridionale della Provincia di Salerno, nel tentativo di individuare in maniera razionale il corridoio di minore impatto nel quale sarà più opportuno andare ad inserire il tracciato ferroviario.

Stato dell’arte della ricerca internazionale

Tra le numerose ricerche scientifiche internazionali, è opportuno riportare *Spatial multiple criteria decision analysis in integrated planning for public transport and land use development study in Klang Valley*¹ in cui viene esposto il metodo applicato per sviluppare e valutare la fattibilità economica ed ambientale di un programma integrato per

¹ ISPRS Technical Commission II Symposium, Vienna, 12-14 July 2006, M.A. Sharifi, L. Boerboom, K.B. Shamsudin, Loga Veeramuthu

migliorare il sistema di trasporto pubblico e l’uso del suolo nella Klang Valley, in Malesia. Tale metodo è stato usato come canovaccio per la progettazione e la valutazione delle diverse ipotesi progettuali di una rete ferroviaria, che integrata agli altri sistemi di trasporto, vada incontro alle future richieste economiche, sociali ed ambientali della popolazione della Klang Valley. In tale ricerca è stata effettuata un’analisi multicriteria spaziale grazie all’utilizzo di un sistema geografico informativo (GIS), per la valutazione degli impatti ambientali delle diverse alternative progettuali.

Un’altra ricerca di importante rilievo è *The formulation and evaluation of transport route planning alternatives: a spatial decision support system for the Via Baltica project, Poland*², in cui gli autori presentano un metodo olistico di analisi spaziale multicriteria per la formulazione di ipotesi di tracciato per la realizzazione dell’autostrada della Via Baltica in Polonia, infrastruttura di importanza notevole per migliorare l’accessibilità dei paesi centrali dell’Unione Europea. Il territorio di studio è però caratterizzato dalla presenza di siti di notevole interesse ambientale e naturalistico. Per rispondere a queste problematiche, nella ricerca viene proposto dagli autori la progettazione e l’implementazione di un metodo sistemico e spaziale che sia in grado di generare tracciati alternativi attraverso un’analisi multicriteria. Per organizzare al meglio la fase di analisi e per effettuare le valutazioni in maniera più accurata gli autori hanno usato un software GIS. Le ipotesi di corridoio create, sono state confrontate con quella proposta dal Governo polacco, mettendo in evidenza che quest’ultima ha una lunghezza ed un’impedenza maggiore delle altre.

Sviluppo del lavoro di tesi

Nel lavoro di tesi è stato impostato il problema dell’ottimizzazione della scelta di ipotesi di corridoi preferenziali di linee ferroviarie Alta Velocità attraverso l’analisi multicriteria, effettuando l’elaborazione e l’analisi dei dati in ambiente GIS. Il metodo creato è stato applicato al caso reale di realizzazione della linea ferroviaria tra Ogliastro Cilento e Sapri. Tale realizzazione è prevista per il completamento del corridoio n.1 Berlino-Palermo della rete ferroviaria trans Europea (TEN) definita con la direttiva 1962/96/CE del 23 luglio 1996. L’analisi multicriteria è una metodologia adatta a

² S.S. Keshkamat, J.M. Looijen, M.H.P. Zuidgeest, Journal of Transport Geography 17 (2009) 54-64

supportare un processo decisionale il cui scopo è quello di effettuare una scelta tra soluzioni alternative, in cui si rinuncia al paradigma dell’ottimalità a favore della ricerca di un compromesso in cui vengono individuati gli elementi necessari a chiarire le priorità su cui basare le scelte. Con l’analisi multicriteria viene risolto un problema di scelta discreta definito da: i alternative, ovvero le soluzioni possibili fra cui scegliere quella ottimale, j criteri di giudizio secondo cui valutare le i alternative e V punti di vista in base ai quali definire l’importanza di ciascuno dei j criteri. Con questi elementi si definisce *matrice degli impatti* E , la matrice in cui gli elementi $e(i, j)$ rappresentano il valore qualitativo o quantitativo, attribuito all’alternativa i -esima giudicata secondo il criterio j -esimo:

$$E = \begin{bmatrix} e(1,1) & \cdots & e(1,j) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e(i,1) & \cdots & e(i,j) \end{bmatrix}$$

Si definisce, invece, *matrice dei pesi* W , quella in cui gli elementi $p(j, v)$ rappresentano il peso, assegnato al j -esimo criterio dal v -esimo punto di vista:

$$W = \begin{bmatrix} p(1,1) & \cdots & p(1,v) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p(j,i) & \cdots & p(j,v) \end{bmatrix}$$

Quindi il primo passo è stato formulare le alternative progettuali, nel nostro caso tre. Esse sono state definite tenendo conto delle caratteristiche geologiche e geolitologiche del territorio attraversato e considerando che gran parte del territorio ricade nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano. Successivamente alla definizione delle ipotesi, è stata effettuata un’analisi delle componenti ambientali, economiche e sociali che la realizzazione della linea ferroviaria potrebbe in qualsiasi modo “disturbare”. Gli indicatori ambientali sono stati caratterizzati per ogni ipotesi di corridoio effettuando delle analisi in ambiente GIS con il programma ESRI-ArcGIS 9.3. Successivamente sono stati definiti i tre punti di vista:

- *Conservativo*: in questo caso è stata assegnata importanza maggiore ai parametri ambientali e sociali, nell’ottica di andare a disturbare in maniera minima gli equilibri ambientali e sociali del territorio;

- *Compromesso*: in questo caso si è andati alla ricerca di una soluzione equilibrata che tenesse conto delle caratteristiche ambientali, tecniche e che potrebbe essere meglio accettata dalla popolazione;
- *Innovativo*: questo punto di vista mira a massimizzare le caratteristiche tecniche e funzionali della infrastruttura.

Scopo dei metodi multicriteria è quello di ottenere una graduatoria di merito finale ("ranking") delle alternative per ogni punto di vista considerato, ottenendo per ogni alternativa i , e per ogni punto di vista v , un punteggio finale $s(i, v)$ chiamato "appraisal score".

Il metodo utilizzato nel lavoro di tesi per fornire la classifica finale delle alternative è il *metodo di analisi di concordanza e discordanza*. Esso consiste nel confrontare tra loro ciascuna alternativa con ognuna delle altre prese singolarmente, osservando quanto la singola alternativa prevale su tutte le altre globalmente. Per un dato punto di vista si definisce nello spazio dei J criteri un sottoinsieme $C(i, i')$, detto *insieme di concordanza*, comprendente tutti e solo i criteri per i quali l'alternativa i -esima è non peggiore della i' -esima, per i quali, cioè, si ha:

$$e(i, j) \geq e(i', j)$$

Si definisce *insieme di discordanza* il sottoinsieme complementare di quello precedente, cioè il sottoinsieme dei J criteri costituito dai criteri per i quali l'alternativa i -esima è peggiore di quella i' -esima, cioè:

$$e(i, j) < e(i', j)$$

L'informazione elementare di partenza, ricavata dal confronto tra le alternative a coppie descritto precedentemente, viene quantificata negli elementi $c(i, i')$ e $d(i, i')$ appartenenti alle matrici di concordanza e discordanza, rispettivamente C e D , di I righe ed I colonne alternative/alternative, calcolati secondo le formule seguenti:

$$c(i, i') = \left[\frac{\sum_{j \in C(i, i')} |p(j)|^\alpha}{\sum_j |p(j)|^\alpha} \right]^{1/\alpha}$$

$$d(i, i') = \left[\frac{\sum_{j \in C(i, i')} |p(j)|^\alpha \cdot |e(i, j) - e(i', j)|^\alpha}{\sum_j |p(j)|^\alpha \cdot |e(i, j) - e(i', j)|^\alpha} \right]^{1/\alpha}$$

Dove $\alpha \geq 1$ è un parametro definibile dall'utente che permette di dare ancora peso maggiore ai termini preponderanti delle sommatorie rispetto ai termini minori. E' facile verificare che per qualsiasi i ed i' si ha:

$$0 \leq c(i, i') \leq 1 \quad 0 \leq d(i, i') \leq 1$$

Quanto maggiore risulta il valore di $c(i, i')$ e quanto minore è il valore di $d(i, i')$, tanto migliore è l'alternativa i -esima rispetto a quella i' -esima. Per $i = i'$ si ha $c(i, i') = 1$ e $d(i, i') = 0$. In base agli elementi delle matrici C e D si definiscono le grandezze $c^{\wedge}(i)$ e $d^{\wedge}(i)$, detti coefficienti di concordanza e discordanza netti per ogni punto di vista, come segue:

$$c^{\wedge}(i) = \sum_{i'} c(i, i') - \sum_{i'} c(i', i)$$

$$d^{\wedge}(i) = \sum_{i'} d(i, i') - \sum_{i'} d(i', i)$$

Dopo aver effettuato la normalizzazione dei coefficienti $c^{\wedge}(i)$ e $d^{\wedge}(i)$, si ricavano gli appraisal scores finali $s(i, v)$ per le varie alternative sotto i differenti punti di vista: $s(i, v) = c^{\wedge}(i) - d^{\wedge}(i) + 1$.

Conclusioni

Nel lavoro di tesi svolto, è stata fornito un metodo per l'ottimizzazione della scelta di ipotesi di corridoio preferenziali di linee ferroviarie Alta Velocità, conducendo un'analisi multicriteria sfruttando le capacità del GIS, che ha portato ad un ordinamento delle tre ipotesi di corridoio preferenziali per la realizzazione della linea ferroviaria Alta Velocità nel territorio dei Comuni di Ogliastro Cilento e Sapri. L'ordinamento delle alternative ha condotto ad una classificazione delle stesse che varia a seconda del punto di vista considerato, fornendo al decisore, di volta in volta, gli elementi su cui basare l'effettuazione delle scelte. I risultati dell'analisi multicriteria e la classifica delle alternative sono riportate nelle immagini seguenti.

Appraisal scores				
	Stampa!	Salva!	Esporta!	Esci!
	Ipotesi1	Ipotesi2	Ipotesi3	
Conservativo	0.2225	0.8329	2.0000	
Compromesso	1.5833	1.0000	0.1882	
Innovativo	2.0000	0.2541	0.6268	

Punto di vista	Classifica finale
Conservativo	<i>Ipotesi 3</i>
Compromesso	<i>Ipotesi 1</i>
Innovativo	<i>Ipotesi 1</i>

In definitiva, lo studio effettuato nel lavoro di tesi, permette di fornire al decisore, due diverse soluzioni progettuali, andando così ad escludere una delle tre ipotesi previste come dato di input. Al decisore, verrà fornita di volta in volta, una soluzione progettuale in base al punto di vista considerato, concludendo che per il punto di vista *conservativo* l’ipotesi che ha ottenuto il punteggio maggiore è quella più costiera e più tortuosa, che consente di preservare le componenti ambientali, ma che comporta costi e tempi di percorrenza maggiori, mentre sia per il punto di vista *innovativo* che *compromesso*, l’ipotesi che ha ottenuto il punteggio più alto è quella che attraversa il territorio nella fascia centrale, prediligendo velocità maggiori e tempi di percorrenza minori andando però a disturbare maggiormente le componenti ambientali.