

L'AIUTO ALLE DECISIONI MULTICRITERI E LE TECNICHE DI ANALISI SPAZIALE
PER LA VALUTAZIONE TERRITORIALE INTEGRATA: L'INDIVIDUAZIONE DI UN
CORRIDOIO STRADALE DI MINIMO IMPATTO

Alessandra LAPUCCI¹, Alessandro SANTUCCI¹ e Armando COFRANCESCO¹

¹ Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile via Diotisalvi 2, 56122, Pisa

SOMMARIO

Nei processi di pianificazione e governo del territorio emerge la necessità di adottare approcci valutativi di natura integrata, capaci di adottare metodologie analitiche di tipo multidisciplinare che siano in grado di fornire indicazioni sul grado di sostenibilità delle azioni di governo. Le procedure valutative connesse alla realizzazione di interventi di grande impatto territoriale, come l'identificazione di corridoi stradali di rilevanza strategica a livello nazionale, necessitano pertanto di metodologie di supporto alle decisioni che siano a criteri multipli e basate su tecniche di analisi spaziale di cui i sistemi informativi geografici GIS rappresentano lo strumento principe. Queste due aree di ricerca, analisi multicriteri ed analisi spaziale, possono infatti beneficiare una dall'altra: da un lato le tecniche GIS rivestono un ruolo importante nell'organizzare, gestire ed integrare la grande quantità di dati geografici necessari all'analisi, dall'altro le metodologie di Analisi a Criteri Multipli (AMC) offrono procedure capaci di elaborare e modellare le preferenze dei decisori e di incorporare il processo decisionale all'interno di un sistema geografico. L'obiettivo della presente ricerca è quello di costruire procedure di valutazione integrata per l'individuazione di aree di minima sensibilità ambientale rispetto alla localizzazione di infrastrutture lineari di trasporto: nello specifico viene analizzato il controverso caso di studio del corridoio Tirreno-Brennero. Fra i vari metodi di analisi a criteri multipli integrati basati su GIS si fa riferimento all'analisi gerarchica AHP che permette di individuare quali porzioni di territorio siano più idonee alla localizzazione dell'infrastruttura, individuando diversi possibili scenari di tracciato stradale.

1 INTRODUZIONE

Una nuova politica dei trasporti si sta sviluppando in Italia con particolare riferimento alla dinamiche della legislazione: in questo contesto si inserisce infatti la promulgazione della Legge 443/01, meglio nota come Legge Obiettivo che nasce, di fatto, come un nuovo piano per le grandi infrastrutture.

L' impostazione originaria della legge individua infatti gli interventi concepiti all'interno di un contesto di priorità elevate, semplificando le procedure di valutazione degli effetti ambientali velocizzandone la procedura di approvazione da parte degli enti locali. In altri termini viene costruita una "corsia preferenziale" per l'approvazione di progetti infrastrutturali prevalentemente finalizzati al trasporto di lunga distanza (Brambilla et al, 2005). Nel breve tempo successivo alla sua formulazione, l'elenco delle opere inserite nella Legge Obiettivo cresce dagli iniziali ottanta progetti fino ad oltre duecento opere: questa crescita ha obbligato il Cipe (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) alla ridefinizione di alcuni interventi prioritari fra i quali è inserito il corridoio Tirreno-Brennero (delibera del dicembre 2001).

Nel presente lavoro viene presentata una metodologia di valutazione di compatibilità territoriale di una infrastruttura autostradale (quale è il corridoio Tirreno-Brennero) con l'ambiente in cui essa è inserita, considerando il sistema ambientale non solo nella sua accezione ecologica, ma anche socio-economica. L'accento è posto sulla necessità di adottare metodologie di natura integrata e multidisciplinare basate sulla sinergia fra i sistemi di aiuto alle decisioni multicriteri e le tecniche di analisi spaziale implementate attraverso i GIS.

1.1 Verso un modello di valutazione territoriale integrata

La valutazione è un campo di studi e conseguentemente di pratiche che fatica a trovare definizioni sistematiche: questo accade non solo e non tanto nel campo della pianificazione territoriale, ma in tutte quelle discipline (sociali, economiche, ecologiche, politiche, geografiche etc) in cui si è andata diffondendo la pratica valutativa. Il tema cruciale che viene sottolineato è quello della "multidisciplinarietà" secondo cui tutti gli approcci provenienti da discipline diverse dovrebbero convergere in una sintesi valutativa, dotata di un linguaggio comune, di una propria dimensione disciplinare, di un proprio epistema (Bezzi, 2004).

Numerose sono le definizioni del concetto di valutazione proposte dalla letteratura e tutte quante riflettono la molteplicità degli elementi di analisi necessari al processo valutativo (Means, 1999; Stame, 1998; Bezzi, 2004). È necessario innanzitutto effettuare una riflessione sulle differenze e sui legami che si stabiliscono fra i tre momenti di un processo conoscitivo che sono la valutazione, la decisione e la scelta.

Si può infatti osservare che, mentre la valutazione include prevalentemente, ma non esclusivamente, questioni di ordine tecnico (anche se non sono esclusi problemi di tipo qualitativo e soggettivo che richiamano la sensibilità del valutatore) e la decisione è un processo più squisitamente politico, la scelta induce problematiche che appartengono sia all'una che all'altra sfera.

Nel campo della pianificazione e nel governo del territorio la valutazione è ormai diventata una pratica che accompagna tutte le fasi del processo di realizzazione di un intervento (un progetto o un piano), ovvero la fase ex-ante, quando si individuano gli obiettivi e si selezionano le azioni alternative, la fase in itinere, quando viene esercitata l'azione di governance in corso d'opera e la fase ex-post, quando si giudica la rispondenza dei risultati agli obiettivi prefissati cercando di estrarre insegnamento dalle azioni messe in opera (Lombardo, 1995). In sempre più numerosi contesti di pianificazione e gestione del territorio, sia a livello europeo che italiano, si è venuta a riconoscere l'importanza di avere a disposizione ex ante le informazioni di dettaglio sugli effetti e sull'efficacia di future azioni di governo del territorio che sono in corso di programmazione e definizione (Pearce, 1998, 2000). La complessità dei processi di decisione nel campo degli interventi sul territorio si traduce nella necessità di valutare gli stessi non solo dal punto di vista della loro fattibilità (tecnica, economica finanziaria, etc), ma anche dal punto di vista dell'impatto ambientale, sociale, economico, culturale e politico sul contesto in cui si collocano: tutto ciò richiede la costruzione modelli di valutazione multidimensionale (Las Casas, 1996).

Si riconosce la necessità di adottare approcci valutativi di natura integrata in grado di superare la valenza squisitamente settoriale che ha caratterizzato le procedure di valutazione fino alla seconda metà degli anni novanta (analisi costi benefici, analisi costi efficacia, certificazioni ambientali etc) per aumentare il grado di completezza e di applicabilità del processo e fornire indicazioni sul grado di sostenibilità delle azioni di governo: in questo contesto la sostenibilità ambientale delle azioni di policy può abbracciare la dimensione ambientale (principio della sostenibilità ecologica), la dimensione sociale (principio di equità) e la dimensione economica (principio di efficienza). La valutazione integrata diventa strumento di supporto alle decisioni per ricercare la soluzione capace di comporre, al più elevato livello possibile, obiettivi economici, ambientali, sociali e culturali (Nijkamp e Gerard, 2000).

Anche a livello locale molte delle leggi sul governo del territorio individuano la valutazione integrata come lo strumento cui comuni, province e regioni debbano ricorrere per analizzare in maniera completa gli effetti territoriali, ambientali, sociali, economici e sulla salute umana in rapporto alla realizzazione di piani e progetti sul territorio.

Le metodologie di valutazione integrata sono quindi lo strumento critico con il quale, nella società pluralistica, si possono affrontare i problemi conseguenti alla conflittualità fra tra gli obiettivi dello sviluppo sostenibile e dedurre le priorità tra opzioni alternative.

Come sarà evidenziato e giustificato nei successivi paragrafi, le valutazioni basate sulle *tecniche di aiuto alle decisioni a criteri multipli* integrate con gli *strumenti di analisi spaziale*

rappresentano lo *strumento di elezione di questo approccio integrato, interdisciplinare e partecipativo*, capace di inserire i punti di vista dei diversi soggetti interessati alla valutazione ed alla scelta.

2 L'AIUTO ALLE DECISIONI MULTICRITERI ED I SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI: UN APPROCCIO INTEGRATO PER LA VALUTAZIONE

L'aiuto alle decisioni multicriteri abbraccia un insieme di tecniche e procedure di comparazione, sulla base di criteri multipli, fra alternative decisionali con il duplice scopo sia di individuare l'azione "preferibile", sia di contribuire allo sviluppo di un processo di apprendimento che alimenta lo stesso processo decisionale (Las Casas, 1996).

L'analisi multicriteri consente quindi di valutare le potenzialità di un intervento sul territorio (piano o progetto) in funzione di *più criteri* di riferimento. A differenza delle tecniche di valutazione di tipo monetario che analizzano la compatibilità territoriale di un progetto o di un piano riconducendo tutti i criteri di analisi a quello monetario, l'analisi multicriteri cerca di razionalizzare il processo di scelta dei "*decision makers*" attraverso l'ottimizzazione di un vettore di più criteri, pesati secondo le priorità dichiarate dagli "*stakeholders*" locali.

In questo modo si possono abbracciare in un unico procedimento valutativo sia i criteri di carattere economico, monetizzabili, sia i criteri extra economici e si configura una griglia metodologica più realistica e completa grazie anche al contributo multidisciplinare apportato da recenti settori di ricerca (informatica, geomatica, modellistica ambientale, telerilevamento etc) che convergono e si integrano nel processo valutativo.

I seguenti motivi danno ragione della crescente influenza dei metodi di comparazione a criteri multipli rispetto a quelli più tradizionali (Analisi Costi Benefici, Analisi Costi Efficacia, Metodo del Prezzo Edonico, Valutazione Contingente, Metodo del costo di Viaggio):

- Estrema difficoltà di includere effetti intangibili e/o incommensurabili nelle tecniche di valutazione convenzionali;
- La natura conflittuale dei moderni problemi di pianificazione territoriale;
- Il passaggio dal convenzionale "*one shot decision taking*" a procedure di "*institutional decision making*" in cui gli aspetti di natura politica giocano un ruolo determinante;
- Il desiderio, nell'analisi delle decisioni pubbliche, di non trovarsi di fronte ad una soluzione forzata, ma di avere davanti un ampio spettro di soluzioni alternative.

I problemi decisionali che interessano gli urbanisti ed i pianificatori territoriali tipicamente coinvolgono un insieme di possibili alternative ed un gran numero di criteri di valutazione conflittuali e spesso non facilmente misurabili. Per poter quindi integrare tutte le variabili (geografiche, ambientali, sociali ed economiche) nello spazio fisico del territorio è necessario considerare e comprendere il ruolo "attivo" della componente spaziale nelle procedure valutative ed in questo contesto risulta assai rilevante il supporto fornito dai *Sistemi Informativi Geografici* (GIS). La pianificazione e la gestione delle risorse del territorio

necessitano, pertanto, di metodologie decisionali che siano a criteri multipli e basate su sistemi di informazione geografici GIS: da un lato infatti le tecniche di analisi spaziale rivestono un ruolo importante per georeferenziare, mettere a sistema, omogeneizzare, aggiornare e processare la sempre crescente mole di dati necessari all'analisi, dall'altro le metodologie di analisi multicriteri consentono di modellare il sistema di preferenze degli attori sociali coinvolti nel processo valutativo. Nonostante la maggior parte dei problemi pianificazione territoriale ed ambientale sia multicriteri in natura, dal momento che coinvolge varie dimensioni quali quella economica, sociale, ambientale e politica con interessi spesso in conflitto fra loro, le tecniche di decision making a criteri multipli sono state solo recentemente inserite ed integrate nel campo dell'analisi spaziale pervenendo al concetto di *sistemi di supporto alle decisioni multicriteri spaziali o basati su GIS* (Malczewski, 1999; Jankowsky, 1995). Nella realtà infatti, non solo i *criteri* di valutazione ed i rispettivi *attributi*, che servono a misurarli, variano nello spazio e debbono essere rappresentati attraverso map layers georeferenziati, ma anche le *alternative* decisionali da ordinare sono geograficamente definite, cioè rappresentabili attraverso primitive geometriche a cui sono associati i valori dei criteri di valutazione che sono memorizzati come dati alfanumerici.

Le convenzionali tecniche di AMC non spaziali tipicamente usano la media o il totale degli impatti di un'alternativa sul sistema territoriale, ritenendo tali misure appropriate per l'intera zona di analisi: in altre parole gli approcci convenzionali assumono un'omogeneità spaziale all'interno dell'area di studio. Questa assunzione è chiaramente poco realistica dal momento che i criteri di valutazione variano nello spazio, pertanto il risultato dell'analisi è fortemente influenzato dalla distribuzione spaziale dei valori dei rispettivi attributi che ne quantificano il grado di raggiungimento.

L'*analisi multicriteri spaziale* rappresenta quindi un significativo passo in avanti rispetto alle convenzionali tecniche a criteri multipli e può essere pensata come una disciplina capace di integrare i dati geografici di input secondo il sistema di preferenze dei decisori sulla base di una specifica regola decisionale (multiobiettivo o multiattributo) producendo come output uno strumento geografico di supporto al processo decisionale (Malczewski, 1999).

Il ruolo chiave delle tecniche di aiuto alle decisioni multicriteri basate su GIS è pertanto quello di supportare i decisori nel raggiungimento di una maggiore efficacia ed efficienza riguardo alle scelte che riguardano le trasformazioni ed il governo del territorio.

3 LE TECNICHE DI ANALISI A CRITERI MULTIPLI: IL METODO AHP

Le tecniche di analisi multicriteri possono innanzitutto essere distinte in base al tipo di informazione utile allo sviluppo dell'analisi (Pompili, 2005). Secondo questa distinzione è possibile individuare tecniche di tipo strettamente quantitativo (hard) ed altre che fanno riferimento a basi di dati anche di tipo categorico (soft); infatti mentre l'informazione "hard" è di tipo cardinale, quella "soft" è di tipo non metrico (es. dati ordinali, informazioni qualitative). La scelta della metodologia da adottare è sicuramente condizionata dal tipo e dalla qualità dell'informazione, sia geografica che alfanumerica, a disposizione anche se, nelle valutazioni che riguardano problemi di pianificazione del territorio, è quasi sempre necessaria l'adozione metodologie che permettano di utilizzare simultaneamente informazioni di tipo cardinale e di tipo ordinale (Isard e Smith, 1983; Nijkamp, 1980; Voogt 1983).

Un'altra classificazione delle tecniche di analisi a criteri multipli (Vincke, 1992) viene effettuata in relazione alle caratteristiche dell'insieme delle alternative da valutare. È infatti possibile individuare due macro categorie di problemi multicriteri sulla base del numero di alternative da analizzare: un numero infinito di alternative riguarda i problemi multiobiettivo, un numero finito di alternative riguarda i problemi multiattributo.

L'analisi multiobiettivo (AMO) è infatti associata a quei casi in cui il numero di alternative non è predeterminato, supporta quindi la soluzione di problemi di tipo continuo il cui scopo è quello di costruire un insieme di alternative decisionali "migliori", cioè preferibili sulla base dei criteri in esame, in modo da soddisfare il decisore (o l'insieme di decisori) nel raggiungimento degli obiettivi prefissati.

L'analisi multiattributo (AMA) è invece associata a problemi che presentano un numero di alternative predeterminate, quindi finito cui è associato un livello di soddisfacimento degli attributi sulla base del quale si assume la decisione finale; l'analisi riguarda quindi la selezione dell'alternativa preferibile.

In entrambi i casi il decisore prende in considerazione una molteplicità di criteri di valutazione, spesso in conflitto tra loro e per i quali si usano unità di misura diverse, sulla base dei quali il set di alternative deve essere valutato in accordo con le priorità (vettore dei pesi) attribuite dai decision makers stessi e dagli esperti cui i decisori fanno riferimento.

Viene infine proposta (Bana Costa et al, 1999) una classificazione delle tecniche multicriteri in base alla natura dei risultati che possono essere deterministici, probabilistici oppure fuzzy ed in funzione della tipologia di vincoli adottati nell'analisi che possono essere espliciti, cioè espressi in termini strettamente matematici, oppure impliciti.

In generale è molto difficile individuare e/o selezionare un'alternativa decisionale le cui performance siano "migliori" rispetto a tutti gli attributi dei criteri di valutazione relativi al processo decisionale in esame: nei rari casi in cui questo accade si parla di dominanza paretiana assoluta (Voogd 1983, Bazzani, 1993). Nella scelta dell'insieme di alternative

preferibili viene seguito il principio di *pareto-efficienza* che consente di eliminare le alternative “inefficienti”: una alternativa A_1 è dominata da un'altra alternativa A_2 se realizza, per tutti i criteri considerati, una prestazione non migliore di quella di A_2 e, per almeno uno dei criteri, una prestazione peggiore. In generale, nei problemi di *analisi multicriteri di tipo spaziale* è necessario aggregare le misure unidimensionali degli attributi dei criteri, riportate su mappe geografiche, ed i giudizi dei decisori (preferenze) in modo da valutare le alternative decisionali ed indicarne un ordinamento. Questo viene raggiunto attraverso una adeguata funzione di aggregazione detta anche *regola decisionale* che stabilisce le modalità con cui si determinano le performances complessive delle alternative, rispetto ai criteri in esame, da cui si deduce quali azioni siano preferibili ed in quale misura.

Le procedure di aggregazione multicriteri si differenziano sia per il livello di complessità matematica e conseguentemente informatica, sia per la capacità di trattare dati quantitativi e /o qualitativi ed in base al tipo di analisi da effettuare; differenti sono infatti le tecniche che rispondono ai problemi di analisi multiobiettivo (es: goal programming, compromise programming, teoria dell'utilità multiobiettivo etc.) o di analisi multiattributo (es: AHP, metodi di concordanza, distanza dal punto ideale, funzioni di utilità multiattributo, metodi Fuzzy etc.). Le due scuole di pensiero che costituiscono un punto di riferimento nella costruzione ed implementazione delle procedure di aggregazione sono: la *scuola francese costruttivista* (o scuola europea) e La *scuola normativa americana*. Roy e Bouyssou (1993) individuano due tipologie principali di regole decisionali :

- I. L'aggregazione multicriteri basata sulla costruzione di un unico criterio di sintesi, sviluppata a partire dagli anni '60 e denominata *aggregazione completa e transitiva*. Essa presuppone che il decisore sia sempre in grado di esprimere, per ogni coppia di alternative fra loro confrontate, una preferenza o un'indifferenza (non è tollerata l'incertezza) e che il sistema delle preferenze sia di tipo transitivo. Queste procedure portano, quindi, ad un ordinamento completo delle alternative, ma sottostanno ad una logica di tipo compensatorio. A questa famiglia di tecniche fanno capo la teoria dell'utilità multiattributo (Keeney and Raiffa H. 1976), la teoria del valore multiattributo (Fishburn 1970) ed il metodo AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Saaty 1980, 1988, Vargas 1990).
- II. L'aggregazione multicriteri basata sui *sistemi di preferenza relazionali* fondata da Roy negli anni '80 e sviluppata dalla scuola costruttivista francese. Essa presuppone che non esista uno schema predefinito di preferenze nella mente del decisore, accettando anche la possibilità che due azioni siano fra loro incomparabili e che il sistema delle preferenze sia di tipo intransitivo. Il confronto fra due azioni procede infatti attraverso la costruzione di una relazione di surclassamento verificata attraverso indici (di concordanza e discordanza). Queste procedure possono portare ad un'aggregazione parziale delle alternative, ma non soggiacciono a logiche di tipo compensatorio. A questa famiglia appartengono i metodi ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité : I, II, III, IV, TRI), proposti da Roy a partire dal 1968.

In questa sede vengono analizzati gli *aspetti salienti del metodo AHP* impiegato, nel caso di studio, per la costruzione di un corridoio stradale di minima sensibilità ambientale.

Alla base dell'Analisi Gerarchica AHP vi è l'assunzione che il decisore sia sempre in grado di esprimere una preferenza o un'indifferenza quando si debbano confrontare, a coppie, le alternative rispetto agli attributi del problema decisionale. Ciò permette di associare un peso agli attributi di valutazione proporzionalmente alla loro importanza ed un punteggio alle alternative rispetto ad ogni attributo. L'AHP affronta il processo di valutazione attraverso alcune fasi distinte assumendo come criterio metodologico generale quello di dividere il problema complessivo di scelta in una serie di sottoproblemi più ridotti e di facile soluzione. In una prima fase di analisi vengono definiti: l'obiettivo generale della valutazione (goal), i criteri e gli attributi necessari per raggiungere tale obiettivo e l'insieme di alternative da ordinare per la scelta. Nella fase successiva, di sintesi, è necessario decidere quale alternativa risulti più soddisfacente, effettuando un ordinamento sulla base dei criteri determinati nella fase precedente. Le fasi di analisi e di sintesi vengono risolte in base ai seguenti principi: *decomposizione, confronti a coppie e ricomposizione gerarchica*.

Il primo principio, attraverso una scomposizione del problema, porta alla definizione di una struttura che consente di ordinare le informazioni sui rapporti reciproci delle variabili che intervengono nella scelta. Il procedimento può essere eseguito dal basso verso l'alto (bottom-up) o, più frequentemente, dall'alto verso il basso (top-down). La struttura di scomposizione viene rappresentata specificando, nell'ordine, l'obiettivo globale (goal o supercriterio), i criteri di valutazione, gli eventuali subcriteri, gli attributi e le alternative. La decomposizione può individuare un numero qualsiasi, ma finito, di livelli; essa cioè può essere spinta in profondità fino al grado di dettaglio desiderato. In Figura 1 viene riportato un esempio di gerarchia a tre livelli relativa alla problematica di ordinamento e successiva scelta di n alternative decisionali sulla base di un numero k di attributi di analisi. È importante sottolineare che in un problema di analisi multicriteri *AHP di tipo spaziale* la gerarchia è costituita da un numero di livelli più o meno spinto, ma che comunque termina con livello degli attributi o di eventuali sottoattributi (Siddiqui, 1996) in quanto le alternative sono localizzate e rappresentate geograficamente su ciascuna mappa dei criteri sotto forma di elementi puntuali, lineari, poligonali o, come nel caso di studio proposto in questa sede, da celle quadrate di una griglia vettoriale. La preferenza complessiva del decisore viene ricavata, partendo dalle preferenze espresse nei confronti a coppie, sia tra le alternative con riferimento ad un criterio per volta, sia tra i criteri ed attributi con riferimento al supercriterio. Facendo riferimento alla Figura 1, nel primo caso si costruiranno K matrici quadrate, positive e reciproche, il cui elemento di posizione, detto coefficiente di dominanza c_{ij} , rappresenta la preferenza, per ciascun decisore, dell'alternativa i -esima rispetto alla j -esima secondo il criterio/attributo k -esimo.

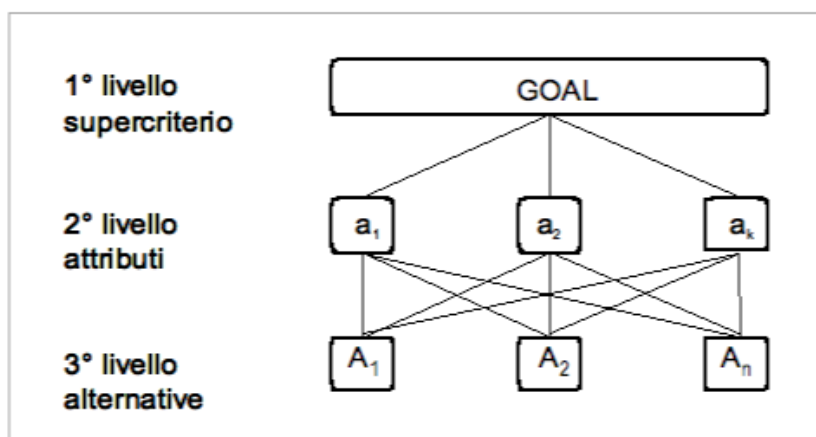


Figura 1 Struttura gerarchica a tre livelli secondo il metodo AHP

Nel secondo caso si giunge a definire una matrice quadrata, positiva e reciproca, derivante dal confronto a coppie tra tutti i K criteri/attributi ed in cui viene indicata l'importanza di un criterio rispetto ad un altro ai fini dell'obiettivo globale di scelta. In questa fase dell'AHP occorre definire una scala opportuna con la quale rappresentare una situazione di preferenza tra alternative o tra criteri. Con riferimento a studi di psicologia sulle "classi di indistinguibilità", Saaty (1980) ha proposto una scala di valori che permette di tradurre i giudizi qualitativi di confronto in termini quantitativi. Tale scala di importanza relativa copre un intervallo di valori che va da 1 (uguale importanza tra gli aspetti confrontati) a 9 (estrema importanza di un aspetto rispetto all'altro) anche se vengono automaticamente definiti anche i valori reciproci dei precedenti in quanto, ad esempio, se ad un elemento della gerarchia viene assegnata un'intensità di preferenza pari a 3 rispetto ad un altro elemento, allora quest'ultimo possiederà un'intensità di preferenza pari al reciproco della prima, cioè uguale ad $1/3$.

La *scala semantica di Saaty* (Figura 2) riveste un'importanza significativa nelle tecniche di analisi multiattributo, al punto tale che viene utilizzata anche indipendentemente dalla metodologia completa dell'AHP.

c_{ij}	Giudizio
1	ugualmente importante
3	leggermente più importante
5	più importante
7	molto più importante
9	estremamente più importante
2,4,6,8	valori di compromesso

Figura 2 Scala semantica di Saaty

La terza fase del metodo dell'analisi gerarchica consiste nell'effettuare una valutazione di sintesi dell'intero problema finalizzata ottenere un ordinamento complessivo delle alternative decisionali in modo coerente con l'intero sistema di preferenze del decisore in riferimento a

tutti gli elementi della gerarchia. A tal riguardo viene applicato il *principio di ricomposizione gerarchica* che consiste nel moltiplicare i pesi locali di ogni elemento della gerarchia per quelli dei corrispondenti elementi sovraordinati e poi sommare i prodotti così ottenuti.

È opportuno sottolineare che il metodo AHP presenta una marcata dipendenza rispetto al modo con cui la gerarchia viene strutturata: è infatti possibile manipolare l'ordinamento finale aggiungendo una o più alternative ad hoc.

Bisogna considerare, poi, il fatto che l'intero processo di analisi gerarchica richiede una notevole quantità di dati spazialmente distribuiti sul territorio ed aventi un livello di dettaglio compatibile con la tipologia di studio condotto: l'intera procedura valutativa può essere quindi piuttosto lunga ed dispendiosa in termini sia analitici che computazionali.

Infine risulta innegabile che la tecnica AHP sia molto valida quando il problema decisionale comporti la necessità di effettuare valutazioni non solo basate su informazioni metriche ma anche su considerazioni di tipo qualitativo, condizione questa assai comune nelle problematiche di pianificazione territoriale. Il metodo AHP è, in definitiva, molto utile per costruire una base informativa solida da utilizzabile come input per ulteriori valutazioni multicriteri più sofisticate.

4 IL CASO DI STUDIO: IL CORRIDOIO TIRRENO BRENNERO

4.1 Inquadramento territoriale

La progettazione delle opere di completamento del corridoio autostradale Tirreno – Brennero (Ti. Bre.) risulta di fondamentale importanza per lo sviluppo del sistema infrastrutturale italiano in quanto consente di realizzare il collegamento tra le autostrade A22 “del Brennero” e la A12 “Genova – Rosignano” attraverso la Autostrada A15 “Autocamionale della Cisa”.

In particolare il collegamento tra la A22 e la A15 dovrebbe essere realizzato mediante una bretella autostradale tra Parma e Verona in modo da collegare in maniera diretta gli interporti di Santo Stefano Magra, Fontevivo (Pr) e Verona rilanciando anche il sistema portuale dell'Alto Tirreno. Accanto a questa soluzione, che ancora non ha raggiunto la fase di approvazione definitiva, è in esame un'altra proposta progettuale alternativa che prevede il collegamento tra le città di Lucca e Modena, realizzando così una direttrice tra il Corridoio Tirrenico, con annesse le aree retroportuali di Livorno e Carrara, e la stessa A22 “del Brennero”. In entrambi i casi la realizzazione del collegamento Tirreno-Brennero riveste un ruolo strategico per gran parte dell'area centrale del nostro Paese, in particolare per le Regioni Liguria, Toscana, Emilia Romagna e Veneto, favorendo anche l'inserimento del progetto di completamento della A12 con la realizzazione del tratto Rosignano-Civitavecchia (Corridoio Tirrenico Meridionale). La realizzazione del corridoio Ti.Bre. è legata all'analisi sia dei flussi tra il Brennero e l'est europeo, sia di quelli generati nell'Alto Tirreno dai porti della Spezia,

Livorno e Genova ai quali si devono aggiungere quelli che si genereranno dalla realizzazione del Corridoio Meridionale (Figura 3). Il progetto del Ti.Bre. si inserisce, poi, all'interno del progetto europeo di realizzazione del Corridoio 5, l'asse di collegamento Ovest-Est, che permetterà di collegare la parte più economicamente sviluppata del nostro Paese con i nuovi mercati emergenti dell'Est; inoltre contribuirà ad alleggerire il traffico che attualmente transita sulla dorsale appenninica costituita dalla Autostrada A1 "Napoli – Milano".



Figura 3 Collocazione strategica dell'asse Tirreno Brennero

Nel presente studio si analizza la possibilità di effettuare il *completamento del corridoio Tirreno – Brennero* facendo riferimento ad una diversa soluzione progettuale prevista (il cosiddetto "*Tracciato basso*") e individuando poi un possibile *nuovo raccordo autostradale tra le città di Parma e Mantova*, che permette così il collegamento diretto tra l'Autostrada A15 della Cisa e l'Autostrada A22 del Brennero. La progettazione di tale raccordo per il completamento della Autostrada A15 viene basata sull'individuazione di un *corridoio di minima sensibilità ambientale* necessario per valutare, ex ante, gli impatti potenziali dell'infrastruttura sul territorio circostante. L'obiettivo è quello di proporre un *set di alternative progettuali di minimo impatto ambientale* costruite sulla base di più criteri ed attributi di vario genere e natura, anche di carattere intangibile o comunque non facilmente misurabili in termini monetari. I territori interessati da questo intervento sono le Regioni Emilia Romagna e Lombardia ed in particolare le Province di Parma, Cremona e Mantova (Figura 4). L'infrastruttura prevista si sviluppa in un territorio completamente pianeggiante, caratterizzato da una media urbanizzazione e dalla presenza di zone ambientali di pregio come i Parchi dell'Oglio e del Mincio. I principali centri urbani dell'area sono Trecasali, Viadana e Sabbioneta: il primo è sede di importanti industrie nazionali come l'Eridania e l'Edison, gli altri presentano invece una spiccata vocazione residenziale. Il sistema della mobilità è costituito da una fitta rete stradale di tipo fortemente congestionato a causa del sovrapporsi di flussi di attraversamento di valenza interprovinciale ed interregionale con quelli relativi allo spostamento locale.

Le necessità che portano alla realizzazione dell'opera possono quindi essere così sintetizzate:

- I. realizzazione del collegamento Ti.Bre. all'interno di un progetto più ampio che prevede la realizzazione di un Corridoio Europeo che colleghi i Corridoi Meridionale e Tirrenico con i nuovi mercati dell'Est;
- II. separazione dei flussi diretti verso il Brennero o provenienti da esso con quelli circolanti sulla A1: attualmente questi flussi vengono a sommarsi nel tratto Parma – Modena;
- III. separazione dei flussi di attraversamento con quelli di spostamento locale lungo le S.S. e le S.P. presenti nell'area in studio.

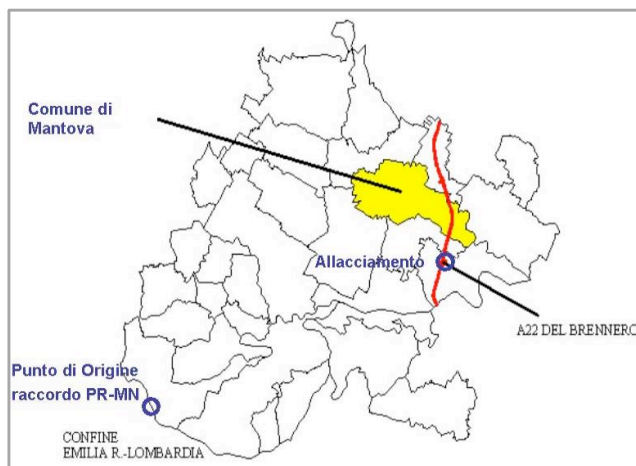


Figura 4 Territorio interessato dalla realizzazione del raccordo PR-MN

4.2 Il quadro normativo e della pianificazione

Il completamento del Corridoio Ti.Bre. attraverso il collegamento della Autostrada A15 con la A22 del Brennero fa parte di quella categoria di infrastrutture pubbliche e strategiche di preminente interesse nazionale, da realizzare per la modernizzazione e lo sviluppo del paese, individuate dalla Legge n°443/2001.

La progettazione del raccordo tra le due Autostrade rientra inoltre tra le infrastrutture di interesse delle Regioni Emilia Romagna e Lombardia, vista la delibera CIPE n°121/2001.

La progettazione del tratto in esame, che collega le città di Parma e Mantova, deve rispettare, ovviamente, la Normativa vigente in materia di progettazione stradale emanata con il D.M. 5/11/2001 (“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”), il D.M. 19/4/2006 (“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”) e la Normative nazionali in materia di Lavori Pubblici (L. n°109/94 e D.P.R. n°554/99 con le loro norme di attuazione). Data l'importanza dell'infrastruttura, è necessario rispettare non solo le normative di carattere strettamente tecnico-costruttivo, ma anche quelle che regolano il corretto inserimento ambientale dell'opera nel territorio, cioè le Leggi emanate in materia di Valutazione di Impatto Ambientale. L'infrastruttura oggetto del presente studio ricade in una delle categorie previste dal D.P.C.M. 377/1988, integrato dal D.P.R. 11/02/1998, dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 e dal Decreto Legislativo 16 gennaio 2008 n.4, per le quali è

prevista obbligatoriamente la V.I.A. In riferimento alla suddetta normativa, si prevede che l'opera da realizzare venga inserita in un quadro di riferimento programmatico allo scopo di verificare la sua compatibilità con gli atti di pianificazione territoriale, anche a livello settoriale. In particolare, facendo riferimento all'Allegato III del D.P.C.M. 1988 e successive integrazioni, per le infrastrutture lineari di trasporto di rilevanza nazionale deve essere verificata la *corrispondenza con gli obiettivi pianificatori* contenuti nei seguenti strumenti di governo del territorio: *Piano decennale ANAS, Piano generale dei trasporti, Piani regionali dei trasporti, Piani provinciali e di area vasta per la salvaguardia ed il risanamento ambientale, Piani territoriali e paesistici*. I contenuti, gli obiettivi e le priorità del nuovo *Piano Decennale della Viabilità 2003–2012 dell'Anas* sono stati definiti nella Direttiva del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 1°agosto 2003, emessa ai sensi dell'art. 4 della Convenzione di Concessione tra il MIT e l'Anas.

Gli indirizzi del ministro ed il quadro della programmazione pregressa definiscono un sistema articolato di necessità di adeguamento e potenziamento del sistema stradale nazionale, per il quale è forte la richiesta che viene dal Paese. Il quadro di riferimento del nuovo piano pluriennale è dunque composto da una serie di punti programmatici fondamentali tra cui si individua quello relativo alla programmazione delle opere strategiche di rilevanza nazionale, definite dalla Delibera CIPE 21.12.2001, già in parte avviate con il Programma Straordinario 2003 all'interno del quale si colloca la realizzazione del collegamento Ti.Bre.

Il Piano Generale dei Trasporti, aggiornato nel Gennaio 2001, insieme al *Piano della Logistica* (2006) e alle *Linee Guida per la definizione del Piano Generale della Mobilità* (2007), rappresentano i principali strumenti programmatici nazionali della politica dei trasporti e sono quindi il punto di riferimento per qualsiasi intervento di tipo regionale/locale. Tali Piani si prefiggono di svolgere la funzione di quadro di riferimento per un insieme di interventi atti a rafforzare il sistema economico italiano ed a migliorare la qualità della vita attraverso uno sviluppo sostenibile delle risorse: in particolare tali strumenti di pianificazione di settore si propongono di favorire i trasporti marittimi, di incentivare le potenzialità del trasporto ferroviario, di facilitare l'incremento del trasporto aereo ed, in generale, di favorire lo sviluppo di sistemi di trasporto integrato di tipo intermodale con l'obiettivo di realizzare un Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti (SNIT). In sostanza indicano strategie, metodologie e criteri di valutazione delle priorità di intervento: con riferimento alla nascita dello "SNIT", il collegamento Ti.Bre. viene individuato come infrastruttura principale per il potenziamento dei corridoi di collegamento con il Brennero, sia del Nord Tirreno che dei porti di Livorno e La Spezia. Come accennato in precedenza, a fianco degli strumenti suddetti, uno strumento chiave in materia di programmazione, progettazione e finanziamento delle opere pubbliche è rappresentato dalla *Legge Obiettivo* che si propone di regolare, sulla base di principi innovativi, la realizzazione delle opere pubbliche definite "strategiche", quindi di preminente interesse nazionale: il collegamento Ti.Bre è inserito nell'elenco dell'allegato al Programma delle infrastrutture di tipo strategico.

A livello regionale, i *Piani regionali dei trasporti* recepiscono le indicazioni del Piano generale raccomandando di “procedere ad una verifica funzionale dei tracciati possibili, oltre a ogni altra verifica ed approfondimento tecnico necessario, con riferimento anche agli aspetti ambientali”.

In particolare il *Piano Regionale Integrato dei Trasporti della Regione Emilia Romagna* entra nel dettaglio degli interventi da apportare al sistema infrastrutturale regionale, dedicando uno specifico paragrafo per giustificare la necessità di realizzazione del Raccordo Autocisa–AutoBrennero. La *Regione Lombardia*, in assenza di un *Piano Regionale dei Trasporti e della Logistica* e di un *Piano della Mobilità*, individua, attraverso il *Piano Territoriale Regionale* (P.T.R.), le zone pedemontane come le aree strategicamente più importanti per il collegamento da e per l'Europa, al fine di favorire lo sviluppo economico e commerciale, ed indica, come obiettivo prioritario, la necessità di favorire gli scambi, di lungo e di breve raggio, sia all'interno della regione che tra il territorio regionale e l'esterno, intervenendo sul potenziamento delle infrastrutture di trasporto e delle reti tecnologiche. In particolare, nel Documento Strategico preliminare al P.T.R. vengono individuate le province di Mantova e Cremona come appartenenti ad una futura area metropolitana il cui sviluppo si basa sulla realizzazione dei nuovi corridoi infrastrutturali (Corridoio 5 e Ti.Bre.). A fianco degli strumenti di pianificazione dei trasporti i *Piani Paesistici Regionali ed i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali (PTCP)* di Mantova, Cremona e Parma si pongono l'obiettivo di valutare la compatibilità territoriale e paesaggistica delle scelte connesse alla realizzazione di nuovi interventi sul territorio, con l'intento di fornire una cognizione delle conseguenze che tali scelte possono comportare, non solo in termini di perdita di identità dei luoghi e di compromissione di risorse, ma anche in riferimento alla formazione di nuove opportunità di sviluppo soprattutto di tipo economico. In particolare il *P.T.C.P. della Provincia di Mantova* si prefigge come obiettivo principale per il potenziamento dell'accessibilità provinciale la promozione di una corretta progettazione e realizzazione del corridoio plurimodale ferroviario ed autostradale Tirreno-Brennero, con i relativi raccordi, allo scopo di ottimizzare i collegamenti con i nodi di accesso agli itinerari plurimodali nazionali ed internazionali. La *Provincia di Cremona*, nel quadro conoscitivo del P.T.C.P., presenta un *Piano di settore relativo alla mobilità* in cui, in riferimento agli interventi relativi viabilità provinciale, viene considerata “di interesse primario e strategico la realizzazione del Corridoio Ti.Bre in modo da incentivare lo sviluppo dell' integrazione territoriale”. Per quanto riguarda, infine, la *Provincia di Parma*, il *P.T.C.P.* sottolinea il ruolo chiave svolto dal “completamento del raccordo autostradale AutoCisa - AutoBrennero, con piattaforma a 2 corsie per senso di marcia e svincoli senza punti di conflitto”.

4.3 Il quadro della progettazione e dei vincoli

Il raccordo tra l'A15, Parma-La Spezia, e l'A22 del Brennero, definisce un progetto capace di ridisegnare i collegamenti dell'Italia con il Centro ed il Nord Europa. Le principali ragioni della necessità della realizzazione di tale infrastruttura sono da ricercare principalmente in:

- Contribuire al completamento della rete transeuropea di trasporto in quanto rientra tra i progetti di interesse comunitario (CEE n° 22/55);
- Realizzare un asse tirrenico occidentale a completamento del disegno viario nazionale;
- Alleggerire il traffico sulla dorsale appenninica dell'A1;
- Accelerare la crescita economica di aree del Paese con elevati margini di sviluppo;
- Favorire il rilancio del sistema portuale dell'Alto Tirreno e raccordarlo direttamente con la A22 del Brennero.

Per il soddisfacimento dei suddetti punti sono state proposte, come anticipato in precedenza, diverse *soluzioni progettuali alternative*: tra queste vengono di seguito riportate, con le loro principali caratteristiche, quelle che negli ultimi anni sono state al centro del dibattito politico-economico nazionale, regionale e locale:

- ✓ *"Tracciato alto"*: prevede il completamento della Autostrada A15 della Cisa con una bretella autostradale di circa 80 km che collega Parma con Nogarole Rocca (Vr) e che ha come ulteriore scopo quello di collegare gli interporti di S. Stefano Magra, Parma e Verona e di potenziare le aree aeroportuali delle stesse Parma, Verona e Mantova. Tale soluzione, il cui progetto preliminare è in via di approvazione, risulta attualmente bloccata per motivi legati ai numerosi ricorsi ambientali, in quanto va ad interessare i Parchi dell'Oglio e del Mincio.
- ✓ *"Tracciato basso"*: prevede il collegamento della Autostrada A15 con la provincia di Mantova tramite una bretella autostradale. Tale soluzione è stata però scartata a vantaggio del "Tracciato alto".
- ✓ *Autostrada Lucca - Modena* : prevede la realizzazione del collegamento diretto tra l'Alto Tirreno e la A22 del Brennero con un raccordo autostradale di 80 km, metà dei quali, però, dovrebbero essere realizzati in galleria; per tale motivo anche questo progetto trova forti opposizioni ambientali.

In riferimento al *quadro dei vincoli* è opportuno sottolineare che, ai fini di un corretto inserimento dell'opera proposta nel sistema territoriale interessato, risulta necessario tutelare le risorse naturali presenti, sia per le caratteristiche specifiche che le contraddistinguono, sia per salvaguardare la qualità paesistica e l'integrità fisica del territorio.

Nell'ambito territoriale interessato dall'intervento viene evidenziata la presenza sia di aree soggette a *vincolo idrogeologico-forestale* (bacini del Po e dell'Oglio) che di aree a *vincolo paesaggistico- ambientale*.

4.4 Il quadro ambientale: le mappe di sensibilità territoriale

Ai fini di un corretto inserimento della nuova infrastruttura nel contesto ambientale le normative vigenti in materia di V.I.A. prevedono che lo studio di impatto ambientale analizzi la complessità delle componenti ambientali che costituiscono il sistema territoriale, in particolare l'atmosfera, l'acqua, il suolo e sottosuolo, la vegetazione e la flora, la fauna, gli ecosistemi, l'ambiente antropico, il paesaggio ed il patrimonio culturale.

Occorre in ogni caso tenere presente che in uno studio ambientale non necessariamente tutte le componenti e i fattori ambientali devono essere approfonditi con lo stesso grado di dettaglio: questo dipende principalmente dalla natura dell'opera e soprattutto dalle specificità del sito in esame. *Nel presente studio*, considerando le peculiarità territoriali dell'area vasta e le caratteristiche dell'infrastruttura da realizzare *sono stati approfonditi*, perché ritenuti di prioritaria importanza, i temi riguardanti *l'acqua, il suolo e sottosuolo, la vegetazione ed il paesaggio*, includendo nell'analisi lo studio dei *vincoli territoriali* che diventano, a seconda dei casi, fattori di esclusione o di forte penalizzazione per la realizzazione dell'opera in oggetto. Allo scopo di costruire una *mappa di sensibilità territoriale* atta ad individuare le *porzioni di territorio* che, *sulla base dei criteri e degli attributi considerati*, meglio si prestano ad accogliere la nuova infrastruttura viene applicato il metodo di *analisi multicriteri AHP*.

La *scelta dei criteri* e dei vincoli viene fatta in base alle prescrizioni stabilite dalla Normativa in materia di V.I.A. ed in particolare dall' Allegato III del D.P.C.M. 27/12/1988 che mette in evidenza la necessità di considerare, in modo integrato nella valutazione, sia parametri di carattere tecnico, che economico ed ambientale, con riferimento in particolare alla definizione del tracciato e dei profili con le relative soluzioni tipologiche, allo studio del regime delle acque superficiali, all'analisi delle modifiche indotte dall'opera sulle caratteristiche geomorfologiche dei suoli, allo studio degli effetti paesaggistici.

Sono stati individuati, quindi, *tre criteri principali* identificati con "acqua", "suolo e sottosuolo", "paesaggio"; essi comportano la necessità di valutare, in maniera prioritaria, il problema della *protezione delle risorse idriche*, lo studio delle *caratteristiche geologiche e geotecniche dei suoli*, aspetti che influenzano la tipologia costruttiva dell'opera, la *protezione e conservazione* degli elementi naturali ed antropici di pregio in termini di *tipicità del paesaggio*. Vengono considerati anche alcuni *vincoli escludenti* (sia puntuali che lineari) che individuano le porzioni di territorio ad altissima sensibilità ambientale e quindi meno idonee al passaggio della infrastruttura. Per ciascun criterio viene specificato un numero significativo di attributi scelti in base alle priorità sopra dichiarate ed alla *disponibilità e qualità dei dati territoriali* messi a disposizione dalle *Regioni Lombardia ed Emilia Romagna* e dalla *Provincia di Parma*. Dall'analisi dei dati emerge che le *informazioni* fornite dalla *Regione Emilia Romagna* risultano essere *eterogenee* ed in *numero nettamente inferiore* rispetto a quelle relative al territorio lombardo; in questa situazione l'analisi poteva essere condotta secondo due modalità :

1. effettuare lo studio di sensibilità sui pochi dati omogenei per l'intera area di studio;
 2. effettuare lo studio di sensibilità esclusivamente sul territorio lombardo e definire per la parte ricadente in Emilia-Romagna una bozza di tracciato rispettando i vincoli principali.
- È stata scelta la *seconda opzione* dato che l'infrastruttura si dovrebbe sviluppare per circa il 75% della sua lunghezza nelle Province di Mantova e Cremona dove le problematiche da affrontare a livello ambientale sono più complesse e richiedono un più elevato livello di dettaglio nell'analisi. L'insieme delle informazioni necessarie per lo studio di sensibilità dell'area vengono schematizzate in Tabella 1 in cui si fa riferimento appunto al set di dati geografici relativi alla Regione Lombardia.

Tabella 1 Base Dati-Regione Lombardia

BASE DI DATI - LOMBARDIA				
CRITERIO	ATTRIBUTO	FONTE	DOCUMENTO	SCALA
ACQUA	Zone di esondazione	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Fontanili, sorgenti	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Argini, zone golenali	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Zone paludose e di ruscellamento	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
SUOLO E SOTTOSUOLO	Frane, Doline, Conoidi	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Litologia	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Uso del suolo + vegetazione	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
			CTR	1:10000
	Geomorfologia	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Morfologia sotterranea	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Faglie, Paleovalvei	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
PAESAGGIO	Visibilità	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
	Sistemi di paesaggio	Regione Lombardia		
ESCLUDENTI	Rete stradale e ferroviaria	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Rete idrografica	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
			CTR	1:10000
	Reti tecnologiche	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Vincoli idrologici	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Vincoli paesaggistici	Regione Lombardia		
	Vincoli architettonici-archeologici	Regione Lombardia	Basi ambientali della pianura	1:25000
			CTR	1:10000
	Urbanizzato	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Cave	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Discariche	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Siti da bonificare	Regione Lombardia	CTR	1:10000
	Impianti di trasformazione	Regione Lombardia	CTR	1:10000

La struttura gerarchica completa relativa all'individuazione del corridoio stradale di minima sensibilità, da individuare secondo la tecnica AHP, viene riportata in Figura 6.

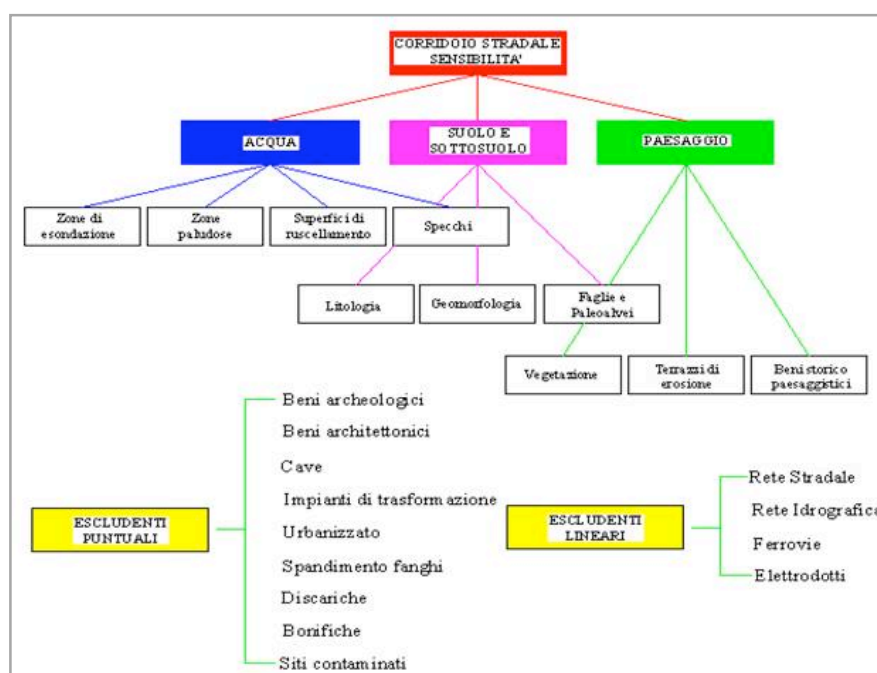


Figura 6 Struttura gerarchica di Saaty

La *struttura gerarchica* di Figura 6 consiste di *tre livelli*: goal, criteri ed attributi che servono a misurare ed a dare una distribuzione territoriale ai valori dei criteri. Dato che le alternative vengono rappresentate geograficamente in ambiente GIS da celle quadrate di una griglia che ricopre l'intera area di studio, la struttura gerarchica termina al livello degli attributi i cui pesi sono attribuiti ai rispettivi map layers standardizzati che vengono successivamente sommati per ottenere il punteggio complessivo di ogni alternativa. È necessario quindi stabilire una dimensione di riferimento della cella costituente il raster che sia significativa per lo studio in esame. Considerato che l'ingombro complessivo della sede autostradale si aggira intorno ai 35 m. (sono comprese anche le aree adiacenti per la manutenzione) e che l'area di studio è molto vasta si è deciso di assegnare alla cella una dimensione di 50 x 50 m.

Poiché le informazioni georeferenziate relative agli attributi della struttura gerarchica presentano unità di misura diverse e soprattutto possono essere indifferentemente di tipo qualitativo (ad es. dati categorici) o quantitativo, è assolutamente necessario procedere ad una *standardizzazione degli strati informativi* in modo da renderli *omogenei e confrontabili*: tale processo si rende necessario per implementare la fase di *ricomposizione gerarchica* implementata attraverso procedure di overlay fra i diversi grid secondo combinazioni lineari i cui coefficienti sono rappresentativi dei pesi assegnati ad ogni livello della gerarchia. La fase di omogeneizzazione delle diverse scale di misura in una comune scala unidimensionale, generalmente compresa nell'intervallo 0-1, può avvenire in modi molto diversi: per lo studio in esame si è preferito procedere ad una standardizzazione dei dati categorici mediante confronti a coppie fra le diverse classi, mentre per le altre tipologie di dati sono state costruite funzioni di utilità di tipo lineare. Si riportano qui di seguito, *a titolo di esempio, alcune principali procedure* di standardizzazione dei dati relative agli attributi costituenti l'albero decisionale.

Per quanto riguarda la *rete stradale* presente nell'area di studio, la componente alfanumerica del dato geografico si caratterizza da un campo in cui è riportata la tipologia di strada (autostrade, statali, provinciali e comunali) in funzione della quale il dato viene processato. Poiché la rete stradale è considerata come fattore escludente, cioè si assume l'impossibilità di realizzare la nuova infrastruttura autostradale nella zona di ingombro di ciascuna tipologia di strada (stabilita dal codice stradale), viene costruita una funzione di utilità lineare decrescente con la distanza dal limite della zona di ingombro (Figura 7a). Lo stesso metodo è stato utilizzato agli altri attributi caratterizzati da elementi lineari, ovviamente con funzioni di standardizzazione adeguate al tipo di attributo. Per quanto riguarda invece informazioni di *tipo categorico*, come per esempio l'attributo *litologia*, il dato vettoriale è strutturato secondo differenti classi in funzione del tipo di terreno (ghiaie, sabbie, limi o argille). Per costruire la mappa di sensibilità territoriale in scala dimensionale (0-1) viene effettuato il confronto a coppie fra le diverse categorie litologiche, attribuendo una diversa sensibilità in funzione della permeabilità dei suoli connessa alla litologia; vengono considerate quindi più sensibili quelle porzioni dell'area di studio cui corrisponde una distribuzione granulometrica più grossolana.

In Figura 7b le porzioni più chiare rappresentano le aree meno sensibili, quindi più idonee al passaggio della infrastruttura secondo l'attributo considerato (litologia).

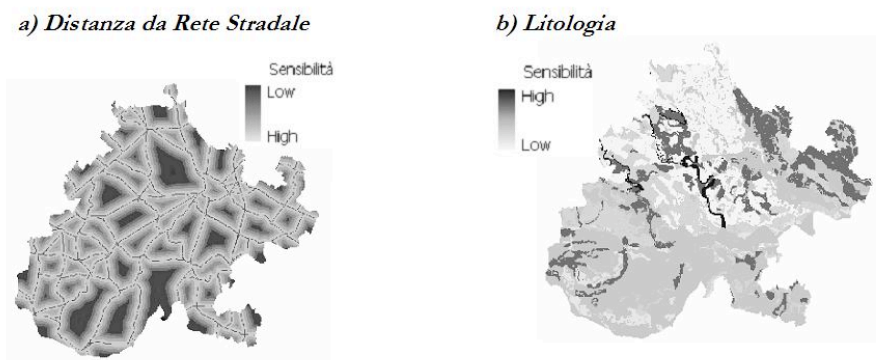


Figura 7 Sensibilità del territorio rispetto all'attributo “distanza dalla rete stradale” (a) e rispetto all'attributo “litologia” (b)

Un analogo ragionamento a quello proposto per l'attributo “litologia” viene effettuato per tutti gli altri dati di tipo categorico che popolano l'albero gerarchico, applicando di volta in volta una opportuna funzione di standardizzazione derivante dal confronto a coppie fra le diverse classi secondo cui si articola l'informazione di base.

Una volta definiti i grid relativi agli attributi della struttura gerarchica di Figura 6 è necessario procedere alla fase di *ricomposizione gerarchica* per ottenere le mappe di sensibilità territoriale rispetto ai criteri: esse sono ottenute come combinazione lineare di quelle degli attributi dove i coefficienti sono rappresentativi del peso, ovvero dell'importanza che ogni singolo attributo ha all'interno del criterio stesso. Con riferimento ad esempio al criterio “acqua” la mappa di sensibilità territoriale, rispetto alla realizzazione del corridoio Ti.Bre, è ottenuta secondo lo schema di Figura 8.

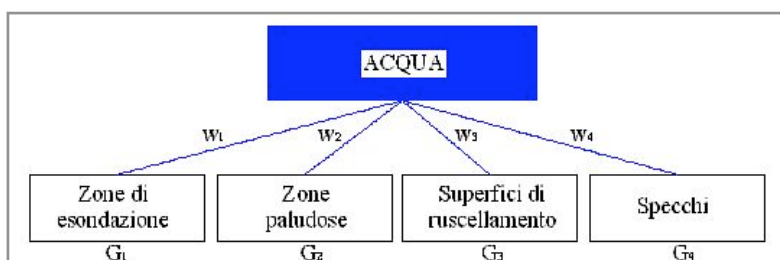


Figura 8 Ricomposizione gerarchica degli attributi G1, G2, G3, G4 rispetto al criterio Acqua

L'assegnazione dei pesi dei quattro attributi rispetto al criterio “Acqua” viene effettuata attraverso il *metodo dei confronti a coppie* costruendo una matrice di rango 4 i cui elementi sono computati in base alla scala semantica di Saaty di cui deve essere verificata la *consistenza* imponendo che il rapporto di consistenza CR non superi una soglia convenzionale del 10%, ovvero deve essere rispettata la condizione. Nel caso in esame la matrice dei

confronti a coppie, il calcolo dei pesi cui corrisponde un valore di consistenza CR pari a 0,009 vengono riportati in Figura 9.

Matrice CC	esondaz	palud	ruscell	specchi	pesi	Consistenza	
esond	1	2	4	5	0,492	$\lambda = 4,027118$	
palud	0,5	1	3	4	0,307	CI	CR
ruscell	0,25	0,333333	1	1,5	0,117	0,009	0,010
specchi	0,2	0,25	0,666667	1	0,084		
somma	1,95	3,583333	8,666667	11,5	1,000		

Figura 9 Matrice dei confronti a coppie e valore dei pesi per gli attributi del criterio Acqua

Osservando la matrice si nota come sia stata data una maggiore importanza agli attributi corrispondenti ai map layers delle zone di esondazione e delle aree paludose rispetto agli strati geografici relativi alle superfici di ruscellamento ed agli specchi d'acqua; si ritiene infatti che i primi due attributi siano più strettamente connessi alle problematiche relative alla realizzazione dell'opera, sia dal punto di vista tecnico-costruttivo (e quindi maggiori costi di investimento) che strettamente ambientale (costi indiretti elevati). I pesi, determinati come le componenti dell'autovettore relativo all'autovalore principale della matrice dei confronti a coppie, vengono moltiplicati per i grid standardizzati rappresentativi alla sensibilità ambientale dei singoli attributi, ottenendo così la mappa di sensibilità finale relativa al criterio acqua. Per gli altri criteri che popolano la struttura gerarchica sono state effettuate analoghe elaborazioni costruendo altrettante mappe che indicano, rispetto al criterio in esame, la maggiore o minore idoneità territoriale alla localizzazione dell'infrastruttura autostradale. Per ottenere la *mappa di sensibilità finale* è necessario procedere all'ultima fase di ricomposizione gerarchica assegnando ai tre criteri un peso rappresentativo della sua importanza rispetto all'obiettivo ed effettuando poi una combinazione lineare fra i corrispondenti strati informativi geografici (Figura 10). Al dato così ricostruito va poi sovrapposto il grid rappresentativo dei *fattori escludenti* che elimina quelle aree dove il tracciato della nuova infrastruttura non può certamente passare.

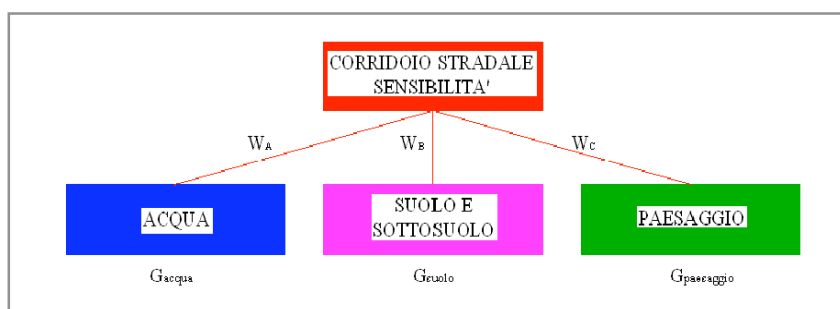


Figura 10 Ricomposizione gerarchica della sensibilità dei criteri rispetto al goal

4.5 La costruzione degli scenari e l'individuazione dei corridoi stradali di minima sensibilità

Definite le mappe di sensibilità relative a ciascun criterio ed attributo della gerarchia, è possibile individuare e rappresentare quali porzioni di territorio siano più adatte ad accogliere la nuova infrastruttura stradale. La costruzione di tutte le mappe di sensibilità intermedie, e conseguentemente anche quella finale relativa al goal, dipendono dell'importanza attribuita dal decisore a ciascun elemento della gerarchia: variando i pesi, in maniera conforme alla strategia di ciascun decision maker, possono quindi essere costruiti differenti *scenari* relativi alla sensibilità del territorio rispetto alla realizzazione dell'opera in esame. In riferimento a *ciascuno scenario* di idoneità territoriale è possibile costruire, noti i punti di origine e destinazione dell'infrastruttura da realizzare, un *percorso di "minor costo ambientale"* che definisce una linea guida, una sorta di *corridoio*, all'interno della quale deve poi essere definito il *tracciato stradale* vero e proprio secondo le normative di tipo tecnico-costruttivo. La parte finale dell'analisi consiste quindi nel definire i diversi scenari di valutazione privilegiando, di volta in volta, un punto di vista diverso secondo cui l'analisi può essere condotta: nel caso in esame sono stati identificati quattro distinti scenari:

- I. Scenario 1 (equilibrato): viene attribuita la stessa importanza a tutti gli elementi della gerarchia, fornendo una valutazione il più possibile equidistante rispetto a tutti gli elementi di analisi;
- II. Scenario 2 (protezione suolo): viene attribuita maggiore importanza a tutti gli attributi connessi al criterio suolo, quindi agli elementi geologici e geotecnici dell'analisi, privilegiando, nella valutazione, gli aspetti connessi alla idoneità tecnico-costruttiva del tracciato;
- III. Scenario 3 (protezione risorse idriche): viene attribuita maggiore importanza al criterio acqua ed alla protezione della risorsa idrica superficiale e sotterranea, privilegiando, nella valutazione, sia elementi strettamente ambientali che aspetti connessi ai costi diretti ed indiretti dell'opera, come specificato nel paragrafo precedente;
- IV. Scenario 4 (protezione del paesaggio): viene attribuita maggiore importanza agli attributi connessi alla protezione della tipicità dei luoghi, sia in termini di salvaguardia delle risorse naturali che antropiche.

Attraverso il confronto fra le mappe di sensibilità relative agli scenari sopra indicati è possibile studiare come varia la *distribuzione delle aree sensibili* nell'area di studio ed individuare differenti corridoi di minimo impatto (Figura 11): le zone bianche rappresentano le aree di esclusione, le zone chiare sono quelle a minore sensibilità, quindi più idonee alla localizzazione dell'infrastruttura, mentre le zone più scure rappresentano aree maggiormente sensibili perciò meno adatte per la realizzazione dell'opera in esame.

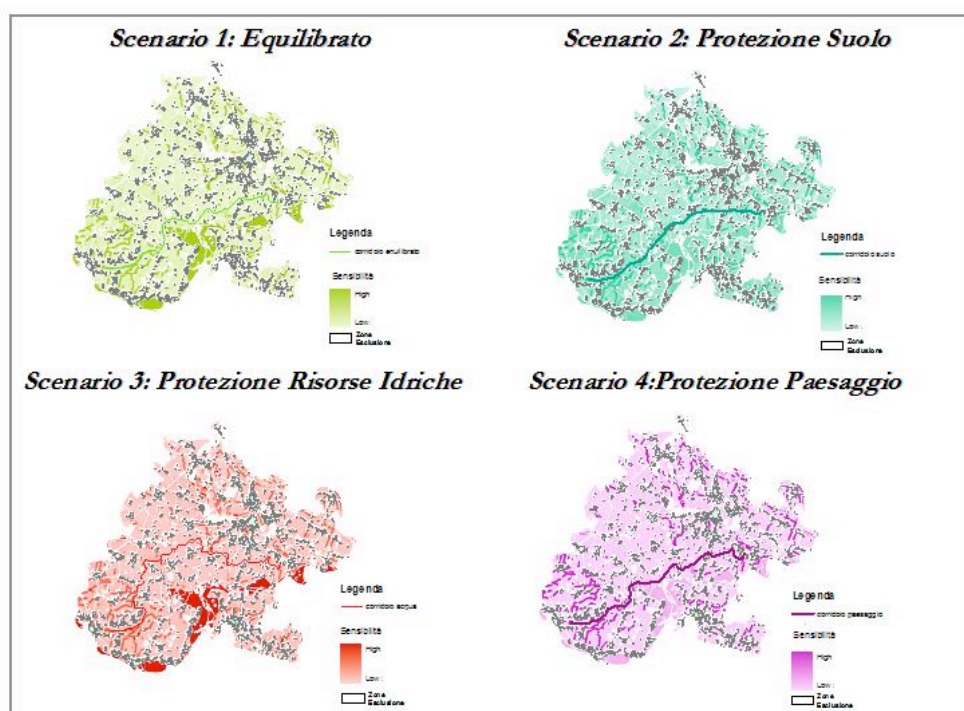


Figura 11 Confronto fra i diversi scenari di sensibilità ambientale e corrispondenti corridoi

Dall'analisi dei i diversi scenari di sensibilità ambientale è possibile confrontare l'andamento planimetrico dei *quattro corridoi di minima sensibilità* ognuno corrispondente ad uno specifico scenario (Figura 12). In particolare avremo: il corridoio numero 1 corrispondente allo scenario equilibrato; il corridoio numero 2 corrisponde allo scenario in cui è stata data la massima importanza al criterio “acqua”; il corridoio numero 3 corrisponde allo scenario in cui il criterio “suolo” risulta prioritario rispetto agli altri; il corridoio numero 4: corrisponde allo scenario che privilegia il criterio “paesaggio”. Come si evince dal confronto fra i corridoi di minimo impatto ambientale, relativi a ciascuno degli scenari elaborati (Figura 12), ben tre tracciati su quattro tendono a coincidere per buona parte del loro sviluppo, distanziandosi solo in alcune zone dell'area di studio in cui si dovranno affrontare specifiche problematiche ambientali, legate alla natura degli attributi considerati, le quali richiedono un grado di dettaglio di analisi molto maggiore. L'unico scenario che porta alla definizione di un corridoio completamente diverso dagli altri è quello dipendente dal criterio “acqua”: ciò dipende dal fatto che l'area di studio si caratterizza dalla presenza di ben due zone naturali tutelate a livello ambientale (le aree idriche dei Fiumi Po e Oglio) per cui, assegnando un peso particolarmente elevato agli attributi relativi al criterio “acqua” ed al criterio stesso, si ottiene come soluzione finale un corridoio che passa in adiacenza di tali zone. Poiché invece gli altri scenari individuano corridoi di minima sensibilità che tendono a coincidere tra di loro, nelle porzioni di territorio ad essi adiacenti dovranno essere esaminati con particolare attenzione gli impatti che l'infrastruttura potrebbe portare sul regime idrico, sull'andamento delle falde

individuando poi, col grado di dettaglio che ne compete, opportune misure di mitigazione e di protezione per l'ambiente circostante.

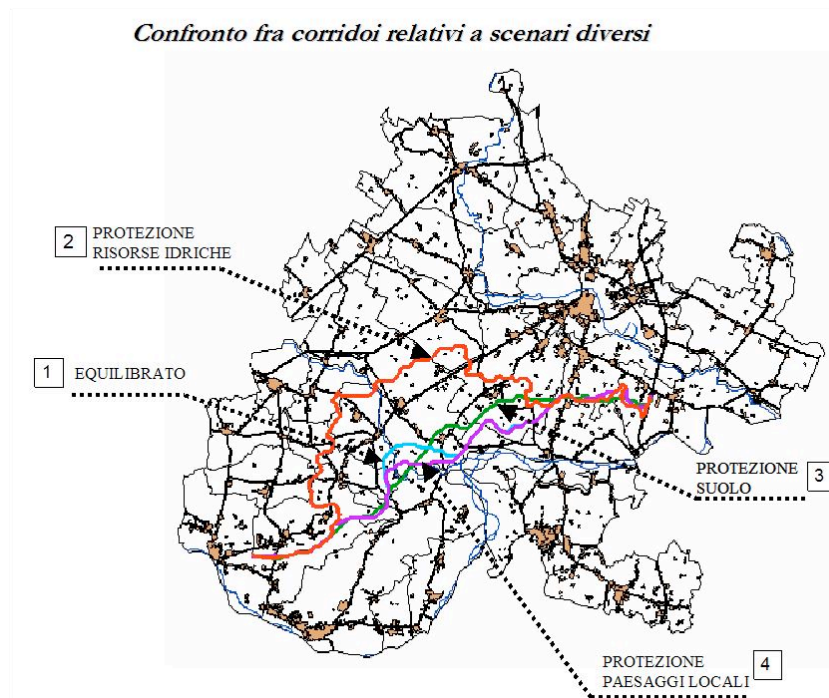


Figura 12 Confronto fra i diversi corridoi stradali di minimo impatto ambientale

Da un punto di vista progettuale, per la definizione dell'*effettivo tracciato stradale* di minimo impatto (Figura 13), progettato secondo le attuali normative stradali, è stata considerata la porzione di territorio in cui ricadono la maggior parte dei corridoi di minima sensibilità ambientale pur lasciando alla fase esecutiva e più dettagliata del progetto di effettuare accurati studi ed indagini per analizzare al meglio le problematiche connesse alla protezione delle risorse idriche.



Figura 13 Tracciato stradale di minimo impatto ambientale

5 CONCLUSIONI E SVILUPPI DELLA RICERCA

Nella presente lavoro viene presentata una metodologia capace di integrare le tecniche di analisi a criteri multipli ed i metodi di analisi spaziale, implementati attraverso i sistemi informativi geografici GIS, per la valutazione di compatibilità ambientale di infrastrutture lineari di trasporto di grande impatto nel territorio in cui debbono essere inserite. Viene affrontato il caso di studio del corridoio Tirreno-Brennero che rappresenta un esempio particolarmente calzante di come la mancanza di valutazioni appropriate ex-ante influisca sull'impossibilità di trovare un tracciato stradale "di miglior compromesso". Gli aspetti peculiari del metodo e le sue prospettive di sviluppo possono essere così sintetizzati:

- La selezione delle aree più sensibili, rispetto alla localizzazione di infrastrutture autostradali, sulla base di appropriati criteri ed attributi analizzati in maniera integrata e con riferimento alla struttura spaziale dell'informazione, risulta di fondamentale importanza sia per delineare corridoi stradali di minimo impatto ambientale, sia per attuare politiche di tutela ambientale e/o sviluppo infrastrutturale ed economico del territorio in esame;
- Il sistema proposto è molto flessibile e trasparente, tanto che il numero di criteri, attributi ed indicatori, rappresentabili attraverso mappe geografiche georeferenziate, può essere incrementato e comunque modificato;
- Il modello di analisi a criteri multipli spaziale è stato costruito ed implementato completamente in ambiente GIS: questo consente di gestire l'intero processo in un unico ambiente di lavoro;

Gli *sviluppi futuri* del modello prevedono l'implementazione di ulteriori tecniche di analisi a criteri multipli spaziale (metodi ELECTRE, metodi di aggregazione fuzzy) per l'ordinamento dei diversi tracciati stradali ottenuti tramite la presente analisi.

6 Bibliografia

- Bana A., Costa E., Steward T.J., Vansnick J.C. (1999) Multicriteria Decision Analysis: some thoughts based on tutorial and discussion session of the ESIGMA meetings, *European Journal of Operational Research*, n. 99, pp. 42-55.
- Bazzani G., Grillenzoni M., Malagoli C., Ragazzoni (1993) *Valutazione delle risorse ambientali*, Ed agricole, Roma.
- Bezzi C. (2004) *Il Disegno della Ricerca Valutativa*, Franco Angeli, Milano.
- Brambilla M., Erba S., Ponti M. (2005) La pianificazione e la valutazione delle infrastrutture in Italia: la legge obiettivo ed il caso del ponte sullo stretto di Messina, in Camagni R., Gorla G. (eds) *Valutazione Economica e Valutazione Strategica di programmi e progetti territoriali*, Franco Angeli, Milano, pp. 59-80.
- Fishburn P.C. (1970) *Utility Theory for Decision Making*, Wiley, New York.

- Jankowsky P. (1995) Integrating geographical information system and multiple criteria decision making methods, *International Journal of Geographical Information Systems*, n.9(3), pp. 251-273.
- Isard W., Smith C. (1983) Linked integrated multiregional models at the international level, *Papers in Regional Science* n.51 (1).
- Keeney R.L. and Raiffa H. (1976) *Decision with multiple objectives: preferences and value trade off*, Wiley, New York.
- Lombardo S. (1995) *La valutazione nel processo di piano* (eds) Franco Angeli, Milano, pp.9-16.
- Las Casas G.B. (1996) Una procedura di valutazione a due stadi: la localizzazione dell'Auditorium a Roma, *Oggetti di Studio LAC* (Laboratorio per le Applicazioni di Calcolo), Università di Roma, Facoltà di Architettura, n.1, pp. 38-46
- Malczewski J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, Wiley, New York.
- Means A. (1999) Evaluating socio-economic programmes, 6th volume, Office for Official Publications of the European Communities, European Commission, Luxembourg.
- Nijkamp, P. (1980) *Environmental Policy Analysis*, John Wiley, New York.
- Nijkamp P e Gerard L. (2000) *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*, Franco Angeli, Milano;
- Pearce D.W. (1998). Environmental Appraisal and Environmental Policy in the European Union, *Environmental and Resource Economics*, n.11(3-4), pp. 489-501.
- Pearce D.W., Secconbe-Hett T. (2000) Economic Valuation and Environmental Decision-Making in Europe, *Environmental Science & Technology*, n.34(8), pp.1419-1425.
- Pompili T. (2005) Metodologie di valutazione economica: una rassegna sistematica, in Camagni R., Gorla G. (eds) *Valutazione Economica e Valutazione Strategica di programmi e progetti territoriali*, Franco Angeli, Milano, pp. 25-57.
- Roy B. and Bouyssou D. (1993) *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*, Economica, Paris.
- Saaty T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- Saaty T.L. (1988) *Decision Making for Leaders-The Analytical Hierarchy Process for decisions in a complex world*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Siddiqui M.Z. (1996) Landfill siting using geographic information systems:a demonstration, *Journal of Enviromental Engineering*, n.122(6), p.p.515-523;
- Stame N. (1998) *L'esperienza della valutazione*, Ed Seam, Roma.
- Vargas, L.G. (1990). An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications, *European Journal of Operational Research*, n.48, p.p.2-8.
- Vincke P. (1992) *Multicriteria decision-aid*, Wiley, New York.
- Voogd H (1983) *Multicriteria Evaluation for urban and regional planning*, Pion, London.

ABSTRACT

In urban and territorial planning the need to employ integrated evaluation approaches is currently emerging in order to adopt analytical methodologies of multidisciplinary type, which should be able to provide suitable indications in relation to the sustainability degree of government's actions. The evaluation procedures associated with the implementation of large scale territorial impact interventions, such as the identification of important infrastructural passageways having national strategic relevance, therefore require decision support systems based on both multicriteria and spatial analysis techniques among which geographical information systems (GIS) represent a fundamental tool.

These two research areas, multicriteria analysis and geoprocessing techniques, can benefit one another: on one side GIS systems carry out an important role in organising, managing and integrating the huge quantity of geographical data required in the analysis, on the other side Multiple Criteria Analysis (MCA) methodologies offer procedures able to devise and model decision makers's preferences and to incorporate the decision process into a geographical system.

The aim of this study is to create integrated assessment procedures able to structure the decision making process when high impact interventions on transport system are devised for a certain territory and to develop a multicriteria GIS-based procedure capable to locate minimum environmental sensitivity corridors in which linear transport infrastructures can be designed: specifically the controversial Tirreno-Brennero passage case study will be analysed.

Among the various GIS based multicriteria analytical methods present in literature, we will refer to the Analytical Hierarchical Process AHP that allows to single out which territorial zones of the study area are best suited to the infrastructure localisation, identifying different possible road plan scenarios.