

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**



**DOTTORATO DI RICERCA**

**INGEGNERIA DELLE RETI CIVILI E DEI SISTEMI TERRITORIALI  
(XVIII CICLO)**

**TESI DI DOTTORATO**

**“L’ANALISI DEL VALORE PER LA VALUTAZIONE  
COMPARATIVA DEI TRACCIATI STRADALI”**

**Il Coordinatore:  
Ch.mo Prof. Ing. Domenico Pianese**

**Il Candidato:  
Ing. Paolo Discetti**

**Il Tutor:  
Ch.mo Prof. Ing. Renato Lamberti**

**Novembre 2005**

<i>Premessa</i> .....	4
1. <i>Studio di Fattibilità</i> .....	6
1.2. <i>Analisi del Valore</i> .....	12
1.2.1. <i>Il Processo</i> .....	18
1.2.2. <i>Concetto di Valore</i> .....	23
1.2.3. <i>Il Gruppo di Lavoro</i> .....	26
1.2.4. <i>Il piano di Lavoro</i> .....	27
1.2.4.1 <i>Orientamento dell'Analisi</i> .....	28
1.2.4.2 <i>Ricerca dell'Informazione</i> .....	29
1.2.4.3 <i>Analisi delle Funzioni e dei Costi</i> .....	29
1.2.4.4 <i>Ricerca delle Soluzioni</i> .....	32
1.2.4.5 <i>Selezione e Valutazione delle Soluzioni</i> .....	33
1.2.4.6 <i>Sviluppo e Presentazione Proposte di Scelta</i> .....	38
1.2.4.7 <i>Realizzazione</i> .....	38
2. <i>Le Tecniche di Analisi Funzionale</i> .....	40
<i>Il Diagramma FAST</i> .....	41
<i>Lo Schema dei Flussi</i> .....	42
<i>L'Albero delle Funzioni - Albero del Prodotto - Matrice Functions – Needs</i> .....	42
<i>La Matrice di Analisi Functions – Needs</i> .....	43
<i>La Matrice Costi – Funzioni</i> .....	45
3 <i>Applicata alle Opere Civili</i> .....	46
3.1 <i>Il Costo Globale e il Costo del Ciclo di Vita</i> .....	49
<i>Caso di studio – l'Alta velocità tratta Milano –Verona</i> .....	50
GLOSSARIO DEI PRINCIPALI METODI E PROCEDIMENTI DI VALUTAZIONE ESTIMATIVA, FINANZIARIA ED ECONOMICA ..	63
<i>Bibliografia</i> .....	66
4 <i>Analisi Costi Benefici</i> .....	67
4.1. <i>L'Analisi Costi- Benefici: Uno Strumento Per La Decisione Pubblica</i> .....	67
4.2. <i>Dall'Analisi Finanziaria All'analisi Costi - Benefici Sociale (Economica)</i> .....	68
4.2.1. <i>Effetti Reali e Pecuniari</i> .....	72
4.2.2. <i>Effetti Diretti e Indiretti</i> .....	75
4.2.3. <i>Disponibilità a Pagare e Disponibilità ad Accettare</i> .....	78
4.3. <i>Lo Sconto (Saggio Sociale di Sconto)</i> .....	79
4.3.1. <i>Altri Indicatori</i> .....	87
4.4. <i>Esempi semplificati di analisi costi-benefici</i> .....	90
4.4.1. <i>Il Tunnel della Manica</i> .....	90
4.4.2. <i>Una ferrovia metropolitana</i> .....	94
<i>Bibliografia</i> .....	99
5. <i>Dall'Analisi Costi-Benefici all'Analisi Multicriteri</i> .....	100
5.1 <i>Limiti dell'Analisi Costi Benefici</i> .....	100
5.2 <i>La Valutazione di Impatto Ambientale</i> .....	108
5.2.1 <i>I metodi per determinare la compatibilità di un progetto con l'ambiente in rapporto alla sua "sensibilità"</i> .....	110
<i>Overlay Mapping</i> .....	110
5.2.2. <i>I metodi atti a identificare e valutare le interazioni tra progetto e ambiente</i> .....	118
<i>Le matrici di interrelazione e i grafi</i> .....	118
<i>Grafi</i> .....	121
<i>Le liste di controllo (check lists)</i> .....	124
<i>Il metodo EES (o metodo Battelle)</i> .....	124
<i>Il metodo WRAM</i> .....	128

5.3. Analisi Multicriteria (MCDA) .....	132
5.4 Metodi ed Applicazioni .....	141
Il concetto di compensazione.....	145
Analisi di dominanza.....	146
MAXIMIN .....	146
MAXIMAX .....	148
Procedura di Hurwicz.....	149
Metodo Congiuntivo.....	150
Metodo Disgiuntivo.....	150
Metodo Lessicografico.....	151
Metodo dell'eliminazione per aspetti.....	152
Il Goal Programming(GP) (MODM).....	152
Funzioni Utilità (Utility Function UF).....	154
5.5 I Metodi ELECTRE.....	156
5.6 Introduzione al metodo AHP .....	172
La gerarchia di dominanza .....	172
Costruzione della matrice dei confronti a coppie .....	174
Esempio di applicazione del metodo alla valutazione di grandi infrastrutture territoriali .....	193
La valutazione dei progetti del piano di disinquinamento per il risanamento della Provincia di Napoli.....	194
5.7. A.H.P. – A.B.C. ....	201
Bibliografia .....	206
MODELLO DI VALUTAZIONE .....	209
6.0     Struttura Gerarchica Dei Criteri .....	209
6.1.Criterio Ambientale.....	212
6.2 Criterio Tecnico .....	215
6.3 Criterio Economico.....	216
6.4 Criteri e definizione dei relativi indicatori .....	217
6.4.1 Criteri e indicatori ambientali .....	217
6.4.2 Criteri e Indicatori Tecnici .....	245
6.4.3 Criteri e Indicatori Economici.....	248
7.0 Tecniche per la determinazione dei pesi .....	259
7.1 Tecniche di Intervista .....	260
7.1.2. Metodo Delphi.....	262
7.1.3 Metodo Delphi Classico.....	262
7.1.4. Variante al metodo Delphi classico.....	263
7.2 Campione degli intervistati.....	265
7.3 Questionario .....	266
7.4 Analisi dei Dati del Questionario.....	278
7.5. Primo ciclo di Interviste .....	279
7.5.2 Dati finali da secondo ciclo di interviste .....	288
7.5.3 Pesi Finali dei Criteri.....	294
Bibliografia .....	297
APPLICAZIONE.....	298
8.Premessa .....	298
8.1 Scrematura dei tracciati proposti .....	304
8.2 Scelta del miglior tracciato stradale tramite metodo Electre.....	305
8.3 Scelta del miglior tracciato stradale tramite metodo AHP.....	316
9.0 Determinazione degli scenari possibili .....	350
9.1 Sensitività dei risultati al variare dello scenario .....	353
9.2 Analisi di robustezza .....	359
CONCLUSIONI.....	366
RINGRAZIAMENTI.....	367

## **Premessa**

L'attività di ricerca svolta nel corso di questi tre anni di dottorato ha consentito di sviluppare una metodologia di analisi per la valutazione delle diverse alternative di tracciato stradale e ferroviario. In particolare il presente lavoro si configura come un utile strumento di supporto alle decisioni in aggiunta alle tecniche usuali adoperate per la redazione degli studi di fattibilità, ovvero a quelle dedicate alla problematica di valutazione ambientale.

In particolare, il lavoro affrontato si è articolato in un primo momento allo studio della tecnica dell'Analisi del Valore, approfondendone i principi teorici e pratici con le relative applicazioni e, successivamente, mediante l'analisi delle principali tecniche di valutazione a supporto dell'AV, nel sviluppare uno strumento di analisi delle alternative rispettoso nel contempo delle indicazioni normative quali il D.P.C.M. del 27/12/1998.

In generale la realizzazione di un'infrastruttura viaria è un'opera complessa in cui i molteplici aspetti coinvolti quali risorse economiche ambientali ed aspetti politici condizionano fortemente la realizzazione dell'opera, infatti la conflittualità degli stessi, rende indispensabile un continuo processo di ottimizzazione delle scelte al fine di raggiungere l'obiettivo finale.

A tal fine si sono susseguite nel tempo diverse tecniche che hanno consentito di valutare i diversi progetti alternativi, individuandone i benefici, i costi, i rischi e tutti i relativi impatti sull'ambiente, supportando in tal modo la decisione finale.

D'altra parte le risorse economiche destinate alla realizzazione di grandi infrastrutture stradali, la cui convenienza viene giustificata di norma mediante analisi benefici/costi o multicriteria nell'ambito degli studi di fattibilità, tendono a divenire una voce significativa della quota di spesa pubblica per investimenti, grazie all'affidamento dei Governi in un'adeguata infrastrutturazione del territorio per le loro positive ricadute economiche e sociali. Conseguentemente la collettività manifesta alla ricerca scientifica di settore l'esigenza dello sviluppo di tecniche in grado di assicurare un maggiore controllo della progettazione, per la massimizzazione delle prestazioni tecniche ed ambientali delle

nuove opere e la minimizzazione dei loro costi e dei tempi di realizzazione.

In virtù di tale esigenze, nondimeno della necessità di dover identificare uno strumento unico capace di rispondere alle diverse fasi di analisi di un progetto, che si inteso intraprendere il presente lavoro, a supporto degli ormai consolidati Studi di Fattibilità.

## **1. Studio di Fattibilità**

La tematica relativa agli Studi di Fattibilità ha conosciuto, nel nostro Paese, un momento di grande popolarità negli ultimi anni, in virtù di due elementi sostanziali: le previsioni contenute nella legislazione quadro in materia di Lavori Pubblici (con particolare attinenza alla programmazione triennale) e i Programmi Complessi (PRU, PII, PRUSST, Trasformazione Urbana, ecc.).

Tra gli altri, la Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome ha provveduto ad emanare un documento di indirizzo al fine di orientare le Amministrazioni Pubbliche nella valutazione degli investimenti pubblici, sulla scorta delle esperienze maturate altrove (FIO-Fondo Investimenti e Occupazione, legge 64 - Investimenti per il Mezzogiorno, Mutui della Cassa Depositi e Prestiti per il finanziamento di opere pubbliche, Studi di Fattibilità ex delibere CIPE 106/1999 e 135/1999, Analisi Costi-Benefici dei grandi progetti nell'ambito dei Fondi strutturali e di coesione).

Tale documento (datato al 2001), intitolato "Guida per la certificazione da parte dei Nuclei regionali di valutazione e verifica degli investimenti pubblici (NUVV)", ha costituito un utile riferimento nell'ambito del presente lavoro, consentendo di individuare gli aspetti prevalenti da prendere in considerazione, ovvero le difficoltà operative oggettivamente riscontrabili all'interno degli SdF.

Si ricorda, peraltro, che secondo la legge 144/1999 e il DMLPP del 21 giugno 2000 si ha il seguente sistema:

- lo Studio di Fattibilità diviene strumento ordinario preliminare ai fini dell'assunzione delle decisioni di investimento da parte delle Amministrazioni pubbliche per opere di costo complessivo superiore a 10 milioni di euro;
- lo Studio di Fattibilità è obbligatorio per le opere con un costo superiore a 50 milioni di euro;
- lo Studio di Fattibilità costituisce, se approvato dalle Amministrazioni, titolo preferenziale ai fini della valutazione dei finanziamenti delle opere;
- lo Studio di Fattibilità costituisce, se valutato positivamente e come tale certificato dai Nuclei regionali di valutazione (NUVV), requisito indispensabile per l'accesso ai fondi disponibili per la progettazione preliminare (per opere di costo superiore a

- 1.5 milioni di euro) e al Fondo rotativo per la progettualità (preliminare, definitiva ed esecutiva);
- lo Studio di Fattibilità costituisce il documento essenziale per l'introduzione di un intervento nel Programma Triennale dei Lavori Pubblici di un'Amministrazione;
  - lo Studio di Fattibilità deve essere redatto - sotto l'importo presunto dei lavori di 10 milioni di euro - in forma sintetica.

Preliminarmente alla redazione degli Studi di Pre Fattibilità e degli Studi di Fattibilità le Amministrazioni dovrebbero avere elaborato lo Studio Generale, al cui interno dovrebbero figurare almeno i presupposti (tra cui l'analisi della consistenza, della funzionalità e della prestazionalità del progetto) per l'avvio della Valutazione degli Investimenti.

Il contenuto informativo minimo dello Studio di Fattibilità è articolato nelle seguenti sezioni:

- analisi propedeutiche e alternative di progetto;
- fattibilità tecnica;
- compatibilità ambientale;
- sostenibilità finanziaria;
- convenienza economico sociale;
- verifica procedurale;
- analisi di rischio e di sensitività.

Tale ripartizione si riflette, come si vedrà in seguito, anche nel dispiegamento delle diverse competenze disciplinari: nel senso che per la redazione di uno Studio di Fattibilità occorre l'impiego di competenze di natura tecnica, giuridica, organizzativa, economica e finanziaria, ovvero necessità di un approccio multidisciplinare.

In maniera schematica occorre osservare come il Processo di Valutazione degli Investimenti Pubblici si articoli in fasi differenti e distinte:

- raccolta delle informazioni; esame e selezione delle informazioni;
- redazione dello Studio di Pre Fattibilità;
- selezione tra le ipotesi alternative prospettate;
- redazione dello Studio di Fattibilità;
- decisione relativa all'Investimento Pubblico infrastrutturale.

Nel corso della redazione dello Studio di Pre Fattibilità occorre che le ipotesi alternative (nessun intervento, nuova realizzazione, recupero/restauro, acquisto di servizi o contributo per iniziative consortili) siano delineate in tutti i loro risvolti dall'Organo Tecnico Amministrativo.

Sulla scorta dello Studio di Pre Fattibilità l'Organo Esecutivo (o l'Organo Consiliare) scarterà le alternative ritenute non plausibili.

Nel corso della redazione dello Studio di Fattibilità, occorre che le ipotesi alternative (nei confronti di una o più possibilità) siano delineate in maniera dettagliata dall'Organo Tecnico Amministrativo, successivamente, sulla scorta dello Studio di Fattibilità l'Organo Esecutivo (o l'Organo Consiliare) determinerà la natura, il numero, l'entità e la localizzazione degli interventi da includere nello Schema di Programma Triennale dei Lavori Pubblici.

Lo scopo principale della Valutazione della Fattibilità (tecnologica, territoriale, economica, sociale, finanziaria, amministrativa, istituzionale, politica) dell'Investimento Pubblico (che si traduce in uno o più interventi) è quello di scartare al più presto possibile le ipotesi alternative che – laddove approfondite inutilmente – comporterebbero l'impiego non proficuo di risorse finanziarie e umane.

Il fatto che lo Studio di Fattibilità necessiti di una descrizione del contesto (territoriale, socio economico, istituzionale, normativo, programmatico, ecc.) nel quale si inserisce l'intervento, delle sue finalità dirette e indirette e delle possibili connessioni con altri interventi e Opere, richiede evidentemente, che il redattore dello stesso possieda una concezione sistemica non solo del territorio di competenza dell'Ente procedente, ma pure dell'area vasta con cui si relaziona.

Fondamentale risultano la stima della domanda e dell'offerta a cui fanno capo nel caso di infrastrutture di trasporto le specifiche competenze trasportistiche.

La valutazione quali-quantitativa dello stato attuale e delle prospettive di evoluzione della domanda di beni e/o di servizi che costituiscono i bisogni da soddisfare direttamente con l'intervento proposto, richiede che si delineino con accuratezza le caratteristiche di tali beni e/o servizi e il loro bacino di utenza , nonché la corrispondente domanda potenziale soddisfatta e da soddisfare, presente e futura.

Il presente lavoro presuppone nelle applicazioni successive, che il progetto della nuova infrastruttura viaria sia supportato da un'attenta analisi trasportistica tale poi da garantire secondo un approccio multidisciplinare la migliore scelta del tracciato stradale. Si è comunque inteso al fine di comprenderne l'importanza dello studio di fattibilità, riportare sinteticamente le sue peculiarità evidenziandone i pregi e le sue possibili integrazioni con l'analisi del Valore.

Ritornando a quanto detto sopra la stima della domanda è un passaggio determinante poiché spesso la valutazione dell'investimento è inficiata a priori da pregiudizi (positivi o negativi) che impediscono che l'analisi dell'effettiva esistenza del bacino di utenza o la reale utilità dei servizi considerati siano accertate accuratamente. Un'errata valutazione del bacino di utenza potrebbe indurre l'Amministrazione a deliberare l'inclusione nel Programma Triennale dei Lavori Pubblici per cui non esiste una domanda sufficiente.

Anche l'arco temporale di riferimento per le previsioni di domanda e di offerta dovrebbe risultare congruente con un orizzonte adeguato alla categoria di Opera Pubblica da realizzare e con le logiche dei decisori.

La determinazione del modello di gestione sotto gli aspetti, istituzionali, finanziari ed economici pertinenti appare, poi, di estremo rilievo, poiché non è più possibile per le Amministrazioni o Enti varare la progettazione e la realizzazione di un'Opera Pubblica in assenza di una verifica della sostenibilità dei costi nel ciclo di vita utile. L'assenza di soggetti in grado di gestire opportunamente l'Opera Pubblica, una volta realizzata, dovrebbe indurre a cercare soluzioni alternative.

Analogamente la disamina delle funzioni da soddisfare, delle caratteristiche tecniche, funzionali e dimensionali che l'Opera dovrebbe presentare, oltre alla definizione della localizzazione, non può essere rinviata alla successiva redazione del Documento Preliminare, bensì deve essere dettagliata in maniera opportuna a questo stadio del processo decisionale.

La stessa localizzazione appare decisiva nel senso di influire sulle caratteristiche tecniche, funzionali e dimensionali: d'altra parte, purtroppo, la scelta del luogo su cui realizzare l'intervento non sembra certo scontata, non solo per ragioni di carattere urbanistico, moltissimi, sono infatti, i casi di infrastrutture stradali che nonostante possedessero la compatibilità con gli strumenti di pianificazione, non hanno poi proseguito la progettazione oppure la realizzazione per le problematiche ambientali.

E' quindi indispensabile eseguire la verifica della compatibilità dell'opera con il quadro normativo in materia ambientale e della conformità rispetto agli strumenti di pianificazione di settore(integrazione della nuova infrastruttura con il Piano Nazionale dei Trasporti); l'analisi dello stato attuale dell'ambiente; la descrizione degli impatti dovuti all'opera e delle misure compensative da prevedersi.

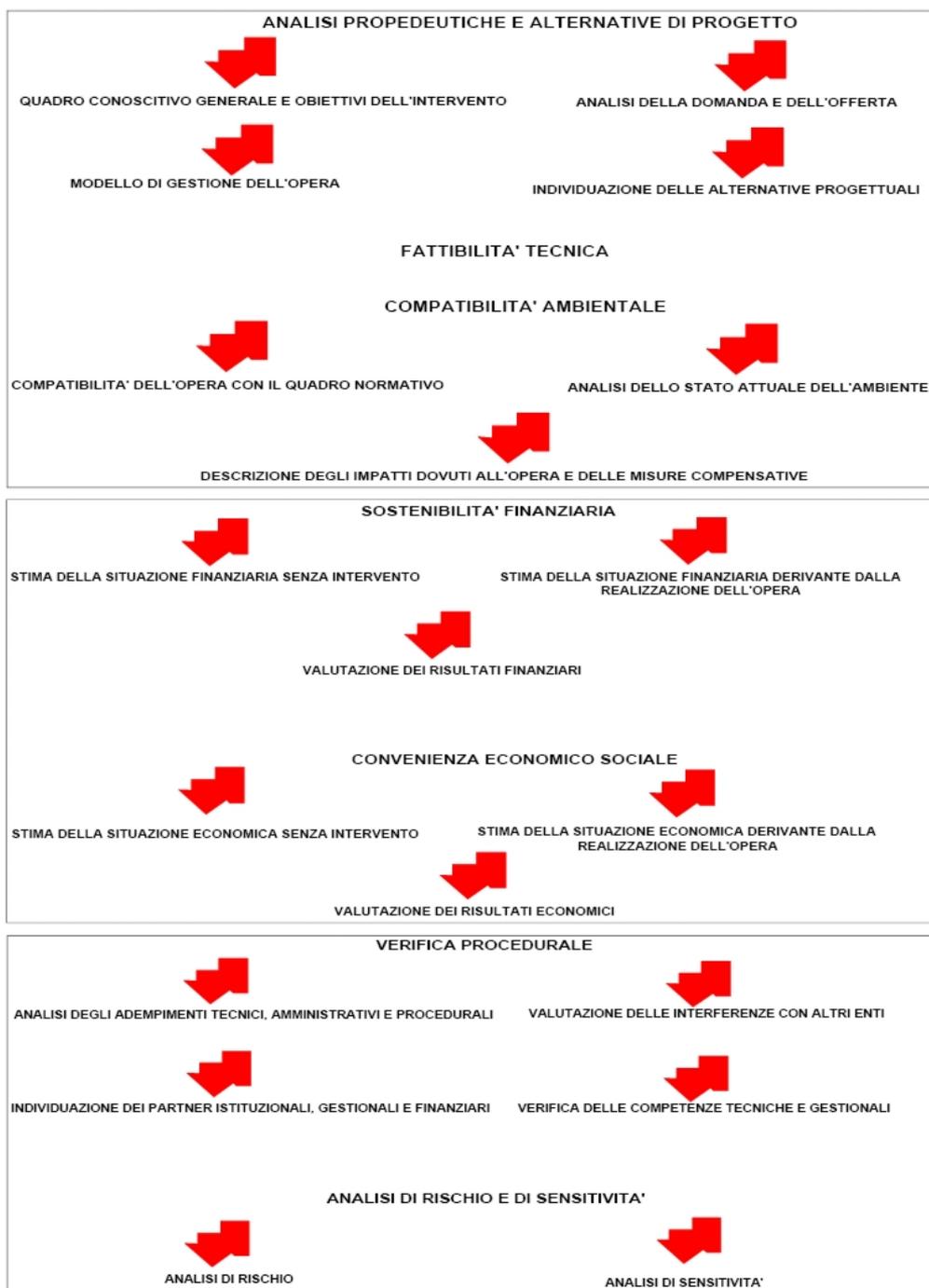
Inoltre, congiuntamente alla valutazione degli aspetti ambientali deve essere redatto, il Piano Finanziario relativo sia alle fasi di realizzazione e di avviamento sia a quelle di gestione, al fine di configurare il sistema di finanziamento del Lavoro Pubblico, ovvero sviluppare l'analisi socio economica individuando il grado di utilità dell'opera mediante la stima dei costi e dei benefici.

Come si evince lo studio di fattibilità è uno strumento molto utile sia per la valutazione dell'efficacia della realizzazione dell'opera, sia come base di partenza per la redazione delle diverse fasi progettuali<sup>1</sup> consentendo di individuare quel punto di equilibrio tra i diversi aspetti conflittuali coinvolti: economia, tecnica ed ambiente.

Di seguito è riportato in figura lo schema da seguire negli studi di fattibilità concordato nella Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome.

---

<sup>1</sup> La legge 109/94 ed s.mi oggi "Merloni Quater" ed il relativo regolamento di attuazione D.P.R. 554/99 disciplinano i diversi livelli di progettazione da redigere a seguito dello Studio di Fattibilità: Progetto preliminare, definitivo ed esecutivo.



**Figura.1 Lo Studio di Fattibilità: fasi principali e attività, con riferimento alla proposta della Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome.**

## 1.2. Analisi del Valore

Nel perseguire tale scopo, ovvero quello di valutare le alternative progettuali si evidenzia la possibilità di ricorrere per la redazione degli Studi di Fattibilità all' "Analisi del Valore", intesa come tecnica di valutazione di progetti complessi.

In particolare nel proseguo si analizzerà tale strumento di valutazione, evidenziandone sulla base delle esperienze americane ed italiane, sia le peculiarità sia il principale motore quale quello della *garanzia di qualità*, che così come specificato dal regime dei Lavori Pubblici, deve essere intesa come risposta tecnico-prestazionale ai requisiti richiesti.

La metodologia dell' "Analisi del Valore", usualmente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito degli appalti di opere pubbliche ed ormai formalizzata in Italia dalla normativa di settore, consente attraverso un approccio multidisciplinare e sistemico di ottenere risparmi sui costi previsti nel progetto originario, a parità di prestazioni.

La procedura applicata al confronto fra soluzioni alternative di progetto, in ogni grado del suo sviluppo, organizza razionalmente il processo decisionale introducendo nella considerazione finale il bagaglio completo delle conoscenze di un team multidisciplinare di esperti su prestazioni geometriche e funzionali, costi, tempi, caratteristiche dei materiali e componenti ambientali.

Nella "Federal Aid Policy Guide" (1998) la Federal Highway Administration (FHWA) indicò l'Ingegneria del Valore (VE = Value Engineering) quale strumento obbligatorio per il supporto alla decisione del finanziamento federale dei progetti di costo superiore a 25 milioni di dollari e consigliò contestualmente ai Dipartimenti dei Trasporti degli Stati di utilizzare tale procedura per la redazione dei progetti stradali di loro competenza, al fine di perseguire il più elevato risparmio economico nei programmi d'investimento, senza sacrificare le prestazioni delle opere.

Nello stesso anno ben 39 di questi Dipartimenti applicarono questo orientamento, con risultati giudicati molto efficaci.

Dall'analisi dei programmi sviluppati dai diversi Dipartimenti dei Trasporti statunitensi (principalmente di California, New Jersey, Utah, Virginia, e Washington), ovvero dalle loro principali applicazioni ai progetti stradali si è riscontrata l'efficacia di tale metodologica.

Attribuita all'intuizione di Lawrence Miles (General Electric 1950), l'Ingegneria del Valore è una procedura sistematica indirizzata a migliorare il valore di un prodotto o di un servizio; utilizzata inizialmente nel settore industriale, per l'ottimizzazione del processo produttivo, successivamente è stata trasferita a diversi altri campi: da quello ambientale a quello delle costruzioni.

Della tecnica si rinvencono in letteratura differenti denominazioni (Value Analysis, Value Engineering, Value Management), riferite rispettivamente a prodotti esistenti, in fase di sviluppo o di gestione pianificata; nondimeno la Società Americana Internazionale dell'Ingegneria del Valore (SAVE) ne ha formulato una definizione di validità generale applicabile in ogni settore della "Value Methodology": *<<applicazione sistematica di tecniche riconosciute, che identifichino le funzioni che il prodotto deve soddisfare, ne stabiliscano il valore e provvedano a determinare le procedure necessarie per ottenere la massima performance ai costi minori >>*. A. Dell'Isola definisce il valore di un prodotto o di un servizio attraverso la seguente relazione:

$$\text{Valore} = (\text{Funzione} + \text{Qualità}) / \text{Costi}$$

Dove:

- La Funzione è la prestazione specifica di un prodotto (obiettivo del progetto);
- La Qualità è l'aspettativa dell'utente-utilizzatore per il prodotto (per le strade: la confortevolezza e/o la sicurezza della circolazione);
- Il Costo è l'impegno economico complessivo nel corso dell'intera vita utile del prodotto.

Concettualmente il valore non si discosta dal rapporto benefici/costi: l'elemento innovativo della AV, quindi, è definito dal processo attraverso il quale si perviene alla massimizzazione del valore di un prodotto.

La base logica dell'ingegneria del valore è quella di identificare il bisogno, ovvero le funzioni necessarie per soddisfarlo, valutando le possibili soluzioni.

In particolare, *il bisogno* rappresenta la necessità dell'utente, ovvero ciò che ritiene necessario; questo si traduce nell'identificare un prodotto e le relative caratteristiche in termini prestazionali, valutando successivamente il modo in cui soddisfarle.

Nel maggio del 1993 l'Ufficio del Management e del Bilancio federale (OMB) ha emesso una circolare A-131 con la quale promuove l'utilizzo dei metodi applicativi

dell'Ingegneria del Valore come strumento di supporto per la progettazione e la manutenzione di infrastrutture stradali ed incoraggia la creazione di specifiche unità interne ai Dipartimenti dei Trasporti che si occupino a tempo pieno di implementare tale tecnica come strumento di controllo e di supporto alle decisioni di pianificazione.

La circolare definisce precise responsabilità delle agenzie periferiche e le obbliga alla presentazione di rendiconti annuali sulle applicazioni di VE eseguite, per riversarle in archivi a disposizione di tutti.

Successivamente l'AASHTO ha costituito una commissione di esperti con il compito di sviluppare "linee guida" tratte dall'esperienza delle varie agenzie: il risultato di tale ricerca fu formalizzato e pubblicato; recentemente ne è stata eseguita anche una rivisitazione, per recepire alcuni sviluppi introdotti da FHWA (Ente responsabile di tutte le strade nazionali statunitensi): le "regole" a cui si è pervenuti definiscono prioritariamente gli obiettivi perseguibili mediante l'applicazione del processo di analisi:

- migliorare la qualità del progetto;
- ridurre i costi;
- promuovere l'innovazione tecnologica;
- eliminare sia costi che gli elementi progettuali non necessari;
- assicurare un efficiente investimento.

I Dipartimenti dei Trasporti degli Stati, recepita la circolare dell'OMB e gli indirizzi procedurali di FHWA, hanno redatto un documento nel quale definiscono la Value Engineering come: *"un'applicazione sistematica di tecniche riconosciute da parte di un gruppo multidisciplinare, che identifica la funzione di un prodotto o di un servizio, ne stabilisce il valore, genera le alternative perseguibili e provvede ad individuare le funzioni necessarie ad ottenere il progetto, al più basso costo totale nel corso della vita utile, senza sacrificarne la qualità e nel rispetto dei fattori ambientali coinvolti"*.

Questo processo può essere sintetizzato come un'analisi funzionale, condotta secondo il Job Plan indicato in Figura 1.

In ogni fase dell'articolazione sequenziale delle attività, presentata nel prospetto della figura, occorre considerare alcuni fattori che rivestono un ruolo molto importante all'interno della procedura:

1. Nell'ambito del gruppo di lavoro che si dedica all'esame dei progetti infrastrutturali sono richieste competenze multidisciplinari: stradale, strutturale, ambientale, dei materiali, del traffico e della manutenzione. Non è rara la necessità di un suo ulteriore ampliamento successivo, per chiamare alla collaborazione esperti di vari organismi di settore (Stakeholders), per una più opportuna e documentata valutazione dei parametri coinvolti.
2. La qualità del risultato si misura in base ad affidabilità e sicurezza della strada, ottimali prestazioni dei materiali e delle componenti, tollerabilità dell'impatto ambientale complessivo dell'opera in relazione ai diversi fattori di sensibilità coinvolti.
3. Il costo di cui si persegue l'ottimizzazione è la somma delle risorse impegnate lungo il corso della vita utile di ciascuna componente e del complesso.

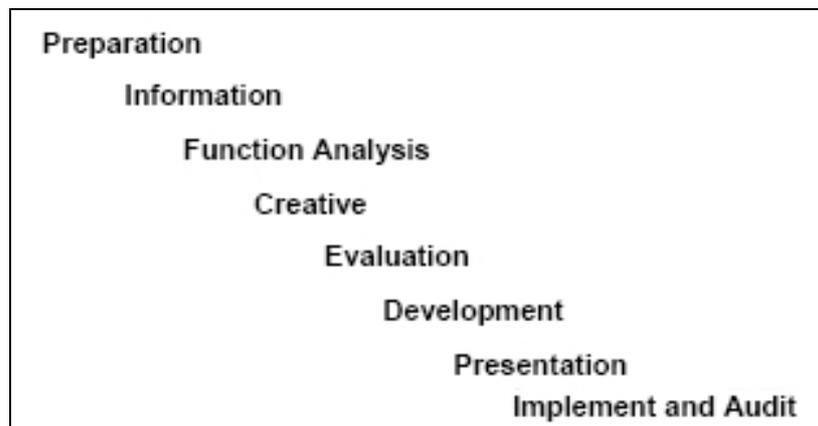


Figura 1.2. - Job Plan

L'FHWA rende obbligatorio l'impiego della tecnica VE per i progetti di importo superiore a \$ 25 milioni; nondimeno nella pratica applicazione diversi dipartimenti hanno dimostrato che essa risulta utile anche per progetti di minore importo, a condizione che rientrino nella seguente classificazione:

- nuove costruzioni stradali e ferroviarie dal considerevole contenuto tecnico;
- componenti complesse (ad esempio ponti e viadotti non ordinari) e/o inusuali per tecniche e tipologie costruttive adoperate .
- nodi interni delle reti e di interscambio;
- sistemi coordinati di controllo di traffico.

In tabella 1.2.1, tratta da una pubblicazione di settore di FHWA, sono riportati alcuni elementi caratteristici, sintetici e globali, delle applicazioni di VE effettuate nel corso degli anni negli USA.

<b>RAPPORTO FHWA</b>				
	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>1999</b>	<b>1998</b>
<i>Numero di studi</i>	378	388	385	431
Costo degli studi	\$7.29M	\$7.78M	\$7.47M	\$6.58M
Costi di costruzione stimati	\$18.882M	\$16.240M	\$18.837M	\$17.227M
N° totale di raccomandazioni	2.013	2.017	2.082	2.003
Valore delle raccomandazioni	\$2.375M	\$3.483M	\$3.226M	\$3.085M
N° di raccomandazioni approvate	1017	1057	848	743
Valore delle economie conseguite	\$865M	\$1.128M	\$846M	\$769M
Rendimento dell'investimento	119:1	145:1	113:1	117:1

**Tabella 1 2.1. - Dati aggregati del Rapporto Caltrans**

Il Dipartimento dei Trasporti del New Jersey ha dedicato alla VE un'intera sezione della propria struttura; le applicazioni effettuate hanno riguardato anche numerosi progetti di importo inferiore al limite obbligatorio imposto dall'organismo federale FHWA, fino al minimo di 3 milioni di dollari.

La struttura operativa è suddivisa in due unità di supporto rispettivamente alla progettazione ed alla costruzione:

- la prima dirige i propri sforzi sull'analisi del costo del ciclo di vita dell'infrastruttura e sui provvedimenti progettuali che li minimizzano
- la seconda supporta la programmazione lavori in fase di costruzione e valuta eventuali proposte modificative dell'appaltatore, con la finalità di realizzare economie che non compromettano le prestazioni richieste o che assicurino considerevoli miglioramenti della qualità del prodotto con minimi incrementi di costo.

Il Dipartimento della California (Caltrans), oltre ad aver organizzato nella sua struttura interna dodici distretti coordinati che svolgono a tempo pieno attività di supporto a tre VA managers, si avvale anche di alcuni consulenti esterni; ha effettuato numerosissime esperienze su tutti progetti realizzati, le cui caratteristiche ricadono in quelle previste dalle linee guida della FHWA, ma anche di importo inferiore.

Dei 19 studi di VE compiuti nel 1998 per l'approvazione di progetti di nuove opere, nove riguardavano strade: è stato stimato che a queste applicazioni si è associato un risparmio economico di circa \$ 155 milioni.

Inoltre, sempre nello stesso anno, sono state accettate 25 varianti in corso d'opera (Change Proposal) con un risparmio economico per lo Stato di \$ 1.296.965. Caltrans ha altresì resi noti i risultati disaggregati per materia delle sue applicazioni facoltative fino al 1999: si tratta di 90 studi su progetti stradali di importo inferiore a 25 milioni di dollari (tra \$ 881.000 e \$ 11.000.000, riguardanti: costruzione di nuovi ponti, sistemazione dei margini, inserimento o ristrutturazione di intersezioni, manutenzioni ordinarie e straordinarie). Dall'elaborazione del database è stato possibile costruire il prospetto di tabella 1.2.2.

<b>Tipologia di progetto</b>	<b>Incidenza sul totale degli studi eseguiti (%)</b>	<b>Risparmio conseguito (%)</b>
Ponti	16	42
Costruzione di strade	53	29
Sistemazione dei margini della carreggiata	21	40
Intersezioni	5	70
Manutenzioni	5	11

**Tabella 1.2.2. - Dati Caltrans disaggregati per tipologia di progetti**

I suddetti considerevoli risultati sono stati conseguiti attraverso 21 raccomandazioni, con un risparmio economico medio di \$1.605.719. I settori applicativi dalla migliore risposta, in termini di ritorno economico, sono risultati la scelta di tracciato (plano-altimetrica) ed la selezione dei materiali e delle componenti più idonee.

### 1.2.1. Il Processo

Operativamente la VA si articola in tre fasi operative al di là di quelle iniziali di preparazione, in particolare si ha:

- Functional Analysis Technique (FAST): analisi dettagliata del progetto e separazione dell'opera nelle sue diverse componenti; identificazione delle funzioni assegnate all'infrastruttura nel suo complesso e delle aspettative prestazionali di ogni sua componente. Il team di esperti successivamente individuerà la soluzione che soddisferà l'insieme delle funzioni identificate in relazione ai costi ad esse associati.
- Studio comparativo delle proposte progettuali alternative.
- Presentazione dei risultati ed eventuale raccolta dei commenti e delle reazioni dei soggetti interessati.

Nelle tabelle 1.2.3, 1.2.4 e 1.2.5 sono state riassunte le liste di controllo delle precedenti fasi, quali sono state presentate nella procedura codificata da Caltrans.

<p><b>INITIATE STUDY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Identificazione del progetto</li> <li>➤ Identificazione delle normative di riferimento e delle responsabilità</li> <li>➤ Definizione degli obiettivi generali dell'infrastruttura</li> <li>➤ Selezione della ottimale composizione di un team multi-disciplinare di adeguata competenza</li> <li>➤ Preparazione della bozza dei grafici di supporto all'attività di informazione</li> </ul> <p style="text-align: center;">1</p>	<p><b>ORGANIZE STUDY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Selezione dei membri interni ed esterni al team</li> <li>➤ Preparazione dell'agenda della riunione introduttiva con il team</li> <li>➤ Identificazione nel suo ambito dei responsabili dei vari settori coinvolti, dei decision-makers e dei technical reviewers</li> <li>➤ Selezione di tutti i dati d'interesse del progetto</li> <li>➤ Individuazione dei settori disciplinari e delle componenti più promettenti per lo studio</li> </ul> <p style="text-align: center;">2</p>	<p><b>PREPARE DATA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Distribuzione dei dati e dei compiti</li> <li>➤ Sviluppo del modello di costo dei settori d'intervento</li> <li>➤ Determinazione delle funzioni di beneficio per gli utilizzatori (analisi benefici/costi), con il supporto del calcolo del LCC</li> </ul> <p style="text-align: center;">3</p>
--	--	---

**Tabella 1.2.3. - Fase di preparazione (FAST)**

<p><b>INFORM TEAM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Puntualizzazione delle attività di studio e conferma dei technical reviewers</li> <li>➤ Presentazione dei concetti base del progetto</li> <li>➤ Presentazione degli interessi della collettività (stakeholders)</li> <li>➤ Revisione del progetto base e delle sue alternative, alla luce degli obiettivi che s'intendono conseguire.</li> <li>➤ Sviluppo dei criteri di performance</li> <li>➤ Sopralluogo alla work-zone</li> </ul> <p style="text-align: center;">4</p>	<p><b>ANALYZE FUNCTIONS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Disaggregazione dei dati del progetto</li> <li>➤ Identificazione delle funzioni delle componenti separate</li> <li>➤ Preparazione del diagramma FAST</li> <li>➤ Determinazione dei costi prevalenti in relazione alle funzioni (cost drivers)</li> </ul> <p style="text-align: center;">5</p>	<p><b>CREATE IDEAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Analisi disaggregata delle funzioni in cui l'infrastruttura è stata separata</li> <li>➤ Individuazione di tutte le idee modificative che meritino considerazione e loro formalizzazione.</li> <li>➤ Utilizzo dell'approccio brainstorming</li> </ul> <p style="text-align: center;">6</p>	<p><b>EVALUATE IDEAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Applicazione dei criteri di performance</li> <li>➤ Valutazione prestazionale di ogni idea selezionata</li> <li>➤ Elenco misurato dei vantaggi e degli svantaggi di ciascuna</li> <li>➤ Classificazione sequenziale dei risultati</li> <li>➤ Individuazione delle alternative meritevoli di considerazione in prima istanza, da sviluppare</li> </ul> <p style="text-align: center;">7</p>
<p><b>DEVELOP ALTERNATIVES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sviluppo dei concetti base delle alternative</li> <li>➤ Redazione e formalizzazione dei grafici e dei calcoli</li> <li>➤ Misura della performance delle alternative</li> <li>➤ Stima dei costi, analisi benefici/costi, calcolo della LCC</li> </ul> <p style="text-align: center;">8</p>	<p><b>CRITIQUE ALTERNATIVES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Valutazione delle alternative da parte del team</li> <li>➤ Valutazione da parte dei Technical Review</li> <li>➤ Validazione finale delle performance della soluzione preferita</li> </ul> <p style="text-align: center;">9</p>	<p><b>PRESENT ALTERNATIVES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Presentazione delle conclusioni</li> <li>➤ Valutazione dettagliata del risultato economico delle varianti eventualmente accettate</li> <li>➤ Redazione di un rapporto preliminare (informale)</li> </ul> <p style="text-align: center;">10</p>	

**Tabella 1.2.4. - Fase di studio comparativo.**

<p><b>PUBLISH RESULTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Documentare il processo ed i risultati ottenuti</li> <li>➤ Indicazione di tutti i commenti e delle azioni implementate</li> <li>➤ Distribuzione del rapporto</li> <li>➤ Aggiornare il database</li> </ul> <p style="text-align: center;">14</p>
--

**Tabella 1.2.5 - Pubblicazione dei risultati**

La procedura è supportata da diverse competenze tecniche sia ingegneristiche che gestionali e comporta l'applicazione di metodologie ad esse usuali e congeniali. La seconda attività della fase di studio è l'analisi funzionale (step 5 tabella 3). Tale tecnica è utilizzata per definire, analizzare e comprendere le funzioni di un progetto; come queste sono collegate tra loro e quali richiedono attenzione per migliorare il valore del progetto.

Per una corretta analisi funzionale esistono cinque step:

- analisi dei dati del progetto;
- individuazione delle funzioni;
- applicazione della Function Analysis Technique (FAST Diagram),
- associazione relazione costo/funzione,
- identificazione delle funzioni che richiedono di essere migliorate

L'analisi dei dati sostanzialmente è rivolta allo studio del modello di costo del progetto, il quale viene sottoposto ad un processo di ottimizzazione paretiano, al fine di ottenere i costi prevalenti (cost drivers).

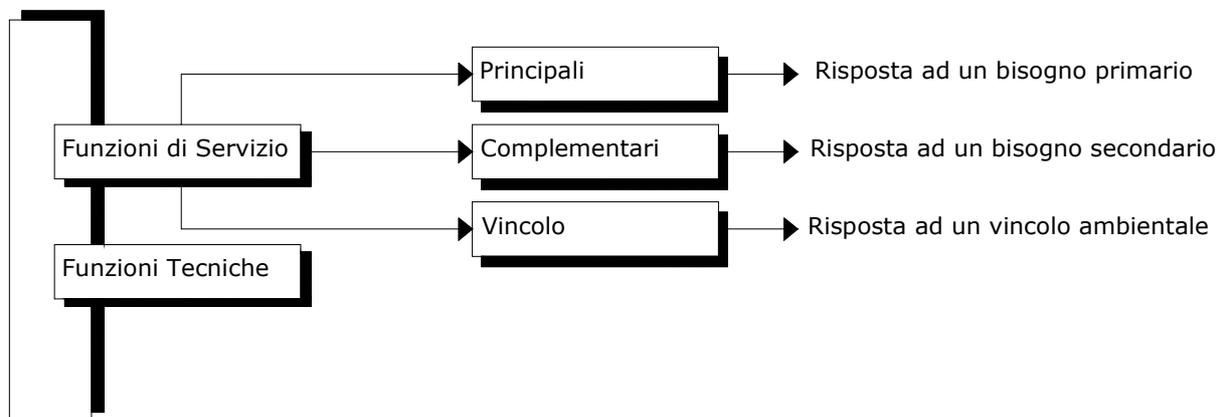
Nel Value Management l'analisi funzionale è considerata tra le tecniche più efficaci, questa trasforma gli elementi del progetto in funzioni, le quali possono essere di tre tipi. In generale esistono: **funzioni di servizio**: risposta alle esigenze ed ai vincoli ambientali, tali funzioni a loro volta si distinguono in *funzioni principali* che rappresentano le risposte alle esigenze di tipo esistenziale, stima, anche psicologico, ovvero, in *funzioni complementari*, le quali rappresentano le risposte a delle esigenze secondarie, che in alcuni casi possono avere importanza rilevanti, ed in fine abbiano **le funzioni di vincolo**, le quali rappresentano le risposte ai vincoli assoluti o relativi dettati dalla compatibilità ambientale.

**Le funzioni tecniche** invece, rappresentano le risposte in termini prestazionali alle componenti del prodotto, queste non rispondono direttamente alle esigenze o ad un vincolo, ma derivano dalle scelte di progettazione.

In generale le funzioni di servizio hanno il compito di soddisfare ai macrobisogni dell'utenza, per tale motivo è necessario disporre di strumenti oggettivi che permettono di determinare l'attitudine di un progetto al soddisfacimento di un diverso requisito.

In questo modo abbiamo attraverso la misura delle prestazioni, uno strumento oggettivo, per la valutazione dei livelli di soddisfacimento a ciascuna esigenza.

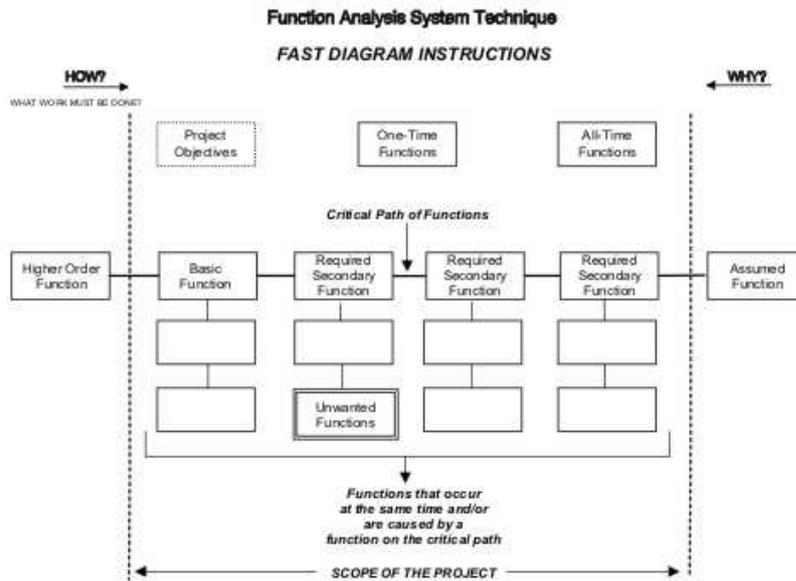
In figura è rappresentata la classificazione delle funzioni.



**Figura 1.2.3 -Classificazione delle Funzioni**

Le diverse e distinte tipologie di funzione vengono poi relazionate ed organizzate all'interno del diagramma FAST. Questo persegue l'obiettivo di stimolare la formalizzazione di alternative tecniche che preservino in ogni caso gli elementi e le prestazioni essenziali del progetto.

In figura 1.2.4 è schematizzata a blocchi la procedura per la costruzione del diagramma FAST: questa ha una struttura interattiva e, a partire dall'ipotesi tecnica di base, conduce alle soluzioni di confronto seguendo determinati percorsi logici ed operativi.



**Figura1.2.4** Costruzione del Diagramma FAST

Ragionare in termini di prestazioni è quindi essenziale, infatti, consente di individuare le funzioni specifiche rispetto alle diverse componenti di un progetto.

L'approccio funzionale riveste un ruolo fondamentale nell'AV attuando un processo sistematico, eliminando le prestazioni non richieste che determinano un eccesso dei costi senza alcun contributo in termini di qualità al prodotto.

Nel proseguo saranno analizzate e descritte le diverse tecniche funzionali, valutandone l'applicabilità rispetto agli obiettivi del presente lavoro.

### 1.2.2. Concetto di Valore

L'attuale trend crescente di bisogno di qualità, specialmente richiesto nel settore delle opere civili, pone rilevanti questioni all'analisi economica, imponendo il superamento di un'impostazione metodologica tradizionale legata ai valori di scambio e di mercato. Ed è in questa ottica che l'ingegneria del valore si sviluppa, individuando la migliore correlazione tra bisogni, funzioni e prodotto, ovvero definendo l'alternativa capace di ottimizzare l'interazione tra gli stessi.

Tuttavia, è essenziale ribadire che il *valore* non rappresenta il *costo* intrinseco del prodotto, ma bensì il risultato dell'interazione tra l'ambiente antropico ed ambientale. Infatti, riportando un esempio banale, quale quello di una penna d'oro che non scrive, si evince, che al di là del valore intrinseco del materiale da costruzione, l'oggetto, non presenta alcun valore, vista la sua inutilità. Se pertanto si esprimono le esigenze che un prodotto deve soddisfare mediante delle funzioni, si può considerare, il valore come il rapporto tra bisogno/costi. o ancora, come rapporto tra soddisfazioni e le prestazioni rispetto ad un complesso sistema di vincoli. Secondo tale definizione il valore soddisfa i bisogni dell'utente al minimo costo.

Lo studio di VE è quindi rivolto inizialmente ad individuare le funzioni atte a soddisfare i bisogni, successivamente alla definizione dei costi ed infine all'ottimizzazione di questi due fattori.

La necessità di misurare il valore implica quella di determinare una misura della soddisfazione delle prestazioni rispetto alle esigenze. A tal fine sono numerose le tecniche a cui fare riferimento, prime fra tutte le tecniche multicriteriali della *qualità* espressa in termini prestazionali<sup>2</sup>.

La procedura statunitense, pone molta importanza all'individuazione dei criteri di valutazione, i quali secondo Kenney e Raiffa, rappresentano gli strumenti mediante i quali è possibile raggiungere l'obiettivo. Dall'analisi della bibliografia ovvero degli studi condotti, è emersa per tale fase del processo, il ricorso al metodo dell'*importance weighting Techniques*. In particolare, nel dettagliare i criteri di performance rispetto ai quali le alternative proposte verranno giudicate, l'intero gruppo di lavoro (costituito al

---

<sup>2</sup> La valutazione condotta in questi termini porta a considerare sia il valore d'uso quando la funzione considerata risponde ad un bisogno primario, che il valore di stima per risposte ad esigenze secondarie.

suo interno da esperti nelle diverse discipline coinvolte in eventuale confronto dialettico con i rappresentanti dei vari settori interessati) sviluppa una matrice di confronto a coppie recante in ascisse i termini del confronto ed in ordinate le alternative esaminate: nelle caselle intersezione vengono riportati ordinatamente i diversi criteri di giudizio.

In figura 1.2.2.1 è stato rappresentato lo schema della matrice, quale risultante dalla specifica redatta dal Caltrans.

Nella figura 1.2.2.2, invece, si è riportato il risultato (tratto dalla letteratura tecnica di settore) di un'applicazione di confronto a coppie, eseguita dallo stesso ente californiano per l'adeguamento funzionale della strada statale 46 (dallo sviluppo di 38Km fra l'aeroporto di Paso Robles e la statale 41).

Nella figura 5 è stata riportato il diagramma di confronto quantitativo fra le diverse alternative esaminate nell'applicazione di cui sopra (rinuncia all'intervento, soluzione base, tre diverse proposte alternative) con i criteri di giudizio selezionati, la rispettiva unità di misura (di natura quantitativa o qualitativa) e con i pesi attribuiti in conclusione dal Team.

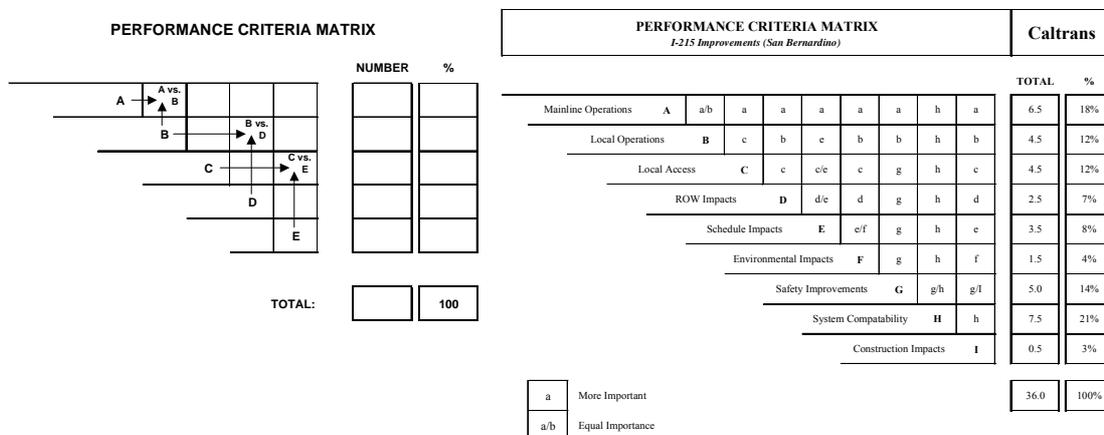


Figura 1.2.2.1 Schema costitutivo della matrice di performance.

PERFORMANCE RATING MATRIX										Caltrans						
Criteria	Unit of Measurement	Criteria Weight	Concept	Performance Rating										Total Performance		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
System Compatibility	Degree of Impact	21	No Build												63	
			Original Design													168
			VA Set 1													189
			VA Set 2													189
			VA Set 3													189
Mainline Operations	Degree of Improvement	18	No Build												18	
			Original Design													54
			VA Set 1													108
			VA Set 2													90
			VA Set 3													90
Safety Improvements	Degree of Impact	14	No Build												42	
			Original Design													70
			VA Set 1													112
			VA Set 2													98
			VA Set 3													98
Local Access	Degree of Impact	12	No Build												48	
			Original Design													60
			VA Set 1													60
			VA Set 2													72
			VA Set 3													60
Local Operations	Degree of Impact	12	No Build												60	
			Original Design													84
			VA Set 1													108
			VA Set 2													108
			VA Set 3													84
Schedule Impacts	Degree of Impact	8	No Build												80	
			Original Design													40
			VA Set 1													32
			VA Set 2													24
			VA Set 3													24
Right-of-Way Impacts	Degree of Impact	7	No Build 1												70	
			Original Design													28
			VA Set 1													28
			VA Set 2													42
			VA Set 3													28
Environmental Impacts	Degree of Impact	4	No Build 1												24	
			Original Design													32
			VA Set 1													28
			VA Set 2													28
			VA Set 3													24
Construction Impacts	Degree of Impact	3	No Build												30	
			Original Design													6
			VA Set 1													15
			VA Set 2													3
			VA Set 3													6

PERFORMANCE RATING MATRIX										Caltrans		
Rating Parameters										Unit		
Criteria	Unit of Measurement	Rating										Abbreviation
		min.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Mainline Operations	Level of Service	F-2	F	E	D	C	B	A				LOS
Safety Improvements	Accidents/Million Vehicle Mi.	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	A/MM
Local Access	No. of Ingress/Egress Points	2	3	4	5	6	7	8				No. of Pts.
Local Traffic Operations	Level of Service	F-2	F	E	D	C	B	A				LOS
Overall Performance												
Criteria	Total Performance	Total Cost	Value Index (Performance/Cost)									% Value Improvement
No Build/ Maintain existing conditions	435	0										
Original Design- HOV Widening and CD Road System	542	147.9	3.66									
VA Group 1- Modified CD Road (Alt. 1.2, 4.0, 7.1)	680	153.8	4.42									21%
VA Group 2- Split Diamond System (Alt. 2.1, 7.2)	654	148.4	4.41									20%
VA Group 3- Original CD Road Concept (Alt. 3.0, 4.0, 7.1)	603	145.5	4.14									4%

Figura 1.2.2.4.- Matrice di valutazione delle prestazioni

Come si può intuire, lo scopo del metodo è la ricerca ottimale di una soluzione ad un problema esistente in un ambito determinato, secondo il principio di non limitarsi alla soluzione accettabile. Alla base del processo c'è quindi, la necessità di individuare con l'ausilio di un approccio multidisciplinare nuove soluzioni, da poi successivamente valutare mediante la misura delle prestazioni che le stesse alternative hanno nei confronti di una serie di criteri e parametri, rappresentativi delle preferenze ovvero delle necessità da soddisfare.

### 1.2.3. Il Gruppo di Lavoro

Elemento essenziale di ogni studio di Analisi del Valore è il gruppo di lavoro, sia per la complessità dei temi e delle informazioni trattate, sia perché una partecipazione collegiale garantisce una migliore oggettività nelle stime e un'adeguata creatività nel proporre soluzioni alternative.

La sua composizione risulta quindi fondamentale, così come la possibilità di allargare il numero dei partecipanti ad i relativi stakeholders. L'esperienza maturata in campo internazionale ribadisce di limitare il numero dei partecipanti da 4 a 9, in virtù del fatto, che una composizione cospicua diminuisce le sinergie complicando le interazioni.

Un ruolo fondamentale all'interno del gruppo di lavoro è quello del coordinatore, il quale svolge l'azione di stimolare il confronto. In generale tale figura è ricoperta dal massimo esperto di analisi del valore, il quale ha anche il compito di selezionare il gruppo e di curare i rapporti con il decisore presentando i risultati ed i costi previsti.

La centralità del gruppo e la sua strategia di intervento nell'analisi dei progetti e di seguito schematizzata.

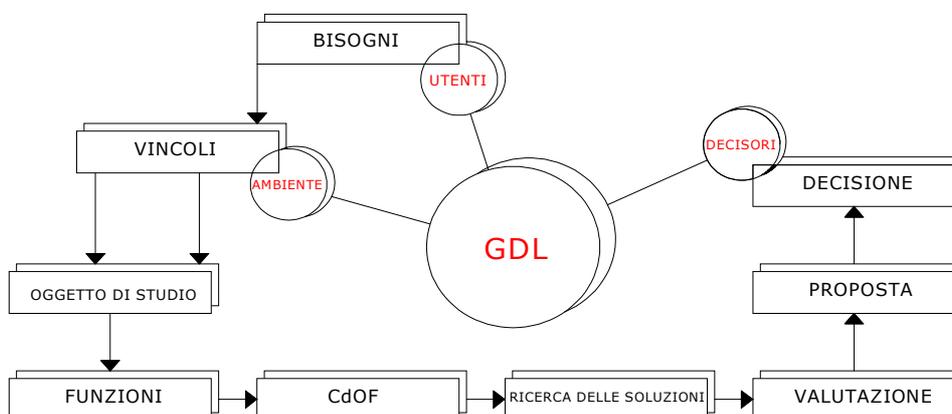


Figura 1.2.3.1.- Gruppo di Lavoro

La composizione del gruppo è quindi fondamentale per la ricerca della soluzione ottimale, intesa non come quella accettabile, ma come la migliore che massimizzi il rapporto performance/costo. Al fine di perseguire tale obiettivo è necessario predisporre un accurato piano di lavoro.

#### 1.2.4. Il piano di Lavoro.

Il piano di lavoro formalizzato in ambito americano ovvero in quello nazionale presenta un indirizzo generale di programmazione, che si sviluppa in maniera più o meno simile secondo un numero di fasi differente, dovuto essenzialmente dalla tipologia del lavoro da svolgere. Di seguito si riporta la procedura formalizzata in Italia<sup>3</sup> e l'esperienza realizzata nel campo delle opere civili, che ha riguardato prevalentemente il processo edilizio.

In generale un PdL (Paino di Lavoro) si compone di sette fasi secondo la classica scheda gerarchica del *problem solving*:

Orientamento dell'analisi — *bisogno*  
Ricerca dell'informazione  
Analisi dei costi e delle funzioni — *funzioni*  
Ricerca delle soluzioni  
Valutazione delle soluzioni  
Sviluppo e presentazione proposte di scelta  
Realizzazione

Di seguito si riporta un'attenta disamina dei diversi punti sopra riportati.

---

<sup>3</sup> AIAV Associazione Italiana per la Gestione e l'Analisi del Valore

#### 1.2.4.1 Orientamento dell'Analisi

Si tratta di una fase molto delicata il cui obiettivo principale è quello di istruire il progetto identificando l'oggetto di studio, il gruppo di lavoro, i tempi e i costi previsti in funzione degli obiettivi perseguibili.

Sostanzialmente l'orientamento si compone della :

- Definizione degli obiettivi,
- Istruzione del progetto AV;
- Analisi il problema da risolvere e il livello di dettaglio da affrontare,
- Selezionare i partecipanti al gruppo di lavoro;
- Analisi dei bisogni e del contesto normativo regolamentare;
- Prima stesura del CdOF (Capitolato d'oneri funzionale).

Il cuore di questa fase è quello di valutare i bisogni dell'utenza ovvero di individuare la ragion d'essere del prodotto, la cui utilità si giustifica attraverso il binomio *bisogno utilizzatore*. Al termine di questa prima fase si redige una prima bozza del capitolato d'oneri funzionale, espressione funzionale dei bisogni, sia in termini prestazionali che vincolistici. Tale stesura risulta indispensabile a definire la congruità tra le esigenze richieste e prestazioni offerte.

Il CdOF si differenzia dal normale capitolato, perché oltre ad indicare i materiali da utilizzare per la realizzazione del processo, definisce le funzioni che questi devono svolgere ed i relativi criteri di misurazione e di accettabilità delle prestazioni.

Il capitolato redatto in questa fase ha carattere provvisorio divenendo poi definitivo nello sviluppo della fase funzionale. Tra gli strumenti più utilizzati per la redazione del CdOF si riportano:

- Il SAFE ( Sequential, Analysis of Functional Element) che consente di individuare il primo livello da soddisfare e la corrispondente funzione principale, nonché di distinguere tra funzioni principali e tecniche.
- Il metodo FAST ( Function Alanlysis System Technique) che consente di scomporre il prodotto in base alle sue funzioni tecniche di servizio e di vincolo e stabilendo le relazioni e le gerarchie tra le stesse.

#### **1.2.4.2 Ricerca dell'Informazione**

La fase conoscitiva ha lo scopo di raccogliere tutti i possibili dati e le relative informazioni riguardo le caratteristiche del prodotto.

La ricerca dell'informazione si articola in diversi step ponendo l'attenzione sui seguenti aspetti:

- utilizzo bisogni dell'utenza;
- vincoli e norme;
- materiali e tecnologie;
- quantità;
- requisiti tecnici;
- mercato ed aspetti commerciali;
- costi;
- tempi e sviluppi tecnologici previsti.

Dal livello di dettaglio di questa fase, dipende fortemente il risultato e lo svolgimento di quelle successive, tuttavia in linea di principio l'acquisizione di eventuali altre informazioni può avvenire anche successivamente.

#### **1.2.4.3 Analisi delle Funzioni e dei Costi**

Definita il "core" dell'intero processo è una delle fase caratterizzanti il metodo. Ad essa, infatti, è demandato il compito di individuare la risposta funzionale alle esigenze esplicitate nelle fasi precedenti, in particolare tale tecnica è utilizzata per definire, analizzare e comprendere le funzioni di un progetto; come queste sono collegate tra loro e quali richiedono attenzione per migliorare il valore del progetto.

Per una corretta analisi funzionale esistono cinque step:

- analisi dei dati del progetto;
- individuazione delle funzioni;
- applicazione della Function Analysis Technique (FAST Diagram),
- associazione relazione costo/funzione,
- identificazione delle funzioni che richiedono di essere migliorate

Abbiamo precedentemente visto che esistono diverse tecniche per la definizione delle funzioni, ed al di là del diagramma FAST che successivamente verrà esposto, ne esistono delle altre tra cui:

- Schede dei flussi;
- TAF;
- Albero delle funzioni , albero del prodotto
- Matrice function .- needs;
- Matrice costi funzioni;
- Istogramma dei costi tecniche di analisi dei costi;

Esaminato il prodotto in base alle funzioni, l'analisi termina nella costruzione della tavola funzionale (TAF) che permette di correlare l'universo funzionale di un prodotto con le sue caratteristiche tecniche. Ciò significa verificare la relazione tra una particolare caratteristica tecnica ed una funzionale in maniera che la seconda giustifichi la prima.

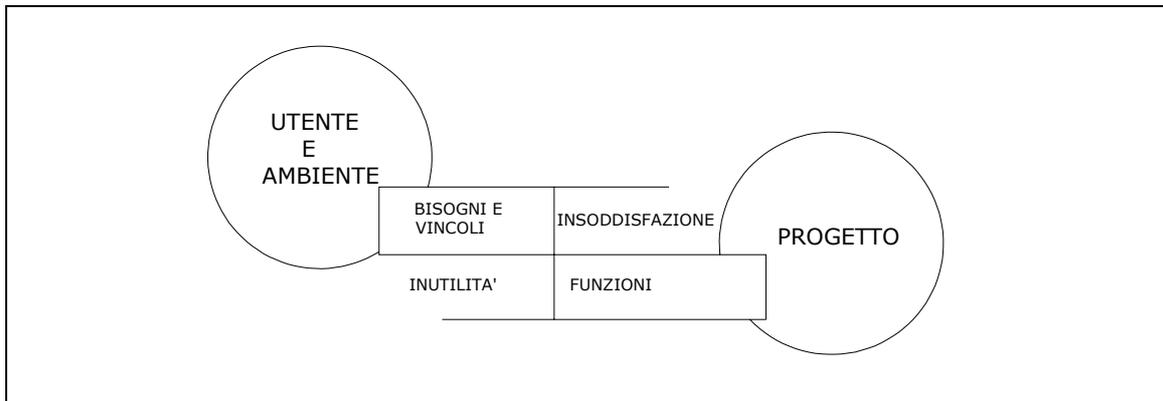
Scopo dell'analisi, le cui molteplici tecniche verranno esposte in seguito è quello di verificare l'effettiva corrispondenza tra le esigenze, i requisiti e le prestazioni di un progetto.

Vengono evidenziate le aree d'insoddisfazione, in termini di mancata risposta ad una determinata esigenza, nonché quella di inutilità, in termini di funzioni in eccesso, al fine di mettere in luce eventuali scarti di qualità o costi inutili.

L'analisi funzionale si completa attraverso l'individuazione dei costi di ogni funzione, mediante cui è possibile poi determinare il livello di inadeguatezza economica o d'inutilità, la cui misura è un indicatore fondamentale per VE.

La logica del metodo ha come presupposto che ogni costo sia giustificato da una funzione, possibilmente primaria. La verifica dell'adeguatezza economica di un progetto può avvenire attraverso l'indice del valore, calcolabile sia per il progetto nel suo insieme, che per componenti. Esso si ottiene come il minimo costo al quale si possono ottenere determinate funzioni o gruppi di funzioni.

In tal modo, un alto indice di valore individua un sistema o una componente per il quale non vi è necessità di condurre uno studio di VE. Al contrario un indice basso dimostra che il valore di costo è eccessivamente superiore al valore funzionale ed, una conseguente esigenza d'analisi, la quale deve avere come obiettivo quello di cercare soluzioni alternative, eliminando le funzioni in eccesso e conseguentemente riducendo i costi delle funzioni secondarie.



**Figura 1.2.2.3.1.- Universo Funzionale**

I componenti o le caratteristiche del sistema che non intervengono direttamente in alcuna funzione di servizio vengono denominate funzioni di concezione. Come presupposto teorico si considera ideale il prodotto di concezione nulla. Da ciò deriva che le aree d'analisi nelle quali è necessario uno sforzo progettuale, al fine di rimettere in causa le funzioni e ridurre i relativi costi, sono quelle per le quali risulta elevato il costo di concezione.

#### 1.2.4.4 Ricerca delle Soluzioni

Caratteristica della ricerca d'idee di VE è quella di rifiutare ogni tentativo di soluzione prodotto prima di aver raggiunto una conoscenza completa del problema, che deve essere acquisita al termine della precedente fase funzionale.

Va ulteriormente ribadita la rigorosa successione delle tappe d'analisi e soluzione, indispensabile per una buona riuscita del metodo. E' in questa fase che si affronta finalmente *l'universo del prodotto*, cioè la risposta concreta ad un problema. L'approccio seguito richiede di demolire le soluzioni predeterminate, per ogni ricostruzione attraverso soluzioni nuove.

La fase di ricerca delle soluzioni è il vero proprio momento critico del metodo. Questo approccio alla soluzione di problemi non si avvale unicamente di procedimenti mentali razionali e consci, dal momento che la maggior parte delle attività mentali si realizza in maniera inconsapevole. Per tale ragione la formulazione di nuove soluzioni richiede un'iniziale fase di rimozione dei principali ostacoli alla creatività. In generale essi possono avere un'origine culturale, possono derivare dal timore di proporre idee non convenzionali oppure sbagliate, dalla mancanza di fiducia o da un'abitudine ad affrontare un problema ormai consolidato .

In questa fase il compito del coordinatore del gruppo di lavoro è proprio quello di rimuovere tali ostacoli e incoraggiare, invece, ogni elemento favorevole alla soluzione creativa del problema. E' importante la collegialità della scelta, in quanto incrementa la qualità e la quantità di idee espresse.

Le regola fondamentale da seguire in questa fase è quella di fornire soluzioni varie concrete al problema, attraverso lo sviluppo di nuove idee, evitando nel contempo giudizi di valore e critiche.

Per realizzare tale fase si utilizzano le tecniche definite creative: brainstorming, matrici di identificazione, check list e analogie.

La più utilizzata è senza dubbio il Brainstorming o una delle sue varianti, sviluppata da A.F. Osborne negli anni 50, si basa sul produrre una grande quantità d'idee eliminando a priori le critiche, garantendo la libertà d'immaginazione mediante la ricerca d'associazioni.

Altre tecniche conosciute, sono la dissociazione di Koestler, o tecnica d'incrocio dei piani, le matrici d'identificazione di Moles, l'allontanamento di Gordon e l'analisi morfologica.

#### **1.2.4.5 Selezione e Valutazione delle Soluzioni**

Prima di descrivere tale fase pare opportuno operare un chiarimento riguardo i termini di *valutazione, scelta e decisione*. In particolare, la *valutazione* è un momento tecnico, contributo di razionalità al processo decisionale, la *scelta* invece rappresenta un momento tecnico e politico, mentre l'assunzione della decisione è un momento esclusivamente politico.

La valutazione si riferisce ad una fase primaria del processo cognitivo che riguarda sia aspetti sostantivi che procedurali, la scelta conclude un processo valutativo che tende a selezionare un'alternativa tra le diverse proposte, in un contesto di criteri e punti di vista multipli e spesso conflittuali, la decisione, non viene più intesa come atto deliberativo, ma come spiega Bernard Roy (1979) "come un tempo forte di un processo " Essa ha il compito di individuare il punto di equilibrio tra i fattori coinvolti e conflittuali, quali: tecnica, economia, ambiente, qualità e sicurezza.

Nella fase di valutazione delle soluzioni si analizzano le proposte scaturite precedentemente ed in particolare si effettua:

- Valutazione delle idee scaturite dalla fase precedente;
- Verifica delle combinazioni tra le diverse idee;
- Scelta delle alternative migliori;
- Definizioni delle priorità delle alternative.

Anche tale fase è supportata da una serie di tecniche consolidate tra cui:

- Analisi della fattibilità;
- Analisi costi benefici;
- Analisi multicriteria;
- Metodo Delphi;

I metodi di valutazione devono consentire di descrivere le alternative, mediante opportuni indicatori in grado di gestire la complessità delle stesse ed allo stesso tempo fornire informazioni in tempi brevi comprensibili ai decisori; gli indicatori devono essere

misurabili e leggibili ed al contempo dettagliati ed esaustivi, evitando però l'eccesso di informazioni.

La valutazione è un processo ciclico e continuo che ha luogo durante l'intero processo progettuale, ha inizio, infatti, con la fase di pianificazione, in cui viene definito l'oggetto da valutare, nonché gli obiettivi generali, a cui segue fasi di generazione delle possibili alternative.

Al fine di poter operare una classifica tra le alternative occorre definire i criteri (obiettivi del progetto) di valutazione e gli indicatori più rappresentativi, nonché la loro importanza relativa.

Nella fase di misura dei risultati viene analizzata ogni possibile alternativa, sulla base degli impatti che essa ha nei confronti dei criteri esplicitati. Ad essi sono assegnati opportuni punteggi al fine di stilare una classifica ed un ordinamento tra le stesse. Questo processo presenta numerosi feedback, in numero tanto maggiore quanto più complesso si presenta il problema decisionale; è possibile ad esempio, analizzare gli scostamenti tra i risultati effettivi e quelli attesi, per definire ed implementare interventi correttivi, per poi riprendere il processo di valutazione dalla fase finale delle alternative.

In figura è rappresentato il processo ciclico di valutazione delle alternative e sono evidenziati i possibili feedback.

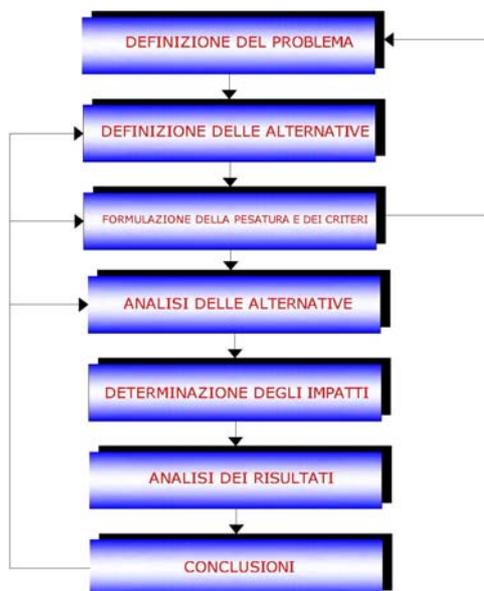


Figura 1.2.4.5.1.- Processo di Valutazione

Nel caso della gestione di un progetto di VE, durante la fase creativa precedentemente a quella di valutazione, vengono generalmente espresse numerose idee. A questo livello le idee avanzate non sono ancora state sviluppate, né è possibile per ragioni di tempi e di costi approfondirle tutte, si prevede quindi, di selezionare una rosa tra tutte quelle avanzate. Lo scopo è quello di valutare le proposte migliori, per poterle successivamente approfondire e valutare in base a criteri specifici.

Alla luce di queste considerazioni, questa prima sottofase conduce ad una classifica di fattibilità, secondo una serie di criteri. I criteri generalmente sono: fattibilità tecnologica, il costo, la probabilità, i tempi e i rischi di attuazione, i benefici economici, ma possono anche variare in funzione della tipologia di studio da affrontare.

Una tecnica per stilare una classifica di fattibilità è quella di attribuire ad ogni soluzione un punteggio da 1 a 10 rispetto ad ogni criterio. A tal fine può essere utile un ricorso ad esperti esterni al gruppo di lavoro applicando il metodo Delphi.

In base alla classifica precedente vengono scelte le proposte da sviluppare, si passa quindi ad una fase di confronto evidenziando svantaggi e vantaggi di ciascuna proposta, anche in questa sottofase può essere utile l'attribuzione di punteggi. In ogni caso l'analisi dei vantaggi e degli svantaggi porta ad un perfezionamento delle proposte avanzate.

E' importante svolgere una critica costruttiva: prima di scartare un'idea, è opportuno cercare di superare gli *ostacoli* che vi si oppongono, tentando anche la possibile integrazione di un'alternativa con un'altra, generando quindi una nuova proposta.

Conclusi i confronti si effettua la valutazione mediante specifici modelli decisionali (tecniche multicriteriali), pervenendo alla classifica finale delle soluzioni.

Le analisi multicriteriali costituiscono una famiglia di tecniche di valutazione molto differenziate ed in continua evoluzione, il loro scopo è quello di fornire una base razionale a problemi caratterizzati da molteplici obiettivi, esse comportano infatti, l'esplicito riconoscimento di una pluralità di valori, di punti di vista e di interdipendenze.

Il presupposto fondamentale è l'individuazione e la formulazione esplicita dei criteri di scelta, questi, infatti, rappresentano gli obiettivi in base ai quali giudicare il valore delle alternative; nei capitoli successivi si descriveranno in maniera compiuta l'insieme di tecniche maggiormente utilizzate nel campo dell'AV.

Stabiliti i criteri viene definito il sistema dei pesi, o la priorità tra gli stessi con la definizione della struttura delle preferenze.

Va osservato che il sistema dei pesi varia al variare dei contesti, comunque si tratta di priorità postulate e non ricavate in modo empirico dalla realtà, (Rosceffi 1990) Diverse strategie conducono a differenti classifiche delle alternative.

Gli effetti rilevanti, prevedibili e attesi d'ogni alternativa, rispetto ai criteri di valutazione utilizzati, vengono identificati nella matrice di impatti o di efficacia

L'unione della matrice d'impatto con il vettore dei pesi attribuiti ai criteri conduce alla matrice di valutazione. Nella seguente figura viene riportato un esempio di tale matrice, ove  $P_m$  rappresenta il peso del criterio  $m$ ,  $I_{m,n}$  l'impatto della soluzione  $N$  sul criterio  $m$ , cioè la misura in cui la soluzione  $n$  soddisfa il criterio  $m$ .

MATRICE DI VALUTAZIONE										
		SOLUZIONI								
CRITERI	PESI	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_{N...TOT.}$		
A	$P_A$	$I_{1,A}$	$I_{2,A}$	$I_{3,A,...}$				$I_{N,A}$		
B	$P_B$	$I_{1,B}$	$I_{2,B}$	$I_{3,B,...}$				$I_{N,B}$		
C	$P_C$	$I_{1,C}$	$I_{2,C}$	$I_{3,C,...}$				$I_{N,C}$		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
m	$P_m$	$I_{1,m}$	$I_{2,m}$	$I_{3,m,...}$				$I_{N,m}$		

Figura 1.2.4.5.2.- Matrice di Valutazione

Nella figura seguente riportiamo, a titolo esemplificativo, un tipo di matrice di valutazione ampiamente utilizzata nell'applicazione di VE. In essa i pesi ed i criteri vengono stabiliti tramite confronti a coppie ed i punteggi che rappresentano le preferenze relative sono di tipo qualitativo, attribuite secondo il seguente schema:

- 5 - preferenza massima
- 4 - preferenza alta
- 3 - preferenza media
- 2 - Preferenza minima
- 1 - parità

I punteggi riferiti ad ogni criterio vengono sommati e standardizzati, su una scala da 1 a 10, attribuendo al massimo punteggio valore 10, mentre ai criteri che presentano punteggio zero viene attribuito un peso standardizzato pari a 1, in modo da tenerli comunque in considerazione nella fase successiva.

I punteggi riferiti alle prestazioni delle diverse alternative variano da 1 a 5 secondo il seguente schema:

- 5 eccellente
- 4 molto buono
- 3 buono
- 2 discreto
- 1 scarso

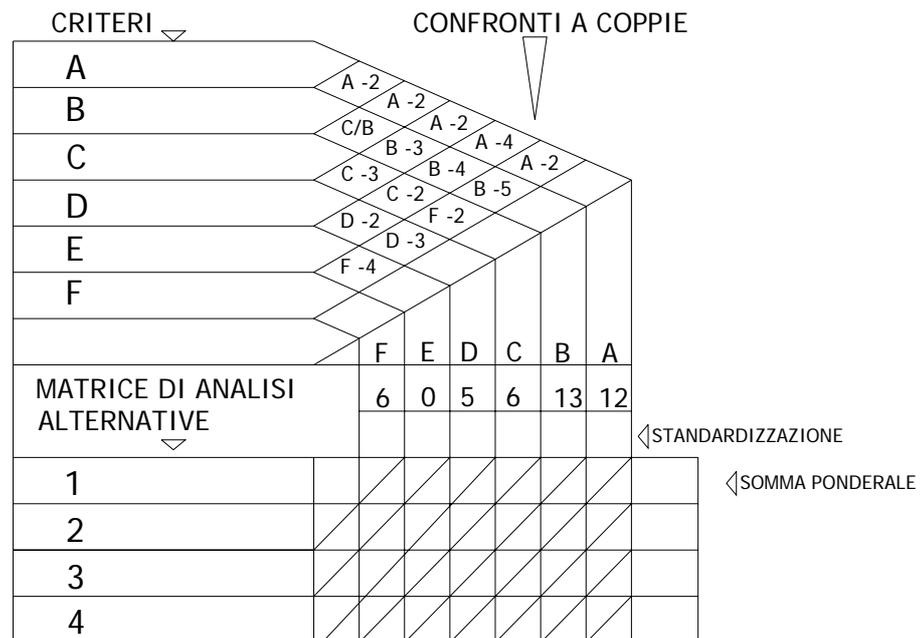


Figura 1.2.4.5.2.- Matrice di Valutazione

Sono attribuiti in base alle curve di utilità delle stesse, precedentemente determinate. Tali punteggi sono inseriti nella matrice di analisi al di sopra delle diagonali e successivamente trasformati in punteggi pesati, moltiplicandolo per il valore del peso standardizzato del relativo criterio.

Infine attraverso la somma ponderale degli impatti di ogni alternativa si ottiene la graduatoria finale.

#### 1.2.4.6 Sviluppo e Presentazione Proposte di Scelta

A questa fase è demandato il compito di dimostrare la fattibilità delle soluzioni, mediante la presentazione dei risultati dell'analisi.

Per ogni soluzione proposta, definita mediante le diverse componenti tecniche vanno quindi esplicitati vantaggi ed inconvenienti, costi, tempi e modalità di applicazione contestualmente agli eventuali rischi.

Viene quindi redatto un rapporto finale, per consentire al decisore di realizzare la scelta, tale documento ha il compito di mettere in comunicazione la fase concettuale con la fase esecutiva.

#### 1.2.4.7 Realizzazione

Infine, nell'ultima fase di applicazione del metodo l'interesse è rivolto alla realizzazione della soluzione prescelta, infatti, non vada dimenticato che lo scopo di uno studio di Analisi del Valore non solo è quello di individuare la soluzione migliore, ma anche di realizzarla. In questa fase si decide, di mettere in opera la proposta selezionata, all'occorrenza viene redatto un documento di sintesi i cui contenuti sono rappresentati in tabella.

<b>I CONTENUTI DEL DOCUMENTO DI SINTESI</b>	
<b>Individuazione del quadro di intervento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Origine intervento AV</li><li>• Soggetto e suoi limiti</li><li>• Obiettivo</li><li>• Quadro di lavoro</li><li>• Contesto di applicazione</li><li>• Svolgimento di intervento</li></ul>	
<b>Presentazione delle soluzioni accettate</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Criteri di scelta</li><li>• Base dei calcoli effettuati</li><li>• Presentazione soluzioni parziali :</li></ul>	descrizione struttura e funzionamento; peculiarità di realizzazione; caratteri di particolari interesse; vantaggi e svantaggi; costi; informazioni su sicurezza e qualità:
<b>Presentazione delle soluzioni non accolte</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Punti di interesse</li><li>• Ragioni del rifiuto</li></ul>	
<b>Quantificazione dei risultati economici</b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualità delle soluzioni proposte</li> <li>• Indicatore di valore Q/K</li> </ul>	costo finale soluzioni proposte Risparmio potenziale Tempi prestazioni
--	--

**Tabella 1.2.3.1 Sintesi del processo AV**

Come si intuisce l'applicazione di tale metodologia non si limita alle sole fasi di progettazione, ma si estende anche a quelle realizzative, operando una costante verifica tra il prodotto realizzato ed il progetto.

Il controllo avviene tramite la concertazione con i decisori, la verifica di conformità e della qualità delle realizzazioni, l'apporto di soluzione a problemi o modifiche sorte nella messa in esercizio, ovvero collaborando con gli esecutori al fine di chiarire le prescrizioni del progetto AV ed individuare eventuali problemi .

Operativamente l'equipe AV grazie alle sue caratteristiche svolge in questa fase del lavoro un ruolo considerato di cerniera tra dirigenti e la base, un ruolo essenziale di mediazione nel problema considerato. L'assunzione di tale impegno presenta e facilita la messa in opera delle prescrizioni del progetto, inoltre, il coinvolgimento del gruppo sino al termine della realizzazione produce un notevole effetto di motivazione delle risorse umane stesse.

## 2. Le Tecniche di Analisi Funzionale

Dall'esposizione della logica e della metodologia da seguire per gestire un progetto secondo l'analisi del valore, risulta chiara la necessità di applicare una serie di tecniche di informazioni e di analisi, al fine di individuare i costi, i tempi e la qualità delle soluzioni proposte.

L'analisi funzionale "cuore" del metodo VE è un processo atto a descrivere in maniera esaustiva le funzioni e le loro relazioni reciproche. Il risultato di tale processo è la rappresentazione delle funzioni sinteticamente caratterizzate, classificate e valutate.

Le tappe essenziali dell'analisi richiedono, d'identificare e classificare le funzioni introducendo anche quelle di *concezione* o di *organizzazione*, di distribuire i costi tra le rispettive funzioni e di individuare le aree interessate dalle funzioni secondarie e dai relativi costi.

Operativamente gli strumenti di cui si avvale l'analisi funzionale sono: il diagramma FAST, lo schema dei flussi, l'albero delle funzioni, l'albero del prodotto e la matrice functions-needs la matrice costi funzione.

## Il Diagramma FAST

La tecnica FAST Function Analysis System Technique sviluppata da Charles Bythewey nel 1963, consente di visualizzare e classificare le funzioni più rilevanti definendo nel contempo le relazioni tra le stesse secondo una gerarchia d'importanza.

Sostanzialmente tale tecnica ragionando in termini di funzioni, adopera un approccio differente da quello consueto, che opera per componenti tecniche, tuttavia, risulta ovvio, che la conoscenza dei componenti non va trascurata dal momento che le funzioni vengono assicurate proprio da queste.

Operativamente, il procedimento il cui risultato finale è un diagramma funzionale, prevede una prima identificazione di tutte le funzioni da assolvere da parte del sistema e la classificazione delle stesse in primarie e secondarie.

Una volta definite, si redige la tavola di analisi funzionale e per ciascuna delle funzioni identificate ci si pone due domande *come* e *perché*, la risposta alla prima domanda rappresentata una funzione d'ordine inferiore, mentre quella della seconda è una funzione di ordine superiore. In questo modo, partendo da una funzione primaria si può costruire un diagramma in cui alla destra di tale funzione sono rappresentate le funzioni di ordine d'importanza inferiore, che rispondono alla domanda *come?*, mentre alla sinistra di queste quelle di ordine superiore, rispondenti alla domanda *perché?*. Contestualmente si pone un'altra domanda : *quando* individuando le funzioni che si svolgono simultaneamente.

Il procedimento esposto è sintetizzato in figura 2.1. per la generica funzione, mentre in figura n. 2.2. è riportato un esempio di diagramma FAST redatto per la realizzazione di un proiettore.

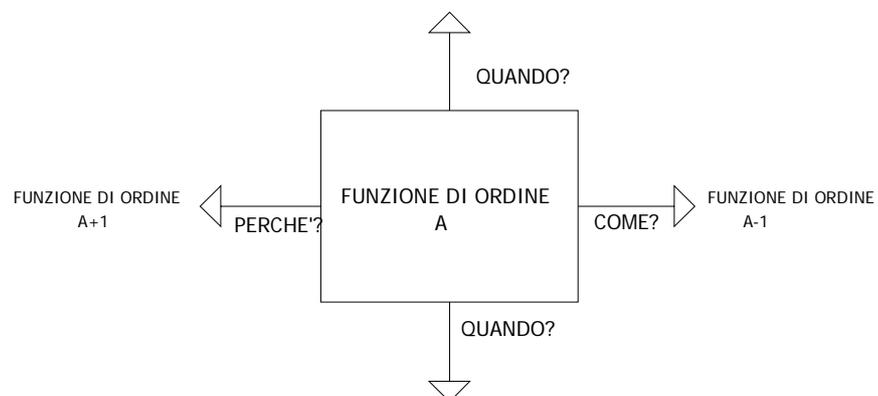


Figura 2.1.- Diagramma FAST

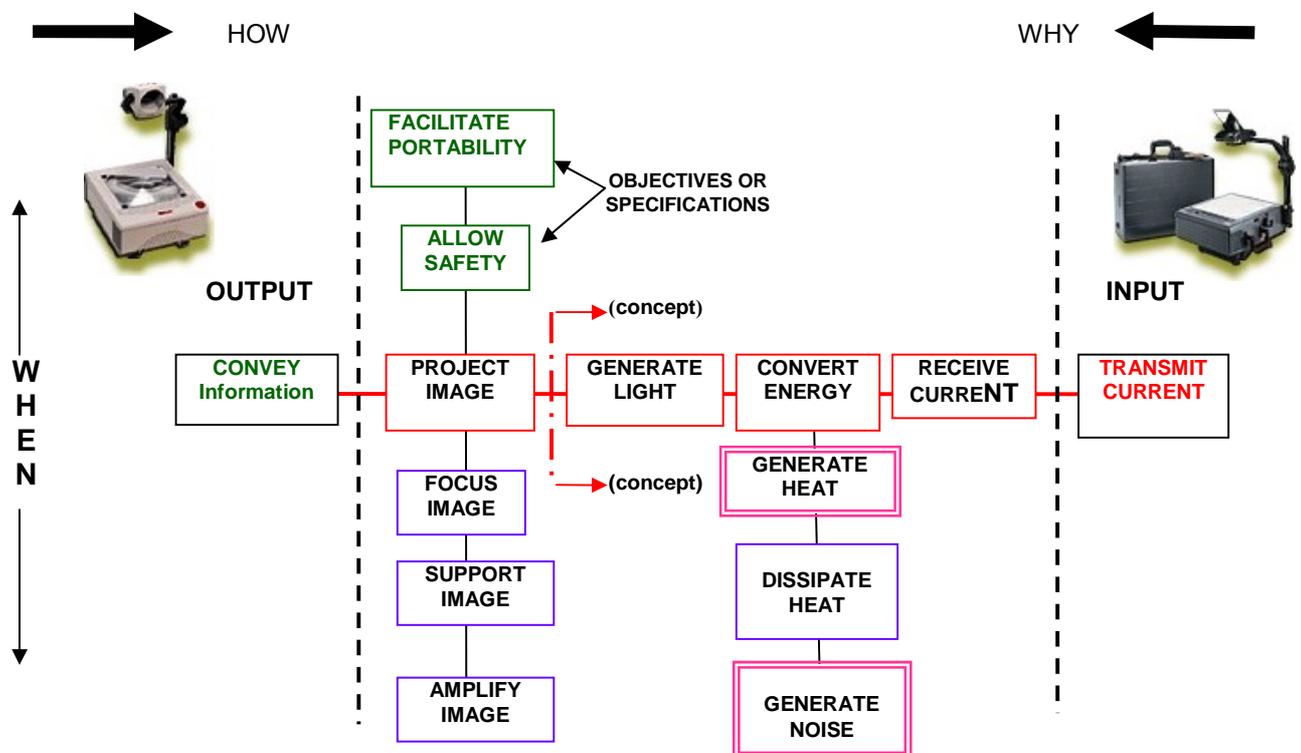


Figura 2.2- Diagramma FAST

### Lo Schema dei Flussi

Altro strumento utile ad affrontare in termini funzionali un problema è lo schema dei flussi, esso consiste nel rappresentare la connessione tra i diversi componenti del sistema attraverso la catena dei flussi generati dalle funzioni a cui componenti stessi rispondono.

### L'Albero delle Funzioni - Albero del Prodotto - Matrice Functions – Needs

Tale tecnica conduce alla costruzione di due schemi ad albero, di cui il primo rappresentante la gerarchia delle funzioni del prodotto, mentre il secondo la scomposizione dello stesso in componenti elementari.

Redatti in forma matriciale è possibile verificare la rispondenza del prodotto ai requisiti espressi nel CdOF.

L'albero delle funzioni ha lo scopo di visualizzare gerarchicamente l'insieme delle funzioni di un prodotto. Si parte dalla funzione primaria o di primo livello, che esprime l'utilizzo dell'oggetto in questione e la si articola in sottofunzioni di livello inferiore, secondo una rappresentazione ad albero. E' indispensabile non trascurare nessuna funzione considerando per ognuna di esse i *needs* ed i *wants*, in particolare i primi rappresentano i bisogni dell'utenza e quindi le funzioni espresse in maniera esplicita, mentre i secondi rappresentano i bisogni non espressamente richiesti, ma comunque apprezzati.

Entrambe le categorie di bisogni vanno individuate ed espresse in forma funzionale ovvero in termini di specifiche prestazioni quantificabili.

L'albero del prodotto rappresenta graficamente, in maniera sintetica la scomposizione dell'oggetto da analizzare in tutte le sue componenti.<sup>4</sup>

### **La Matrice di Analisi Functions – Needs**

Questa si ottiene disponendo l'albero delle funzioni su un asse verticale e l'albero del prodotto su quello orizzontale eventualmente scomposto in più parti.

Tale matrice mette in relazione le caratteristiche dell'universo funzionale e dell'universo tecnico ed ha lo scopo di verificare la rispondenza tra progetto e requisiti. Tale impostazione consente di ragionare circa l'utilità di ogni componente, evidenziando i requisiti non soddisfatti.

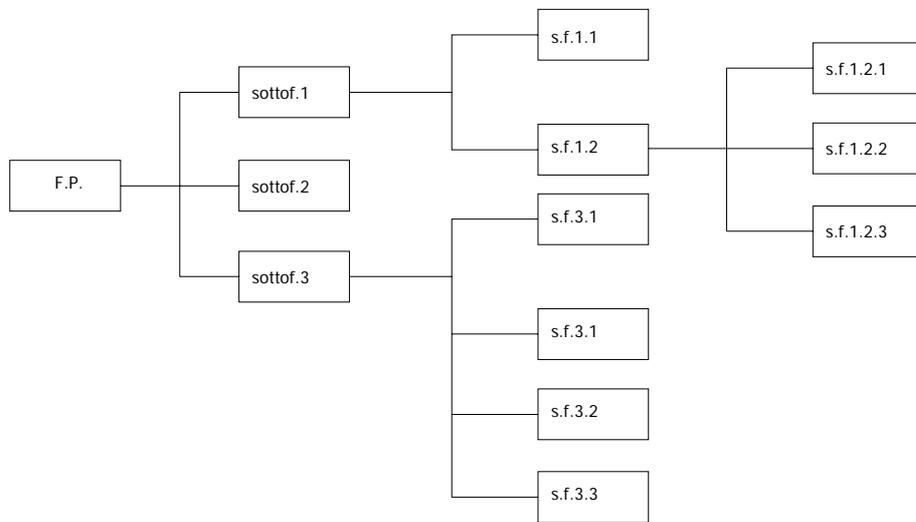
Il lavoro grafico - analitico da svolgere sulla matrice consiste nell'individuare sia le relazioni o le disconnessioni tra le componenti del progetto, sia le funzioni da soddisfare. Le relazioni vengono visualizzate sulla matrice F-N attraverso simboli convenzionali.

Generalmente il *cerchio pieno* rappresenta una sottofunzione completamente soddisfatta, mentre quello *vuoto* una funzione non sicuramente soddisfatta. Il *quadrato* invece, rappresenta funzioni non soddisfatte dai relativi componenti.

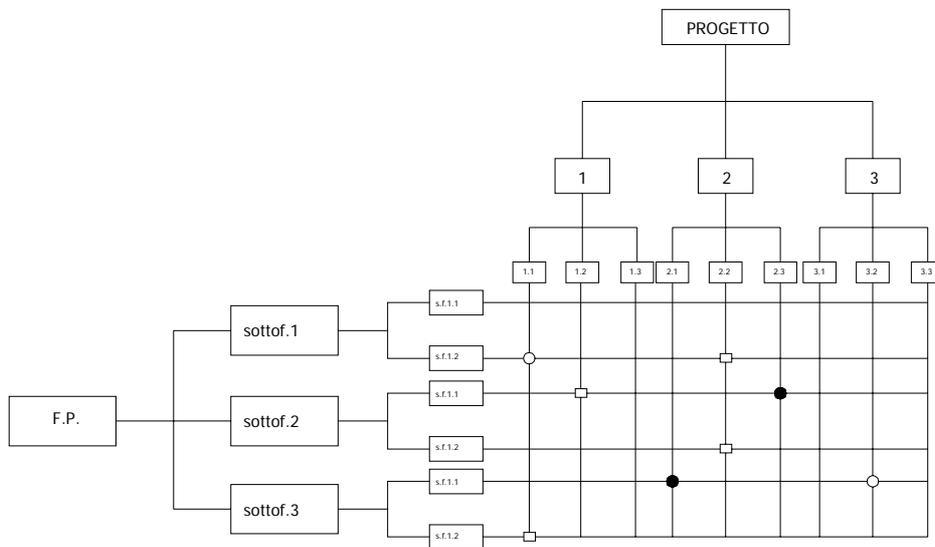
La metodologia di lavoro consente di valutare i punti critici del progetto, mettendo in risalto i componenti e le funzioni che devono essere soddisfatte, nondimeno di verificare gli eventuali errori nella costruzione dell'albero delle funzioni e del prodotto, con conseguente approfondimento.

---

<sup>4</sup> Nel campo delle opere civili è opportuno il riferimento ad un metodo di classificazione standardizzato, come la norma UNI 8290 o il Piano di classificazione Pc/SfB. La norma Uni 8290, del 1981, ha lo scopo di unificare la terminologia da impiegare nelle attività normative, programmatiche, progettuali, operative e di comunicazione. Opera una scomposizione a tre livelli : le classi d'unità tecnologiche, le unità tecnologiche, le classi d'elementi tecnici (norma Uni 7867 Parte 4).



**Figura 2.3. - Albero delle Funzioni**



**Figura 2.4.- Albero del Prodotto – Matrice function-needs**

## La Matrice Costi – Funzioni

Successivamente ad una corretta ed esaustiva analisi funzionale, l'analisi costi funzioni ha lo scopo di imputare ad ogni funzione – compresa quella di concezione, il relativo costo, al fine di definire le aree suscettibili di miglioramento. Con l'analisi C-F si scompone il costo globale del prodotto nei costi di ogni prezzo unitario, nonché di tutte le operazioni inerenti la sua produzione.

La corrispondenza tra i diversi componenti e le funzioni richieste, permette di attribuire un costo ad ogni funzione-requisito del CdOF.

La quantità di costo del componente non attribuibile alle funzioni del CdOF è imputato alla funzione di concezione. Questa analisi permette di conoscere la scomposizione del costo del prodotto totale tra le funzioni principali, complementari, di vincolo e di concetto. In questa fase del lavoro è allora possibile quantificare un indice di inadeguatezza economica *Iae* dato dal rapporto: costo funzione di concezione costo totale del prodotto.

MATRICE COSTI - FUNZIONI							
PRODOTTO		CdOF DEL PRODOTTO					
Analisi del prodotto	Costi	Funzioni Tecniche	F	F	F	....	F. concez.
			1	2	3	....	
Elemento 1							
Elemento 2							
Elemento 3							
.....		Ft.....	...				.....
.....		.....	...				

Costo

Costo di ogni funzione CFn - CFcc

100

Costo in % di ogni funzione CFn - CFc

Figura 2.5.- Matrice Costi Funzione

Definiti i costi, le azioni del gruppo di lavoro AV saranno dirette verso la riduzione dei costi delle funzioni non necessarie, ovvero allo studio di quei componenti i cui costi considerevoli non sono giustificati sia da funzioni primarie sia dai requisiti richiesti e dai loro livelli di soddisfazione.

### 3 Applicata alle Opere Civili

L'obiettivo generale di AV è di ottenere le prestazioni essenziali di un prodotto al minimo costo, attraverso l'approccio funzionale. Poiché le funzioni fondamentali non sono eliminabili, tale obiettivo può essere assunto soltanto escludendo al minimo costo le funzioni non essenziali o non espressamente richieste. E' bene tuttavia ricordare che la qualità prestazionale minima del prodotto dovrà essere comunque garantita. Il più basso costo del prodotto dovrà essere compatibile con i requisiti minimi di qualità, funzionalità e sicurezza richiesti dal mercato.

Nel campo delle costruzioni, per ottenere risultati di una certa rilevanza, l'ingegneria del valore deve essere applicata sia alla progettazione che agli studi di fattibilità, ai flussi finanziari, alla programmazione delle operazioni di cantiere, alla futura gestione e manutenzione.

In un intervento complesso sul territorio entrano in gioco numerosi fattori non sempre commensurabili, si pensi ad esempio alle problematiche di impatto ambientale, alla sicurezza alla definizione della qualità. In tal senso l'ingegneria del valore costituisce uno strumento globale di valutazione tecnico - economica da utilizzare nell'intero processo, dall'ideazione alla realizzazione dell'opera.

Attualmente l'AV è introdotta nell'art. 15 del D.P.R. 554/99, e con riferimento alle opere civili può essere applicata:

- In fase di programmazione in aiuto al responsabile del procedimento fino alla redazione del documento preliminare all'avvio della progettazione. In tal caso l'attività consiste nella messa a punto delle esigenze espresse ed implicite della committenza, nell'avanzare ipotesi sulle prestazioni attese, nel definire i requisiti e per la gestione del ciclo di vita ipotizzato.
- In fase di verifica all'interno del gruppo di progettazione da parte di componenti esterni non direttamente impegnati nel progetto da esaminare, ed è rivolta alla verifica della rispondenza funzionale delle opere progettate, così come previsto dall'art. 15 del D.P.R. 554/99.
- In fase di validazione del progetto esecutivo a supporto delle decisioni che deve assumere il R.U.P.

Di seguito è riportato uno schema riepilogativo tratto da una pubblicazione del "Sole 24 ore" da cui si evince l'applicabilità del metodo alle opere pubbliche.

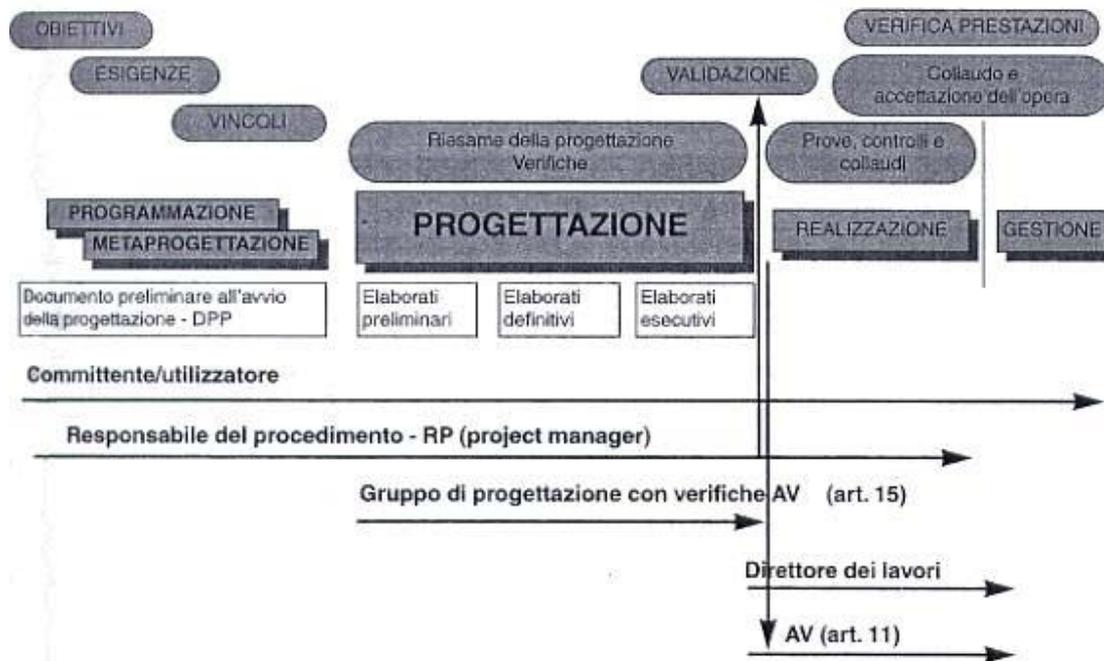


Figura 3.1.- Processo nel campo delle opere civili

Nel campo delle opere civili, dopo la fase informativa, il gruppo di lavoro AV individua gli ambiti o le aree di maggiore incidenza funzionale (AIMF o AFS)<sup>5</sup> dell'opera, così come si presentano dalla lettura globale degli elaborati preliminari e all'interno di essi enuclea le *funzioni primarie prioritarie* – quelle essenziali, necessarie e richieste – le funzioni primarie e non prioritarie – quelle non necessarie, ma richieste, complementari, ritenute utili dall'Ente di programmazione o dalla stazione appaltante per una corretta gestione dell'opera - e le valuta, escludendo invece le funzioni secondarie – quelle non necessarie e non richieste. La prerogativa principale è pertanto quella di ragionare in termini funzionali, verificando che i livelli prestazionali non siano in eccesso rispetto alle funzioni necessarie, le quali dovranno essere attentamente controllate al fine di evitare un eccesso di costi.

Successivamente il gruppo passa ad individuare le eventuali soluzioni alternative a quella esaminata, giungendo allo sviluppo e alla presentazione di quelle che soddisfano le esigenze e le prestazioni attese presentando un valore maggiore rispetto a quello attribuito alla soluzione esaminata.

<sup>5</sup> A tali ambiti vengono corrisposti i costi standardizzati così come prescritto dal D.P.R.554/99

Di seguito è riportato lo schema da seguire nell'ambito delle opere civili, in cui si evince anche il ricorso a specifiche tecniche multicriteriali appropriate a trattare dati di natura qualitativa inevitabilmente riscontrabili nell'ambito della valutazione di impatto ambientale e nei grandi progetti infrastrutturali.

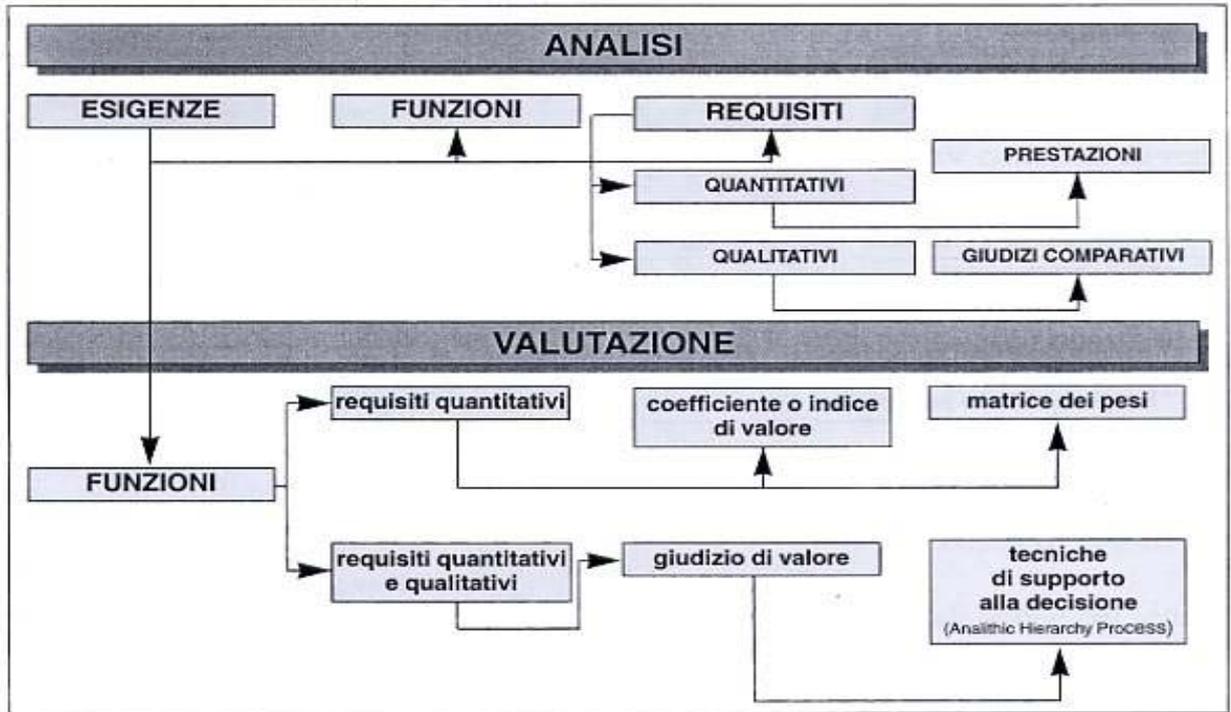


Figura 3.2.- Schema di Flusso AV

### 3.1 Il Costo Globale e il Costo del Ciclo di Vita

Nella stima del costo di un'opera o di un servizio, allo scopo di effettuare una valida programmazione è necessario individuare il costo globale da sostenere per poterne valutare la convenienza o meno, andando a considerare l'intero ciclo di vita ipotizzato, attualizzato al momento della messa in esercizio. Il costo globale è dato dalla "somma del costo di produzione, del costo di gestione nel ciclo di vita e dell'eventuale costo finale" dove:

- Il costo di produzione rappresenta la somma dei costi che concorrono a realizzare l'intervento programmato (spese di promozione, di progettazione di costruzione, tecniche l'utile dell'imprenditore ecc...)
- Il costo di gestione del ciclo di vita ipotizzato e considerando i costi derivanti dagli interventi di manutenzione necessari a garantire la soglia minima delle prestazioni in fase d'uso.
- Il costo finale, inteso sia come costo per la dismissione, per il ripristino funzionale al termine del ciclo di vita ipotizzato, sia come possibile valore residuo conservato dall'infrastruttura a termine della vita utile.

In generale il costo globale può essere espresso mediante la seguente formula:

$$c_g = c_i + (c_{ge} * n * f) + c_f * f'$$

Nella quale n, f ed f' rappresentano rispettivamente il numero di anni di ciclo di vita ipotizzato ed i fattori attualizzati dei costi differenti

## **Caso di studio – l'Alta velocità tratta Milano –Verona**

Il progetto della linea ferroviaria ad Alta Velocità/Capacità (AV/AC) Milano-Verona fu sviluppato al livello preliminare dal promotore TAV (per incarico professionale conferito ad Italferr) e consegnato al General Contractor (GC) 6, in forma di addendum alla convenzione; al GC competevano l'acquisizione del necessario consenso sul tracciato, lo sviluppo delle successive fasi progettuali e l'esecuzione.

Per aderire alle esigenze manifestate dai principali referenti 7, seguirono allo sviluppo definitivo del progetto preliminare di base (PE rev. 0 del novembre 1992) molteplici varianti intermedie, incluse in due revisioni generali del progetto (PE rev 1 dell'ottobre 1994, PE rev 2 del marzo 1995), che condussero infine alla soluzione condivisa, approvata in Conferenza di Servizi nell'ottobre 2000 (PE per CdS 2000)

Nel presente lavoro il confronto è stato sviluppato inizialmente fra le diverse evoluzioni succedutesi; alla fine si è inteso restringerlo alla soluzione base ed alla finale, essendosi riscontrato che le intermedie si collocano lungo un percorso univoco di progressiva ottimizzazione; in conclusione si è dimostrato, sulla base dell'Indice di Valore, come il processo progettuale abbia conseguito un miglioramento generale delle prestazioni, rispetto ai fattori territoriali ed ambientali proposti per l'iniziativa fin dalla sua fase programmatica.

### **The Job Plan**

La procedura ha preso le mosse da un approccio preliminare di definizione degli obiettivi perseguibili in relazione ai vincoli presenti sul territorio, alla normativa vigente ed alle specifiche di base del sistema (velocità di progetto, connessioni alla rete esistente, alimentazione e tecnologie di controllo del traffico, ecc.), ed ai diversi punti di vista dei portatori di interesse coinvolti.

Successivamente la metodologia prevede le seguenti cinque fasi:

- fase informativa;
- fase funzionale;
- fase creativa;
- fase selettiva.

---

<sup>6</sup> General Contractor : CEPAV DUE

<sup>7</sup> Ministeri dell'Ambiente e dei Beni Culturali, Regione Lombardia, Regione Veneto, Province e Comuni attraversati  
Autorità di Bacino ed Enti Parco, Enti erogatori di pubblici servizi, ecc

Nella prima fase informativa, le caratteristiche funzionali dei tracciati e la composizione dei corpi ferroviari a confronto sono state ragionatamente sintetizzate in un data base; sono state successivamente classificate ed elaborate in opportuni fogli di calcolo, dai quali si è tratto un giudizio sintetico sugli esiti tecnici ed economici del confronto.

Gli aspetti economici sono stati affrontati a partire dai computi metrico-estimativi che corredano le determinazioni progettuali susseguites: sulla base di questi si è proceduto all'accorpamento delle stime per le diverse categorie funzionali delle opere (Tabella 1) e, nel loro ambito, per i diversi tratti omogenei (WBS).

<b>Descrizione</b>
Gallerie Naturali
Rilevati e Trincee
Acquisizione Aree
Viadotti e Ponti
Interferenze stradali e idrauliche
Indiretti*
Impatto Ambientale
Gallerie Artificiali
Interferenze pubblici servizi
Bonifiche e Archeologia
Opere civili per Impianti Tecnologici
Fabbricati e Piazzali

**Tabella 1 – Categorie funzionali**

In termini comparativi l'analisi accorpata delle principali categorie di opere fornisce, per le soluzioni a confronto, i dati della tabella 2 (graficamente rappresentata nella figura 1), in cui ai costi diretti delle opere relative a ciascun ambito funzionale, si sono aggiunti gli oneri indiretti per la cantierizzazione delle opere civili e le indennità per occupazioni temporanee di aree di pertinenza.

Il quadro generale è stato utilizzato nell'applicazione della metodologia statistica di Pareto, al fine di individuare i termini rappresentativi degli esiti economici del progetto, che nel complesso ne rappresentino una percentuale significativa del costo totale.

PE rev 0 novembre 1992		PE rev 1 ottobre 1994		PE rev 2 del marzo 1995		PE per CdS ottobre 2000	
<i>Categorie</i>	<i>Importi/10<sup>6</sup></i>	<i>Categorie</i>	<i>Importi/10<sup>6</sup></i>	<i>Categorie</i>	<i>Importi/10<sup>6</sup></i>	<i>Categorie</i>	<i>Importi/10<sup>6</sup></i>
Gallerie Naturali	€ 470,40	Gallerie Naturali	€ 508,60	Gallerie Naturali	€ 469,00	Gallerie Naturali	€ 460,60
Impianti Teconologici	€ 424,30	Impianti Teconologici	€ 400,60	Impianti Tecnologici	€ 456,70	Impianti Tecnologici	€ 456,70
Rilevati e Trincee	€ 335,60	Rilevati e Trincee	€ 334,30	Rilevati e Trincee	€ 392,00	Rilevati e Trincee	€ 381,10
Acquisizione Aree	€ 325,10	Acquisizione Aree	€ 325,10	Acquisizione Aree	€ 361,80	Acquisizione Aree	€ 364,90
Viadotti e Ponti	€ 276,30	Viadotti e Ponti	€ 260,80	Viadotti e Ponti	€ 213,90	Viadotti e Ponti	€ 206,40
Interferenze stradali e idrauliche	€ 263,80	Interferenze stradali e Idrauliche	€ 235,40	Interferenze stradali e Idrauliche	€ 336,60	Interferenze stradali e Idrauliche	€ 298,60
Sovrastruttura Ferroviaria	€ 250,00	Sovrastruttura Ferroviaria	€ 260,50	Sovrastruttura Ferroviaria	€ 306,30	Sovrastruttura Ferroviaria	€ 307,00
Impatto Ambientale	€ 173,10	Impatto Ambientale	€ 138,00	Impatto Ambientale	€ 162,10	Impatto Ambientale	€ 161,30
Gallerie Artificiali	€ 85,00	Gallerie Artificiali	€ 127,60	Gallerie Artificiali	€ 469,00	Gallerie Artificiali	€ 463,30
Interferenze pubblici servizi	€ 63,50	Interferenze pubblici servizi	€ 56,90	Interferenze pubblici servizi	€ 100,80	Interferenze pubblici servizi	€ 100,50
Bonifiche e Archeologia	€ 41,20	Bonifiche e Archeologia	€ 74,50	Bonifiche e Archeologia	€ 47,50	Bonifiche e Archeologia	€ 42,00
Opere civili per Impianti Tecnologici	€ 33,00	Opere civili per Impianti Tecnologici	€ 12,40	Opere civili per Impianti Tecnologici	€ 16,03	Opere civili per Impianti Tecnologici	€ 11,90
Fabbricati e Piazzali	€ 24,00	Fabbricati e Piazzali	€ 17,50	Fabbricati e Piazzali	€ 19,00	Fabbricati e Piazzali	€ 14,00

**Tabella 2 – Stima dei Costi**

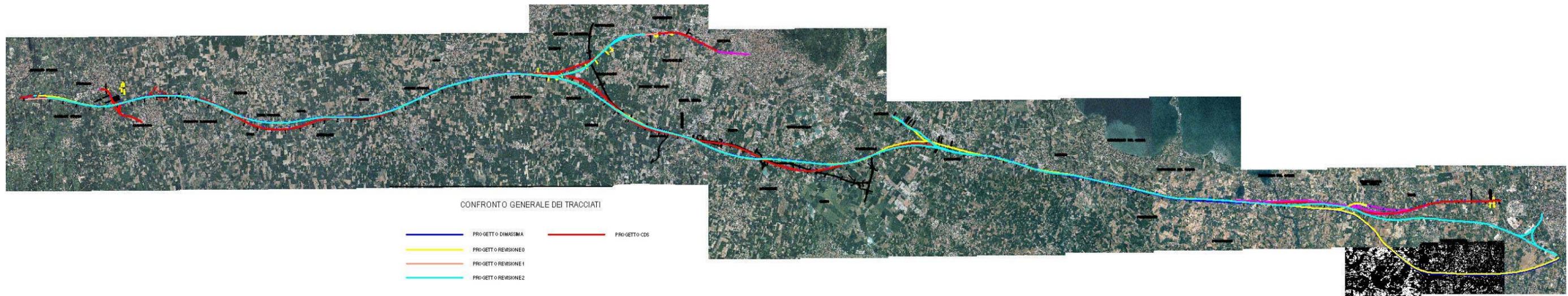
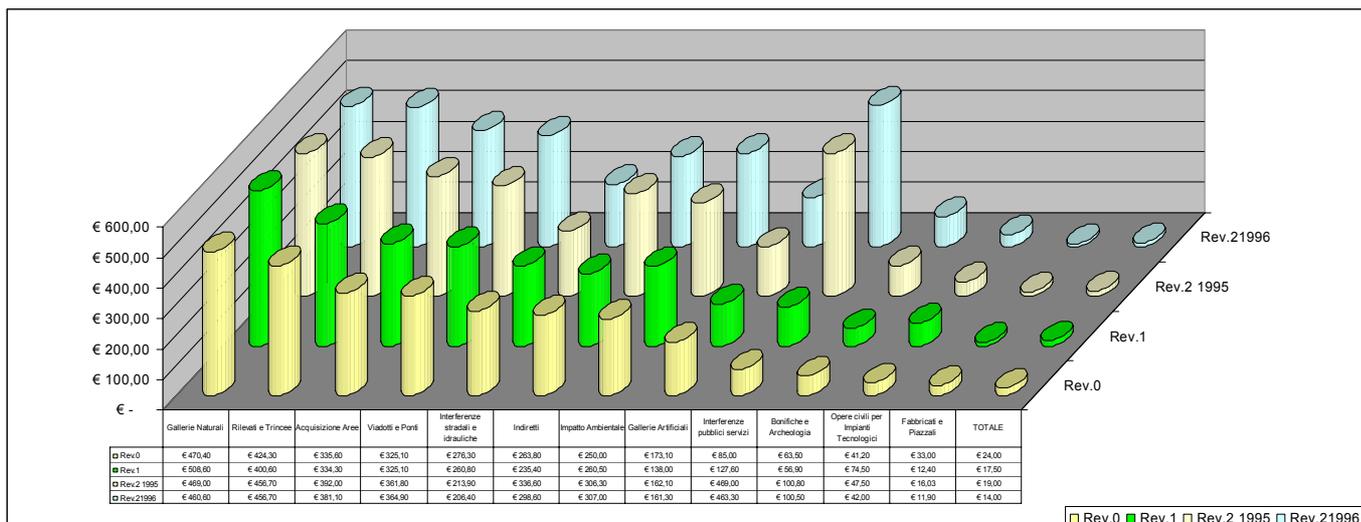


Figura 1 – Confronto generale dei tracciati



**Figura 2 – Struttura dei costi delle soluzioni a confronto**

Nondimeno, i costi riassunti in tabella 2 non sono confrontabili direttamente, perché riferiti ad orizzonti temporali difforni, quindi ad elenchi unitari diversi; pertanto si è proceduto all'omogeneizzazione dei valori di stima, assumendo come riferimento costante i prezzi del 1992: all'uopo si è preferito applicare il coefficiente di adeguamento fornito dall'ISTAT per le costruzioni nel periodo d'interesse, risultato del 28.83% fra la rev 0 e la finale per CdS.

Ne è risultato il confronto sintetizzato in Tabella 3.

DESCRIZIONE	Rev. 0 (nov. 92)	P.E. CdS 2000
RILEVATI E TRINCEE	335.6	492.710
VIADOTTI E PONTI	276.3	199.219
GALLERIE ARTIFICIALI	85.0	178.600
GALLERIE NATURALI	470.4	496.470
INTERFER. STRADALI E IDRAULICHE	263.8	319.829
INTERFERENZE PUBBLICI SERVIZI	63.5	109.392
MITIGAZIONI IMPATTO AMBIENTALE	173.1	199.014
FABBRICATI E PIAZZALI	24.0	14.218
BONIFICHE E ARCHEOLOGIA	41.2	51.790
OPERE CIVILI PER IMPIANTI TECNOLOGICI	33.0	13.293
<b>TOTALE COSTI DIRETTI CIVILI</b>	<b>1765.9</b>	<b>2,074.6</b>
<b>TOTALE COSTI INDIRETTI CIVILI</b>	<b>256.0</b>	<b>289.0</b>
<b>TOTALE OPERE CIVILI</b>	<b>2,021.9</b>	<b>2,363.6</b>
ACQUISIZIONE AREE DEFINITIVE	325.1	614.2
<b>TOTALE COSTI BASE</b>	<b>2,347.0</b>	<b>2,977.7</b>

**Tabella 3 – Stime a costi 92 delle soluzioni a confronto**

Dopo aver ordinato le diverse categorie di lavoro, in sequenza crescente d'importo (Tabella 4 e Figura 2), l'analisi di Pareto ha consentito di focalizzare i successivi sviluppi sulle prime 8, che in entrambe i casi coprono oltre il 95 % dell'importo e quindi costituiscono le aree dove intervenire prioritariamente e/o con maggior vantaggio economico.

Categorie Funzionali	Revisione 0		Revisione per CdS 2000		Differenza fra gli importi/10 <sup>6</sup>	% variazione
	Importo/10 <sup>6</sup>	% sul totale	Importo/10 <sup>6</sup>	% sul totale		
Gallerie Naturali	€ 470.40	20.0%	€ 496.47	16.56%	€ 26.07	5.54%
Rilevati e Trincee	€ 335.60	14.3%	€ 492.71	16.54%	€ 157.11	46.81%
Acquisizione Aree	€ 325.10	13.9%	€ 614.20	20.62%	€ 289.10	88.93%
Viadotti e Ponti	€ 276.30	11.8%	€ 199.21	6.69%	-€ 77.09	-27.90%
Interferenze stradali e idrauliche	€ 263.80	11.2%	€ 319.83	10.74%	€ 56.03	21.24%
Indiretti	€ 256.00	10.9%	€ 289.00	9.70%	€ 33.00	12.89%
Impatto Ambientale	€ 173.10	7.4%	€ 199.01	6.68%	€ 25.91	14.97%
Gallerie Artificiali	€ 85.00	3.6%	€ 178.60	5.99%	€ 93.60	110.12%
Interferenze pubblici servizi	€ 63.50	2.7%	€ 109.39	3.68%	€ 45.89	72.27%
Bonifiche e Archeologia	€ 41.20	1.8%	€ 51.79	1.74%	€ 10.59	25.70%
Opere civili per Impianti Tecnologici	€ 33.00	1.4%	€ 13.29	0.44%	-€ 19.71	-59.73%
Fabbricati e Piazzali	€ 24.00	1.0%	€ 14.22	0.47%	-€ 9.78	-40.76%
<b>TOTALE</b>	<b>€ 2.347,00</b>	<b>100.0</b>	<b>€ 2.977,7</b>	<b>100.0</b>	<b>€ 630.72</b>	<b>26.87%</b>

Tabella 4 – Confronto Rev.0 –Cds 2000

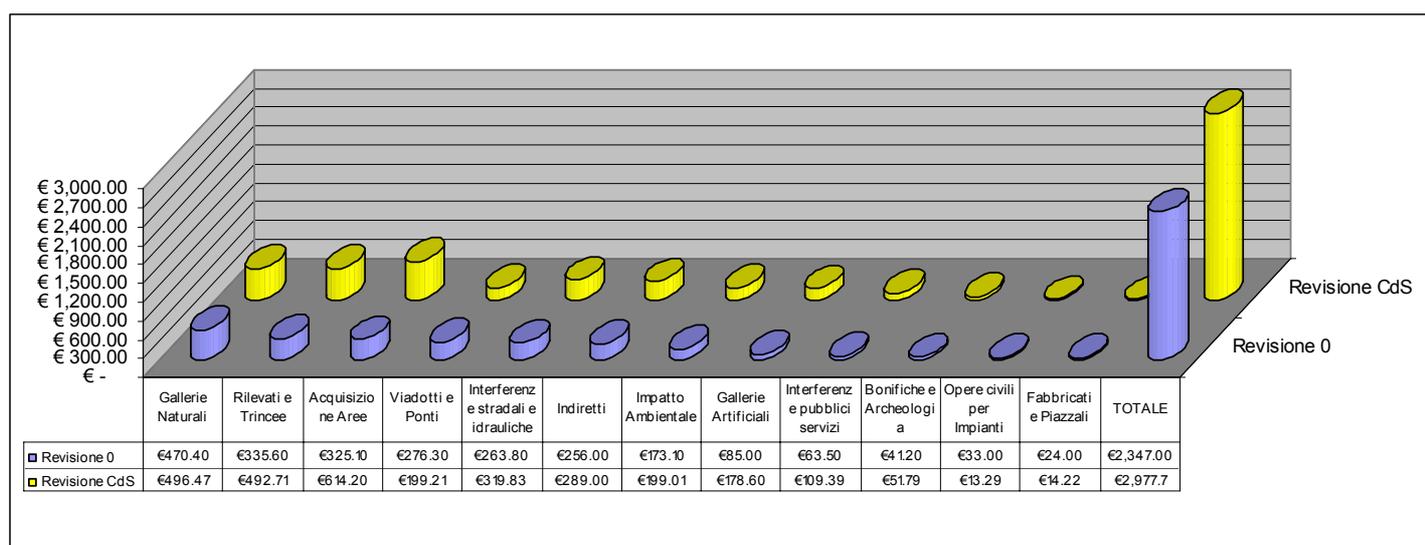


Figura 3 – Confronto Rev.0 –Cds 2000

La seconda fase della procedura comporta l'analisi funzionale dei progetti a confronto; per poterla realizzare in maniera esaustiva è stato necessario seguire i seguenti steps:

1. analisi dei progetti alternativi ed individuazione delle funzioni (*Value Management*);
2. applicazione dell'analisi funzionale o *Function Analysis Technique* (FAST Diagram);
3. determinazione della relazione costi/funzione;
4. identificazione delle funzioni che offrono i più significativi miglioramenti.

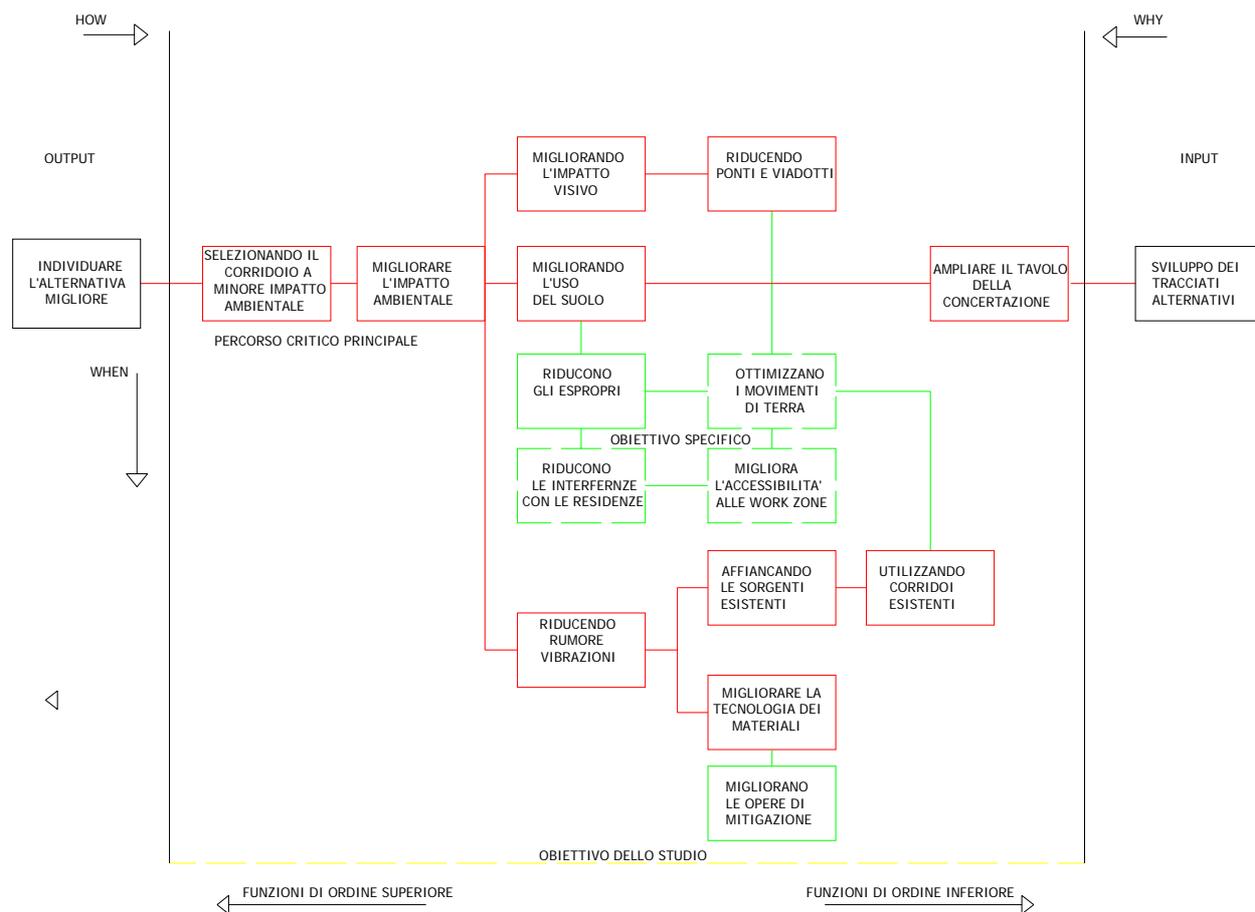
Per eseguire l'analisi funzionale relativa *Value Management*, al fine di trasformare gli elementi del progetto in funzioni, è opportuno classificare queste ultime in tre tipi:

- A. *Funzioni base*: corrispondono alle più specifiche ed essenziali prestazioni che il progetto deve offrire.
- B. *Funzioni secondarie*: comprendono sia fattori di supporto delle funzioni base, che conseguenze inevitabili delle scelte di fondo del progetto (in campo tecnico, estetico o ambientale in genere); di norma esse sottendono vari grado di volontarietà del progettista e/o di gradimento dei diversi interlocutori.
- C. *Richieste secondarie*: individuano aspettative dei referenti, subordinate allo scopo essenziale dell'opera, che non si esclude possano assurgere a vincoli primari per il progetto.

Il diagramma FAST (Figura 4) si presenta come uno strumento metodologico atto a selezionare e controllare i punti d'attacco della soluzione base ed a prefigurare le auspicabili alternative tecniche che, preservandone in ogni caso gli elementi e le prestazioni essenziali, siano in grado di soddisfare meglio le aspettative espresse dai diversi portatori di interesse coinvolti; lo scopo dichiarato è di migliorare il rapporto *performance/costo*, per formalizzarlo nel modo più rappresentativo del problema in esame. Il processo seguito si è sviluppato secondo la seguente graduazione:

- a. si è partiti dall'analisi del progetto iniziale (PE Rev. 0), enucleando le diverse e distinte funzioni base e valutandone il grado di aderenza alle specifiche prestazionali;
- b. si sono derivati i punti di forza e di debolezza della soluzione prefigurata dal proponente, in ordine alle funzioni secondarie e con riferimento alle critiche presentate dai diversi interlocutori istituzionali che hanno titolo ad esprimersi;
- c. si sono infine registrate e classificate le istanze migliorative (richieste secondarie) ugualmente proposte dagli stessi interlocutori nei diversi settori di competenza.

Come si evince dal diagramma, le funzioni sono state relazionate tra loro secondo un legame logico biunivoco del tipo (*How-Why*) ed in riferimento al tempo (*When*), individuando, in tal modo, un percorso critico dal quale desumere le diverse aree funzionali suscettibili di miglioramenti e quindi gli obiettivi specifici perseguibili.



**Figura 4– Diagramma FAST**

La fase "creativa", terza del percorso canonico del procedimento, comporta di norma la formulazione di ipotesi progettuali alternative, indirizzate secondo le indicazioni raccolte nella fase critica precedente. Nell'applicazione essa coincide con il processo di revisione che condusse dall'ipotesi iniziale a quella approvata; il conseguimento dello scopo surroga altresì lo studio comparativo, nell'ovvia presunzione che l'esito tecnico del processo progettuale, per aver incontrato il consenso unanime, rispondesse totalmente all'obiettivo proposto.

In virtù di tale considerazione, si è passati direttamente all'ultima fase della procedura, ovvero quella "selettiva" in cui si è verificato sulla base del calcolo dell'indice di valore il miglioramento realizzato dalla CdS 2000 sul progetto originale.

Pertanto dalle indicazioni desumibili dal diagramma FAST e dal modello di costo si sono confrontate in dettaglio le due revisioni (tabelle 5 e 6).

	Rev.0		CdS 2000		Dif. Cds - rev.0		
	NUMERO	SV(m)	NUMERO	SVILUPPO	NUMERO	SV (m)	%
<b>RILEVATI</b>	107	119373	84	119230	-23	-143	-0.12
<b>TRINCEE</b>	32	6893	37	12919	5	6026	87.42
<b>PONTI</b>	16	319	6	194	-10	-125	-39.18
<b>VIADOTTI</b>	30	20120	18	12477	-12	-7643	-37.99
<b>GALLERIE NATURALI</b>	4	12735	3	2804	-1	-9931	-77.98
<b>GALLERIE ARTIFICIALI</b>	12	3951	19	13481	7	9530	241.20

Tabella n.5 – Sintesi delle variazioni nella composizione delle soluzioni progettuali a confronto

Ambiti Funzionali	Differenza	%
Gallerie Naturali	€ 26.07	5.54%
Rilevati e Trincee	€ 157.11	46.81%
Acquisizione Aree	€ 289.10	88.93%
Viadotti e Ponti	-€ 77.09	-27.90%
Interferenze stradali e idrauliche	€ 56.03	21.24%
Indiretti	€ 33.00	12.89%
Impatto Ambientale	€ 25.91	14.97%
Gallerie Artificiali	€ 93.60	110.12%
Interferenze pubblici servizi	€ 45.89	72.27%
Bonifiche e Archeologia	€ 10.59	25.70%
Opere civili per Impianti		
Tecnologici	-€ 19.71	-59.73%
Fabbricati e Piazzali	-€ 9.78	-40.76%
<b>TOTALE</b>	<b>€ 630.72</b>	<b>26.87%</b>

Tabella 6 – Sintesi delle variazioni di costo fra le soluzioni progettuali a confronto

Dall'analisi delle tabelle n.5 e n.6 si evince un forte incremento di spesa relativo ai rilevati e trincee, sostanzialmente dovuto ad un aumento di queste ultime; infatti mentre i rilevati hanno conservato uno sviluppo pressoché costante, lo sviluppo delle trincee si è incrementato da 6.893 m a 12.919 m; ne ha beneficiato la performance nei confronti del rumore e delle vibrazioni indotte all'ambiente esterno, che risulta ulteriormente avvantaggiata dalla maggiore estensione 9.530 m delle gallerie artificiali.

Sensibile risulta altresì il beneficio generale per i ricettori di fattori di disturbo, conseguente alla riduzione del numero e della consistenza dei fabbricati civili e commerciali nell'area ristretta dell'infrastruttura di progetto, nonché del livello di comfort attualmente assicurato in alcuni di essi, gravanti su aree di territorio già attraversate da altre importanti infrastrutture.

Il numero di ponti e di viadotti è diminuito fortemente, con un forte miglioramento dell'intrusione visiva dell'opera ferroviaria sul territorio.

Di contro estensione del sedime (incremento degli oneri d'esproprio) ed incremento del numero-complessità delle interferenze stradali risultano elevati, a fronte tuttavia di un miglioramento del grado di connessione in una zona di territorio alquanto critica; infatti il principio informatore delle modifiche di tracciato introdotte è l'affiancamento stretto a grandi infrastrutture esistenti (autostrada A4, SPBrescia 19, SS 11, linea ferroviaria Brescia-Parma, ecc.). L'intento fu di ottenere la significativa riduzione delle esternalità ambientali su ricettori attualmente esenti, alcuni dei quali di particolare pregio turistico-monumentale, e soprattutto il drastico abbattimento delle superfici intercluse e del consumo di risorse ambientali non rinnovabili. nondimeno ne è derivata, come ineliminabile conseguenza, una minore libertà nella risoluzione delle interferenze con la viabilità complanare ed i servizi trasversali a queste importanti infrastrutture, che ne ha aggravato l'onere.

Nell'analisi del valore le esternalità pregiudizievoli sono riferite all'utilizzazione attuale dell'ambiente, come risorsa e sede di servizi diretti o indiretti (qualità dell'acqua superficiale e profonda, uso e produttività agricola ed edificatoria dei suoli, fattori statici e dinamici della qualità atmosferica, produzione di risorse genetiche ed ecosistemiche, estetica e valori culturali del paesaggio naturale ed antropico, ecc.)

La qualità dell'ambiente genera benefici sociali potenzialmente numerosi ed irrinunciabili: la sua grave compromissione riduce correlativamente quella dei servizi forniti, con irreversibile danno sociale; in particolare compromettere un nuovo corridoio in un'area già segnata dalla presenza di profonde cesure ad opera di altre infrastrutture ad andamento grossolanamente parallelo, significa comprometterne la sostenibilità ambientale, inficiare la trasformabilità dei suoli, generatrice di aspettative di reddito: il valore monetario dei cambiamenti nel benessere di una categoria di ricettori viene di solito designato come danno economico totale, a sua volta riferibile distintamente ad un valore di uso (benefici direttamente legati all'uso attuale della risorsa o del servizio ambientale: valori ricreativi, di consumo, estetici, ecc.) ed a un valore di non uso (trasmissione ai futuri possibili fruitori della possibilità d'intervento o di ulteriore conservazione).

La fase finale della procedura, sviluppata secondo un approccio multicriteriale e supportata da numerose competenze tecniche sia ingegneristiche che gestionali, ha riguardato in prima istanza l'individuazione dei "criteri di performance" rispetto ai quali valutare le due determinazioni progettuali a confronto.

In particolare il gruppo di lavoro ha individuato quattro criteri prestazionali, sulla base delle indicazioni dei diversi portatori di interesse coinvolti delle analisi dei dati e delle aree del diagramma funzionale, così come riportato in figura 5.

MATRICE DEI CRITERI DI PERFORMANCE					TOTALI	%
Uso del Suolo Rumore e Vibrazioni Impatto Visivo Accessibilità	<b>A</b>	A	A	a	3	50%
	<b>B</b>	B	B	b	2	33%
	<b>C</b>	C	C	c/d	0.5	8%
	<b>D</b>	D	D	D	0.5	8%
					<b>6</b>	<b>100%</b>

Figura 5 – Matrice dei criteri di performance

La preferenza di ciascun criterio rispetto ad ogni altro è il risultato di un confronto a coppie tra gli stessi, la presenza in ogni casella della matrice della stessa lettera di identificazione del criterio è il risultato della preferenza dello stesso rispetto a ciascun altro, mentre in qualche caso (criteri c e d) il gruppo di lavoro non è stato in grado di definire univocamente una netta preferenza di un criterio rispetto all'altro: si è quindi optato per l'equivalenza degli stessi.(c/d).

Il gruppo di lavoro ha quindi sviluppato, sulla base di un confronto a coppie, la matrice del tasso di performance (figura 6), che riporta in ascisse i termini del confronto ed in ordinate le alternative esaminate (Rev.0 - CdS 2000). I diversi gradi di giudizio, con il relativo indicatore rappresentativo della misura dell'impatto, sono di seguito riportati. (figura 7)

MATRICE DEL TASSO DI PERFORMANCE											TOTALI		
CRITERIO	PESO	ALTERNATIVE	TASSO DI PERFORMANCE										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Uso del Suolo	50	Rev.0 1992					5						250
		CdS 2000									9		450
Rumore e Vibrazioni	33	Rev.0 1992						6					198
		CdS 2000								8			264
Impatto Visivo	8	Rev.0 1992						6					48
		CdS 2000								8			64
Accessibilità	8	Rev.0 1992							7				56
		CdS 2000								8			64
CRITERIO	PERFORMANCE TOTALE		% DI MIGLIORAMENTO			COSTO TOTALE	INDICE DI VALORE	% DI MIGLIORAMENTO DEL VALORE					
Rev.0 1992	552					2.347	.235						
CdS 2000	842		52.53%			2.977	.282	20.35%					

Figura n.6 – Matrice del tasso di performance

CRITERIO	Range	Punteggio	Rev.0	CdS
<b>Uso del Suolo</b> Indicatore Aree soggette a perdita di valore d'uso/m	Ottimo	9		<b>14</b>
	0 – 20.000			
	Discreto	8		
	20.000 – 50.000			
	Buono	7		
	50.000- 80.000			
	Sufficiente	6		
	80.000-150.000			
	Pessimo	5	<b>205.50</b>	
>150.000				
<b>Rumore e Vibrazioni</b> Indicatore Sv. di Trincee e Gallerie/km	Ottimo	9		<b>182</b>
	>200			
	Discreto	8		
	180 – 200			
	Buono	7		
	150 -180		<b>144</b>	
Sufficiente	6			
130 -150				
Pessimo	5			
130<				
<b>Impatto Visivo</b> Indicatore N° di Ponti e Viadotti/km	Ottimo	9		<b>0,15</b>
	0 – 0,10			
	Discreto	8		
	0,10 – 0,15			
	Buono	7		
	0,16 – 0,25		<b>0,28</b>	
	Sufficiente	6		
0,26 – 0,35				
Pessimo	5			
>0,35				
<b>Accessibilità ed uso del suolo</b> Indicatore C.i.+C.o.c.p.i.t.+C.i.f.pz/Costi opere civili*km	Ottima	9		<b>0,83</b>
	0 – 0,4			
	Discreta	8		
	0,5 – 0,9			
	Buona	7		
	0,9 – 1.30		<b>0,94</b>	
	Sufficiente	6		
1,40– 1,70				
Pessima	5			
>1,70				

**Figura n. 7 – Matrici di Performance**

I primi tre indicatori prescelti non richiedono giustificazioni perché sono di immediata intuizione; l'ultimo, rappresentativo dell'accessibilità delle aree e dell'uso del suolo (tanto in fase di realizzazione che di esercizio della linea è stato relazionato, in accordo alla pratica tecnica consolidata all'estero, all'incidenza sul costo totale delle opere civili dei seguenti addendi:

- C.i. = costi indiretti (costi dei cantieri delle opere civili ed oneri per occupazioni temporanee);
- C.o.c.p.i.t. = costi delle opere civili per impianti tecnologici;
- C.i.f.pz = costi delle interferenze dei fabbricati e dei piazzali.

Sulla base di tali risultati è stata quindi redatta la matrice del "tasso di performance", rispetto alla quale sono state valutate le due soluzioni a confronto, in riferimento ai pesi dei criteri prestazionali precedentemente selezionati ed al valore degli indicatori rispetto ad essi.

L'utilizzo della matrice, oltre alla determinazione della prestazione complessiva assoluta delle ipotesi progettuali a confronto, ha consentito di individuare il posizionamento competitivo relativo dell'alternativa con il migliore indice di valore: la soluzione per CdS 2000 realizza il miglior indice di valore, con un incremento (52.53 %) delle performance delle diverse componenti del tracciato e dell'indice di valore (20.35%).

## **CONCLUSIONI**

La metodologia dell'"Analisi del Valore", richiamata nel Regolamento di attuazione della Legge Quadro sui Lavori Pubblici, costituisce uno strumento attraverso il quale è possibile superare le difficoltà operative che emergono nell'interazione tra le attività di progettazione e valutazione, dalla quale dipende il perseguimento degli obiettivi progettuali.

Applicata al confronto competitivo fra proposte progettuali alternative già elaborate, tale metodologia assume diversamente il ruolo di oggettivazione del giudizio di aderenza delle prestazioni agli obiettivi di sostenibilità ambientale ed economica del progetto, a parità di rendimento tecnico dell'opera.

## GLOSSARIO DEI PRINCIPALI METODI E PROCEDIMENTI DI VALUTAZIONE ESTIMATIVA, FINANZIARIA ED ECONOMICA

### Norma UNI 10389/1 - *Criteri generali e terminologia*

#### **3. Termini e definizioni**

3.22 qualità tecnico-prestazionale (UNI 8290)

3.23 qualità della valutazione economica

#### **COSTI**

Criterio del valore di Costo

3.2 costo

3.3 costo tecnico di costruzione

3.4 costo complessivo di produzione

(3.5 ciclo di vita)

3.6 costo di gestione nel ciclo di vita

3.7 costo finale

3.8 costo globale

3.9 preventivo

3.10 giudizio di valore (o stima)

#### **RICAVI**

Criterio del valore di Mercato

3.1 prezzo (o valore di scambio)

3.11 valore di mercato

3.10 giudizio di valore (o stima)

#### **BENEFICI**

Criterio del valore Sociale

3.13 valore sociale

3.14 valore sociale reale

3.15 valore di esistenza

3.16 valore di opzione 3.17

prezzo ombra

3.10 giudizio di valore (o stima)

#### **VALUTAZIONE ECONOMICA**

3.20 valutazione economica

Attribuzione di una misurazione ad una scelta potenziale relativa ad un bene (progetto, processo, prodotto), con lo scopo di poter confrontare tra loro i diversi risultati e, conseguentemente, determinare l'opportunità e la convenienza delle singole scelte alternative. La valutazione si può scomporre nell'analisi di due differenti aspetti interagenti, che necessitano di quantificazioni separate. Da un lato è necessario valutare i vantaggi prodotti da un'alternativa (output o qualità), dall'altro calcolare la quantità di risorse necessarie per poter attuare tale scelta (input o costi). In sostanza la valutazione economica attiene all'ottimizzazione delle scelte sotto il profilo del rapporto qualità tecnico - prestazionale/ costo in un confronto con i ricavi e/o benefici.

3.18 valore funzionale

costo minimo al quale possono ottenersi le prestazioni fondamentali di un bene. In termini economici il valore funzionale rappresenta già la conseguenza di una scelta economica, in quanto potrebbe essere identificato come quella quantità di risorse minime allocabili per ottenere una prestazione prefissata. In una scala di valutazioni il valore funzionale rappresenta quindi un valore obiettivo.

**Norma UNI 10389/2 - Classificazione delle principali famiglie di tecniche estimative, finanziarie ed economiche**

<p><b>3 VALUTAZIONE ESTIMATIVA</b>  3.1 Introduzione  3.2 <i>Stima del valore di costo</i>  3.2.1 Concetti generali  3.2.2 Fasi del processo, procedimenti di stima utilizzabili  3.2.3 Procedimenti specifici e loro applicabilità  3.2.4 Procedimenti riferiti ad interventi sul costruito  3.3 <i>Stima del valore di mercato</i>  3.3.1 Concetti generali  3.3.2 Indicazioni per l'uso di specifici procedimenti  3.4 <i>Stima del valore sociale dei beni pubblici</i>  3.4.1 Concetti generali  3.4.2 Indicazione per l'uso di specifiche tecniche</p> <p><b>4 VALUTAZIONE FINANZIARIA</b>  4.1 Introduzione  4.2 Profilo metodologico della valutazione finanziaria  4.2.1 Concetti generali  4.2.2 Indicazione per l'uso di specifiche tecniche</p> <p><b>5 VALUTAZIONE ECONOMICA</b>  5.1 <i>Introduzione</i>  a) Al fine di pervenire ad una definizione di economia della progettazione edilizia è preferibile trovare riferimento, piuttosto che nella definizione di scienza economica in quanto scienza del minimo mezzo, nella definizione di scienza economica in quanto scienza delle scelte.  b) Lo scopo della valutazione economica in ambito progettuale risulta quello, difatti, di individuare tra le alternative la soluzione progettuale ottimale sotto il profilo del rapporto qualità tecnico-prestazionale-costo in un confronto con i ricavi nel caso delle opere per il mercato, e con i benefici prevalentemente nel caso di beni pubblici.  OMISSIS</p>	<p>c) In particolare con riferimento a beni di interesse storico, artistico, monumentale e ambientale, nel contesto di una valutazione economica di interventi di recupero e riqualificazione è opportuno trovare riferimento, oltre che nella logica del mercato immobiliare, anche nel "valore sociale", espressione dei benefici da essi erogati alla collettività. Soltanto tale duplice approccio consente l'individuazione di strategie di intervento nell'ottica sia del privato che del pubblico in special modo nell'ambito delle nuove procedure di "project financing".  5.2 <i>Profilo metodologico della valutazione economica</i>  a) La valutazione economica può essere affrontata per rispondere ad obiettivi e finalità diverse:  – per selezionare proposte alternative o per definire priorità in ambienti conflittuali o in situazioni di risorse scarse;  – per gerarchizzare valori economico-quantitativi insieme con valori prevalente mente qualitativi;  – per prevedere conseguenze, efficienza ed efficacia della realizzazione di beni (progetti, prodotti, processi).  b) La valutazione economica può risultare:  – monetaria: entrambi i termini sono espressi in termini monetari;  – non monetaria: nessuno dei due termini è espresso in termini monetari;  – mista: solo uno dei due termini è espresso in termini monetari.  Per effettuare la valutazione di un bene (prodotto, progetto, processo) bisogna analizzare le componenti seguenti.</p>	<p>– l'input: insieme delle risorse materiali ed umane allocate per produrre un determinato risultato.  – il processo: insieme delle modalità operative ed organizzative adottate per produrre un determinato risultato;  – l'output: prestazione concretamente prodotta;  – l'outcome: effetti concretamente prodotti;  – e quindi attribuire un livello di importanza ai criteri (opzioni dominanti)  c) Per fare ciò occorre:  – decidere il modo con cui valutare le diverse soluzioni, in funzione dei criteri principali;  – confrontare i giudizi diversi tra loro, trovando il modo di mettere in relazione ai fattori di scelta.  – I momenti della valutazione possono così suddividersi:  – impostazione;  – analisi;  – valutazione;  – controllo.  d) La metodologia da adottare ai fini di valutare un bene, dovrà essere scelta in funzione di quanto segue:  – il grado di affidabilità della valutazione a cui tende il decisore;  – il tempo a disposizione per prendere la decisione;  – le risorse che il decisore intende impiegare per migliorare la conoscenza del fenomeno in oggetto;  – le condizioni di sviluppo della valutazione.</p>	<p><b>6.5.5 PROJECT FINANCING</b>  Procedura attraverso cui si concerta, da parte dei diversi attori del processo edilizio, il finanziamento di un'opera prevalentemente pubblica, previa verifica economico-finanziaria della sua fattibilità e convenienza, in special modo in sede di programma di intervento e di progettazione preliminare.</p>
---	---	--	--

<p><b>Norma UNI 10389/2 – Classificazione delle principali famiglie di tecniche estimative, finanziarie ed economiche</b></p>	<p><b>Norma UNI EN 1325/1 - Analisi del valore e analisi funzionale</b></p>
<p><b>6.5.2 Analisi del valore (value analysis)</b>  Attività organizzata di gruppo svolta per conto del Committente o dell'Utilizzatore da esperti di varie discipline e da non esperti, sotto la guida di un coordinatore. Tale attività consiste nell'individuare gli ambiti di maggiore incidenza funzionale di una entità (prodotto o servizio), nell'evidenziare le funzioni necessarie e richieste in grado di soddisfare le esigenze espresse ed implicite del Committente e dell'Utilizzatore e nel suggerire, in rapporto agli indici di valore delle funzioni, soluzioni alternative a quella esaminata, contenendo il costo di produzione, o meglio il costo globale, nei limiti compatibili con i livelli prestazionali richiesti e con le risorse disponibili.</p> <p><b>6.5.3 Ingegneria del valore (Value engineering)</b> Approccio economico alla progettazione che trova riferimento nel ricorso ai costi obiettivi in occasione della ricerca della scelta progettuale ottimale. In sostanza riguarda nell'ottica del valore l'ingegnerizzazione del prodotto sin dallo sviluppo del progetto.</p> <p><b>6.5.4 Gestione del valore (Value management)</b> Approccio multidisciplinare e sistemico finalizzato alla ricerca nelle diverse fasi del processo edilizio (e quindi anche nella fase di programma di intervento e di progettazione) di scelte strategiche, tattiche ed operative finalizzate all'ottimizzazione dei risultati in termini di costi/qualità tecnico-prestazionale ricavi.</p>	<p><b>3 DEFINIZIONI</b></p> <p><i>3.1 Termini generali</i></p> <p><b>3.1.1 Valore (indice di)</b>  Relazione fra il contributo della funzione (o dell'oggetto AV) al soddisfacimento del bisogno e il costo della funzione (o dell'oggetto AV).</p> <p><b>3.1.2 Analisi del Valore; AV</b>  Approccio organizzativo e creativo che utilizza un procedimento funzionale ed economico con lo scopo di aumentare il valore di un oggetto AV.</p> <p><b>3.1.3 Ingegneria del valore; IV</b>  Termine talvolta usato per indicare l'applicazione dell'analisi del valore a un nuovo prodotto in fase di progettazione.</p> <p><i>3.2 Termini relativi allo svolgimento dell'AV</i></p> <p><b>3.2.1 Oggetto AV</b>  Prodotto esistente o potenziale al quale viene applicata l'analisi del valore.</p> <p><i>3.3 Termini relativi alle "Funzioni"</i></p> <p><b>3.3.1 Funzione</b>  Azione o effetto di un prodotto o uno dei suoi componenti.</p> <p><b>3.3.2 Analisi Funzionale; AF</b>  Procedimento per ottenere la descrizione completa delle funzioni e delle loro interrelazioni, caratterizzate, classificate e valutate sistematicamente.</p>

## Bibliografia

- [1] Federal Aid Policy Guide- Federal Highway Administration 14 February 1997  
FHWA, "FY 1998 Annual Federal-aid Value Engineering Summary Report".  
Value Engineering Contract Provisions on Federal-Aid Highway Construction Projects  
Federal Highway Administration.
- [2] Society of American Value Engineers International (SAVE), 1997, p. 1.
- [3] ValueEngineering in the Construction Industry A.J.Dell'Isola Construction Publishing Co.2  
Park Avenue New York, NY 10016.
- [4] (OMB) Value Engineering Circular A-131, 21 May 1993
- [5] AASHTO Guide Specifications for Highway Construction, Section AASHTO/Federal  
Highway Administration.
- [6] NHI Course No. 13405 – Value Engineering for Highways (Publications No. FHWA-HI-88-  
047 and FHWA-HI-88-051)- U.S. Department of Transportation and Federal Highway  
Administration.
- [7] USDOT Sections III n°627.
- [8] NJDOT, 1997, Sections I and II, Sections III and IV.
- [9] Value Analysis Concepts Manual California Department of Transportation  
Value Analysis Branch, Sacramento, CA.  
Value Analysis Report Guide California Department of Transportation Value Analysis  
Branch, Sacramento, CA.  
Value Analysis Team Guide California Department of Transportation Value Analysis  
Branch, Sacramento, CA.  
Value Analysis Procedures Manual California Department of Transportation Value Analysis  
Branch, Sacramento, CA.
- [10] ValueEngineering-A Practical Approach for Owners, Designers and Contractors-  
Larry W. Zimmerman and Glen D. Hart- Van Nostrand Reinhold Co. New York, NY.
- [11] Caltrans VA database, 1999.
- [12] Transportation Research Board-Section F- Construction, A2f05 Committee on Construction  
Management.
- [13] "Value Engineering and Life Cycle Cost" – Charter 10 – Harold G. Tuffy, CVS, FSAVE;
- [14] "Value Analysis Report Guide" - Third Edition April 2003 - California Department of  
Transportation Division of Design Office of Special Projects;
- [15] "Value Engineering For Small Transportation Project" by Jennifer Anne Clark. A Thesis  
Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute ;
- [16] "The Integration Of The Performance Measure Process Into Value Studies" by Robert B.  
Stewart, CVS;
- [17] "Moving Beyond the Cost Savings Paradigm – The Evaluation and Measurement of Project  
Performance" by George Hunter, PE, CVS and Robert B. Stewart, CVS;
- [18] "Function Analysis for Team Problem Solving" by Tom Warwick, CVS;
- [19] "Ingegneria del Valore nel progetto infrastrutturale: stato dell'arte" R. Lamberti, P.  
Discetti, G. Dell'Acqua.- Convegno nazionale della Società Italiana Infrastrutture Viarie,  
Padova, novembre 2003
- [20] "La valutazione democratica delle decisioni pubbliche" in *Queste Istituzioni*, n.154.  
Floc'hay B., Plottu, E. (2001),
- [21] "Evaluation. Methods for Studying Programs and Policies", Second Edition, Prentice Hall,  
Upper Saddle River, New Jersey. Weiss, C., (1997);
- [22] "Il concetto di valore nell'Architettura Tecnica "il sole 24" – Prof. P. Mattei
- [23] "Costruire con l'Analisi del Valore" EdilStampa Roma Danari G. 1193

## **4 Analisi Costi Benefici**

Nei capitoli precedenti sono state illustrate le tecniche su cui si basa la metodologia dell'Analisi del Valore; riscontrando per l'indice del valore, parametro di sintesi del processo decisionale rispetto al quale valutare le alternative, una discreta somiglianza con il rapporto benefici/costi.

Ai fini della ricerca, si è quindi ritenuto importante approfondire la tecnica dell'Analisi Benefici Costi e pertanto, nel proseguo se da un lato verranno descritte le principali caratteristiche dell'analisi costi-benefici, dall'altro si evidenzieranno i più importanti limiti di tale metodo (difficoltà a identificare i benefici e i costi associati a ciascun progetto, introduzione di opportuni tassi di sconto etc ) e quindi l'inadeguatezza all'utilizzo per il modello di scelta di seguito proposto.

### **4.1. L'Analisi Costi- Benefici: Uno Strumento Per La Decisione Pubblica**

In termini generali, l'analisi costi-benefici (ACB) può essere considerata una tecnica per definire e misurare i costi e i benefici associati a progetti alternativi di intervento, al fine di valutarne la convenienza e contribuire alla scelta del progetto ritenuto più vantaggioso secondo criteri resi espliciti.

Il ricorso a tale strumento è dovuto essenzialmente per far fronte al fallimento del mercato e alla necessità dell'intervento pubblico nel prendere decisioni relative a progetti che coinvolgono risorse (quali aria, acqua, bellezze naturali ed artistiche) alle quali il mercato a concorrenza perfetta non è in grado di attribuire un prezzo. L'analisi costi-benefici pone rimedio a questo problema stimando a priori quelle grandezze che il mercato non è in grado di misurare automaticamente (Pearce, Turner, Bateman 1998).

L'obiettivo dell'analisi costi-benefici è di individuare i progetti che massimizzano il benessere collettivo fra diversi progetti alternativi, selezionando, quello con il massimo beneficio netto complessivo, ricavato come differenza tra i benefici ed i costi compresi quelli sociali. L'unità di misura in cui vanno espressi tutti i benefici e tutti i costi è di tipo monetario. Il criterio della massimizzazione del beneficio sociale netto ha sollevato numerose critiche da parte di alcuni economisti che ritengono non sia lecito confrontare guadagni e perdite di persone diverse per motivi di equità intergenerazionale e intragenerazionale (Pearce, Turner, Bateman 1998).

Un'importante caratteristica dell'ACB è che essa suggerisce dei criteri per confrontare delle alternative progettuali, il cui valore può essere determinato nei modi più vari e più soggettivi. L'ACB costituisce, dunque uno strumento per controllare la coerenza del processo decisionale pubblico, evitando che questo si svolga in base a considerazioni soggettive, poco o per nulla formalizzate.

In questo senso l'ACB affianca il ruolo svolto dal decisore pubblico, permettendogli di compiere un'analisi sistematica su ogni aspetto del problema da trattare (Pedone 1983).

#### **4.2. Dall'Analisi Finanziaria All'analisi Costi - Benefici Sociale (Economica)**

Il risultato dei progetti d'investimento privati può essere misurato attraverso il valore dei profitti dell'investimento stesso. In linea di principio, non vi dovrebbero essere obiezioni ad applicare tali criteri anche a progetti intrapresi da Amministrazioni Pubbliche (Nutti 1987). Tuttavia, tra analisi costi-ricavi eseguita da un privato e ACB esiste una differenza sostanziale che riguarda l'ambito entro cui vengono percepiti vantaggi e costi dei progetti.

L'ACB, diversamente dall'analisi costi-ricavi, adotta nella valutazione una prospettiva collettiva dalla quale potranno apparire costi

e vantaggi che il mercato è in grado di registrare ma che non sono ritenuti importanti dal punto di vista dei privati, oppure potranno essere esclusi costi e vantaggi che non sembrano rilevanti dal punto di vista della collettività. In questo senso l'obiettivo dell'ACB è quello di integrare la contabilità dei privati con costi e benefici sociali<sup>8</sup>. Inoltre nell'ACB potranno risultare rilevanti costi e vantaggi che il mercato non è in condizione di rilevare fedelmente (ad esempio prezzi distorti da situazioni di monopolio) oppure che il mercato non è in condizione di valutare in alcun modo (ad esempio valori di risorse naturali in corso di esaurimento). In questo caso l'ACB provvede a correggere le potenziali cause di errori di allocazione delle risorse. L'analisi condotta nell'ambito allargato descritto da questa nuova prospettiva pubblica anziché privata, è indicata con il termine di ACB economica. In questa valutazione non sono considerati gli effetti che risultano essere puri trasferimenti di reddito interni alla collettività.

Si supponga di avere un progetto (Fig.4.2.1), per esempio la realizzazione di un impianto e di dover decidere se realizzarlo o meno, quale dimensione dargli, dove localizzarlo, etc...Si calcoleranno allora, per ogni alternativa possibile, i costi e i ricavi.



**Fig.4.2.1. Un progetto di investimento privato valuta la trasformazione di fattori produttivi in prodottisololo mediante un'analisi costi-ricavi e non tiene conto dei costi sociali.**

<sup>8</sup>L'analisi costi-benefici (ACB) dei progetti di investimento è espressamente richiesta dai nuovi regolamenti dell'Unione Europea per i Fondi Strutturali (StructuralFunds-FS), il Fondo di Coesione (Cohesion Fund-FC) e per gli Strumenti di preadesione (ISPA), per progetti con budget superiore, rispettivamente, ai 50, 10 e 5 milioni di euro.

Gli Stati Membri sono responsabili della valutazione ex-ante, alla Commissione Europea spetta di giudicare la qualità di questa valutazione al fine di ammettere la proposta di progetto al cofinanziamento e di determinare il tasso di cofinanziamento.

In genere i costi sono legati ai fattori produttivi che si devono impiegare mentre i ricavi sono ottenuti sostanzialmente dalla vendita del prodotto. Si sottrarranno quindi i costi dai ricavi e si sceglierà l'alternativa (cioè la dimensione dell'impianto, la tecnologia, la localizzazione, etc...) che massimizza il beneficio complessivo.

Il profitto  $P$  risulta dalla differenza tra i ricavi, ottenuti moltiplicando il prodotto venduto  $Q$  per il prezzo di mercato  $p_Q$ , e i costi del capitale ( $K$ ), delle materie prime ( $T$ ) e della forza lavoro ( $L$ ) dati al prezzo della singola unità moltiplicato per la corrispondente quantità utilizzata:

$$P = p_Q \cdot Q - (p_T \cdot T + p_K \cdot K + p_L \cdot L)$$

E' ovvio che se si tratta di scegliere fra progetti alternativi, verrà realizzato quello che rende massimo il profitto. Questa non è però un'analisi costi-benefici ma semplicemente un'analisi costi-ricavi: infatti costi e benefici sono solo quelli del privato. Per fare un'ACB bisogna sostituire a questi costi e benefici privati quelli sociali.

Per esempio, se abbiamo dei residui e li lasciamo nell'atmosfera, l'ente pubblico che deve autorizzare lo scarico deve contare anche il *costo* di questi rifiuti, ovvero si deve sommare nei benefici e nei costi tutti i benefici e i *costi sociali* anche se questi non sono trattati sul mercato, cioè non hanno un prezzo. Per funzionare correttamente l'ACB dovrebbe calcolare, per esempio, il beneficio o il costo dovuto a qualunque variazione di emissione.

Dal punto di vista dell'efficienza sociale il criterio dei costi-ricavi ha una scarsa rilevanza per una serie di motivi. Innanzitutto, perché presuppone solo l'attuazione di progetti che permettono di raggiungere utili finanziari per il proponente l'opera e questo dal punto di vista sociale non è un motivo sufficiente. In secondo luogo, questo criterio copre solo gli effetti diretti per l'impresa in oggetto e non tiene conto degli effetti indiretti provocati dall'investimento che sono o possono essere rilevanti per l'economia nel suo complesso. In terzo luogo, perché usa i prezzi di

mercato per la valutazione dei benefici e dei costi e questi parametri non sempre misurano adeguatamente la preferenza della società (Laniado 1988).

I due esempi seguenti possono ulteriormente chiarire come l'ACB, a differenza di un'analisi costi-ricavi, pone particolare accento ai costi e benefici sociali. Nella stima della "Victoria Underground Line" di Londra, sono stati calcolati i benefici derivanti da una conseguente riduzione della congestione sulle strade del centro di Londra, anche se i beneficiari non dovevano versare nessun contributo a fronte di questo vantaggio. In un'analisi costi ricavi classica questi benefici non sarebbero stati calcolati. (Mishan 1974).

Al contrario in una stima costi-ricavi ci possono essere dati che in una stima costi-benefici non vengono considerati o sono sostanzialmente modificati. Un esempio di questo tipo può ipotizzarsi in un progetto che comporti l'impiego di manodopera che, altrimenti, sarebbe rimasta inattiva.

In questo caso la stima costi-ricavi registrerà tutti i pagamenti dei salari nella voce costi, mentre l'ACB eliminerà dalla voce costi tutti i versamenti effettuati per lavoratori che altrimenti sarebbero disoccupati, sul presupposto che non è stato sopportato nessun costo sociale e inserirà tali importi tra i benefici (Tabella 4.2.1.). La società non compie nessun reale sacrificio utilizzando questa manodopera, poiché era inattiva, e quindi nessun costo viene inserito nell'analisi.

Questo concetto è definito con il termine costo opportunità e verrà meglio precisato nel seguito. Le differenze tra gli effetti sociali di un progetto e quelli che sono di rilevanza puramente privata, sono conosciute come effetti esterni o esternalità<sup>9</sup>, fattori di cui. l'ACB cerca quindi di tenere conto.

---

<sup>9</sup> Si definiscono fattori esterni

	<i>Costi €</i>	<i>Benefici €</i>	<i>Benefici netti €</i>
Salari percepiti dai lavoratori in precedenza disoccupati al netto degli oneri fiscali		10.000,00	10.000,00
Salari percepiti da 4 lavoratori in precedenza disoccupati al netto degli oneri fiscali	10.000,00		-10.000,00
Oneri fiscali per i salari percepiti da lavoratori in precedenza disoccupati	7.000,00		-.7.000,00

**Tabella 4.2.1. Per l'ACB economica i salari percepiti da lavoratori in precedenza disoccupati danno origine a un beneficio netto positivo; in un'analisi costi-ricavi, invece, questi importi rappresentano dei costi e pertanto i benefici netti sono negativi.**

I passi logici che bisogna seguire in un qualunque problema decisionale si possono così schematizzare:

- 1) Individuazione degli effetti (costi e benefici);
- 2) Stima degli effetti in unità fisiche e quindi loro monetizzazione;
- 3) Distribuzione temporale degli effetti;
- 4) Definizione dei criteri decisionali:

Si anticipa fin da ora che il passo più critico, ovvero quello su cui l'ACB spesso fallisce, è il secondo, cioè quello della monetizzazione.

Nei paragrafi seguenti e negli esempi proposti alla fine del capitolo verranno discusse le principali problematiche inerenti all'applicazione dell'Analisi Costi e Benefici. Si rimanda invece al capitolo 5 per una rassegna delle critiche che vengono sollevate all'applicazione dell'ACB.

#### **4.2.1. Effetti Reali e Pecuniari**

Una distinzione primaria, fonte di numerose ambiguità, è quella tra effetti reali ed effetti pecuniari. Sono effetti reali quei benefici e quei costi che dal progetto si riflettono sui consumatori finali. A questi effetti è ricondotto il giudizio sull'efficienza sociale del progetto esaminato. Costituiscono invece effetti pecuniari quei benefici che sono tali per alcune categorie di individui, ma rappresentano costi per le altre. Questa

operazione di bilancio avviene attraverso mutamenti dei prezzi relativi di mercato e attraverso trasferimenti monetari (Mishan 1974).

Per meglio comprendere tale differenza, immaginiamo ad esempio che si voglia costruire un nuovo complesso industriale e che la realizzazione di questo progetto richieda un aumento dell'utilizzo di terreno fabbricabile. Se questa risorsa (il terreno fabbricabile) è scarsa, l'aumento della richiesta di tale fattore produttivo induce sul mercato un incremento del prezzo. Tale effetto, costituisce un beneficio per i proprietari terrieri e un costo per tutti i potenziali acquirenti della risorsa.

Pertanto, ai fini della valutazione del progetto mediante l'analisi costi-benefici, costituisce un costo reale solo l'impiego della risorsa nella misura in cui viene distolta da altri usi (ad esempio uso agricolo, ricreativo, residenziale,...). Questo concetto è noto con il termine costo opportunità e verrà illustrato in seguito.

All'interno dell'ACB non vengono inoltre considerati gli effetti generati dagli aggiustamenti dei prezzi che hanno luogo nei mercati influenzati dal progetto. Ad esempio, il trasferimento di lavoratori nell'area di nuova industrializzazione comporterà un aumento della produzione di beni di consumo sull'area stessa. Se questo si accompagnerà ad una pressoché uguale diminuzione nell'area di origine, allora non sarà preso in considerazione nell'ACB. Questi sono infatti effetti pecuniari che l'ACB non considera rilevanti dal punto di vista della collettività: l'ACB non tiene conto di chi sopporta i costi del progetto in studio e di chi ne trae invece i benefici.

Uno dei passi fondamentali per una corretta impostazione dell'ACB è l'analisi del territorio che è, in qualche maniera, coinvolto dal progetto in esame. Questo importante concetto della definizione dell'area di studio è noto come "delimitazione del campo di indagine". Ad esempio, se si valutano gli effetti di questo nuovo complesso industriale a livello nazionale, non andranno certamente presi in considerazione i trasferimenti di manodopera da un'altra nazione. In ogni analisi bisogna

quindi definire a priori la collettività o i portatori d'interesse su cui si analizzano gli effetti in termini di costi e benefici.

Gli effetti determinati dai mutamenti relativi dei prezzi non sono considerati nell'ACB perché la valutazione tiene conto solo dei costi e benefici sociali, indipendentemente da chi sono sostenuti e a vantaggio di chi vanno, e quindi un'esplicita considerazione degli effetti pecuniari darebbe luogo ad un doppio conteggio (Petretto 1987). Un esempio può risultare utile per chiarire il concetto: la costruzione di un aeroporto provoca la diminuzione dei prezzi delle case situate nelle immediate vicinanze e induce un danno alla popolazione locale legato all'eccessivo rumore dovuto agli aerei che decollano e atterrano.

All'interno dell' ACB la monetizzazione dei danni e la stima del crollo dei prezzi degli immobili sono considerati due effetti dello stesso fenomeno e pertanto inserirli entrambi darebbe luogo ad un doppio conteggio.

Per quanto sia discutibile su un piano etico, per l'ACB la diminuzione del prezzo delle case non è altro che il trasferimento sul mercato dei danni alla popolazione insorti in seguito alla costruzione dell'aeroporto<sup>10</sup>.

Anche i flussi di uscita e di entrata che riflettono trasferimenti monetari da una parte all'altra della collettività non vanno considerati nella valutazione, ad esempio il pagamento degli interessi su un prestito da parte del proponente l'opera altro non è che un trasferimento di potere di acquisto dall'ente erogante il prestito al mutuario. Trattandosi di un trasferimento, esso non è rilevante per l'ACB perché rappresenta un effetto pecuniario e non reale. Le stesse imposte e sussidi sono dei trasferimenti e, in quanto tali, non costituiscono un costo in termini reali, cioè in termini di nuove risorse. Si chiarirà il concetto con un esempio: tra i costi che un'azienda affronta vi è certamente quello dei trasporti. Dato che il costo della benzina è pari a circa €1,200 al litro, l'azienda

---

<sup>10</sup> Per tale stima esistono comunque diversi metodi tra cui il metodo del prezzo edonico.

introdurrà nell'analisi costi-ricavi il costo totale dato dai litri consumati per il prezzo al litro. Dal punto di vista dell'ACB si dovrà invece considerare solo il costo effettivo per la società, depurando il costo totale dai trasferimenti. Se si ipotizza che l'ammontare delle tasse sia di €0.70 al litro, il costo reale da considerare sarà pari a €0.5 per il numero di litri consumati.

L'ACB valuta i costi e i benefici di un progetto attraverso i prezzi ombra di cui il costo reale della benzina, appena valutato, rappresenta un esempio.

La regola di considerare solo gli effetti reali e trascurare gli effetti pecuniari è soggetta ad un importante eccezione. Infatti gli effetti pecuniari, pur non costituendo un guadagno netto per la collettività, producono effetti sulla distribuzione della ricchezza. Se l'Amministrazione Pubblica vuole utilizzare la selezione dei progetti come strumento per migliorare la distribuzione del reddito, ad esempio a favore di certe particolari regioni e di certe classi sociali, dovrà far figurare anche gli effetti pecuniari nei parametri di riferimento per la valutazione di costi e benefici. Questi effetti infatti rientrano nell'obiettivo più generale di politica economica che si vuole raggiungere. Questo modo di procedere è tipico dell'ACB sociale (Petretto 1987).

#### **4.2.2. Effetti Diretti e Indiretti**

Per applicare correttamente l'ACB è inoltre, necessario distinguere fra effetti diretti ed effetti indiretti. Si parla di effetti diretti quando le variazioni dell'uso di fattori produttivi o beni intermedi e le modifiche nella produzioni di beni finali sono imputabili direttamente al nuovo investimento. Per quanto riguarda gli effetti indiretti (detti anche effetti collaterali o esterni), occorre prendere in esame le variazioni quantitative indotte dal progetto e che si propagano in modo rilevante su tutto il sistema economico, dando luogo a un guadagno netto o a una perdita netta di risorse reali per la società (Catalano 1990). Come evidente, si

tratta di una distinzione che corrisponde a considerazioni di buon senso e non può essere definita rigorosamente. Ogni progetto è infatti accompagnato da effetti collaterali, spesso di numero rilevante, molti dei quali non sono affatto trascurabili. Non potendo considerarli tutti si terranno nel dovuto conto solo quelli ritenuti importanti secondo un dato criterio di valutazione dipendente dalle caratteristiche di ogni particolare situazione. Nel caso di costruzione di una nuova strada, gli effetti esterni possono essere la variazione dell'inquinamento della zona, l'incremento del turismo o la perdita di guadagni per gli esercizi pubblici adiacenti alla vecchia strada, davanti ai quali passeranno meno potenziali clienti. A questa si accompagna un uguale guadagno per gli esercizi situati nella nuova strada<sup>11</sup>.

Nell'ACB economica questo trasferimento di capitale da una parte all'altra della collettività non viene calcolato tra i benefici totali netti del progetto in quanto trattasi di un effetto pecuniario indotto. Bisognerà invece tenere presenti tali effetti quando si valuta, in un'ACB sociale, la distribuzione dei profitti e delle perdite fra i vari membri della comunità (Walsh e Williams 1983).

In ogni caso, tutti i costi e i benefici dovrebbero essere considerati allo stesso modo, siano essi diretti o indiretti, altrimenti si rischia di ignorare importanti effetti sulla comunità; bisognerebbe, effettuare una graduatoria degli effetti esterni in base alla loro influenza sul progetto, in modo che gli organi decisionali possano scegliere lo stadio in cui benefici e costi indotti diventano troppo lontani in termini di distanza spaziale o insignificanti in termini quantitativi e non valga più la pena di prenderli in considerazione in relazione al fine principale del progetto stesso.

I fattori indiretti sono difficilmente monetizzabili, ma la loro valutazione è indispensabile e problematica se si pensa che uno stesso effetto esterno può essere percepito come negativo da alcuni e come positivo da altri. Gli effetti esterni possono essere a loro volta classificati

---

<sup>11</sup> I Costi e i Benefici esterni ai trasporti – ACI - ANFIA

in due tipologie distinte, gli effetti tecnologici indotti e quelli pecuniari indotti. Se un'autostrada taglia in due la tenuta di un agricoltore in modo che il pascolo venga a trovarsi da una parte e la stalla dall'altra, essa ha influito negativamente sulla produzione fisica che l'agricoltore può ottenere dal suolo e dagli stabilimenti. Allo stesso modo, passando ad un caso di consumo invece che di produzione, se l'autostrada impedisce una vista piacevole della casa, allora l'occupante subisce una perdita nella quantità di godimento visivo tratto dalla sua proprietà.

Entrambi questi casi possono essere classificati come effetti "tecnologici indotti", poiché riflettono i cambiamenti nelle relazioni tecniche tra le risorse e i beni e servizi che da queste derivano (Walsh e Williams 1983).

Un altro tipo di effetto esterno è conosciuto come effetto "pecuniario indotto", che può ipotizzarsi, per esempio, quando un distributore di carburante, già localizzato su una strada principale e nei pressi dell'uscita di una nuova autostrada, ha una tale espansione commerciale che il valore di rivendita dell'impresa aumenta improvvisamente.

Quest'effetto non è attribuibile a nessun cambiamento nelle possibilità tecniche di trasformare le proprie risorse (suolo, manodopera, capitale d'investimento, carburante...) in produzione (fornitura di carburante e altri servizi agli automobilisti), ma all'aumento del profitto dovuto alla crescita della domanda in seguito ai nuovi utenti dell'autostrada. Si tratta cioè di un beneficio strettamente pecuniario, che proviene dal modo in cui il sistema economico si adatta, attraverso il meccanismo dei prezzi, al nuovo progetto di viabilità. Nella pratica questi due tipi di effetti indotti, quello tecnologico e quello pecuniario, sono generalmente presenti simultaneamente e la loro distinzione sarà perciò più difficile.

#### **4.2.3. Disponibilità a Pagare e Disponibilità ad Accettare**

Uno dei problemi più importanti nell'ACB è come determinare le preferenze degli individui, fondamento della misurazione del beneficio.

Uno dei modi più semplici per identificare queste preferenze consiste nell'osservare in che modo si comportano gli individui quando devono compiere delle scelte tra diversi beni o servizi.

Il grado di preferenza per un prodotto disponibile sul mercato è rilevato dalla loro disponibilità a pagare (DAP) per quel bene (Layard 1983). Inoltre, poiché bisogna calcolare quello che è desiderabile da un punto di vista sociale, si deve effettuare la somma della disponibilità a pagare di ciascun individuo per ottenere la disponibilità totale a pagare.

Se si considera la curva di domanda di un prodotto (Fig.4.2.3) venduto sul mercato, questa può essere interpretata come una "curva della disponibilità a pagare". Essa rappresenta la DAP in cambio di unità supplementari di bene, e costituisce dunque una curva della disponibilità marginale a pagare.

Il prezzo che l'individuo paga sul mercato per ottenere una quantità  $D$  di un certo bene è pari a  $P_1$ , determinato dalle forze dell'offerta e della domanda. Può però accadere che esistano degli individui disposti a pagare, per ottenere questa stessa quantità, più del prezzo di mercato. In questo caso, il beneficio che essi ricevono è maggiore di quello che viene indicato dal prezzo di mercato e il beneficio in più che ottengono viene chiamato surplus del consumatore.

A volte è necessario valutare un danno ambientale. In questo caso ci si può chiedere quanto le persone siano disposte a pagare per evitare il danno (DAP) o quanto siano disposte ad accettare come compensazione per sopportare quel danno (DAC).

In conclusione si può dire che esistono due misure del beneficio ottenuto dal miglioramento dell'ambiente e due misure della perdita derivante dal deterioramento dell'ambiente:

- 1) DAP per ottenere un beneficio;
- 2) DAC per rinunciare a un beneficio;
- 3) DAP per evitare un danno;
- 4) DAC per sopportare un danno.

Come si può notare esiste un fenomeno di asimmetria nella valutazione dei guadagni e delle perdite in relazione ad una data posizione iniziale, cioè esiste una forte dipendenza da quello che l'individuo considera essere la situazione "normale".

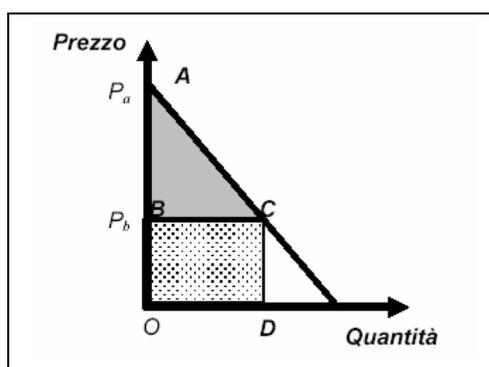


Fig.4.2.4. Curva di domanda di mercato in cui il rettangolo *OBCD* rappresenta la spesa totale sostenuta dagli individui per l'acquisto di un bene mentre il triangolo *ABC* costituisce il surplus del consumatore. Il beneficio totale è dato dalla somma del rettangolo *OBCD* e del triangolo *ABC*.

### 4.3. Lo Sconto (Saggio Sociale di Sconto)

La regola dei costi-benefici sociali è espressa dalla seguente equazione:

$$\sum_i [B_i - C_i] > 0$$

dove l'indice *i* si riferisce a ciascun individuo appartenente a una certa comunità.

In questa equazione non viene però considerato il periodo temporale in cui vengono valutati i costi e i benefici, in particolare è importante introdurre la dimensione temporale per tenere conto che alcuni benefici possono essere percepiti molto in là nel tempo, mentre i costi devono essere sostenuti subito. In generale gli individui sono sensibili alla data in cui intervengono costi e benefici, infatti, ogni individuo preferisce godere dei benefici adesso piuttosto che dopo, affrontando i costi nel tempo viceversa i benefici. L'impazienza o la "preferenza temporale" è una delle ragioni per cui il presente viene spesso preferito al futuro<sup>12</sup>.

Si pone quindi il problema di attualizzare l'espressione precedente, anche in virtù della produttività del capitale, ovvero il capitale disponibile può essere impiegato per usi più produttivi; questo implica che, in un futuro, il capitale più ciò che è stato prodotto avranno un valore maggiore di quello attuale.

Per chiarire meglio tale concetto si riporta un semplice esempio: supponiamo di offrire €500, e che si potrà decidere di spendere la somma immediatamente o nell'anno futuro. Ipotizzando che si è certi di essere vivi nel futuro e che sia quindi garantita la somma in seguito. Aspettate o preferite avere la somma subito?

E' ovvio che la maggior parte di noi prenderà il denaro subito. Con € 500 infatti può essere acquistato del capitale che può essere impiegato per usi produttivi. L'esistenza di tali opportunità implica che, nel tempo di un anno, il capitale più ciò che è stato prodotto avranno un valore maggiore di €500, per esempio €550.

In effetti la scelta diventa allora quella di accettare subito o l'anno prossimo (Pearce, Markandya, Barbier 1991). Inoltre c'è la convinzione che il futuro si prospetti migliore e che quindi €500 avranno per i nostri

---

<sup>12</sup> All'impazienza "pura" si può poi affiancare l'impazienza per il rischio di morte. L'individuo teme di non essere vivo e in buona salute per ricevere benefici che saranno percepiti molto in là nel tempo e, pertanto, la preferenza per il presente diventa più forte. Un'altra argomentazione a favore dell'attualizzazione è legata al rischio e all'incertezza che caratterizzano le condizioni future (Pearce, Markandya, Barbier 1991)

discendenti un valore inferiore (si dà per scontato un continuo aumento del reddito nel tempo).

A fronte di tutte queste motivazioni è necessario attualizzare i benefici e i costi che corrispondono a ciascun periodo temporale. A questo scopo viene introdotto il meccanismo dello sconto. Il processo di sconto è la modalità attraverso la quale è possibile comparare gli effetti economici di accadimenti che avvengono (si manifestano) in tempi differenti: la scelta di un corretto saggio di sconto è di importanza cruciale soprattutto per le decisioni di politica *ambientale* che oltre ad avere un orizzonte temporale esteso presentano, tipicamente, una struttura che vede i costi precedere i flussi di benefici attesi.

I costi e i benefici non hanno il medesimo valore indipendentemente dal momento in cui occorrono: 1 € oggi vale più di un € fra dieci anni, poiché i pesi attribuiti ai benefici derivanti dal consumo tendono a diminuire nel tempo, in quanto riflettono la decrescente utilità marginale del consumo.

Si riportano di seguito delle tabelle, sintesi di un rapporto dell'OCSE per l'impiego dei fondi strutturali, rappresentative sia del periodo temporale di analisi, che del saggio di sconto da utilizzare per diverse categorie di lavori.

	<b>Orizzonte Temporale Medio</b>	<b>Numero di Progetti</b>
Energia	24.7	9
Acqua ed Ambiente	29.1	47
Trasporti	26.6	127
Industria	8.8	96
Altri Servizi	14.2	10
<b>Media Totale</b>	<b>20.1</b>	<b>289</b>

**Tabella .4.3.1. Orizzonte temporale (anni) valutazione di un campione di 400 grandi progetti '92 - '94 e '94 - '99<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> Fonte: "Guida all'analisi costi benefici dei progetti di investimento (Fondi Strutturali, Fondo di Coesione e ISPA)

	<b>Orizzonte Temporale Medio</b>
Energia	25
Acqua ed Ambiente	30
Ferrovie	30
Strade	25
Telecomunicazione	15
Industria	10
Altri servizi	15
Porti	25

Tabella .4.3.2. Orizzonte temporale (anni) consigliato per gli anni 2000 - 2006<sup>14</sup>

Per orizzonte temporale si intende il numero massimo di anni per cui si forniscono le previsioni. Le previsioni in merito all'andamento futuro del progetto dovrebbero essere formulate per un periodo commisurato alla sua **vita utile economica** ed estendersi per un arco temporale sufficientemente lungo da poterne cogliere il probabile impatto nel medio-lungo termine.

Per **durata** o vita economica si intende *l'orizzonte temporale massimo oltre il quale i benefici netti attualizzati diventano insignificanti*. Si definisce invece **vita utile** dell'opera *il periodo oltre il quale essa non è più in grado di soddisfare la domanda per la quale è stata costruita*.

"Il ciclo di vita varia a seconda della natura dell'investimento: è più lunga per i lavori di ingegneria civile (30-40 anni) che per le installazioni tecniche (10-15 anni).

Nel caso di investimenti misti, che comprendono opere di ingegneria civile e installazioni il ciclo di vita dell'investimento può essere fissato sulla base del ciclo di vita delle principali infrastrutture (in questo caso gli investimenti di rimpiazzo delle infrastrutture con una vita più breve devono essere inclusi nell'analisi. Il ciclo di vita può anche essere determinato da considerazioni di natura legale o amministrativa: per

---

<sup>14</sup> Fonte: "OCSE"

esempio la durata della concessione dove è stata garantita una concessione".

Secondo l' ISPA Linee guida: "I progetti infrastrutturali sono in genere valutati su un periodo di 20-30 anni, che rappresenta una stima approssimativa della loro vita economica. Sebbene le risorse fisiche possano durare significativamente di più – per esempio un ponte può durare 100 anni - in genere non conviene tentare delle stime per periodi più lunghi. Nel caso di risorse fisiche con una vita molto lunga, si deve includere alla fine del periodo il valore residuo che rifletta il valore potenziale di liquidazione o il valore dell'uso continuato".

Ritornando al concetto di sconto, al fine di comprenderne il significato si studia il *meccanismo di interesse composto*, ad esempio se si investono 1.000.000,00 euro ad un tasso di interesse pari al 5% annuo, fra 10 anni varranno 1629.000,00 euro, come dalla seguente formula:

$$(1.000.000) \cdot (1 + 0.05) \cdot (1 + 0.05) + \dots = (1.000.000,00) \cdot (1 + 0.05)^{10} = 1.629.000,00$$

Utilizzando lo stesso procedimento, 1.000.000 euro incassate fra 10 anni corrispondono con lo stesso tasso di interesse a 614.000 mila euro di oggi:

$$\frac{1.000.000}{(1 + 0.05)^{10}} = 614.000,00$$

dove  $\frac{1}{(1 + 0.05)^{10}}$  rappresenta il fattore di sconto relativo a un periodo di 10 anni, se il tasso di sconto è del 5% (Pearce, Turner, Bateman 1998).

Dato questo rapporto diretto tra sconto e interesse composto, è evidente che tanto più alto è il tasso di interesse, tanto più basso sarà il fattore di sconto, e tanto più rapidamente scenderà il fattore di sconto al crescere dell'orizzonte temporale.

Il valore attuale di un beneficio  $Bt$  nell'anno  $t$  è:  $\frac{Bt}{(1+r)^t}$  in cui  $r$  è il

tasso di sconto. La formula generale per calcolare il valore attuale di una

serie di benefici e di costi che intervengono nel tempo (valore attuale netto, VAN) è la seguente:  $VAN = \sum_t \frac{Bt - Ct}{(1+r)^t}$  dove l'indice  $t$  si riferisce al tempo, dando per scontato che ora  $B$  e  $C$  sono valori aggregati su tutti gli individui.

La regola dell'analisi costi-benefici viene quindi modificata, incorporando il tempo; qualunque politica o progetto può essere preso in considerazione solo se il suo VAN è positivo (Pearce, Turner, Bateman 1998).

Per illustrare la suddetta regola, si consideri un progetto caratterizzato dalla sequenza di costi e benefici seguente:

Anno	1	2	3	4	5
Costo	30	10	0	0	0
Beneficio	0	5	15		
Beneficio Netto	-30	-5	15	15	15

Tabella 4.2.5.2. Costi e benefici di un progetto.

Come si evince in tabella è presente un valore negativo relativo ai benefici, questo rappresenta un costo per la collettività, viceversa, uno positivo rappresenta un reale beneficio.

Se immaginiamo di avere un tasso di sconto  $r$  pari al 10% ed indicato successivamente come 0.1, il valore netto attuale di tale progetto risulta pari a:

$$-30/1.1 - 5/(1.1)^2 + 15/(1.1)^3 + 15/(1.1)^4 + 15/(1.1)^5 = -27.3 - 4.1 + 11.3 + 10.3 + 9.3 = -0.5$$

Alla luce del valore di tale indicatore, il progetto in esame non dovrebbe essere realizzato o intrapreso, è utile evidenziare, che se non si fosse adottato lo sconto, i benefici pari a 45 sarebbero risultati nettamente superiori ai costi (35), con conseguente parere favorevole alla realizzazione del progetto.

Supponiamo ora di variare il tasso di sconto  $r$  e di portarlo al 7 % il VAN adesso risulta pari a:

$$-30/1.07 - 5/(1.07)^2 + 15/(1.07)^3 + 15/(1.07)^4 + 15/(1.07)^5 = -28.30 - 4.34 + 12.3 + 11.5 + 10.7 = +1.8$$

In particolare visti i costi ed i benefici stimati se il tasso di sconto risulta superiore al 9% il VAN diviene negativo, come si evince, il tasso di sconto risulta di grande importanza, vista la capacità di determinare una grande differenza nella decisione definitiva di accettazione rifiuto di un progetto.

In altre circostanze può capitare che il responsabile della decisione non debba scegliere se accettare o rifiutare un'alternativa ma debba discriminare tra proposte tra loro in competizione, come per esempio la scelta fra un impianto idroelettrico, una centrale a carbone oppure una nucleare.

Se ciascuna opzione ha una VAN positivo, la scelta dovrebbe essere compiuta sulla base del VAN più elevato.

**In prima approssimazione il tasso di sconto può coincidere con il tasso d'interesse del mercato** (che si forma nelle trattazioni di mercato), tuttavia la determinazione del tasso di sconto non è univoca, in quanto c'è un elemento di soggettività non eliminabile, infatti, progetti di investimento privati hanno in genere tassi di sconto più alti di quelli proposti da Enti Pubblici. In condizioni di elevata incertezza e instabilità sociale il tasso di sconto può crescere più del tasso d'interesse del mercato.

Infatti, quanto **più è incerto** il verificarsi di un beneficio netto nel futuro, **tanto più alto** sarà il tasso di sconto. D'altra parte, se vi si pone di fronte l'alternativa di ottenere con certezza 1.000.000 euro oggi, oppure 1.000.000 euro forse l'anno prossimo, è praticamente certo che preferirete incassare la somma subito.

I tipi di incertezza che si considerano in genere per la pratica dello sconto sono:

- l'incertezza circa la possibilità che una data persona sia in vita in un momento futuro (l'argomento del rischio di morte). L'argomento contrario a questa ipotesi è che, anche se le persone sono mortali, la società non lo è e perciò le sue decisioni non dovrebbero essere guidate dalle considerazioni individuali.
- L'incertezza sulle preferenze future di una persona. Questo aspetto è particolarmente importante per la salvaguardia dell'ambiente e viene introdotto includendo un valore di opzione nella stima del benessere o del costo. Questo valore di opzione rispecchia i potenziali usi futuri di una determinata risorsa naturale.
- L'incertezza sull'entità del beneficio o del costo. Di questo si tiene conto aumentando adeguatamente i tassi di sconto.

Purtroppo non esiste, neanche in linea di massima, un'opinione universale sulla scelta del tasso di sconto e, di conseguenza, le valutazioni dei tassi di sconto proposte dalle varie scuole di economisti per scontare gli utili derivanti dai progetti pubblici differiscono notevolmente le une dalle altre. In sostanza, quindi, il tasso viene fissato tramite precise scelte politiche (Pearce, Turner, Bateman 1998).

Spesso si evidenzia il fatto che si dovrebbero usare diversi tassi sociali di sconto in relazione al tipo di opera o al reddito di chi viene investito dagli effetti della stessa. Attualmente, in Italia si adotta un unico tasso, il che semplifica notevolmente il confronto tra investimenti; generalmente esso varia tra il 5% e l'8%, tenendo presente che l'adozione di un basso tasso di sconto sociale tende a privilegiare gli investimenti a lungo termine<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Non è sempre detto, in verità, che alti tassi di sconto sfavoriscono, in ultima analisi, considerazioni ambientali. Tassi elevati possono infatti scaricare l'onere dei costi sulle generazioni future, ma, se si ammette che il tasso di sconto determina il livello d'investimento, al crescere di esso, scende il livello

In tabella successiva si sono riportati i valori dei tassi di sconti sia delle principali agenzie statunitensi, sia quelli definiti dall'OCSE per la comunità Europea.

Agenzia	Tasso di sconto
Difesa	10 – 12 %
Agenzia Internazionale dello Sviluppo	6 – 11% (programmi riguardanti l'energia) 3-6% (tutti gli altri progetti)
Educazione e Welfare	0 – 10%
Dipartimento dell'Agricoltura	< 5%
Ufficio delle Opportunità Economiche	<5 %
Dipartimento dei Trasporti	<5%
Tutte le altre agenzie	Nessuno sconto

Tabella 4.3.2. Tassi di sconto utilizzati dalle agenzie governative statunitensi<sup>16</sup>.

#### 4.3.1. Altri Indicatori

Di seguito si riportano sinteticamente i diversi indicatori utilizzati per la valutazione comparativa tra progetti di investimento nell'analisi benefici costi:

##### — Rapporto benefici costi

Si definisce *Rapporto Benefici/Costi* (R.B/C) il rapporto tra il valore attuale (VA) dei flussi di cassa durante la fase di esercizio e l'esborso iniziale  $K_0$ :

$$R.B/C = \frac{VA}{K_0} = \frac{\sum_{t=1}^n q_t (1+i)^{-t}}{K_0}$$

Per come è costruito questo indicatore, esso risulterà maggiore o minore dell'unità a seconda che il VAN sia maggiore o minore di zero;

---

complessivo degli investimenti, rallentando così il ritmo dello sviluppo economico complessivo (Pearce, Turner, Bateman 1998).

<sup>16</sup> Fonte :elaborazione dato OMB Office Management of Balance

contrariamente al VAN, è un indice adimensionale per cui non risente delle dimensioni dell'investimento (se moltiplichiamo per una costante tutti i valori del flusso di cassa non si modifica il suo valore). Il suo valore numerico non è rappresentativo del rendimento dell'investimento.

Il metodo richiede che sia fissato a priori il tasso di attualizzazione e, almeno nella formulazione adottata, presuppone che detto tasso non vari per tutta la vita dell'investimento.

— *Saggio di Rendimento Interno (SRI)*

La conoscenza aprioristica del tasso di attualizzazione dà luogo a grosse complicazioni; il criterio del saggio interno di rendimento (SRI) si propone di superare questo inconveniente considerando il tasso di attualizzazione come una incognita del problema. In particolare ponendo il VAN = 0, otteniamo un'equazione nell'incognita  $i$ .

$$\sum_{t=0}^n q_t (1+i)^{-t} = K_0$$

Il valore di  $i$  ottenuto dalla risoluzione di questa equazione è definito saggio di rendimento interno dell'investimento e rappresenta il massimo valore del tasso d'interesse che le caratteristiche economiche dell'investimento permetterebbero di soddisfare nel caso di finanziamento tramite prestito. Il suo calcolo non richiede informazioni o decisioni esterne al flusso di cassa. Una volta pervenuti alla soluzione di tale dell'equazione, occorre confrontare il tasso trovato con un tasso  $i_r$  di riferimento opportunamente scelto. Se  $SRI \geq i_r$  allora l'investimento risulta conveniente. Una volta che sia stato scelto un tasso  $i_r$  significativo come termine di confronto, questo può essere utilizzato anche per il calcolo del VAN; ed in particolare:

— se  $SRI \geq i_r$  allora  $VAN(i_r) \geq 0$

— se  $SRI < i_r$  allora  $VAN(i_r) < 0$

essendo il VAN funzione inversa del tasso di attualizzazione.

Se, quindi, il calcolo del SRI può prescindere da un'analisi dell'ambiente esterno al progetto, non è così per la scelta di  $i$ , infatti, se si è in grado di definire  $i_r$ ,

allora può essere utilizzato direttamente il criterio del VAN, calcolato appunto a quel tasso, visto che il criterio del SRI fornisce al più la stessa risposta ma con il rischio di risultati indeterminati.

#### **4.4. Esempi semplificati di analisi costi-benefici**

Nel seguito sono inserite delle brevi note su alcuni studi di analisi costi-benefici effettuati nel corso degli ultimi anni. Queste note non vogliono essere dei riassunti di questi studi ma solo richiamare l'attenzione del lettore sulle principali idee che permettono di individuare costi e benefici alla base dell'analisi condotta nei diversi casi.

##### **4.4.1. Il Tunnel della Manica**

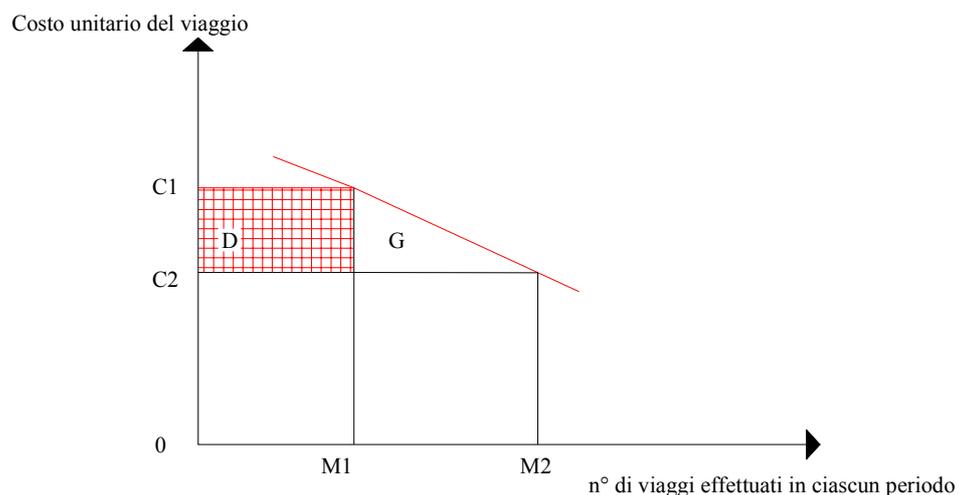
Nel 1963 furono pubblicati in Inghilterra i risultati di uno studio condotto da funzionari francesi ed inglesi con il titolo "*Proposals for a Fixed Chanel Link*" (Proposte per un collegamento fisso attraverso il canale della Manica) (Mishan 1974).

Questo studio effettuava un confronto tra due possibili progetti: un tunnel o un ponte, con i mezzi allora disponibili, per attraversare il canale, in una proiezione comprendente un periodo di cinquanta anni, tra il 1969 e il 2018. Dallo studio risultava evidente che il tunnel fosse più vantaggioso in termini di guadagni rispetto al progetto del ponte. Qui di seguito viene riportata una descrizione delle modalità con cui è stata effettuata l'ACB solo per il progetto del tunnel.

- **Costi:** Per la costruzione del tunnel venne stimato che sarebbero serviti sei anni, dal 1962 al 1968 compreso, ad un costo di 141 milioni in sterline del 1969. Questo costo rappresentava l'ammontare delle spese di investimento sostenute fino al 1969, calcolato ad un saggio annuo del 7%.
- **Benefici:** Al fine di valutare i benefici, il traffico previsto per il futuro fu suddiviso in tre categorie: passeggeri, veicoli (comprendenti le autovetture private) e merci. Inoltre venne introdotta la distinzione tra:
  - (1) traffico sottratto ai mezzi di trasporto esistente;
  - (2) traffico addizionale che sarebbe stato generato per effetto della costruzione del tunnel.

Per rendere chiaro il significato di questa distinzione si veda la figura seguente (Fig. 4.4.1.) in cui compaiono sulle ascisse il numero di viaggi effettuati in ciascun periodo e sulle ordinate il costo unitario del viaggio.

Per quanto riguarda la curva di domanda, il testo da cui è stato tratto questo esempio (Mishan 1974) non specifica come sia stata determinata.



**Figura.4.4.1. Guadagno derivante dal traffico sottratto area (D) e dal traffico generato (area G= surplus del consumatore) grazie alla realizzazione del progetto**

Si indica con  $C1$  il costo unitario dei mezzi di trasporto esistenti (navi e aeroplani), invece con  $M1$  il numero di viaggi effettuati con questi mezzi. Se il viaggio viene effettuato via tunnel, e il costo unitario diminuisce da  $C1$  a  $C2$ , si ha un risparmio di costo pari a  $C2 - C1$  per ciascuno degli  $M1$  viaggi, che ora vengono sottratti dal tunnel ai mezzi di trasporto esistenti. L'area del rettangolo  $D$  rappresenta quindi il guadagno derivante dal traffico sottratto. Ma al minore costo unitario del

viaggio  $C2$  verrà effettuato un numero di viaggi pari a  $M2 - M1$  che non avrebbero altrimenti avuto luogo. Questi viaggi addizionali rappresentano il traffico generato, e il guadagno che essi offrono è rappresentato, come surplus del consumatore, dal triangolo  $G$ .

Seguendo quindi questa distinzione, i benefici per il periodo di cinquant'anni sono stati calcolati nel modo seguente:

**(1)** Per quanto riguarda il traffico sottratto, la costruzione del tunnel avrebbe dato luogo, distribuiti fra un considerevole numero di anni a partire dal 1969, ad un risparmio sia di capitale sia di costi variabili d'esercizio. Infatti, le risorse impiegate dai mezzi esistenti (navi e aeroplani) sarebbero state rese disponibili dalla sottrazione del traffico acquisito dal tunnel. Questo risparmio di capitale e di costi, attualizzato al 1969 impiegando un tasso del 7 %, risultò pari a 308 milioni di sterline. E' necessario prendere in considerazione anche i costi indotti dalla gestione dei trasporti che utilizzano il tunnel. A partire dall'anno 1973 e fino al 2018, si prevedeva che, quasi ogni anno si sarebbero verificati altri investimenti di capitale oltre a quello iniziale. Questi futuri investimenti, insieme ai costi variabili annui per il periodo fra il 1969 e il 2018, attualizzati al 1969 con un tasso del 7%, vennero calcolati pari a 68 milioni di sterline. Il risparmio netto di capitali e di altri costi ammonta quindi a:  $308 \text{ milioni} - 68 \text{ milioni} = 240 \text{ milioni di sterline}$  (corrispondente all'area  $D$  in Fig.4.4.1)

**(2)** Per quanto riguarda il traffico generato, il profitto totale venne stimato pari a 54 milioni, in sterline del 1969, dato dalla somma di due contributi: il profitto dovuto al trasporto addizionale di merci (47 milioni di sterline) più quello dovuto ai passeggeri addizionali (7 milioni di sterline) che non avrebbero altrimenti effettuato il viaggio. Il profitto totale,

così calcolato, corrisponde al surplus dei consumatori indicato dall'area G in Figura.4.4.1.

	Benefici e Costi attualizzati al 1969	
Per la realizzazione del Tunnel	-141 (capitale investito)	
Per il Traffico sottratto	+308 (risparmio di capitali e Costi)	+240
	-68 (costi indotti dal Tunnel)	
Per il Traffico generato	+54 (surplus del Consumatore)	
Valore attuale netto	+153 > 0	

Tabella 4.4.1..Benefici e costi attualizzati con un tasso del 7% sostenuti nella realizzazione del Tunnel

Il **valore attuale netto** ammontava quindi a 153 milioni di sterline calcolato (Tabella 4.4.1) come: 240 milioni ricavabili dal traffico sottratto, più 54 milioni ricavabili dal traffico generato per un totale di 294 milioni di sterline meno l'esborso iniziale di capitale pari a 141 milioni di sterline. Il valore attuale risulta positivo, quindi, secondo l'ACB sarebbe stato vantaggioso realizzare il progetto.

#### **4.4.2. Una ferrovia metropolitana**

Nel 1949 fu proposta, per la prima volta, al Governo inglese la realizzazione di un nuovo tronco della metropolitana di Londra, la Victoria Line (Mishan 1974). Oggi essa va da Victoria Station a Walthamstow nel nord est di Londra e passa per Oxford Circus e Euston Station. La sua realizzazione fu autorizzata nel 1962 successivamente all'elaborazione di uno studio costi-benefici da parte di Foster e Beesley. Questo studio è riassunto nel documento presentato dagli autori nel 1963 alla Royal Statistical Society.

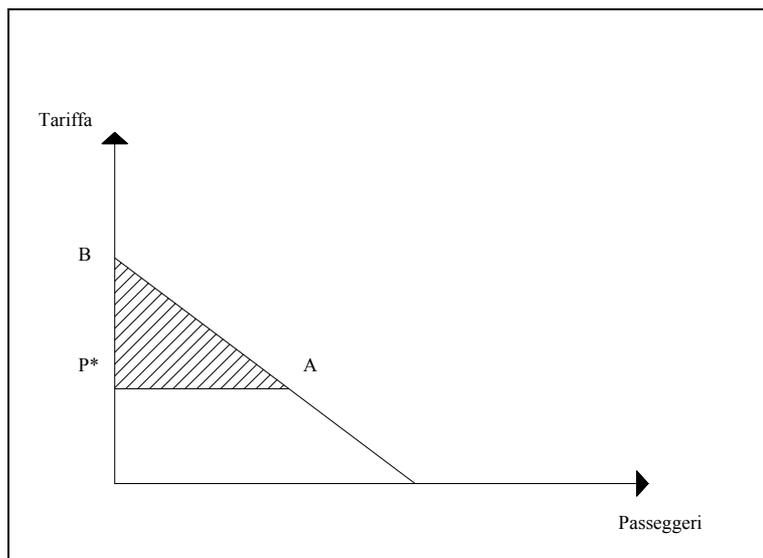
La valutazione dei costi è risultata meno problematica di quella dei benefici, nessuna difficoltà è stata infatti, incontrata nel determinare il costo del capitale da investire e i costi variabili di esercizio (costi per l'energia elettrica, costi per la manutenzione dei treni,...). La stima dei benefici sociali ha posto invece qualche problema. Mediante convenzionali calcoli finanziari basati sulle tariffe delle strutture esistenti o già progettate, si è potuto prevedere con una certa sicurezza che la gestione della Victoria Line avrebbe causato una perdita di 2 milioni di sterline circa, in quanto i costi erano superiori ai ricavi. Inoltre la costruzione della Victoria Line avrebbe comportato una perdita annuale, per il sistema metropolitano nel suo complesso, stimata in 3 milioni di sterline, come conseguenza della prevedibile riduzione degli incassi determinata dai passeggeri che sarebbero passati da itinerari più lunghi a quelli più brevi della Victoria Line.

Tuttavia in questo caso si può affermare che la valutazione dei benefici sociali segue una logica diversa da quella dell'analisi costi-ricavi strettamente economica per due ragioni fondamentali:

1. la politica dei prezzi seguita dalla metropolitana di Londra
2. i prezzi relativi dei trasporti su strada e su rotaia.

Per quanto riguarda il primo punto, le tariffe della metropolitana di Londra sono fissate in modo che i ricavi medi per passeggero (che coincidono con il prezzo del biglietto) siano pari ai costi medi. Essendo,

per ovvie ragioni pratiche, la tariffa costante indipendentemente dalla richiesta dei trasporti metropolitani, non vi è alcun modo di "sfruttare" la curva di domanda. Non si impone infatti una tariffa variabile a seconda del numero di passeggeri. Pertanto il surplus dei consumatori rappresenta una misura dei benefici non sfruttati, che non vengono inclusi tra i ricavi finanziari, come mostrato in figura seguente.



**Figura.4.4.2. Surplus: misura del beneficio no sfruttato**

Per quanto riguarda il problema dei prezzi, il massimo che la gente sarà disposta a pagare per il servizio offerto dalla Victoria Line, o per i servizi della metropolitana in generale, varierà a seconda dei prezzi del trasporto su strada. Quanto maggiori sono i prezzi del trasporto su strada, tanto maggiore sarà la domanda di servirsi della metropolitana londinese. In realtà gli utenti di veicoli stradali pagano meno dell'effettivo costo marginale sociale del loro viaggio. Una volta che un veicolo è stato acquistato, il solo costo di rilievo per il proprietario è il costo di esercizio, rappresentato in gran parte dal costo del carburante (compresa la tassa sul medesimo). Ma il costo marginale sociale determinato dall'impiego di un'automobile, non può essere costituito dal solo costo del carburante utilizzato, in quanto bisogna anche considerare il costo dell'usura della strada determinato da quella particolare automobile e, più importante, il

costo dell'incremento di congestione causato da ciascun veicolo a tutti quelli esistenti che percorrono abitualmente lo stesso itinerario. Non si possono inoltre dimenticare i danni alle infrastrutture e alla salute umana generati dall'emissione di sostanze inquinanti. Questi costi marginali sociali andrebbero considerati come il costo corretto del traffico su strada. Si ricorda che le tasse sul carburante costituiscono all'interno di un'ACB dei trasferimenti e come tali vengono eliminati dalla voce costi. Analogamente, anche il prezzo del traffico di superficie andrebbe valutato correttamente con considerazioni non solo finanziarie. Foster e Beesley accettarono come un vincolo politico le tasse esistenti sulla circolazione stradale e la struttura delle tariffe della metropolitana londinese, e procedettero a stimare i benefici sociali derivanti dalla costruzione della Victoria Line (Mishan 1974).

Essi tentarono di stimare tre tipi di benefici sociali:

- A.** Risparmi di costi (compreso il risparmio per la riduzione delle tariffe), determinati dall'utilizzazione degli itinerari più diretti offerti dalla Victoria Line;
- B.** Risparmi di tempo, che comprendono il tempo risparmiato dai precedenti utenti della metropolitana che avrebbero iniziato a servirsi della Victoria Line e il tempo risparmiato dagli utilizzatori di trasporti di superficie che avrebbero iniziato a servirsi della nuova linea metropolitana. Se anche alcuni utenti di trasporti stradali avrebbero optato per la Victoria Line, si sarebbe ridotta la congestione sulle strade e si sarebbe risparmiato del tempo negli spostamenti di superficie. Si sarebbe verificato anche un certo risparmio di tempo da parte degli utenti della metropolitana che non utilizzano la Victoria Line in conseguenza dell'alleggerimento del traffico su tutte le altre linee determinato dal passaggio di una nuova linea;

C. Altri benefici, quali un aumento di benessere da parte degli utenti sia per la ridotta congestione in superficie che per la maggiore facilità di trasporto metropolitano.

In aggiunta ai benefici che ne avrebbero ricavato tutte le persone che già si spostavano attraverso Londra in assenza della Victoria Line, l'entrata in funzione della linea avrebbe indotto altre persone a viaggiare. E' stata effettuata qualche stima dei benefici da attribuire a questo nuovo traffico indotto.

Gli autori non considerano nell'analisi le variazioni nel valore dei terreni e delle proprietà, per due ragioni principali:

- l'incremento dei valori in un'area può avvenire a spese di un declino di valori di altre aree;
- l'aumento dei valori di un'area risultante da un miglioramento dei trasporti riflette la riduzione di costi di trasporto prevista per il futuro.

Includere anche l'incremento dei valori dei terreni rappresenterebbe pertanto una duplicazione. Ogni beneficio incluso nelle stime ha un proprio andamento temporale, che è stato trasformato in una serie di benefici in un arco di cinquanta anni. Estendere il periodo oltre tale valore non comportava infatti alcuna differenza pratica. Il flusso dei benefici sociali, scontato al saggio del 6%, è risultato pari a 86 milioni di sterline. Per quanto riguarda i costi, quelli di costruzione sono stati ripartiti in un periodo di 5,5 anni; ad un saggio d'interesse annuo composto del 6%, l'esborso di capitale è stato valutato in 55 milioni di sterline alla data della fine dei lavori, dicembre 1968.

I costi variabili non sono stati inseriti nell'analisi perché i costi di esercizio di tutte le linee metropolitane esistenti sono superiori rispetto ai costi di esercizio della metropolitana una volta inclusa la Victoria Line. Sono stati pertanto inseriti nell'analisi i benefici costituiti dal risparmio dei costi. Il rapporto benefici lordi/costi è pari a 86/55, mentre il rapporto benefici netti/costi è pari a  $(86-55)/55$ , ossia a 35/55.

Ammesso che il saggio di sconto del 6% sia accettabile, il progetto è considerato economicamente fattibile se il rapporto benefici/costi supera l'unità, o se il rapporto netto benefici/costi è maggiore di zero. Si poteva anche comparare il progetto della Victoria Line con i rapporti costi/benefici di progetti di investimenti alternativi ma ciò esulava dal compito dello studio di Foster e Beesley.

## Bibliografia

- [1] AA.VV., *Politica dell'Unione - Ambiente*, <http://europa.eu.it/scadplus>, 1999
- [2] AAVV, *L'Analisi Costi Benefici: aspetti e problemi generali*, Formez, Napoli, 1983.
- [3] Callan S. J., Thomas J. M., *Environmental economics and management*, Irwin, USA, 1996.
- [4] Canter LW. 1996 *Environmental Impact Assessment*. Second Edition. London: McGraw-Hill Inc.
- [5] Catalano G.M. e S. Lombardo, *Analisi Costi Benefici: opere pubbliche*, Il Mulino, Bologna, 1990.
- [6] Commissione europea, *Relazione generale 1998*, Comunità europee, Bruxelles, gennaio 1999
- [7] Laniado E., *Dalla pianificazione territoriale alla prassi di Valutazione d'Impatto*. 1988.
- [8] Layard R. and Glaister S., *Cost-Benefit Analysis*, Cambridge University Press, 1981.
- [9] Layard R., *L'Analisi Costi Benefici in "Quaderni Regionali"*, Formez n° 10, Napoli 1983.
- [10] Lee N, Walsh F. 1992. *Strategic environmental assessment: An Overview*. *Project Appraisal* 7:126-136
- [11] Nijkamp P. 1977. *Theory and Application of Environmental Economics*. North-Holland, Amsterdam.
- [12] Nuti A., *L'Analisi Costi Benefici*, Il Mulino, Bologna 1987.
- [13] Petretto A., *Economia del benessere e intervento pubblico*, in "Lezioni di Analisi Costi Benefici", Formez, Napoli 1987.
  
- [14] Walsh K. e S. Williams, *Problemi attuali dell'analisi costi benefici*, in "Lezioni di Analisi Costi Benefici", Formez, Napoli 1983.
- [15] Walsh R. (1989), *Recreational demand for trees in national forests*, *Journal of Environmental Management*, Vol.28, pp. 255-269.
- [16] Mishan E. J., *L'Analisi Costi Benefici*, ETAS Libri, Milano 1974.
- [17] Petretto A., *La valutazione dei costi e dei benefici dei progetti di investimento pubblico: premesse teoriche*, in "Lezioni di Analisi Costi Benefici", Formez, Napoli 1987.
- [18] *Tecnica ed Economia dei Trasporti* M.de Luca Utet 1997

## **5. Dall'Analisi Costi-Benefici all'Analisi Multicriteri**

In questo capitolo saranno presentate le basi teoriche delle diverse tecniche multicriteriali utilizzate nell'ambito della valutazione comparativa di progetti alternativi, nondimeno si discuterà su come l'approccio della monetizzazione dell'ABC sia inadeguato a trattare progetti infrastrutturali caratterizzati da complesse dinamiche tecniche economiche ed ambientali.

### **5.1 Limiti dell'Analisi Costi Benefici**

Abbiamo visto come, attualmente, l'ACB sia considerata una delle tecniche più efficienti per far fronte alla necessità di valutare, in modo sistematico, gli impatti di diversi progetti. Non mancano però critiche che possono essere rivolte a questo strumento decisionale. In particolare dall'analisi della letteratura di settore si è riscontrato, che tale tecnica presenta dei punti di criticità relativi ai seguenti aspetti:

1. Effetti indiretti o esterni;
2. Intangibilità;
3. Attualizzazione di costi e benefici futuri;
4. Ridistribuzione del reddito;
5. Disponibilità a pagare o ad accettare una compensazione;
6. Surplus del consumatore;
7. Prezzi ombra e costi opportunità;
8. Mancata evidenziazione dei conflitti.

Tali criticità sono di seguito commentate.

**1 Effetti indiretti o esterni.** Per quanto riguarda il primo punto, ogni volta che un progetto dà origine ad una serie di effetti indiretti o esterni che non si rispecchiano nel prezzo di mercato dei prodotti o dei fattori produttivi, può risultare difficile stimare in modo corretto costi e benefici. La regola adottata dall'*ACB* in questo caso è di considerare solo gli effetti reali trascurando quelli pecuniari, a patto che il progetto in esame non abbia come obiettivo la redistribuzione della ricchezza. Non potendo analizzare tutti gli effetti esterni, si tiene conto solo di quelli più importanti, a seconda del criterio di valutazione adottato nelle diverse situazioni.

Tale criterio viene fissato in base ad un'esplicita decisione politica. In teoria questo dovrebbe evitare che si tralasciassero casualmente alcuni effetti esterni, tuttavia in pratica siccome è impossibile considerare tutte le possibili implicazioni, l'Analisi Costi Benefici finisce per concentrarsi su ciò che è facilmente individuabile e monetizzabile, trascurando tutto il resto.

**2 Intangibilità.** La necessità di monetizzare rende talvolta l'*ACB* un metodo di valutazione soggettivo e criticabile, soprattutto in presenza di intangibilità. Una stima monetaria degli effetti intangibili è infatti spesso impossibile o arbitraria. Un metodo per risolvere questo problema è di affiancare all'analisi quantitativa dei costi e dei benefici un'analisi qualitativa degli elementi intangibili in modo tale che il decisore politico possa considerarli in modo adeguato. In tale condizione si perde il fondamento dell'*ABC*, ovvero la perdita di una scala monetaria unica per valutare costi e benefici sociali, il solo e unico vero scopo dell'*ACB*.

**3 Attualizzazione di costi e benefici futuri.** Dal momento che nella realizzazione di un progetto si producono costi e benefici anche nel futuro, per renderli comparabili con quelli attuali è necessario ricorrere alla pratica dell'attualizzazione. Scegliere il tasso di sconto più appropriato è però molto problematico.

Sarebbe necessario utilizzare tassi sociali di sconto diversi in funzione del tipo di opera o del reddito di chi subisce gli effetti della stessa<sup>17</sup>. Il modo di procedere più comune è di fissare il tasso di sconto tramite precise scelte politiche: generalmente esso varia tra il 5 e l'8 %. È importante sottolineare che lo sconto può condizionare radicalmente la decisione definitiva di accettare o rifiutare un progetto o può modificare la graduatoria tra progetti alternativi. La determinazione del tasso di sconto è pertanto fortemente soggettiva in quanto dipende dai portatori di interesse. Si capisce pertanto come l'*ACB* risulta tutt'altro che quel metodo contabile asettico e oggettivo che si vorrebbe.

**4 Redistribuzione del reddito.** In genere negli studi di *ACB* non viene affrontato il problema della redistribuzione del reddito nella collettività in quanto l'introduzione di tale aspetto nell'analisi può risultare molto problematico. Trascurare l'impatto dei progetti sul reddito dei diversi strati sociali appare in genere una forzatura poiché è importante tenere conto di chi gode dei benefici e di chi sopporta i costi di un determinato progetto. Per superare questo problema è stata proposta l'*ACB* sociale che tiene conto degli effetti redistributivi attraverso tre metodi principali:

- utilizzo di un sistema di pesi che rifletta il valore sociale attribuito alle variazioni di reddito dei differenti gruppi della comunità;
- introduzione di vincoli all'interno dello schema costi benefici;
- indicare i benefici netti per ciascun gruppo interessato e lasciare che l'operatore politico effettui la sua valutazione.

---

<sup>17</sup> Esiste infatti il problema della "Tirannia del Tasso di sconto"

I primi due metodi sono soggetti a numerose critiche dovute al fatto che la determinazione dei pesi e dei vincoli viene effettuata mediante criteri soggettivi. Inoltre anche in questo caso, si finisce di perdere la natura vera e propria dell'*ACB* (la monetizzazione di tutti gli aspetti socio-ambientali) e ci si spinge verso un'analisi a multi-attributi, come verrà discusso nel seguito.

**5 Disponibilità a pagare o ad accettare una compensazione.** Per misurare i benefici e i costi all'interno dell'*ACB* è necessario conoscere le preferenze degli individui. Un metodo per identificarle consiste nell'osservare le loro reazioni quando devono scegliere tra beni e servizi alternativi. Il grado di preferenza per un prodotto disponibile sul mercato è rilevato dalla loro disponibilità a pagare che costituisce un indicatore monetario immediato dei loro desideri. Allo stesso modo, si può valutare la disponibilità ad accettare una compensazione per sopportare un determinato danno derivante da un progetto.

**6 Surplus del consumatore.** Per determinare il surplus del consumatore si usano spesso le curve di domanda. Queste normalmente sono stimate ipotizzando che il loro andamento sia lineare, condizione tipica di un mercato a concorrenza perfetta, anche se il regime reale del mercato non si può di certo considerare di tale genere. Un'ulteriore imprecisione nella valutazione del surplus del consumatore è legata ad una disponibilità di dati limitata o comunque inadeguata per la stima della curva di domanda. Si dovranno pertanto apportare opportune correzioni per tenere conto di queste imperfezioni ed approssimazioni.

**7 Prezzi ombra e costi opportunità.** Ogni volta che non sono verificate le ipotesi di concorrenza perfetta, cioè esiste una divergenza tra prezzi e costi marginali oppure il mercato non è in grado di assegnare un prezzo ad una risorsa, si deve ricorrere ai prezzi ombra. Questi sono i prezzi di mercato associati a beni e servizi corretti tenendo conto anche del punto di vista collettivo. Per assegnare questi valori si

introduce una certa soggettività, quindi si può incorrere nel rischio che i dati vengano manipolati privilegiando alcuni aspetti rispetto ad altri. Strettamente connessi ai prezzi ombra sono i costi opportunità che sono il valore a cui si rinuncia quando un bene viene utilizzato ad un certo scopo e pertanto non è più disponibile per altri.

**8 Mancata evidenziazione dei conflitti.** L'ACB non è in grado di mettere in evidenza i conflitti tra le parti coinvolte. Infatti negli studi che vengono realizzati non si precisa a chi vadano i costi e i benefici ma, per valutare la potenzialità del progetto, si effettua una somma algebrica indifferenziata, senza considerare la distribuzione interna dei costi e dei benefici. Si possono distinguere due tipi di conflitti: intergenerazionali e intragenerazionali. I primi si riferiscono alla rivalità esistente tra le generazioni presenti e quelle future. Il problema è la distribuzione di costi e benefici fra le diverse generazioni: per tutti i progetti i cui effetti si riscontrano a lungo termine, le generazioni attuali sono costrette a sopportare solo dei costi mentre chi ne trae beneficio sono le generazioni future che quindi si comportano come *free-riders*. A volte però si rivela il problema opposto, in quanto lo sviluppo economico delle generazioni attuali può compromettere le possibilità di fruizione delle risorse nel futuro. I secondi tipi di conflitti sono dovuti ad una non equa distribuzione dei benefici derivanti da un progetto all'interno di una comunità. Una proposta di risoluzione dei conflitti intragenerazionali<sup>18</sup> è quella di far ricorso all'ACB sociale che tiene conto anche degli effetti redistributivi del reddito. Per risolvere, invece, i conflitti intergenerazionali si può ricorrere ad opportuni valori del tasso di sconto. Un caso evidente di tale problematica si è riscontrato con lo studio condotto dalla Commissione *Rockill* nel 1971 per la localizzazione del terzo aeroporto di Londra rappresenta un caso eclatante e, nonostante gli

---

18 I problemi dell'equità e dei conflitti intergenerazionali sono stati ampiamente discussi alla Conferenza di Rio de Janeiro del 1992 e, successivamente, a quella di Kyoto del 1997 in cui si è affrontato il problema dello sviluppo sostenibile. Una definizione di sviluppo sostenibile è quella proposta dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo: uno sviluppo si dice sostenibile se "soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni" (Pearce, Turner, Bateman 1998)

anni, mai invecchiato delle problematiche che si ritrovano puntualmente e sistematicamente quando si scenda dalla teoria alla pratica. La Commissione Rockill era stata incaricata di valutare dove fosse conveniente ubicare un terzo aeroporto londinese, determinare quando convenisse costruirlo e confrontare i costi e i benefici di viaggi aerei aggiuntivi. La Commissione fu dell'avviso, fin dall'inizio, che tutti i costi dovessero, se possibile, essere valutati in unità monetarie. Decise pertanto di stimare attentamente ogni conseguenza e di utilizzare come elemento fondamentale per la propria decisione il costo totale così calcolato. Come prima fase, l'équipe di ricercatori preparò una bozza di *ACB* che fu sottoposta a critiche e discussioni dettagliate in pubbliche riunioni, oltre che ad analisi in sede universitaria. Il rapporto indicava *Cublington*, fra le quattro località a confronto, come la soluzione con più basso valore attuale dei costi netti. Il costo di *Foulness* era più elevato di un importo compreso fra 156 e 197 milioni di sterline del 1968.

L'*ACB* condotta fu ampiamente criticata dal Prof. Buchanan, membro della Commissione. Le principali osservazioni da lui apportate sono le seguenti:

- l'*ACB*, per come era stata impostata, era contestabile perchè sommava una serie di cifre eterogenee, alcune delle quali costituite da costi diretti effettivamente sostenuti (ad esempio costi di costruzione) mentre altre da costi indiretti che sarebbero mai stati pagati (ad esempio costi dei rumori);
- la pianificazione ha fornito un approccio migliore ai problemi dell'utilizzazione del suolo di quanto non facesse l'*ACB*. Il Prof. Buchanan sostenne infatti che la commissione aveva trascurato importanti effetti esterni che la creazione di un aeroporto a *Foulness* avrebbe avuto sull'occupazione in quest'area e la necessità di avere un aeroporto internazionale nella regione delle *Midlands*;

- Inoltre la tranquilla campagna a nord-ovest di Londra presentava un valore superiore a quello attribuitogli dagli abitanti del luogo, in quanto questo era un bene che una volta distrutto è praticamente impossibile da ricreare. In realtà nei calcoli della Commissione era stato attribuito poco valore ad elementi quali bellezze naturali, valore ricreativo o potenziale residenziale dell'area, sebbene il problema era stato riconosciuto e discusso;
- Nell'analisi è stato adottato un tasso di sconto del 10% che è troppo alto. Il governo britannico prescriveva infatti l'uso di un tasso standard sintetico di sconto del 10% per tutti i progetti del settore pubblico sostenendo che questo tasso riflette in larga misura il tasso di rendimento degli investimenti privati ai quali si rinuncia in conseguenza dell'investimento pubblico. Ma in questo caso i difensori dell'ambiente naturale affermarono che un tasso di sconto così elevato non tenne in dovuto conto i futuri problemi ambientali.

A seguito di tutte queste critiche, benché opinabili, il governo decise per l'ubicazione dell'aeroporto a *Foulness* anziché a *Cublington* come l'*ACB* prevedeva. Ma la cosa più sorprendente è che le critiche sollevate da Buchanan, *mutatis mutandi*, sono di fatto riproponibili nella maggior parte degli studi di *ACB*.

Come si può intuire l'applicazione della tecnica dell'Analisi Benefici Costi per la scelta del miglior tracciato stradale, non risulta molto appropriata. Infatti, la realizzazione di una nuova infrastruttura viaria comporta un cambiamento degli equilibri presenti e, la formalizzazione nel tempo di uno nuovo scenario in cui sono coinvolti aspetti ambientali, tecnici, economici e sociali appartenenti alla classe dei fattori intangibili.

Al fine di superare queste difficoltà si sono susseguite e diffuse nel tempo, ed in particolar modo come supporto alla Valutazione di Impatto

Ambientale, una serie di tecniche, che basate su di un approccio multicriteriali hanno provato a superare tali difficoltà.

Nei paragrafi successivi da un lato si descriverà sommariamente la procedura di impatto ambientale utilizzata in Italia e formalizzata dalla normativa di settore, rimandando alla bibliografia gli approfondimenti necessari, dall'altro si analizzeranno le diverse tecniche di supporto a tale analisi, le quali hanno costituito insieme ai fondamenti dell'analisi del valore, la base di partenza per la formalizzazione del modello di valutazione proposto.

## **5.2 La Valutazione di Impatto Ambientale**

Scopo di una Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è determinare gli effetti di un progetto sull'ambiente naturale, culturale, estetico, sociale ed economico attraverso l'esplicitazione dei vantaggi e degli svantaggi di soluzioni progettuali alternative.

La VIA in Italia è stata introdotta a seguito dell'emanazione della direttiva 337/85/CEE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati. Tale direttiva fa un lungo elenco di opere da sottoporre a VIA, in particolare riporta, nell'allegato I le opere per le quali la VIA è obbligatoria in tutta la Comunità, nell'allegato II, invece, sono elencati i progetti per i quali gli stati membri devono stabilire delle soglie di applicabilità. La direttiva 337/85 è stata modificata con la direttiva 97/11/CE che, pur non imponendo nuovi obblighi, amplia gli elenchi dei progetti da sottoporre a VIA, infatti, le opere comprese nell'allegato I passano da 9 a 20; mentre relativamente alle opere previste dall'allegato II la nuova direttiva introduce una selezione preliminare, lasciando libertà agli Stati membri di optare o per un criterio automatico basato su soglie dimensionali oltre le quali scatta la procedura, o per un esame caso per caso dei progetti.

L'Italia, il 10 agosto 1988, ha emanato il DPCM n. 377: "Regolamento delle procedure di compatibilità ambientale" di cui all'art. 6 della Legge 8 luglio 1986, n. 349, recante istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale".

Nel DPCM 377/88 vengono sottoposti a VIA solo i progetti di cui all'allegato I della direttiva 337/85/CEE, mentre non si fa cenno alcuno ai progetti di cui all'allegato II.

Le norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione dei giudizi di compatibilità sono specificate nel DPCM 27/12/88, successivamente modificato e integrato (per talune categorie di opere) dal DPR 2 settembre 1999, n. 348.

Dopo i richiami da parte comunitaria per l'incompleta applicazione della direttiva, lo Stato italiano ha emanato il DPR 12/4/96, recante: "Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della Legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione d'impatto ambientale". Con il DPR 12/4/96 viene conferito alle regioni ed alle province autonome il compito di attuare la direttiva 337/85/CEE per tutte quelle categorie di opere, elencate in due allegati, A e B, non comprese nella normativa statale, ma previste dalla direttiva comunitaria.

Le opere dell'allegato A sono sottoposte a VIA regionale obbligatoria (se queste sono localizzate in un parco, ai sensi della Legge 394/91, la soglia dimensionale è dimezzata); le opere dell'allegato B sono sottoposte a VIA regionale obbligatoria, con soglie dimezzate, solo nelle aree a parco, al di fuori dei parchi sono sottoposte ad una fase di verifica per stabilire se bisogna fare o meno la VIA. Il 27 dicembre 1999 è entrato in vigore il DPCM 3 settembre 1999 in tema di VIA Regionale che introduce nuove opere (e ne modifica altre) da sottoporre alla procedura valutativa locale. Il provvedimento modifica gli allegati A e B del DPR 12 aprile 1996 introducendo 12 nuove categorie di opere.

Al di là di questa breve introduzione della procedura e della legislazione di riferimento, bisogna ricordare che nel tempo sono stati diversi i metodi appositamente sviluppati per la VIA, che in base alle applicazioni esaminate possono essere ricondotti a due categorie principali: i metodi che si propongono di determinare la compatibilità di un progetto con l'ambiente in rapporto alla sua "sensibilità" (intesa come qualità, vulnerabilità o potenzialità d'uso delle sue risorse) e i metodi atti a identificare e valutare le interazioni tra progetto e ambiente.

### **5.2.1 I metodi per determinare la compatibilità di un progetto con l'ambiente in rapporto alla sua "sensibilità"**

Questi metodi vengono utilizzati principalmente per selezionare le possibili alternative di localizzazione di progetti che hanno implicazioni non trascurabili di tipo territoriale. Il metodo più utilizzato di questa categoria è rappresentato dall' Overlay Mapping (Sovrapposizione di Mappe) nelle sue diverse forme (McHarg 1969, Krauskopf and Bunde 1972, Falque 1975, ecc.).

#### **Overlay Mapping**

I metodi di questa categoria, conosciuti anche come metodi LSA (Land Suitability Analysis, analisi di idoneità territoriale), sono strumenti di progettazione particolarmente utili in contesti caratterizzati dalla presenza di particolari valori ambientali. Essi possono essere utilizzati sia per determinare la localizzazione ottimale di opere quali strade, impianti per la produzione di energia, insediamenti industriali, attrezzature per la ricreazione nell'ambiente naturale, ecc. sia come strumenti di supporto alla valutazione della suscettività di usi alternativi dei siti di una regione o di un ambito territoriale.

Uno dei metodi più noti di questa categoria è il metodo di MchHarg, un metodo fondato su un approccio di tipo ambientalista-scientifico.

Dal punto di vista tecnico il metodo di MchHarg e quelli che ad esso si ispirano possono essere distinti in quantitativi e qualitativi, che si differenziano tra loro per il modo in cui l'informazione di base viene organizzata ed elaborata per ricavare la valutazione di suscettività.

Nell'approccio quantitativo il *planner*, con l'aiuto eventuale di esperti di settore, assegna dei punteggi a ogni sottoclasse di ciascuna caratteristica del territorio: questi punteggi sono quindi utilizzati per

calcolare un indice aggregato di suscettività relativamente a ogni *uso del suolo* in ogni elemento (o land parcel) dell'area di studio.

L'approccio qualitativo, invece, consiste nel classificare il territorio in *tipi ecologici* ai quali vengono applicati criteri diretti a stabilirne la suscettività in rapporto agli specifici usi del suolo.

Considerando in maggior dettaglio l'approccio quantitativo, McHarg utilizza un metodo nel quale la natura quantitativa dei punteggi non viene direttamente esplicitata. In particolare, i punteggi sono espressi in termini di toni di grigio (o di colore) assegnati a ciascuna delle sottoclassi di una specifica caratteristica del territorio: più scuro è il tono, meno adatto è il territorio all'uso del suolo considerato.

Per esempio, volendo valutare siti alternativi per localizzare il tracciato di una nuova autostrada, suoli con pendenze superiori al 10% vengono associati a un tono grigio scuro, suoli con pendenze comprese tra il 2.5% e il 10% a un tono grigio chiaro e suoli con pendenze inferiori al 2.5% a un tono bianco: queste scelte sono coerenti con il fatto che dove la pendenza è maggiore, la costruzione della strada è più "costosa" non soltanto dal punto di vista economico, ma anche per la sua interferenza potenziale con il contesto geologico e geomorfologico (rischio di instabilità dei versanti, alterazione del paesaggio, ecc.).

Operativamente, per ogni caratteristica viene disegnata una mappa riportando su un foglio di plastica trasparente i toni di grigio appropriati alle diverse parti dell'area di studio. I fogli relativi alle diverse caratteristiche vengono quindi sovrapposti sul piano di un tavolo luminoso ed osservati in trasparenza.

L'immagine che emerge è costituita da un insieme di toni scuri e chiari che rappresentano delle stime qualitative della suscettività aggregata - cioè valutata in rapporto a tutte le caratteristiche - di ogni elemento dell'area di studio: quanto più chiara (trasparente) è localmente l'immagine, tanto più l'attuale destinazione d'uso dell'elemento

considerato è suscettibile di essere trasformata nella destinazione proposta.

Sebbene il metodo di McHarg non sia esplicitamente quantitativo, lo è implicitamente poiché il procedimento consistente nel sommare "otticamente" toni di grigio, tuttavia, potrebbe essere sostituito, in linea di principio, da un procedimento matematico (cioè sarebbe possibile, come nei filtri fotografici, calcolare la densità del tono di grigio finale a partire da quelle dei toni di grigio associati alle sottoclassi delle singole caratteristiche).

Un buon esempio di applicazione del metodo è costituito dall'analisi di un controverso tracciato stradale in Richmond Parkway a New York. Per valutare il "costo" di costruzione della strada in ogni punto dell'area di studio McHarg selezionò *16 caratteristiche o tematismi territoriali* e costruì altrettante mappe.

In ogni mappa era rappresentata una sola caratteristica, quali la pendenza, il drenaggio superficiale, il drenaggio profondo, l'erosibilità del suolo; la resistenza della base rocciosa e dei terreni sovrastanti; i costi di acquisizione dei terreni; i siti soggetti alle inondazioni delle maree (normali e eccezionali).

Alcune mappe consentivano inoltre, di identificare la qualità dei siti in rapporto alle loro caratteristiche naturali: acqua, foreste e fauna selvatica; altre mettevano in evidenza la presenza di valori sociali, storici, ricreativi e immobiliari (abitazioni, edifici pubblici).

Per ogni caratteristica McHarg individuò tre sottoclassi, definite nel modo indicato qui di seguito.

#### Tracciato stradale a Richmond Park: categorie e zone (sottoclassi)

##### Pendenza

*zona 1*: aree con pendenza superiore al 10%

*zona 2*: aree con pendenza compresa tra il 2,5% e il 10%

*zona 3*: aree con pendenza inferiore al 2,5%

### Drenaggio superficiale

*zona 1*: presenza di acque superficiali (torrenti, laghi, stagni)

*zona 2*: presenza di canali di drenaggio naturale / aree con drenaggio artificiale

*zona 3*: assenza di acque superficiali e di importanti canali di drenaggio

### Drenaggio profondo

*zona 1*: acquitrini salati o salmastri, paludi e aree povere di drenaggio

*zona 2*: aree con ristagno di acqua alta

*zona 3*: aree dotate di un buon drenaggio interno

### Giacitura delle rocce

*zona 1*: aree paludose con resistenza alla compressione molto bassa

*zona 2*: sedimenti cretacei / sabbie / argille / ghiaie / scisti

*zona 3*: rocce cristalline / serpentino / diabase

### Stabilità dei suoli

*zona 1*: melme e argille poco stabili e con bassa resistenza alla compressione

*zona 2*: terreni sabbiosi e terreni costituiti da ghiaia finissima

*zona 3*: sabbia ghiaiosa / terreni sassosi

### Suscettibilità all'erosione

*zona 1*: terreni di sabbia o ghiaia fine in aree con pendenze superiori al 10%

*zona 2*: terreni di sabbia ghiaiosa o melmosi / terreni sassosi in aree con pendenze superiori al 2,5%

*zona 3*: altri terreni con tessuto più fine a topografia piatta

### Valori dei terreni

*zona 1*: 3,5 \$ o più per piede quadrato

*zona 2*: da 2,5 \$ a 3,5 \$ per piede quadrato

*zona 3*: meno di 2,5 \$ per piede quadrato

### Inondazioni da maree

*zona 1*: aree inondate durante l'uragano del 1962

*zona 2*: aree d'impeto degli uragani

*zona 3*: aree esterne alla linea di flusso delle maree

### Valori storici

*zona 1*: area storica di Richmond

*zona 2*: singole emergenze storiche

*zona 3*: assenza di valori storici

### Valori scenici

*zona 1*: elementi scenici rilevanti

*zona 2*: aree aperte di valore scenico elevato

*zona 3*: aree urbane di valore scenico scarso o nullo

### Valori ricreativi

*zona 1*: spazi pubblici aperti

*zona 2*: aree non urbanizzate potenzialmente utilizzabili per scopi ricreativi

*zona 3*: aree di scarsa potenzialità ricreativa

### Valori istituzionali

*zona 1*: presenza di elevato valore istituzionale

*zona 2*: presenza di discreto valore istituzionale

*zona 3*: presenza di valore istituzionale scarso o nullo

### Qualità delle acque

*zona 1*: laghi, stagni, torrenti e paludi

*zona 2*: acquifero principale / bacini di torrenti importanti

*zona 3*: acquiferi secondari / torrenti in aree urbanizzate

### Qualità delle foreste

*zona 1*: foreste e paludi di alto valore ecologico

*zona 2*: altre foreste e paludi

*zona 3*: aree non forestate

### Fauna selvatica

*zona 1*: habitat di elevata qualità

*zona 2*: habitat di media qualità

*zona 3*: habitat poveri

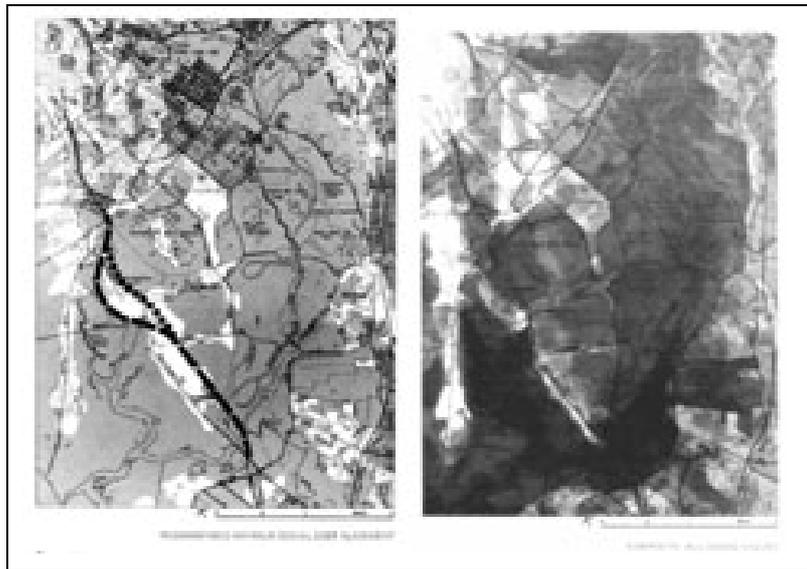
### Valori dell'edilizia residenziale

*zona 1*: valore di mercato superiore a 50.000 \$

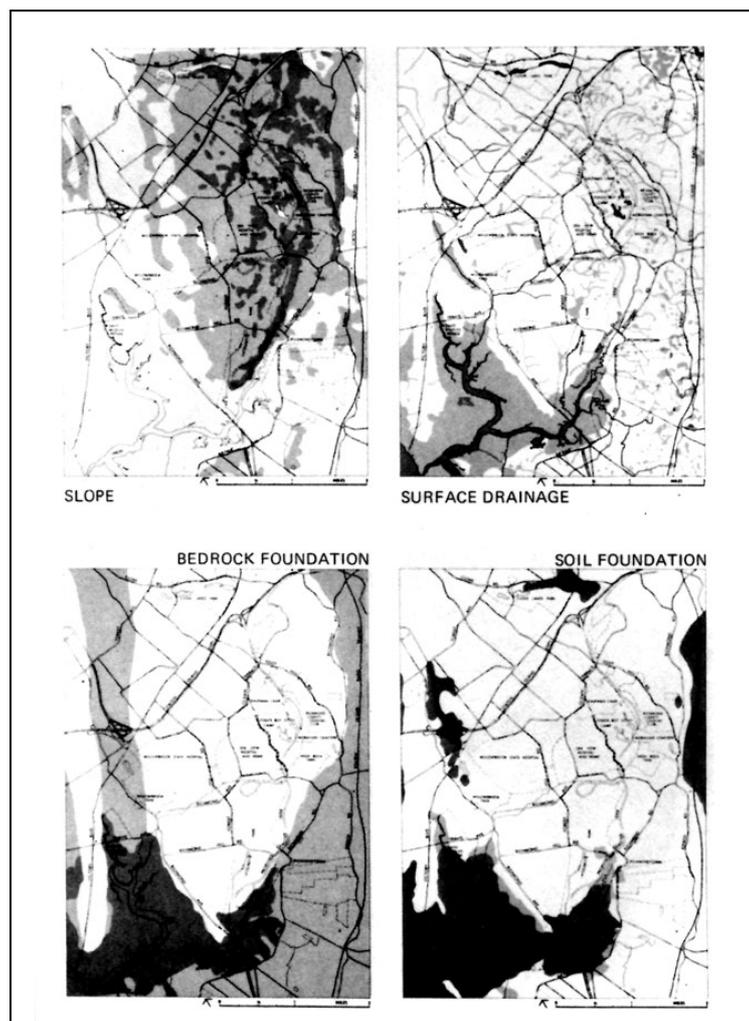
*zona 2*: valore di mercato compreso tra 25.000 \$ e 50.000 \$

*zona 3*: valore di mercato inferiore a 25.000 \$

McHarg elaborò una mappa per ogni caratteristica, utilizzando tre toni di grigio (uno per ogni sottoclasse). Nelle figure seguenti sono riportate a titolo di esempio alcune delle 16 mappe che si riferiscono ad altrettante caratteristiche.



**Figura 5.2.1. Mappe di sintesi elaborate da MacHarg**



**Figura 5.2.1.a.. Mappe di analisi elaborate da MacHarg**

Sovrapponendo le mappe, McHarg ottenne una mappa di sintesi che gli permise di identificare due tracciati alternativi di "costo" minimo. Oltre a questa mappa sono state elaborate le due mappe di sintesi.

La prima figura 5.2.1 è stata ricavata dalla sovrapposizione di tutte le categorie che si riferiscono ai soli valori sociali; nella seconda, invece, ricavata da quella totale con un semplice procedimento di "filtraggio", appaiono due sole classi di suscettività.

Questa mappa, che separa le zone più idonee da quelle meno idonee all'inserimento della strada, è stata utilizzata da McHarg per identificare le due varianti di tracciato di "costo" minimo.

Nel metodo di McHarg si possono rendere espliciti i punteggi associati alle tre sottoclassi di ciascuna caratteristica - ad esempio, assegnando ad esse rispettivamente i valori 3, 2 e 1 in luogo dei toni grigio scuro, grigio chiaro e trasparente e procedere quindi ad aggregare (sommare) i valori relativi alle diverse caratteristiche per ogni elemento dell'area di studio.

In questo caso è anche possibile assegnare un "peso" alle caratteristiche, moltiplicando i suddetti valori per un fattore che rispecchia l'importanza relativa di ciascuna caratteristica, prima di procedere a sommarli.

In generale a tale metodo ed a quelli che ad esso si ispirano si possono fare le seguenti critiche:

- (i) Il metodo è tecnocratico e non partecipativo (McHarg non ha fiducia nella capacità delle persone di esprimere giudizi validi, ritenendo che i loro sistemi di valori siano troppo influenzati dalle credenze religiose e dalle teorie economiche dominanti).
- (ii) Il metodo non fornisce ai valutatori indirizzi e strumenti per determinare i punteggi da assegnare alle sottoclassi delle categorie (gli esperti finiscono per fare riferimento al proprio sistema di valori o, peggio ancora, diventano

- arbitrariamente interpreti dei sistemi di valori del "pubblico",
- (iii) La scelta di specifici toni di grigio (o dei valori numerici) da associare alle sottoclassi delle categorie influenza fortemente il risultato finale della valutazione, cioè il tono di grigio finale (o il valore dell'indice) che si ottiene per ogni elemento dell'area di studio come risultato del processo di aggregazione.
  - (iv) Il risultato finale della valutazione è fortemente influenzato anche dalla scelta delle caratteristiche (in particolare, la decisione di suddividerne una in sotto categorie cui far corrispondere mappe separate, ad esempio, mappe delle diverse specie animali invece che un'unica mappa della fauna selvatica - equivale ad accrescere il "peso" relativo della caratteristica considerata).
  - (v) Le caratteristiche dei suoli non sempre rispecchiano tutti gli impatti potenziali di un intervento. Basti pensare ai costi di trasporto, all'inquinamento atmosferico e acustico, che sono influenzati dalla configurazione spaziale dello sviluppo urbano (ad esempio, dal suo carattere disperso o concentrato) e non dall'uso del suolo specifico del sito.

Il vantaggio maggiore di questo metodo è rappresentato dalla sua grande utilità negli stadi iniziali del processo di pianificazione degli usi del suolo, quando un numero grande di configurazioni spaziali alternative devono essere assoggettate a screening per ridurre l'elenco delle opzioni più promettenti.

### 5.2.2. I metodi atti a identificare e valutare le interazioni tra progetto e ambiente

Secondo Canter (1983) questi metodi sono sostanzialmente di due tipi:

- (1) le matrici di interrelazione, che comprendono come varianti i grafi ( o network);
- (2) le liste di controllo (o check list).

#### Le matrici di interrelazione e i grafi

Una matrice di interrelazione consente di identificare le relazioni **causa-effetto** tra le attività di progetto (di costruzione, di funzionamento, ecc.) e i fattori ambientali. Uno degli esempi più conosciuti di matrice di interrelazione è la **Matrice di Leopold**.

Il metodo consiste nell'eseguire i passi seguenti (Leopold et al. 1971):

- (1) Identificazione di tutte le "azioni" in cui si articola il progetto proposto e di tutte le componenti e fattori ambientali potenzialmente interessati dall'impatto. A ogni colonna e ogni riga di una matrice (matrice di Leopold) viene quindi associata rispettivamente un'azione e un fattore.
- (2) Quando un'azione determina un impatto su un fattore ambientale occorre barrare la cella della matrice situata all'intersezione della corrispondente colonna e della corrispondente riga.
- (3) Nella parte superiore di ogni casella barrata occorre scrivere un numero da 1 a 10 che indica la grandezza dell'impatto (cioè la sua rilevanza): 10 rappresenta la massima grandezza possibile, 1 la minima (non utilizzare

lo zero!). Davanti a ciascun numero occorre porre il segno "+" se l'impatto è positivo, "-" se negativo. Nella parte inferiore della casella occorre scrivere un numero da 1 a 10 che indica l'importanza dell'impatto (cioè la sua estensione spaziale; ad esempio, nazionale, regionale, locale, ecc.): 10 rappresenta la massima importanza e 1 la minima (non utilizzare lo zero!).

(4) I valori che definiscono la grandezza dell'impatto, moltiplicati per quelli che ne definiscono l'importanza, vengono sommati tra loro per calcolare l'impatto ambientale complessivo del progetto considerato. L'operazione può essere ripetuta per progetti alternativi in modo da selezionare quello che presenta il massimo impatto positivo (o il minimo impatto negativo).

Un tipico esempio di applicazione della matrice di Leopold riguarda la valutazione del progetto della seconda centrale elettronucleare piemontese (cfr. Zeppetella et al. 1992,).

La matrice qui riportata si riferisce a una delle due alternative di progetto che sono state assoggettate a valutazione. Si noti che in questo caso la grandezza dell'impatto è stata scritta nella parte inferiore della cella, mentre nella parte superiore viene riportata l'importanza.

In questo esempio i valori dell'importanza (che non riguarda soltanto l'estensione spaziale, ma anche la reversibilità/irreversibilità e la durata degli effetti - lungo, medio e breve termine - dell'impatto) variano da 1 a 16, invece che da 1 a 10. L'attribuzione dei valori di importanza stata effettuata con l'aiuto di una specifica tabella. I valori della grandezza (rilevanza) variano da -3 a +3, invece che da -10 a +10. Questi due estremi della scala corrispondono all'impatto rispettivamente negativo e positivo di rilevanza massima.



non compensa la fatica connessa all'utilizzo di tanti dati, che peraltro non garantiscono la completezza dell'informazione.

Il metodo, inoltre, consente di mettere in evidenza soltanto l'impatto delle azioni elementari sulle componenti ambientali, mentre vengono trascurati gli impatti indiretti e secondari che si originano per cumulazione e interazione degli effetti primari, per retroazione di questi sulle componenti ambientali e per il sinergismo eventuale tra più azioni che concorrono contestualmente a determinare l'impatto. Ma il problema principale consiste nel fatto che il metodo non stabilisce dei criteri certi per determinare i valori dei coefficienti di importanza e di grandezza, come non è in grado di giustificare l'uso del modello additivo (somma pesata) per aggregare i suddetti valori.

### **Grafi**

I grafi sono assimilabili per molti aspetti alle matrici, anche se sono maggiormente adatti allo studio delle *sequenze cause-effetto* che sono alla base degli impatti. In pratica un grafo permette di identificare la catena degli impatti diretti ed indiretti, primari e secondari causati da un'azione o, inversamente, di risalire da un impatto dato all'insieme delle azioni responsabili.

Nel metodo di Sorensen, ad esempio, vengono utilizzati sia matrici che grafi. Le matrici consentono di individuare le azioni connesse ai diversi tipi di utilizzazione del territorio e di identificare quindi gli impatti primari sulle condizioni ambientali; i grafi consentono poi di scendere lungo la catena degli impatti primari e secondari, fino a mettere questi ultimi in relazione sia con le azioni, sia con le eventuali misure di mitigazione da adottare. La figura illustra un esempio di applicazione del metodo alla valutazione degli impatti di un nuovo complesso residenziale su una zona costiera (Sorensen 1971). La parte inferiore della figura (b) mostra i legami di causa ed effetto in termini diagrammatici (grafo).

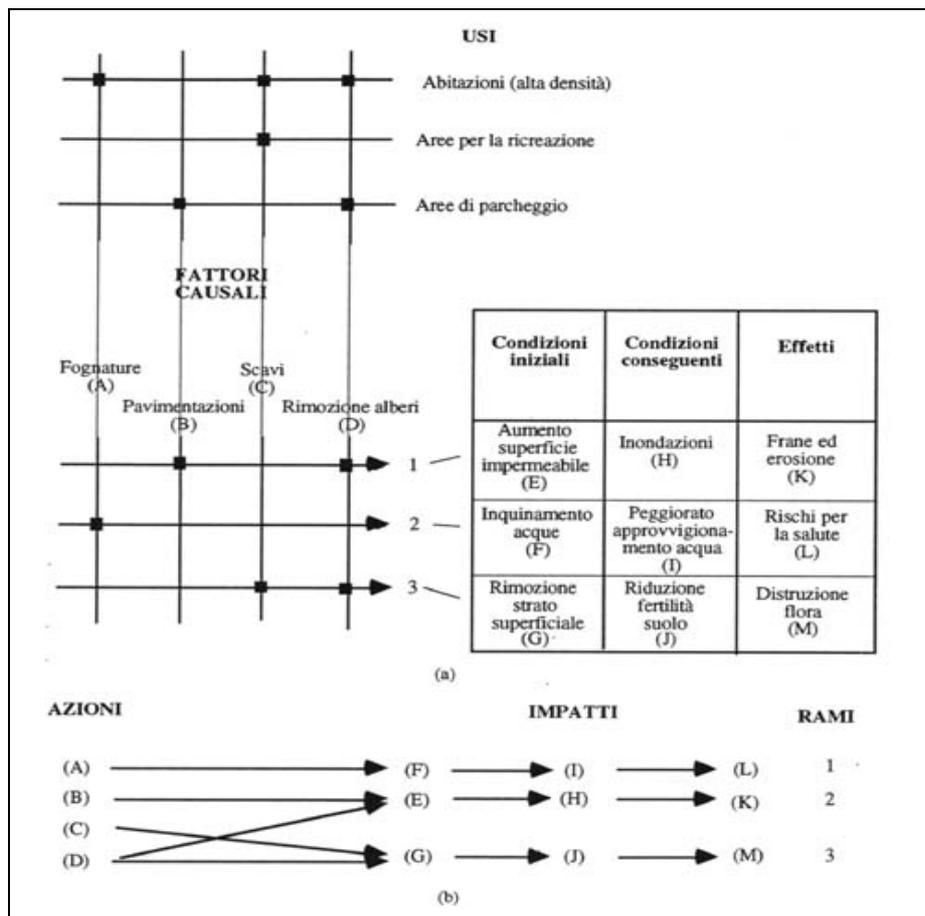
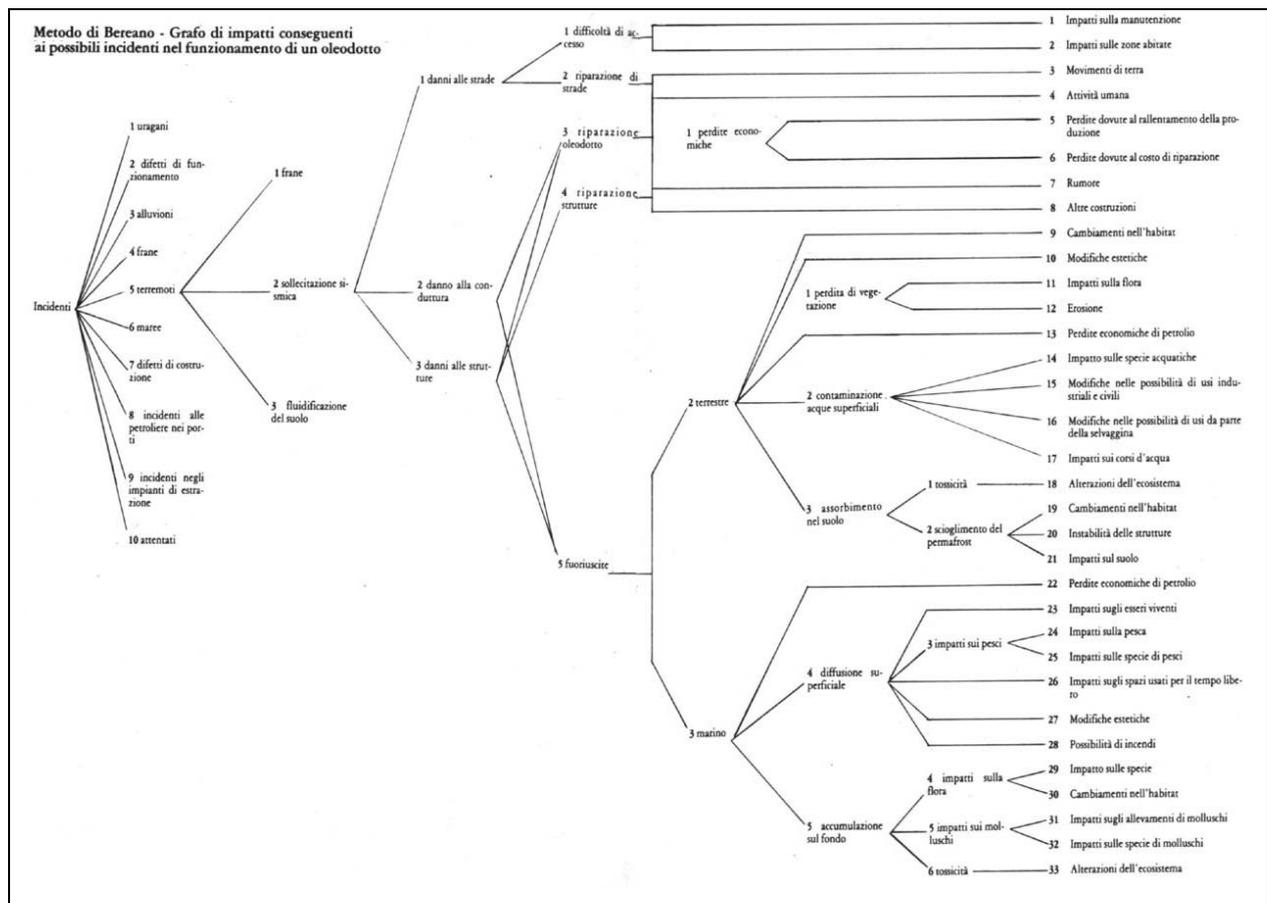


Figura 5.2.3. Metodo di Sorensen sistema causa - effetto

Nel metodo di Bereano (Bereano 1972), studiato appositamente per valutare soluzioni tecnologiche alternative rispetto a obiettivi di conservazione dei valori ambientali, i grafi sono parimenti utilizzati per arrivare ad un'identificazione esaustiva degli impatti. A questo scopo vengono costruiti più grafi (grafi degli effetti) che dipendono della natura del progetto. L'esempio più conosciuto riguarda la determinazione del tracciato di un oleodotto nell'Alaska, in cui sono stati utilizzati 3 grafi degli effetti corrispondenti alla fase di costruzione dell'impianto, al suo funzionamento normale e agli incidenti possibili (analisi di rischio).

Qui si riporta, a titolo di esempio, l'ultimo grafo.



**Figura 5.2.4. Grafo di Bereano analisi del rischio Oleodotto**

Nel grafo vengono individuati i singoli incidenti potenziali dai quali conseguono impatti diretti e indiretti. I legami fra i diversi elementi del grafo rappresentano, a seconda della natura di questi ultimi, una forma di articolazione dell'impatto o una relazione di causa ed effetto. Secondo Bereano la costruzione del grafo dovrebbe arrestarsi quando non è più possibile proseguire per mancanza di informazioni o quando un'ulteriore articolazione non porta a differenziare ulteriormente gli effetti delle varianti di progetto considerate. Ogni categoria di relazioni viene stimata sulla base delle probabilità di accadimento di ciascun impatto.

L'insieme dei due parametri, misura fisica e probabilità, permette il calcolo di un indice aggregato del rischio d'impatto per ciascuna alternativa che affianca la valutazione di tipo qualitativo-descrittiva che è propria di questo tipo di metodi.

## **Le liste di controllo (check lists)**

I metodi che si basano su liste di controllo differiscono tra loro per il grado di strutturazione del procedimento di identificazione e di valutazione degli impatti: si passa da semplici elenchi di attività di progetto e di fattori ambientali cui fare riferimento per identificare gli impatti di una specifica classe di progetti (liste di controllo descrittive) a modelli quantitativi che consentono di misurare l'entità degli impatti sui fattori (liste di controllo di scala e peso: weighting-scaling checklist).

Le liste di controllo descrittive, tra l'altro, sono spesso utilizzate nell'ambito dei metodi che utilizzano matrici o grafi per definire gli elementi (attività, componenti ambientali, ecc.) che devono essere messi in relazione. Le liste di controllo di scala e peso pervengono a misure aggregate dell'impatto generato da azioni o alternative di progetto a partire dai pesi e dai livelli di qualità, attuali e futuri, dei fattori ambientali.

Due esempi classici di liste di controllo di scala e peso sono l'EES (Environmental Evaluation System) sviluppato da Dee et al. (1973) presso i Battelle-Columbus Laboratories, noto anche come metodo Battelle, ed il WRAM (Water Resource Assessment Methodology), elaborato da Solomon et al. (1977) per conto dello U.S. Army Corp of Engineers.

### **Il metodo EES (o metodo Battelle)**

Questo metodo fa riferimento a quattro categorie ambientali (ecologia, fattori chimico-fisici, fattori estetici, fattori umani e sociali) articolate in 17 componenti e 78 fattori (o parametri). A ogni categoria, componente e fattore viene assegnato un "peso" da un gruppo interdisciplinare di esperti mediante una tecnica Delphi. *Per ogni fattore viene inoltre costruita una relazione funzionale che esprime il valore della qualità ambientale in funzione dei valori assunti da uno specifico*

*indicatore*. Grazie a queste relazioni le misure "oggettive" rappresentate dagli indicatori vengono trasformate in misure "soggettive" di qualità, valutate in una scala normalizzata; nella quale i valori 0 e 1 corrispondono rispettivamente alla qualità peggiore e alla qualità migliore.

Il metodo EES perviene a stime quantitative degli impatti calcolando le variazioni complessive di qualità ambientale conseguenti alla realizzazione delle alternative di progetto. A questo fine occorre determinare le qualità dell'ambiente sia nello stato attuale, sia dopo l'intervento (per le diverse alternative) e calcolarne le differenze. Per determinare la qualità dell'ambiente occorre moltiplicare le misure "soggettive" di qualità per il "peso" del fattore corrispondente (modello della somma pesata).

Tra le alternative viene di solito considerata anche l'"ipotesi zero", cioè la situazione che si verificherà a un dato orizzonte temporale - lo stesso al quale viene valutato l'impatto delle altre alternative - in assenza di progetto. Si noti che la qualità ambientale valutata nell'"ipotesi zero" non coincide generalmente con quella dello stato attuale: col passare del tempo si può infatti verificare una trasformazione dello stato dell'ambiente che, in assenza di intervento, potrebbe essere soggetto a un fenomeno evolutivo (più spesso, involutivo) spontaneo o indotto da attività antropiche non pianificate.

L'elenco delle componenti e dei fattori in cui si articolano le quattro categorie ambientali considerate dal metodo EES è riportato in figura 5.2.6 .

Accanto a ogni fattore è riportato il "peso" che ne misura l'importanza relativa in millesimi (la somma dei "pesi" di tutti i fattori è pari a 1000 e il peso di ogni specifica componente o categoria ambientale si può ricavare sommando i "pesi" dei fattori che ad esse appartengono).

Difficilmente un progetto genera impatti che si riferiscono alla totalità dei fattori considerati dal metodo EES. In pratica occorre

selezionare i fattori che per ogni specifico progetto risultano essere significativi ai fini della valutazione d'impatto.

<p><b>ECOLOGIA</b></p> <p><i>Specie e popolazioni terrestri</i>            erbivori (14)            coltivazioni (14)            vegetazione naturale (14)            specie nocive (14)            uccelli (14)</p> <p><i>Specie e popolazioni acquatiche</i>            pesca commerciale (14)            vegetazione naturale (14)            specie nocive (14)            pesca sportiva (14)            uccelli (14)</p> <p><i>Habitat e comunità terrestri</i>            indice della catena alimentare (12)            uso del territorio (12)            specie rare e protette (12)            diversità delle specie (14)</p> <p><i>Habitat e comunità acquatiche</i>            indice della catena alimentare (12)            specie rare e protette (12)            caratteristiche dei corsi d'acqua (12)            diversità delle specie (14)</p> <p><i>Ecosistemi</i>            solo descrittivo</p> <p><b>FATTORI ESTETICI</b>  <i>Territorio</i>            geologia (6)            rilievo e carattere topografico (16)            visuali (10)</p>	<p><b>FATTORI FISICO/CHIMICI</b></p> <p><i>Qualità dell'acqua</i>            perdita di bacino idrologico (20)            richiesta di ossigeno biochimico (25)            ossigeno disciolto (31)            coliformi fecali (18)            carbonio inorganico (22)            azoto inorganico (25)            fosfati inorganici (28)            pesticidi (16)            Ph (18)            variazione di flusso (28)            temperatura (28)            solidi disciolti (25)            sostanze tossiche (14)            torbidità (20)</p> <p><i>Qualità dell'aria</i>            CO (5)            idrocarburi (5)            NO (10)            particelle (12)            ossidanti fotochimici            SO<sub>2</sub> (10)            altri (5)</p> <p><i>Inquinamento del suolo</i>            uso del suolo (14)            erosione (14)</p> <p><i>Inquinamento acustico</i>            rumore (4)</p>	<p><i>Aria</i>            odore e visuale (3)            suoni (2)</p> <p><i>Acqua</i>            aspetto dell'acqua (10)            interfaccia terra/acqua (16)            odore e materiale galleggiante (6)            superficiale (10)            rive boschive e d'interesse geol. (10)</p> <p><i>Ecotipi</i>            animali domestici (5)            animali selvatici (5)            diversità dei tipi vegetazionali (9)            varietà fra i tipi vegetazionali (5)</p> <p><i>Manufatti</i>            manufatti (10)</p> <p><i>Composizione</i>            effetti compositi (15)            composizioni uniche (15)</p>	<p><b>INTERESSI UMANI</b></p> <p><i>Scientifico/educativi</i>            archeologici (13)            ecologici (13)            geologici (11)            idrologici (11)</p> <p><i>Storici</i>            architettura e stili (11)            eventi (11)            persone (11)            religioni e culture (11)            la frontiera dell'ovest (11)</p> <p><i>Culture</i>            indiani (14)            altri gruppi etnici (7)            gruppi religiosi (7)</p> <p><i>Stati d'animo</i>            ispirazione (11)            isolamento/solitudine (11)            mistero (4)            immedesimazione nella natura (11)</p> <p><i>Modelli di vita</i>            opportunità di occupazione (13)            abitazioni (13)            rapporti sociali (11)</p>
---	--	---	---

Figura 5.2.5.. La check list di parametri del Sistema di Valutazione Ambientale dei laboratori Battelle di Columbus, Ohio (DEE et al. 1972)

A titolo di esempio si è riportata la tabella dei valori d'impatto che riguardano i fattori selezionati per un progetto di intervento legato all'acqua, riportato da Dee et al. (1972). Applicando il modello della somma pesata è possibile esprimere i valori d'impatto relativi ai diversi fattori nella stessa unità di misura: questi valori possono quindi essere sommati e, di conseguenza, diventa possibile raffrontare la totalità degli impatti positivi e negativi del progetto, nonché confrontare la situazione senza intervento ("ipotesi zero") con gli effetti che esso determina.

## **Le critiche del modello EES**

Il metodo EES è stato fortemente criticato per diversi motivi, ed in particolare: le categorie, le componenti e i fattori ambientali sono elementi fissi, come se il contesto, il tipo di progetto e le loro reciproche relazioni non mutassero al variare dello specifico intervento.

Alcuni fattori tecnici non vengono generalmente capiti dagli abitanti interessati e dai decisori poiché il metodo non fornisce informazioni circa i significati associati ai valori degli indicatori nelle relazioni funzionali che li definiscono. La mancata esplicitazione di questi significati rende tra l'altro impossibile effettuare i trade-offs tra i diversi fattori (ad esempio, non è possibile determinare l'importanza relativa di due fattori quali il numero di coliformi nell'acqua e la concentrazione di particolato nell'aria senza aver prima determinato le loro implicazioni per la salute umana: probabilmente il gruppo di ricerca dell'Istituto Battelle ha effettuato i trade-offs necessari quando ha determinato i "pesi" di questi fattori, ma tale informazione non risulta disponibile).

Il metodo, inoltre, non prende in considerazione l'incertezza delle connessioni che legano i valori "oggettivi" degli indicatori con i valori "soggettivi" delle corrispondenti relazioni funzionali, ma soprattutto il metodo è fortemente tecnocratico ed astratto: anche se cerca di tenere conto delle problematiche sociali (vedi la categoria fattori umani e sociali), non si cura in alcun modo di interagire con i membri della comunità per stabilire i valori dei "pesi" che dovrebbero essere assegnati dai diretti interessati.

## Il metodo WRAM

Questo metodo è una variante del metodo EES: anch'esso consente di valutare quantitativamente l'impatto ambientale di un progetto o di più progetti alternativi.

Le fasi in cui si articola il metodo sono le seguenti:

- (i) selezione di un gruppo di lavoro interdisciplinare;
- (ii) ricerca e selezione dei fattori ambientali significativi;
- (iii) previsione e valutazione degli impatti;
- (iv) documentazione dei risultati della valutazione.

Individuati i fattori significativi, occorre determinare i RIC (Relative Importance

Coefficients, coefficienti di importanza relativa) che identificano i "pesi" che assumono i diversi fattori nella valutazione.

La tabella seguente mostra la tecnica di confronti a coppie che il metodo utilizza per determinare i RIC.

fattori	assegnazione dei valori d'importanza (confronti a coppie)														$\Sigma$	RIC			
F1	0	1	1	0	0	1												3.0	0.14
F2	1						1	.5	.5	1	1							5.0	0.24
F3		0					0				.5	0	.5	1				2.0	0.09
F4			0					.5			.5			.5	0	1		2.5	0.12
F5				1				.5			1		.5			1	1	5.0	0.24
F6					1				0			.5		1		0	0	3.5	0.17
F7					0					0			0			0	0	0.0	0.00
	totale																	21.	1.00

Tabella 5.2-Coefficienti di importanza relativa

Nell'esempio in tabella sono presenti 6 fattori ambientali di cui uno detto "dummy" F7, il quale, di importanza nulla, è stato inserito per garantire che a qualcuno degli altri fattori non fossero assegnati valori tutti nulli: in pratica esso può essere trascurato, a patto di non introdurre fattori irrilevanti nella valutazione.

Ogni fattore viene confrontato con ciascun altro per determinare quale dei due è più importante per l'area di studio.

Al fattore più importante viene assegnato il valore 1, all'altro il valore 0; quando invece, due fattori sono considerati di importanza equivalente viene assegnato ad entrambi il valore 0.5.

I valori assegnati a ogni fattore vengono quindi sommati e la somma viene divisa per il totale che si ottiene sommando i valori di tutti i fattori. Si noti che questo totale deve sempre essere uguale a  $N(N-1)/2$ , dove N è il numero di fattori (incluso l'eventuale fattore "dummy").

La colonna che riporta i RIC mostra che i fattori non "dummy" sono ordinati per importanza decrescente come segue: al primo posto, a pari merito, F2 e F5; seguono nell'ordine F6, F1, F4 e F3.

Per ogni fattore ambientale viene quindi costruita una tabella nella quale vanno riportati i risultati dei confronti tra le alternative di progetto o di piano che si ottengono applicando la stessa tecnica di confronti a coppie utilizzata per determinare i RIC dei fattori.

La tabella che segue si riferisce a un esempio riportato da Solomon et al. (1977) dove sono confrontati quattro piani di gestione delle acque di un bacino idrografico (A,B,C,D; E e' il piano "dummy").

Piani	CONFRONTI A COPPIE										$\Sigma$	ACC
A	0	.5	1	1							2.5	0.25
B	.5				0	1	1				2.5	0.25
C		1			1			1	1		4.0	0.40
D			0			0		0		1	1.0	0.10
E				0			0		0	0	0.0	0.00
	TOTALE										10	

**Tabella 5.2.1. Coefficienti di importanza relativa relativi ai quattro piani di gestione di un bacino idrografico (Solomon et al 1977)**

I valori ACC (Alternative Choice Coefficients, coefficienti di scelta alternativa) mostrano che il piano C, rispetto al fattore ambientale considerato, è preferibile rispetto agli altri piani (l'analisi ha messo in evidenza che, in rapporto al fattore considerato, il piano C è quello che

produce i benefici maggiori, mentre i piani A e B producono benefici meno importanti e il piano D è quello meno valido). Si noti che in questo caso il piano E ("dummy"), a differenza del fattore F7, non rappresenta lo zero "vero" della scala ma "un piano ipotetico che causa i massimi danni possibili all'ambiente". Per ogni fattore viene compilata una tabella simile a quella sopra riportata e i valori degli ACC sono quindi utilizzati per costruire la matrice dei prodotti finali che consente di determinare un ordine di preferenza dei piani considerati in rapporto alla totalità dei fattori ambientali.

La tabella seguente si riferisce allo stesso esempio di cui sopra, dove il numero di fattori significativi è pari a 5 (il fattore F1 è lo stesso della precedente tabella).

fattori	RIC	ACC (piani)				RIC x		ACC prodotti finali)	
		A	B	C	D	(matrice dei	ACC	prodotti	finali)
		A	B	C	D	A	B	C	D
F1	0.20	0.25	0.25	0.40	0.10	0.05	0.05	0.08	0.02
F2	0.40	0.33	0.00	0.17	0.50	0.13	0.00	0.07	0.20
F3	0.10	0.30	0.30	0.20	0.20	0.03	0.03	0.02	0.02
F4	0.20	0.30	0.30	0.30	0.10	0.06	0.06	0.06	0.02
F5	0.10	0.50	0.17	0.33	0.00	0.05	0.02	0.03	0.00
					totale	0.32	0.16	0.26	0.26

**Tabella5.2.3 Prodotti finali**

Dalla tabella si deduce che il piano migliore è A (RIC x ACC = 0.32).

## **Le critiche al Metodo WRAM**

Il metodo WRAM sembra più flessibile (cioè più adattabile a contesti differenti) rispetto al metodo EES poiché non fissa a priori il numero e il "peso" dei fattori ambientali. Agli attori non tecnici esso risulta generalmente più comprensibile del metodo EES. Nei confronti a coppie il metodo utilizza i valori 0 e 1 (oltre al valore 0.5), cioè dei valori binari che non consentono di valutare differenze di tipo quantitativo. Peraltro questi valori vengono sommati e moltiplicati tra loro, cioè non vengono trattati come elementi binari, ma come valori definiti su una scala di misura quantitativa. Inoltre il metodo è criticabile perché per effettuare i confronti tra piani o progetti introduce un elemento di riferimento "dummy" che è quantomeno ambiguo e di difficile definizione.

I metodi presentati sono quelli maggiormente utilizzati nella valutazione di impatto ambientale, ovvero come supporto alla scelta tra diverse alternative. L'insieme delle tecniche riportate rientrano nel campo delle analisi multicriteriali, è in dubbio quindi per la costruzione di un modello di valutazione nel campo infrastrutturale applicare queste tecniche, pertanto nei paragrafi successivi si sono analizzate le tecniche multicriteriali approfondendone le più adatte a trattare dati qualitativi inevitabili in un progetto infrastrutturale, ovvero capaci di supportare il processo decisionale in maniera più semplice ed affine alla realtà.

### 5.3. Analisi Multicriteria (MCDA)

Per meglio comprendere la famiglia di metodi che rientra nel campo delle analisi multicriteriali è necessario riportare alcune definizioni. Un *obiettivo* è stato definito da Keeney and Raiffa come un'indicazione della direzione preferita di movimento, cosicché quando fissiamo gli obiettivi utilizziamo i termini minimizzare o massimizzare riferendoci alla ricerca della migliore direzione.

Analogamente viene definito il *criterio di giudizio* come elemento da definire per perseguire un obiettivo seguendo una direzione prefissata; risulta quindi indispensabile in un'analisi definire sia gli obiettivi ed i criteri mediante i quali perseguirli, sia gli *attributi*<sup>19</sup> ovvero gli strumenti necessari per misurare le prestazioni di un'azione rispetto agli obiettivi. Ad ogni azione sarà quindi assegnato un punteggio, che sarà sottoposto all'attenzione del decisore e se la fase di scelta, non comporta nessun elemento di rischio ed incertezza il valore misurato individuerà il *valore* dell'azione, altrimenti si parlerà di *utilità*.

Nella realtà è difficile incontrare un problema con un solo obiettivo, infatti, spesso si incorre nella circostanza di soddisfare i diversi obiettivi e di gestire una situazione di conflitto, ovvero di affrontare un problema di ottimizzazione.

In termini matematici, un problema di ottimizzazione di un singolo obiettivo può essere formulato come la ricerca del minimo o del massimo di una funzione di variabili  $(F(x_1, \dots, x_n))$  vincolate da equazioni o ineguaglianze, chiamate vincoli.

---

<sup>19</sup> Si utilizzano analogamente termini come: "impatto", "effetto", "caratteristica". Possono esistere casi in cui esistono un attributo (o un insieme di attributi), detto *Proxy Attribute*, che indirettamente fornisce indicazioni su criterio (e.g., attributi "il rapporto tra il tempo medio di percorrenza e la lunghezza del tragitto", "il numero di utenti medi sui mezzi nelle ore di punta").

Il problema di massimizzare un obiettivo può essere così formulato :  $\max F(x_1 \dots x_n)$  soggetta a  $g_i(x_1 \dots x_n) \leq 0$  con  $i = 1 \dots n$  dove  $x_1 \dots x_n = x$ .

Tra l'insieme di soluzioni possibili quella che soddisfa il massimo o minimo valore della funzione obiettivo è chiamata soluzione ottimale, così come mostrato in figura.



**Figura 5.3.1. Insieme che soddisfano le funzioni obiettivo**

Partendo da queste basi è possibile specificare come un problema di programmazione multiobiettivo sia caratterizzato da un vettore  $p$ -dimensionale di funzione obiettivo:

$$F(x) = [F_1(x), \dots, F_p(x)]$$

Pertanto invece di una singola soluzione ottimale si deve pensare ad un insieme di soluzioni "non dominate", sottoinsieme della regione delle soluzioni possibili. La principale caratteristica di tale insieme di soluzioni non dominate è che per ogni soluzione fuori dall'insieme, vi è almeno una soluzione non dominata per la quale tutte le funzioni obiettivo sono invariate o migliorate, ed almeno una è rigorosamente migliorata. Si deduce che se si passa da una soluzione non dominata ad un'altra non dominata e conseguentemente una funzione obiettivo

migliora, allora una o più tra le altre funzioni obiettivo devono necessariamente decrescere nel loro valore.

La parola ottimizzazione è stata di proposito esclusa dalla definizione di un problema di programmazione multiobiettivo perché non è possibile ottimizzare a priori un vettore di funzioni obiettivo, occorre innanzitutto identificare l'insieme di soluzioni non dominate.

Tra i metodi disponibili per identificare tale insieme, i più noti sono: il metodo dei pesi, il metodo del vincolo  $\epsilon$ , il metodo lineare multiobiettivo di Phillips, il metodo multiobiettivo di Zeleny. Dopo aver identificato l'insieme di soluzioni non dominate per un problema multiobiettivo, un decisore deve essere capace di scegliere una di esse che rispettando i vincoli fisici sia aderente al processo decisionale. In genere per realizzare tale fase si ricorre ad ulteriori metodi di gestione delle funzioni obiettivo, che in base ai valori o alle strutture di preferenza formulano opportuni modelli matematici effettuando un'analisi multi-criteria.

La necessità, è quella di articolare le priorità del decisore così da ridurre l'insieme di soluzioni non dominate ad un uno più piccolo facilitando la fase finale di scelta. Dipendendo dal metodo utilizzato, questo più piccolo insieme di soluzioni può contenere più soluzioni, una soluzione, nessuna soluzione. In ogni caso si arriva ad un ordine delle soluzioni più marcato rispetto a quello rappresentato dall'insieme delle soluzioni non dominate.

Le procedure matematiche di valutazione multicriteriale possono essere classificate secondo le seguenti categorie:

1. tecniche cardinali, che utilizzano le proprietà quantitative dei dati;
2. tecniche di frequenza, che trasformano in maniera diretta il dato in una scala binaria o nominale;
3. modelli di scala, che adattano il dato ad un modello tassonomico definito a priori;

4. tecniche di dati misti, che utilizzano sia dati quantitativi che qualitativi.

Tra le tecniche cardinali rientra quella della somma pesata, l'analisi di concordanza generalizzata, la tecnica dell'indice doppio. Un'importante assunzione di tali tecniche è sicuramente connessa all'utilizzo di caratteristiche quantitative per i pesi ed i punteggi soprattutto dei criteri. Purtroppo, molti problemi di valutazione decisionale si basano su informazioni qualitative (ordinali).

Tra le tecniche di frequenza, invece, le più conosciute sono: l'analisi di concordanza qualitativa, il metodo di interpretazione numerica e la tecnica di permutazione qualitativa. Tali approcci trattano le informazioni qualitative da un punto di vista teorico più sofisticato rispetto le precedenti, anche se non gestiscono in modo ottimale le condizioni relative al tipo di misura dell'informazione. Inoltre, sono meno appropriate all'utilizzo di dati quantitativi, presentando nel contempo un grande limite per quel che concerne la sensibilità dal numero di alternative.

I modelli di scala offrono l'attrattiva possibile di trattare informazioni qualitative, che concernono le scelte e i criteri di priorità, senza violare l'ordinale caratteristica di questi dati. Il principio dei modelli di scala non è difficile da capire intuitivamente: se si vede una valutazione multicriteriale come un processo di classificazione che è espresso in una tassonomia delle varie alternative sotto considerazione, allora un modello di scala può essere visto come una struttura, definita a priori, di questa tassonomia. I principi dei modelli di scala possono essere ricondotti al modello di valutazione geometrica ed ai suoi aspetti algoritmici.

Il limite principale è che possono essere applicati ad un limitato numero di problemi e se si intende ampliare la rosa di alternative è necessario, aumentare il numero di coordinate quantitative in modo da

decrescere il numero di gradi di libertà rendendo meno rigido il sistema e meno adatto a risolvere problemi con molte informazioni qualitative e poche quantitative

Reali applicazioni delle tecniche quantitative con criteri multipli hanno rilevato che questo tipo di analisi è spesso limitata dalla disponibilità di informazioni quantitative, dall'altro lato, un punto critico spesso rivolto riguarda il fatto di utilizzare informazioni quantitative disponibili solo parzialmente (solo le caratteristiche ordinali). Per tali ragioni, sono state sviluppate matrici che contengono in una parte i punteggi quantitativi e nel resto siano caratterizzate dall'assegnazione qualitativa di ranghi.

L'approccio di scala geometrico e l'approccio analitico basato su appropriate coppie di comparazione possono essere considerati i primi due tentativi di tecniche miste, cui è seguito uno sviluppo sempre spinto di modelli che possono trattare senza perdere in consistenza sia le informazioni quantitative che quelle qualitative.

Uno studio teorico delle scelte con più criteri porta a dover distinguere due classi:

Problemi con un insieme di alternative finite e conosciute (problemi espliciti) o problemi dove esistono infinite alternative (impliciti); in questa seconda classe le alternative sono descritte da vettori di variabili di decisione, i criteri sono funzioni matematiche di queste variabili (funzioni obiettivo) ed i vincoli sono equazioni o disequazioni matematiche che definiscono un possibile range di variazione delle variabili. I problemi di tale classe sono individuati come Multiple Objective Mathematical Programming (MOMP).

La distinzione tra problemi espliciti o impliciti è corretta soltanto da un punto di vista teorico, infatti, se l'insieme delle alternative è esplicitamente conosciuto ma eccessivamente ampio si avrebbero gli stessi problemi che si riscontrano nel MOMP.

Da un punto di vista matematico un problema di scelta con criteri multipli deve essere ben chiarito, infatti esso non ha un'unica soluzione, almeno che il decisore non fornisca ulteriori informazioni sulle sue preferenze. L'obiettivo dei metodi che supportano la scelta della migliore alternativa è trovare un'efficiente alternativa che soddisfi maggiormente le preferenze del decisore. Questa ad esempio, potrebbe essere il miglior compromesso tra i criteri fissati. La ricerca di tale compromesso richiede naturalmente cooperazione del decisore per conoscere le sue preferenze, la cui acquisizione richiede un'articolazione delle stesse "a priori", "a posteriori", o "progressiva".

La progressiva articolazione ha dato origine a metodi interattivi, riconosciuti come i più potenti approcci per la ricerca del miglior compromesso in un ampio insieme di alternative.

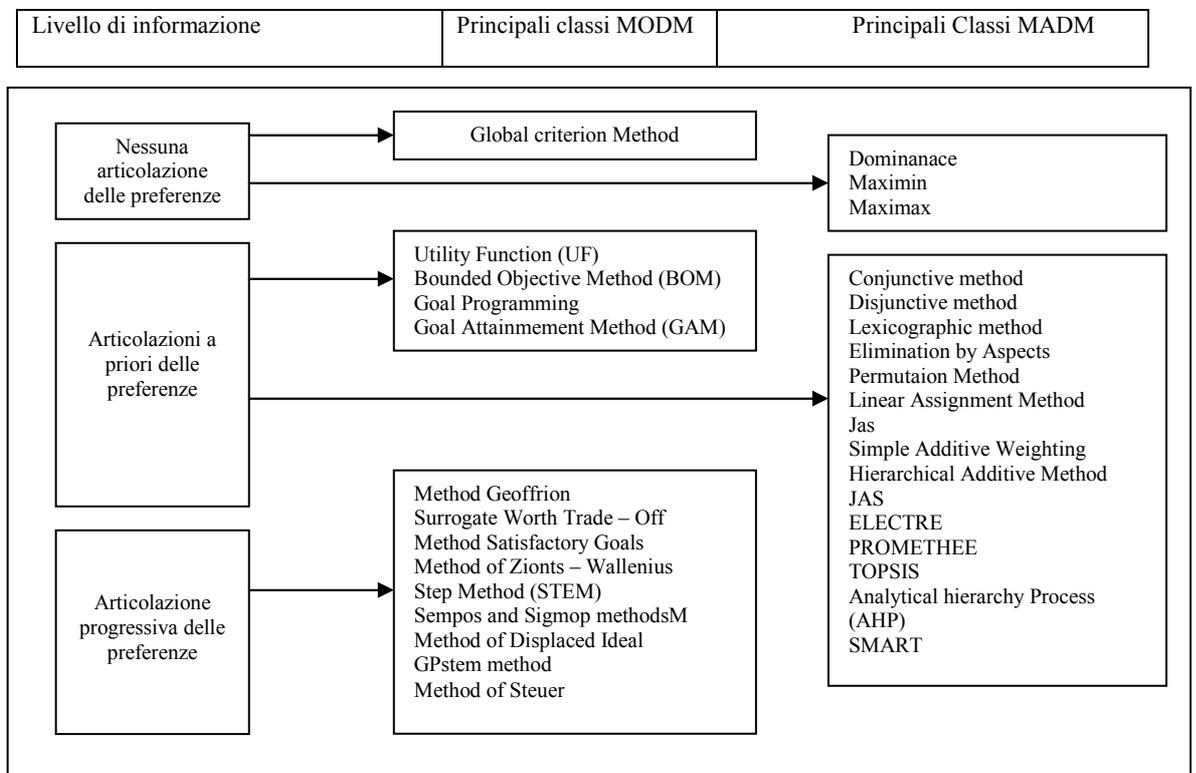
I metodi che articolano a priori le preferenze richiedono che il decisore specifichi i propri giudizi di valori che poi vengono tradotti in una particolare scelta, tale approccio, è particolarmente pertinente quando è necessario giustificare le scelte in maniera completa e razionale.

I metodi invece, che governati da una progressiva articolazione delle preferenze, o da una definizione "a posteriori" delle stesse, permettono al decisore di esplorare lo spazio delle decisioni in maniera sistematica, senza dover specificare a priori alcuna preferenza. Tutto ciò si dimostra più efficiente e richiede assunzioni meno ampie relativamente alla struttura delle preferenze, ma è anche maggiormente soggetto a manipolazioni da parte dell'utente quindi meno difendibile quando le soluzioni devono essere giustificate.

L'impatto delle decisioni connesse alla scelta del tracciato viste la molteplicità dei fattori coinvolti quali: l'ambiente, l'economia e la tecnica, suggeriscono di individuare come ausilio al decisore un metodo che permetta di giustificare razionalmente le decisioni prese, quindi la ricerca deve essere direzionata verso i metodi appartenenti alla prima categoria.

In tale ambito, in linee generali è possibile distinguere metodi continui e discreti con un'articolazione a priori delle preferenze, in funzione del dominio delle alternative. I metodi continui sono connessi con variabili di decisione di tipo continuo e conseguentemente una situazione di scelta si riferisce ad un infinito numero di alternative. I metodi discreti, invece, sono connessi con variabili di decisione di tipo discreto e così una scelta è correlata con un numero finito di alternative. Hwang [50] fornendo una completa tassonomia dei metodi esistenti distingue le differenti modalità di analisi in:

1. Multiple Attribute Decision Making MADM, con un numero discreto di alternative prespecificate che richiedono una comparazione tra i vari attributi e la determinazione di implicite o esplicite soglie;
2. Multiple Objective Decision Making MODM, utilizzato in alcuni casi per indicare i metodi MADM, viene ormai inteso in senso più ampio includendo anche i MODM.



In questo contesto è possibile inserire le tre più importanti scuole di approfondimento MCDM degli ultimi 25 anni:

- *L'approccio del sistema di valori* (scuola americana, Keeney, Raiffa, etc.), che ha l'obiettivo di costruire un sistema di valori che aggrega le preferenze del decisore su criteri basati su rigide assunzioni (relazioni di preferenze complete e transitive)
- L'approccio della scuola francese (Roy, Bouyssou, Vinke etc), che utilizzando un approccio non compensatorio, ha come obiettivo la costruzione di una relazione di "autranking relation", che permetta la comparazione tra le azioni. Essa non è limitata ad un modello matematico ma implementa un processo di deduzione a supporto del decisore per giungere alla migliore soluzione.
- L'approccio dell'ottimizzazione multiobiettivo (Zeleny, Jacquet etc) che consiste in un'estensione degli approcci di programmazione matematica al fine di risolvere problemi in cui le variabili non sono discrete e gli obiettivi sono più di uno.

In letteratura è possibile trovare innumerevoli riferimenti bibliografici che analizzano le prestazioni di moltissimi metodi in maniera assoluta o comparandoli con altri per arrivare quasi sempre alla conclusione che è estremamente difficile poter rispondere a qual è il metodo più appropriato per un dato problema o quali sono i vantaggi/svantaggi di utilizzare un metodo invece che un altro.

Nell'ambito della ricerca, considerato l'obiettivo che si intendeva perseguire, ovvero la scelta del miglior tracciato stradale, si è inteso approfondire solo alcuni dei metodi MCDM. Tale scelta è dipesa fortemente sia dall'analisi della bibliografia esistente, sia dalle considerazioni proprie della teoria dell'analisi del valore. Nel proseguo pertanto, si riportano alcuni dei metodi più significative per la ricerca

affrontata, per poi definire nel capitolo successivo alcune applicazioni dedicate alla scelta del tracciato.

## 5.4 Metodi ed Applicazioni

In generale per impostare e risolvere un problema multicriteriale si seguono i seguenti step:

- 1 Inizializzazione (definizione del problema)
- 2 Formulazione del problema (specifica degli attributi o obiettivi e dei criteri)
- 3 Costruzione del modello (identificazione delle variabili decisionali, vincoli, formalizzazione di proprietà strutturali, uso di tecniche di rappresentazione come grafi)
- 4 Analisi, valutazione e decisione (generazione dell'insieme delle alternative ammissibili e stima dei valori degli attributi o obiettivi; raccolta di informazioni sullo stato (state of nature) e dei giudizi di preferenza del decisore(i)); definizione di una decisione
- 5 Implementazione (attuazione) della decisione e rivalutazione della decisione (eventuale iterazione del processo).

Nelle prime fasi (inizializzazione, ma soprattutto formulazione) la definizione degli obiettivi e degli attributi può avvenire attraverso un processo di brainstorming<sup>20</sup>, ovvero progressivamente (top-down) per mezzo di una struttura gerarchica.

Pertanto è necessario tradurre il sistema di preferenze del decisore, al fine di individuare anche la decisione di compromesso (best compromise solution/decision).

---

<sup>20</sup> Ampiamente descritto nei capitoli dedicati all'Analisi del Valore

In pratica si definiscono, in base al problema ed alla gerarchia delle preferenze:

- obiettivi/attributi
- criteri;
- Regola decisionale (decision rule)<sup>21</sup>;

Determinando poi la rosa di alternative e selezionando la migliore; ovvero:

$$\max F(x) = [f_1(x) \dots f_k(x)]^T$$
$$x \in X \subseteq R^n$$

Dove:

$x$  = vettore delle variabili decisionali

$f_j(\cdot)$  = j-mo obiettivo

$X$  = insieme delle alternative ammissibili

Una soluzione ammissibile (alternativa) è efficiente (Pareto Ottima)  $x^0 \in X$  se solo se non esiste  $x \in X$  tale che  $f_j(x) \geq f_j(x^0)$  per ogni  $J \in K = \{1 \dots k\}$   $f_j(x) \neq f_j(x^0)$  per almeno un  $j$  dell'insieme  $K$ .

Sostanzialmente si parla di alternative efficienti quando non esiste un'altra alternativa ammissibile in grado di produrre un miglioramento rispetto ad un obiettivo senza peggiorarne almeno un altro.

Il problema multicriterio viene, quindi, definito per mezzo di una matrice tale da descrivere le diverse alternative che sono oggetto della scelta.

In generale sono presenti  $m$  alternative  $A_i$ ,  $i=1, \dots, m$ , definite per mezzo di  $n$  attributi  $x_j$ ,  $j=1, \dots, n$ , il valore assunto dall'attributo  $x_j$  di un'alternativa  $A_i$  è indicato con  $x_{ij}$ , in tal modo l'alternativa viene definita per mezzo del valore assunti dagli attributi  $A_i = [x_{i1}, \dots, x_{in}]$ .

---

<sup>21</sup> Ad esempio minimizzare il costo di acquisto, l'emissione inquinante etc etc.

La matrice delle decisioni  $D$  è una matrice  $m \times n$  tale che  $D = [x_{ij}, i=1, \dots, m; j=1, \dots, n]$ . L'insieme delle alternative (la matrice  $D$ ) è determinato dall'analisi del problema decisionale (individuazione dei criteri ed attributi, selezione di un insieme di alternative candidate, valutazione dei valori degli attributi per le alternative).

In generale l'esito di una decisione (azione) dipende dal contesto in cui la decisione viene implementata:

- Decisioni in condizioni di certezza (contesto deterministico);
- Decisioni in condizioni di rischio (aleatorietà ma nota la probabilità);
- Decisioni in condizioni di incertezza (aleatorietà e non note le probabilità);

Ed in funzione delle regole decisionali:

- Optimizing rule (stabilire un ordinamento completo tra tutte le alternative - l'ottimo)
- Satisficing rule (determinare un'alternativa soddisfacente senza ottimizzare globalmente)

Consideriamo di essere in condizioni di certezza e supponiamo che un ente debba decidere il tracciato di una nuova infrastruttura stradale tra quattro possibili alternative, definendo nel contempo un ordinamento.

Supponiamo poi di individuare sei attributi rispetto ai quali misurare le prestazioni dei diversi tracciati:

- \*  $x_1$  = tempo di percorrenza (h ore);
- \*  $x_2$  = grado di tortuosità (numero di  $A_i$ /km);
- \*  $x_3$  = costo (costo del ciclo di vita : progettazione, costruzione ed esproprio) (M€);

- \* x4 = impatto sul paesaggio (espresso in una scala qualitativa);
- \* x5 = sicurezza (espressa in una scala qualitativa)<sup>22</sup>;

Agli attributi qualitativi si è assegnata una scala di valori qualitativa: molto basso, basso, medio alto, molto alto.

La matrice delle decisioni è pertanto la seguente:

	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>	<b>X5</b>
<b>A</b>	2.0	1.5	5.5	Medio	Alta
<b>B</b>	2.5	2.7	6.5	Basso	Media
<b>C</b>	1.8	2.0	4.5	Alto	Media
<b>D</b>	2.2	1.8	5.0	Medio	Media

**Tabella5.4.1. Matrice delle Decisioni**

Come si nota non c'è un'alternativa che è chiaramente la migliore ed inoltre non tutti gli attributi sono numerici è necessario, pertanto, effettuare una scalarizzazione di quelli qualitativi.

In generale gli attributi possono essere forniti in una delle seguenti scale:

- scala nominale (identificatori)
- scala ordinale (ordinamento tra gli identificatori)
- scala di intervalli (significativa differenza tra i valori)
- scala di rapporti (invarianza rispetto al rapporto tra i valori di scale per la stessa misura origine).

---

<sup>22</sup> Alcuni studi condotti hanno consentito mediante l'applicazione di alcuni modelli di incidentalità (Chrisman – Marchionna, Biasuzzi etc..) valutare in funzione delle caratteristiche della strada il numero di incidenti, in questo caso si sarebbe potuto inserire un valore quantitativo per tale indicatore.

In questo caso gli attributi qualitativi possono essere scalarizzati associandoli ad una scala di intervalli arbitraria che ne conservi l'ordine, una metodologia può essere quella fuzzy<sup>23</sup> ad esempio Molto Basso [0,2], Basso [2,4], Medio [4,6], Alto [6,8], Molto Alto [8,10]. Su tali intervalli è stata definita una funzione di Membership che centrata sul valore centrale specifica la corrispondenza tra numero e valore qualitativo.

	X1	X2	X3	X4	X5
A	2.0	1.5	5.5	5.0	9
B	2.5	2.7	6.5	3.0	5.0
C	1.8	2.0	4.5	9.0	5.0
D	2.2	1.8	5.0	5.0	5.0

Tabella5.4.2. Matrice Scalarizzata

Non esistono nell'esempio alternative dominate, si ricorda il concetto di dominanza tra due alternative discrete , ed in particolare date due alternative  $A_i$  e  $A_k$  ,  $A_i$  domina  $A_k$  ( $A_i > A_k$ ) se solo se  $x_{ij} > x_{kj}$  per ogni  $J = 1...n$  (attributi misurano tutti dei benefici).

### Il concetto di compensazione

La compensazione tra due attributi esprime la possibilità nella valutazione di un'alternativa di compensare un valore "non buono" di un attributo con un valore "buono" di un altro. Quando il DM (Decision Maker) accetta la compensazione tra due attributi è possibile definire un trade -off tra essi, ovvero una misura dello scambio, ad esempio si è disposti ad aumentare il tempo di percorrenza per evitare di spenderne dell'altro in coda.

<sup>23</sup> Successivamente si è dedicata un'applicazione della teoria fuzzy ed alle tecniche multicriteriali.

## Analisi di dominanza

Nell'analisi di dominanza non esistono informazioni fornite dal decisore, pertanto dalla matrice della decisione si eliminano le alternative non dominate e si propongono le rimanenti al D.M..

### MAXIMIN

Ciascuna alternativa viene rappresentata dal valore dell'attributo peggiore (caratteristica più debole) e si seleziona l'alternativa con il migliore tra tali valori secondo un approccio pessimista, senza consentire il trade - off.

Per l'applicazione di tale tecnica è necessario, sia che gli attributi siano commensurabili, ovvero misurati rispetto ad una scala comune; sia che questi vengono normalizzati secondo una particolare scala in  $r_{ij}$  compresi tra  $[0,1]$ .

$$A^* = \left\{ A_i : i = \arg \max_i \left[ \min_j x_{ij} \right] \right\}, i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$$

Esistono diverse possibilità di normalizzare se ne riportano alcune:

a)  $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \text{ dove } x_j^{\max} = \max_i x_{ij}$  in una scala di benefici

questa normalizzazione sposta il valore verso 1;

b)  $r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}$  in una scala di costi sposta il valore

verso 0

c)  $\text{ponendo } x_{ij} \leftarrow \frac{1}{x_{ij}} \rightarrow r_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} \text{ dove } x_j^{\min} = \min_i x_{ij}$  in

una scala di costi sposta il valori verso 1;

d)  $r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$  una scala di benefici risulta

equidistribuita;

e)  $r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$  in una scala dei costi risulta

equidistribuita;

f)  $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$  in una scala di benefici,

normalizzazione vettoriale, ampiezze diverse, per i costi sostituire con la c)

Ritornando all'esempio precedente, normalizzando rispetto al primo dei metodi si ottiene:

	X1	X2	X3	X4	X5
A	0.8	0.56	0.95	0.71	1.0
B	1.0	1.0	0.86	0.43	0.56
C	0.72	0.74	1.0	1.0	0.78
D	0.88	0.67	0.95	0.71	0.56

Tabella5.4.3. Matrice Normalizzata

	X1	X2	X3	X4	X5	
A	0.8	0.56	0.95	0.71	1.0	→
B	1.0	1.0	0.86	0.43	0.56	
C	0.72	0.74	1.0	1.0	0.78	
D	0.88	0.67	0.95	0.71	0.56	
						Xmin
						0.56
						0.43
						0.72
						0.56

Tabella5.4.4. Selezione Alternativa

I diversi metodi di normalizzazione presentano, tuttavia alcune incongruenze, in particolare:

- *Min-max*. Questo metodo normalizza i valori nell'intervallo tra 0 e 1, estremi compresi, non lascia, quindi, inalterati né i rapporti né le differenze tra gli elementi, tende piuttosto ad aumentarne la dispersione. Il fatto che i valori 0 e 1 siano sempre presenti si perde l'informazione su quanto valga l'alternativa migliore o peggiore per ogni criterio.
- *Zero-max*. Questo metodo assegna valore 1 all'alternativa migliore ma non zero alla peggiore e quindi si riescono a mantenere inalterati i rapporti.
- *Somma*. Questo metodo consiste nella divisione dei valori per la loro somma, mantiene quindi inalterati sia le differenze che i rapporti e la somma di tutti i valori normalizzati risulta uguale a 1.

### **MAXIMAX**

L'altro metodo dell'analisi di dominanza è il MAXIMAX. In tale tecnica, ogni alternativa viene rappresentata dal valore dell'attributo migliore (caratteristica più forte) e si seleziona l'alternativa con il migliore dei valori secondo un approccio ottimista.

L'insieme delle alternative selezionate

$$A^* = \left[ A_i : i = \arg \max_i \left[ \max_j x_{ij} \right] \right] \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

Anche in questo caso gli attributi devono essere commensurabili e non si ammette il trade -off

X <sub>max</sub>
1.0 (x <sub>3</sub> )
1.0 (x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> )
1.0 (x <sub>3</sub> , x <sub>4</sub> )
0.95 (x <sub>3</sub> )

Tabella5.4.5. Selezione Alternativa

### Procedura di Hurwicz

Tale tecnica risulta un compromesso tra MAXMIN e MAXIMAX

$$A^* = \left\{ A_i : i = \arg \max_i \left[ \left( \alpha \cdot \min_j x_{ij} + (1 - \alpha) \cdot \max_j x_{ij} \right) \right] \right\}$$

con  $\alpha$  compreso tra zero ed 1 si evince facilmente, che ponendo  $\alpha$  pari a zero si arriva il maximax, ponendo invece  $\alpha$  pari ad 1 si ottiene il maximin.

Analizziamo adesso i metodi multicriterio che utilizzano le informazioni degli attributi, ovvero le tecniche in cui il D.M. indica un insieme di livelli di accettabilità degli attributi.

### Metodo Congiuntivo

Livelli standard  $x_j^0$  per  $j \in S \subseteq \{1, \dots, n\}$ , se assumiamo che tutti gli attributi sono dei benefici, allora un'alternativa risulta accettabile se solo se  $x_{ij} \geq x_j^0$  per  $j \in S$ . Anche per applicare tale metodologia è necessario che gli attributi siano normalizzati e che le scale siano almeno ordinali<sup>24</sup>. Se consideriamo ad esempio la seguente matrice delle decisioni:

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
A	2.0	1500	2000	5.5	Media	Molto Alta
B	1.0	2700	1800	6.5	Bassa	Media
C	1.5	2000	2100	4.5	Alta	Alta
D	3.0	1800	2000	5.0	Media	Media

ed i livelli standard sono i seguenti:

$x^0 = (2.0, 1500, 2000, 5.0, \text{Media}, \text{Media})$  allora l'unica alternativa accettabile è la D.

### Metodo Disgiuntivo

Un'alternativa  $A_i$  è considerata accettabile se solo se per almeno uno suo attributo si ha  $x_{ij} \geq x_j^0$  assumendo sempre che tutti gli attributi siano dei benefici e considerando i seguenti livelli standard  $x^0 = (2.4, 2500, 2100, 4.5, \text{Molto Alta}, \text{Molto Alta})$ , relativamente alla matrice decisionale precedente, allora tutte le alternative sarebbero accettate.

---

<sup>24</sup> Per informazione ordinale, il decisore definisce l'importanza relativa tra gli attributi, senza però dare un'informazione quantitativa.

## Metodo Lessicografico

Il decisore ordina gli attributi in funzione della loro importanza ad esempio  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , con le alternative  $A_i$  con  $i = 1 \dots m$ .

Il metodo procede iterativamente restringendo l'insieme delle alternative, considerando un attributo alla volta secondo l'ordine fissato.

Passo 0:  $K = 0, I^0 = 1$

Passo 1:  $K = 1, I^1 = \left\{ i : i = \arg \max_{h \in I^0} x_{h1} \right\}$  se  $|I^1| = 1$  si finisce, altrimenti si va al passo 2.

Passo - r mo (generico):  $k = r, I^r = \left\{ i : i = \arg \max_{h \in I^{r-1}} x_{hr} \right\}$   $|I^r| = 1$  fine, altrimenti vai al passo  $r+1$

L'iterazione termina comunque quando  $k = n$

- Se  $|I^n| \geq 1$  le alternative  $A_i, i \in I^n$
- Gli attributi non devono essere commensurabili; sono considerati equivalenti.
- Limitato uso dell'informazione disponibile

Per tale metodo esiste una variante detta di intervalli di indifferenza, se ad

esempio esistono tre alternative e due attributi rappresentativi di benefici

	$X_1$	$X_2$
$A_1$	2	6
$A_2$	3	4
$A_3$	4	2

in cui  $x_1$  è più importante di  $x_2$  e l'intervallo di indifferenza  $A = 1$ , se consideriamo  $x_1$  si conclude che  $A_3 \approx A_2$ , quindi considerando  $x_2$  la scelta è  $A_2$ . L'esempio mette in evidenza un comportamento anomalo se si confrontano a due a due le alternative.

### **Metodo dell'eliminazione per aspetti**

Tale metodo rappresenta una via di mezzo tra il metodo congiuntivo e quello lessicografico, ed in particolare il decisore fornisce dei livelli di accettabilità per gli attributi e ordina gli attributi in funzione della loro importanza.

Si esaminano quindi, le alternative considerando gli attributi nell'ordine e si eliminano le alternative che non superano i livelli indicati.

Infine si riscontra l'esistenza di metodi che si basano sull'informazione cardinali, ovvero definiscono l'importanza tra gli attributi mediante dei pesi.

### **Il Goal Programming(GP) (MODM)**

Lo studio dei principali metodi continui ha evidenziato una teoria estremamente efficace, ma necessita di disporre di numerose e precise informazioni. Le metodologie più diffuse sono rappresentate dal Goal Programming (GP) ed dalle funzioni di utilità (UF).

Nel metodo GP tutti i criteri del Modello sono identificati, ognuno è definito mediante una funzione lineare rappresentante un obiettivo cui viene assegnato dal decisore un target per rappresentare il livello desiderato dell'obiettivo.

Le deviazioni non desiderate da questi target vengono allora minimizzate mediante una funzione la cui natura dipende al tipo di GP implementato.

La maggior parte delle applicazioni GP utilizzano due distinti tipi di modello, nel primo tipo, noto come GP pesato tutte le deviazioni non

desiderate vengono espresse mediante pesi e minimizzate con una funzione che è la somma di tali pesi. Nel secondo modello conosciuto come GP lessicografico, alle deviazioni non desiderate viene associato un diverso livello di priorità in accordo con le preferenze del decisore, con le deviazioni in un più alto livello di priorità che sono considerate più importanti al livello più basso.

Hwang afferma che il vantaggio più grosso dei metodi GP è che il decisore non deve specificare un peso numerico per gli obiettivi, ma ha la necessità di effettuare soltanto un'assegnazione ordinale. Anche se ciò implica un'assunzione dei valori limite molto rigorosa ed eccessivamente sensibile al vettore degli obiettivi e delle preferenze espressi dal decisore. D'altronde è da molti affermato che l'efficacia di un GP è insita nell'abilità dell'analista di comprendere gli elementi essenziali di un problema e formulare questi target e vincoli. La prioritizzazione nella scelta del tracciato è rappresentativa di una situazione in cui il decisore deve scegliere tra un numero finito di alternative da valutare in base ad un insieme di non commensurabili criteri: per tale ragione il contesto della scelta del metodo più adatto è stato ulteriormente limitato ai metodi discreti.

## Funzioni Utilità (Utility Function UF)

I metodi che utilizzano le funzioni di utilità associano ad ogni alternativa  $a$  un numero che riflette la sua desiderabilità. Tale numero  $v(a)$  è in genere definito sulla base di valutazioni di tutti i criteri correlati mediante una funzione di aggregazione, la cui definizione richiede una grossa quantità di informazioni.

Un'analisi condotta con tale metodologia è caratterizzata in una prima fase dall'individuazione di tutti gli attributi che rappresentano l'intera problematica progettuale e, dalla verifica che tali attributi siano indipendenti<sup>25</sup>. Per ogni attributo viene definito il livello di interesse, che determina l'opportuno posizionamento all'interno della gerarchia degli obiettivi e viene studiata, mediante la collaborazione dei tecnici con il decisore; così come è riportato in figura seguente. L'impossibilità di definire con esattezza l'andamento<sup>26</sup> dell'utilità di un attributo induce spesso a modellare le funzioni in forma lineare .

La combinazione pesata delle funzioni utilità dei singoli attributi fornisce la funzione di utilità multiattributo. Ogni funzione di utilità sarà caratterizzata da una scala specifica, anche se un fattore di normalizzazione assicurerà la consistenza tra le numerose funzioni di utilità dei singoli attributi e la funzione di utilità multiattributo che varierà sempre tra 0 ed 1.

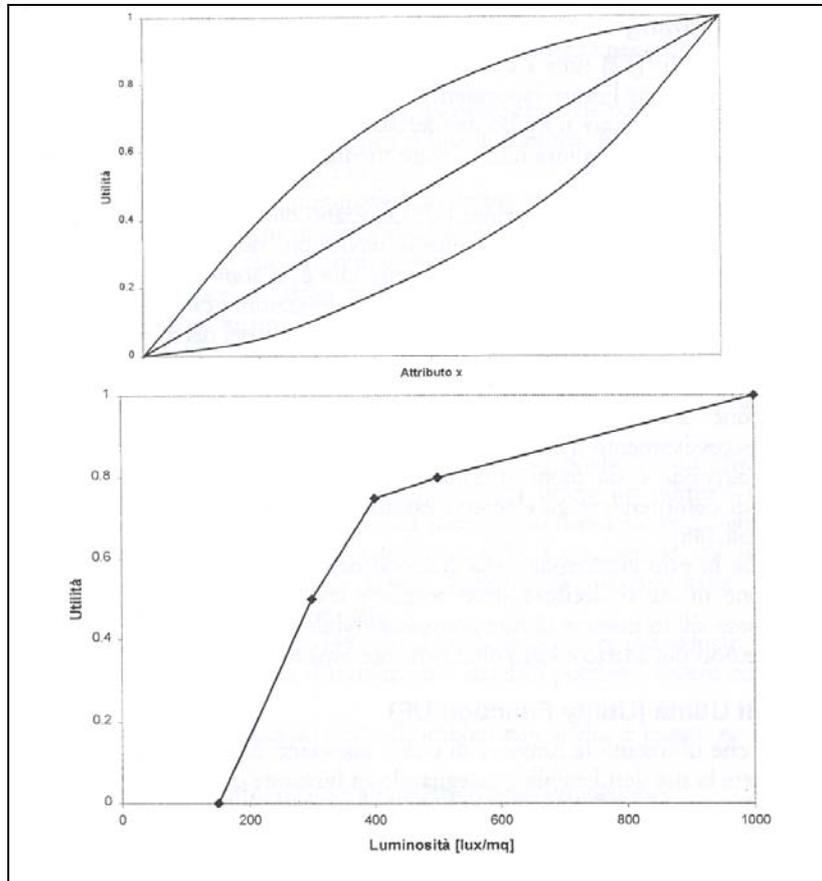
---

<sup>25</sup> Il metodo si basa sulla condizione di separabilità ed additività. Condizione necessaria e sufficiente per la separabilità è la mutua indipendenza preferenziale dei criteri, ovvero l'ordine preferenziale tra due qualsiasi valori dell'indicatore non dipende dai valori assunti dagli altri indicatori., non risulta quindi dipendente dal valore assunto dall'indicatore sull'altro criterio.

Nel caso di almeno tre criteri la mutua indipendenza è anche condizione necessaria e sufficiente per l'additività, nel caso di due criteri vale solo come condizione necessaria, pertanto è necessario verificare un'altra condizione detta di regolarità degli incrementi.

<sup>26</sup> In genere non essendo possibile quantificare l'utilità in valore assoluto si utilizza una scala adimensionale, con campo di variabilità compreso tra due valori arbitrari, generalmente (0 – 1) e l'associazione di una funzione valore ad un indicatore consente la trasformazione dell'indicatore in un corrispondente obiettivo da massimizzare. La stima delle funzioni utilità è possibile in letteratura consultando lavori analoghi e valutandone la compatibilità oppure possono essere stimate per punti definendo l'intervallo di esistenza e costruendo l'andamento in funzione delle preferenze del decisore.

L'alternativa di progetto con la più alta utilità viene selezionata in quanto espressione delle maggiori preferenze.



**Figura 5.3.3. Tipologia di Funzione Utilità**

I metodi che utilizzano le funzioni utilità permettono di trattare tutti gli attributi specifici in maniera indipendente, sono facilmente implementabili in specifici software, integrano sistematicamente le preferenze non lineari nel processo di selezione del progetto, risolvono l'incertezza correlata con le prestazioni attese di ogni attributo con il calcolo dell'utilità prodotta.

## 5.5 I Metodi ELECTRE

Le relazioni di Outranking

In tali metodi è possibile distinguere due fasi, quella di costruzione in cui sono costruite una o più "outranking relations" e quella di "utilizzo" in cui tali relazioni sono utilizzate per arrivare ad un'assegnazione dei ranghi delle alternative.

Partendo da un insieme finito di alternative valutate sulla base di alcuni criteri, la fase di costruzione è caratterizzata dal comparare a due a due le alternative prendendo in considerazione tutti i criteri. Tutto ciò, è realizzato in modo da non permettere una compensazione illimitata di grosse "condizioni sfavorevoli" (procedura non compensatoria), riconoscendo, inoltre che piccole differenze di valutazione non sono sempre significative.

L'incomparabilità delle alternative può essere considerata solo mediante un modello relazionale.

Espressione di quanto detto, sono appunto, le relazioni di outranking. Queste relazioni, nella maggior parte dei metodi, sono costruite utilizzando un principio di concordanza - discordanza: un'alternativa è "almeno buona" oppure "è sufficiente in maggioranza" rispetto ai criteri che supportano questa proposizione (principio di concordanza e l'opposizione della minoranza dei criteri non è troppo forte (principio di discordanza).

L'utilizzo di tali relazioni è strettamente vincolato alla tecnica selezionata. Ecco che la fase di utilizzo può prendere la forma di una selezione di sottoinsiemi di alternative o dell'assegnazione dei ranghi a tutte le alternative o ancora della suddivisione delle alternative in categorie differenti.

L'analisi teorica di tale fase è stata affrontata da numerosi studi, che hanno caratterizzato le proprietà delle relazioni di outranking, mediante formulazioni matematiche rese ancor più complesse dal fatto

che spesso ci si trova di fronte a relazioni binarie transitive non necessariamente complete.

Al fine di capire in cosa consiste l'approccio di outranking e che tipi problema possono essere affrontati con esso, è necessario specificare quali sono le ipotesi di base che caratterizzano tali relazioni.

Si considera un insieme  $A$  di azioni alternative che non sono necessariamente esclusive e si definisce una famiglia  $F$  di  $n$  criteri  $g_j$ . Ciò significa che le preferenze di chi è coinvolto nel processo decisionale sono trasformate in punti di vista adeguatamente espressi dai criteri e la  $F.g_j(a)$  rappresenta la prestazione di  $a$  rispetto  $j$ -mo criterio. Non è limitativo supporre che  $g_j(a)$  sia un numero anche se riflette una valutazione qualitativa e che  $\forall a' \in A$  ed  $\forall a \in A, g_j(a') \geq g_j(a)$  implica che  $a'$  è almeno buona quanto  $a$  rispetto al solo criterio o punto di vista  $j$ -mo.

Fissando per esempio il criterio  $k$ , l'imprecisione e/o l'incertezza e/o l'inaccurata determinazione delle prestazioni possono portare a giudicare:

$a'$  indifferente ad  $a$  quando

$$g_j(a') = g_j(a) \forall j \neq k \text{ anche se } g_k(a') = g_k(a)$$

$a'$  è strettamente  $g_j(a') = g_j(a) \forall j \neq k$  preferita ad  $a$  quando solo se la differenza  $g_k(a') - g_k(a)$  è sufficientemente significativa.

Il problema è relativo all'importanza del criterio  $g_k$  ed evidenzia un problema analogo a quello tra carte geografiche e territori. Le carte geografiche non sono territori: il vettore delle prestazioni  $g(a) = [g_1(a) \dots g_n(a)]$  è come la carta geografica del territorio rappresentante l'azione  $a$ .

L'obiettivo è quello di comparare i territori, ma per farlo tramite le carte geografiche è necessario che quest'ultime non differiscano di molto dai territori.

Coloro che sono coinvolti nel processo decisionale non avranno mai lo stesso giudizio, ma la realizzazione di un modello di preferenze implica la

necessità di riferirsi ad un unico decisore. Questa può, quindi, essere una persona reale o un'entità astratta che riassume un gruppo decisionale ed in tale caso il modello non sarà un'accurata descrizione del pensiero ma soltanto l'espressione di un sistema di preferenze. Sotto queste condizioni, il modello di preferenze può permettere di tenere in considerazione esitazioni tra due delle tre seguenti classi:

$a' I a$  :  $a'$  è indifferente ad  $a$ ;

$a' P a$  :  $a'$  è strettamente preferito ad  $a$ ;

$a P a'$  :  $a$  è strettamente preferito ad  $a'$

in accordo con questo tipo di esitazioni si parlerà di debole preferenza espressa mediante la relazione Q:

$a' Q a$  se l'esitazione è tra  $a' I a$  e  $a' P a$  ovvero si è sicuri che non è  $a P a'$

$a Q a'$  se l'esitazione è tra  $a' I a$  e  $a P a'$  ovvero si è sicuri che  $a' P a$ ;

infine esiste l'incomparabilità tra due azioni e questa viene espressa dalla relazione R:

-  $a' R a$  se esiste l'esitazione tra  $a' P a$  e  $a P a'$ .

Tale esitazioni possono essere causate dall'esistenza nel pensiero del DM di zone di incertezza, conflitti, contraddizioni, dalla non eccelsa qualità dello stesso, o ancora dal fatto che chi ha costruito il modello non conosce il DM come effettui i confronti tra  $a$  ed  $a'$ . Tali condizioni differenziano totalmente le metodologie basate sulle relazioni di outranking da quelle degli approcci AHP e MAUT. Infatti, queste ultime basano il modello delle preferenze sull'esplicitazione di una funzione valore o utilità  $v(a)$ , aggregando gli  $n$  criteri in modo che nel pensiero del DM corrisponda:

$a' I a \rightarrow v(a') = v(a)$ ;

$a' P a \rightarrow v(a') > v(a)$ .

Le assunzioni fatte sopra non sembrano immediatamente compatibili con un tale modo di modellare. Questa è una delle ragioni che portano alla formulazione del concetto di outranking.

I metodi basati su tali relazioni cercano di ricostruire un comportamento molto simile alla realtà, prevedendo sia il verificarsi della situazione in cui il decisore non sia in grado di realizzare un confronto tra alternative, sia la possibilità di non far valere la condizione di transitività.

La comparazione delle alternative è effettuata sulla base di confronti a coppia delle stesse invece di costruire per ogni alternativa una valutazione numerica su una scala comune come avviene per la teoria dell'utilità. Ad ogni criterio  $g_j$  è possibile associare una relazione specifica di outranking  $S_j$ . In particolare la  $S_j$  è una relazione binaria, tale che l'affermazione  $a' S_j a$  implica che i valori delle prestazioni  $g_j(a')$  e  $g_j(a)$  forniscono un argomento sufficientemente forte per considerare che la seguente affermazione è vera nel modello di preferenze del DM:  $a'$ , rispetto al  $j$ .mo criterio è almeno buona quanto  $a$  il che vuol dire che  $a'$  non è peggio di  $a$ .

In tale ambito è opportuno introdurre una soglia di indifferenza  $q_j$ , associata con  $g_j$  come numero reale positivo tale che (concetto del pseudo criterio):

$a' I a \rightarrow g_j(a') - g_j(a) \leq q_j$  in termini generali permette di scrivere che  $a' S_j a \rightarrow g_j(a') \geq g_j(a) - q_j$

Generalizzando si può dire che una relazione di outranking  $S$  è una relazione binaria, tale che l'affermazione  $a' S a$  implica che i valori delle prestazioni in  $g(a')$  e  $g(a)$  forniscono un argomento sufficientemente forte per considerare che la seguente affermazione è vera nel modello delle preferenze del DM:  $a'$ , con rispetto agli  $n$  criteri, è almeno buona quanto  $a$ .

La natura delle condizioni che devono essere soddisfatte per rendere valida l'asserzione  $a' S a$  può essere influenzata da molti fattori, tra i quali:

1. il grado di importanza del criterio preso in considerazione in  $F$ ;
2. la natura dei concetti base utilizzati: concordanza, discordanza, rapporto di sostituzione, intensità di preferenza;
3. la natura delle informazioni "inter-criterio" richieste;
4. la forza degli argomenti richiesti.

La varietà delle possibili opzioni relative ad ognuno di questi fattori spiega perché non esiste un solo miglior procedimento di formulazione delle condizioni che devono essere soddisfatte per rendere valida la relazione  $a' S a$ .

Il più noto degli approcci che utilizza relazioni di outranking è il metodo ELECTRE (ELimination Et ChioX Traduisant la Réalité), algoritmo multicriteriale introdotto dalla scuola francese e diffuso maggiormente in Europa, di cui sono state sviluppate più versioni.

Essi nascono dall'idea che i rigorosi assiomi matematici sono inadatti a descrivere una realtà complessa come quella del processo decisionale ricco di contraddizioni elementi cardine del processo. Con tali metodi si cerca di rendere il più possibile vicino il processo decisionale simulato con quello reale. La differenza principale rispetto agli altri metodi multicriteriali come precedentemente descritto è la non compensazione, ovvero le metodologie precedenti consentono nel confronto di due alternative di poter compensare la perdita di prestazione di un'alternativa rispetto ad un criterio con il guadagno della stessa rispetto agli  $n-1$  criteri, invece tali metodi prevedono l'esistenza di incomparabilità, ossia l'impossibilità di stabilire una relazione di indifferenza o di preferenza, aderendo al concetto che il confronto può essere fatto tra alternative comparabili.

Un'altra variazione di tale metodologia è quella relativa al fatto che si perde la proprietà di transitività e si introduce la proprietà di surclassamento, ovvero un'alternativa surclassa un'altra, quando ci sono validi motivi per preferirla esaminando le relazioni che giocano a favore di questo surclassamento o di quelle che almeno non si oppongono (concordanza), tali che l'ampiezza dell'area di non conflitto sia elevata, allo stesso modo le ragioni che si oppongono non devono essere elevate ovvero molto deboli tali da giustificare l'eliminazione di un'alternativa rispetto ad un'altra.

In linee generali in ogni versione del metodo ELECTRE si hanno tali caratterizzazioni:

1. il grado di importanza di ogni criterio  $g_j$  è espresso da due soglie  $q_j$  e  $p_j$ ;
2. i concetti base sono quelli di concordanza e discordanza;
3. l'informazione inter - criterio è sintetizzata in due tipi di dati: per ogni criterio  $g_j$  vengono indicati il suo coefficiente di importanza  $K_j$  e la sua soglia di veto  $v_j$ .

Per il J-mo criterio è in concordanza con l'asserzione  $a' S a$  se solo se  $a' S_j a$ . L'insieme di tutti i criteri di  $F$  che sono in concordanza con l'asserzione  $a' S a$  è chiamato "coalizione di concordanza" ed è denotato come  $C(a'Sa)$ .

Il J-mo criterio è in discordanza con l'asserzione  $a' S a$  se solo se  $a P_j a'$ , l'insieme di tutti i criteri di  $F$  che sono in discordanza con l'asserzione  $a' S a$  è chiamato "coalizione di discordanza", ed è denotato come  $C(aPa')$ .

Per rendere valida una relazione di outranking  $S$  è necessario tenere in considerazione che il ruolo che è stato assegnato ad ogni criterio nella procedura di aggregazione non è lo stesso: è necessario specificare a cosa si riferisce quando si parla "più o meno importanza" di un criterio  $F$ .

Quando la procedura di aggregazione è effettuata mediante una somma pesata, come accade anche per l'AHP), la nozione di importanza è presa in considerazione mediante i pesi assegnati ad un criterio. In altri modelli, invece, come ad esempio nell'utility function, questi pesi possono variare con le prestazioni. In entrambi i casi i coefficienti così definiti non sono intrinseci, essi non dipendono solo dall'importanza del criterio  $g_j$  a cui essi si riferiscono, ma dipendono anche dal modo in cui  $g_j$  è definito: se  $g_j$  è sostituito da  $\chi(g_j)$  dove  $\chi$  è una funzione monotona crescente, allora ogni peso deve essere modificato.

Nell'approccio ELECTRE l'importanza del  $j$ -mo criterio è presa in considerazione per mezzo di due caratteristiche:

1. il coefficiente di importanza  $K_j \geq 0$  è intrinseco ovvero interviene solo nella definizione del grado di concordanza ( tale coefficiente nell' ELECTRE IV non esiste)
2. La soglia di veto  $v_j (\geq p_j)$  interviene solo nella definizione del grado di discordanza del criterio  $g_j$ .

La sintesi è ottenuta attraverso un indice di concordanza  $C(a', a)$  ed un indice di discordanza  $d(a', a)$ . L'indice di concordanza caratterizza la forza degli argomenti a sostegno dell'asserzione che l'alternativa  $a'$  surclassa  $a$  ( $a' S a$ ). Il contributo a tale indice viene dato in prevalenza dai criteri che rientrano nella colazione di concordanza  $C(a' S a)$  ed in misura minore dai criteri  $C(a Q a')$  che riflettono un'esitazione cioè:  $a' I_j a$  ( che è a favore di  $a' S a$ ) e  $a P_j a'$  ( che non è in favore di  $a' S a$ )

Si ha quindi  $c(a', a) = c_1(a', a) + c_2(a', a)$ , dove:

$$c_1(a', a) = \frac{1}{k_{j \in C(a'Sa)}} \sum k_j \quad \text{con } k = \sum_{j \in F} k_j$$

$$c_2(a', a) = \frac{1}{\sum_{j \in C(a'Qa)} k_j} \sum k_j \cdot \varphi_j \quad \text{con} \quad \varphi_j = \frac{p_j + g_j(a') - g_j(a)}{p_j \cdot q_j}$$

Il rapporto  $k_j/K$  riflette per definizione la forza relativa (in F) assegnata ad ogni  $g_j$  quando questo criterio è concordante con  $a'S a$ .

Se  $j \in C(a'Sa)$  l'intera forza  $k_j$  contribuisce in  $C(a',a)$  altrimenti il contributo è apportato soltanto dalla frazione  $\varphi_j$ . Questa frazione aumenta da 0 a 1 in maniera lineare, nella sua arbitrarietà, garantisce la semplicità di calcolo: alcune applicazioni sono state condotte ponendo  $\varphi_j = 0.5$ .

Il criterio di discordanza si oppone all'asserzione  $a'S a$ , ma la forza di tale opposizione può essere più o meno compatibile con l'accettazione della stessa. Il metodo consente anche di contestare l'asserzione  $a'Sa$  senza l'aiuto di altri criteri, definendo una soglia di veto  $v_j$  tale che:  $g_j(a) \cdot g_j(a') > v_j$  è incompatibile con  $a'Sa$  a prescindere dalle altre prestazioni, anche se  $c(a',a) = 1 - k_j/k$ .

E' possibile inoltre, ammettere che l'effetto del veto possa verificarsi anche per una differenza più piccola di  $v_j$  quando  $c(a',a) < 1 - k_j/k$ , in tal caso l'effetto del veto è maggiore al decrescere di  $c(a',a)$ .

La forza di opposizione all'asserzione  $a'Sa$  varia da 0 ad 1 al variare della differenza  $g_j(a) - g_j(a')$  nell'intervallo  $[p_j, v_j]$  che non è altro che la definizione dell'indice di discordanza.

Nel tempo sono state implementate più versioni del metodo ELECTRE caratterizzate da differenti funzioni:

### **Electre I**

Tale metodo si basa sulla definizione di due soglie di concordanza e discordanza, rappresentati: il valore minimo dell'insieme dei pesi dei criteri che non si oppongono al surclassamento ed il valore massimo di rammarico che il decisore può tollerare, nell'accettare tale surclassamento. Un'alternativa surclassa un'altra solo se la concordanza è maggiore della soglia definita e la discordanza è minore di D.

Poiché data una coppia di alternative vi è sempre la possibilità di avere dei surclassamenti; tale metodo non riesce a generare un ordinamento completo tra le alternative. Tuttavia è possibile ricavare l'insieme delle alternative tra loro incomparabili che risultano non eliminabili in quanto non surclassate. In questo modo si riesce ad individuare un nucleo di alternative da sottoporre al decisore.

### **Electre II**

Ideato per cercare di definire un ordinamento vengono individuate due soglie di surclassamento forte e debole definendo due grafi uno forte ed uno debole, quello forte è associato alle soglie deboli pertanto presenta molti surclassamenti e poche incomparabilità, mentre il grafo povero associato alle soglie forti presenta pochi surclassamenti ma molto significativi

Il grafo povero ha pochi surclassamenti e molte incomparabilità, mentre quello ricco ha più surclassamenti e poche incomparabilità. Se per generare l'ordinamento si utilizzasse solo il grafo povero, avendo pochi surclassamenti le alternative risulterebbero tutte incomparabili, invece al contrario il grafo ricco da molti surclassamenti generando situazioni talmente intricate ed ingestibili.

Per tale motivo si ricava l'ordinamento in due tempi, in primis dal grafo forte si ricava un primo ordinamento di gruppi di alternative tra loro incomparabili, poi dal grafo debole si ricavano le informazioni necessarie per discriminare all'interno del gruppo.

A causa dell'incompletezza dei due grafi, l'ordinamento calcolato con un algoritmo discendente (migliore –peggiore) può essere diverso da quello calcolato con un algoritmo ascendente (peggiore –migliore).

La proposta di Electre II è di calcolarli entrambi e costruire un ordinamento finale come intersezione dei due. L'ordinamento risultante è comunque un ordinamento parziale a causa dell'esistenza di incomparabilità.

### **ElectreIII**

Tale variante nasce per superare le difficoltà dei metodi precedenti, ovvero l'arbitrarietà delle due soglie e la difficoltà di comprenderne il significato, nonostante il risultato finale risulta fortemente inficiato.

A tal fine il metodo Pertanto sostituisce le due soglie con altre di valore più intuitivo, perché legate ai singoli criteri. Si definiscono per ogni criterio una soglia di indifferenza  $I$ , una di preferenza  $P$  ed un'altra di veto  $V$ , esse stimano l'importanza di una differenza di prestazione tra due alternative.

Da questa base tale metodo calcola, attribuendo i pesi di importanza ai singoli criteri, una matrice di credibilità dei surclassamenti, da cui si ottiene con l'algoritmo detto di distillazione dei due ordinamenti, quello ascendente e discendente.

### **Electre IV**

Tale metodo tenta di evitare le difficoltà del decisore che ha nell'assegnare i pesi ai criteri, per tale motivo è applicabile solo quando i criteri hanno la stessa importanza ovvero  $K_j$  uguale, il che non è quasi mai realizzabile nei casi articolati di valutazione di impatto ambientale.

In generale tali metodi sono più aderenti al processo decisionale considerando sia l'incomparabilità, che la capacità di discriminazione limitata, nonostante tali vantaggi, questi metodi sono soggetti a diverse critiche, infatti l'ordinamento finale dipende fortemente dalle alternative

presenti, poi in virtù dell'incomparabilità il risultato varia fortemente all'adottare un algoritmo crescente o decrescente o una sintesi delle due.

Una seconda critica viene mossa sulle apparenti semplificazioni: vengono utilizzati dei pesi per i criteri senza analizzare in nessun modo le modalità della loro assegnazione e vengono eliminate le funzioni di utilità presenti nell'analisi classica, postulando matrici di valutazione monotone. Infine l'ultima critica deriva dal fatto che il risultato finale dipende dalle soglie che vengono fissate e che hanno un preciso significato fisico.

Altre critiche sono state mosse al fatto che è difficile e forse arbitrario fissare un valore numerico per le soglie di preferenza ed indifferenza, la possibilità di cercare di inserirli tra un minimo ed un massimo valore plausibile, sottolineando che non è certo più facile considerare le differenze causate da imprecisione, incertezza ed in accurata determinazione per mezzo delle distribuzioni probabilistiche o dando un valore numerico alle sue diverse caratteristiche

Un'analogia difficoltà potrebbe essere riscontrata nella caratterizzazione della specifica importanza da assegnare ad ogni criterio mediante il coefficiente  $K_j$  e la soglia di veto  $v_j$ . In tale contesto è utile sottolineare di nuovo come i coefficienti  $K_j$  sono intrinseci, non dipendono quindi dalla natura della scala scelta per valutare le prestazioni.

Questa intrinseca caratteristica facilita l'esame dei valori che possono essere attribuiti a tali coefficienti al fine di riflettere la relativa importanza che un DM assegna ai differenti criteri. Per essi e per le soglie di veto potrebbe essere più utile assegnare un intervallo di valori, effettuando su di essi un'analisi di sensitività per capire i valori finali appropriati.

Si riporta una tabella sintetica dove sono riportate le principali differenze delle diverse versioni del metodo ELECTRE.-

Metodi Electre	I	IS <sup>27</sup>	II	III	IV
Possibilità di considerare soglie di indifferenza e preferenza	no	si	no	si	Si
Necessità di quantificare l'importanza relativa dei criteri	si	si	si	si	No
Numero e natura delle relazioni di outranking	1	1	2	1 - fuzzy	5
Risultato finale	Insieme non dominato di soluzioni	Insieme non dominato di soluzioni ed indici connessi	Parziale pre -ordinamento	Parziale pre-ordinamento	Parziale pre- ordinamento

**Tabella5.5.1. Differenze dei metodi Electre**

Si riporta un processo risolutivo mediante l'applicazione dell'ELECTRE I al problema posto in maniera semplicistica alla scelta del tracciato stradale.

Per tale circostanza sono state definite tre alternative di tracciato e quattro criteri differenti:

- minimizzare i costi,
- massimizzare la sicurezza;
- minimizzare l'impatto ambientale;
- massimizzare il comfort.

Per poter applicare il metodo è stato necessario sia fissare le unità di scala per ogni criterio, che un peso specifico rappresentativo delle priorità.:

CRITERI	Unità di scala	PESO
criterio a	euro	5
criterio b	n. incidenti	3
criterio c	tonnellate di co2 prodotte	1
criterio d	valore dell'IRI	1

<sup>27</sup> Rappresenta un aggiornamento dell'Electre I

Per ogni alternativa si è supposto di conoscere i valori che caratterizzano i criteri precedentemente fissati, è ovvio che i valori occorre determinarli mediante un'analisi dell'incidenza dei ogni scelta progettuale sui singoli elementi:

	1	2	3
VAN	400.000	330.000	320.000
SICUREZZA	95	100	80
AMBIENTE	30	40	70
COMFORT	3.5	3.0	3.3

Calcoliamo gli indici di concordanza con l'ausilio delle seguenti relazioni e con  $\varphi_j = 0.5$

$$c_1(a', a) = \frac{1}{k_{j \in C(a'Sa)}} \sum k_j$$

$$\text{con } k = \sum_{j \in F} k_j$$

$$c_2(a', a) = \frac{1}{k_{j \in C(a'Qa)}} \sum k_j \cdot \varphi_j \quad \varphi_j = \frac{p_j + g_j(a') - g_j(a)}{p_j \cdot q_j}$$

Si ottiene dunque la seguente matrice

$$\begin{vmatrix} - & 0.25 & 0.1 \\ 0.75 & - & 0.45 \\ 0.9 & 0.55 & - \end{vmatrix}$$

Per il calcolo della matrice di discordanza diventa necessario assegnare ad ogni criterio un valore massimo di un'ipotetica scala di giudizio.

E' stato supposto

COSTO	100
SICUREZZA	60
AMBIENTE	60
COMFORT	40

Tali valori portano alla definizione di tale scala di variazione:

CRITERIO	CODICE	SCALA
COSTO	A	25
	B	50
	C	75
	D	10
SICUREZZA	A	15
	B	30
	C	45
	D	60
AMBIENTE	A	15
	B	30
	C	45
	D	60
COMFORT	A	10
	B	20
	C	30
	D	40

L'indice di discordanza per ogni coppia di alternative  $d(a',a)$  è stato calcolato come il valore massimo numerico dei coefficienti di discordanza calcolati per ogni criterio in cui  $g(a',) < g(a)$ .

Ad esempio per il costo  $d(1,2) = (75-50)/100 = 0.25$ , è stata quindi ottenuta la seguente matrice:

$$\begin{vmatrix} - & 0.25 & 0.25 \\ 0.15 & - & 0.15 \\ 0.3 & 0.15 & - \end{vmatrix}$$

Supponendo che il DM abbia specificato come condizioni minime di concordanza  $p=0.6$  e come massime di discordanza  $q=0.2$  ne consegue che deve essere  $c(a',a) > 0.6$  e  $d(a',a) < 0.2$ .

Le alternative confrontate che soddisfano le esigenze dei due veti sono (2,1) e (3,2) con le quali è possibile realizzare il grafo delle soluzioni non dominate, che per l'esempio effettuato è abbastanza semplice (3→2→1), ma che anche in linea generale fornisce una rappresentazione grafica della relazione esistente tra le varie alternative riducendo l'analisi delle scelte soltanto alle soluzioni non dominate.

In ogni caso mentre l' ELECTRE I fornisce un ordinamento parziale dell'insieme delle soluzioni non dominate, l'ELECTRE II offre un ordine più completo che risulta un utile strumento di supporto alle decisioni.

Come nel caso dell' ELECTRE I l'alternativa  $a'$  è preferita ad  $a$  solo se, sia le condizioni di concordanza, che quelle di discordanza sono soddisfatte, ma a differenza dell' ELECTRE I, esistono livelli multipli di concordanza e discordanza che devono essere specificati per costruire le due relazioni di outranking: una per il surclassamento forte ed una per il debole. Di queste, entrambe le relazioni vengono utilizzate per costruire i due grafi che poi vengono integrati per fornire il rango delle alternative.

Un'altra differenza dell'ELECTRE II che  $\varphi$  è posto unitario ed il calcolo dell'indice di discordanza nell'E.II differisce lievemente da quello adottato dall'E.I il cui valore del denominatore per il calcolo di  $d(a',a)$  non è costante ma varia per ogni criterio in funzione di un parametro  $s$  funzione della scala adottata per ogni criterio. Tale parametro sostanzialmente controlla l'importanza della differenza  $g(a') - g(a)$  per

ogni criterio al fine di simulare meglio la realtà in cui l'importanza dei livelli di ogni criterio è differente.

Al fine di definire Ss e Sd occorre fissare tre livelli di concordanza tali che  $0 \leq p^- \leq p^0 \leq p^* \leq 1$

E due livelli di discordanza tali che  $0 \leq q^0 \leq q^* < 1$ . Con tali specifiche una relazione Ss è definita se uno dei due insiemi di soluzioni è verificato:

- I.  $c(a', a) \geq p^*$
- II.  $d(a', a) \leq q^*$

Oppure

- I.  $c(a', a) \geq p^0$
- II.  $d(a', a) \leq q^0$

Una relazione Sd è definita se:

- I.  $c(a', a) \geq p^-$
- II.  $d(a', a) \leq q^*$

I metodi ELECTRE non sono facilmente implementabili perché richiedono numerosi parametri, i valori dei quali devono essere fissati dal DM e dagli analisti. Inoltre l'influenza di alcuni fattori sugli indici di concordanza e discordanza non è facilmente comprensibile dagli utenti. Esistono tuttavia altri metodi che da questo punto di vista risultano più comprensibili, quali: PROMETHEE ed il TOPSIS.

## 5.6 Introduzione al metodo AHP

AHP (Analytic Hierarchy Process) è un metodo di aiuto alla decisione multicriteri (MCDA, Multi-Criteria Decision Aid) sviluppato da Thomas Lorie Saaty verso la fine degli anni 70 (Saaty 1977 e 1980). A tutt'oggi esistono numerose decine di esempi di applicazione del metodo a problemi di valutazione nei settori più svariati (Golden et al. 1989).

Il metodo AHP può essere utilizzato per determinare il rapporto benefici/costi di un progetto quando non è possibile valutare in termini esclusivamente monetari i vantaggi e gli svantaggi che deriverebbero dalla sua realizzazione (Saaty 1980 pp. 113-120, Saaty and Kearns 1985 pp. 178-200, Saaty 1990), ovvero dove la maggioranza dei costi e dei benefici appartiene alla categoria degli intangibili, cioè dei beni extramercato per i quali risulta impossibile o complicato operare le simulazioni atte a identificarne il prezzo.

### La gerarchia di dominanza

Il primo passo del metodo comporta la costruzione della gerarchia di dominanza.

Una gerarchia di dominanza è una struttura reticolare costituita da due o più livelli, in cui il primo livello contiene l'obiettivo generale della valutazione o goal. In un'applicazione diretta a valutare la compatibilità ambientale di alternative progettuali di una nuova infrastruttura stradale il goal potrebbe essere formulato, ad es., nel modo seguente: minimare l'impatto dell'infrastruttura sul contesto naturale e antropico.

Il secondo livello contiene gli obiettivi che specificano contenuti e significati del goal, ad es., il goal precedente potrebbe articolarsi nei sei obiettivi seguenti:

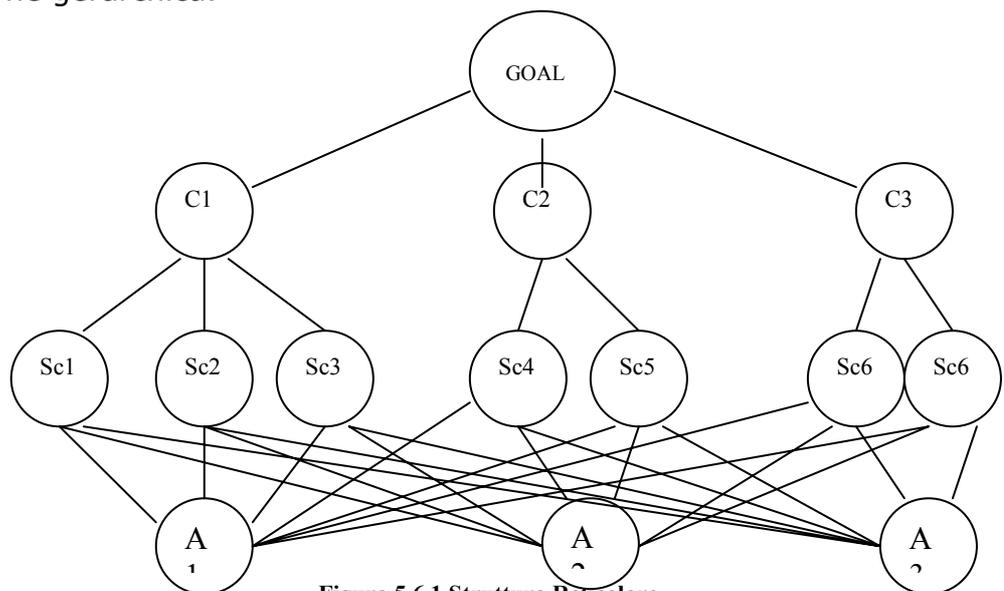
- (i) minimare l'impatto sul contesto naturale;
- (ii) minimare l'impatto sull'ambiente percepibile;
- (iii) minimare l'impatto sul contesto storico e culturale;

- (iv) minimare l'impatto sulla salute e sul benessere psico-fisico;
- (v) minimare l'impatto sul contesto socio-economico;
- (vi) minimare i conflitti con la pianificazione territoriale.

Ciascuno di questi può essere suddiviso a sua volta in obiettivi più specifici (terzo livello), e così di seguito. Passando dai livelli superiori ai livelli inferiori della gerarchia gli obiettivi perdono progressivamente il loro carattere strategico-assiologico. Le azioni da valutare sono situate alla base della gerarchia e sono collegate direttamente agli obiettivi più specifici (obiettivi terminali).

Una gerarchia, oltre agli obiettivi e alle azioni, può contenere altri elementi del processo decisionale: tra questi vanno annoverati gli attori del processo. In questo caso il metodo consente di valutare le azioni in relazione ai differenti attori e di rendere esplicite le differenze di valutazione che dipendono dalla diversità dei loro interessi e sistemi di valori. La scelta del numero di livelli e del numero di elementi deve tenere conto sia delle caratteristiche del contesto fisico e decisionale, sia della natura delle azioni da valutare.

Di seguito si riporta una rappresentazione schematica della composizione gerarchica.



**Figura 5.6.1. Struttura Reticolare**

### Costruzione della matrice dei confronti a coppie

Tutti gli elementi subordinati allo stesso elemento della gerarchia vengono confrontati a coppie tra loro. Gli elementi di ciascuna coppia vengono comparati al fine di stabilire quale di essi è più importante in rapporto all'elemento sovraordinato, e in quale misura: il risultato del confronto è il coefficiente di dominanza  $a_{ij}$  che rappresenta una stima della dominanza del primo elemento (i) rispetto al secondo (j).

Per determinare i valori dei coefficienti  $a_{ij}$  occorre utilizzare la scala seguente (scala semantica di Saaty) che mette in relazione i primi nove numeri interi con altrettanti giudizi che esprimono, in termini qualitativi, i possibili risultati del confronto (Saaty 1980):

$a_{ij}$	GIUDIZIO
1	Uguualmente importante
3	Leggermente più importante
5	Più importante
7	Molto più importante
9	Estremamente più importante
2,4,6,8	(Valori intermedi o di "compromesso")

Confrontando a coppie  $n$  elementi si ottengono  $n^2$  coefficienti: di questi soltanto  $n(n-1)/2$  devono essere direttamente determinati dal decisore o dall'esperto che effettua la valutazione, essendo  $a_{ii}=1$  e  $a_{ji}=1/a_{ij}$  per ogni valore di  $i$  e  $j$ . La seconda condizione, nota come relazione di reciprocità, scaturisce dalla necessità di garantire la simmetria dei giudizi di importanza.

Dati  $k$  livelli ( $k$  livello delle alternative) si definiscono:

- Elementi al livello  $k$  (alternative):  $x_1, \dots, x_k$
- Elementi al livello  $k-1$  (criteri o subcriteri):  $y_1, \dots, y_{k-1}$
- Elementi al livello  $k-2$  (criteri, subcriteri o goal):  $z_1, \dots, z_{k-2}$

- $W_k = [w_{yj}(x_i)]$  matrice dei pesi relativi delle alternative rispetto ai criteri  $y_j$  al livello superiore
- $W_{k-1} = [w_{zh}(y_j)]$  matrice dei pesi relativi dei criteri a livello  $k-1$  rispetto al criterio (goal)  $z_h$  al livello superiore
- La priorità di  $x_i$  rispetto a  $z_h$

$$w_{z_h}(x_i) = \sum_{j=1}^{k-1} w_{z_h}(y_j) \cdot w_{y_j}(x_i)$$

- In forma matriciale:

$$[w_{z_h}(x_i), i = 1, \dots, k] = P_{k-1} \cdot [w_{z_h}(y_j), j = 1, \dots, k-1]$$

- Nel caso di 3 livelli (Goal, Criteri, Alternative)

$$W_z = P_2 \cdot W$$

dove:

- $W$  è il vettore dei pesi dei criteri (al primo livello) rispetto l'unico elemento del livello superiore, il goal
- $P_2$  è la matrice (alternative x criteri) le cui colonne sono i vettori dei pesi relativi delle alternative rispetto ai criteri
- $W_z$  è il vettore dei pesi (importanza) delle alternative rispetto al goal (la preferenza)

I coefficienti di dominanza definiscono una matrice quadrata reciproca e positiva detta matrice dei confronti a coppie:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

Figura 5.6.2. Matrice dei confronti a coppie

Un modo alternativo di costruire la matrice dei confronti a coppie consiste nell'utilizzare la tecnica del rating (Voogd 1983, p. 105). Secondo questa tecnica l'esperto che effettua la valutazione dispone di un budget di 100 punti che deve suddividere tra i due elementi in modo che la quantità di punti assegnata a ciascuno di essi (rating) ne rispecchi l'importanza. L'indice di dominanza  $a_{ij}$  viene calcolato allora come rapporto dei rating dei due elementi.

	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4
Livello 1	50,0	20,0	2,0	0,1
Livello 2	80,0	50,0	49,5	35,0
Livello 3	98,0	50,5	50,0	40,0
Livello 4	99,9	65,0	60,0	50,0

**Figura 5.6.1. Matrice dei confronti ottenuta con il metodo del Rating**

Per ogni elemento non terminale della gerarchia occorre costruire una matrice confrontando a coppie gli elementi che sono ad esso direttamente subordinati.

### **Determinazione dei pesi locali**

I pesi sono coefficienti che misurano l'importanza relativa di singoli elementi. Supponiamo di poter determinare in modo diretto i pesi (fisici)  $w_1, w_2, \dots, w_n$  di  $n$  pietre con una bilancia (ad es.,  $w_1 = 305$  gr,  $w_2 = 212$  gr, ecc.) e di calcolare il coefficiente di dominanza di ogni coppia di pietre come rapporto dei rispettivi pesi. In questo caso 'ideale' i coefficienti  $a_{ij}$  esprimono esattamente quante volte la pietra  $i$  è più pesante della pietra  $j$  e si calcolano semplicemente così:  $a_{ij} = w_i/w_j$ , per ogni valore di  $i$  e  $j$ .

La matrice dei confronti coppie può essere riscritta per esteso nel modo seguente:

$$A = \begin{matrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{matrix}$$

In questo caso  $A$  è una matrice consistente, cioè soddisfa la condizione  $a_{ij} = a_{ik} a_{kj}$  per tutti i valori di  $i, j, k$ .

Supponiamo ora che non sia possibile calcolare i valori  $a_{ij}$  come  $w_i/w_j$ , perché non possediamo la bilancia che ci consente di determinare i pesi delle singole pietre. Questa stessa situazione si presenta del resto anche quando occorre valutare il 'peso' (l'importanza) di un insieme di obiettivi o di azioni. In questo caso non esiste lo strumento fisico che ci consente di determinare questi 'pesi', ma è necessario affidarsi ai giudizi di un esperto. Non disponendo di uno strumento di misura ma soltanto della sua personale esperienza, l'esperto non è in grado di determinare direttamente i pesi  $w_i$ , ma può fornire solo delle stime approssimate dei loro rapporti con l'ausilio della scala semantica o con la tecnica del rating.

Le stime fornite dall'esperto, nella maggioranza dei casi, non saranno dunque consistenti. Questa mancata consistenza dipende sia dalla difficoltà che esso incontra nel mantenere la coerenza di giudizio in tutti i confronti a coppie, sia dal fatto che i suoi giudizi possono essere strutturalmente non consistenti. La teoria dei sistemi relazionali di preferenza dimostra infatti che le relazioni di preferenza e di indifferenza che conseguono da un insieme di confronti a coppie possono essere non transitive (ad es.,  $a$  è preferito a  $b$ ,  $b$  è preferito a  $c$ , ma  $a$  può essere non preferito a  $c$ ).

Obbligando l'esperto ad essere perfettamente coerente nei suoi giudizi lo costringeremmo implicitamente (e indebitamente) a rispettare quel principio di transitività della preferenza e dell'indifferenza che non dovrebbe mai essere imposto a priori (Armstrong 1939, Luce 1956, Vincke 1981). Sarebbe dunque poco realistico pensare che le relazioni  $a_{ij}$

=  $w_i/w_j$  debbano valere anche in questi casi: se non conosciamo i pesi  $w_i$  ma solo i valori di  $a_{ij}$  (che abbiamo ricavato direttamente utilizzando, ad es., la scala semantica di Saaty), il problema di determinare i pesi  $w_i$  dai valori  $a_{ij}$  imponendo le condizioni  $a_{ij} = w_i/w_j$  sarebbe probabilmente irrisolvibile.

I valori  $a_{ij}$  ricavati da giudizi qualitativi possono avvicinarsi ai valori 'veri'  $w_i/w_j$  ma anche discostarsi da essi in modo significativo.

Consideriamo quindi, la  $i$ -esima riga della matrice  $A$ :  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ . nel caso 'ideale' ( $a_{ij} = w_i/w_j$ ) questi valori coincidono con i rapporti  $w_i/w_1, w_i/w_2, w_i/w_n$ . Se moltiplichiamo il primo termine di questa riga per  $w_1$ , il secondo per  $w_2$  ecc. otteniamo:

$$(w_i/w_1) w_1 = w_i, (w_i/w_2) w_2 = w_i, \dots (w_i/w_n) w_n = w_i$$

Il risultato è dunque una riga costituita da termini tutti uguali, mentre nel caso generale (non 'ideale') quello che otterremo è una riga di termini che costituiscono un insieme di valori statistici 'dispersi' attorno al valore  $w_i$ . Sembra pertanto ragionevole assumere che, in questo caso,  $w_i$  sia la media dei valori di questi termini.

Nel Caso generale si possono dunque rilasciare le rigide condizioni  $a_{ij} = w_i/w_j$  per sostituirle con le condizioni:

$$w_i = \frac{\sum_j a_{ij} w_j}{n} \quad (1)$$

A questo punto resta ancora da risolvere una questione: queste condizioni meno stringenti sono sufficienti a garantire l'esistenza di soluzioni? cioè, a garantire che abbia soluzione il problema di trovare dei pesi unici  $w_i$  quando siano dati i coefficienti di dominanza  $a_{ij}$ ?

Per rispondere a questa domanda occorre esprimere le suddette condizioni in una forma diversa. Notiamo innanzitutto che se le stime  $a_{ij}$  sono valide, esse tenderanno ad essere molto vicine ai valori  $w_i/w_j$ , cioè rappresenteranno delle piccole 'perturbazioni' di questi rapporti. Se

trattiamo le stime  $a_{ij}$  come variabili è possibile che esista una soluzione delle (1): cioè  $w_i$  e  $w_j$ , possono cambiare per adattarsi ai cambiamenti dei valori  $a_{ij}$  che non coincidono più con i loro valori 'ideali'  $w_i/w_j$ , purché si consenta anche al valore  $n$  di cambiare. Se chiamiamo  $l_{max}$  il valore che deve assumere  $n$  affinché la (1) sia risolubile, la (1) stessa assume la forma:

$$w_i = \frac{\sum_j a_{ij} w_j}{l_{max}} \quad \text{o alternativamente come:}$$

$$l_{max} * w_i = \sum_j a_{ij} w_j$$

Ma queste espressioni non sono altro che l'esplicitazione di un ben noto problema matematico consistente nel determinare gli *autovalori* e gli *autovettori* di una matrice. In forma matriciale questo problema si definisce nel modo seguente:

$$Aw = l_{max} w \quad (2)$$

Per determinare il valore di  $l_{max}$  e dei pesi  $w$  possiamo fare ricorso a due importanti risultati della teoria delle matrici .

Teorema1. Una matrice quadrata di rango uno, cioè tale che ogni sua riga sia ottenibile come combinazione lineare delle altre, possiede un solo autovalore diverso da zero (tutti gli altri sono nulli).

(i) Se  $l_1, l_2, \dots, l_n$  sono  $n$  numeri che soddisfano l'equazione:  $Ax = l_{max} x$ , (cioè sono gli autovalori di  $A$ ) e se per tutti i valori di  $i$  è  $a_{ii} = 1$ , allora:

$$\sum_i l_i = n$$

Quando la matrice  $A$  è consistente, tutti gli autovalori sono necessariamente uguali a zero escluso uno che vale  $n$  (ciò deriva dal fatto che ponendo nella (2)  $l = n$  l'equazione diventa un'identità). Se ne deduce che quando  $A$  è una matrice consistente,  $n$  è il suo autovalore

massimo  $\lambda_{max}$  (o autovalore principale) ed è anche l'unico a essere diverso da zero.

(ii) Se si modificano leggermente i valori  $a_{ij}$  di una matrice reciproca e positiva, i corrispondenti autovalori variano di poco e in modo continuo.

Combinando i due risultati precedenti si deduce che quando gli elementi della diagonale principale della matrice  $A$  sono tutti uguali a 1 e la matrice è consistente, variando di poco i valori  $a_{ij}$  l'autovalore principale della matrice non differisce molto da  $n$  mentre i restanti autovalori si mantengono prossimi allo zero.

Teorema 2. La somma degli autovalori di una matrice quadrata è uguale alla sua traccia, cioè alla somma dei coefficienti della sua diagonale principale.

Teorema 3. Una matrice di Saaty è positiva (i suoi coefficienti sono tutti positivi) e irriducibile, cioè non può essere ricondotta alla forma:

$$\begin{vmatrix} A_1 & 0 \\ A_2 & A_3 \end{vmatrix}$$

dove  $A_1$  e  $A_3$  sono matrici quadrate e  $0$  è la matrice nulla.

Teorema 4 (Teorema di Perron-Frobenius). Una matrice irriducibile e non negativa:

(i) possiede un autovalore reale positivo semplice, detto autovalore massimo (o principale), il cui modulo non è mai inferiore a quello di ogni altro autovalore della matrice;

(ii) l'autovettore corrispondente all'autovalore principale ha coefficienti positivi ed è unico, a meno di un fattore costante

Nel caso di perfetta coerenza una matrice di Saaty possiede un solo autovalore non nullo il cui valore è esattamente uguale all'ordine  $n$  della matrice (deriva dai Teoremi 1. e 2.). In realtà la matrice possiede anche  $n-1$  autovalori nulli cui corrispondono altrettanti autovettori nulli. Ciò giustifica il fatto che l'autovettore principale della matrice, normalizzato in modo che la somma delle sue componenti sia uguale a 1,

venga assunto nel metodo AHP come vettore dei pesi cercati anche quando la matrice si allontana dalla condizione di perfetta coerenza e possiede altri autovalori che sono (leggermente) diversi da zero.

Sembra dunque ragionevole ipotizzare che, nel caso generale, i pesi cercati coincidano con le componenti dell'autovettore principale  $w$  corrispondente all'autovalore principale  $\lambda_{max}$  della matrice  $A$ .

In genere è preferibile ottenere una soluzione normalizzata, cioè tale che la somma dei valori delle componenti del vettore dei pesi  $w$  sia uguale a 1 (in realtà vedremo che ciò è vero solo se si confrontano degli obiettivi; nel caso di azioni l'operazione di normalizzazione dei pesi locali dipende dalla particolare "modalità" utilizzata nell'applicare AHP).

Un esperto, a rigore, potrebbe limitarsi a fornire soltanto  $n-1$  stime indipendenti di  $a_{ij}$ : per determinare i pesi basterebbe in questo caso risolvere il sistema lineare non omogeneo di  $n$  equazioni in  $n$  incognite ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ) che si ottiene uguagliando il valore di ogni stima a quello del corrispondente rapporto  $w_i/w_j$  ed imponendo la condizione di normalizzazione.

Questo metodo, a differenza di quello che comporta il calcolo dell'autovettore principale di  $A$ , non utilizza le stime 'ridondanti' di  $a_{ij}$ . D'altronde sono proprio queste stime che consentono di pervenire a un risultato più affidabile: i pesi che si ottengono risolvendo la (2) sono infatti molto meno sensibili agli errori di valutazione (Saaty 1980 pp. 192-197, Millet and Harker 1990).

Resta ancora il problema di stabilire se i pesi che si ricavano dalla (2) rispecchiano i giudizi di chi ha effettuato i confronti. In altri termini occorre stabilire se e in quale misura i valori dei rapporti  $w_i/w_j$ , che si calcolano dopo aver determinato l'autovettore principale  $w$ , si discostano dalle stime  $a_{ij}$  fornite dall'esperto.

A questo fine il metodo AHP definisce il seguente indice di consistenza (CI, consistency index) che consente di misurare lo scarto complessivo tra questi due insiemi di valori:

$$CI = \frac{l_{max} - n}{n - 1}$$

In questa sede non dimostreremo perché CI assume questa forma (cfr. Saaty 1977 e 1980). Basterà notare che nel caso di consistenza perfetta CI è uguale a zero: quando la matrice è perfettamente consistente, l'autovalore principale  $l_{max}$  è infatti uguale ad  $n$ .

Al crescere dell'inconsistenza il valore di CI aumenta (per questo motivo sarebbe più logico chiamarlo indice di inconsistenza). Sostanzialmente tale indice misura quanto il DM si discosta con i propri giudizi da una situazione di consistenza completa. Lo scostamento dovrebbe essere causato da limitate violazioni alla transitività dei giudizi e non da giudizi espressi in maniera del tutto casuale.

Il metodo AHP prevede che l'indice CI sia confrontato con l'indice RI (random index). Questo secondo indice si calcola effettuando la media dei valori di CI di numerose matrici reciproche dello stesso ordine, i cui coefficienti vengono generati in modo random (cioè casuale) da un computer.

Quando il valore di CI della matrice compilata dall'esperto supera una soglia convenzionalmente posta uguale al 10% del valore di RI, la deviazione dalla condizione di consistenza perfetta viene giudicata inaccettabile. Secondo Saaty (1980) un valore di CI superiore a tale soglia indica una scarsa coerenza (forse anche una scarsa attenzione) dell'esperto che ha effettuato i confronti, piuttosto che una non transitività strutturale, e come tale accettabile, del suo sistema di preferenze.

Quando il valore di CI supera la soglia, l'esperto deve sforzarsi di aumentare la coerenza dei suoi giudizi modificando, totalmente o in parte, le stime di  $a_{ij}$ . Risolvendo la (2) per tutte le matrici dei confronti a coppie si ottengono i pesi di tutti gli elementi della gerarchia.

Questi pesi sono detti locali perché valutano l'importanza degli elementi non in termini complessivi, ma solo in rapporto all'elemento sovraordinato rispetto al quale sono stati confrontati. Ogni elemento ha tanti pesi locali quanti sono gli obiettivi ai quali esso è direttamente subordinato.

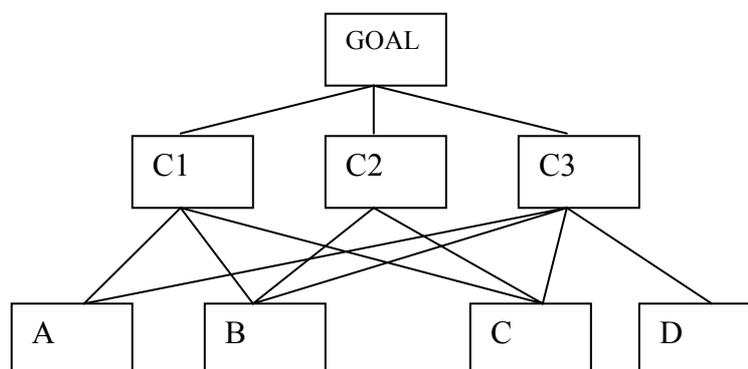
### **Determinazione dei pesi globali: il principio di composizione gerarchica**

Per determinare l'importanza di ogni elemento in rapporto al goal occorre applicare il principio di composizione gerarchica (Saaty 1980).

I pesi locali di ogni elemento vengono moltiplicati per quelli dei corrispondenti elementi sovraordinati e i prodotti così ottenuti sono sommati. Procedendo dall'alto verso il basso, i pesi locali di tutti gli elementi della gerarchia vengono così trasformati progressivamente in pesi globali.

Si riporta una semplice applicazione al fine di comprendere la logica metodologica.

Consideriamo tre alternative da valutare rispetto a tre criteri, supponiamo quindi di aver la seguente scala gerarchica:



**Figura 5.6.3. Struttura Reticolare**

Supponiamo di aver sottoposto al DM le domande per stabilire la relativa importanza dei criteri rispetto al goal, ovvero di aver quindi ottenuto la seguente matrice:

	A	B	C	Tot riga		
A	-	30	50	80	Wa	0,27
B	70	-	70	140	Wb	0,47
C	50	30	-	80	Wc	0,27
				<b>300</b>		

Tabella 5.6.1. Matrice dei confronti

Il passo successivo è quello di confrontare le alternative rispetto ad i criteri e determinarne l'importanza

C1	a	b	c	Tot riga		
a	-	50	50	100	Awa	0,33
b	50	-	50	100	Awb	0,33
c	50	50	-	100	Awc	0,33
				<b>300</b>	Awd	0

Tabella 5.6.2. Matrice dei confronti rispetto al criterio C1

C2	b	c	Tot riga		
b	-	60	60	Bwb	0,60
c	40	-	40	Bwc	0,40
			<b>100</b>	Bwa = Bwd	0

Tabella 5.6.3. Matrice dei confronti rispetto al criterio C2

C3	a	b	c	d	Tot riga		
a	-	20	40	50	60	Cwa	0,15
b	80	-	60	80	140	Cwb	0,34
c	60	40	-	60	100	Cwc	0,24
d	50	20	40	-	110	Cwd	0,27
					<b>410</b>		

Tabella 5.6.3. Matrice dei confronti rispetto al criterio C3

Effettuando la ricomposizione gerarchica ovvero risalendo dal basso verso l'alto mediante la tecnica della somma pesata si ottiene:

<b>Wa</b>	<b>0,13</b>
<b>Wb</b>	<b>0,46</b>
<b>Wc</b>	<b>0,34</b>
<b>Wd</b>	<b>0,07</b>

Tabella 5.6.4. Matrice dei Pesì locali

Da questo esempio si evince quale sia la procedura per determinare i pesi globali e quelli locali, si nota inoltre che la somma di tali pesi è uguale all'unità.

I pesi globali (o priorità) degli elementi collocati alla base della gerarchia, nel livello successivo a quello degli obiettivi terminali, rappresentano il risultato principale della valutazione. Quando gli elementi terminali sono azioni, i pesi globali consentono di determinare un ordine di preferenza: un'azione (un piano, un progetto, ...) sarà tanto più preferibile quanto maggiore è il suo peso globale.

Si riporta un altro esempio:

Supponiamo di dover scegliere tra tre tracciati di una nuova infrastruttura rispetto ai seguenti criteri :

- 1- Economico;
- 2- Sicurezza;
- 3- Comfort;
- 4- Ambiente;

Se eseguiamo il confronto tra gli elementi della matrice otteniamo la misura dei confronti con le relative priorità, dobbiamo quindi determinare l'autovettore principale, che normalizzato, diviene il vettore delle priorità. Successivamente si deve verificare la corrispondenza tra il vettore determinato e quello delle priorità.

Per eseguire tale procedura esistono diverse tecniche :

1. Somma gli elementi in ogni riga e normalizza dividendo ogni somma per il totale di tutte le somme, in modo che i risultati sommati diano un valore unitario. Il primo valore del vettore risultante rappresenta la priorità della prima attività e così via.

2. Prende la somma degli elementi in ogni colonna e forma i reciproci di tali somme. Per normalizzare questi numeri all'unità divide il reciproco per la somma dei reciproci.
3. Divide gli elementi di ogni colonna per la somma di quella colonna, dopo di che aggiunge gli elementi in ogni riga risultante e divide questa per il numero di elementi nella riga.
4. Moltiplica gli n elementi in ogni riga e prende la n. sima radice. Normalizza i numeri risultanti.

Riprendendo l'esempio precedente supponiamo di aver ottenuto la seguente matrice di confronti:

GOAL	E	S	C	A
E	1	2	5	5
S	0,5	1	3	3
C	0,2	0,33	1	1
A	0,2	0,33	1	1
	1,9	3,67	10	10

Applicando la tecnica (3) viene normalizzata ogni colonna sommando le sue componenti e dividendo ogni componente per questa somma ottenendo la matrice w.

0,53	0,55	0,50	0,50	Tot. Riga	W Priorità
0,26	0,27	0,30	0,30	2,07	<b>0,52</b>
0,11	0,09	0,10	0,10	1,14	<b>0,28</b>
0,11	0,09	0,10	0,10	0,40	<b>0,10</b>
				0,40	<b>0,10</b>

Il vettore priorità è stato determinato dividendo la somma delle righe per l'ampiezza della matrice.

E' possibile introdurre un metodo per calcolare in maniera sufficientemente approssimata il grado di consistenza della matrice in esame:

- a). si moltiplica la matrice normalizzata per il vettore soluzione ottenuto, ottenendone un altro;
- b). si divide la prima componente di questo vettore per la prima di quello stimato come soluzione, ottenendo un successivo vettore-
- c). si effettua la somma delle componenti di questo vettore e si divide per il numero di componenti così da ottenere l'autovalore principale  $\lambda_{max}$  da utilizzare nella stima della consistenza. Più è vicino  $\lambda_{max}$  ad  $n$  (ampiezza della matrice) più il risultato è consistente.

Abbiamo visto che la deviazione della consistenza è pari a :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Saaty ha determinato l'indice di consistenza di una matrice generata casualmente, cui è stato dato il nome di Indica Casuale (Random Index. R.I), Saaty fornisce il valore R.I. (seconda riga ) per una matrice al variare dell'ordine della stessa (prima riga)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Si ricorda che se il rapporto C.I./R.I= CR è pari al 0.1 il risultato è considerato accettabile.

Ritornando all'esempio precedente si ottiene:

W Priorità	Vettore B	Vettore C
<b>0,52</b>	0,53	1,02
<b>0,28</b>	0,27	0,96
<b>0,10</b>	0,10	1,01
<b>0,10</b>	0,10	1,01
		4,00

$$\lambda_{max} = 4.0 \rightarrow C.I. = \frac{4.0 - 4}{4 - 1} = 0; C.R. = 0;$$

Analogamente per ogni criterio deve essere determinata l'importanza di ogni alternativa rispetto a i criteri:

<b>Economico</b>	A	B	C
A	1	0,3	0,5
B	3	1	3
C	2	0,3	1
	<b>6</b>	<b>1,6</b>	<b>4,5</b>

0,17	0,19	0,11	Tot.riga	W Priorità	Vettore B	Vettore C
0,50	0,63	0,67	0,47	<b>0,16</b>	0,17	1,07
0,33	0,19	0,22	1,79	<b>0,60</b>	0,62	1,03
			0,74	<b>0,25</b>	0,22	0,88
					1,00	<b>2,98</b>

$$I_{max} = 3.0 \rightarrow C.I. = \frac{3-3}{3-1} = 0; C.R. = 0;$$

<b>Sicurezza</b>	A	B	C
A	1	5	1
B	0.02	1	0.02
C	1	5	1
	<b>2,02</b>	<b>11</b>	<b>2,02</b>

0,50	0,45	0,50	Tot.riga	W Priorità	Vettore B	Vettore C
0,00	0,09	0,00	1,45	<b>0,48</b>	0,50	1,03
0,50	0,45	0,50	0,09	<b>0,03</b>	0,00	0,11
			1,45	<b>0,48</b>	0,50	1,03
					1,00	<b>2,17</b>

<b>COMFORT</b>	A	B	C
A	1,00	9,00	7,00
B	0,11	1,00	0,20
C	0,14	5,00	1,00
	<b>1,252857</b>	<b>15</b>	<b>8,2</b>

0,80	0,60	0,85	Tot.riga	W Priorità	Vettore B	Vettore C
0,09	0,07	0,02	2,25	<b>0,75</b>	0,80	1,06
0,11	0,33	0,12	0,18	<b>0,06</b>	0,07	1,25
			0,57	<b>0,19</b>	0,13	0,68
					1,00	<b>2,99</b>

<b>AMBIENTE</b>	A	B	C
A	1,00	6,00	4,00
B	0,17	1,00	0,33
C	0,25	3,00	1,00
	<b>1,416667</b>	<b>10</b>	<b>5,33</b>

0,71	0,60	0,75	Tot.riga	W Priorità	Vettore B	Vettore C
0,12	0,10	0,06	2,06	<b>0,69</b>	0,71	1,03
0,18	0,30	0,19	0,28	<b>0,09</b>	0,10	1,11
			0,66	<b>0,22</b>	0,19	0,86
					1,00	<b>3,00</b>

I quattro vettori priorità sono:

Alternative	Economico	Sicurezza	Comfort	Ambiente	W Priorità
A	0,16	0,48	0,75	0,69	0,52
B	0,60	0,03	0,06	0,09	0,28
C	0,25	0,48	0,19	0,22	0,10
					0,10

Da cui:

$A = 0,16 \cdot 0,52 + 0,48 \cdot 0,28 + 0,75 \cdot 0,1 + 0,69 \cdot 0,1 = 0,36 \rightarrow$  Alternativa scelta.

$B = 0,60 \cdot 0,52 + 0,03 \cdot 0,28 + 0,06 \cdot 0,1 + 0,09 \cdot 0,1 = 0,33$

$C = 0,25 \cdot 0,52 + 0,48 \cdot 0,28 + 0,19 \cdot 0,1 + 0,22 \cdot 0,1 = 0,32$

### Una estensione del metodo: il caso delle matrici incomplete

Per compilare una matrice dei confronti a coppie occorre effettuare un numero di confronti pari a  $n(n-1)/2$ , dove  $n$  è il numero di elementi. Harker(1987) ha sviluppato una procedura che consente all'esperto di non effettuare parte dei confronti.

Tale procedura si basa sulla definizione di matrice quasi reciproca. In una matrice quasi reciproca possono essere presenti alcuni coefficienti nulli: in questo caso risulta  $a_{ij} = a_{ji} = 0$  per alcuni valori di  $i$  e di  $j$  ( $i \neq j$ ), mentre continua a valere la relazione di reciprocità per tutti gli altri coefficienti.

Da una matrice  $A$  quasi reciproca si può ricavare una nuova matrice  $B$  nella quale i coefficienti che non appartengono alla diagonale principale coincidono con quelli di  $A$ , mentre i coefficienti della diagonale,

che nella matrice A sono uguali a 1, assumono in B il valore  $m_i$ , essendo  $m_i$  il numero di coefficienti nulli presenti nella riga  $i$ -esima di A. Il valore  $m_i$  rappresenta pertanto il numero di confronti non effettuati nei quali è coinvolto l'elemento  $i$ .

Harker ha dimostrato che le componenti dell'autovettore principale della matrice B costituiscono delle stime corrette dei pesi degli elementi confrontati. A questo fine Harker ha sviluppato la teoria necessaria per determinare l'autovalore principale di una matrice nella quale alcuni coefficienti sono espressi nella forma funzionale  $w_i/w_j$  (dove i valori  $w_i$  e  $w_j$  sono incogniti) piuttosto che come valori numerici noti.

Questa variante del metodo è di grande importanza quando occorra confrontare un numero elevato di elementi (generalmente più di 6-7 elementi).

Ad esempio, per costruire secondo il metodo tradizionale una matrice di confronti a coppie di 10 elementi l'esperto dovrebbe effettuare 45 confronti. Questo compito è molto oneroso e non sempre un decisore o un tecnico è disposto a svolgerlo. Al crescere del numero di confronti risulta inoltre sempre più difficile mantenere quella coerenza di giudizio necessaria per superare il test di consistenza. Con la variante di Harker il numero dei confronti, per  $n=10$ , può ridursi fino a 9. La scelta del numero dei confronti da effettuare implica un trade - off tra affidabilità del risultato e tempo che il decisore o l'esperto è disposto a spendere per la valutazione.

### **Le modalità di AHP**

Il metodo AHP prevede tre diverse modalità che corrispondono a modi diversi di determinare i pesi locali. In questa sede non tratteremo un'ulteriore modalità - denominata approccio della supermatrice (supermatrix approach) - che consente di prendere in considerazione tutte le dipendenze che si presentano tra gli elementi del problema decisionale, secondo una struttura a rete (network) nella quale i concetti di gerarchia e di livello perdono di significato, e la relazione che collega gli elementi non è più necessariamente unidirezionale, cioè dall'alto verso il basso (Saaty 1996).

Le tre modalità sono (Saaty and Vargas 1993):

- (1) assoluta (absolute mode);
- (2) distributiva (distributive mode);
- (3) ideale (ideal mode).

**(1)** Nella modalità assoluta a ogni obiettivo terminale viene associata una scala costituita da un insieme ordinato di livelli (ad es. ottimo, buono, sufficiente, insufficiente, cattivo, pessimo) che ne misura il grado di soddisfazione. Questa scala può essere diversa da obiettivo a obiettivo.

Dopo aver determinato i pesi locali degli obiettivi terminali con la tecnica dell'autovettore principale, si calcolano i pesi dei livelli associati a ciascun obiettivo terminale con la stessa tecnica (cioè confrontando a coppie i livelli e applicando alle matrici dei confronti a coppie la tecnica dell'autovettore principale). I pesi locali delle azioni non vengono valutati confrontando a coppie le azioni medesime, bensì assegnando a ogni azione il peso del livello che meglio ne rappresenta la prestazione in rapporto all'obiettivo considerato.

In questa modalità il grado di accettabilità di un'azione viene giudicato rispetto a standard (i livelli).

In certi casi è possibile fare riferimento a standard consolidati (come l'uso di un voto da 0 a 10 nel campo della valutazione scolastica, dove il 6 rappresenta la sufficienza); in altri casi, specie quando la valutazione riguarda valori intangibili, non è possibile fare riferimento a standard che siano accettati e condivisi da tutti coloro che partecipano al processo di decisione. Per esempio, chi volesse utilizzare il metodo AHP in *absolute mode* per valutare dei progetti nell'ambito della VIA andrebbe incontro a molte difficoltà, dal momento che non esistono standard consolidati che consentano di valutare l'impatto di un progetto in relazione ad alcuni valori intangibili, come i valori storico-culturali o la qualità dell'ambiente percepibile.

**(2)** Nella modalità distributiva le azioni vengono confrontate a coppie rispetto agli obiettivi terminali: i loro pesi locali, calcolati con la tecnica dell'autovettore principale, vengono normalizzati in modo che la loro somma sia uguale a 1. Si noti che per determinare i pesi delle azioni viene utilizzato dunque lo stesso tipo di normalizzazione applicato a tutti gli altri elementi della gerarchia.

Questa modalità, secondo Saaty, consente di stabilire le priorità delle azioni nei casi in cui occorra tener conto del fatto che la compresenza di azioni uguali (copie) o molto simili (quasi-copie) ne modifica strutturalmente la preferibilità (Saaty and Vargas 1993).

Uno di questi casi è illustrato dal paradosso della donna che intende acquistare un cappello (Saaty 1990). Dopo essersi recata in un negozio e aver deciso di preferire, sia pure di poco, il modello *a* al modello *b*, la donna visita altri negozi. Avendo constatato che *a* è un modello troppo comune e diffuso, la donna ritorna nel primo negozio per comprare *b*, che rappresenta un modello originale, pressoché esclusivo. Questo criterio di originalità, non incluso esplicitamente nel modello,

verrebbe dunque introdotto nel modello dalla modalità distributiva che di fatto tende a sottovalutare le azioni che sono presenti in maggior numero di copie (o quasi-copie).

**(3)** Nella modalità ideale i pesi locali delle azioni, una volta calcolati, vengono normalizzati dividendoli per il peso dell'azione che assume il valore più elevato (l'azione migliore, per ogni obiettivo terminale, ha dunque peso 1). Questa modalità viene utilizzata quando si desidera scegliere l'azione migliore a prescindere dal numero di copie che esistono della medesima, come nel caso dell'acquisto di un'automobile o di un computer (Saaty and Vargas 1993).

Il passo finale, per tutte e tre le modalità, consiste nel calcolare i pesi globali (o priorità) delle azioni applicando il principio di composizione gerarchica.

In questa modalità, come nella modalità assoluta, vengono associati dei livelli a ogni obiettivo terminale della gerarchia. Questi livelli non rappresentano tuttavia livelli assoluti (del tipo ottimo, buono, ecc.).

### **Esempio di applicazione del metodo alla valutazione di grandi infrastrutture territoriali**

Di seguito è riportata un'applicazione del metodo AHP applicata alla valutazione dei progetti elaborati negli anni 1987 e 1988 da importanti società di ingegneria - INFRASUD Progetti, SNAM Progetti, FIAT Engineering - per il piano di disinquinamento per il risanamento della Provincia di Napoli, piano che ha avuto origine nella delibera del Consiglio dei Ministri del 26.2.1987 con la quale la Provincia di Napoli veniva dichiarata area ad elevato rischio ambientale. Lo studio per elaborare e valutare i progetti è stato finanziato dal Ministero dell'Ambiente.

## La valutazione dei progetti del piano di disinquinamento per il risanamento della Provincia di Napoli

Per questa valutazione si è proceduto in primo luogo ad identificare gli obiettivi che i progetti dovevano perseguire, analizzando i rapporti sullo stato attuale dell'ambiente elaborati dagli esperti di settore delle società incaricate di predisporre il piano di disinquinamento, nonché le deliberazioni del Ministero dell'Ambiente, della Giunta della Regione Campania e dalla Giunta Provinciale di Napoli in merito alle problematiche e alle finalità del piano.

In figura è riportata la gerarchia di dominanza, costituita da 5 livelli, dove il goal ("minimare il degrado ambientale della Provincia di Napoli") è stato articolato in sotto-obiettivi specifici. Questa gerarchia, prima di essere utilizzata, è stata verificata e migliorata dagli esperti delle società.

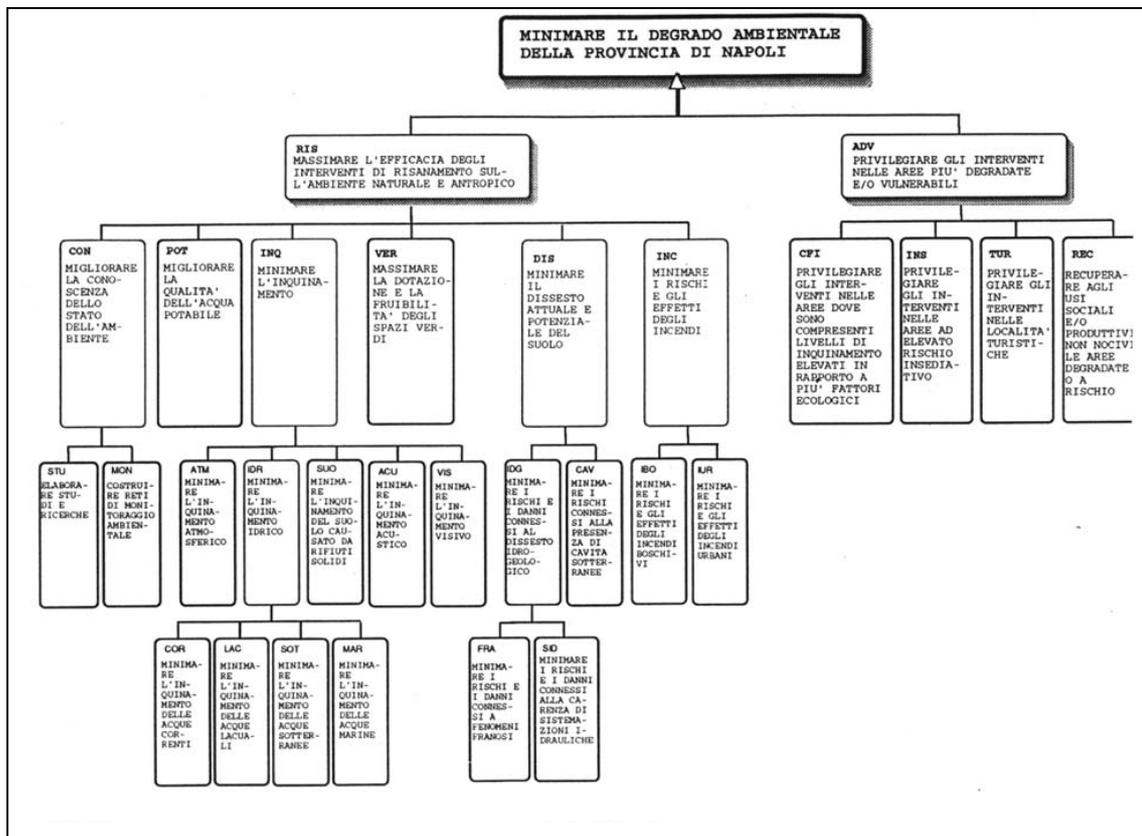


Figura.5.6.4. Struttura gerarchica Predisposta per la valutazione

Nell'ambito del piano sono stati elaborati in un anno 117 progetti che riguardavano sia studi e ricerche che interventi (opere). Questi progetti comprendevano indagini sui fenomeni di subsidenza, reti di monitoraggio ambientale, fognature, condotte sottomarine, impianti di trattamento delle acque, impianti pilota di smaltimento fanghi, opere di risanamento e bonifica di discariche, sistemazioni idrauliche dei bacini montani, istituzione di nuovi parchi, ecc.

Per ogni progetto è stata compilata una scheda che ne descriveva sinteticamente la caratteristiche assieme alle modalità, ai tempi e ai costi di realizzazione. La figura successiva riporta a titolo di esempio due schede che si riferiscono rispettivamente allo studio di un impianto di combustione centralizzato di rifiuti solidi per la produzione di energia e a un intervento di risanamento del suolo in un'area caratterizzata dalla presenza di alcune cave abbandonate.

SCHEDA PER STUDI

Classificazione dello studio	Codice: D.1.1
A.1 <i>Settore:</i> inquinamento del suolo - raccolta e smaltimento rifiuti	
A.2 <i>Denominazione:</i> studio di un impianto centralizzato di combustione di R.D.F. per produzione di energia	
A.3 <i>Ubicazione:</i> un agglomerato industriale A.S.I. della Provincia	
A.4 <i>Comuni interessati:</i> tutti i comuni della Provincia	
<b>Finalità e caratteristiche dello studio</b>	
B.1 <i>Finalità:</i> predisporre lo strumento tecnico per realizzare un impianto centralizzato per la combustione dello R.D.F. prodotto dagli impianti di trattamento dei rifiuti solidi urbani di Giugliano, Caivano e Tufino, con produzione di energia	
B.2 <i>Conoscenze pregresse:</i>	inesistenti <input type="radio"/> incerte <input checked="" type="radio"/> consolidate <input type="radio"/>
B.3 <i>Riduzione dell'inquinamento:</i>	consistente <input type="radio"/> elevata <input checked="" type="radio"/> molto elevata <input type="radio"/>
B.4 <i>Conseguenze operative:</i> l'impianto potrebbe produrre globalmente circa 108 milioni di kwh/anno	
B.5 <i>Tempi di esecuzione:</i> 10 mesi	
B.6 <i>Costi previsti:</i> 1200 milioni	

SCHEDA PER OPERE

Classificazione dell'intervento	Codice: E.3.5																				
A.1 <i>Settore:</i> dissesto del suolo - cave a cielo aperto																					
A.2 <i>Denominazione:</i> risanamento delle cave di Lubrano-M. Grillo																					
A.3 <i>Ubicazione:</i> Monte di Procida																					
A.4 <i>Comuni interessati:</i> Monte di Procida																					
<b>Caratteristiche dell'intervento</b>																					
B.1 <i>Descrizione e modalità di realizzazione:</i> l'intervento prevede il riempimento delle volumetrie libere ed il ripristino vegetazionale delle superfici																					
B.2 <i>Presenza nel contesto di cave in esercizio:</i>	sì <input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/>																				
B.3 <i>Numero di cave:</i> 2																					
B.4 <i>Superficie interessata:</i> 80.000 mq.																					
B.5 <i>Caratteristiche morfologiche delle cave:</i>	a fossa <input checked="" type="radio"/> ad anfiteatro <input type="radio"/> in alveo <input type="radio"/>																				
B.6 <i>Gravità delle forme di inquinamento:</i>	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>elevata</th> <th>consistente</th> <th>modesta</th> <th>nulla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>condizioni igienico-sanitarie</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>inquinamenti di falda</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>intrusione visiva</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>		elevata	consistente	modesta	nulla	condizioni igienico-sanitarie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	inquinamenti di falda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	intrusione visiva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
	elevata	consistente	modesta	nulla																	
condizioni igienico-sanitarie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>																	
inquinamenti di falda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>																	
intrusione visiva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>																	
B.7 <i>Forme di recupero:</i>	riconversione agric. <input checked="" type="radio"/> uso ricreativo <input type="radio"/> restauro ambient. <input type="radio"/>																				
B.8 <i>Possibilità di utilizzo temporaneo come discarica di inerti:</i>	sì <input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/>																				
B.9 <i>Tempi di realizzazione:</i> 36 mesi																					
B.10 <i>Costi di realizzazione:</i> 4100 milioni																					
B.11 <i>Costi di gestione:</i> ?																					

Figura.5.6.5. Schede di analisi

Per valutare i progetti si è proceduto in primo luogo a definire i "livelli" da associare agli obiettivi terminali della gerarchia .

I livelli associati a ogni obiettivo terminale rappresentano altrettanti livelli di efficacia, intendendo per efficacia la capacità del progetto di rimuovere o di mitigare lo specifico tipo di degrado che l'obiettivo imponeva di minimare.

Nella figura seguente sono riportati a titolo di esempio i livelli relativi all'obiettivo SUO: "ridurre l'inquinamento del suolo". Il primo livello di efficacia: "risanamento totale di suolo inquinato ed eliminazione

parziale degli inconvenienti igienico-sanitari conseguenti al risanamento di cave abbandonate" descrive in termini sintetici i benefici ambientali che si otterrebbero attuando uno qualsiasi dei 6 interventi di risanamento (progetti) identificati dai codici E-3-1, E-3-2, E-3-3, E-3-4, E-3-5, E-3-6. Gli altri livelli contengono le azioni progressivamente più efficaci nel perseguire l'obiettivo considerato.

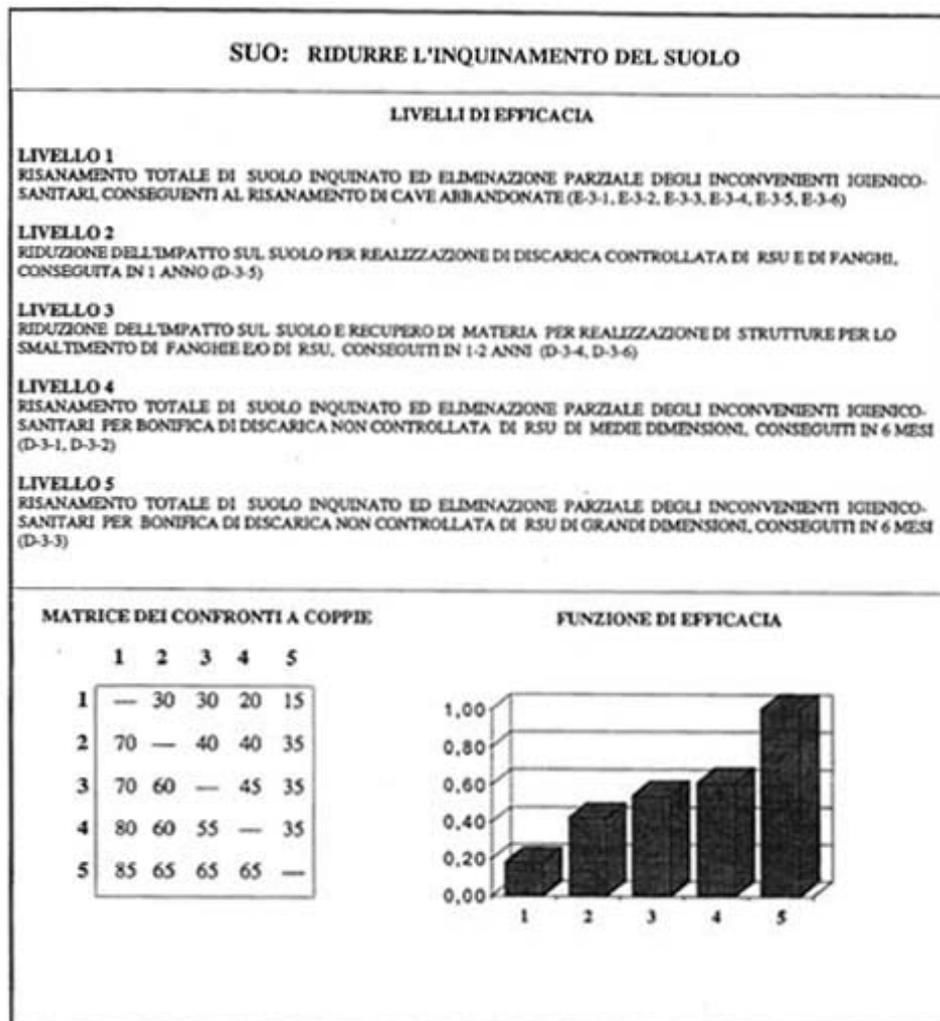


Figura.5.6.5. Livelli di Impatto

Questo modo di definire i livelli ha consentito di valutarne i pesi in modo non ambiguo, poiché il giudizio dell'esperto che ha effettuato i confronti si è applicato a benefici concreti e specifici, e non a categorie di valore del tipo ottimo, buono ecc. che, in assenza di standard di

riferimento, rischiano di essere delle categorie astratte e, in quanto tali, non assoggettabili a un confronto. Tali pesi sono stati dunque determinati assimilando i livelli alle azioni e determinando il loro peso nella modalità ideale (peso del massimo livello di efficacia uguale a 1). Nella Fig. 3 sono anche riportati la matrice dei confronti a coppie e i pesi dei livelli di efficacia dell'elemento terminale considerato.

I coefficienti  $r_{ij}$  e  $r_{ji}$  della matrice rappresentano i "rating" assegnati dall'esperto di settore rispettivamente ai livelli di efficacia  $i$ -esimo e  $j$ -esimo: per ottenere la matrice reciproca corrispondente cui applicare la tecnica dell'autovettore principale basta sostituire a tali coefficienti rispettivamente i rapporti  $r_{ij}/r_{ji}$ .

Il passo successivo ha comportato l'assegnazione di ogni specifico progetto ai livelli di efficacia più appropriati di ogni elemento terminale. Quando un progetto non presentava alcun beneficio in relazione all'obiettivo considerato veniva assegnato al livello 0 (efficacia nulla). Di fatto la definizione dei livelli di efficacia e l'assegnazione dei progetti ai livelli ha proceduto di pari passo.

Per valutare l'efficacia dei progetti rispetto al goal si è proceduto infine ad assegnare i pesi agli obiettivi della gerarchia e ad applicare il procedimento di composizione gerarchica.

Questi pesi sono stati determinati da un gruppo di attori che, per effettuare i confronti a coppie, si sono riferiti a due differenti scenari di valutazione, corrispondenti a due differenti sistemi di valore, denominati A e B e rappresentativi della gestione dell'ambiente fisico, con riferimento agli spazi verdi ed al dissesto del suolo, ovvero dell'importanza degli aspetti igienico sanitari.

Il lavoro ha previsto l'elaborazione di alcuni indici per valutare l'efficacia dei progetti rispetto all'obiettivo principale, di seguito sono riportati i diagrammi relativi a tali indici in riferimento a ciascun progetto.

In particolare, i progetti, rappresentati in ascisse, sono identificati da un numero progressivo (da 1 a 117) e nel primo diagramma sono

riportati gli indici di efficacia, i cui valori sono proporzionali ai pesi globali dei progetti (max=100). Gli altri due diagrammi riportano i costi dei progetti, espressi in unità arbitrarie (max=100), e i rapporti efficacia/costi.

La valutazione che si riferisce allo scenario B non si discosta molto da quella dello scenario A. La concordanza sostanziale dei risultati delle due valutazioni non ha richiesto, come in altre situazioni, una fase di discussione-negoziazione a livello politico per scegliere lo scenario cui fare riferimento al fine di procedere alla scelta dei progetti prioritari.

Occorre osservare che l'indice di efficacia non rappresenta una misura della totalità dei benefici derivanti dalla realizzazione dell'intervento, ma solo di quelli direttamente connessi al risanamento: un'opera come la costruzione di una rete fognaria, ad es., può comportare dei benefici in rapporto a problematiche di riqualificazione di un'area urbana o di un'intera città, con forti ricadute economiche e sociali, che questo studio ha valutato solo in parte. E' tuttavia criticabile la valutazione dei costi, che ha costituito un altro limite dello studio, infatti, i costi dei progetti sono stati valutati esclusivamente come costi di investimento: una stima più realistica avrebbe dovuto prendere in considerazione anche i costi di esercizio e di manutenzione, oltre a quelli non direttamente riconducibili al metro monetario (ambientali, sociali, ecc.).

Infine è importante sottolineare che il risultato della presente valutazione costituisce soltanto uno degli elementi di giudizio da utilizzare ai fini di procedere alla fase attuativa del piano. La scelta dei progetti prioritari non può infatti prescindere da una definizione delle politiche di intervento a livello strategico che tengano conto sia dei piani e dei progetti approvati o in corso di attuazione anche in altri settori d'intervento, sia della natura dinamica del processo di decisione (Strategic Choice).

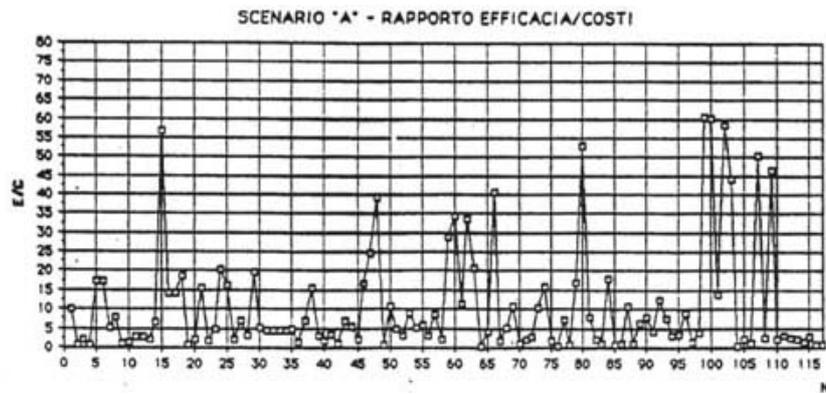
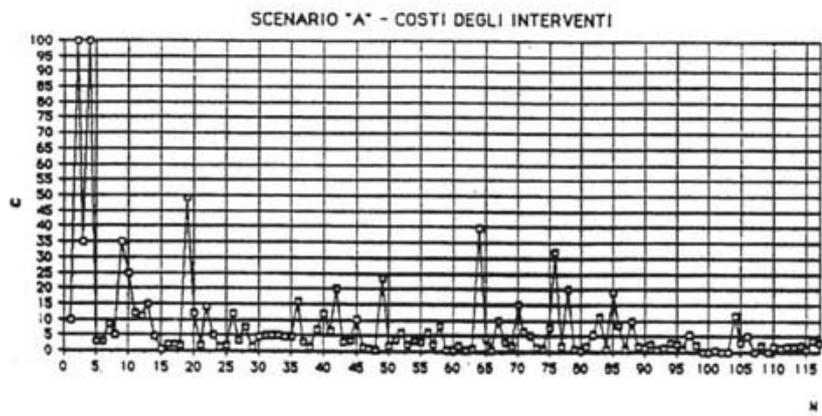
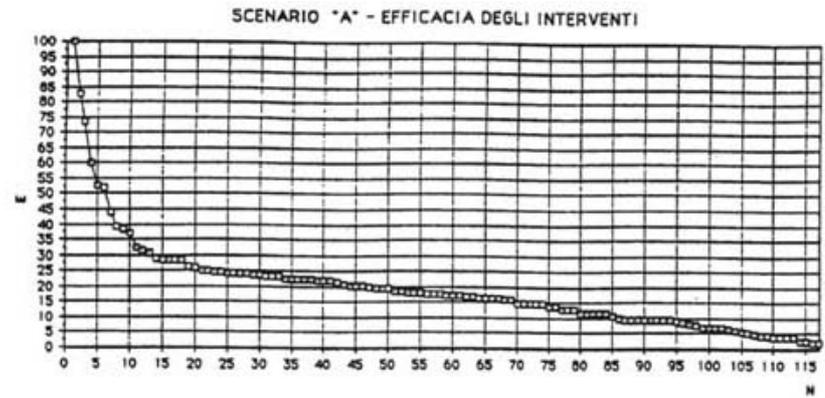


Figura.5.6.6. Diagrammi di sintesi dell'azioni dei diversi progetti

## 5.7. A.H.P. – A.B.C.

Il seguente paragrafo è dedicato all'integrazione della tecnica sopra descritta, con quella dell'analisi benefici costi, mediante un esempio applicativo.

L'esempio, che riguarda la scelta dell'infrastruttura da realizzare per l'attraversamento di un fiume, intende illustrare l'applicazione del principio di utilità marginale nell'ACB. Esso è descritto in "T.L. Saaty and K.P. Kearns, Analytical Planning, Pergamon Press, Oxford, 1985. "

Un'agenzia governativa che ha giurisdizione nel settore della costruzione di ponti e gallerie in una certa area territoriale deve decidere se costruire un ponte o una galleria per superare un fiume, che attualmente è attraversato soltanto da una ferrovia privata. I fattori che influenzano sia i costi che i benefici connessi alla realizzazione di queste infrastrutture sono mostrati nelle due gerarchie seguenti:

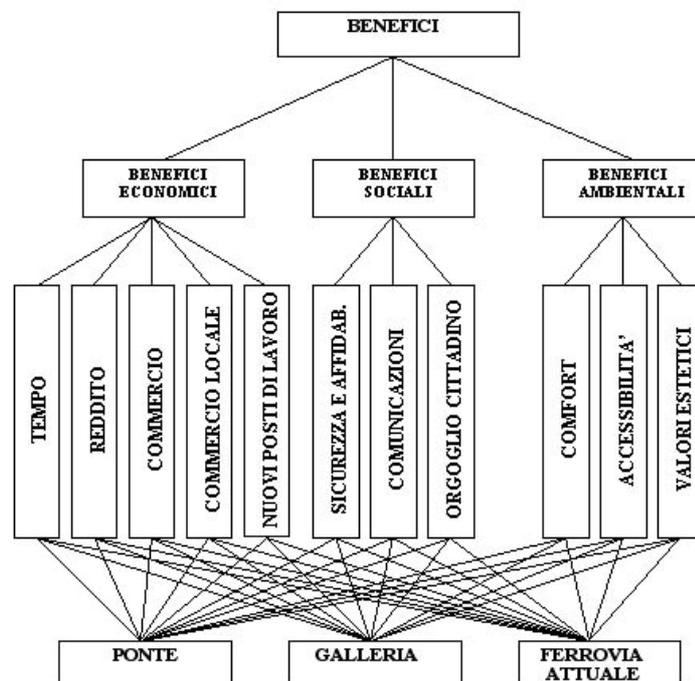


Figura.5.7.1. Struttura Gerarchica dei benefici

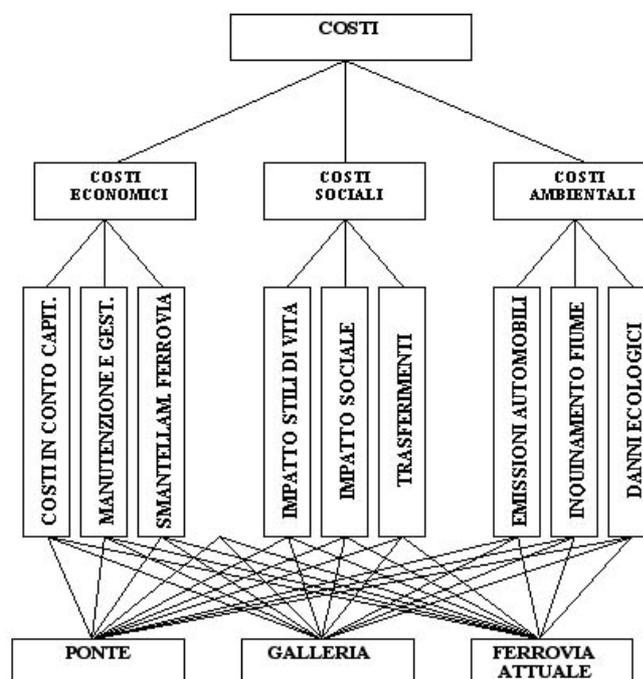


Figura.5.7.2. Struttura Gerarchica dei Costi

Per realizzare il confronto tra le diverse alternative, si sono valutati i benefici ed i costi

I fattori economici che condizionano la scelta del progetto riguardano i vantaggi derivanti dal risparmio di tempo conseguente all'utilizzo del nuovo ponte (o della nuova galleria) in luogo della ferrovia attuale.

I maggiori flussi di traffico potranno determinare una maggiore disponibilità di risorse finanziarie per l'amministrazione locale, dovuta all'aumento degli incassi (pedaggi). Il traffico favorirà le attività commerciali sia nell'intera area, sia nelle zone immediatamente adiacenti all'area dell'intervento (ed esempio, delle stazioni di servizio, dei ristoranti, ecc). Un altro beneficio economico consisterà nei posti di lavoro (anche se a termine) creati nel settore delle costruzioni.

Se i criteri economici fossero i soli ad essere presi in considerazione, la totalità dei benefici potrebbe essere calcolata in termini quantitativi (monetari). Anche i costi potrebbero essere calcolati

quantitativamente, e si potrebbe così valutare immediatamente il rapporto benefici/costi e utilizzarlo per prendere una decisione. In realtà occorre considerare anche i benefici sociali e ambientali, che non possono essere "tradotti" direttamente in valori monetari. I benefici sociali del progetto sono rappresentati dai vantaggi che derivano alla società locale, nel suo complesso, a seguito della presenza del nuovo ponte o della galleria.

Per esempio, il ponte e la galleria sono considerati più sicuri e affidabili della ferrovia. Inoltre un ponte o una galleria potrebbe favorire una maggiore frequenza dei viaggi, e dunque le visite delle persone a parenti e amici, ai musei, ecc.

La realizzazione di entrambe le opere è infine motivo di orgoglio per la comunità.

I benefici ambientali differiscono da quelli sociali poiché ogni singolo individuo considera spesso i benefici collettivi troppo astratti e scarsamente rilevanti ai fini del suo benessere personale.

Nel caso in esame i fattori ambientali di maggiore interesse per l'individuo sono i livelli di comfort derivanti dall'uso del ponte, della galleria o dell'attuale ferrovia; il miglioramento dell'accessibilità conseguente all'utilizzo di queste infrastrutture; l'impatto sul contesto estetico dovuto alla realizzazione di ciascuna di esse.

Come i benefici, anche i costi riguardano fattori economici, sociali e ambientali. La gerarchia mostra i costi economici che sono rilevanti per il problema di decisione: i costi di realizzazione delle alternative (costi in conto capitale), i costi di gestione e manutenzione delle opere e i costi di smantellamento della ferrovia attuale.

I costi sociali, come i benefici, riguardano l'intera collettività: l'interferenza con gli stili di vita connessa alla realizzazione di ciascuna alternativa; i diversi livelli di congestione del traffico indotti dai progetti; i danni sociali conseguenti all'allontanamento di una parte degli abitanti dalle loro attuali residenze.

I costi ambientali differiscono dai benefici poiché riguardano i possibili danni prodotti dalle alternative di progetto sull'ecosistema.

Per esempio, alle tre modalità di attraversamento del fiume sono collegati diversi livelli di inquinamento atmosferico. Inoltre, l'entità dell'inquinamento dell'acqua del fiume e dell'impatto sugli ecosistemi fluviali può essere diversa.

Nel calcolo sia dei benefici che dei costi, al criterio economico è stato assegnato un peso maggiore rispetto agli altri criteri.

I benefici per il commercio, l'aumento di sicurezza e affidabilità del sistema di trasporto e il miglioramento dell'accessibilità sono stati considerati più importanti di altri.

Lo stesso dicasi per i costi in conto capitale, le necessità di allontanare parte dei residenti dalla loro attuale abitazione e la quantità di emissioni prodotta dalle automobili.

I benefici e i costi finali sono riportati nella tabella seguente:

	ponte (1)	galleria (2)	ferrovia (3)
benefici (b.)	0.57	0.36	0.07
costi (c.)	0.36	0.58	0.05

Un criterio utilizzato in ACB consiste nello scegliere il progetto con il rapporto benefici/costi ( $b_i/c_i$ ) più elevato. In questo caso si ha:

ponte (1)	galleria (2)	ferrovia (3)
$b_1/c_1 = 1.58$	$b_2/c_2 = 0.62$	$b_3/c_3 = 1.28$

Il risultato è dunque a favore della realizzazione del ponte.

Per applicare il principio d'utilità marginale è necessario ordinare le alternative per costi crescenti: ferrovia ( $c_3 = 0.05$ ), ponte ( $c_1 = 0.36$ ), galleria ( $c_2 = 0.58$ ), e costruire i rapporti delle successive differenze dei benefici e dei costi (si noti che in questo caso l'opzione zero coincide con il mantenimento dell'attuale ferrovia):

$$(b1-b3)/(c1- c3) = (0.57-0.07)/(0.36-0.05) = 0.50/0.31 = 1.61$$

$$(b2-b1)/(c2- c1) = (0.36-0.47)/(0.58-0.36) < 0$$

Il confronto tra galleria e ponte porta ad escludere direttamente la scelta di realizzare la galleria, perché a un incremento di costi corrisponde un decremento di benefici (utilità marginale negativa). In definitiva, anche l'applicazione del principio d'utilità marginale porta alla stessa scelta (realizzazione del ponte) che si ottiene con il semplice calcolo del rapporto benefici/costi.

## Bibliografia

- [1] R. Kenney, H. Raiffa – Decision with multiple objective: preference and value trade –offs Cambridge University Press, 1993.
- [2] A. Goicoehea et al. – Mutliobjective decision analysis with engineering and business applications – Jhon Wiley &sons, 1982
- [3] .C.L. Hwang, A.S. M. Masud – Multiple objective decision making . Methods and applications – Lecture notes in economics and matematicale system , Springer – Verlag 1979
- [4] A. Jaszkievicz; R. Slowinski – Outranking Based interactive esxploration of a set of multicriteria alternatives – Jouranal of Multicriteria Decision Analysis Vol.6 – 1997
- [5] M. Tamiz D.F: Jones – interactive frameworks for investigation of Goal Prgramming Models Theroy and Praticce – journal of Mutli Criteria Deciosion Analysis Vol. 6 1997
- [6] D. Bouyssou – Outranking relations do they have speciale proprietes – Journal of Multi Criteria Decision Analysis Vol. 6 -1997
- [7] . B. Roy – The Outranking approach and foundations of Electre methods – Theory and Decision n°31 – 1991
- [8] B . Roy – Decision aid and decision Making – European Journal of Operational Research n°45 1990
- [9] J . Hokkanen , P.Saliminen – Electre III and IV decision aids in an environmetal problem – Journal of Mutlicriteria Decision Aanalysis vol. 6 1997
- [10] S. H Zanakis et al. – Multiattribute decision making a simulation comparison of select methods – Euponean Journal of Operational Research n°107 -1998
- [11] M.Saito – Application of the Analytc Hierarchy method to setting priorities on bridge replacemete projects – Trasportation Reserch Board n°1124 – 1987
- [12] J.S. Dyer – Remarks on the Analytic Hierarchy Process – Management Scienxe vol. 36 n°3 1990
- [13] D.M. Buede, D.T. Maxwell – Rank Disagreement: a comparison of multicriteria methodologies – Journal of Multicriteria Deciosion Analysis vol. 6 – 1997
- [14] Bereano A. (1972), A Proposed Methodology for Assessing Alternative Technologies, Cornell University, Ithaca, New York.
- [15] Bresso M., Russo R., Zeppetella A. (1985), Analisi dei progetti e valutazione d'impatto ambientale, Franco Angeli, Milano
- [16] Canter L.W. (1983), *Methods for Environmental Impact Assessment: Theory and Application*, in 'Environmental Impact Assessment' (ed. by PADC), Martinus Nijhoff Publ., The Hague
- [17] Dasgupta A.K. and Pearce D.W. (1972), *Cost-benefit Analysis: Theory and Practice*, Mc Millan Press Ltd, London.
- [18] Dee N. et al. (1973), *Planning Methodology for Water Quality Management: Environmental Evaluation System*, Battelle-Columbus Laboratories, Columbus, Ohio.

- [19] Falque F. (1975), *Prise en compte de l'environnement dans les procedures d'aménagement*, *Research Environment*, 10, 56-78.
- [20] FORMEZ (1983), *L'analisi costi-benefici*, Quaderni Regionali n. 10 e 17, seconda ed., Napoli
- [21] Krauskopf T.M. and Bunde D.C. (1972), *Evaluation of Environmental Impact through a Computer Modelling Process*, in 'Environmental Impact Analysis: Philosophy and Methods' (eds. Ditton R. and Goodale T.), University of Wisconsin.
- [22] Leopold L.B. et al. (1971), *A Procedure for Evaluating Environmental Impact*, U.S. Geological Survey Circular 45, Washington D.C., U.S. Geological Survey
- [23] McHargh I. (1969), *Design with Nature*, Natural History Press, New York.
- [24] Mishan E.J. (1973), *Cost-benefit Analysis. An Informal Introduction*, Allen & Unwin Ltd, London.
- [25] Moore J.L. et al. (1973), *A Methodology for Evaluating Manufacturing Environmental Impact Statements for Delaware's Coastal Zone*, Battelle-Columbus Laboratories, Columbus, Ohio.
- [26] Prest A.R. and Turvey R. (1965) *Cost-benefit Analysis: a Survey*, *The Economic Journal*, 683-712.
- [27] Solomon R. et al. (1977), *Water Resources Assessment Methodology (WRAM). Impact Assessment and Alternative Evaluation*, Contract Report Y-77-1, Vickburb, Mississippi.
- [28] Zeppetella A., Bresso M., Gamba G. (1992), *Valutazione ambientale e processi di decisione*, NIS, Roma.
- [29] Armstrong W.E. (1939), *The Determinateness of the Utility Function*, *Econ. Journal*, **49**, 453-467.
- [30] Dyer J.S. (1990), *A clarification of Remarks on the Analytic Hierarchy Process*, *Management Science*, **36**, 143-144.
- [31] Giangrande A. (1987a), *Via e autostrade: Analisi Multicriteri*, VIA, anno 1, n. 2.
- [32] Giangrande A. (1987b), *Un'ipotesi di metodo per gli studi d'impatto: l'Analisi Multicriteri*, Quaderni di VIA, n. 1.
- [33] Golden B.L., Wasil E.A., Levy D.E. (1989), *Application of the Analytic Hierarchy Process: a categorized, annotated bibliography*, in 'The Analytic Hierarchy Process - Applications and Studies' (Golden, Wasil and Harker eds.), Springer-Verlag, Berlin
- [34] Saaty T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York
- [35] Saaty T.L. and Vargas L.G. (1993), *Experiments on rank preservation and reversal in relative measurement*, *Mathl. Comput. Modelling*, **17**, 13-18.
- [36] Vincke P. (1981), *Preference modelling, a survey and an experiment*, in 'Proceedings of the IFORS 81 Conference' ( Brans J.P. ed.), Hambourg.
- [37] Voogd H. (1983), *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pion Limited, London.
- [38] Saaty T.L. (1986), *Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process*, *Management Sciences*, **32**(7), 841-855.

- [39] Saaty T.L. (1996), *The Analytic Network Process*, RSW Publications, Pittsburgh.
- [40] Saaty T.L., Vargas L.G. and Wendell R.E. (1983), *Assessing Attribute Weights by Ratios*, OMEGA, 11(1), 9-13.

## MODELLO DI VALUTAZIONE

### 6.0 Struttura Gerarchica Dei Criteri

La scelta tecnico-progettuale per un'infrastruttura viaria è un'attività complessa in virtù dei diversi fattori coinvolti, spesso conflittuali quali: ambiente economia e tecnica.

Al fine di individuare il punto di equilibrio tra gli stessi è opportuno, definire un processo di valutazione, supportato da opportuni criteri di giudizio in grado di confrontare le diverse alternative proposte.

Tuttavia, prima di descrivere il modello ad hoc strutturato per supportare le decisioni nella valutazione delle diverse alternative di tracciato, è indispensabile operare un chiarimento riguardo ai termini di valutazione, scelta e decisione.

In particolare la valutazione rappresenta un momento tecnico, ovvero un contributo di razionalità al processo decisionale; la scelta invece, è la sintesi dell'aspetto politico e di quello tecnico, necessario a comprendere l'efficacia degli impatti delle diverse alternative sul territorio, risultando indispensabile per l'assunzione della decisione, momento esclusivamente politico.

Il presente capitolo è dedicato a quella fase del processo di valutazione, che così come definita da Kenney and Raiffa<sup>28</sup> è rivolta all'individuazione degli obiettivi rispetto ai quali analizzare le alternative, selezionando quelle in grado di massimizzare le prestazioni degli stessi secondo un'indicazione della direzione preferita.

---

<sup>28</sup> L'obiettivo rappresenta la ricerca della direzione preferita di movimento - Kenney, H. Raiffa – Decision with multiple objective: preference and value trade – offs – Cambridge University Press, 1993

Analogamente, un criterio di giudizio deve essere inteso come elemento utile per arrivare all'obiettivo seguendo una direzione ben precisa.

Nel progetto infrastrutturale, atteso il rilevante impatto, risulta indispensabile individuare, nelle diverse prospettive (ambientale, tecnica ed economica), gli strumenti attraverso cui definire il miglior tracciato stradale (obiettivo).

Nei paragrafi successivi, si presenterà la struttura gerarchica (figura 6.1) opportunamente predisposta per la valutazione dei tracciati alternativi, descrivendo in dettaglio i criteri, i sub criteri, nonché gli indicatori utilizzati per la fase valutativa. Questi ultimi di carattere sia quantitativo che qualitativo hanno il compito di sintetizzare le prestazioni delle diverse alternative rispetto all'intera struttura, gestendo da un lato la complessità delle alternative in tempi brevi, dall'altro traducendo in parametri facilmente misurabili e "leggibili" le informazioni essenziali ed esaustive da presentare al "decisore".

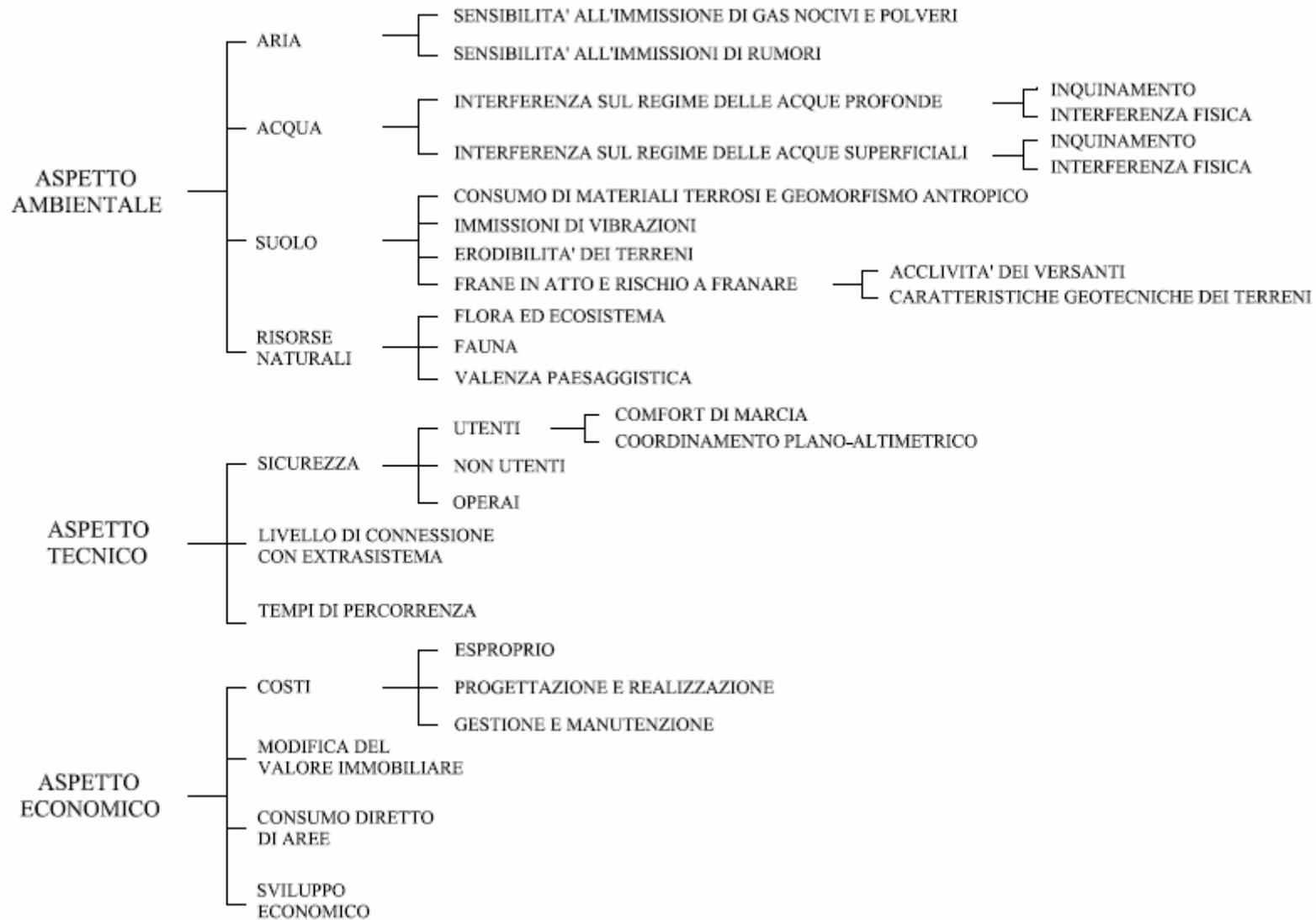


Figura.6.1. Struttura Gerarchica

## 6.1. Criterio Ambientale

L'inserimento ambientale di un'opera d'ingegneria civile nella sua area vasta e nella fascia ristretta di impatto diretto è uno dei fattori definiti "fondamentali" nelle scelte progettuali; infatti, l'elevata invasività potenziale e la conseguente variazione dell'equilibrio attuale tra uomo ed ambiente pone spesso diversi interrogativi.

Gli effetti temuti sono molteplici, ma in linea di massima, sia in fase di esercizio che nel corso delle attività costruttive, si raccomanda di tenere in considerazione:

- le varie forme di immissioni nel territorio circostante (gas inquinanti e polveri, rumori, vibrazioni, ecc);
- le turbative nel regime idraulico e nella qualità delle acque superficiali e profonde, con conseguenti effetti sull'uso della risorsa idrica, nonché sull'erosione e sulla stabilità dei versanti;
- l'aggressione al sistema naturalistico (flora, fauna, ecosistemi);
- il rispetto delle preesistenze storiche, monumentali ed archeologiche;
- la conservazione degli equilibri geotecnici degli ammassi e statici delle costruzioni interferenti;
- le trasformazioni indotte nel paesaggio naturale ed antropico;
- l'influenza sull'uso del suolo, in ordine a:
  - sottrazione di superfici ad altri usi produttivi;
  - funzionalità dell'opera all'assetto urbanistico (attuale e programmatico) nell'area vasta;
  - capacità di assicurare, nell'area ristretta d'influenza, adeguata accessibilità ai suoli da servire.

Attualmente le verifiche ambientali formali dei progetti sono assegnate alle fasi preliminare e/o definitiva del loro sviluppo. Lunghi dallo svincolarne il responsabile tecnico dello SdF, ciò lo responsabilizza maggiormente, imponendogli di adottare scelte di base che non debbano essere contraddette a seguito dei successivi sviluppi progettuali.

Il carico di responsabilità che si propone nell'ambito dell'analisi ambientale dello SdF, è l'individuazione di un corridoio che tolleri gli impatti (a condizione, ben inteso, di scelte tecniche appropriate per minimizzarli, compensarli e mitigarli) in cui sia possibile inserire un tracciato dalle prestazioni ottimali rispetto alle esigenze della mobilità che guidano l'investimento.

La selezione dei fattori di sensibilità da considerare nella verifica risente della specificità dei progetti e degli ambiti in cui essi si inseriscono: attiene quindi alla valutazione del progettista, che assicura l'esaustività sostanziale dell'analisi.

La base di partenza dello studio del singolo fattore è il gruppo di carte tematiche ed esso relative.

L'area vasta d'inserimento dell'opera (intesa come la porzione di territorio in qualche misura influenzata da una delle possibili soluzioni di tracciato) viene suddivisa, con la sovrapposizione di una griglia, in areole di dimensioni uniformi; di norma si sceglie per la griglia la maglia quadrata, con la dimensione del lato risultante dal compromesso fra:

- omogeneità dei fattori d'interesse all'interno dell'areola tipica;
- dettaglio delle informazioni disponibili;
- possibilità di gestire informaticamente un elevato numero di elementi (specialmente per aree di studio ampie, corrispondenti a strade in progetto di notevole impegno territoriale)<sup>29</sup>.

Si è pertanto costruito per tale criterio l'albero delle componenti ambientali (tabella.6.1), che specializzandosi in tre gerarchie, consente di valutare l'impatto dei diversi tracciati rispetto alla macro componente ambientale.

ASPETTO AMBIENTALE	ARIA	SENSIBILITA' ALL'IMMISSIONE DI GAS NOCIVI E POLVERI	
		SENSIBILITA' ALL'IMMISSIONI DI RUMORI	
	ACQUA	INTERFERENZA SUL REGIME DELLE ACQUE PROFONDE	INQUINAMENTO
			INTERFERENZA FISICA
		INTERFERENZA SUL REGIME DELLE ACQUE SUPERFICIALI	INQUINAMENTO
			INTERFERENZA FISICA
	SUOLO	CONSUMO DI MATERIALI TERROSI E GEOMORFISMO ANTROPICO	
		IMMISSIONI DI VIBRAZIONI	
		ERODIBILITA' DEI TERRENI	
		FRANE IN ATTO E RISCHIO A FRANARE	
	RISORSE NATURALI	FLORA ED ECOSISTEMA	
		FAUNA	
		VALENZA PAESAGGISTICA	

**Tabella 6.1. Albero delle componenti ambientali**

<sup>29</sup> Si assumono ordinariamente dimensioni dei lati della maglia di 200÷500 m.

Ciascuna delle componenti ambientali sopra sinteticamente descritte, viene sottoposta a valutazioni quantitative e/o qualitative e costituisce oggetto di analisi di dettaglio, da trasferire in specifiche carte tematiche: queste sono discretizzate successivamente, riportando, in ognuna delle areole omogenee in cui il territorio è stato suddiviso, la qualificazione della componente in esame corrispondente al carattere prevalente nel suo ambito. La rappresentazione di solito utilizza colorazioni o retinature (assistite da legenda), indicative del grado gerarchico della determinazione media areale del valore della componente (es: scarsa o scadente, lieve, moderata, forte, massima).

La procedura più idonea di aggregazione delle componenti ambientali (dalla base verso il vertice della descritta piramide), estesa alle "m" unità territoriali in cui l'area di studio è stata suddivisa, si fonda sulla implementazione di "n" sistemi inferenziali *fuzzy*, processati in sequenza, per gradi. Ciascun sistema fornisce, in forma numerica, il grado di vulnerabilità delle unità territoriali (dunque, la rappresentazione della loro sensibilità territoriale rispetto a ciascuna delle componenti ambientali).

Come è noto, le fasi del funzionamento di un sistema inferenziale *fuzzy* sono due: "processo inferenziale" e "defuzzificazione".

Nel "processo inferenziale" si effettua l'operazione di somma logica, applicando "regole di produzione": queste consistono in "condizioni" che legano alcune "premesse" (blocco antecedente) alle corrispondenti "conclusioni" (blocco conseguente). La "defuzzificazione" è la conversione delle conclusioni in un unico valore numerico.

Un sistema complesso può essere così analizzato come un aggregato formato da parti semplici, ciascuna delle quali è indipendente dalle altre: tutte le regole sono rese operanti da ingressi differenti, sono indipendenti e non interagiscono fino all'attivazione dell'operazione di somma logica.

Un sistema inferenziale *fuzzy* non necessita di un numero elevato di regole ed è pertanto adatto alla risoluzione di problemi complessi con una forte riduzione dei tempi di elaborazione.

## 6.2 Criterio Tecnico

Il criterio tecnico senza dubbio riguarda gli aspetti ingegneristici dell'opera e della sue parti ed è relativo sia alla fase di progettazione dell'infrastruttura viaria nel rispetto delle diverse normative di settore, sia al raggiungimento degli standard prestazionali espressi in termini di tempi di percorrenza e comfort di guida richiesti dall'utenza.

Nel presente lavoro si è inteso perseguire, mediante la struttura gerarchica associata a tale criterio, il raggiungimento di diverse prestazioni richieste e riscontrabili in fase di esercizio, nonché garantire ottimizzando il grado di interconnessione con l'extrasistema, la funzione di integrazione, di scambio e di valorizzazione della rete stradale di riferimento.

Nella tabella seguente è riportata la scomposizione gerarchica di tale criterio con indicazione dei sottocriteri e dei relativi indicatori oggetto di successivi paragrafi.

ASPETTO TECNICO	SICUREZZA	UTENTI	COMFORT DI MARCIA
			COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO
		NON UTENTI	
		OPERAI	
	LIVELLO DI CONNESSIONE CON EXTRASISTEMA		
	TEMPI DI PERCORRENZA		

**Tabella. 6.2. Albero dell'aspetto tecnico**

### 6.3 Criterio Economico

Il criterio economico è rappresentativo dell'impatto che la realizzazione dell'infrastruttura viaria genera sull'economia nazionale e locale. Anche per tale ultimo macrocriterio si è costruito un albero gerarchico contenente le componenti maggiormente coinvolte dalla realizzazione e messa in esercizio di una infrastruttura viaria maggiormente significativi in fase di scelta. I settori considerati sintetizzano sia le voci prevalenti all'interno delle analisi economiche allegate agli studi di fattibilità.

ASPETTO ECONOMICO	COSTI	ESPROPRIO
		PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE
		GESTIONE E MANUTENZIONE
	MODIFICA DEL VALORE IMMOBILIARE	
	CONSUMO DIRETTO DI AREE	
SVILUPPO ECONOMICO		

**Tabella. 6.3. Albero dell'aspetto economico**

## 6.4 Criteri e definizione dei relativi indicatori

Nei seguenti paragrafi si descriveranno gli elementi disposti a livello più basso della struttura gerarchica presentata in figura 6.1.. In particolare, gli indicatori utilizzati rappresentano una prima sintesi delle informazioni necessarie per la valutazione, quindi, vista la loro posizione nella gerarchia dell'albero, il punto di inizio della valutazione comparativa delle alternative proposte.

A tal fine si sono individuati, rispetto ad ogni elemento sovra ordinato nella gerarchia, una serie di indicatori, il cui obiettivo è di definire una *misura numerica della prestazione, affidabile e riproducibile*, ovvero basata su dati accessibili e reperibili *facilmente a basso costo*.

### 6.4.1 Criteri e indicatori ambientali

Il criterio ambientale è stato scomposto in quattro sub criteri: aria, acqua, risorse naturali e suolo.

#### **Aria**

Tale sub criterio è rappresentativo dell'inquinamento atmosferico, riscontrabile a seguito dell'attività antropica di realizzazione ed esercizio dell'infrastruttura viaria di progetto. In particolare mediante la sua stima si è inteso valutare la sensibilità del sito, ovvero la sua possibilità di incrementare la "pressione di carico inquinante nell'atmosfera".

A tal fine si è suddiviso il sub criterio aria in ulteriori due componenti: la sensibilità all'immissione di gas nocivi e polveri (fattori statici) e la sensibilità all'immissione di rumori (fattori dinamici).

Per la stima di tali sensibilità si sono utilizzati due indicatori, entrambi basati sul principio dell'abitante equivalente. Quest'ultimo è stato definito come il numero di abitanti corrispondenti ad una superficie standard di 40mq e per una determinata destinazione d'uso, gli indicatori utilizzati hanno consentito di determinare per fasce di

100m nel caso di gas e polveri e di 250m in quello di rumori, il numero di abitanti esposti<sup>30</sup> e quindi l'impatto generato dall'alternativa oggetto di valutazione.

In base alle informazioni acquisite dalle cartografie tematiche, ovvero dall'analisi dello strumento di pianificazione territoriale, si sono quindi determinati sia il numero di abitanti equivalenti (Ng) esposti alle emissioni di gas nocivi, sia i corrispondenti (Nr) esposti ad un inquinamento acustico.

La determinazione si è realizzata così come di seguito riportato e rappresentato in tabella seguente:

<b>N. abitanti Equivalenti</b>	<b>SUPERFICIE (mq)</b>	<b>DESTINAZIONE D'USO</b>
4	>40 m <sup>2</sup>	edifici per civile abitazione
2	40 m <sup>2</sup> <	edifici per civile abitazione
10	>40 m <sup>2</sup>	edifici pubblici
20	40 m <sup>2</sup> <	edifici pubblici

**Tabella. 6.4.1. Ripartizione degli abitanti equivalenti**

## **Acqua**

Con tale criterio si è inteso determinare l'insieme degli impatti generati dall'infrastruttura sulla componente idrica superficiale e profonda.

L'utilizzo di tale criterio è risultato essenziale non solo per la definizione delle interferenze generate, ma anche per la valutazione della severità delle stesse.

Si sono quindi individuati e stimati con l'ausilio di cartografie tematiche e ricorrendo al "giudizio di esperti", i fenomeni idraulici subordinati ad interferenze fisiche (rischio idraulico, trasporto solido, erosione o interrimento, fenomeni ondosi e regime delle correnti) e relativi a possibili inquinamenti.

Per entrambi i regimi (superficiale e profondo) si sono determinati, sia l'inquinamento attribuibile al contenuto nocivo delle acque reflue (scarichi), incluso il materiale inorganico pulverulento rilasciato durante le operazioni di cantiere, sia l'interferenza fisica, che è potenzialmente causa di alterazioni del reticolo idrografico superficiale e di irreversibile disturbo delle vie d'acqua profonde<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> L'inquinamento atmosferico, in generale è causa di danno non solo sulla componente antropica, ma anche su quella animale e vegetale, nel presente lavoro si è comunque valutato questo impatto, ma nell'ambito del sub criterio denominato : "risorse naturali".

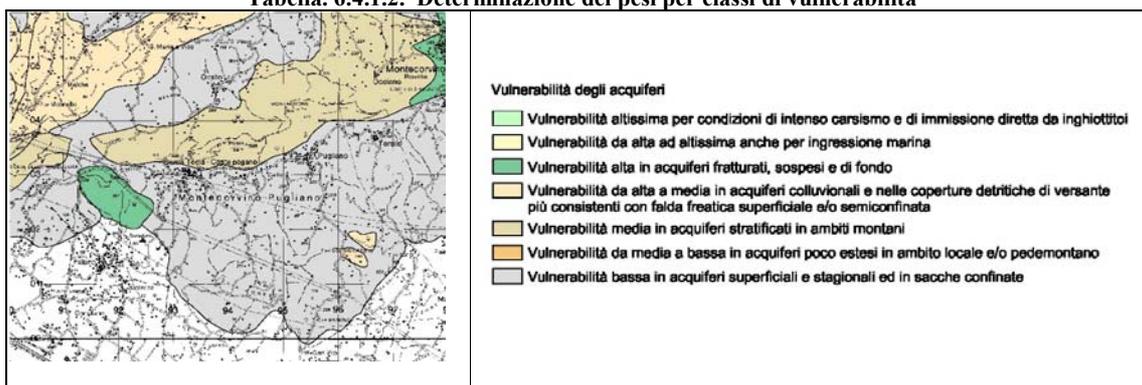
<sup>31</sup> Tratta dell'Alta Velocità Firenze – Bologna.

Al fine di quantificare tale stima si sono utilizzate due serie di indicatori, di cui la prima relativa alla valutazione qualitativa dell'inquinamento e la seconda relativa all'assetto distributivo corrispondente all'interferenza fisica con le falde.

In particolare l'utilizzo della carta tematica delle "Fasce di vulnerabilità degli acquiferi", successivamente calibrata per il caso di studio mediante un sistema di pesi<sup>32</sup>, così come di seguito rappresentato in tabella 6.4.1.2., ha consentito di valutare (Ip)<sup>33</sup> l'inquinamento delle acque profonde per km di infrastruttura.

PESI	Classi di vulnerabilità
1	vulnerabilità bassa
1.5	vulnerabilità media
2	vulnerabilità medio-alta
2.5	vulnerabilità alta

**Tabella. 6.4.1.2. Determinazione dei pesi per classi di vulnerabilità**



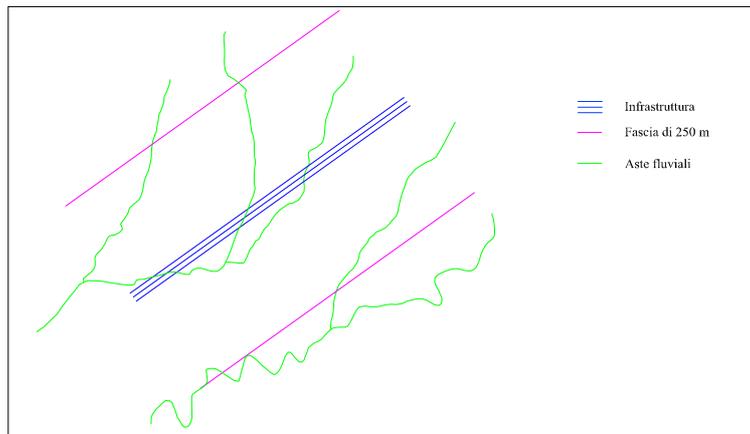
**Figura . 6.4.1.2. Carta della vulnerabilità degli acquiferi**

Per le acque superficiali l'inquinamento è stato stimato mediante il numero di recapiti (Re) ricadenti in una fascia di 250 m. In realtà durante la fase di scelta di tale indicatore si era ritenuto altrettanto efficace l'utilizzo dell'indicatore 1/n con n numero di recapiti. Tuttavia, durante il Focus Group all'uopo realizzato, si è abbandonata tale ipotesi, ritenendo più gravoso, a seguito della realizzazione della nuova infrastruttura, ripartire il carico inquinante su più recapiti dal diverso regime idraulico.

Di seguito è riportata in figura n. 6.4.1.3. una rappresentazione schematica per la determinazione di Re.

<sup>32</sup> Ricorso a giudizi di esperti

<sup>33</sup> Ip : indicatore per la valutazione delle acque profonde



**Figura 6.4.1.3. Determinazione dell'indicatore Re**

L'altra serie di indicatori utilizzata ha consentito di stimare le diverse interferenze riscontrabili lungo lo sviluppo del tracciato, in particolare con il supporto di carte tematiche si sono computati rispettivamente i chilometri di gallerie che interessano le falde ( $G_f$ ) e il numero di interferenze ( $N_i$ ) delle aste facenti parte del reticolo idrografico.

## Suolo

La realizzazione di un'infrastruttura viaria è un'opera definita "massiva" per l'impiego dei materiali, ovvero per l'approvvigionamento e lo smaltimento degli stessi e per tutte le problematiche ad esso connesse; nondimeno la realizzazione dei diversi corpi d'opera costituenti il tracciato apporta un notevole cambiamento alla morfologia dei luoghi, in termini di pendenze, di uso del suolo e di substrato.

Al fine di computare tali effetti si è inteso dividere tale criterio in ulteriori quattro sottocriteri quali:

- *consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico*: rappresentativo dell'effettivo consumo di materiale necessario per la realizzazione dei rilevati e dei diversi corpi d'opera, ovvero della mutazione dell'aspetto geomorfico a seguito dell'attività antropica dell'uomo (accessibilità, fruibilità, substrato, etc.);
- *immissioni di vibrazioni*: rappresentativo del danno arrecato alle diverse componenti, antropiche-ambientali, dal transito dei veicoli e dei diversi mezzi durante la fase di realizzazione e di esercizio della nuova infrastruttura;
- *erodibilità dei terreni*: rappresentativo della variazione dell'erosione indotta ai terreni attraversati, che caratterizzati da una determinata tessitura e piovosità, subiscono in funzione delle lavorazioni: l'asportazione del materiale terroso, un aumento delle pendenze, una riduzione del grado di copertura, nondimeno una variazione dell'esposizione;
- *frane in atto e rischio a franare*: rappresentativo delle instabilità dei terreni attraversati, ovvero della variazione per effetto delle realizzazioni, delle caratteristiche litologiche e clivometriche.

Come per il resto della struttura gerarchica anche per questi sottocriteri si sono individuati diversi indicatori di seguito descritti.

Per il sottocriterio "consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico" si è ritenuto significativo adoperare un indicatore che computasse i movimenti di terra, in particolare mediante un software dedicato si sono stimati per le diverse alternative i volumi di sterro ( $V_s$ ) e riporto ( $V_r$ ) e la loro differenza ( $V_d$ ). Inoltre vista la criticità delle operazioni legate all'approvvigionamento ed allo smaltimento del terreno, si è ritenuto opportuno stimare un sistema di pesi, così come di seguito riportato, che rendesse ancor più onerosa la possibilità di reperire del materiale all'esterno dell'area di lavoro.

<b>PESI</b>	<b>Volumi</b>
<b>1</b>	sterro
<b>1</b>	riporto
<b>1</b>	eccedenza di materiale di sterro
<b>2</b>	fabbisogno di materiale per il riporto

**Tabella. 6.4.1.4.. Determinazione dei pesi per i movimenti di terra**

L'indicatore ( $V$ ) del criterio "consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico" viene determinato come somma del volume di sterro, di riporto e delle relative eccedenze, affette dai relativi pesi.

Per la stima delle immissioni di vibrazioni invece, si è utilizzato l'indicatore ( $I_v$ ), rappresentativo del numero di edifici ed attività rientranti in una fascia di 250 m dal margine della strada.

Per i restanti due indicatori è necessario (vista la complessità dell'individuazione di parametri significativi ovvero l'ordinaria difficoltà di eseguire in fase di studio di fattibilità indagini specifiche affidabili ed esaustive) fare alcune considerazioni.

In generale nell'individuare il corridoio in cui inserire l'infrastruttura risulta essenziale la conoscenza dei fenomeni franosi ed erosivi a cui sono soggetti i versanti interessati; pertanto ad informazioni di carattere morfologico occorre associare indagini bibliografiche (studi per precedenti realizzazioni) e fotointerpretative che consentano di indirizzare nella scelta del corridoio a minor impatto. Tuttavia, nel caso in esame, pur avendo a disposizione una base cartografica di discreta qualità per le informazioni in essa riportata, si è invece risultati privi della base bibliografica di riferimento.

Al fine quindi di individuare le zone soggette a possibili fenomeni gravitazionali, ovvero a quelli di carattere erosivo, si è deciso, vista la poliedricità del metodo, di elaborare un sistema inferenziale fuzzy, il cui risultato finale ha condotto all'elaborazione di due carte tematiche rappresentative della sensibilità a franare ed all'erosione.

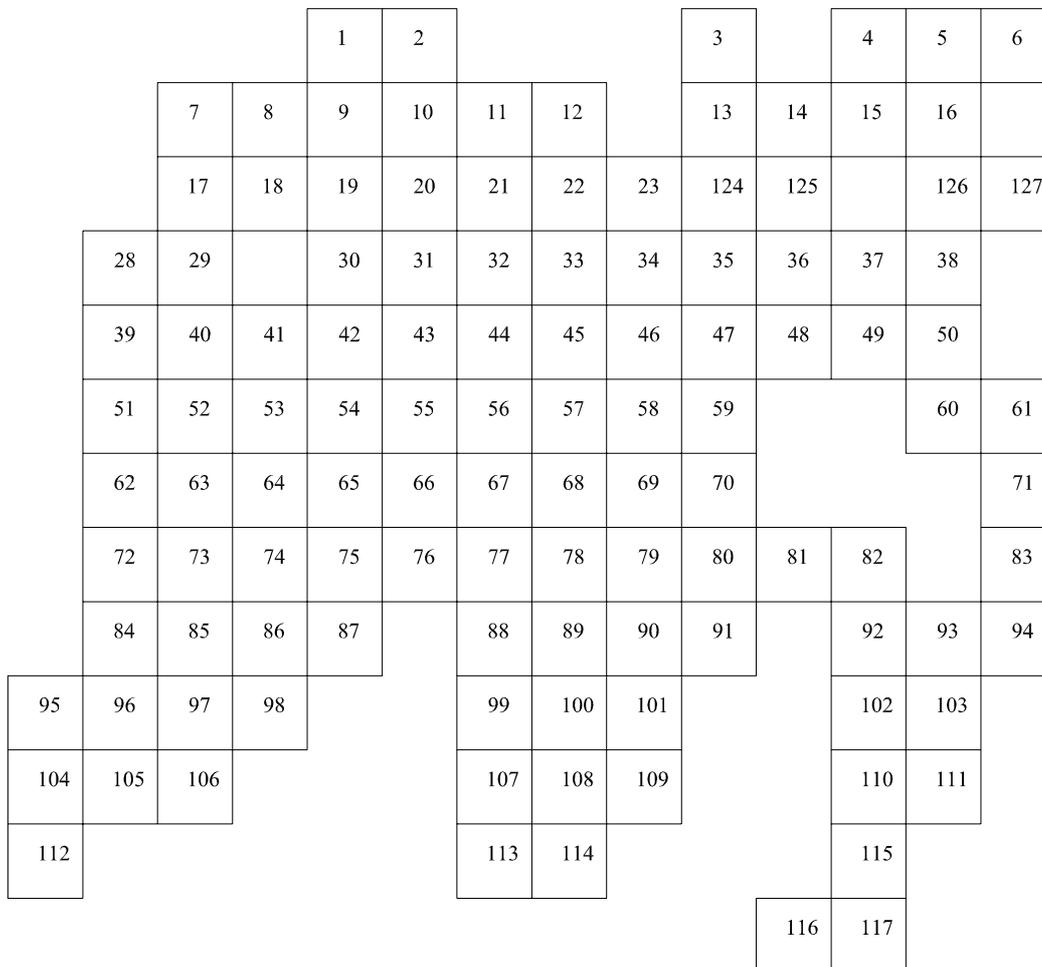
Il sistema inferenziale ad hoc elaborato ha seguito i seguenti step:

- fuzzyficazione dei dati di ingresso (trasformazione dei dati di ingresso in modo da renderli utilizzabili tramite le regole di calcolo);
- determinazione delle regole di calcolo "*Fuzzy Inferential System*" (basate su processi inferenziali di tipo IF, AND, OR, THEN);
- defuzzyficazione degli output-crisp (trasformazione dei dati ottenuti dagli output del metodo, in termini di leggibilità e applicabilità per gli scopi preposti).

Si è quindi applicato tale metodologia suddividendo il territorio interessato in Unità Territoriali omogenee di dimensioni 500x500m<sup>34</sup>, così come rappresentato in figura. 6.4. 1.2..Per facilitare le operazioni inoltre ciascuna maglia del reticolo è stata numerata secondo un ordine crescente che va da 1 a 117 come viene di seguito riportato.

---

<sup>34</sup> In questa fase è abbastanza plausibile considerare, per un quadrato di lato 500m, omogenee le caratteristiche dei terreni



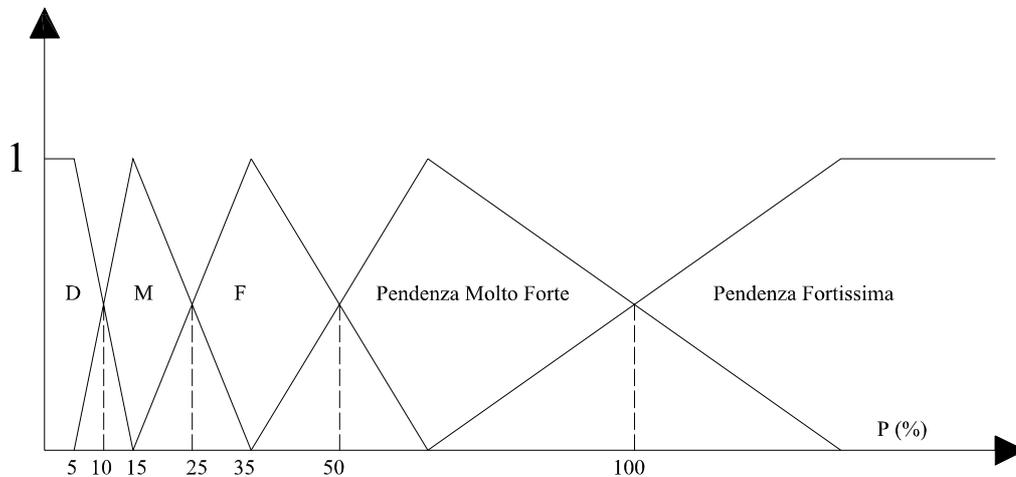
**Figura. 6.4.1.2. Reticolo di maglia 500m x 500m.**

Per la costruzione della carta relativa al rischio a franare si è ritenuto non appesantire il sistema di calcolo inserendo tutti i parametri correlati a tale fenomeno, ma computare soltanto quelli considerati "prevalenti", quali: "l'acclività dei versanti" e "le caratteristiche geotecniche dei terreni".

In particolare, per la definizione degli aspetti clivometrici, ai fini della progettazione stradale, si è ritenuto sufficiente analizzare le acclività dei versanti secondo cinque classi di pendenza, corrispondenti ai seguenti intervalli: [0,10], [10,25], [25,50], [50,100]<sup>35</sup>, elaborando, per ciascuna classe una funzione di membership rispettivamente etichettate come: pendenza "debole", "moderata", "forte", "molto forte", "fortissima".

Le rispettive funzioni di appartenenza sono definite come riportato nella seguente figura.

<sup>35</sup> Oltre 100 (nei quali le pendenze sono espresse in termini percentuali)



**Figura. 6.4.1.3. Membership delle varie classi di pendenza..**

dove:

D = pendenza debole

M = pendenza moderata

F = pendenza forte

Per la determinazione delle acclività di ciascuna maglia del reticolo si è proceduto mediante un software dedicato all'analisi clivometrica del sito, in particolare con l'ausilio di un DTM (Digital Triangular Model) è stato possibile sia individuare le diverse classi di pendenza, sia associare a ciascuna di essa una colorazione che ne facilitasse la comprensione, così come rappresentato in figura n. 6.4.1.4..

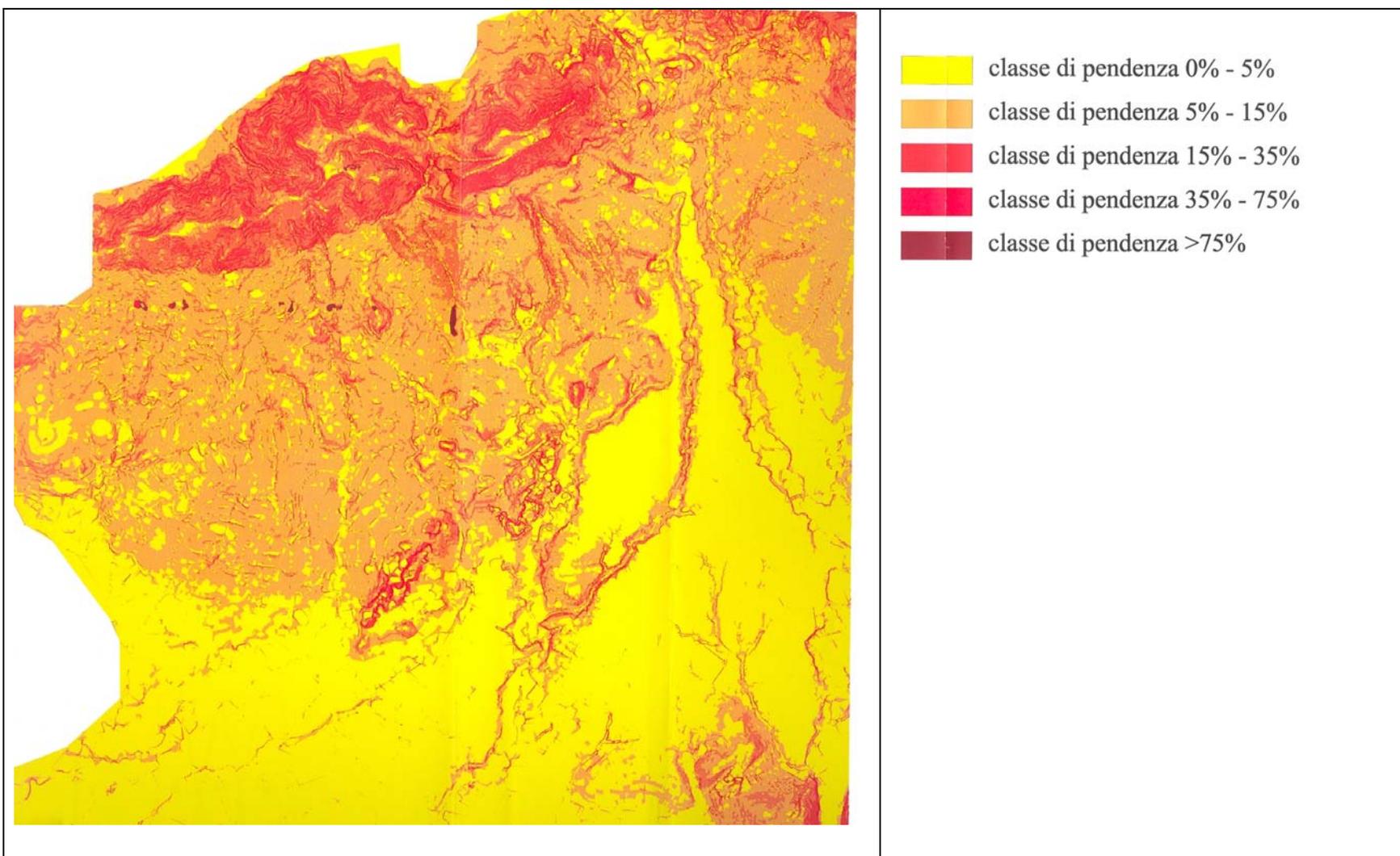


Figura. 6.4.1.4. Analisi Cliviometrica

Il secondo indicatore ambientale utilizzato per la definizione del fattore "rischio a franare", è stato individuato nelle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

Tuttavia, non avendo a disposizione un'indagine dettagliata tale da stimare la litologia degli stessi, si è inteso, al fine di implementare il modello inferenziale, considerare quale parametro di riferimento l'angolo di attrito interno secondo un intervallo di variabilità pari a  $[20^\circ ; 50^\circ]$ .

Inoltre è opportuno evidenziare che la determinazione dell'angolo d'attrito è possibile, in realtà, solo in presenza di rocce sciolte e non per la definizione delle caratteristiche delle rocce compatte. Pertanto, si è ritenuto efficace definire una corrispondenza tra l'angolo attrito e l'indice R.Q.D. ( Rock Quality Designation ); la cui misura, possibile per qualsiasi roccia lapidea, assume in linea teorica valori nell'intervallo  $[ 0 , 100 \% ]$ . Dall'analisi della bibliografia geotecnica di settore si è riscontrato che la più scadente di tutte le rocce ( R.Q.D. = 0 ) risulta equivalente ad una terra dotata di angolo di attrito interno pari a  $30^\circ$ . Pertanto, superata tale difficoltà è stato possibile, anche per questo indicatore, definire tre funzioni fuzzy di appartenenza, codificate tramite le seguenti diciture: caratteristiche geotecniche "scadenti", "medie", "buone" e rispettivamente associate ai seguenti intervalli  $[20^\circ ; 30^\circ]$ ,  $[30^\circ ; 40^\circ]$ ,  $[40^\circ ; 50^\circ]$ .

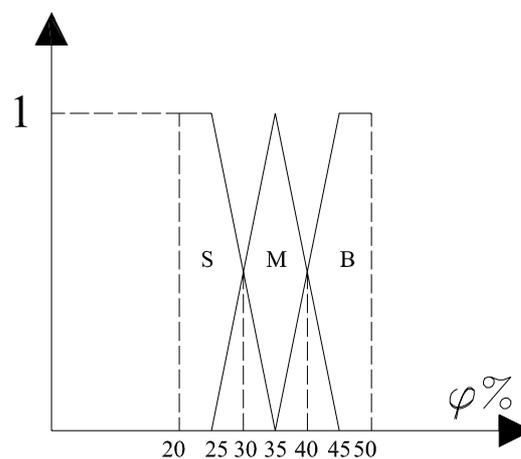


Figura 6.4.1.5. Membership delle classi relative alle caratteristiche geotecniche dei terreni

Definiti gli input del sistema inferenziale è stato necessario predisporre per gli output altrettante funzioni di membership rappresentative della sensibilità a franare e

rispettivamente etichettate come sensibilità "scarsa", "lieve", "moderata", "forte" e "massima", e corrispondenti ai seguenti intervalli: [0 ; 0.2], [0.2 ; 0.4], [0.4 ; 0.6], [0.6 ; 0.8], [0.8 ; 1].

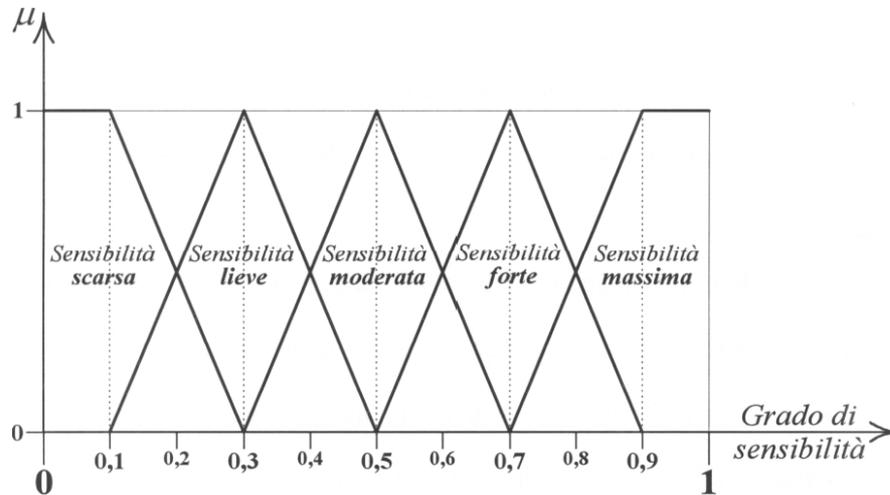


Figura 6.4.1.6.. Membership degli output.

Una volta definiti gli input e gli output è stato necessario predisporre il sistema di regole mediante il quale processare il sistema inferenziale, ovvero comporre gli indicatori "acclività dei versanti" e "caratteristiche geotecniche dei terreni" per poi definire il fattore *frane in atto e rischio a franare*.

Determinato per ogni U.T. i rispettivi valori, si è definito, mediante l'ausilio di esperti del settore, l'insieme di regole, la cui applicazione ha condotto alla determinazione del valore dell'indicatore (Fr) rappresentativo del rischio a franare.

Le regole mediante le quali si è processato il sistema inferenziale predisposto sono di seguito riportate e si basano sull'applicazione degli operatori logici IF, AND, OR, THEN.

*Regole fuzzy*

- 1) if ac D and gt S then sn D
- 2) if ac D and gt M then sn D
- 3) if ac D and gt M then sn L
- 4) if ac D and gt B then sn S
- 5) if ac M and gt S then sn F
- 6) if ac M and gt S then sn D
- 7) if ac M and gt M then sn D
- 8) if ac M and gt B then sn L
- 9) if ac M and gt B then sn S
- 10) if ac F and gt S then sn M
- 11) if ac F and gt S then sn F
- 12) if ac F and gt M then sn F
- 13) if ac F and gt B then sn D
- 14) if ac F and gt B then sn L
- 15) if ac T and gt S then sn M
- 16) if ac T and gt M then sn M
- 17) if ac T and gt M then sn F
- 18) if ac T and gt B then sn D
- 19) if ac S and gt S then sn M
- 20) if ac S and gt M then sn M
- 21) if ac S and gt B then sn D

Dove la simbologia utilizzata fa riferimento alla seguente tabella.

ac = Acclività versanti	gt = Caratt. geotecniche	sn = Sensibilità
D = debole	S = scadenti	S = scarsa
M = moderata	M = medie	L = lieve
F = forte	B = buone	D = moderata
T = molto forte		F = forte
S = fortissima		M = massima

**Tabella. 6.4.1.5. Specifiche del sistema inferenziale**

In tabella è riportata la schematizzazione delle regole sopra descritte ed adoperate per la definizione della sensibilità a franare. Se ad esempio consideriamo l'unità territoriale, numero 57, questa presenta una classe di pendenza media del 50% ed un angolo di attrito intorno ai 50°, con un conseguente output restituito dal sistema inferenziale pari a 0,50, ovvero corrispondente ad un rischio a franare moderato. Analogamente la U.T. 29 è caratterizzata da una classe di pendenza media del 25% e da un angolo di attrito intorno ai 40°, la combinazione dei due secondo il sistema predisposto definisce un output di 0,423 al quale corrisponde una sensibilità che per il 61,5% è moderata mentre per il restante 38,5% è lieve. In questo caso, come per i restanti, si è deciso di considerare la sola classe di prevalenza, al fine di velocizzare i tempi di elaborazione della carta tematica, abbandonando le sfumature dettate dal sistema fuzzy.

Fattore ambientale: "rischio a franare allo stato attuale"		Caratteristiche geotecniche		
		Scadenti	Medie	Buone
Acclività dei versanti	Debole	D	D / L	S
	Moderata	F/ D	D	L/ S
	Forte	M/ F	F	D/ L
	Molto forte	M	M / F	D
	Fortissima	M	M	D

**Tabella. 6.4.1.5. Matrice a doppia entrata delle regole fuzzy**

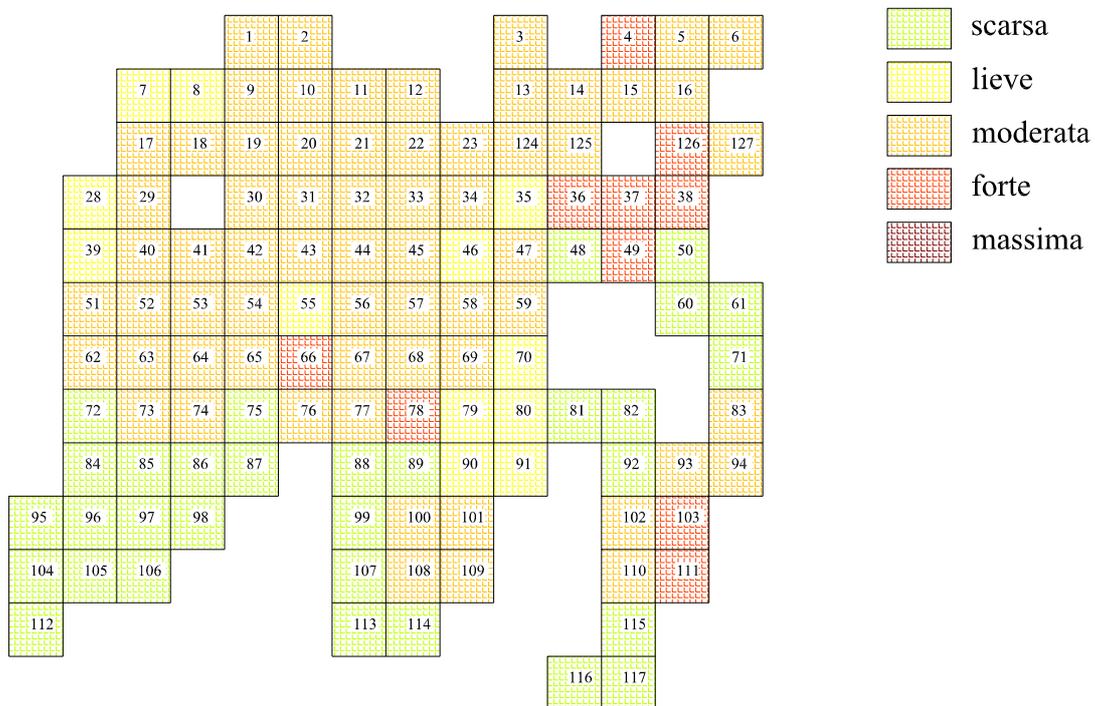
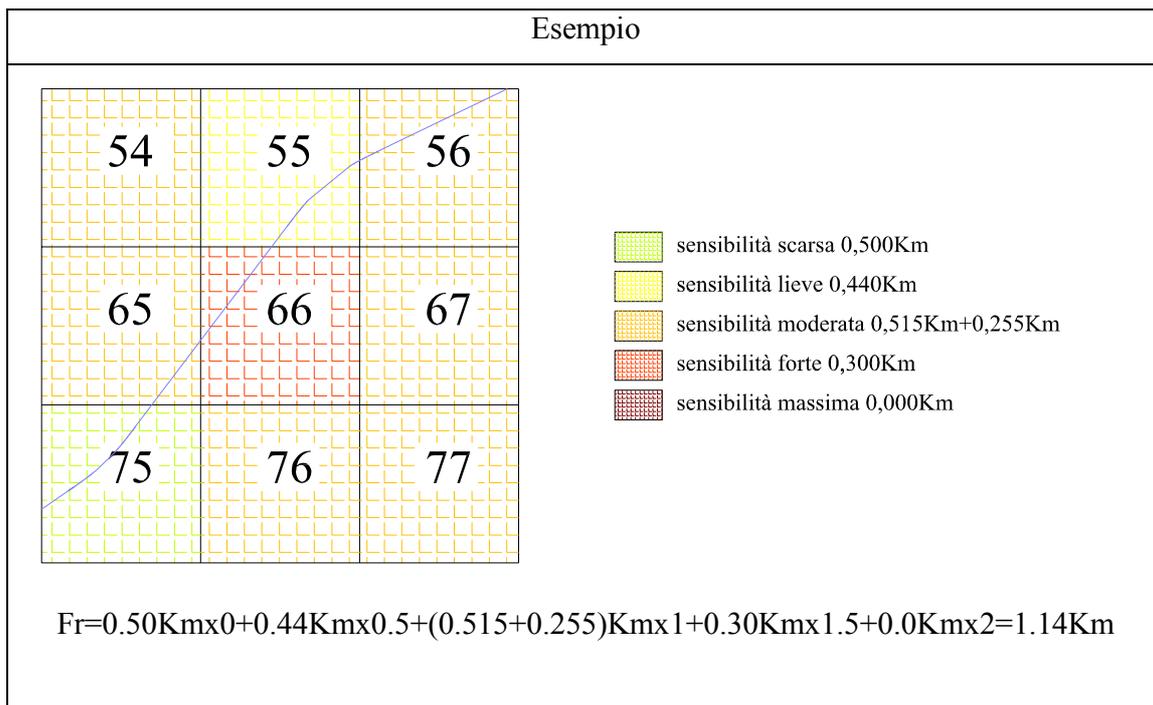


Figura 6.4.1.7.. Reticolo con classi di sensibilità al rischio a franare per ciascuna U.T

L'elaborazione della carta tematica ha consentito di valutare mediante una stima chilometrica, le zone attraversate, in particolare sono stati valutati i Km di ciascuna infrastruttura per ciascun livello di sensibilità. Successivamente così come riportato nell'esempio, si è individuato un sistema di pesi al fine di raccordare i risultati ottenuti.

PESI	CLASSI DI SENSIBILITA'
0	sensibilità scarsa
0.5	sensibilità lieve
1	sensibilità moderata
1.5	sensibilità forte
2	sensibilità massima

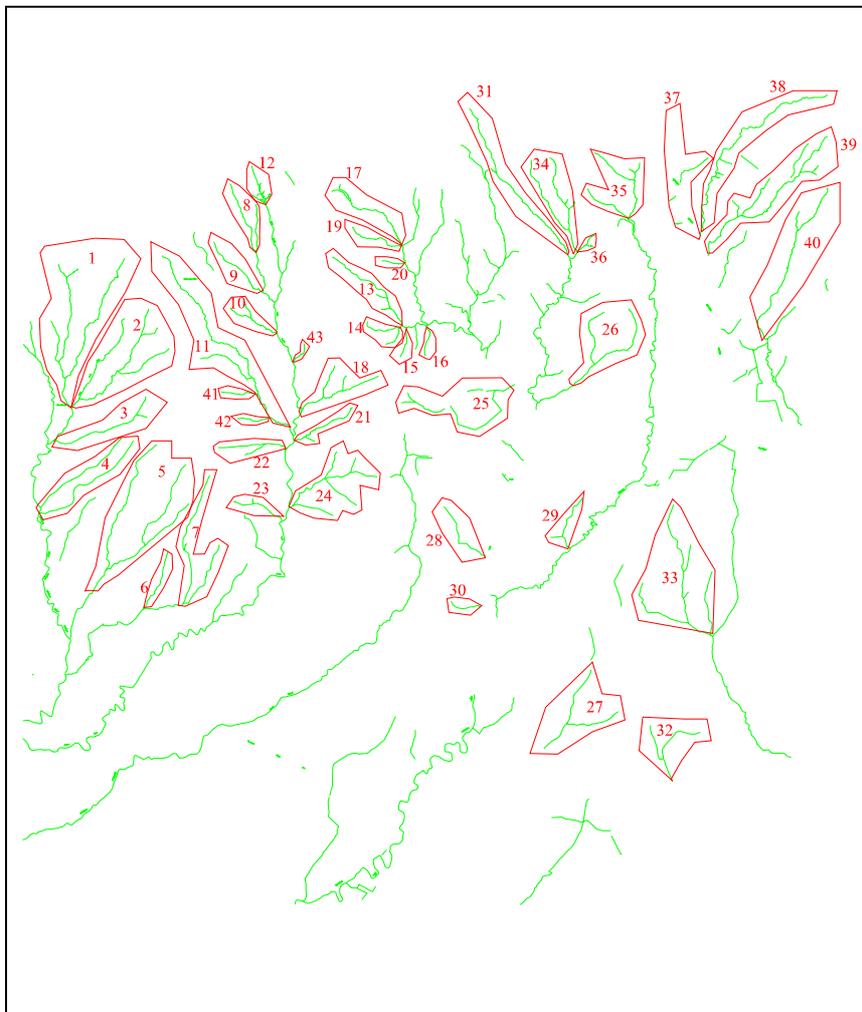
Tabella 6.4.1.6.. Determinazione dei pesi per classi di sensibilità



Anche per stimare l'erosibilità dei terreni si è deciso di applicare un sistema inferenziale fuzzy per la costruzione di una carta tematica rappresentativa delle sensibilità nei confronti dei fenomeni erosivi. Tuttavia, a differenza di quanto fatto per la carta del rischio a franare, non è stata predisposta una suddivisione del territorio in U.T. da 500m x 500m, ma bensì si è inteso, vista la particolarità del fenomeno, suddividere le aree interessate in una serie di sottobacini, la cui determinazione, è partita dalla definizione del reticolo idrografico esistente.

In particolare si sono delimitati soltanto sottobacini interessati dal fenomeno, ovvero caratterizzati dalla presenza di una componente argillosa<sup>36</sup>.

Di seguito è riportata una rappresentazione del reticolo idrografico della zona con evidenziati i sottobacini oggetto di analisi.



**Figura. 6.4.1.8. Sottobacini su reticolo idrografico**

<sup>36</sup> I fenomeni di dissesto dell'abitato di Montecorvino Pugliano (Salerno) (P.Budetta,D.Calcaterra,D.Ducci)

Gli indicatori ambientali scelti per la costruzione di tale carta sono: la "densità di drenaggio" (rapporto tra la lunghezza delle aste contenute in ciascun sottobacino e l'area del sottobacino stesso) e la pendenza media delle aste del sottobacino.

Pertanto, sulla base del modello matematico del terreno precedentemente elaborato, sono stati determinati, così come riportato in tabella seguente, i valori degli indicatori prescelti.

sottobacino	L [m]	Dz [m]	A [Kmq]	D	f°%
1	3220	520	0,7	4,6	16,15
2	2900	391	0,48	6,00	13,48
3	1100	131	0,21	5,24	11,91
4	2000	210	0,245	8,16	10,5
5	3250	380	0,62	5,24	11,69
6	500	70	0,055	9,09	14
7	1810	215	0,24	7,54	11,88
8	1000	260	0,1	10,00	26
9	640	135	0,11	5,82	21,09
10	630	120	0,077	8,18	19,05
11	2680	365	0,487	5,50	13,62
12	910	380	0,057	15,96	41,76
13	1125	165	0,145	7,76	14,67
14	500	65	0,0058	86,21	13
15	250	50	0,029	8,62	20
16	280	45	0,024	11,67	16,07
17	840	195	0,138	6,09	23,2
18	960	180	0,17	5,65	18,75
19	470	105	0,06	7,83	22,3
20	260	60	0,04	6,5	23,1
21	690	90	0,061	11,31	13,04
22	750	105	0,085	8,82	14
23	550	100	0,065	8,46	18,18
24	1990	245	0,3	6,63	12,31
25	2130	180	0,31	6,87	8,45
26	1420	120	0,28	5,07	8,45
27	1200	70	0,3	4,00	5,83
28	650	50	0,14	4,64	7,69
29	600	60	0,068	8,82	10
30	250	25	0,034	7,35	10
31	1750	375	0,26	6,73	21,43
32	1000	75	0,21	4,76	7,5
33	2815	110	0,56	5,03	3,91
34	1850	395	0,21	8,81	21,35
35	1600	165	0,21	7,62	10,31
36	280	50	0,014	20,00	17,86

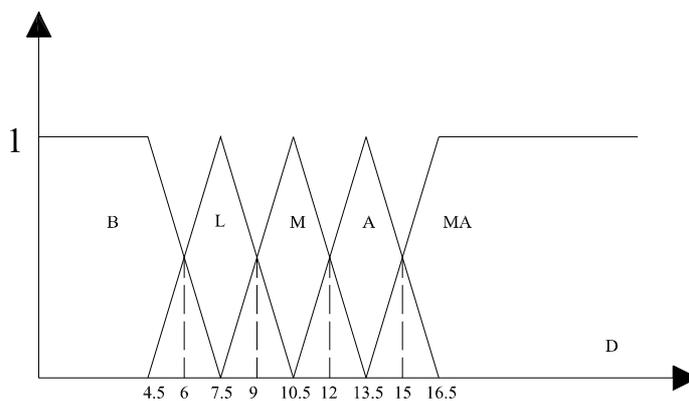
37	1700	105	0,23	7,39	6,18
38	2300	280	0,31	7,42	12,17
39	2840	400	0,37	7,68	14,08
40	1650	190	0,47	3,51	11,52
41	335	70	0,026	12,88	20,90
42	300	55	0,021	14,29	18,33
43	220	50	0,011	20,00	22,73

**Tabella 6.4.1.7.. Analisi dell'erosività**

Definiti i valori, è stato necessario individuare delle funzioni di appartenenza per poter poi applicare un sistema inferenziale. Pertanto, per la definizione della densità di drenaggio, si ritenuto efficace considerare una funzione triangolare caratterizzata dalle seguenti classi ed etichette:

Densità di drenaggio	
Base	Etichette
[0,6]	“bassa”
[6,9]	“lieve”
[9,12]	“media”
[12,15]	“alta”
[oltre 15].	“molto alta”

**Tabella 6.4.1.8.. Analisi dell'erosività –densità di drenaggio**



**Figura. 6.4.1.9. Membership delle varie classi di densità di drenaggio.**

dove:

- B = densità di drenaggio bassa
- L = densità di drenaggio lieve
- M = densità di drenaggio media
- A = densità di drenaggio alta
- MA = densità di drenaggio molto alta

Analogamente sono state costruite le funzioni di appartenenza per le pendenze medie (esprese in termini percentuali) delle aste di ciascun sottobacino, così come di seguito riportato:

Pendenze Aste	
Base	Etichette
[0 ; 16]	“bassa”
[16 ; 20]	“lieve”
[20 ; 24]	“media”
[24 ; 28]	“alta”
[oltre 28]	“molto alta”

Tabella 6.4.1.9.. Analisi dell'erosibilità – pendenza

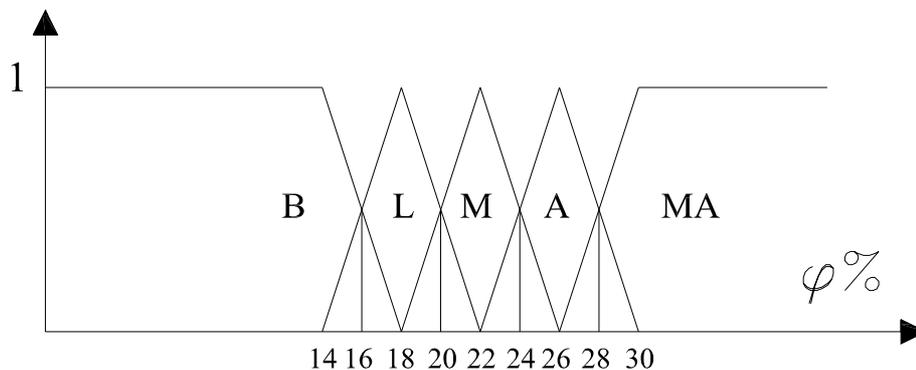
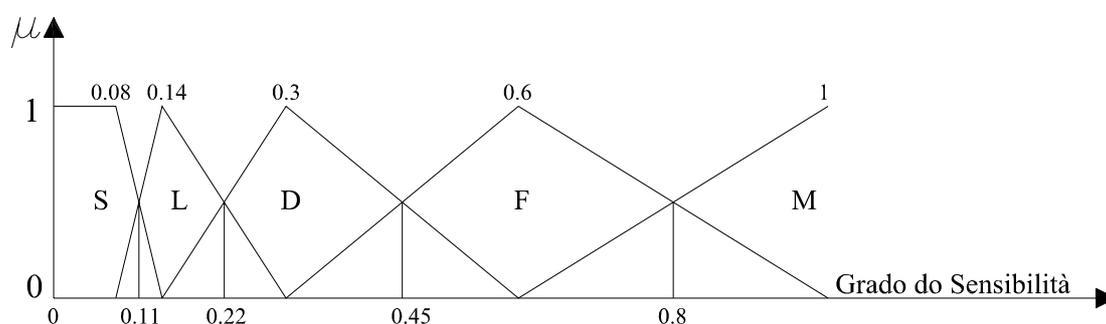


Figura. 6.4.1.10. Membership delle varie classi relative alle pendenze medie delle aste.

Infine, anche gli output fuzzy dei sistemi inferenziali relativi ai “fattori” e alle “categorie” ambientali sono stati costruiti sulla base di cinque diversi insiemi fuzzy:

Sensibilità a fenomeni erosivi	
Base	Etichette
[0 ; 0.11]	“scarsa”
[0.11 ; 0.22]	“lieve”
[0.22 ; 0.45]	“moderata”
[0.45 ; 0.8]	“forte”
[0.8 ; 1]	“massima”

**Tabella 6.4.1.10.. Analisi dell'erosibilità**



**Figura 6.4.1.11. Membership degli output.**

dove:

- S = sensibilità all'erosione scarsa
- L = sensibilità all'erosione lieve
- D = sensibilità all'erosione moderata
- F = sensibilità all'erosione forte
- M = sensibilità all'erosione massima

Una volta definiti gli input e gli output è stato necessario predisporre il sistema di regole mediante il quale processare il sistema inferenziale, ovvero comporre gli indicatori “densità di drenaggio” e “pendenza media delle aste” per poi definire la cartografia tematica.

Determinati per ogni sottobacino i rispettivi valori, si è definito, mediante l'ausilio di esperti del settore, l'insieme di regole, la cui applicazione ha condotto alla determinazione del valore dell'indicatore ( $E_r$ ) rappresentativo della sensibilità ai fenomeni erosivi.

Le regole mediante le quali si è processato il sistema inferenziale predisposto sono di seguito riportate e si basano sull'applicazione degli operatori logici IF, AND, OR, THEN.

*Regole fuzzy*

*if pe B and dd B then se S*  
*if pe B and dd L then se S*  
*if pe B and dd M then se S*  
*if pe B and dd M then se L*  
*if pe B and dd A then se L*  
*if pe B and dd MA then se D*  
*if pe L and dd B then se S*  
*if pe L and dd L then se L*  
*if pe L and dd M then se L*  
*if pe L and dd M then se D*  
*if pe L and dd A then se D*  
*if pe L and dd MA then se D*  
*if pe L and dd MA then se F*  
*if pe M and dd B then se L*  
*if pe M and dd L then se L*  
*if pe M and dd L then se D*  
*if pe M and dd M then se D*  
*if pe M and dd A then se D*  
*if pe M and dd A then se F*  
*if pe M and dd MA then se F*  
*if pe A and dd B then se L*  
*if pe A and dd L then se L*  
*if pe A and dd L then se D*  
*if pe A and dd M then se D*  
*if pe A and dd A then se F*  
*if pe A and dd MA then se M*  
*if pe MAand dd B then se D*

*if pe MAand dd L then se D*  
*if pe MAand dd L then se F*  
*if pe MAand dd M then se F*  
*if pe MAand dd A then se M*  
*if pe MAand dd MA then se M*

Dove la simbologia utilizzata fa riferimento alla seguente tab. 6.4.1.11.

pe = Pendenza media aste	dd = Densità di drenaggio	se = Sensibilità
B = bassa	B = bassa	S = scarsa
L = lieve	L = lieve	L = lieve
M = moderata	M = moderata	D = moderata
A = alta	A = alta	F = forte
MA = molto alta	MA = molto alta	M = massima

**Tabella 6.4.1.11.. Specifiche del sistema inferenziale**

La tabella seguente riporta una rappresentazione schematica delle regole utilizzate e, ricordando che si tratta di una matrice a doppia entrata, i valori rilevati della variabile linguistica di output "grado di sensibilità" corrispondono alla combinazione dei valori di input presenti alla testa delle righe e delle colonne.

Fattore ambientale: "erodibilità dei terreni"		Densità di drenaggio				
		Bassa	Lieve	Media	Alta	Molto Alta
Pendenza media aste sottobacino	Bassa	S	S	S/L	L	D
	Lieve	S	L	L/D	D	D/F
	Media	L	L/D	D	D/F	F
	Alta	L	L/D	D	F	M
	Molto Alta	D	D/F	F	M	M

**Tabella 6.4.1.12..Matrice a doppia entrata del sistema inferenziale**

In particolare, se ad esempio consideriamo il sottobacino numero 17, che presenta una densità di drenaggio pari a 6,09 ed una pendenza media delle aste pari al 23,2%, si ottiene mediante il sistema inferenziale un output pari a 0.31, al quale corrisponde una sensibilità per il 95% moderata e per il restante 5% forte.

Il sistema inferenziale ad hoc strutturato è stato poi verificato confrontando i risultati ottenuti dalla sua applicazione con quelli di uno studio redatto dall' "Istituto di Geologia Applicata, Facoltà di Ingegneria, Napoli" e dal "Dipartimento Scienze della Terra, Università della Calabria" per l'area in esame.

Tale studio, in particolare, effettua una stima, sia pure di massima, dell'entità dell'erosione globale che si manifesta nell'area, avvalendosi della misura del trasporto torbido unitario (Tu) in uscita dal bacino Trauso<sup>37</sup> (subito a sud del centro di Montecorvino Pugliano).

Tra i sottobacini analizzati dal dipartimento Dipartimento Scienze della Terra, si è riscontrata una coincidenza con il sottobacino 17, sulla base delle quale è stato condotto il confronto.

Le formulazioni proposte per il calcolo del Tu sono diverse a seconda dei valori della densità di drenaggio.

Per il sottobacino 17, il quale presenta una densità di drenaggio maggiore di 6 la formula si esplicita nel seguente modo:

$$\log Tu = 2.7454 \times \log D + 0.00639 \times f + 1.15548 \quad (1)$$

dove

D = densità di drenaggio

f = pendenza media delle aste del sottobacino

Tale formula restituisce per il sottobacino 17 un trasporto torbido unitario pari a 2870 (t/Kmq).

Supponendo di suddividere in classi di sensibilità in base a valori prestabiliti di trasporto torbido unitario, come di seguito riportato in tabella.

---

<sup>37</sup> Espresso come spessore medio annuo asportato.

Classe di Sensibilità	Tu (t/Kmq)
S = scarsa	< 1250
L = lieve	1250 - 2500
D = moderata	2500 - 5000
F = forte	5000 - 10000
M = massima	>10000

**Tabella 6.4.1.13 – Classi di sensibilità Ambientale**

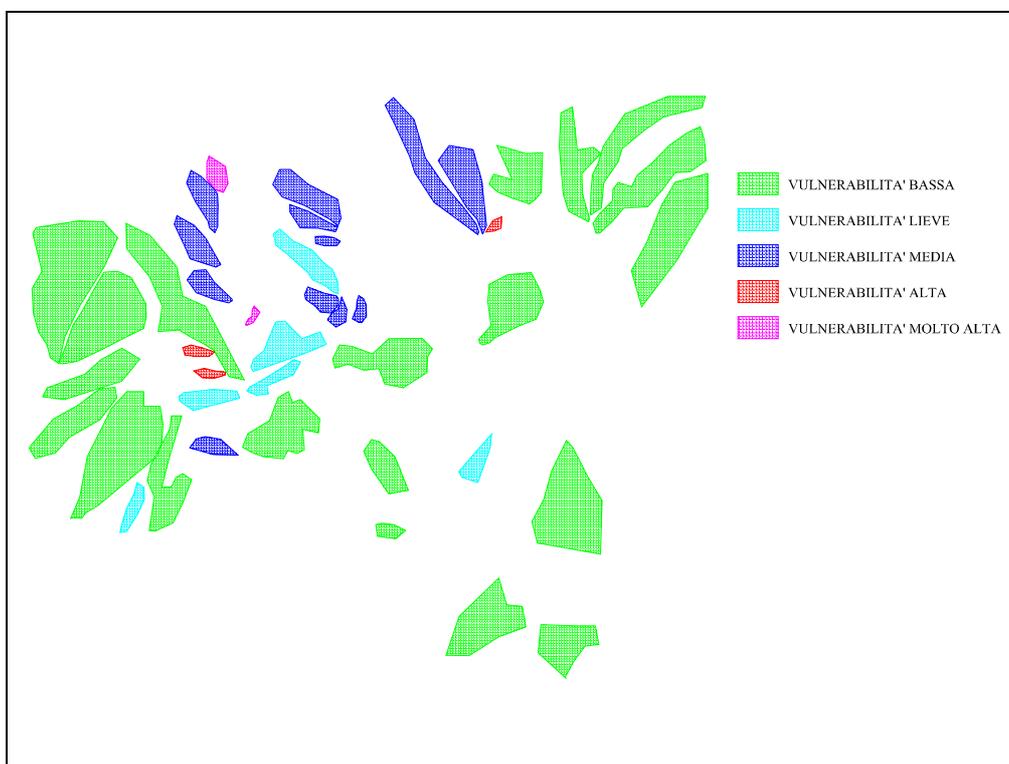
Riscontriamo, che il sottobacino 17 rientra all'interno di una classe di sensibilità media, analogo risultato ottenuto con la metodologia fuzzy sets.

Infine, si evidenzia la presenza di un altro parametro che influenza l'erodibilità dei terreni, la "piovosità".

La piovosità media annua al variare della zona varia tra un minimo di 1000 mm ed un massimo di 1400 mm.

La formula (1) sopra riportata è riferita ad un pioggia media annua di circa 1200 mm, pertanto facendo variare la pioggia fino a 1000 mm o fino a 1400 mm si registrano variazioni del trasporto torbido unitario che non superano il 3%. Tale risultato giustifica il fatto di non aver computato la piovosità all'interno delle regole del sistema inferenziale.

Di seguito si riporta la carta completa con le sensibilità di ciascun sottobacino.

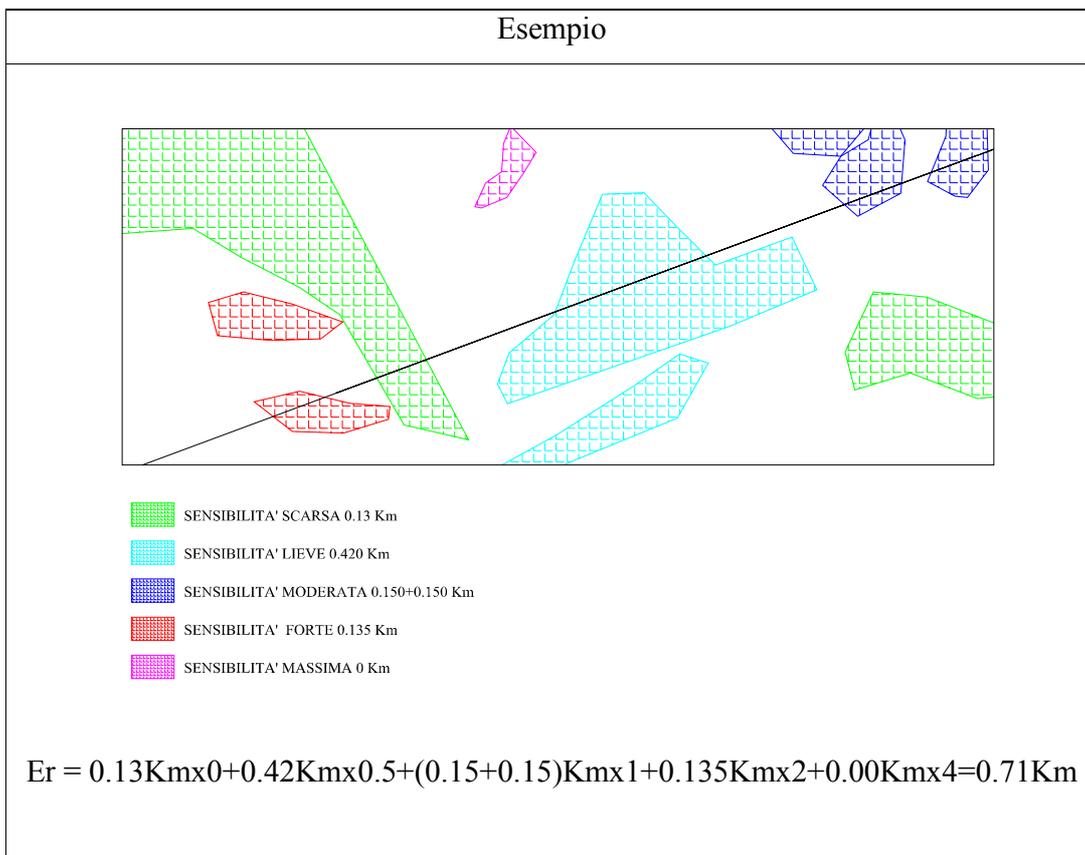


**Figura 6.4.1.9.. Sottobacini con relative classi di sensibilità nei confronti del fattore erodibilità.**

L'elaborazione della carta tematica ha consentito di valutare mediante una stima chilometrica i bacini attraversati, in particolare sono stati valutati i Km di ciascuna infrastruttura per ciascun livello di sensibilità. Successivamente così come riportato nell'esempio, si è individuato un sistema di pesi al fine di raccordare i risultati ottenuti.

PESI	CLASSI DI SENSIBILITA'
0	sensibilità scarsa
0.5	sensibilità lieve
1	sensibilità moderata
2	sensibilità forte
4	sensibilità massima

**Tabella 6.4.1.14 Determinazione dei pesi per classi di sensibilità**



## Risorse naturali

Con questo criterio si è inteso stimare i possibili impatti sulla qualità e vulnerabilità della flora e degli ecosistemi presenti nell'area in esame causati dalla sottrazione di suolo e dal conseguente allontanamento delle specie animali a seguito dei disturbi prodotti dalle lavorazioni. Al fine di poter stimare tali effetti si è pertanto suddiviso tale criterio in ulteriori tre sottocriteri quali:

- Flora ed ecosistemi;
- Fauna;
- Valenza paesaggistica.

L'ecosistema considerato è rappresentato dall'insieme degli organismi viventi (comunità biotiche<sup>38</sup>) e dei fattori abiotici<sup>39</sup>, presenti nell'area di studio, nonché dall'insieme delle relazioni e dei processi dinamici a cui sono soggetti.

In generale la "dimensionalità" degli ecosistemi, non presenta dei confini netti, in quanto ogni elemento della biosfera ha relazioni con gli altri che lo circondano, tuttavia, nella pratica comune si individuano e si delimitano "unità ecosistemiche" a cui sia riconosciuta una struttura ed un "complesso di funzioni" sufficientemente omogenee e specifiche (un bosco, un lago, etc.).

Con il criterio fauna invece, si è inteso stimare l'insieme delle specie faunistiche effettivamente o potenzialmente presenti nell'area in esame e della relativa *sensibilità*, messa a repentaglio dall'emissione inquinanti in atmosfera, ovvero dall'eccessivo sfruttamento delle risorse idriche.

Infine, mediante il criterio "*valenza paesaggistica*" si è stimato l'impatto visivo generato dai diversi corpi d'opera del tracciato sull'ambiente.

L'impatto di maggiore rilevanza è identificabile essenzialmente negli interventi di trasformazione del territorio che possono comportare una significativa variazione del diagramma visivo, ovvero in quelli causa di trasformazione di elementi caratteristici e tipici dell'area.

---

<sup>38</sup> Che riguarda la vita

<sup>39</sup> Che non consente alcuna forma di vita

L'impatto dell'infrastruttura sulle *risorse naturali* è stato valutato mediante indicatori chilometrici, in particolare per la flora e l'ecosistema si è impiegato l'indice (Le) rappresentativo dei km di zona naturalistica attraversata dall'infrastruttura.

Per la fauna (Lf) invece, si è stimato un peso diverso asseconda che i km di sviluppo dell'infrastruttura interessassero zone antropizzate (peso = 1; o di interesse naturalistico ( peso = 4).

La stima di tali indicatori si è avvalsa dell'ausilio della carta tematica di seguito riportata e rappresentativa dell'uso del suolo.

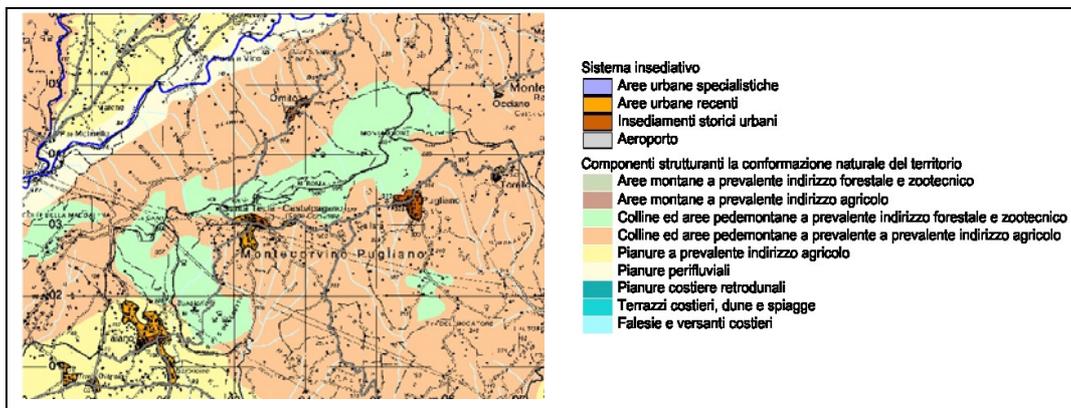


Figura 6.4.1.10 Carta dell'uso del suolo

Infine, anche per la valenza paesaggistica, l'indicatore impiegato (Lv) tiene conto di pesi diversi per i km di infrastruttura ad alto impatto e a basso impatto, all'uopo si sono ritenuti ad alto impatto i viadotti ed i rilevati e le mezze coste con muri, mentre a basso impatto le gallerie, le trincee ed i rilevati privi di muri.

I pesi attribuiti sono: 0 per il basso impatto e 1 per l'alto.

## 6.4.2 Criteri e Indicatori Tecnici

Tale criterio così come rappresentato in tabella 5.2 è stato suddiviso in ulteriori tre sottocriteri le cui peculiarità ed i rispettivi indicatori di giudizio sono di seguito riportati.

### Sicurezza

Uno degli aspetti maggiormente critici nel confronto economico fra le alternative è il "valore degli incidenti", sia in fase di costruzione che in esercizio di una infrastruttura viaria; pertanto si pone il problema di stimare, sulla base del progetto, il valore atteso per la sicurezza delle maestranze per le lavorazioni previste, nonché il rischio degli utenti e dei non utenti (soggetti che nell'occasione non fruiscono direttamente del servizio dell'infrastruttura, ma possono ugualmente essere coinvolti in eventi dannosi).

A tal fine si è suddiviso tale sottocriterio in ulteriori due, quali:

- comfort di marcia, inteso proprio come la comodità percepita durante la percorrenza;
- coordinamento plano-altimetrico, inteso come obiettivo progettuale a cui tendere per evitare fenomeni visivi distorti, con conseguente incremento della pericolosità.

Per stimare tali sottocriteri si sono utilizzati due indicatori:

- l'indice di tortuosità (It): rappresentante il numero di curve o deviazioni per km di infrastruttura,
- l'indicatore (Dh): rappresentante la somma delle variazioni di pendenza delle livellette rapportata alla lunghezza totale del tracciato.

Per i non utenti, invece, si è adoperato l'indicatore (Na) che stima il numero di abitazioni presenti e quindi maggiormente esposte in una fascia di 50 m dal ciglio stradale.

Infine, per la stima della sicurezza degli operai si è adoperato un indicatore (Od) rappresentativo dei km di sviluppo di opere d'arte, avendo dato stesso peso ai km di viadotto e di galleria.

### Livello di connessione con extrasistema

Con tale criterio si è inteso stimare l'efficacia dell'infrastrutturazione del territorio, ottenuta mediante il miglioramento e la valorizzazione della rete stradale di riferimento.

Per la stima di tale criterio si è adoperato un indicatore (Ce) rappresentativo della somma dei km di strade presenti nel raggio di 1 km dal centro dello svincolo previsto. Inoltre, vista la presenza di una rete di distribuzione dei flussi, ovvero di penetrazione non perfettamente integrata, si è predisposto un sistema di pesi che tenesse conto delle diverse categorie di strade presenti.

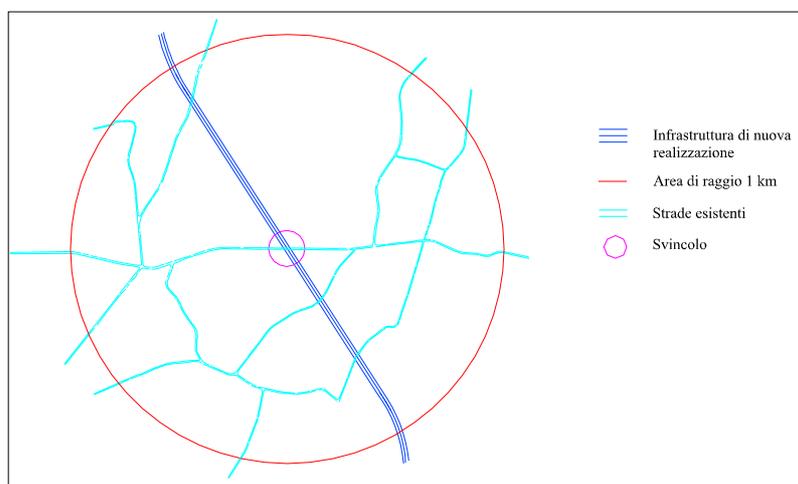


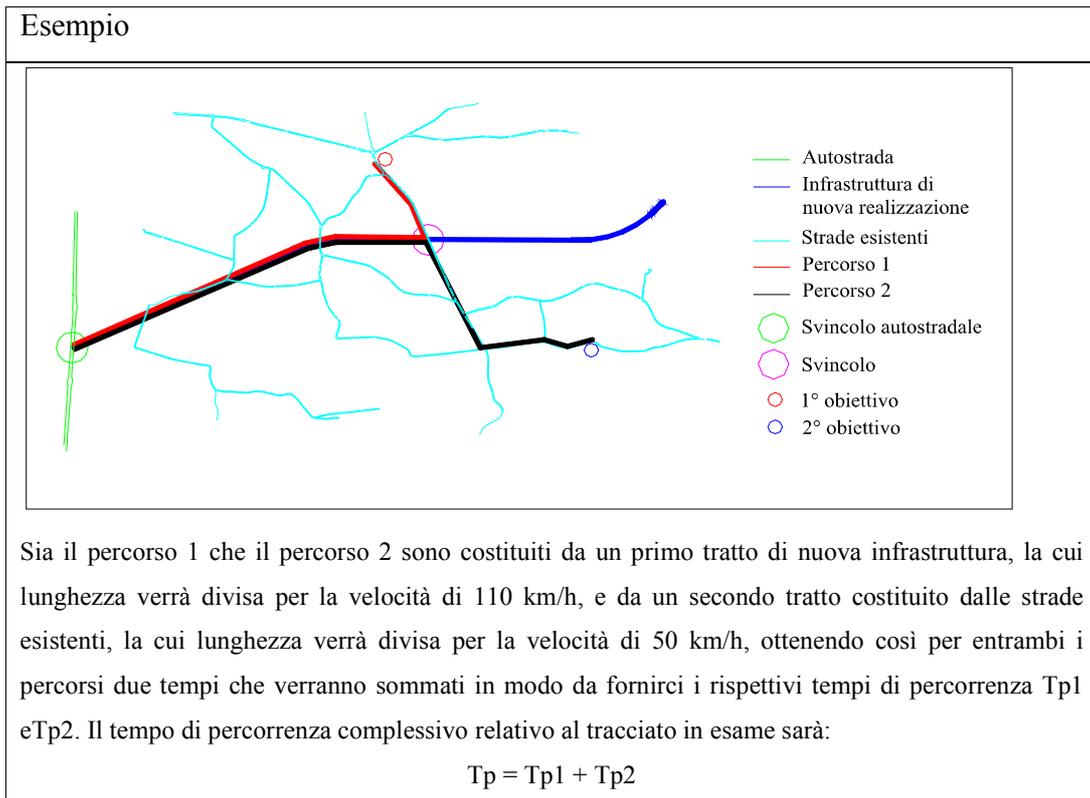
Figura 6.4.2. Livello di interconnessione

### Tempi di percorrenza

L'ultimo sottocriterio tecnico considerato è relativo al tempo impiegato per connettere reciprocamente i principali agglomerati urbani costituenti nodi O/D della rete di studio: si è inteso utilizzare tale indicatore, in quanto semplice da determinare e di grande efficacia.

Nel caso applicativo sono stati prescelti come rappresentativi i percorsi fra i quattro principali nodi urbani presenti nell'area di studio (San Vito, Pugliano, Montecorvino Pugliano e Montecorvino Rovella) ed un punto di partenza localizzato in corrispondenza dello svincolo autostradale.

I tempi di percorrenza ( $T_p$ ) per ciascun tracciato sono stati valutati considerando una velocità media di percorrenza pari a 110 km/h per i tratti di nuova costruzione e di 50 km/h per quelli esistenti. Il tempo di percorrenza è quindi dato dalla somma dei singoli tempi di percorrenza per raggiungere i rispettivi obiettivi, così come rappresentato nell'esempio successivo.



### 6.4.3 Criteri e Indicatori Economici

L'ultimo macro criterio considerato è quello economico, che come riportato precedentemente, è scomposto nei seguenti sottocriteri: *costi, modifica del valore immobiliare, consumo diretto di aree e sviluppo economico.*

#### Costi

Il valore dei costi è spesso un elemento discriminante nella realizzazione delle opere civili, sovente sono adoperate, in fase di studio di fattibilità, tecniche per la riduzione degli stessi, oppure vengono ricercate le alternative che massimizzano il rapporto benefici/costi.

In questa sede si sono voluti stimare, attese le grandi difficoltà nella valutazione dei benefici generati dalla realizzazione di una nuova infrastruttura, le principali voci di investimento che rientrano nella maggior parte degli studi economici di supporto alle decisioni.

In particolare si è voluto suddividere tale criterio in costi di:

- esproprio;
- progettazione e realizzazione;
- gestione e manutenzione.

Il costo di esproprio è rappresentato dall'indicatore (Es) corrispondente all'indennizzo corrisposto al proprietario ai sensi del D.P.R: 327/2001 (Testo unico in materia di espropri) in caso di esproprio per pubblica utilità.

Trattandosi per la gran parte di zone agricole il calcolo è stato condotto considerando i valori agricoli medi forniti per i diversi tipi di coltura e per le diverse regioni agricole.

Pertanto utilizzando la classificazione fornita dalla commissione provinciale espropri con cadenza temporale, di seguito presentata, si sono stimati i costi di esproprio relativi alle diverse alternative.

COMMISSIONE PROVINCIALE ESPROPRI

DELLA PROVINCIA DI SALERNO

ELENCO DELLE REGIONI AGRARIE

<b>MONTAGNA INTERNA</b>	
<b>REGIONE AGRARIA N° 1</b> Versante meridionale dei Picentini	Acerno - Giffoni Sei Casali - Giffoni Valle Piana
<b>REGIONE AGRARIA N° 2</b> Montagna tra Alto Sele e Platano	Castelnuovo di Conza - Colliano - Laviano - Ricigliano - San Gregorio Magno - Santomenna - Valva
<b>REGIONE AGRARIA N° 3</b> Monte Alburno	Castelcivita - Corleto Monforte - Ottati - Petina - Sant'Angelo Fasanello
<b>REGIONE AGRARIA N° 4</b> Alto Calore	Campora - Laurino - Monte San Giacomo - Piaggine - Sacco - Valle dell'Angelo
<b>REGIONE AGRARIA N° 5</b> Mingardo e Alto Bussento	Cannalonga - Casaleto Spartano - Caselle in Pittari - Cuccaro Vetere - Futani - Laurito - Montano Antilia - Novi Velia - Rofrano - Sanza - Tortorella
<b>COLLINA INTERNA</b>	
<b>REGIONE AGRARIA N° 6</b> Colline orientali dei Picentini	Baronissi - Bracigliano - Calvanico - Castiglione del Genovesi - Fisciano - Mercato S. Severino - San Cipriano Picentino - San Mango Piemonte - Siano
<b>REGIONE AGRARIA N° 7</b> Medio Sele	Albanella - Altavilla Silentina - Auletta - Buccino - Caggiano - Campagna - Controne - Contursi - <a href="#">Montecorvino Pugliano</a> - <a href="#">Montecorvino Rovella</a> - Olevano sul Tusciano - Oliveto Citra - Palomonte - Pertosa - Postiglione - Romagnano al Monte - Salvitelle - Sicignano degli Alburni
<b>REGIONE AGRARIA N° 8</b> Medio Calore	Aquara - Bellosguardo - Castel San Lorenzo - Cicerale - Felitto - Giungano - Magliano Vetere - Monteforte Cilento - Roccadaspide - Roscigno - Trentinara
<b>REGIONE AGRARIA N° 9</b> Colline del Vallo di Diano	Atena Lucana - Buonabitacolo - Casalbuono - Montesano sulla Marcellana - Padula - Polla - Sala Consilina - San Pietro al Tanagro - San Rufo - Sant'Arsenio - Sassano - Teggiano
<b>REGIONE AGRARIA N° 10</b> Colline del Cilento occidentale	Laureana Cilento - Lustra - Ogliastro Cilento - Omignano - Perdifumo - Prignano Cilento - Rutino - Sessa Cilento - Stella Cilento - Torchiara

Figura 6.4.2.1 Regioni agrarie dell'ambito di riferimento

Si riporta uno stralcio del quadro d'insieme dei valori agricoli medi in cui sia presente la regione agricola di nostro interesse, ovvero quella denominata *sette*.

**QUADRO D'INSIEME DEI VALORI AGRICOLI MEDI PER ETTARO E PER TIPI DI  
COLTURA DEI TERRENI COMPRESI NELLE SINGOLE REGIONI AGRARIE**

TIPI DI COLTURA			REGIONE AGRICOLA					
			7	8	9	10	11	12
1	Agrumeto *	€	23.990,00	16.933,00		22.579,00	31.598,00	
2	Bosco di alto fusto	€	4.371,00	4.040,00	5.202,00		4.704,00	
3	Bosco ceduo	€	2.784,00	2.325,00	2.158,00	2.794,00	2.664,00	1.964,00
4	Carrubeto	€						
5	Castagneto da frutto	€	17.487,00	19.673,00	14.278,00	10.293,00	22.246,00	11.400,00
6	Colture orticole irrigue	€	18.843,00	17.155,00	25.040,00	24.377,00	17.985,00	16.021,00
7	Ficheto	€		5.700,00		7.692,00	5.202,00	
8	Floreale irriguo	€						
9	Frutteto	€	28.776,00	12.700,00	16.557,00	19.368,00	16.390,00	11.289,00
10	Incolto produttivo	€	1.217,00	1.217,00	1.217,00	1.328,00	1.273,00	1.162,00
11	Limoneto	€						
12	Noccioleto	€	44.271,00					
13	Noccioleto irriguo	€	48.698,00					
14	Orto	€			42.334,00			
15	Orto irriguo	€	37.824,00	27.670,00	45.156,00	32.733,00	37.243,00	
16	Pascolo	€	2.379,00	1.633,00	1.521,00	1.798,00	1.854,00	1.798,00
17	Pascolo arborato	€	2.933,00	1.743,00	2.158,00	1.854,00	2.075,00	1.910,00
18	Pascolo cespugliato	€	1.964,00	1.273,00	1.273,00	1.487,00	1.633,00	1.688,00
19	Pioppeto	€						
20	Prato	€	8.273,00		8.273,00		4.760,00	
21	Prato arborato	€			6.834,00			
22	Prato irriguo	€			17.487,00			
23	Querceto	€	4.538,00	3.209,00	2.933,00	2.794,00	3.569,00	1.964,00
24	Seminativo	€	5.534,00	4.483,00	11.289,00	5.700,00	5.977,00	3.984,00
25	Seminativo arborato	€	9.325,00	5.479,00	11.586,00	6.558,00	6.558,00	5.368,00
26	Seminativo irriguo	€	15.522,00	13.835,00	21.721,00	15.522,00	14.665,00	12.700,00
27	Seminativo irriguo a colture poliennali specializzate	€						
28	Seminativo irriguo arborato	€	19.479,00	15.799,00	18.621,00	19.202,00	18.898,00	13.835,00
29	Uliveto	€	19.673,00	18.262,00	20.807,00	19.673,00	19.950,00	20.226,00
30	Uliveto - Ficheto	€		4.760,00		10.432,00	9.325,00	
31	Uliveto - Vigneto	€	10.155,00	12.977,00	12.977,00	14.114,00		
32	Vigneto	€	13.835,00	15.246,00	16.380,00	15.522,00	14.969,00	11.843,00

**Figura 6.4.2.2. Costi di Esproprio per tipologia di coltura**

Per quanto concerne il costo di progettazione si è impiegato l'indicatore (Pr) espressione della percentuale riconosciuta sull'importo totale dei lavori all'attività di progettazione e direzione dei lavori.

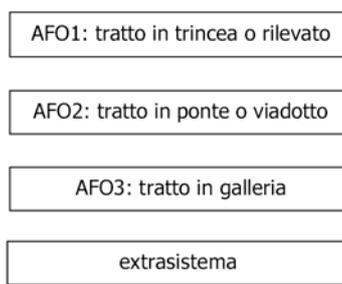
In particolare, dall'analisi di 22 progetti analoghi per la categoria di strada considerata è stato possibile stimare nel 4% l'aliquota relativa ai costi di progettazione.

Mentre, ai fini della determinazione dei costi di costruzione, si è adoperata, in linea con gli indirizzi dell'Analisi del Valore la procedura dei costi standardizzati proposta dall'Autorità di vigilanza dei Lavori Pubblici.

La procedura per la determinazione dei costi standardizzati, si basa sulla divisione dell'infrastruttura viaria in ambiti funzionali omogenei quali:

- trincea o rilevato;
- galleria;
- ponte o viadotto;
- opere di mitigazione ambientale e di stabilizzazione dei terreni.

Questo ultimo è stato denominato, per omogeneità con le altre categorie d'opera, extrasistema.



**Figura 6.4.2.3. Ambiti Funzionali**

L'Osservatorio dei Lavori Pubblici a seguito delle elaborazioni svolte ha definito alcuni valori di costo di costruzione per le diverse categorie di strade e che per la tipologia di strada in esame si caratterizzano come segue:

Strada tipo B (D.M. 5/11/2001), larghezza carreggiata m 22.00.

Costo di costruzione per metro lineare di carreggiata

AFO 1	€ 2.112,00
AFO 2	€ 25.187,50
AFO3	€ 58.760,50
EXTRASISTEMA	€ 357,00

**Tabella 6.4.2.1. Costi a ml Ambiti Funzionali**

Costo di costruzione per metro quadro di carreggiata

AFO 1	€ 65,00
AFO 2	€ 775,00
AFO3	€ 1.808,00
EXTRASISTEMA	€ 11,00

**Tabella 6.4.2.2. Costi a mq Ambiti Funzionali**

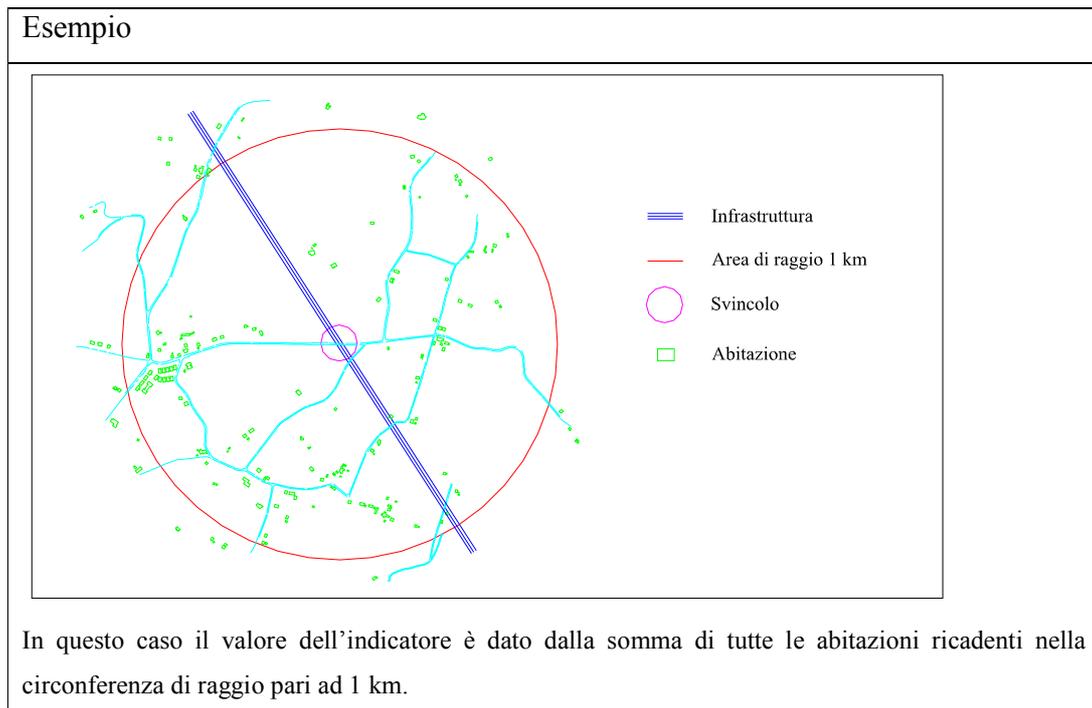
Infine il costo di gestione e manutenzione è rappresentato dall'indicatore (Gm) dato dal costo unitario a km per il numero di km stessi.

In particolare dall'analisi di precedenti esperienze si ritenuto adeguato per un'infrastruttura di tipo B un costo di gestione e manutenzione pari a di 60.000 €. a km.

## Modifica del valore immobiliare

In generale, la realizzazione di un'infrastruttura comporta, come anche per altre opere di miglioramento della mobilità, un aumento dei valori degli immobili presenti nella zona circostante. In generale i motivi possono essere molteplici, ma nel caso in esame, i principali possono riscontrarsi nel miglioramento del collegamento tra i diversi ambiti, nel decongestionamento delle principali percorrenze ormai in continua saturazione, nell'incremento degli spostamenti e degli scambi e quindi nel miglioramento dell'economia locale.

L'indicatore utilizzato per stimare tale criterio è il numero di abitazioni (Mv) presenti in un'area di raggio pari ad 1 km dal baricentro dello svincolo. Si riporta un esempio di determinazione di tale indicatore.



## Consumo diretto di aree

La realizzazione di una nuova infrastruttura comporta, tra l'altro, una perdita di uso del suolo, che rappresenta un valore, non solo per il proprietario, al quale verrà corrisposta un'indennità, ma anche per la collettività. Poiché la stessa area sarebbe potuta essere destinata ad altri usi, ad esempio ad un parco urbano. Tuttavia nonostante l'elevata difficoltà nello stimare tale valore intrinseco, ovvero potenziale, l'economia ambientale ha proposto negli anni diversi metodi, tra cui, senza dubbio il più interessante è il valore economico totale (VET):  $Vet = Vut + Vi$ .

Tale teoria tende a scomporre il valore di un bene in altrettanti valori, che oltre a rappresentare il valore di stima, ne definiscono quello potenziale e di esistenza, così come di seguito rappresentato.

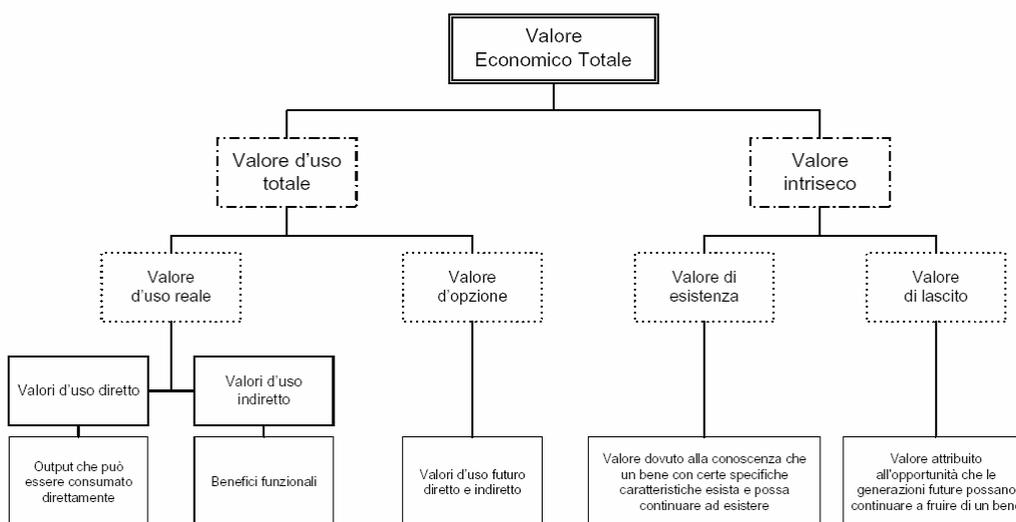


Figura 6.4.24.. Valutazione Economica Totale

Tali valori sono determinati mediante la stima della disponibilità a pagare(DAP) per ottenere un beneficio o della disponibilità ad accettare(DAA) una compensazione per tollerare un costo da parte degli individui interessati.

Si può, allora, fare ricorso ai metodi cosiddetti di valutazione indiretta, basati sulle preferenze rilevate e quelli di valutazione diretta, basati sulle preferenze dichiarate.

Attraverso i metodi indiretti si ricava il valore della risorsa ambientale deducendolo da altre variabili economiche, tramite l'analisi delle sue relazioni con beni di cui esiste già un ben preciso mercato.

Tra i principali metodi indiretti riportiamo il metodo del costo di viaggio (metodo del travel cost).

Attraverso i metodi diretti, invece, si ricava la stima del valore più probabile del bene mediante interviste ad un campione qualificato.

Tra i principali metodi indiretti ricordiamo la valutazione contingente che permette di aggirare il problema dell'assenza di un mercato ambientale, facendo ricorso ad una indagine diretta sul pubblico rivolta a determinare quanto gli individui sono disposti a pagare per fruire di un bene ambientale (o, al contrario, quanto domandano per rinunciare a fruirne).

Tale metodo di valutazione simula una situazione di scelta individuale: gli intervistati dichiarano le proprie preferenze e la loro disponibilità a pagare; i dati così raccolti servono ad approssimare una curva di domanda per il bene ambientale, che consente poi di stimare il più probabile valore del bene analizzato.

Esistono diversi modi per costruire una valutazione contingente, ma i principali sono: il questionario, il referendum e l'asta.

In questa sede non si è proceduto all'esplicitazione di tale sottocriterio riscontrando una difficoltà oggettiva, si è ritenuto doveroso, comunque riportare le tecniche principali di economia ambientale di cui si avvalgono gli studi più recenti.

## Sviluppo economico

E' plausibile considerare che la realizzazione di una nuova infrastruttura di trasporto possa contribuire allo sviluppo dell'area geografica interessata, in quanto aumenta l'accessibilità dei mercati alle merci locali, l'attrattività del territorio da parte delle imprese e quindi l'espansione dei mercati locali oltre ad agevolare i flussi turistici.

Nella valutazione sulla desiderabilità di una nuova infrastruttura stradale bisogna quindi tenere conto delle modificazioni a carattere socio-economico ad essa connesse. In particolare, ai fini di una corretta analisi di fattibilità economica, è necessario stimare i possibili impatti positivi sullo sviluppo dell'area.

La quantificazione di tali effetti pone però non poche difficoltà metodologiche. Infatti, in primo luogo la realizzazione di una grande opera pubblica può comportare effetti differenti a seconda delle caratteristiche iniziali dello scenario di riferimento, ad esempio vie di comunicazione dotate delle stesse caratteristiche in termini di lunghezza e tipologia possono innescare dinamiche di sviluppo differenziate in relazione al tessuto sociale e produttivo di partenza. In secondo luogo le eventuali misure individuate dovrebbero portare a risultati il più possibile generali e confrontabili nel tempo e nello spazio.

Tenuto conto di queste considerazioni la letteratura in materia, concorde nel riconoscere un certo grado di interconnessione tra crescita economica ed infrastrutture stradali, ha cercato di sviluppare strumenti che siano in grado di misurare l'impatto di una nuova infrastruttura tenendo conto sia della natura della stessa che del paese in cui essa va ad inserirsi. In particolare, gli investimenti pubblici finalizzati alla costruzione di strutture di trasporto comportano un effetto addizionale non trascurabile in quanto stimolano ulteriori investimenti grazie al miglioramento delle vie di accesso alle aree interessate.

Tra i molteplici studi realizzati risulta particolarmente utile ai fini dell'analisi qui effettuata il progetto **ECOPAC** realizzato nell'ambito del "Transport RTD Programme" per conto della Commissione Europea.

Lo studio, condotto a livello regionale su 5 paesi europei, ha dimostrato e misurato l'impatto positivo della realizzazione di nuove infrastrutture stradali individuando una proxy dello sviluppo economico ad essa connesso. Ne è risultato un coefficiente, valido per tutti i paesi europei, grazie al quale è possibile stimare il numero di nuovi occupati strutturali derivanti dalla realizzazione di una nuova infrastruttura stradale. In particolare è stato stimato che per ogni chilometro di nuova infrastruttura realizzata vengono a crearsi 3,6 occupati strutturali in dieci anni secondo la progressione seguente:

<b>Anni</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>.....</b>
Nuovi occupati per km	0,36	0,72	1,08	1,44	1,8	2,16	2,52	2,88	3,24	3,6	3,6	3,6

Ai fini di questo studio non interessa calcolare i benefici derivanti dalla creazione di nuovi posti di lavoro (che dovrebbero essere calcolati in termini di valore aggiunto generato dalla nuova forza lavoro), ma semplicemente determinare un indicatore che permettesse di confrontare le varie alternative tra loro.

Quindi per tale criterio l'indicatore utilizzato (Se) rappresenta il numero di nuovi occupati strutturali.

E' opportuno a questo punto riepilogare gli indicatori impiegati in tabelle descrittive di seguito riportate.

	CRITERIO	INDICATORE
Indicatori ambientali	Sensibilità all'immissione di gas nocivi e polveri	Ng
	Sensibilità all'immissione di rumori	Nr
	Inquinamento acque profonde	Ip
	Interferenza fisica con acque profonde	Gf
	Inquinamento acque superficiali	Re
	Interferenza fisica con acque superficiali	Ni
	Consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico	V
	Immissioni di vibrazioni	Iv
	Erodibilità dei terreni	Er
	Frane in atto e rischio a franare	Fr
	Flora ed ecosistema	Le
	Fauna	Lf
	Valenza paesaggistica	Lv
Indicatori tecnici	Comfort di marcia	It
	Coordinamento plano-altimetrico	Dh
	Non utenti	Na
	Operai	Od
	Livello di connessione con extrasistema	Ce
	Tempi di percorrenza	Tp
Indicatori economici	Esproprio	Es
	Progettazione e realizzazione	Pr
	Gestione e manutenzione	Gm
	Modifica del valore immobiliare	Mv
	Consumo diretto di aree	-
	Sviluppo economico	Se

Tabella 6.4.2.3. Indicatori di prestazione

## **7.0 Tecniche per la determinazione dei pesi**

Per applicare compiutamente i metodi AHP ed ELECTRE descritti nei capitoli precedenti, è necessario, individuare un sistema di pesi rappresentativo dell'importanza relativa dei criteri. In letteratura esistono diverse tecniche per tale determinazione, senza dubbio "la più semplice, ma anche la più arbitraria è quella dell'assegnazione diretta, ovvero definita direttamente dal decisore senza alcun supporto da parte dell'analista". Altre tecniche, invece, prevedono una stretta interazione tra decisore ed analista, il cui risultato è quello di definire un vettore rappresentativo delle preferenze.

L'approccio prescelto in questa sede, il cui obiettivo è stato quello di conferire la maggiore validità possibile ai pesi da utilizzare, anche da un punto di vista statistico, ha visto, una forte iterazione tra analista e decisore, resa possibile mediante l'ausilio di un sistema di intervista.

## 7.1 Tecniche di Intervista

I possibili metodi di condurre un'intervista sono di certo svariati in funzione dell'indagine da svolgere, di queste tecniche si ritiene di dover ricordare almeno le seguenti:

- inchieste campionarie;
- panels;
- pubblicizzazione di un documento di consultazione e richiesta di risposte in forma scritta (procedura di "notice-and-comment");
- focus groups;
- Delphi technique.

### *Inchieste campionarie*

Le *inchieste campionarie* si basano su interviste strutturate, rivolte a soggetti appartenenti a campioni rappresentativi della o delle popolazioni oggetto di analisi. In particolare tramite questionari a domande chiuse (in cui cioè il numero e il tipo delle risposte sono prestabiliti), inviati per posta ed auto-compilati.

In alternativa, i questionari possono essere somministrati da intervistatori addestrati *ad hoc*, telefonicamente o faccia-a-faccia.

### *Panels*

Tale tecnica si basa sul supporto di un gruppo di esperti la cui disponibilità a rispondere sia stata previamente verificata. Ad essi vengono poi sottoposti in momenti differenti (sicché si parla di inchiesta longitudinale), questionari a domande chiuse, ovvero semi strutturati prevedendo sia domande chiuse, sia aperte.

### *Notice-and-comment*

La pubblicizzazione di un documento di consultazione, con la conseguente richiesta di risposte in forma scritta, è sicuramente tra le tecniche di intervista meno costose e di facile realizzazione, soprattutto grazie ad internet.

Tale metodologia consente di ottenere informazioni e punti di vista espressi in modo approfondito e dettagliato, anche su argomenti complessi.

Il limite di tale metodo consiste nella difficoltà di scelta del campione e degli elevati tempi di post-processing.

### *Focus groups*

I *focus groups* sono piccoli gruppi, convocati per l'occasione, comprendenti, soggetti direttamente coinvolti nella realizzazione del nuovo progetto quali: destinatari diretti, esperti, esponenti di categorie di cittadini, Amministrazioni pubbliche.

A questi vengono rivolte alcune domande, sulla cui base viene guidata un'interazione tra i componenti del *focus group*, il tutto, condotto, registrato e analizzato da personale addestrato *ad hoc*.

Questa tecnica di consultazione presenta diversi vantaggi: il costo modesto; la velocità di realizzazione; l'approfondimento dei temi, che non sarebbe consentito dal questionario a risposte chiuse; la possibilità di coinvolgere voci e punti di vista differenti e farli interagire, il che sotto certi profili può far ottenere informazioni maggiori di quanto non avvenga con altre tecniche di intervista.

Tali vantaggi costituiscono però allo stesso tempo una limitazione al metodo, infatti volendo dare valenza statistica ai dati dell'intervista bisogna aumentare il numero delle persone da coinvolgere, con conseguente difficoltà organizzative, ovvero dei tempi ed aumento dei costi.

## *Delphi technique*

Tale tecnica soventemente impiegata per la valutazione dei giudizi degli esperti, rappresenta la più utilizzata nondimeno quella più criticata; risulta quindi necessario descriverla in dettaglio presentandone limiti e potenzialità.

### **7.1.2. Metodo Delphi**

Il metodo Delphi, ideato dalla Rand Corporation negli anni '50, ha una struttura che è stata concepita per massimizzare i vantaggi di un gruppo di esperti (quali le conoscenze multidisciplinari e la capacità di sintesi), ovvero per minimizzarne gli svantaggi (dovuti a divergenze sociali, personali e politiche).

Il metodo si basa su quattro principi fondamentali:

- anonimato, ottenuto attraverso l'utilizzo di questionari auto-gestiti e privati;
- iteratività: la somministrazione del questionario viene iterata più volte, lasciando all'esperto la possibilità di cambiare parere senza perdere credibilità nei confronti degli altri esperti;
- ritorno controllato: tra ogni iterazione, l'organizzatore informa ogni esperto delle opinioni degli altri, anonimamente e spesso in forma statistica, di media o mediana;
- aggregazione statistica: la previsione finale è ottenuta come media o mediana delle stime degli esperti espresse nell'ultimo round dell'indagine.

### **7.1.3 Metodo Delphi Classico**

La procedura più classica del metodo si specifica come segue:

- il primo round d'indagine non è strutturato; ogni esperto ha la possibilità di indicare liberamente quali siano i fattori, le variabili o gli argomenti importanti per il problema in questione;
- l'organizzatore raccoglie i primi risultati, e li consolida in un unico insieme di argomenti che struttura in un successivo questionario, a cui gli esperti del panel devono rispondere con valutazioni quantitative;

- dopo ogni round, l'organizzatore analizza e sintetizza statisticamente (mediana e primo e ultimo quartile) le risposte, e le riporta agli esperti per l'analisi;
- a partire dal terzo giro, ogni esperto può modificare le proprie valutazioni a seguito del ritorno dall'organizzatore;
- se la valutazione dell'esperto cade fuori dal primo e dall'ultimo quartile, questi deve spiegare, sempre in forma anonima, perché il proprio giudizio sia così diverso da quello della maggioranza;
- il metodo termina quando le risposte degli esperti raggiungono un sufficiente grado di stabilità.

#### **7.1.4. Variante al metodo Delphi classico**

Il metodo utilizzato in questa sede è rivolto al maggiore rispetto possibile di quelli che sono i quattro principi fondamentali sopra elencati.

Sostanziali differenze, invece, sono dovute alla necessità di dover adottare nei confronti della procedura classica del metodo.

I punti salienti caratterizzanti la procedura utilizzata sono di seguito riportati:

- sono stati sottoposti ad intervista sia esperti che non esperti, come già indicato quando si è parlato del campione selezionato;
- sono previsti due soli cicli di interviste ritenendoli sufficienti a raggiungere una convergenza dei risultati adeguata alle nostre esigenze;
- il primo round d'indagine è già strutturato in un ben definito questionario e all'intervistato è richiesto di esprimere il suo parere senza alcun condizionamento esterno;
- dopo il primo round, l'organizzatore analizza e sintetizza statisticamente (media, varianza, intervallo [media-varianza;media+varianza]) le risposte;
- gli intervistati sono informati dei risultati ottenuti in sede di analisi e sintesi statistica;
- prima di iniziare il secondo ciclo di interviste viene eseguita una differenziazione dei risultati di analisi e sintesi per gli esperti e i non esperti;

- tra gli esperti vengono selezionati tutti quelli che escono fuori dall'intervallo  $[media-varianza; media+varianza]$ , relativo al campione dei soli esperti;
- gli esperti selezionati vengono reintervistati adducendo come ulteriore informazione quella che è stata la media delle risposte dei restanti esperti dopo il primo round, se l'intervistato con la nuova risposta esce nuovamente dall'intervallo su indicato non viene sottoposto ad ulteriore intervista e la risposta viene comunque considerata;
- tra i non esperti vengono selezionati tutti quelli che escono fuori dall'intervallo  $[media-varianza; media+varianza]$ , relativo al campione dei soli non esperti;
- i non esperti selezionati vengono reintervistati adducendo come ulteriore informazione quella che è stata la media delle risposte degli esperti e dei non esperti dopo il primo round, se l'intervistato con la nuova risposta esce nuovamente dall'intervallo su indicato non viene intervistato nuovamente e la risposta viene comunque considerata;
- la procedura descritta è da ripetersi per tutti i confronti previsti dal questionario.

I risultati ottenuti, in termini di medie, dal secondo ciclo saranno poi utilizzati nel metodo AHP.

## 7.2 Campione degli intervistati

Il campione sottoposto ad intervista, costituito da 60 individui, è strutturato come di seguito riportato:

- 30 esperti, di cui
  - 17 tra Professori e Dottorandi del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti,
  - 1 Professore di Idrogeologia
  - 1 Ricercatore del Dipartimento di costruzioni Idrauliche;
  - 1 Ricercatore di Ingegneria Sanitaria;
  - 1 Professore di Geotecnica;
  - 1 Ricercatore del DAPS (dipartimento di analisi e progettazione strutturale);
  - 2 Componenti del Nucleo di Valutazione Regionale per gli investimenti Pubblici;
  - 2 Vice presidenti di Provincia;
  - 1 Esperto di Architettura del Paessaggio;
  - 1 Economista Ambientalista;
  - 1 Esperto di Valutazione di Impatto Ambientale;
  - 1 Professore di Politica Economica;
- 30 non esperti scelti tra persone non aventi particolari conoscenze sugli argomenti in esame, ma con un grado d'istruzione medio-alto.

La scelta del campione è giustificata dal tentativo di simulare il comportamento di un eventuale decisione politica espressa sulla base di conoscenze tecniche, ovvero di esigenze manifestate dalla collettività.

### 7.3 Questionario

La fase di redazione del questionario non è risultata immediata, infatti, sulla base di studi pregressi applicati in diversi settori ( ingegneria civile al marketing); si sono riscontrati una serie di elementi in grado di condizionare le risposte e quindi distorcere l'informazione richiesta<sup>40</sup>.

Al fine di ridurre al minimo tali inconvenienti nondimeno con il supporto del Dipartimento di Statistica del Politecnico coordinato dal Prof. Erto, si è inteso strutturare un questionario del tipo "diretto" ovvero sia di facile comprensione per l'intervistato, sia di supporto all'intervistatore nella fase di indagine<sup>41</sup>.

L'architettura scelta e di seguito rappresentata è basata sul modello gerarchico della AHP("Analytic Hierarchy Process" ideato da Thomas Lorie Saaty ). In particolare sulla base di una serie di confronti a coppie ovvero mediante la tecnica del Rating si sono strutturati e pesati tutti gli elementi della struttura gerarchica predisposta per la valutazione dei tracciati alternativi (Fig. 6.1).

---

<sup>40</sup> Noti sono i problemi del questionario utilizzato nella valutazione contingente per stimare la DAP.

<sup>41</sup> In corrispondenza di alcune domanda sono stati predisposti opportuni esempi, a voler chiarire nel modo più asettico,l'oggetto della domanda.

E' utile evidenziare che seppure il criterio economico è stato pesato, si è inteso, riscontrata un'oggettiva difficoltà di stima, non inserire nel questionario i relativi sottocriteri, ritenendo più accurato trattare i dati ad essi associato in modo differente.

Ciò nonostante, i risultati ottenuti sono stati inseriti nel processo di valutazione sulla base del peso del macro criterio economico.

Il confronto diretto tra i criteri è stato impostato sia utilizzando la scala proposta dallo stesso Saaty:

- 1 uguale importanza
- 3 debole prevalenza
- 5 significativa prevalenza
- 7 forte prevalenza
- 9 assoluta prevalenza

sia sulla base della "tecnica del *rating* (Voogd 1983)" per la quale all'intervistato vengono messi a disposizione 100 punti da distribuire tra i due criteri in modo che la quantità di punti assegnata a ciascuno di essi (*rating*) ne rispecchi l'importanza relativa.

Di seguito si riporta il questionario proposto ai vari intervistati.

### Premessa

Obiettivo del questionario è la determinazione dei pesi da attribuire a determinati criteri di valutazione atti alla scelta del miglior tracciato stradale.

All'intervistato deleghiamo l'aspetto politico del giudizio, non necessariamente derivante da conoscenze di natura tecnica.

Si è scelto d'impostare il questionario in maniera da richiedere un giudizio fondato sul confronto diretto tra criteri di valutazione predeterminati.

### Esempio di quesito e di possibile risposta:

Scelta di una autovettura

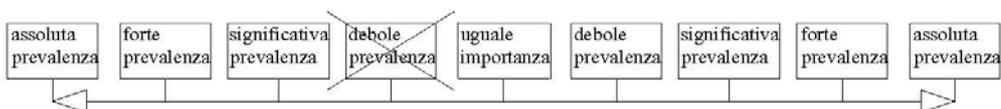
Criteri di valutazione: -costo

-consumi

Nella scelta di un'autovettura quale dei seguenti criteri si ritiene prevalente ed in che misura?

COSTO

CONSUMI

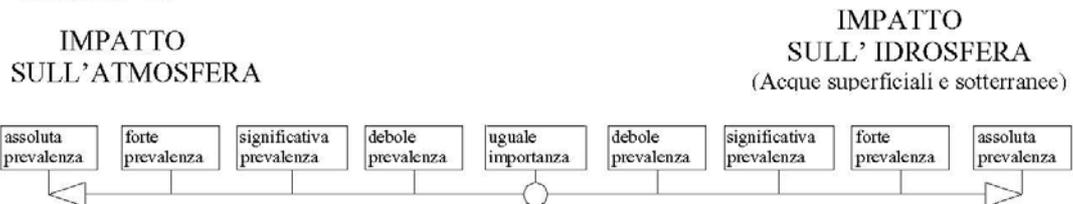


Nella scelta dell'autovettura si ritiene che il **criterio costo** abbia una "debole prevalenza" rispetto al **criterio consumo**.

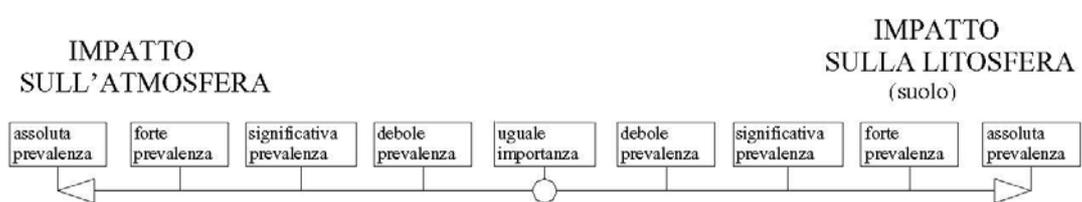
Allo stesso modo si chiede di rispondere alle seguenti domande.

**1) Esprimere il vostro giudizio comparativo tra le seguenti coppie di fattori ambientali inerenti la realizzazione e la messa in esercizio di una infrastruttura stradale:**

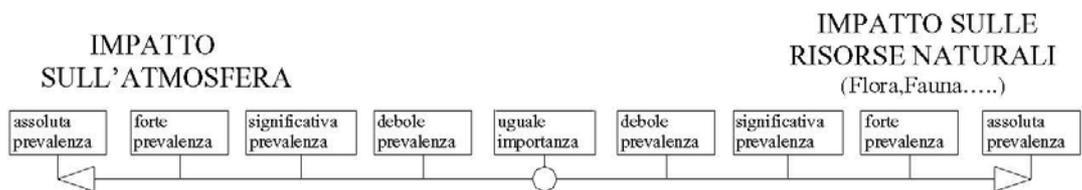
**confronto 1.1**



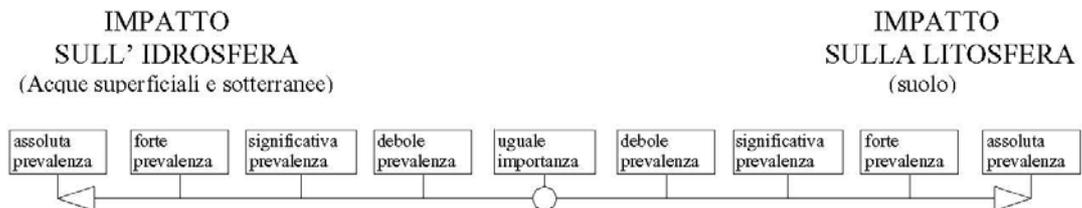
**confronto 1.2**



**confronto 1.3**



**confronto 1.4**



**confronto 1.5**

**IMPATTO  
SULL' IDROSFERA**  
(Acque superficiali e sotterranee)

**IMPATTO SULLE  
RISORSE NATURALI**  
(Flora,Fauna.....)



**confronto 1.6**

**IMPATTO  
SULLA LITOSFERA**  
(suolo)

**IMPATTO SULLE  
RISORSE NATURALI**  
(Flora,Fauna.....)



**2) Indicare a quale dei seguenti fattori perturbativi si ritiene che sia più sensibile**

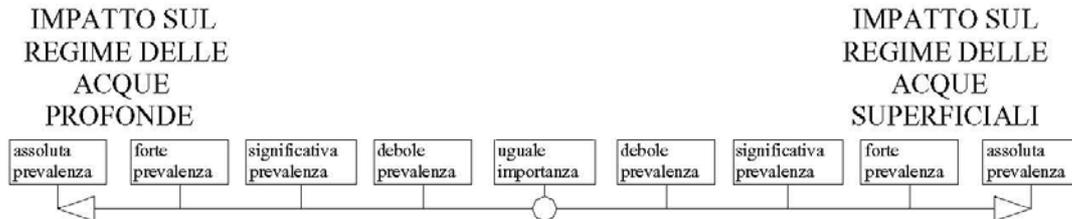
**l'atmosfera:**

**EMISSIONE DI  
NOCIVI E POLVERI**

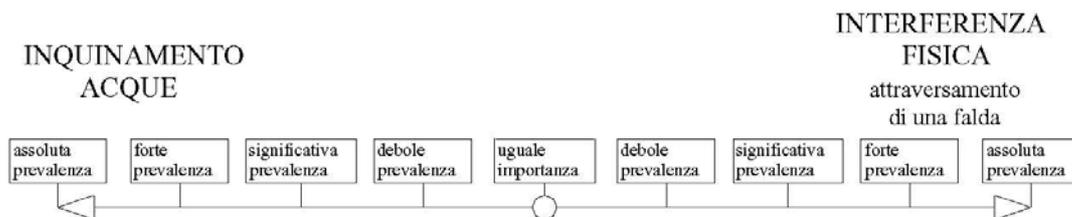
**EMISSIONE DI  
RUMORI**



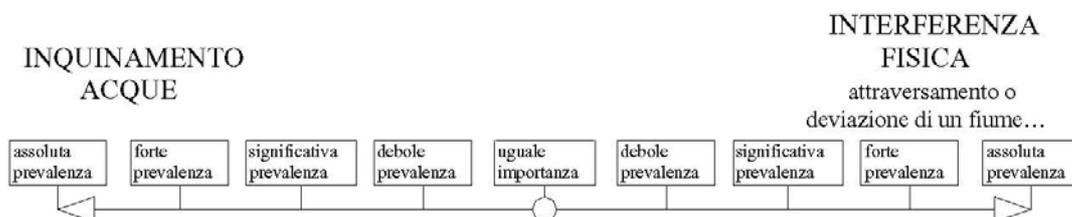
**3) Vista la perturbazione arrecata dalla realizzazione di un' infrastruttura al regime idrico: superficiale (fiumi, corsi d'acqua,...) e profondo (falde sotterranee), quale regime si ritiene sia più sensibile?**



**4) In riferimento al regime delle acque profonde (falde sotterranee), quale fattore si ritiene essere più allarmante?**



**5) Considerando ora il regime delle acque superficiali (fiumi, corsi d'acqua,...), quale fattore risulta essere più allarmante?**



6) Esprimere il vostro giudizio comparativo tra le seguenti coppie di fattori, presi all'interno dell'ambito della litosfera(suolo), inerenti la realizzazione e messa in esercizio di un'infrastruttura stradale.

**confronto 6.1**



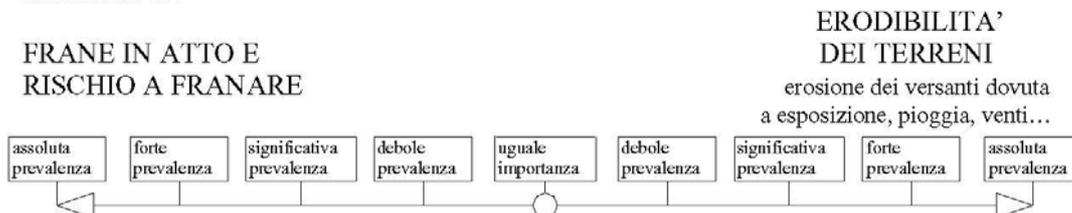
**confronto 6.2**



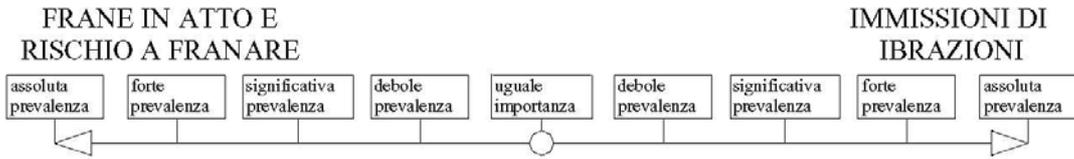
**confronto 6.3**



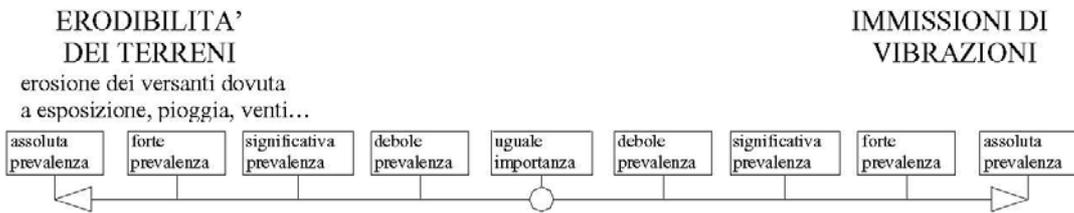
**confronto 6.4**



**confronto 6.5**

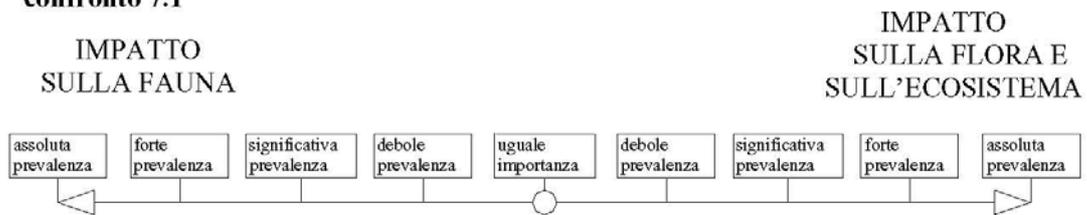


**confronto 6.6**

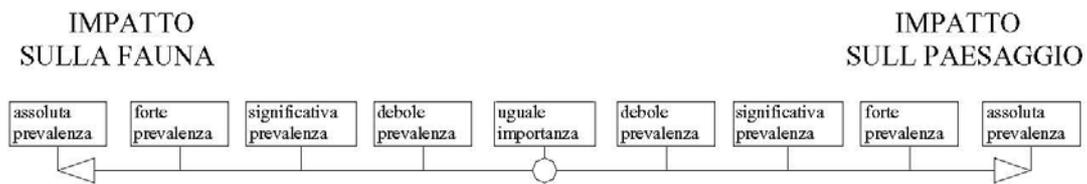


7) Esprimere il vostro giudizio comparativo tra le seguenti coppie di fattori, presi all'interno dell'ambito delle risorse naturali, inerenti la realizzazione e messa in esercizio di un'infrastruttura stradale.

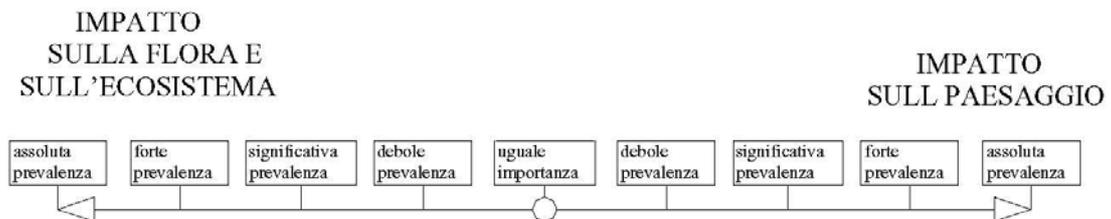
**confronto 7.1**



**confronto 7.2**

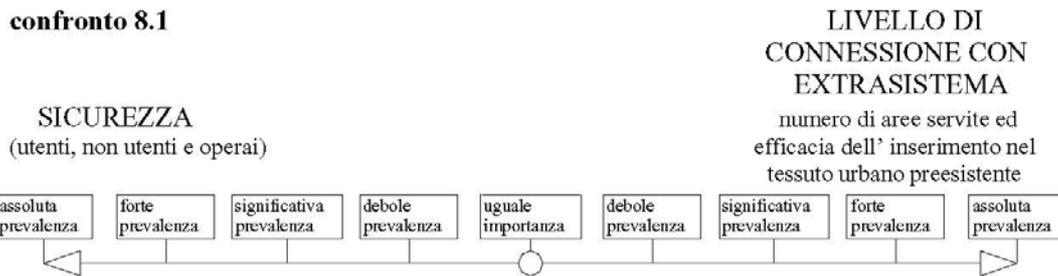


**confronto 7.3**

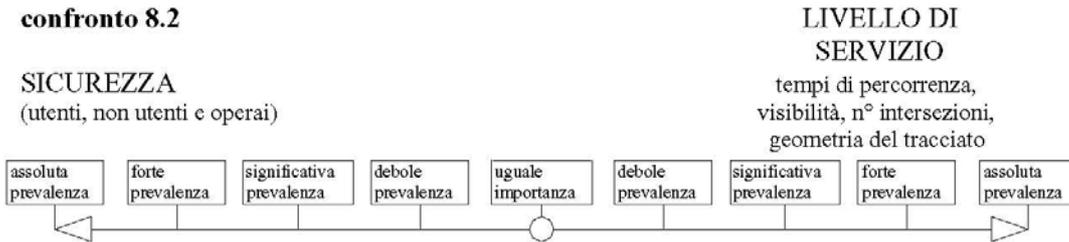


8) Esprimere il vostro giudizio comparativo tra le seguenti coppie di fattori dell'aspetto tecnico inerenti la realizzazione e messa in esercizio di un'infrastruttura stradale.

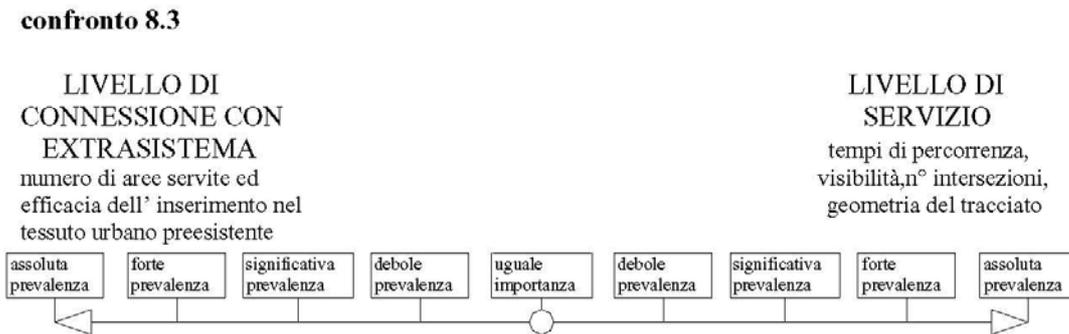
**confronto 8.1**



**confronto 8.2**

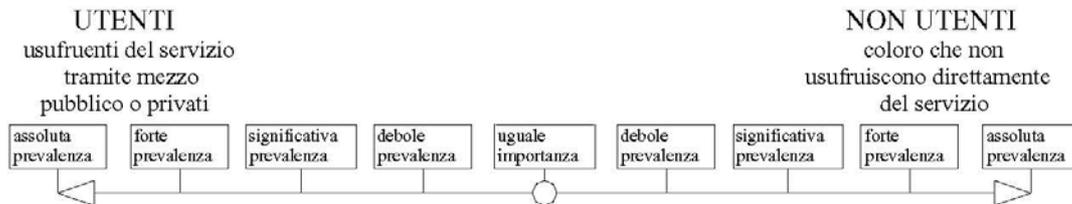


**confronto 8.3**

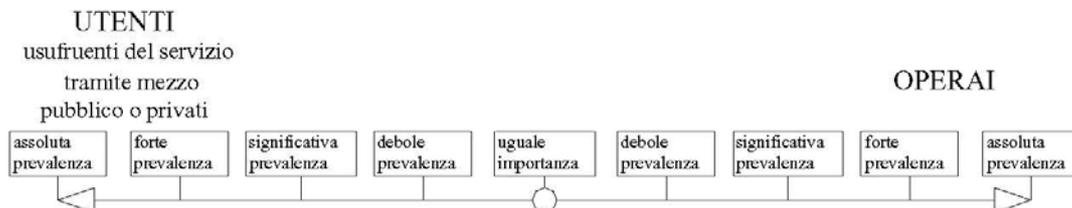


9) Quale delle seguenti figure si ritiene essere più a rischio, in termini di sicurezza, durante la realizzazione e la messa in esercizio di un'infrastruttura stradale?

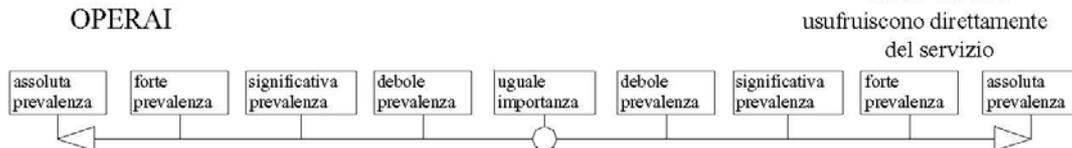
**confronto 9.1**



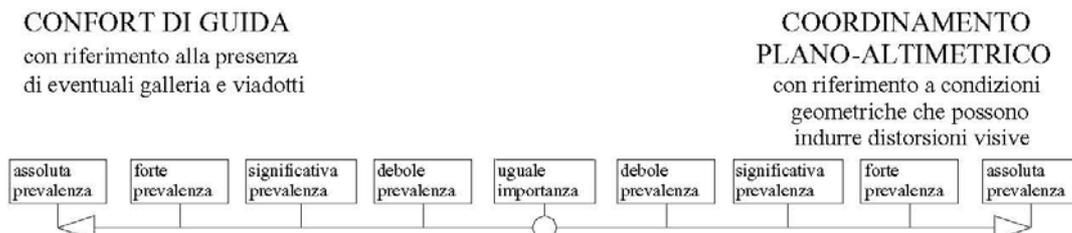
**confronto 9.1**



**confronto 9.2**

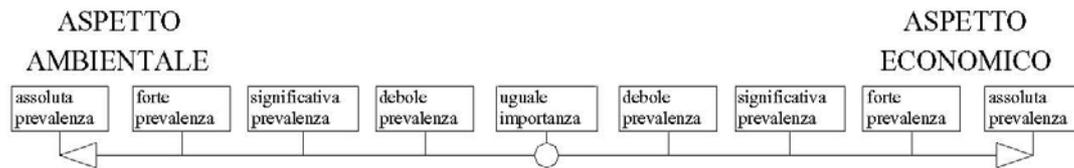


10) Con riferimento agli utenti dell'infrastruttura da realizzare indicare quale dei seguenti fattori si ritiene di dover prendere in maggior considerazione:

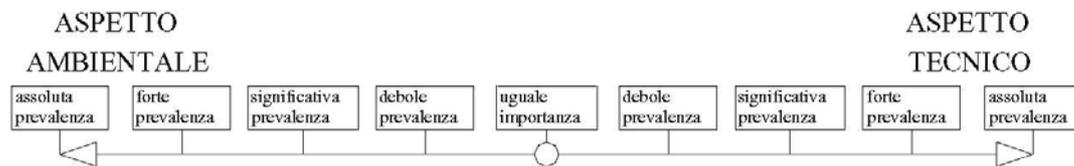


11) Esprimere il vostro giudizio comparativo tra le seguenti coppie di fattori inerenti la realizzazione e messa in esercizio di un'infrastruttura stradale.

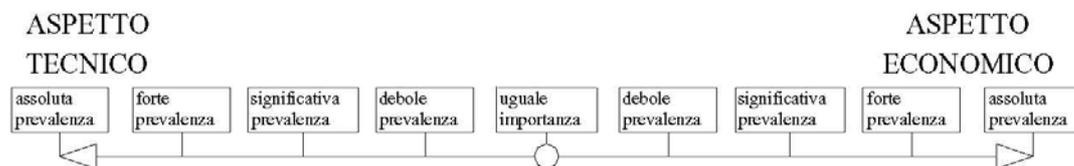
**confronto 11.1**



**confronto 11.2**



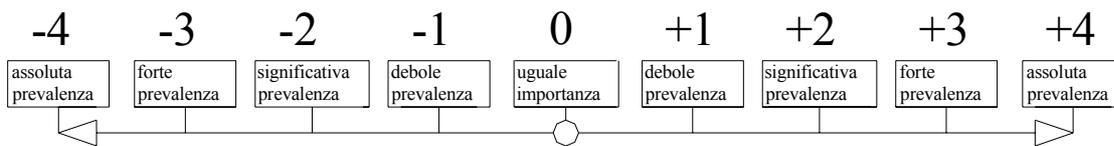
**confronto 11.2**



#### 7.4 Analisi dei Dati del Questionario

Ottenuti dal primo ciclo di interviste i risultati, questi si sono analizzati sia globalmente, considerando i 60 intervistati, sia singolarmente stimando per ogni gruppo di 30, la media e la varianza di ogni singola risposta.

Al fine di ridurre i tempi di elaborazione di tali misure statistiche si è utilizzata una corrispondenza numerica differente da quella di Saaty, così come di seguito riportato.



Raccordando successivamente i risultati alla scala di Saaty. Si riportano di seguito le elaborazioni su descritte, evidenziando i valori degli intervalli media - varianza, media+ varianza.

### 7.4.1 Primo ciclo di Interviste

Risposte del campione totale di 60 elementi (30 esperti + 30 non esperti):

<b>CONFRONTO 1,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,1
FREQUENZA	0	2	9	10	16	9	12	1	1	VARIANZA	2,46

<b>CONFRONTO 1,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,17
FREQUENZA	0	5	8	9	8	17	6	7	0	VARIANZA	3,19

<b>CONFRONTO 1,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,62
FREQUENZA	0	3	3	13	10	7	15	8	1	VARIANZA	3,12

<b>CONFRONTO 1,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,08
FREQUENZA	1	1	2	18	21	10	7	0	0	VARIANZA	1,50

<b>CONFRONTO 1,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,08
FREQUENZA	1	1	8	12	13	10	15	0	0	VARIANZA	2,35

<b>CONFRONTO 1,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,15
FREQUENZA	0	2	6	10	16	18	6	1	1	VARIANZA	1,99

<b>CONFRONTO 2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-2,15
FREQUENZA	7	16	23	9	4	0	1	0	0	VARIANZA	1,42

<b>CONFRONTO 3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,13
FREQUENZA	0	2	10	12	12	8	10	6	0	VARIANZA	2,90

<b>CONFRONTO 4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,37
FREQUENZA	2	8	9	12	6	8	13	2	0	VARIANZA	3,76

<b>CONFRONTO 5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,27
FREQUENZA	0	5	14	9	12	9	6	5	0	VARIANZA	3,11

<b>CONFRONTO 6,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,72
FREQUENZA	0	2	5	8	10	10	18	7	0	VARIANZA	2,71

<b>CONFRONTO 6,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,05
FREQUENZA	0	1	7	20	10	12	8	2	0	VARIANZA	2,01

<b>CONFRONTO 6,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,47
FREQUENZA	0	2	16	14	10	12	6	0	0	VARIANZA	2,02

<b>CONFRONTO 6,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,17
FREQUENZA	0	9	16	18	10	7	0	0	0	VARIANZA	1,50

<b>CONFRONTO 6,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,22
FREQUENZA	2	9	20	13	8	4	1	3	0	VARIANZA	2,6

<b>CONFRONTO 6,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,3
FREQUENZA	0	4	12	12	12	12	6	2	0	VARIANZA	2,5

<b>CONFRONTO 7,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,6
FREQUENZA	0	1	2	3	28	11	11	3	1	VARIANZA	1,63

<b>CONFRONTO 7,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,47
FREQUENZA	0	0	6	10	15	14	10	4	1	VARIANZA	2,15

<b>CONFRONTO 7,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,4
FREQUENZA	1	2	12	16	14	7	5	3	0	VARIANZA	2,41

<b>CONFRONTO 8,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,77
FREQUENZA	1	4	16	14	15	5	4	1	0	VARIANZA	2,11

<b>CONFRONTO 8,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,48
FREQUENZA	0	3	11	15	22	1	8	0	0	VARIANZA	1,78

<b>CONFRONTO 8,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,22
FREQUENZA	0	0	6	10	22	11	9	2	0	VARIANZA	1,63

<b>CONFRONTO 9,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,38
FREQUENZA	3	8	25	8	8	6	1	1	0	VARIANZA	2,24

<b>CONFRONTO 9,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,3
FREQUENZA	0	1	13	13	21	2	8	2	0	VARIANZA	2,04

<b>CONFRONTO 9,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,23
FREQUENZA	6	4	22	10	10	3	2	3	0	VARIANZA	3,00

<b>CONFRONTO 10</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,65
FREQUENZA	0	1	5	8	15	10	14	6	1	VARIANZA	2,50

<b>CONFRONTO 11,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,85
FREQUENZA	0	8	15	12	15	6	3	1	0	VARIANZA	2,16

<b>CONFRONTO 11,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,2
FREQUENZA	0	6	7	11	15	13	7	0	1	VARIANZA	2,50

<b>CONFRONTO 11,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,22
FREQUENZA	0	2	9	8	28	8	4	1	0	VARIANZA	1,56

Risposte del campione degli esperti di 30 elementi:

<b>CONFRONTO 1,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,1
FREQUENZA	0	2	7	4	6	3	7	0	1	VARIANZA	3,33

<b>CONFRONTO 1,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,3
FREQUENZA	0	3	3	2	4	13	2	3	0	VARIANZA	2,98

<b>CONFRONTO 1,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,47
FREQUENZA	0	1	2	7	5	5	8	1	1	VARIANZA	2,74

<b>CONFRONTO 1,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,27
FREQUENZA	1	1	1	10	9	5	3	0	0	VARIANZA	1,86

<b>CONFRONTO 1,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,17
FREQUENZA	1	0	6	5	8	4	6	0	0	VARIANZA	2,49

<b>CONFRONTO 1,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,03
FREQUENZA	0	2	4	5	5	10	4	0	0	VARIANZA	2,24

<b>CONFRONTO 2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,97
FREQUENZA	5	5	10	6	3	0	1	0	0	VARIANZA	2,03

<b>CONFRONTO 3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,17
FREQUENZA	0	2	6	5	4	3	5	5	0	VARIANZA	3,9

<b>CONFRONTO 4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,03
FREQUENZA	1	4	3	4	4	3	9	2	0	VARIANZA	4,31

<b>CONFRONTO 5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,57
FREQUENZA	0	1	2	4	8	6	5	4	0	VARIANZA	2,53

<b>CONFRONTO 6,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,87
FREQUENZA	0	1	3	4	3	4	10	5	0	VARIANZA	3,15

<b>CONFRONTO 6,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,2
FREQUENZA	0	0	4	7	6	6	6	1	0	VARIANZA	2,10

<b>CONFRONTO 6,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,77
FREQUENZA	0	2	11	7	2	4	4	0	0	VARIANZA	2,46

<b>CONFRONTO 6,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,3
FREQUENZA	0	5	11	5	6	3	0	0	0	VARIANZA	1,60

<b>CONFRONTO 6,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,63
FREQUENZA	1	7	11	7	1	2	0	1	0	VARIANZA	2,10

<b>CONFRONTO 6,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,8
FREQUENZA	0	4	9	5	5	4	2	1	0	VARIANZA	2,72

<b>CONFRONTO 7,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,43
FREQUENZA	0	1	2	2	12	6	5	2	0	VARIANZA	1,98

<b>CONFRONTO 7,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,93
FREQUENZA	0	0	2	4	4	9	7	3	1	VARIANZA	2,27

<b>CONFRONTO 7,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,07
FREQUENZA	0	1	6	7	6	3	4	3	0	VARIANZA	2,96

<b>CONFRONTO 8,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,5
FREQUENZA	1	1	8	4	8	4	4	0	0	VARIANZA	2,53

<b>CONFRONTO 8,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,4
FREQUENZA	0	1	7	8	7	1	6	0	0	VARIANZA	2,25

<b>CONFRONTO 8,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0
FREQUENZA	0	0	5	6	9	5	4	1	0	VARIANZA	1,93

<b>CONFRONTO 9,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,57
FREQUENZA	1	4	15	4	4	1	1	0	0	VARIANZA	1,63

<b>CONFRONTO 9,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,07
FREQUENZA	0	1	12	8	7	1	1	0	0	VARIANZA	1,24

<b>CONFRONTO 9,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,97
FREQUENZA	3	1	9	7	6	0	1	3	0	VARIANZA	3,55

<b>CONFRONTO 10</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,77
FREQUENZA	0	1	3	4	6	3	7	5	1	VARIANZA	3,43

<b>CONFRONTO 11,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,6
FREQUENZA	0	2	8	7	6	4	2	1	0	VARIANZA	2,32

<b>CONFRONTO 11,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,07
FREQUENZA	0	3	3	6	5	7	6	0	0	VARIANZA	2,62

<b>CONFRONTO 11,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,03
FREQUENZA	0	0	6	3	11	5	4	1	0	VARIANZA	1,96

Risposte del campione dei non esperti di 30 elementi:

<b>CONFRONTO 1,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,3
FREQUENZA	0	0	2	6	10	6	5	1	0	VARIANZA	1,60

<b>CONFRONTO 1,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,03
FREQUENZA	0	2	5	7	4	4	4	4	0	VARIANZA	3,48

<b>CONFRONTO 1,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,77
FREQUENZA	0	2	1	6	5	2	7	7	0	VARIANZA	3,56

<b>CONFRONTO 1,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,1
FREQUENZA	0	0	1	8	12	5	4	0	0	VARIANZA	1,13

<b>CONFRONTO 1,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,33
FREQUENZA	0	1	2	7	5	6	9	0	0	VARIANZA	2,16

<b>CONFRONTO 1,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,33
FREQUENZA	0	0	2	5	11	8	2	1	1	VARIANZA	1,75

<b>CONFRONTO 2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-2,33
FREQUENZA	2	11	13	3	1	0	0	0	0	VARIANZA	0,78

<b>CONFRONTO 3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,1
FREQUENZA	0	0	4	7	8	5	5	1	0	VARIANZA	1,96

<b>CONFRONTO 4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,77
FREQUENZA	1	4	6	8	2	5	4	0	0	VARIANZA	3,01

<b>CONFRONTO 5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,1
FREQUENZA	0	4	12	5	4	3	1	1	0	VARIANZA	2,37

<b>CONFRONTO 6,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,57
FREQUENZA	0	1	2	4	7	6	8	2	0	VARIANZA	2,32

<b>CONFRONTO 6,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,3
FREQUENZA	0	1	3	13	4	6	2	1	0	VARIANZA	1,87

<b>CONFRONTO 6,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,17
FREQUENZA	0	0	5	7	8	8	2	0	0	VARIANZA	1,45

<b>CONFRONTO 6,4</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,03
FREQUENZA	0	4	5	13	4	4	0	0	0	VARIANZA	1,41

<b>CONFRONTO 6,5</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,8
FREQUENZA	1	2	9	6	7	2	1	2	0	VARIANZA	2,79

<b>CONFRONTO 6,6</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,2
FREQUENZA	0	0	3	7	7	8	4	1	0	VARIANZA	1,75

<b>CONFRONTO 7,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,77
FREQUENZA	0	0	0	1	16	5	6	1	1	VARIANZA	1,29

<b>CONFRONTO 7,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0
FREQUENZA	0	0	4	6	11	5	3	1	0	VARIANZA	1,66

<b>CONFRONTO 7,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,73
FREQUENZA	1	1	6	9	8	4	1	0	0	VARIANZA	1,72

<b>CONFRONTO 8,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,03
FREQUENZA	0	3	8	10	7	1	0	1	0	VARIANZA	1,62

<b>CONFRONTO 8,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,57
FREQUENZA	0	2	4	7	15	0	2	0	0	VARIANZA	1,36

<b>CONFRONTO 8,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,43
FREQUENZA	0	0	1	4	13	6	5	1	0	VARIANZA	1,29

<b>CONFRONTO 9,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,2
FREQUENZA	2	4	10	4	4	5	0	1	0	VARIANZA	2,86

<b>CONFRONTO 9,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,47
FREQUENZA	0	0	1	5	14	1	7	2	0	VARIANZA	1,71

<b>CONFRONTO 9,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,5
FREQUENZA	3	3	13	3	4	3	1	0	0	VARIANZA	2,40

<b>CONFRONTO 10</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	0,53
FREQUENZA	0	0	2	4	9	7	7	1	0	VARIANZA	1,64

<b>CONFRONTO 11,1</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-1,1
FREQUENZA	0	6	7	5	9	2	1	0	0	VARIANZA	1,96

<b>CONFRONTO 11,2</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,33
FREQUENZA	0	3	4	5	10	6	1	0	1	VARIANZA	2,44

<b>CONFRONTO 11,3</b>											
RISPOSTE	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	MEDIA	-0,47
FREQUENZA	0	2	3	5	17	3	0	0	0	VARIANZA	1,09

#### 7.4.2 Dati finali da secondo ciclo di interviste

Terminata l'analisi si é predisposto il secondo ciclo di interviste riproponendo l'intervista ai soli,le cui risposte erano al di fuori dell'intervallo.

Analogamente i dati ottenuti da questo secondo ciclo sono stati elaborati,raccordati ed espressi in termini di media e varianza, così come di seguito riportato in tabella.

*Dati finali in termini di media e varianza, ottenuti dall'intervista*

<b>Confronto</b>	<b>media</b>	<b>varianza</b>
1,1	0,08	1,98
1,2	0,17	3,19
1,3	0,65	2,57
1,4	-0,12	0,95
1,5	0,13	2,05
1,6	0,17	1,63
2	-2,13	1,27
3	0,15	2,6
4	-0,33	3,58
5	-0,2	2,87
6,1	0,78	2,07
6,2	0	1,83
6,3	-0,63	1,46
6,4	-1,12	1,05
6,5	1,32	1,88
6,6	-0,43	1,78
7,1	0,63	1,15
7,2	0,5	1,61
7,3	-0,45	2,08
8,1	-0,78	1,83
8,2	-0,7	1,06
8,3	0,17	1,12
9,1	-1,38	1,9
9,2	-0,45	1,61
9,3	-1,33	2,6
10	0,7	2,15
11,1	-0,88	1,73
11,2	-0,12	1,83
11,3	-0,07	1,05

I risultati sopra riportati sono stati ricondotti nella scala di Saaty così come di seguito rappresentato:

---

**CONFRONTO 1,1**

---

IMPATTO SULL'ATMOSFERA										IMPATTO SULL'IDROSFERA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 1,2**

---

IMPATTO SULL'ATMOSFERA										IMPATTO SULLA LITOSFERA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 1,3**

---

IMPATTO SULL'ATMOSFERA										IMPATTO SULLE RISORSE NATURALI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 1,4**

---

IMPATTO SULL'IDROSFERA										IMPATTO SULLA LITOSFERA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 1,5**

---

IMPATTO SULL'IDROSFERA										IMPATTO SULLE RISORSE NATURALI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 1,6**

---

IMPATTO SULLA LITOSFERA										IMPATTO SULLE RISORSE NATURALI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

---

**CONFRONTO 2**

---

EMISSIONE DI GAS NOCIVI E POLVERI										EMISSIONE DI RUMORI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

---

**CONFRONTO 3**

---

IMPATTO SUL REGIME DELLE ACQUE PROFONDE										IMPATTO SUL REGIME DELLE ACQUE SUPERFICIALI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

---

**CONFRONTO 4**

---

INQUINAMENTO ACQUE										INTERFERENZA FISICA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

---

**CONFRONTO 5**

---

INQUINAMENTO ACQUE										INTERFERENZA FISICA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,1**

---

CONSUMO DI MATERIALI TERROSI E GEOMORFISMO										FRANE IN ATTO E RISCHIO A FRANARE									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,2**

---

CONSUMO DI MATERIALI TERROSI E GEOMORFISMO										ERODIBILITA' DEI TERRENI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,3**

---

CONSUMO DI MATERIALI TERROSI E GEOMORFISMO										IMMISSIONE DI VIBRAZIONI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,4**

---

FRANE IN ATTO E RISCHIO A FRANARE										ERODIBILITA' DEI TERRENI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,5**

---

FRANE IN ATTO E RISCHIO A FRANARE										IMMISSIONE DI VIBRAZIONI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 6,6**

---

ERODIBILITA' DEI TERRENI										IMMISSIONE DI VIBRAZIONI									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 7,1**

---

IMPATTO SULLA FAUNA										IMPATTO SULLA FLORA E SULL'ECOSISTEMA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 7,2**

---

IMPATTO SULLA FAUNA										IMPATTO SUL PAESAGGIO									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 7,3**

---

IMPATTO SULLA FLORA E SULL'ECOSISTEMA										IMPATTO SUL PAESAGGIO									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 8,1**

---

SICUREZZA										LIVELLO DI CONNESSIONE CON EXTRASISTEMA									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 8,2**

---

SICUREZZA										LIVELLO DI SERVIZIO									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

**CONFRONTO 8,3**

---

LIVELLO DI CONNESSIONE CON EXTRASISTEMA										LIVELLO DI SERVIZIO									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

---

---

**CONFRONTO 9,1**

---

---

UTENTI					NON UTENTI											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 9,2**

---

---

UTENTI					OPERAI											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 9,3**

---

---

OPERAI					NON UTENTI											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 10**

---

---

COMFORT DI GUIDA					COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 11,1**

---

---

ASPETTO AMBIENTALE					ASPETTO ECONOMICO											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 11,2**

---

---

ASPETTO AMBIENTALE					ASPETTO TECNICO											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

---

---

**CONFRONTO 11,3**

---

---

ASPETTO TECNICO					ASPETTO ECONOMICO											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

## **7.5.Pesi Finali dei Criteri**

*Determinazione dei pesi dei criteri tramite software "Export choice"*

I risultati finali sono stati successivamente implementati mediante un software dedicato "Export Choice",l'utilizzo del software ha consentito di determinare i pesi sia localmente che globalmente al fine di ottenere la struttura gerarchica completa.

ASPETTO AMBIENTALE (L:0.460 - G:0.460)	ARIA (L:0.210 - G:0.095)	SENSIBILITA' ALL'IMMISSIONE DI GAS NOCIVI E POLVERI (L:0.883 - G:0.080)	
		SENSIBILITA' ALL'IMMISSIONI DI RUMORI (L:0.167 - G:0.016)	
	ACQUA (L:0.246+ - G:0.113)	INTERFERENZA SUL REGIME DELLE ACQUE PROFONDE (L:0.500 - G:0.057)	INQUINAMENTO (L:0.667 - G:0.038)
		INTERFERENZA SUL REGIME DELLE ACQUE SUPERFICIALI (L:0.500 - G:0.057)	INTERFERENZA FISICA (L:0.333 - G:0.019)
	SUOLO (L:0.246 - G:0.113)	CONSUMO DI MATERIALI TERROSI E GEOMORFISMO ANTROPICO (L:0.189 - G:0.021)	INQUINAMENTO (L:0.500 - G:0.028)
		IMMISSIONI DI VIBRAZIONI (L:0.105 - G:0.012)	INTERFERENZA FISICA (L:0.500 - G:0.028)
		ERODEBILITA' DEI TERRENI (L:0.189 - G:0.021)	
		FRANE IN ATTO E RISCHIO A FRANARE (L:0.516 - G:0.058)	
	RISORSE NATURALI (L:0.298 - G:0.137)	FLORA ED ECOSISTEMA (L:0.493 - G:0.068)	
		FAUNA (L:0.196 - G:0.027)	
VALENZA PAESAGGISTICA (L:0.311 - G:0.043)			
ASPETTO TECNICO (L:0.319 - G:0.319)	SICUREZZA (L:0.550 - G:0.175)	UTENTI (L:0.547 - G:0.096)	COMFORT DI MARCIA (gallerie e viadotti) (L:0.333 - G:0.032)
		NON UTENTI (L:0.109 - G:0.019)	COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO (L:0.667 - G:0.064)
		OPERAI (L:0.345 - G:0.060)	
	LIVELLO DI CONNESSIONE CON EXTRASISTEMA (L:0.210 - G:0.067)		
LIVELLO DI SERVIZIO (L:0.240 - G:0.77)			
ASPETTO ECONOMICO (L:0.221 - G:0.221)	COSTI	ESPROPRIO	
		PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE	
		GESTIONE E MANUTENZIONE	
	MODIFICA DEL VALORE IMMOBILIARE		
CONSUMO DIRETTO DI AREE			
VARIAZIONE DEL P.I.L.			

Figura 7.5.3.1 Struttura Gerarchica Pesata

### 7.5.1 Verifica delle inconsistenze

Nell'ambito dell'applicazione svolta sono state determinate le inconsistenze ed i relativi rapporti di inconsistenza generati per ogni sottolivello e rispetto al numero di confronti eseguiti.

I Rapporti di inconsistenza massimi registrati per numero di confronti sono:

- C.R.=0.13 per un numero di alternative confrontate pari a 3
- C.R.=0.02 per un numero di alternative confrontate pari a 4

In particolare si è riscontrato un rapporto di consistenza pari a C.R.=0.13 dal confronto tra l' Aspetto Ambientale, Tecnico ed Economico. Tuttavia, nonostante il superamento della soglia di 0.1, vista la distanza dalla soglia di intollerabilità C.R.=0.2, ovvero la presenza, di un' inconsistenza insita nel modello dovuta alla presenza di giudizi non di un singolo decisore, ma bensì di una media di più decisori; si è ritenuto accettabile tale valore.

## Bibliografia

- [1] R. Balducci, G. Candela, Teoria della politica economica. Obiettivi e modelli statici, NIS, Roma, 1991
- [2] Sandler T. (1992): Collective Action. Theory and Applications, New York//London.
- [3] Stevens J. B. (1993): The Economics of Collective Choice, Oxford: Westview Press.
- [4] Perali F. et al. (1998): "Studio di Metodologie per la Gestione Multifunzionale dei Complessi Demaniali e delle Riserve Naturali Gestite dall'Azienda Regionale delle Foreste Regione Lombardia - La FDR Gardesana Occidentale."
- [5] Commissione europea, Documento metodologico di lavoro n. 2 per il periodo 2000-2006: "Valutazione ex-ante degli interventi dei Fondi Strutturali", Commissione Europea, Direzione Generale Politica Regionale e Coesione.
- [6] B. Ballantine B., The future of VIA in the European Union; suggestions for the institutional design, Paper delivered to the International seminar on "Regulatory Impact analysis: methodology and policy issues", Rome, 15 June 2001.
- [7] Cooper, J. e J. Loomis (1992): "Sensitivity of Willingness-To-Pay Estimates to Bid Design in Dichotomous Choice Contingent Valuation Models". Land Economics 68, no. 2: 211-24.
- [8] Cory, D. C. e B. C. Saliba (1987): "Requiem For Option Value". Land Economics 63, no. 1: 1-10.
- [9] Cooper, J. e G. Signorello (1994): "Valutazione Contingente della Disponibilità a Pagare da Dati Discreti: Analisi Monte Carlo del Vettore dei Prezzi e della Distribuzione di Probabilità". Studi Di Economia e Diritto 4: 479-93.
- [10] Dubois D. , Prade H. (1980), Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Academic Press, New York.
- [11] Kosko B. (1995), Il Fuzzy Pensiero. Teoria e Applicazioni della Logica Fuzzy, Baldini e Castoldi, Milano.
- [12] Zadeh L.A. (1972) "A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges", Journal of Cybernetics, 2, pp.4-34.
- [13] Zimmermann h.j. (1985), Fuzzy Set Theory and its applications, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [14] Boatto V., FedrizzI M., Furlani P., Povellato A. (1991), La logica sfocata nelle decisioni di gruppo: un'applicazione ai problemi di politica ambientale, Genio Rurale n.6.
- [15] Dubois D., Prade H., Yager r.R (1997), Fuzzy information engineering. A guided tour of applications, John Wiley & Sons, New York.

## **APPLICAZIONE**

### **8.Premessa**

Il seguente capitolo è dedicato ad un'applicazione diretta del modello presentato precedentemente, rivolta essenzialmente a verificare l'effettiva applicabilità delle metodologie Electre ed AHP, ovvero ad individuare nelle stesse un ulteriore strumento di supporto alle decisioni in aggiunta alle usuali tecniche esistenti e soventemente criticate.

L'applicazione realizzata e di seguito descritta, ha previsto l'individuazione di venti alternative di tracciato, caratterizzate dal medesimo obiettivo in termini di prestazione, di collegamento e di integrazione con la rete stradale esistente nel comprensorio comunale di Battipaglia e Montecorvino Rovella.

### **8. Il Progetto**

*Definizione delle alternative progettuali e caratterizzazione tramite indicatori*

Le alternative sviluppate rientrano all'interno di un più ampio progetto, che ha come obiettivo la realizzazione della bretella autostradale di collegamento tra l'autostrada Salerno - Reggio Calabria (zona Bellizzi) ed il raccordo Salerno-Avellino (zona Montoro Superiore).

L'intero progetto articolato secondo una logica unitaria è suddiviso in più maxi-lotti funzionali, la cui diversa realizzazione consente per le progressive di competenza, di soddisfare la relativa domanda di mobilità.

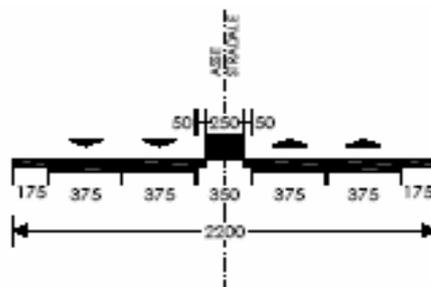
Il presente lavoro ha riguardato il primo dei quattro maxi lotti previsti, individuando, nel rispetto della normativa di settore, venti possibili corridoi in cui inserire l'infrastruttura di progetto.

Attualmente il collegamento tra i diversi centri abitati avviene mediante percorrenze provinciali, ovvero comunali, che sufficientemente diramate garantiscono la funzione di penetrazione nell'intero territorio comunale, interessando, marginalmente, se non nel caso dello svincolo di Battipaglia, l'Autostrada SA-RC.

Al fine di non attribuire a tale rete un'ulteriore funzione di collegamento, cosa che attualmente accade, sopravvenendo quindi alla normativa, si è prevista la realizzazione di un nuovo tracciato che evitasse gli agglomerati urbani, riqualificando, lì dove necessario, i tratti esistenti della rete di penetrazione.

#### *Caratteristiche tecniche dei tracciati*

La progettazione delle diverse alternative di tracciato è stata redatta conformemente a quanto stabilito dal D.M. del 5/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". Ed in particolare, si è previsto, viste le caratteristiche del collegamento da servire, ovvero della domanda di mobilità da soddisfare, di progettare una strada di tipo B, le cui caratteristiche geometriche sono di seguito riportate:



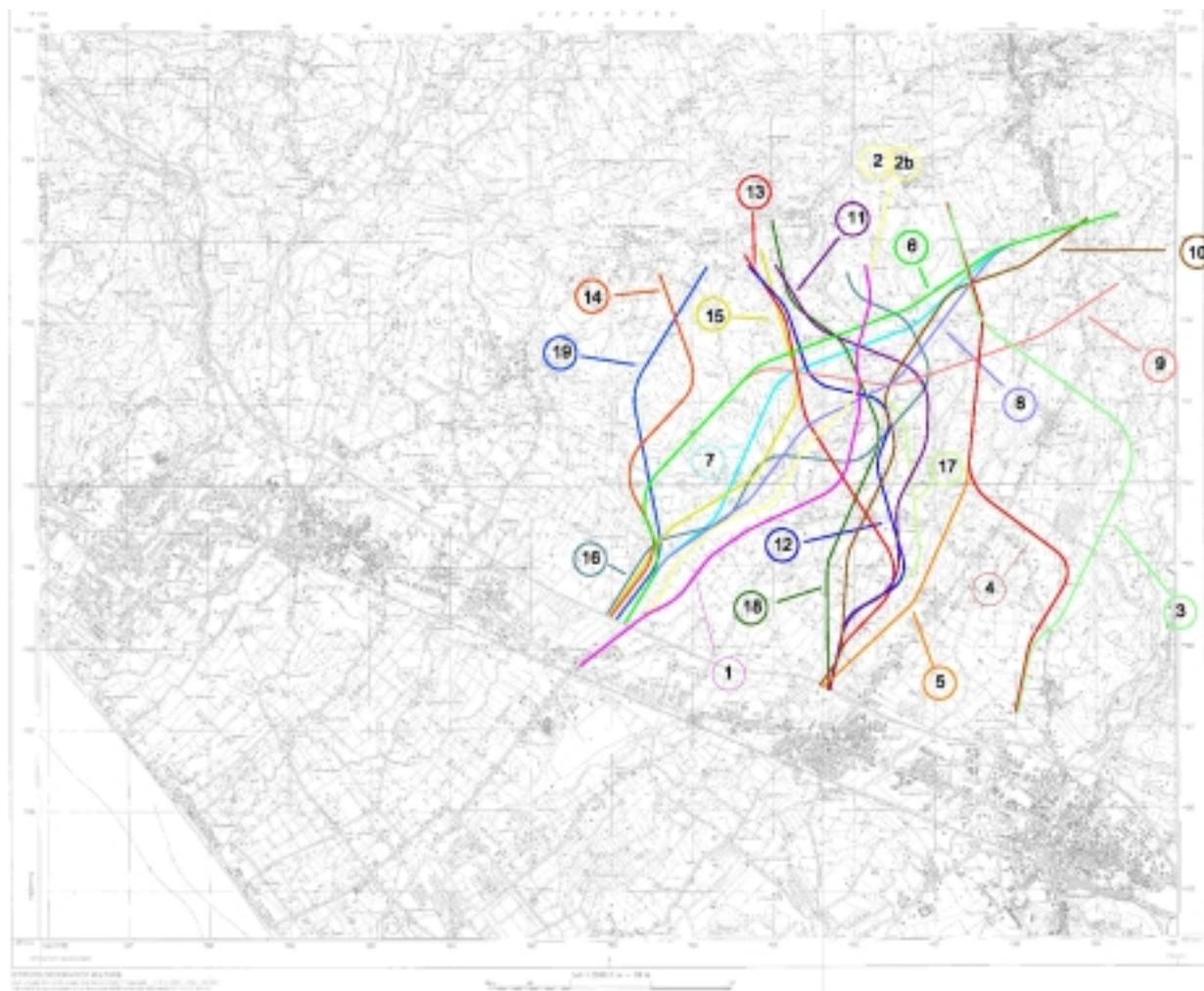
Per tale tipo di strada la normativa stabilisce un intervallo di velocità pari a 70 e 120 Km/h, in base al quale dimensionare gli elementi del tracciato più o meno restrittivi.

In generale, viste le caratteristiche dei diversi tracciati, le principali opere da realizzare possono così sintetizzarsi:

- scavi di sbancamento e scotico del terreno;
- consolidamento del terreno;
- opere in conglomerato cementizio armato per muri di sostegno, scatolari per attraversamento fossi, ponti, gallerie e altre opere d'arte;
- attraversamenti idraulici con tubazioni di idonee dimensioni;
- rilevati in materiale di adeguata granulometria;
- consolidamento scarpate con terre armate;
- ricoprimento del terreno con strato vegetale per l'inerbimento delle scarpate laterali;
- massicciata in misto granulare di cava o in terra stabilizzata di adeguata granulometria;
- strato di base in misto bituminato;
- strato di collegamento (binder) in conglomerato bituminoso;
- strato di usura (tappeto) in conglomerato bituminoso;
- segnaletica orizzontale e verticale;
- dispositivi di ritenuta laterali di classe H2 e H3;
- opere a verde compreso inerbimento scarpate e piantumazione alberature;
- opere accessorie e complementari come canalette, griglie, chiusini, aiuole.

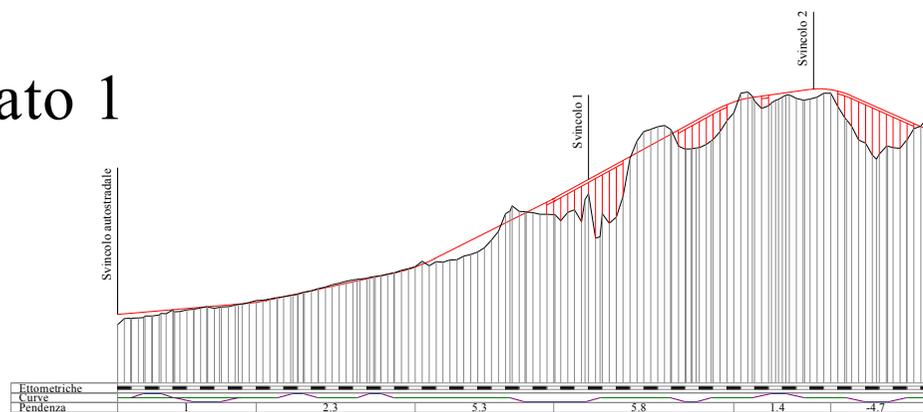
Le diverse alternative di tracciato proposte sono state verificate rispetto alla normativa di settore sia per i raccordi planimetrici, sia per quelli altimetrici. Di seguito è riportata la rappresentazione tipologia in cui si sono evidenziati per ognuna di esse:

- Posizione dello svincolo autostradale;
- Tipologia di svincolo;
- Posizione degli svincoli intermedi,
- Gallerie;
- Viadotti;
- Prestazioni rispetto alla struttura gerarchica di valutazione

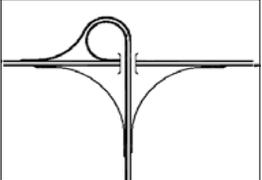
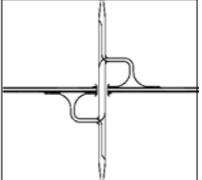
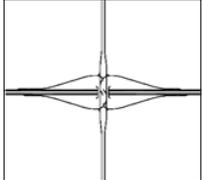


**Inquadramento generale con indicazione dei 20 tracciati oggetto di valutazione**

# Tracciato 1



## Indicatori tracciato 1

INDICATORI AMBIENTALI			INDICATORI TECNICI			INDICATORI ECONOMICI					
Sensibilità all'immissione di gas nocivi e polveri	Ng	210	Comfort di marcia	It	1,8	Esproprio	Es	154.183,23			
Sensibilità all'immissione di rumori	Nr	425	Coordinamento plano-altimetrico	Dh	2,56	Progettazione e realizzazione	Pr	24.525.000			
Inquinamento acque profonde	Ip	2,9	Non utenti	Na	31	Gestione e manutenzione	Gm	396.000			
Interferenza fisica con acque profonde	Gf	0	Operai	Od	1,25	Modifica del valore immobiliare	Mv	202			
Inquinamento acque superficiali	Re	14	Livello di connessione con extrasistema	Ce	26,9	Consumo diretto di aree	Cd	-			
Interferenza fisica con acque superficiali	Ni	3	Tempi di percorrenza	Tp	24	Sviluppo economico	Se	22			
Consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico	V	393.104	<b>TIPOLOGIA SVINCOLO AUTOSTRADALE</b> 			<b>TIPOLOGIA SVINCOLO 1</b> 			<b>TIPOLOGIA SVINCOLO 2</b> 		
Immissioni di vibrazioni	Iv	112									
Erodibilità dei terreni	Er	425									
Frane in atto e rischio a franare	Fr	4.15									
Flora ed ecosistema	Le	0,2									
Fauna	Lf	6,7									
Valenza paesaggistica	Lv	1,25									

Rappresentazione altimetrica tipo dei 20 tracciati oggetto di valutazione

## **8.1 Scrematura dei tracciati proposti**

La fase di scrematura, risulta indispensabile prima dell'implementazione del modello, infatti, al fine di evitare errori, ovvero di compromettere l'ordinamento finale a causa della presenza di alternative irrilevanti è necessario, eliminare tutti i tracciati oggettivamente non rispondenti ai requisiti minimi richiesti.

Per tale fase esistono diversi metodi, che in base a semplici considerazioni, consentono sia di eliminare le alternative irrilevanti, sia di definire un ordinamento tra le stesse.

Nel presente lavoro, atteso, che la progettazione delle alternative è stata eseguita nel rispetto della normativa e quindi rispondente ai requisiti minimi, si è inteso adoperare per la fase di scrematura iniziale il metodo di Pareto.

Tale metodo, consente di eliminare i progetti inefficienti, in quanto dominati. In particolare, si è verificato, se nell'ambito delle diverse alternative proposte, esistessero dei tracciati, tali da realizzare una prestazione non migliore rispetto a tutti criteri considerati.

Dall'analisi eseguita, si è potuto riscontrare l'inesistenza di alternative dominate, con conseguente necessità di implementazione di tutti e venti i tracciati .

## 8.2 Scelta del miglior tracciato stradale tramite metodo Electre

La principale novità introdotta dal metodo Electre III, rispetto ai suoi predecessori Electre I ed Electre II, è quella di aver inserito una serie di soglie, non legate ai valori che assumono le varie alternative; ma bensì alle differenze dei valori delle stesse. In particolare sono state definite due soglie  $q_k$  e  $p_k$  rispettivamente denominate: *soglia di indifferenza* e *soglia di preferenza stretta* con  $p_k > q_k$ .

Il valore di  $q_k$  indica la minima differenza riscontrabile rispetto ad uno stesso criterio, tra i valori di due indicatori e per la quale non si è più indifferenti tra le due alternative. La soglia  $p_k$  indica, invece, la differenza, superata la quale, la preferenza di un'alternativa nei confronti di un'altra è completa.

Nel presente lavoro, vista l'applicazione contestuale dell'analisi gerarchica, si è inteso sfruttare, per la determinazione di tali soglie la scala di Saaty. Facendo corrispondere per ogni indicatore, alla differenza tra i valori massimo e minimo, l'ampiezza della scala di Saaty. In tale modo si è resa possibile una corrispondenza diretta tra scala di Saaty e soglie Electre, come può facilmente desumersi dalla figura seguente.

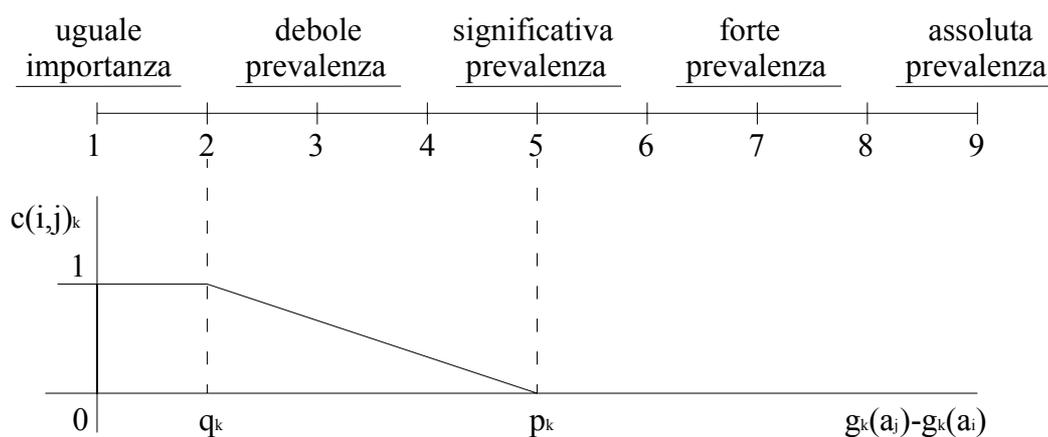


Figura. 8.2. – Corrispondenza tra scala di Saaty e soglie Electre.

Per ogni criterio di valutazione sono state determinate le soglie  $q_k$  e  $p_k$  e sono di seguito riportate:

criterio	valore minimo	valore massimo	$q_k$	$p_k$
1	50	312	32,75	131
2	152	762	76,25	305
3	1,8	6,5	0,5875	2,35
4	0	1,9	0,2375	0,95
5	12	29	2,125	8,5
6	3	17	1,75	7
7	393	1366	121,625	486,5
8	40	165	15,625	62,5
9	0	625	78,125	312,5
10	0,5	4,15	0,45625	1,825
11	0	0,4	0,05	0,2
12	4,5	9,4	0,6125	2,45
13	0,4	3,5	0,3875	1,55
14	0,89	1,83	0,1175	0,47
15	0,42	4,2	0,4725	1,89
16	11	31	2,5	10
17	0,35	3,65	0,4125	1,65
18	13,7	40,6	3,3625	13,45
19	24	34	1,25	5
20	49	250	25,125	100,5
21	24525	103808	9910,375	39641,5
22	270	513	30,375	121,5
23	60	391	41,375	165,5
24	0	0	0	0
25	16,2	30,6	1,8	7,2

Tabella 8.2.1 - Soglie di indifferenza e di preferenza stretta.

Definite le soglie per ogni criterio, si è conseguentemente determinata la relativa concordanza  $c(i,j)_k$ , la quale, esprime, in riferimento al solo criterio  $k$ , una misura dei motivi per i quali *l'alternativa  $i$  non surclassa quella  $j$* . Per i valori corrispondenti al tratto discendente della relazione tra  $q_k$  e  $p_k$ , rappresentato in figura n. 8.1, la  $c(i,j)_k$  assume valori desumibili dalla seguente relazione

$$\frac{p_k - [g_k(a_j) - g_k(a_i)]}{p_k - q_k}$$

I dati di ingresso sono successivamente raccolti all'interno di una matrice detta di performance.

**Tabella. 8.2.3- Matrice delle performance delle alternative**

	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5	Cr 6	Cr 7	Cr 8	Cr 9	Cr 10	Cr 11	Cr 12	Cr 13	Cr 14	Cr 15	Cr 16	Cr 17	Cr 18	Cr 19	Cr 20	Cr 21	Cr 22	Cr 23	Cr 24	Cr 25
tracciato 1	210	425	2,9	0	14	3	393	112	425	4,15	0,2	6,7	1,25	1,8	2,56	31	1,25	26,9	24	154	24525	396	202	0	22
tracciato 2	50	303	3,7	0	18	13	623	98	385	1,3	0,15	6,45	2	1,83	3,18	11	2	27,4	24	130	40585	384	177	0	21,6
tracciato 3	50	303	3,7	1	18	13	894	98	310	1,65	0	6	0,4	1,83	2,18	11	1,25	27,4	24	94	51629	384	177	0	21,6
tracciato 4	312	762	1,8	0,95	12	10	757	165	20	2,05	0	7,9	0,85	0,89	4,2	27	0,95	38,7	34	249	73602	450	391	0	28,4
tracciato 5	176	536	1,8	0,8	12	8	965	124	0	1,85	0	7,2	0,7	0,97	2,58	25	0,35	40,6	30	250	54007	420	305	0	25,9
tracciato 6	98	356	1,8	0,9	13	12	751	91	0	3,4	0	6,5	0,7	0,92	2,32	15	0,55	24,6	27	195	58806	396	280	0	23,4
tracciato 7	254	458	6,5	1,35	29	17	821	117	625	3	0,2	9	2,65	0,93	3,84	27	3,65	31,3	26	159	103808	504	292	0	30,2
tracciato 8	190	454	6,2	0,8	24	13	793	117	95	3,5	0,4	9,4	2,65	0,96	3,58	11	3	31,6	25	238	76995	492	293	0	29,5
tracciato 9	218	490	5,7	0,7	24	15	462	124	0	3,8	0	7,9	1,2	1	3,86	16	1,9	32,7	25	216	60967	471	273	0	28,4
tracciato 10	224	548	4	1,35	22	12	1258	143	60	3,65	0	8,5	1,55	0,94	3,58	27	2,65	29,4	27	216	90789	513	269	0	30,6
tracciato 11	134	328	4	1,7	15	14	1366	99	0	3,2	0	7,2	0,45	1,29	2,47	20	2,45	28,1	28	170	96562	432	371	0	25,9
tracciato 12	92	434	2,5	0,9	14	11	783	105	275	2,8	0,4	7,7	2,35	1,38	2,51	16	2,6	28,7	31	180	86108	390	141	0	23,4
tracciato 13	130	368	3,1	1	12	9	480	92	85	2,05	0	6,5	3,5	1,38	2,46	17	3,3	31,7	28	180	83707	390	176	0	23,4
tracciato 14	186	358	3	1,3	14	7	542	90	0	2,4	0	6	2,3	1,17	0,88	20	2,6	33,4	29	141	78885	360	202	0	21,6
tracciato 15	72	152	2,4	1,9	14	12	726	40	0	0,5	0	4,7	1,6	1,06	1,7	14	3,3	19,4	30	49	101508	282	63	0	16,9
tracciato 16	76	180	2,5	1,4	21	10	610	52	160	1,9	0	5,5	1,5	1,09	0,62	15	2,4	13,7	29	68	77305	330	60	0	19,8
tracciato 17	72	268	4,2	1,1	17	16	806	73	450	3,25	0	7	3,3	1,43	1,34	16	2,7	34,4	28	100	77371	420	198	0	25,2
tracciato 18	184	382	2,9	1	15	7	496	94	90	2,6	0	6,5	2,7	1,23	2,28	22	2,9	30,5	30	128	77919	408	126	0	23,4
tracciato 19	112	368	3,3	1,4	13	13	986	94	505	3	0,3	7,4	1,2	0,97	0,42	30	1,65	20,5	31	85	66655	372	155	0	22,3
tracciato 20	100	188	2,4	1,3	15	8	780	50	0	1,55	0	4,5	1	0,89	1,1	12	1,8	20,2	33	63	64213	270	69	0	16,2

Noti i dati di ingresso, si è proceduto a costruire tante matrici di concordanza quanti sono i criteri, individuando per ognuna di essa quali sono i criteri da massimizzare o da minimizzare.

Dalla combinazione delle diverse matrici di concordanza, assegnando a ciascun criterio un peso  $w_k$ , si ottiene una matrice di concordanza unica, i cui elementi sono ricavati mediante la seguente relazione:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{m} w_k \cdot c_{ij}^k}{\sum_{k=1}^{m} w_k}$$

I pesi di ciascun criterio sono quelli ricavati tramite la tecnica dell'intervista delphi descritta nel capitolo 6, con eccezione di quelli economici, per i quali si è deciso di non definire la classe di preferenze all'interno di ogni livello gerarchico, ritenendo, che differenziazioni dei pesi siano di difficile determinazione in questa fase.

Cr	$W_k$
1	0,08
2	0,016
3	0,038
4	0,019
5	0,028
6	0,028
7	0,021
8	0,012
9	0,021
10	0,058

Cr	$W_k$
11	0,068
12	0,027
13	0,043
14	0,032
15	0,064
16	0,019
17	0,06
18	0,067
19	0,077
20	0,018

Cr	$W_k$
21	0,018
22	0,018
23	0,055
24	0,055
25	0,055

Tabella. 8.2.4 – Colonna dei pesi di ciascun criterio

Tabella 8.2.5. – Matrice finale di concordanza.

	Tr 1	Tr 2	Tr 3	Tr 4	Tr 5	Tr 6	Tr 7	Tr 8	Tr 9	Tr 10	Tr 11	Tr 12	Tr 13	Tr 14	Tr 15	Tr 16	Tr 17	Tr 18	Tr 19	Tr 20
Tr 1	-	0,84	0,74	0,65	0,65	0,73	0,85	0,83	0,78	0,81	0,71	0,84	0,76	0,72	0,62	0,61	0,7	0,81	0,81	0,61
Tr 2	0,91	-	0,87	0,63	0,61	0,73	0,88	0,85	0,8	0,82	0,76	0,94	0,86	0,79	0,76	0,79	0,82	0,85	0,87	0,72
Tr 3	0,91	0,97	-	0,74	0,73	0,86	0,88	0,86	0,84	0,87	0,86	0,95	0,9	0,85	0,85	0,87	0,91	0,91	0,9	0,84
Tr 4	0,68	0,69	0,68	-	0,78	0,71	0,86	0,8	0,82	0,85	0,73	0,77	0,7	0,68	0,64	0,67	0,71	0,72	0,79	0,74
Tr 5	0,84	0,76	0,79	0,97	-	0,88	0,9	0,88	0,88	0,93	0,93	0,92	0,92	0,88	0,77	0,77	0,83	0,95	0,88	0,81
Tr 6	0,89	0,86	0,87	0,83	0,87	-	0,92	0,91	0,91	0,94	0,97	0,99	0,92	0,87	0,86	0,85	0,92	0,93	0,92	0,83
Tr 7	0,64	0,57	0,44	0,61	0,52	0,51	-	0,88	0,72	0,78	0,59	0,68	0,59	0,61	0,49	0,46	0,6	0,65	0,61	0,4
Tr 8	0,61	0,6	0,52	0,65	0,59	0,62	0,92	-	0,83	0,87	0,71	0,8	0,7	0,68	0,56	0,57	0,68	0,72	0,66	0,51
Tr 9	0,8	0,73	0,67	0,78	0,71	0,73	0,98	0,99	-	0,97	0,8	0,77	0,74	0,75	0,63	0,65	0,76	0,78	0,76	0,62
Tr 10	0,72	0,66	0,56	0,7	0,64	0,63	0,96	0,93	0,9	-	0,8	0,75	0,73	0,73	0,62	0,65	0,72	0,78	0,73	0,58
Tr 11	0,81	0,76	0,73	0,74	0,71	0,82	0,91	0,86	0,87	0,94	-	0,92	0,9	0,84	0,76	0,75	0,87	0,91	0,85	0,7
Tr 12	0,69	0,73	0,67	0,63	0,62	0,66	0,72	0,79	0,67	0,72	0,77	-	0,85	0,78	0,72	0,72	0,82	0,88	0,81	0,65
Tr 13	0,78	0,76	0,76	0,74	0,76	0,81	0,85	0,83	0,78	0,84	0,87	0,95	-	0,89	0,78	0,79	0,93	0,97	0,78	0,74
Tr 14	0,8	0,75	0,71	0,75	0,78	0,78	0,88	0,83	0,82	0,89	0,86	0,94	0,98	-	0,8	0,89	0,91	1	0,9	0,8
Tr 15	0,68	0,75	0,7	0,71	0,69	0,73	0,77	0,72	0,65	0,79	0,79	0,86	0,81	0,79	-	0,92	0,79	0,84	0,82	0,89
Tr 16	0,68	0,77	0,74	0,71	0,7	0,73	0,78	0,75	0,74	0,8	0,78	0,87	0,85	0,85	0,91	-	0,84	0,88	0,9	0,92
Tr 17	0,75	0,78	0,77	0,66	0,67	0,76	0,89	0,84	0,8	0,84	0,88	0,93	0,88	0,86	0,76	0,79	-	0,9	0,85	0,72
Tr 18	0,76	0,71	0,68	0,74	0,74	0,72	0,82	0,79	0,75	0,82	0,86	0,94	0,95	0,94	0,76	0,79	0,87	-	0,8	0,72
Tr 19	0,79	0,71	0,71	0,67	0,65	0,72	0,75	0,72	0,64	0,73	0,74	0,92	0,74	0,75	0,75	0,78	0,78	0,8	-	0,76
Tr 20	0,74	0,79	0,8	0,79	0,72	0,76	0,76	0,75	0,73	0,77	0,78	0,88	0,77	0,79	0,94	0,92	0,76	0,84	0,91	-

E' inoltre utile ricordare, che il metodo Electre III consente, a scelta dell'analista, l'introduzione di un'ulteriore soglia detta "soglia di veto"; il cui raggiungimento porta a bloccare il confronto tra le alternative rispetto al j-esimo criterio.

La definizione della soglia di veto porta alla determinazione di un'altra matrice, detta "matrice di credibilità dei surclassamenti", passando per la costruzione delle matrici di discordanza.

Nell'applicazione realizzate non sono state definite, vista la scelta da eseguire, le diverse soglie di veto, con conseguente coincidenza tra la matrice di credibilità dei surclassamenti e quella di concordanza sopra riportata.

Infine, definita la matrice di credibilità dei surclassamenti, è possibile stabilire mediante la seguente relazione:

- $a_i$  surclassa  $a_j$  se e solo se:

$$\delta_{ij} > \delta_{ji} \quad \text{e} \quad \delta_{ij} - \delta_{ji} > s(\delta_{ij})$$

tra quali coppie di alternative esiste una relazione di surclassamento, dove  $s(\delta_{ij})$  è la soglia di discriminazione.

Nel caso in esame è stata utilizzata non una soglia di discriminazione costante, ma bensì, una soglia funzione di  $\delta_{ij}$ , così come di seguito indicato:

$$s = 0,3 - 0,15\delta_{ij}$$

Nota la soglia di discriminazione e la matrice di credibilità dei surclassamenti, è possibile ottenere i due ordinamenti: ascendente (dal peggiore al migliore) e discendente (dal migliore al peggiore). Da questi due ordinamenti, è più precisamente dalla loro intersezione (cioè evidenziando solo le relazioni di preferenza su cui

entrambi concordano) si ottiene l'ordinamento finale di seguito riportato:

*Ordinamento finale*

- 1° Tracciato 5;
- 2° Tracciato 3;
- 3° Tracciato 6;
- 4° Tracciato 2;
- 5° Tracciato 14;
- 6° Tracciato 9 - Tracciato 20;
- 7° Tracciato 1 - Tracciato 4 - Tracciato 13 - Tracciato 17;
- 8° Tracciato 11 - Tracciato 15 - Tracciato 16;
- 9° Tracciato 10;
- 10° Tracciato 18 - Tracciato 19;
- 11° Tracciato 8;
- 12° Tracciato 12;
- 13° Tracciato 7.

Dall'applicazione si evince che il migliore tracciato è il n 5, mentre il peggiore è il n. 7. Si può inoltre notare, che vi sono delle posizioni in classifica non ben definite (ad esempio i tracciati 1-4-13-17 si trovano tutti al 7° posto), tale inconveniente è dovuto all'ampiezza delle soglie di indifferenza e di preferenza stretta. Per ottenere un ordinamento tradizionale, ovvero tale da associare ad ogni posizione un'unica alternativa, si potrebbe riapplicare il metodo alle sole alternative da classificare, variando le soglie di indifferenza e preferenza stretta, o in alternativa aggiungendo, in questa seconda iterazione, la soglia di veto.

### Utilizzo della soglia di veto

Pur ritenendo che in tale occasione, la soglia di veto non sia da prendere in considerazione, si è deciso, comunque di provare ad iterarla nel metodo, valutando, le variazioni apportate all'ordinamento finale.

L'introduzione di tale soglia definisce, anche una discordanza  $d_{ij}$  rappresentativa del *grado di rammarico* che si ha nello scegliere un'alternativa piuttosto che un'altra. Superata la soglia di veto non si riscontra più la preferenza stretta che si registrava prima, ma bensì il veto, ovvero il non surclassamento per incompatibilità.

Anche per la soglia di veto si è deciso di sfruttare la corrispondenza con la scala di Saaty, così come riportato in fig. 8.1.3.

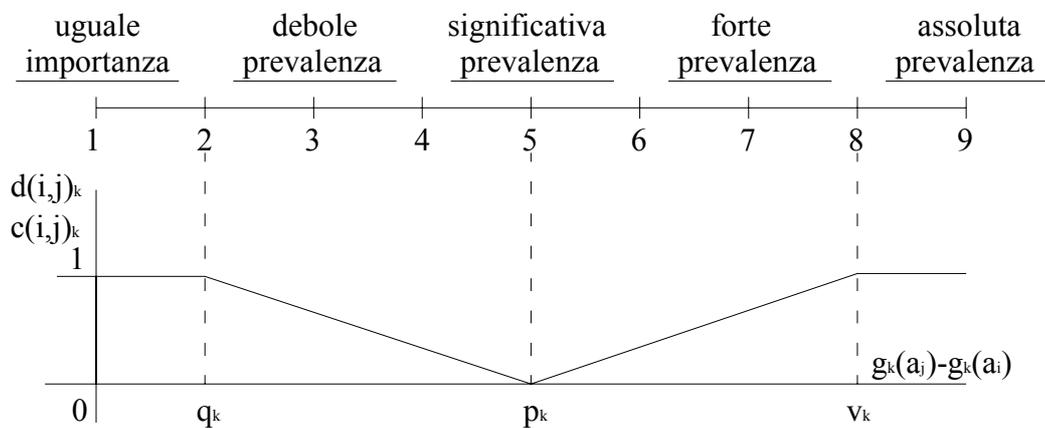


Figura. 8.1.3 - Corrispondenza tra soglie di indifferenza, preferenza stretta, di veto e scala di Saaty.

Il tratto di raccordo che va da  $p_k$  a  $v_k$  è riconducibile alla seguente relazione analitica:

$$\frac{[g_k(a_j) - g_k(a_i)] - p_k}{v_k - p_k}$$

Le soglie da inserire nel metodo per ciascun criterio quindi, non sono più due, ma bensì tre.

criterio	valore minimo	valore massimo	qk	pk	vk
1	50	312	32,75	131	229,25
2	152	762	76,25	305	533,75
3	1,8	6,5	0,5875	2,35	4,1125
4	0	1,9	0,2375	0,95	1,6625
5	12	29	2,125	8,5	14,875
6	3	17	1,75	7	12,25
7	393	1366	121,625	486,5	851,375
8	40	165	15,625	62,5	109,375
9	0	625	78,125	312,5	546,875
10	0,5	4,15	0,45625	1,825	3,19375
11	0	0,4	0,05	0,2	0,35
12	4,5	9,4	0,6125	2,45	4,2875
13	0,4	3,5	0,3875	1,55	2,7125
14	0,89	1,83	0,1175	0,47	0,8225
15	0,42	4,2	0,4725	1,89	3,3075
16	11	31	2,5	10	17,5
17	0,35	3,65	0,4125	1,65	2,8875
18	13,7	40,6	3,3625	13,45	23,5375
19	24	34	1,25	5	8,75
20	49	250	25,125	100,5	175,875
21	24525	103808	9910,375	39641,5	69372,63
22	270	513	30,375	121,5	212,625
23	60	391	41,375	165,5	289,625
24	0	0	0	0	0
25	16,2	30,6	1,8	7,2	12,6

Tabella 8.2.6.- Soglie di indifferenza, di preferenza stretta e di veto

Note le tre soglie ed i parametri di ingresso è quindi possibile costruire tante matrici di discordanza quanti sono i criteri, infine, date le matrici di concordanza ed i pesi  $w_k$ , è possibile risalire alla matrice credibilità dei surclassamenti i cui elementi sono ricavabili dalle seguenti relazioni:

$$\delta_{ij} = C_{ij} \prod_{k \in F} \frac{1 - (d_{ij})_k}{1 - C_{ij}} \quad F = \{k : (d_{ij})_k > C_{ij}\}$$

**Tabella. 8.2.7. – Matrice di credibilità dei surclassamenti.**

	Tr 1	Tr 2	Tr 3	Tr 4	Tr 5	Tr 6	Tr 7	Tr 8	Tr 9	Tr 10	Tr 11	Tr 12	Tr 13	Tr 14	Tr 15	Tr 16	Tr 17	Tr 18	Tr 19	Tr 20
Tr 1	-	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,71	0,84	0,76	0,73	0	0,25	0,7	0,81	0	0
Tr 2	0,91	-	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0,76	0,94	0,86	0,79	0,46	0,79	0,82	0,85	0	0
Tr 3	0,91	0,97	-	0	0	0	0	0	0	0	0,86	0,95	0,9	0,85	0,82	0,87	0,91	0,91	0	0
Tr 4	0	0	0	-	0,78	0,37	0,86	0	0	0,85	0,73	0,31	0,7	0	0	0	0	0,72	0	0
Tr 5	0,84	0,76	0,79	0,97	-	0,88	0,9	0,88	0,88	0,93	0,93	0,92	0,92	0,88	0	0	0,83	0,95	0,88	0
Tr 6	0,89	0,86	0,87	0,83	0,87	-	0,92	0,91	0,91	0,94	0,97	0,99	0,92	0,87	0,87	0,85	0,92	0,93	0,92	0,83
Tr 7	0	0,075	0,036	0	0	0	-	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,6	0,03	0	0
Tr 8	0,61	0,6	0	0	0	0	0,92	-	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,19	0
Tr 9	0,19	0,73	0,67	0,44	0,29	0,32	0,98	0,99	-	0,97	0,8	0,77	0,74	0,68	0	0,087	0,76	0,78	0	0,16
Tr 10	0	0,38	0,26	0,7	0,64	0,63	0,96	0,93	0,9	-	0,8	0,75	0,54	0,73	0	0,41	0,72	0,78	0,285	0
Tr 11	0	0	0,73	0,74	0,71	0,82	0,91	0,86	0	0,94	-	0,92	0	0,38	0,76	0,75	0,87	0	0,85	0,7
Tr 12	0,58	0,73	0	0	0	0	0,72	0,79	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0,81	0
Tr 13	0,78	0,76	0	0,15	0	0	0,85	0,83	0,78	0,84	0	0,95	-	0,89	0,78	0,79	0,93	0,97	0,78	0,53
Tr 14	0,8	0,75	0,71	0,75	0,78	0,78	0,88	0,83	0,82	0,89	0,86	0,94	0,98	-	0,8	0,89	0,91	1	0,9	0,8
Tr 15	0	0	0,7	0	0	0,3	0	0	0,38	0	0	0,86	0,81	0,79	-	0,92	0,79	0,84	0,82	0,89
Tr 16	0,68	0,77	0,74	0	0	0,73	0,78	0,75	0,74	0,8	0	0,87	0,85	0,85	0,91	-	0,84	0,88	0,9	0,92
Tr 17	0	0,78	0	0,44	0,19	0,31	0,89	0,84	0,8	0,84	0	0,93	0,88	0,86	0,76	0,79	-	0,9	0,85	0,72
Tr 18	0,76	0,71	0,68	0,56	0,74	0,72	0,82	0,79	0,75	0,82	0,86	0,94	0,95	0,94	0,76	0,79	0,87	-	0,8	0,72
Tr 19	0,79	0	0	0,54	0,29	0,45	0,75	0	0,3	0,73	0,51	0,92	0,74	0,54	0,44	0,78	0,78	0,8	-	0
Tr 20	0	0	0	0	0,72	0,76	0	0	0,15	0	0	0,88	0,77	0,79	0,94	0,92	0,76	0,84	0,91	-

Implementando il metodo e rimanendo inalterata la formulazione della soglia di discriminazione sopra descritta, dalla matrice di credibilità dei surclassamenti, è possibile risalire ai due ordinamenti: ascendente e discendente da cui poi stilare la classifica finale:

*Ordinamento finale*

- 1° Tracciato 6;
- 2° Tracciato 5 - Tracciato 14;
- 3° Tracciato 3 - Tracciato 20;
- 4° Tracciato 2 - Tracciato 9 - Tracciato 11 - Tracciato 16;
- 5° Tracciato 10 - Tracciato 13 - Tracciato 15;
- 6° Tracciato 4 - Tracciato 17 - Tracciato 18;
- 7° Tracciato 1 - Tracciato 19;
- 8° Tracciato 8;
- 9° Tracciato 7 - Tracciato 12;

L'introduzione della soglia di veto, apporta una leggera differenza nella graduatoria rispetto a prima, evidenziandone l'importanza di una sua definizione nella fase di pre - analisi.

### **8.3 Scelta del miglior tracciato stradale tramite metodo AHP.**

L'analisi gerarchica (AHP), consente di definire un ordinamento tra le alternative, mediante l'attribuzione di un punteggio che ne rappresenta la prestazione complessiva, ottenuto applicando la tecnica della somma pesta.

I punti da seguire nell'applicare tale metodo, sono sostanzialmente tre:

- 1- decomposizione gerarchica;
- 2- confronto a coppie;
- 3- ricomposizione gerarchica.

Avendo discusso e analizzato il primo punto nei capitoli precedenti, tale paragrafo è dedicato alla trattazione degli ultimi due, ovvero al confronto a coppie tra le alternativa nonché dalla fase di ricomposizione gerarchica.

### Confronto a coppie tra le alternative

Per la fase di confronto, si è inteso utilizzare la scala di Saaty, in particolare, determinati il valore massimo e minimo dell'indicatore di ogni criterio si è definito per ciascuno di essi un intervallo. Definito  $\Delta$  come l'ottava parte dell'ampiezza dell'intervallo, si dà preferenza ad un'alternativa, secondo le graduazioni proposte da Saaty, compresi i valori intermedi, rispetto ad un'altra, se questa presenta un valore dell'indicatore che supera almeno di  $\Delta$  il valore dell'indicatore dell'altra alternativa.

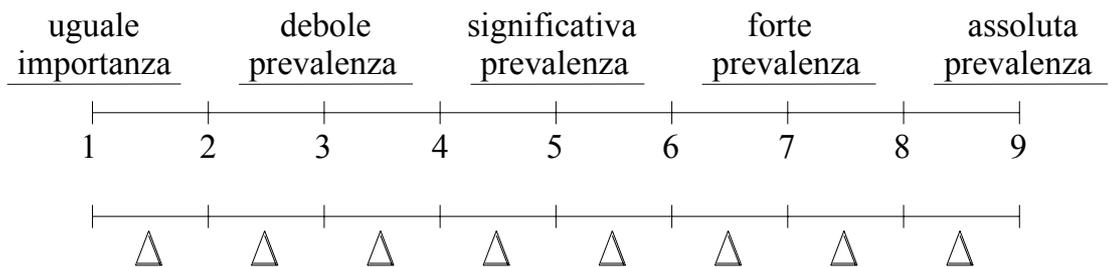


Fig. 8.2.3.. - Suddivisione secondo scala di Saaty.

Ad esempio un'alternativa che superi di  $4\Delta$  un'altra, presenta rispetto a questa una significativa prevalenza.

I valori di  $\Delta$  sono stati valutati per tutti i criteri e vengono di seguito riportati.

critério	valor inferiore	valore superiore	ampiezza intervallo	$\Delta$
1	50	312	262	32,75
2	152	762	610	76,25
3	1,8	6,5	4,7	0,5875
4	0	1,9	1,9	0,2375
5	12	29	17	2,125
6	3	17	14	1,75
7	393	1366	973	121,625
8	40	165	125	15,625
9	0	625	625	78,125
10	0,5	4,15	3,65	0,45625
11	0	0,4	0,4	0,05
12	4,5	9,4	4,9	0,6125
13	0,4	3,5	3,1	0,3875
14	0,89	1,83	0,94	0,1175
15	0,42	4,2	3,78	0,4725
16	11	31	20	2,5
17	0,35	3,65	3,3	0,4125
18	13,7	40,6	26,9	3,3625
19	24	34	10	1,25
20	49	250	201	25,125
21	24525	103808	79283	9910,375
22	270	513	243	30,375
23	60	391	331	41,375
24	0	0	0	0
25	16,2	30,6	14,4	1,8

Tabella. 8.3.1 – Valori di  $\Delta$  per i corrispondenti criteri

Noti i valori di  $\Delta$ , si è quindi proceduto alla costruzione delle matrici dei confronti a coppie tra le alternative, evidenziando per ognuna di essa sia i criteri da massimizzare che da minimizzare.

Per la lettura delle matrici è necessario seguire i seguenti punti:

- sulla sinistra sono riportati valore di  $\Delta$ , nome sintetico dell'indicatore e valori assunti da ciascuna alternativa secondo il relativo indicatore;
- in nero (negativo) è riportato di quanti  $\Delta$  è preferibile l'alternativa riportata in colonna rispetto a quella sulla riga;

- in rosso (positivo) è riportato di quanti  $\Delta$  è preferibile l'alternativa letta sulla riga rispetto a quella sulla colonna.

$\Delta$	32,75
----------	-------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

ng	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
210	1																					1
50	2	5																				2
50	3	5	0																			3
312	4	-3	-8	-8																		4
176	5	1	-4	-4	4																	5
98	6	3	-1	-1	7	2																6
254	7	-1	-6	-6	2	-2	-5															7
190	8	1	-4	-4	4	0	-3	2														8
218	9	0	-5	-5	3	-1	-4	1	-1													9
224	10	0	-5	-5	3	-1	-4	1	-1	0												10
134	11	2	-3	-3	5	1	-1	4	2	3	3											11
92	12	4	-1	-1	7	3	0	5	3	4	4	1										12
130	13	2	-2	-2	6	1	-1	4	2	3	3	0	-1									13
186	14	1	-4	-4	4	0	-3	2	0	1	1	-2	-3	-2								14
72	15	4	-1	-1	7	3	1	6	4	4	5	2	1	2	3							15
76	16	4	-1	-1	7	3	1	5	3	4	5	2	0	2	3	0						16
72	17	4	-1	-1	7	3	1	6	4	4	5	2	1	2	3	0	0					17
184	18	1	-4	-4	4	0	-3	2	0	1	1	-2	-3	-2	0	-3	-3	-3				18
112	19	3	-2	-2	6	2	0	4	2	3	3	1	-1	1	2	-1	-1	-1	2			19
100	20	3	-2	-2	6	2	0	5	3	4	4	1	0	1	3	-1	-1	-1	3	0		20

Tabella. 8.3.2. – Confronto a coppie per il criterio “sensibilità all’immissione di gas nocivi e polveri”

$\Delta$	76,25
----------	-------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

nr	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
425	1																					1
303	2	2																				2
303	3	2	0																			3
762	4	-4	-6	-6																		4
536	5	-1	-3	-3	3																	5
356	6	1	-1	-1	5	2																6
458	7	0	-2	-2	4	1	-1															7
454	8	0	-2	-2	4	1	-1	0														8
490	9	-1	-2	-2	4	1	-2	0	0													9
548	10	-2	-3	-3	3	0	-3	-1	-1	-1												10
328	11	1	0	0	6	3	0	2	2	2	3											11
434	12	0	-2	-2	4	1	-1	0	0	1	1	-1										12
368	13	1	-1	-1	5	2	0	1	1	2	2	-1	1									13
358	14	1	-1	-1	5	2	0	1	1	2	2	0	1	0								14
152	15	4	2	2	8	5	3	4	4	4	5	2	4	3	3							15
180	16	3	2	2	8	5	2	4	4	4	5	2	3	2	2	0						16
268	17	2	0	0	6	4	1	2	2	3	4	1	2	1	1	-2	-1					17
382	18	1	-1	-1	5	2	0	1	1	1	2	-1	1	0	0	-3	-3	-1				18
368	19	1	-1	-1	5	2	0	1	1	2	2	-1	1	0	0	-3	-2	-1	0			19
188	20	3	2	2	8	5	2	4	3	4	5	2	3	2	2	0	0	1	3	2		20

Tabella 8.3.3. – Confronto a coppie per il criterio “sensibilità all’immissione di rumori”

$\Delta$	0,5875
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

ip	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
2,9	1																					1
3,7	2	-1																				2
3,7	3	-1	0																			3
1,8	4	2	3	3																		4
1,8	5	2	3	3	0																	5
1,8	6	2	3	3	0	0																6
6,5	7	-6	-5	-5	-8	-8	-8															7
6,2	8	-6	-4	-4	-7	-7	-7	1														8
5,7	9	-5	-3	-3	-7	-7	-7	1	1													9
4	10	-2	-1	-1	-4	-4	-4	4	4	3												10
4	11	-2	-1	-1	-4	-4	-4	4	4	3	0											11
2,5	12	1	2	2	-1	-1	-1	7	6	5	3	3										12
3,1	13	0	1	1	-2	-2	-2	6	5	4	2	2	-1									13
3	14	0	1	1	-2	-2	-2	6	5	5	2	2	-1	0								14
2,4	15	1	2	2	-1	-1	-1	7	6	6	3	3	0	1	1							15
2,5	16	1	2	2	-1	-1	-1	7	6	5	3	3	0	1	1	0						16
4,2	17	-2	-1	-1	-4	-4	-4	4	3	3	0	0	-3	-2	-2	-3	-3					17
2,9	18	0	1	1	-2	-2	-2	6	6	5	2	2	-1	0	0	-1	-1	2				18
3,3	19	-1	1	1	-3	-3	-3	5	5	4	1	1	-1	0	-1	-2	-1	2	-1			19
2,4	20	1	2	2	-1	-1	-1	7	6	6	3	3	0	1	1	0	0	3	1	2		20

Tabella 8.3.4. – Confronto a coppie per il criterio “inquinamento acque profonde”

$\Delta$	0,2375
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

gf	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
0	1																					1
0	2	0																				2
1	3	-4	-4																			3
0,95	4	-4	-4	0																		4
0,8	5	-3	-3	1	1																	5
0,9	6	-4	-4	0	0	0																6
1,35	7	-6	-6	-1	-2	-2	-2															7
0,8	8	-3	-3	1	1	0	0	2														8
0,7	9	-3	-3	1	1	0	1	3	0													9
1,35	10	-6	-6	-1	-2	-2	-2	0	-2	-3												10
1,7	11	-7	-7	-3	-3	-4	-3	-1	-4	-4	-1											11
0,9	12	-4	-4	0	0	0	0	2	0	-1	2	3										12
1	13	-4	-4	0	0	-1	0	1	-1	-1	1	3	0									13
1,3	14	-5	-5	-1	-1	-2	-2	0	-2	-3	0	2	-2	-1								14
1,9	15	-8	-8	-4	-4	-5	-4	-2	-5	-5	-2	-1	-4	-4	-3							15
1,4	16	-6	-6	-2	-2	-3	-2	0	-3	-3	0	1	-2	-2	0	2						16
1,1	17	-5	-5	0	-1	-1	-1	1	-1	-2	1	3	-1	0	1	3	1					17
1	18	-4	-4	0	0	-1	0	1	-1	-1	1	3	0	0	1	4	2	0				18
1,4	19	-6	-6	-2	-2	-3	-2	0	-3	-3	0	1	-2	-2	0	2	0	-1	-2			19
1,3	20	-5	-5	-1	-1	-2	-2	0	-2	-3	0	2	-2	-1	0	3	0	-1	-1	0		20

Tabella 8.3.5.– Confronto a coppie per il criterio “interferenza con acque profonde”

$\Delta$	2,125
----------	-------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

re	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
14	1																					1
18	2	-2																				2
18	3	-2	0																			3
12	4	1	3	3																		4
12	5	1	3	3	0																	5
13	6	0	2	2	0	0																6
29	7	-7	-5	-5	-8	-8	-8															7
24	8	-5	-3	-3	-6	-6	-5	2														8
24	9	-5	-3	-3	-6	-6	-5	2	0													9
22	10	-4	-2	-2	-5	-5	-4	3	1	1												10
15	11	0	1	1	-1	-1	-1	7	4	4	3											11
14	12	0	2	2	-1	-1	0	7	5	5	4	0										12
12	13	1	3	3	0	0	0	8	6	6	5	1	1									13
14	14	0	2	2	-1	-1	0	7	5	5	4	0	0	-1								14
14	15	0	2	2	-1	-1	0	7	5	5	4	0	0	-1	0							15
21	16	-3	-1	-1	-4	-4	-4	4	1	1	0	-3	-3	-4	-3	-3						16
17	17	-1	0	0	-2	-2	-2	6	3	3	2	-1	-1	-2	-1	-1	2					17
15	18	0	1	1	-1	-1	-1	7	4	4	3	0	0	-1	0	0	3	1				18
13	19	0	2	2	0	0	0	8	5	5	4	1	0	0	0	0	4	2	1			19
15	20	0	1	1	-1	-1	-1	7	4	4	3	0	0	-1	0	0	3	1	0	-1		20

Tabella 8.3.6 – Confronto a coppie per il criterio “inquinamento acque superficiali”

$\Delta$	1,75
----------	------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

ni	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
3	1																					1
13	2	-6																				2
13	3	-6	0																			3
10	4	-4	2	2																		4
8	5	-3	3	3	1																	5
12	6	-5	1	1	-1	-2																6
17	7	-8	-2	-2	-4	-5	-3															7
13	8	-6	0	0	-2	-3	-1	2														8
15	9	-7	-1	-1	-3	-4	-2	1	-1													9
12	10	-5	1	1	-1	-2	0	3	1	2												10
14	11	-6	-1	-1	-2	-3	-1	2	-1	1	-1											11
11	12	-5	1	1	-1	-2	1	3	1	2	1	2										12
9	13	-3	2	2	1	-1	2	5	2	3	2	3	1									13
7	14	-2	3	3	2	1	3	6	3	5	3	4	2	1								14
12	15	-5	1	1	-1	-2	0	3	1	2	0	1	-1	-2	-3							15
10	16	-4	2	2	0	-1	1	4	2	3	1	2	1	-1	-2	1						16
16	17	-7	-2	-2	-3	-5	-2	1	-2	-1	-2	-1	-3	-4	-5	-2	-3					17
7	18	-2	3	3	2	1	3	6	3	5	3	4	2	1	0	3	2	5				18
13	19	-6	0	0	-2	-3	-1	2	0	1	-1	1	-1	-2	-3	-1	-2	2	-3			19
8	20	-3	3	3	1	0	2	5	3	4	2	3	2	1	-1	2	1	5	-1	3		20

Tabella. 8.3.7.- Confronto a coppie per il criterio "interferenza con acque superficiali"

$\Delta$	121,625
----------	---------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

v	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
393	1																					1
623	2	-2																				2
894	3	-4	-2																			3
757	4	-3	-1	1																		4
965	5	-5	-3	-1	-2																	5
751	6	-3	-1	1	0	2																6
821	7	-4	-2	1	-1	1	-1															7
793	8	-3	-1	1	0	1	0	0														8
462	9	-1	1	4	2	4	2	3	3													9
1258	10	-7	-5	-3	-4	-2	-4	-4	-4	-7												10
1366	11	-8	-6	-4	-5	-3	-5	-4	-5	-7	-1											11
783	12	-3	-1	1	0	1	0	0	0	-3	4	5										12
480	13	-1	1	3	2	4	2	3	3	0	6	7	2									13
542	14	-1	1	3	2	3	2	2	2	-1	6	7	2	-1								14
726	15	-3	-1	1	0	2	0	1	1	-2	4	5	0	-2	-2							15
610	16	-2	0	2	1	3	1	2	2	-1	5	6	1	-1	-1	1						16
806	17	-3	-2	1	0	1	0	0	0	-3	4	5	0	-3	-2	-1	-2					17
496	18	-1	1	3	2	4	2	3	2	0	6	7	2	0	0	2	1	3				18
986	19	-5	-3	-1	-2	0	-2	-1	-2	-4	2	3	-2	-4	-4	-2	-3	-1	-4			19
780	20	-3	-1	1	0	2	0	0	0	-3	4	5	0	-2	-2	0	-1	0	-2	2		20

Tabella. 8.3.8 – Confronto a coppie per il criterio “consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico”

$\Delta$	15,625
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

iv	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
112	1																					1
98	2	1																				2
98	3	1	0																			3
165	4	-3	-4	-4																		4
124	5	-1	-2	-2	3																	5
91	6	1	0	0	5	2																6
117	7	0	-1	-1	3	0	-2															7
117	8	0	-1	-1	3	0	-2	0														8
124	9	-1	-2	-2	3	0	-2	0	0													9
143	10	-2	-3	-3	1	-1	-3	-2	-2	-1												10
99	11	1	0	0	4	2	-1	1	1	2	3											11
105	12	0	0	0	4	1	-1	1	1	1	2	0										12
92	13	1	0	0	5	2	0	2	2	2	3	0	1									13
90	14	1	1	1	5	2	0	2	2	2	3	1	1	0								14
40	15	5	4	4	8	5	3	5	5	5	7	4	4	3	3							15
52	16	4	3	3	7	5	2	4	4	5	6	3	3	3	2	-1						16
73	17	2	2	2	6	3	1	3	3	3	4	2	2	1	1	-2	-1					17
94	18	1	0	0	5	2	0	1	1	2	3	0	1	0	0	-3	-3	-1				18
94	19	1	0	0	5	2	0	1	1	2	3	0	1	0	0	-3	-3	-1	0			19
50	20	4	3	3	7	5	3	4	4	5	6	3	4	3	3	-1	0	1	3	3		20

Tabella. 8.3.9. – Confronto a coppie per il criterio “immissione di vibrazioni”

Δ	78,125
---	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

er	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
425	1																					1
385	2	1																				2
310	3	1	1																			3
20	4	5	5	4																		4
0	5	5	5	4	0																	5
0	6	5	5	4	0	0																6
625	7	-3	-3	-4	-8	-8	-8															7
95	8	4	4	3	-1	-1	-1	7														8
0	9	5	5	4	0	0	0	8	1													9
60	10	5	4	3	-1	-1	-1	7	0	-1												10
0	11	5	5	4	0	0	0	8	1	0	1											11
275	12	2	1	0	-3	-4	-4	4	-2	-4	-3	-4										12
85	13	4	4	3	-1	-1	-1	7	0	-1	0	-1	2									13
0	14	5	5	4	0	0	0	8	1	0	1	0	4	1								14
0	15	5	5	4	0	0	0	8	1	0	1	0	4	1	0							15
160	16	3	3	2	-2	-2	-2	6	-1	-2	-1	-2	1	-1	-2	-2						16
450	17	0	-1	-2	-6	-6	-6	2	-5	-6	-5	-6	-2	-5	-6	-6	-4					17
90	18	4	4	3	-1	-1	-1	7	0	-1	0	-1	2	0	-1	-1	1	5				18
505	19	-1	-2	-2	-6	-6	-6	2	-5	-6	-6	-6	-3	-5	-6	-6	-4	-1	-5			19
0	20	5	5	4	0	0	0	8	1	0	1	0	4	1	0	0	2	6	1	6		20

Tabella 8.3.10. – Confronto a coppie per il criterio “erodibilità dei terreni”

$\Delta$	0,45625
----------	---------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

fr	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
4,15	1																					1
1,3	2	6																				2
1,65	3	5	-1																			3
2,05	4	5	-2	-1																		4
1,85	5	5	-1	0	0																	5
3,4	6	2	-5	-4	-3	-3																6
3	7	3	-4	-3	-2	-3	1															7
3,5	8	1	-5	-4	-3	-4	0	-1														8
3,8	9	1	-5	-5	-4	-4	-1	-2	-1													9
3,65	10	1	-5	-4	-4	-4	-1	-1	0	0												10
3,2	11	2	-4	-3	-3	-3	0	0	1	1	1											11
2,8	12	3	-3	-3	-2	-2	1	0	2	2	2	1										12
2,05	13	5	-2	-1	0	0	3	2	3	4	4	3	2									13
2,4	14	4	-2	-2	-1	-1	2	1	2	3	3	2	1	-1								14
0,5	15	8	2	3	3	3	6	5	7	7	7	6	5	3	4							15
1,9	16	5	-1	-1	0	0	3	2	4	4	4	3	2	0	1	-3						16
3,25	17	2	-4	-4	-3	-3	0	-1	1	1	1	0	-1	-3	-2	-6	-3					17
2,6	18	3	-3	-2	-1	-2	2	1	2	3	2	1	0	-1	0	-5	-2	1				18
3	19	3	-4	-3	-2	-3	1	0	1	2	1	0	0	-2	-1	-5	-2	1	-1			19
1,55	20	6	-1	0	1	1	4	3	4	5	5	4	3	1	2	-2	1	4	2	3		20

Tabella 8.3.11. – Confronto a coppie per il criterio “frane in atto e rischio a franare”

$\Delta$	0,05
----------	------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

le	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato	
0,2	1																					1	
0,15	2	1																					2
0	3	4	3																				3
0	4	4	3	0																			4
0	5	4	3	0	0																		5
0	6	4	3	0	0	0																	6
0,2	7	0	-1	-4	-4	-4	-4																7
0,4	8	-4	-5	-8	-8	-8	-8	-4															8
0	9	4	3	0	0	0	0	4	8														9
0	10	4	3	0	0	0	0	4	8	0													10
0	11	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0												11
0,4	12	-4	-5	-8	-8	-8	-8	-4	0	-8	-8	-8											12
0	13	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8										13
0	14	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0									14
0	15	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0	0								15
0	16	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0	0	0							16
0	17	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0	0	0	0						17
0	18	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0	0	0	0	0					18
0,3	19	-2	-3	-6	-6	-6	-6	-2	2	-6	-6	-6	2	-6	-6	-6	-6	-6	-6				19
0	20	4	3	0	0	0	0	4	8	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	6		20

Tabella 8.3.12. – Confronto a coppie per il criterio “flora ed ecosistema”

$\Delta$	0,6125
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

If	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
6,7	1																					1
6,45	2	0																				2
6	3	1	1																			3
7,9	4	-2	-2	-3																		4
7,2	5	-1	-1	-2	1																	5
6,5	6	0	0	-1	2	1																6
9	7	-4	-4	-5	-2	-3	-4															7
9,4	8	-4	-5	-6	-2	-4	-5	-1														8
7,9	9	-2	-2	-3	0	-1	-2	2	2													9
8,5	10	-3	-3	-4	-1	-2	-3	1	1	-1												10
7,2	11	-1	-1	-2	1	0	-1	3	4	1	2											11
7,7	12	-2	-2	-3	0	-1	-2	2	3	0	1	-1										12
6,5	13	0	0	-1	2	1	0	4	5	2	3	1	2									13
6	14	1	1	0	3	2	1	5	6	3	4	2	3	1								14
4,7	15	3	3	2	5	4	3	7	8	5	6	4	5	3	2							15
5,5	16	2	2	1	4	3	2	6	6	4	5	3	4	2	1	-1						16
7	17	0	-1	-2	1	0	-1	3	4	1	2	0	1	-1	-2	-4	-2					17
6,5	18	0	0	-1	2	1	0	4	5	2	3	1	2	0	-1	-3	-2	1				18
7,4	19	-1	-2	-2	1	0	-1	3	3	1	2	0	0	-1	-2	-4	-3	-1	-1			19
4,5	20	4	3	2	6	4	3	7	8	6	7	4	5	3	2	0	2	4	3	5		20

Tabella 8.3.13. – Confronto a coppie per il criterio “fauna”

$\Delta$	0,3875
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

lv	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
1,25	1																					1
2	2	-2																				2
0,4	3	2	4																			3
0,85	4	1	3	-1																		4
0,7	5	1	3	-1	0																	5
0,7	6	1	3	-1	0	0																6
2,65	7	-4	-2	-6	-5	-5	-5															7
2,65	8	-4	-2	-6	-5	-5	-5	0														8
1,2	9	0	2	-2	-1	-1	-1	4	4													9
1,55	10	-1	1	-3	-2	-2	-2	3	3	-1												10
0,45	11	2	4	0	1	1	1	6	6	2	3											11
2,35	12	-3	-1	-5	-4	-4	-4	1	1	-3	-2	-5										12
3,5	13	-6	-4	-8	-7	-7	-7	-2	-2	-6	-5	-8	-3									13
2,3	14	-3	-1	-5	-4	-4	-4	1	1	-3	-2	-5	0	3								14
1,6	15	-1	1	-3	-2	-2	-2	3	3	-1	0	-3	2	5	2							15
1,5	16	-1	1	-3	-2	-2	-2	3	3	-1	0	-3	2	5	2	0						16
3,3	17	-5	-3	-7	-6	-7	-7	-2	-2	-5	-5	-7	-2	1	-3	-4	-5					17
2,7	18	-4	-2	-6	-5	-5	-5	0	0	-4	-3	-6	-1	2	-1	-3	-3	2				18
1,2	19	0	2	-2	-1	-1	-1	4	4	0	1	-2	3	6	3	1	1	5	4			19
1	20	1	3	-2	0	-1	-1	4	4	1	1	-1	3	6	3	2	1	6	4	1		20

Tabella. 8.3.14. – Confronto a coppie per il criterio “valenza paesaggistica”

$\Delta$	0,1175
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

it	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
1,8	1																					1
1,83	2	0																				2
1,83	3	0	0																			3
0,89	4	8	8	8																		4
0,97	5	7	7	7	-1																	5
0,92	6	7	8	8	0	0																6
0,93	7	7	8	8	0	0	0															7
0,96	8	7	7	7	-1	0	0	0														8
1	9	7	7	7	-1	0	-1	-1	0													9
0,94	10	7	8	8	0	0	0	0	0	1												10
1,29	11	4	5	5	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-3											11
1,38	12	4	4	4	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-1										12
1,38	13	4	4	4	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-1	0									13
1,17	14	5	6	6	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	1	2	2								14
1,06	15	6	7	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	3	3	1							15
1,09	16	6	6	6	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2	1	0						16
1,43	17	3	3	3	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-1	0	0	-2	-3	-3					17
1,23	18	5	5	5	-3	-2	-3	-3	-2	-2	-2	1	1	1	-1	-1	-1	2				18
0,97	19	7	7	7	-1	0	0	0	0	0	0	3	3	3	2	1	1	4	2			19
0,89	20	8	8	8	0	1	0	0	1	1	0	3	4	4	2	1	2	5	3	1		20

Tabella. 8.3.15 – Confronto a coppie per il criterio “comfort di marcia”

$\Delta$	0,4725
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

dh	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
2,56	1																					1
3,18	2	-1																				2
2,18	3	1	2																			3
4,2	4	-3	-2	-4																		4
2,58	5	0	1	-1	3																	5
2,32	6	1	2	0	4	1																6
3,84	7	-3	-1	-4	1	-3	-3															7
3,58	8	-2	-1	-3	1	-2	-3	1														8
3,86	9	-3	-1	-4	1	-3	-3	0	-1													9
3,58	10	-2	-1	-3	1	-2	-3	1	0	1												10
2,47	11	0	2	-1	4	0	0	3	2	3	2											11
2,51	12	0	1	-1	4	0	0	3	2	3	2	0										12
2,46	13	0	2	-1	4	0	0	3	2	3	2	0	0									13
0,88	14	4	5	3	7	4	3	6	6	6	6	3	3	3								14
1,7	15	2	3	1	5	2	1	5	4	5	4	2	2	2	-2							15
0,62	16	4	5	3	8	4	4	7	6	7	6	4	4	4	1	2						16
1,34	17	3	4	2	6	3	2	5	5	5	5	2	2	2	-1	1	-2					17
2,28	18	1	2	0	4	1	0	3	3	3	3	0	0	0	-3	-1	-4	-2				18
0,42	19	5	6	4	8	5	4	7	7	7	7	4	4	4	1	3	0	2	4			19
1,11	20	3	4	2	7	3	3	6	5	6	5	3	3	3	0	1	-1	0	2	-1		20

Tabella. 8.3.16. – Confronto a coppie per il criterio “coordinamento piano-altimetrico”

$\Delta$	2,5
----------	-----

CRITERIO DA MINIMIZZARE

na	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
31	1																					1
11	2	8																				2
11	3	8	0																			3
27	4	2	-6	-6																		4
25	5	2	-6	-6	1																	5
15	6	6	-2	-2	5	4																6
27	7	2	-6	-6	0	-1	-5															7
11	8	8	0	0	6	6	2	6														8
16	9	6	-2	-2	4	4	0	4	-2													9
27	10	2	-6	-6	0	-1	-5	0	-6	-4												10
20	11	4	-4	-4	3	2	-2	3	-4	-2	3											11
16	12	6	-2	-2	4	4	0	4	-2	0	4	2										12
17	13	6	-2	-2	4	3	-1	4	-2	0	4	1	0									13
20	14	4	-4	-4	3	2	-2	3	-4	-2	3	0	-2	-1								14
14	15	7	-1	-1	5	4	0	5	-1	1	5	2	1	1	2							15
15	16	6	-2	-2	5	4	0	5	-2	0	5	2	0	1	2	0						16
16	17	6	-2	-2	4	4	0	4	-2	0	4	2	0	0	2	-1	0					17
22	18	4	-4	-4	2	1	-3	2	-4	-2	2	-1	-2	-2	-1	-3	-3	-2				18
30	19	0	-8	-8	-1	-2	-6	-1	-8	-6	-1	-4	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-3			19
12	20	8	0	0	6	5	1	6	0	2	6	3	2	2	3	1	1	2	4	7		20

Tabella. 8.3.17 – Confronto a coppie per il criterio “sicurezza non utenti”

$\Delta$	0,4125
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

od	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
1,25	1																					1
2	2	-2																				2
1,25	3	0	2																			3
0,95	4	1	3	1																		4
0,35	5	2	4	2	1																	5
0,55	6	2	4	2	1	0																6
3,65	7	-6	-4	-6	-7	-8	-8															7
3	8	-4	-2	-4	-5	-6	-6	2														8
1,9	9	-2	0	-2	-2	-4	-3	4	3													9
2,65	10	-3	-2	-3	-4	-6	-5	2	1	-2												10
2,45	11	-3	-1	-3	-4	-5	-5	3	1	-1	0											11
2,6	12	-3	-1	-3	-4	-5	-5	3	1	-2	0	0										12
3,3	13	-5	-3	-5	-6	-7	-7	1	-1	-3	-2	-2	-2									13
2,6	14	-3	-1	-3	-4	-5	-5	3	1	-2	0	0	0	2								14
3,3	15	-5	-3	-5	-6	-7	-7	1	-1	-3	-2	-2	-2	0	-2							15
2,4	16	-3	-1	-3	-4	-5	-4	3	1	-1	1	0	0	2	0	2						16
2,7	17	-4	-2	-4	-4	-6	-5	2	1	-2	0	-1	0	1	0	1	-1					17
2,9	18	-4	-2	-4	-5	-6	-6	2	0	-2	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	0				18
1,65	19	-1	1	-1	-2	-3	-3	5	3	1	2	2	2	4	2	4	2	3	3			19
1,8	20	-1	0	-1	-2	-4	-3	4	3	0	2	2	2	4	2	4	1	2	3	0		20

Tabella. 8.3.18. – Confronto a coppie per il criterio “sicurezza operai”

$\Delta$	3,3625
----------	--------

CRITERIO DA MASSIMIZZARE

ce	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
26,9	1																					1
27,4	2	0																				2
27,4	3	0	0																			3
38,7	4	4	3	3																		4
40,6	5	4	4	4	1																	5
24,6	6	-1	-1	-1	-4	-5																6
31,3	7	1	1	1	-2	-3	2															7
21,6	8	-2	-2	-2	-5	-6	-1	-3														8
32,7	9	2	2	2	-2	-2	2	0	3													9
29,4	10	1	1	1	-3	-3	1	-1	2	-1												10
28,1	11	0	0	0	-3	-4	1	-1	2	-1	0											11
28,7	12	1	0	0	-3	-4	1	-1	2	-1	0	0										12
31,7	13	1	1	1	-2	-3	2	0	3	0	1	1	1									13
33,4	14	2	2	2	-2	-2	3	1	4	0	1	2	1	1								14
19,4	15	-2	-2	-2	-6	-6	-2	-4	-1	-4	-3	-3	-3	-4	-4							15
13,7	16	-4	-4	-4	-7	-8	-3	-5	-2	-6	-5	-4	-4	-5	-6	-2						16
34,4	17	2	2	2	-1	-2	3	1	4	1	1	2	2	1	0	4	6					17
30,5	18	1	1	1	-2	-3	2	0	3	-1	0	1	1	0	-1	3	5	-1				18
20,5	19	-2	-2	-2	-5	-6	-1	-3	0	-4	-3	-2	-2	-3	-4	0	2	-4	-3			19
20,2	20	-2	-2	-2	-6	-6	-1	-3	0	-4	-3	-2	-3	-3	-4	0	2	-4	-3	0		20

Tabella. 8.3.19 – Confronto a coppie per il criterio “livello di connessione con extrasistema”

$\Delta$	1,25
----------	------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

tp	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
24	1																					1
24	2	0																				2
24	3	0	0																			3
34	4	-8	-8	-8																		4
30	5	-5	-5	-5	3																	5
27	6	-2	-2	-2	6	2																6
26	7	-2	-2	-2	6	3	1															7
25	8	-1	-1	-1	7	4	2	1														8
25	9	-1	-1	-1	7	4	2	1	0													9
27	10	-2	-2	-2	6	2	0	-1	-2	-2												10
28	11	-3	-3	-3	5	2	-1	-2	-2	-2	-1											11
31	12	-6	-6	-6	2	-1	-3	-4	-5	-5	-3	-2										12
28	13	-3	-3	-3	5	2	-1	-2	-2	-2	-1	0	2									13
29	14	-4	-4	-4	4	1	-2	-2	-3	-3	-2	-1	2	-1								14
30	15	-5	-5	-5	3	0	-2	-3	-4	-4	-2	-2	1	-2	-1							15
29	16	-4	-4	-4	4	1	-2	-2	-3	-3	-2	-1	2	-1	0	1						16
28	17	-3	-3	-3	5	2	-1	-2	-2	-2	-1	0	2	0	1	2	1					17
30	18	-5	-5	-5	3	0	-2	-3	-4	-4	-2	-2	1	-2	-1	0	-1	-2				18
31	19	-6	-6	-6	2	-1	-3	-4	-5	-5	-3	-2	0	-2	-2	-1	-2	-2	-1			19
33	20	-7	-7	-7	1	-2	-5	-6	-6	-6	-5	-4	-2	-4	-3	-2	-3	-4	-2	-2		20

Tabella8.3.20 – Confronto a coppie per il criterio “tempi di percorrenza”

Δ	25,125
---	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

es	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
154	1																					1
130	2	1																				2
94	3	2	1																			3
249	4	-4	-5	-6																		4
250	5	-4	-5	-6	0																	5
195	6	-2	-3	-4	2	2																6
159	7	0	-1	-3	4	4	1															7
238	8	-3	-4	-6	0	0	-2	-3														8
216	9	-2	-3	-5	1	1	-1	-2	1													9
216	10	-2	-3	-5	1	1	-1	-2	1	0												10
170	11	-1	-2	-3	3	3	1	0	3	2	2											11
180	12	-1	-2	-3	3	3	1	-1	2	1	1	0										12
180	13	-1	-2	-3	3	3	1	-1	2	1	1	0	0									13
141	14	1	0	-2	4	4	2	1	4	3	3	1	2	2								14
49	15	4	3	2	8	8	6	4	8	7	7	5	5	5	4							15
68	16	3	2	1	7	7	5	4	7	6	6	4	4	4	3	-1						16
100	17	2	1	0	6	6	4	2	5	5	5	3	3	3	2	-2	-1					17
128	18	1	0	-1	5	5	3	1	4	4	4	2	2	2	1	-3	-2	-1				18
85	19	3	2	0	7	7	4	3	6	5	5	3	4	4	2	-1	-1	1	2			19
63	20	4	3	1	7	7	5	4	7	6	6	4	5	5	3	-1	0	1	3	1		20

Tabella 8.3.21.- Confronto a coppie per il criterio "costi di esproprio"

Δ	9910,375
---	----------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

pr	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
24525	1																					1
40585	2	-2																				2
51629	3	-3	-1																			3
73602	4	-5	-3	-2																		4
54007	5	-3	-1	0	2																	5
58806	6	-3	-2	-1	1	0																6
103808	7	-8	-6	-5	-3	-5	-5															7
76995	8	-5	-4	-3	0	-2	-2	3														8
60967	9	-4	-2	-1	1	-1	0	4	2													9
90789	10	-7	-5	-4	-2	-4	-3	1	-1	-3												10
96562	11	-7	-6	-5	-2	-4	-4	1	-2	-4	-1											11
86108	12	-6	-5	-3	-1	-3	-3	2	-1	-3	0	1										12
83707	13	-6	-4	-3	-1	-3	-3	2	-1	-2	1	1	0									13
78885	14	-5	-4	-3	-1	-3	-2	3	0	-2	1	2	1	0								14
101508	15	-8	-6	-5	-3	-5	-4	0	-2	-4	-1	0	-2	-2	-2							15
77305	16	-5	-4	-3	0	-2	-2	3	0	-2	1	2	1	1	0	2						16
77371	17	-5	-4	-3	0	-2	-2	3	0	-2	1	2	1	1	0	2	0					17
77919	18	-5	-4	-3	0	-2	-2	3	0	-2	1	2	1	1	0	2	0	0				18
66655	19	-4	-3	-2	1	-1	-1	4	1	-1	2	3	2	2	1	4	1	1	1			19
64213	20	-4	-2	-1	1	-1	-1	4	1	0	3	3	2	2	1	4	1	1	1	0		20

Tabella 8.3.22. – Confronto a coppie per il criterio “costi di progettazione e realizzazione”

$\Delta$	30,375
----------	--------

CRITERIO DA MINIMIZZARE

gm	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
396	1																					1
384	2	0																				2
384	3	0	0																			3
450	4	-2	-2	-2																		4
420	5	-1	-1	-1	1																	5
396	6	0	0	0	2	1																6
504	7	-4	-4	-4	-2	-3	-4															7
492	8	-3	-4	-4	-1	-2	-3	0														8
471	9	-2	-3	-3	-1	-2	-2	1	1													9
513	10	-4	-4	-4	-2	-3	-4	0	-1	-1												10
432	11	-1	-2	-2	1	0	-1	2	2	1	3											11
300	12	3	3	3	5	4	3	7	6	6	7	4										12
390	13	0	0	0	2	1	0	4	3	3	4	1	-3									13
360	14	1	1	1	3	2	1	5	4	4	5	2	-2	1								14
282	15	4	3	3	6	5	4	7	7	6	8	5	1	4	3							15
330	16	2	2	2	4	3	2	6	5	5	6	3	-1	2	1	-2						16
420	17	-1	-1	-1	1	0	-1	3	2	2	3	0	-4	-1	-2	-5	-3					17
408	18	0	-1	-1	1	0	0	3	3	2	3	1	-4	-1	-2	-4	-3	0				18
372	19	1	0	0	3	2	1	4	4	3	5	2	-2	1	0	-3	-1	2	1			19
270	20	4	4	4	6	5	4	8	7	7	8	5	1	4	3	0	2	5	5	3		20

Tabella. 8.3.23. – Confronto a coppie per il criterio “costi di gestione e manutenzione”

$\Delta$	41,375
----------	--------

CRITERIO DA MASSIMIZZARE

mv	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
202	1																					1
177	2	-1																				2
177	3	-1	0																			3
391	4	5	5	5																		4
305	5	2	3	3	-2																	5
280	6	2	2	2	-3	-1																6
292	7	2	3	3	-2	0	0															7
293	8	2	3	3	-2	0	0	0														8
273	9	2	2	2	-3	-1	0	0	0													9
269	10	2	2	2	-3	-1	0	-1	-1	0												10
371	11	4	5	5	0	2	2	2	2	2	2											11
141	12	-1	-1	-1	-6	-4	-3	-4	-4	-3	-3	-6										12
176	13	-1	0	0	-5	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-5	1									13
202	14	0	1	1	-5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-4	1	1								14
63	15	-3	-3	-3	-8	-6	-5	-6	-6	-5	-5	-7	-2	-3	-3							15
60	16	-3	-3	-3	-8	-6	-5	-6	-6	-5	-5	-8	-2	-3	-3	0						16
198	17	0	1	1	-5	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-4	1	1	0	3	3					17
126	18	-2	-1	-1	-6	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-6	0	-1	-2	2	2	-2				18
155	19	-1	-1	-1	-6	-4	-3	-3	-3	-3	-5	0	-1	-1	2	2	-1	1				19
69	20	-3	-3	-3	-8	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-7	-2	-3	-3	0	0	-3	-1	-2		20

Tabella 8.3.24. – Confronto a coppie per il criterio “modifica del valore immobiliare”

$\Delta$	1,8
----------	-----

CRITERIO DA MASSIMIZZARE

se	tracciato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	tracciato
22	1																					1
21,6	2	0																				2
21,6	3	0	0																			3
28,4	4	4	4	4																		4
25,9	5	2	2	2	-1																	5
23,4	6	1	1	1	-3	-1																6
30,2	7	5	5	5	1	2	4															7
29,5	8	4	4	4	1	2	3	0														8
28,4	9	4	4	4	0	1	3	-1	-1													9
30,6	10	5	5	5	1	3	4	0	1	1												10
25,9	11	2	2	2	-1	0	1	-2	-2	-1	-3											11
23,4	12	1	1	1	-3	-1	0	-4	-3	-3	-4	-1										12
23,4	13	1	1	1	-3	-1	0	-4	-3	-3	-4	-1	0									13
21,6	14	0	0	0	-4	-2	-1	-5	-4	-4	-5	-2	-1	-1								14
16,9	15	-3	-3	-3	-6	-5	-4	-7	-7	-6	-8	-5	-4	-4	-3							15
19,8	16	-1	-1	-1	-5	-3	-2	-6	-5	-5	-6	-3	-2	-2	-1	2						16
25,2	17	2	2	2	-2	0	1	-3	-2	-2	-3	0	1	1	2	5	3					17
23,4	18	1	1	1	-3	-1	0	-4	-3	-3	-4	-1	0	0	1	4	2	-1				18
22,3	19	0	0	0	-3	-2	-1	-4	-4	-3	-5	-2	-1	-1	0	3	1	-2	-1			19
16,2	20	-3	-3	-3	-7	-5	-4	-8	-7	-7	-8	-5	-4	-4	-3	0	-2	-5	-4	-3		20

Tabella 8.3.25 – Confronto a coppie per il criterio “sviluppo economico”

Come si può notare, manca, tra le precedenti tabelle, quella relativa al criterio "consumo diretto di aree". Tale circostanza è dovuta all'impossibilità di stimare tale parametro, per i diversi motivi ampiamente descritti precedentemente.

Tuttavia, tale criterio non è stato omissso dalla valutazione, ma è stato comunque computato, attribuendo la medesima prestazione a ciascuna alternativa.

I dati ottenuti, prima di essere inseriti in un software dedicato "Export Choice", sono stati opportunamente corretti, facendo corrispondere i valori delle tabelle variabili da -8 a 8, con quelli della scala di Saaty, ovvero addizionando 1 ai valori a 0 a 8 e sottraendo 1 a quelli da -1 a -8.

I dati corretti e sostituiti all'interno delle matrici hanno consentito la costruzione delle effettive matrici dei confronti a coppie (tali matrici non vengono riportate in quanto si ritengono una ripetizione delle precedenti).

### *Ricomposizione gerarchica*

I risultati finali rappresentativi del vettore ordinamento rispetto al supercriterio, definiscono la classifica finale di seguito riportata:

1°	Tracciato 5	[0.065];
2°	Tracciato 3	[0.063];
3°	Tracciato 6	[0.062];
4°	Tracciato 4 - Tracciato 20	[0.061];
5°	Tracciato 15	[0.060];
6°	Tracciato 16	[0.055];
7°	Tracciato 2	[0.053];
8°	Tracciato 9 - Tracciato 14	[0.050];
9°	Tracciato 11	[0.049];
10°	Tracciato 1	[0.048];
11°	Tracciato 17	[0.047];
12°	Tracciato 13	[0.045];
13°	Tracciato 10	[0.043];
14°	Tracciato 18 - Tracciato 19	[0.041];
15°	Tracciato 8	[0.038];
16°	Tracciato 7 - Tracciato 12	[0.035].

Il metodo individua come migliore tracciato il n 5 e come peggiore il n 7 ed il n 12., perfettamente coincidente con quello ottenuto dall'applicazione del metodo Electre. Analogamente, si può notare la presenza di posizioni in classifica non ben definite (ad esempio i tracciati 4 e 20 si trovano entrambi al 4° posto), tale inconveniente è attribuibile al valore di  $\Delta$  utilizzato. Per ottenere un ordinamento tale da associare a ciascuna posizione un'unica alternativa, si dovrebbe riapplicare il metodo tra le sole alternative interessate, facendo variare il valore di  $\Delta$ .

### *Rank reversal*

Il rank reversal, rappresenta l'errore che si commette nell'inserire un'alternativa irrilevante all'interno della rosa delle candidate; e che, nonostante l'oggettiva impossibilità a classificarsi tra i primi posti potrebbe, per particolari condizioni geometriche alterare la classifica finale.

Da ciò si desume l'importanza dell'analisi a priori, necessaria ad eliminare tutte le alternative possibili cause di Rank Reversal.

Al fine di comprenderne il significato si è inteso inserire nella rosa di alternative una a priori scartata e rappresentata in questo caso dal tracciato attuale, ovvero dal non progetto.

Le prestazioni offerte dal *non progetto* secondo i vari indicatori dei criteri sono riassunte nelle seguenti tre tabelle

INDICATORI AMBIENTALI		
Sensibilità all'immissione di gas nocivi e polveri	Ng	900
Sensibilità all'immissione di rumori	Nr	1500
Inquinamento acque profonde	Ip	10
Interferenza fisica con acque profonde	Gf	2
Inquinamento acque superficiali	Re	50
Interferenza fisica con acque superficiali	Ni	40
Consumo di materiali terrosi e geomorfismo antropico	V	0
Immissioni di vibrazioni	Iv	1000
Erodibilità dei terreni	Er	800
Frane in atto e rischio a franare	Fr	7,5
Flora ed ecosistema	Le	1
Fauna	Lf	15
Valenza paesaggistica	Lv	0

**Tabella. 8.3.4.– Indicatori ambientali dell'alternativa 0**

INDICATORI ECONOMICI		
Esproprio	Es	0
Progettazione e realizzazione	Pr	0
Gestione e manutenzione	Gm	0
Modifica del valore immobiliare	Mv	0
Consumo diretto di aree	Cd	-
Sviluppo economico	Vp	0

**Tabella. 8.3.4.1. – Indicatori economici dell'alternativa 0**

INDICATORI TECNICI		
Comfort di marcia	It	3
Coordinamento piano-altimetrico	Dh	6
Non utenti	Na	100
Operai	Od	0
Livello di connessione con extrasistema	Ce	0
Tempi di percorrenza	Tp	70

**Tabella 8.3.4.2 – Indicatori tecnici dell'alternativa 0**

Pur rimanendo invariati i pesi di ogni singolo criterio, si registra una variazione del valore di D per il confronto a coppie secondo tutti i criteri, come di seguito riportato.

criterio	valor inferiore	valore superiore	ampiezza intervallo	$\Delta$
1	50	900	850	106,25
2	152	1500	1348	168,5
3	1,8	10	8,2	1,025
4	0	2	2	0,25
5	12	50	38	4,75
6	3	40	37	4,625
7	0	1366	1366	170,75
8	40	1000	960	120
9	0	800	800	100
10	0,5	7,5	7	0,875
11	0	1	1	0,125
12	4,5	15	10,5	1,3125
13	0	3,5	3,5	0,4375
14	0,89	3	2,11	0,26375
15	0,42	6	5,58	0,6975
16	11	100	89	11,125
17	0	3,65	3,65	0,45625
18	0	40,6	40,6	5,075
19	24	70	46	5,75
20	0	250	250	31,25
21	0	103808	103808	12976
22	0	513	513	64,125
23	0	391	391	48,875
24	0	0	0	0
25	0	30,6	30,6	3,825

**Tabella 8.3.4.3. – valori di  $\Delta$  per i corrispondenti criteri**

Iterando il procedimento del confronto a coppie, si ottiene un nuovo ordinamento finale, del tutto differente da quello precedentemente stilato.

1°	Tracciato 10:	[0.103];
2°	Tracciato 7:	[0.095];
3°	Tracciato 8:	[0.094];
4°	Tracciato 4 - 9:	[0.083];
5°	Tracciato 5 - 11:	[0.059];
6°	Tracciato 17:	[0.050];
7°	Tracciato 6 - 12 - 13 - 18:	[0.037];
8°	Tracciato 1 - 19:	[0.034];
9°	Tracciato 2 - 3 - 14:	[0.032];
10°	Tracciato 16:	[0.024];
11°	Tracciato 15:	[0.017];
12°	Tracciato 20	[0.016];
13°	Tracciato zero	[0.006];

In conclusione, si può notare come l'inserimento di un'alternativa completamente non concorrenziale, quale è quella di non progetto, abbia completamente sconvolto l'ordinamento finale. Evidenziando, quindi la necessità per qualunque progetto, di realizzare la fase di scrematura delle alternative, prima di realizzare l'analisi.

## 9.0 Determinazione degli scenari possibili

L'ordinamento finale ottenuto mediante l'applicazione dei metodi A.H.P. ed ELECTRE, rappresenta il risultato di un processo decisionale basato su di un sistema di pesi rappresentativo delle preferenze espresse.

L'elaborazione dei dati del questionario proposto, ha definito, in termini di preferenza, la seguente suddivisione tra i tre macrocriteri:

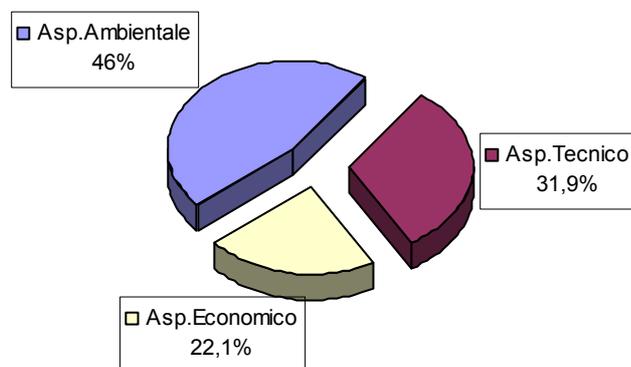


Figura. 9.1 - Divisione dei pesi come ottenuto da questionario.

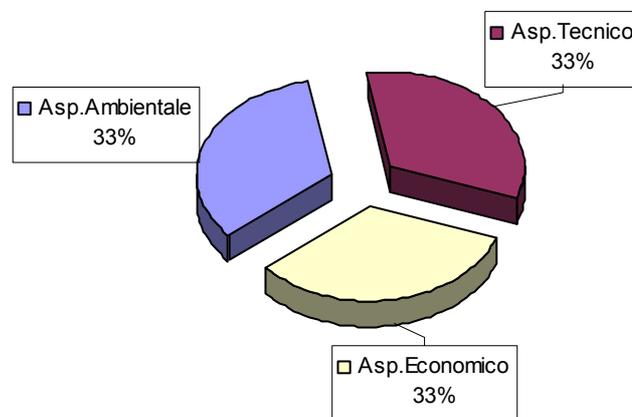
Tuttavia, la determinazione dei pesi rappresenta uno dei maggiori punti di conflitto all'interno del processo decisionale, sia per gli aspetti politici ed esigenze dei diversi stakeholders coinvolti, sia per l'esistenza di diverse tecniche consolidate per la determinazione degli stessi.

Al fine di eliminare tali inconvenienti si è inteso realizzare un' "Analisi di Sensitività". Tale analisi condotta simulando diversi scenari riscontrabili all'interno del processo decisionale, ha consentito di valutare l'intervallo di variabilità dei pesi, capace di modificare l'ordinamento finale tra le alternative di tracciato<sup>42</sup>.

In particolare, partendo dallo "Scenario Zero" rappresentativo delle preferenze espresse mediante la tecnica dell'intervista e riportato in figura n.8.1, si sono simulati i seguenti scenari:

#### *Scenario 1*

Decisore perfettamente equilibrato. Ogni aspetto riveste la stessa importanza all'interno del processo di valutazione



**Figura. 9.2 - Divisione dei pesi secondo un decisore equilibrato.**

---

<sup>42</sup> Molto spesso si riscontra l'opposizione da parte di alcuni rappresentanti di categoria, alla realizzazione di un progetto, per effetto di una non corrispondenza tra il peso attribuito ad esempio all'aspetto ambientale e quello da loro stimato.

### Scenario 2

Decisore ambientalista: in cui è l'aspetto ambientale a prevalere su gli altri due.

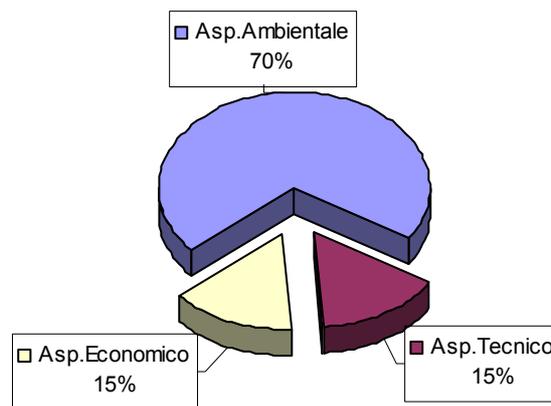


Figura 9.3 - Divisione dei pesi secondo un decisore ambientalista.

### Scenario 3

Decisore particolarmente attento all'aspetto tecnico: in cui a prevalere è l'aspetto tecnico ingegneristico in termini di comfort e prestazioni offerte.

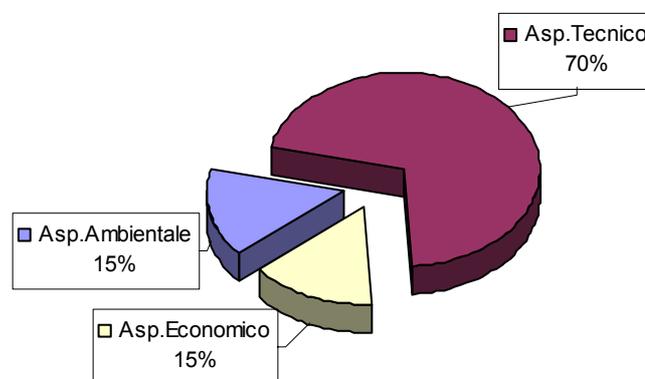


Figura 9.4 - Divisione dei pesi secondo un decisore attento all'aspetto tecnico.

#### Scenario 4

Decisore particolarmente attento all'aspetto economico: in cui l'aspetto economico prevale su gli altri macrocriteri.

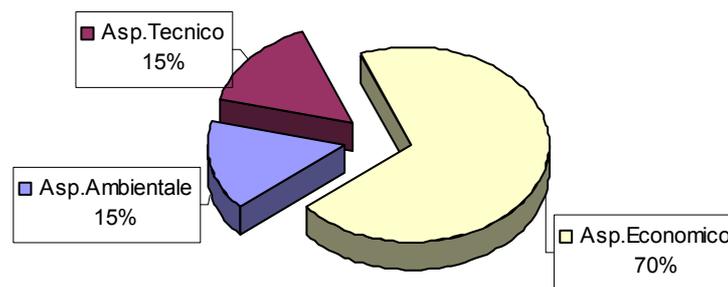


Figura 9.5. - Divisione dei pesi secondo un decisore attento all'aspetto economico.

#### 9.1 Sensitività dei risultati al variare dello scenario

Individuati i diversi scenari, mediante un software dedicato "Export Choice" è stata eseguita l'analisi di sensitività, che simulando il sistema di preferenze espresse ha consentito, da un lato di determinare il nuovo ordinamento tra i tracciati alternativi proposti, dall'altro di individuare il campo di variabilità dei giudizi.

Di seguito sono riportati i risultati finali dell'analisi di sensitività, sintetizzati mediante grafici, in cui vengono rappresentate le prestazioni di tutti i tracciati rispetto ad ogni singolo criterio, nonché gli ordinamenti finali tra le diverse alternative di tracciato.

Scenario zero

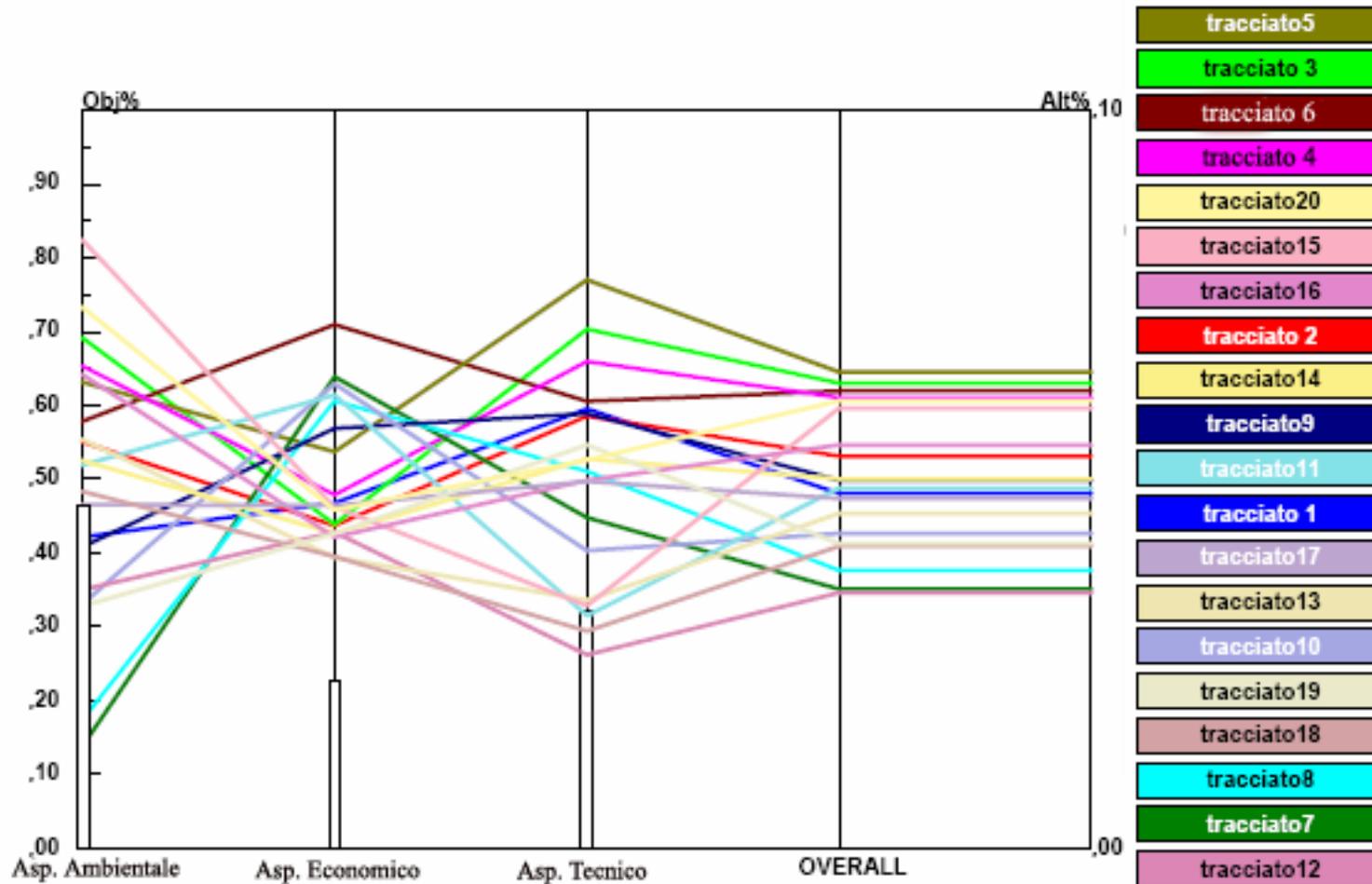


Figura 9.1.1 - Classifica delle alternative come da risultati intervista.

Scenario 1

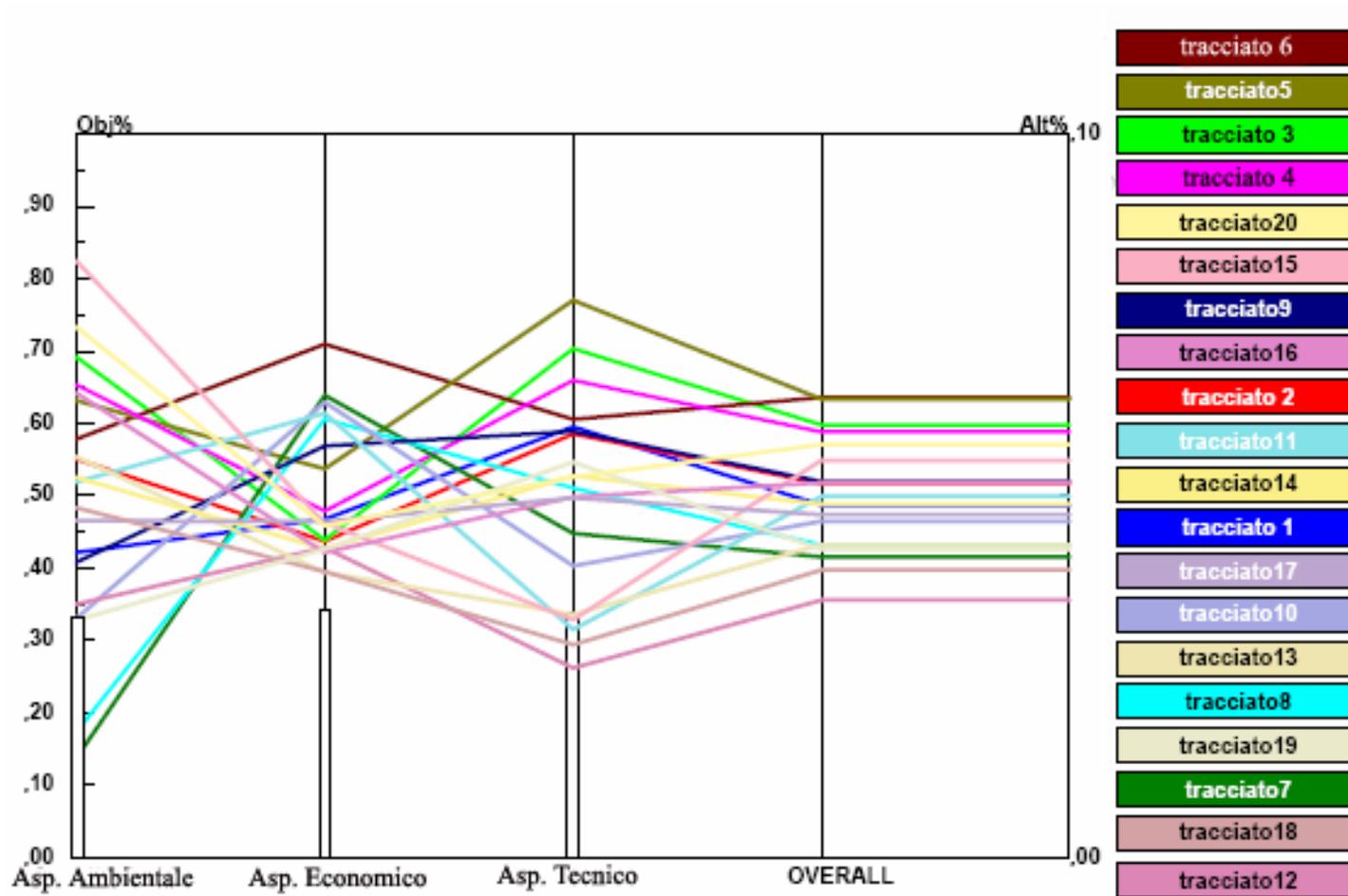


Figura 9.1.2 - Classifica delle alternative secondo un decisore equilibrato.

Scenario 2

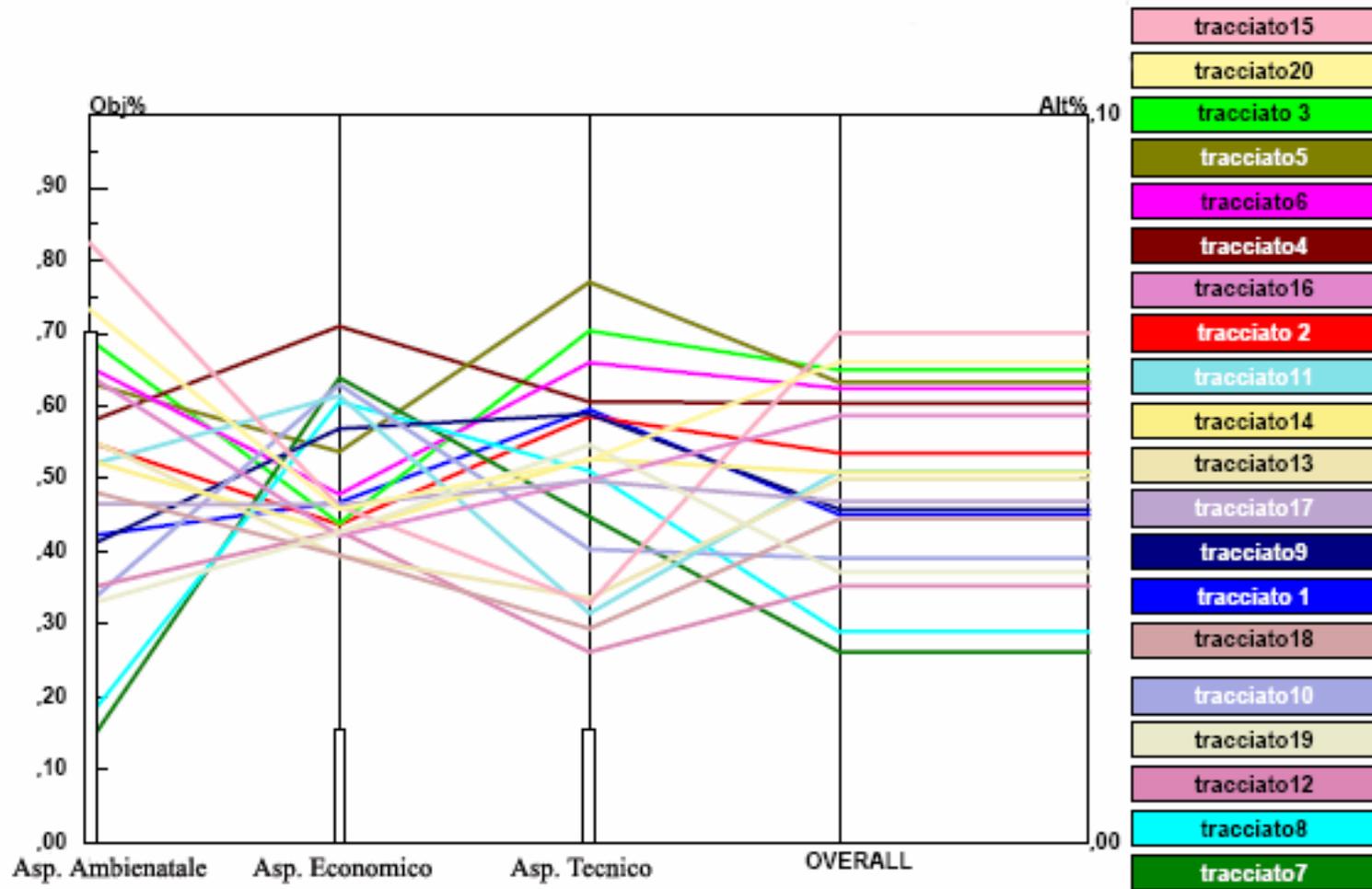


Figura 9.1.3. - Classifica delle alternative secondo un decisore ambientalista.

Scenario 3

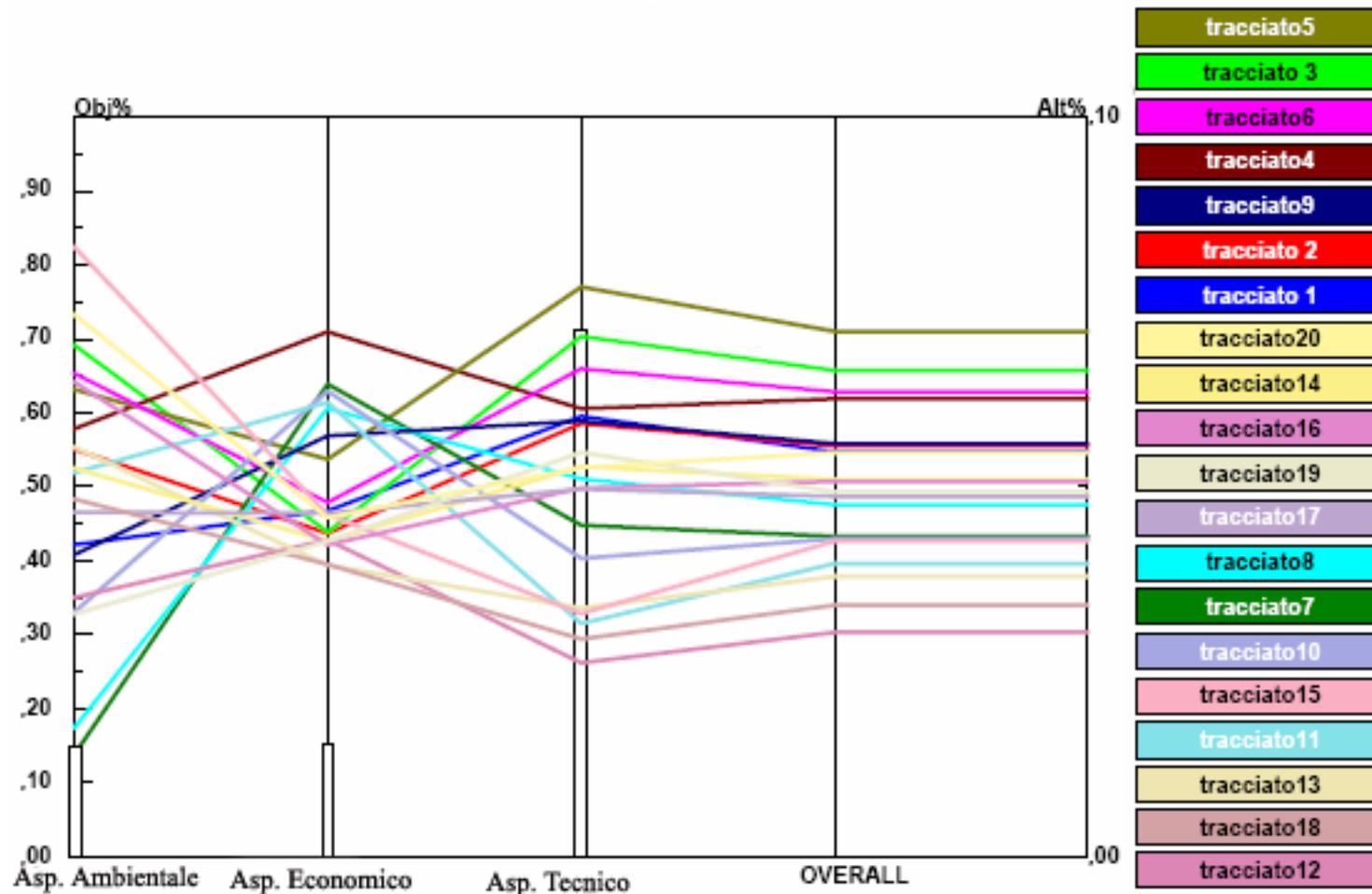


Fig. 9.1.4. - Classifica delle alternative secondo un decisore attento all'aspetto tecnico.

Scenario 4

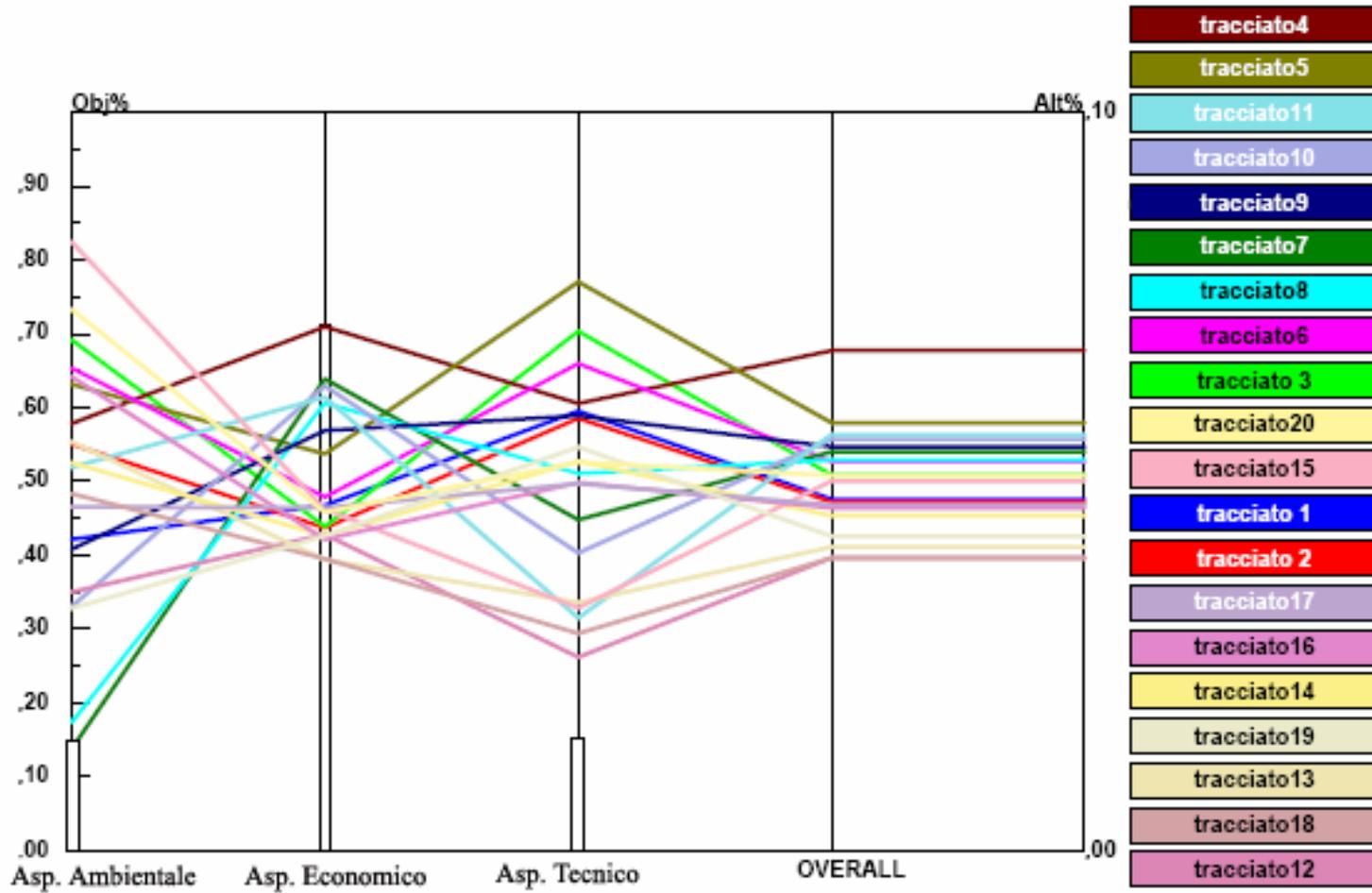


Figura. 9.1.5. - Classifica delle alternative secondo un decisore attento all'aspetto economico.

Da tale analisi, si può notare che, la determinazione dell'ordinamento finale, ed in particolare della migliore alternativa, è influenzata dallo scenario prescelto.

Tale risultato quindi avvalora particolarmente quella che è stata la scelta di determinare i pesi tramite la tecnica dell'intervista e dei campioni di riferimento. Infatti, non solo si è ridotta notevolmente la variabilità dei pesi da considerare e di conseguenza i risultati che ne derivano, ma anche si è migliorata la *collegialità della decisione* individuando il punto di equilibrio tra i diversi aspetti quali: ambiente, tecnica ed economia.

Tuttavia, terminata l'analisi di sensitività, si è ritenuto opportuno dedicare un ulteriore approfondimento ai risultati ottenuti tramite intervista, predisponendo come di seguito riportato, un'analisi di robustezza del modello.

## **9.2 Analisi di robustezza**

L'analisi è stata condotta variando uno per volta i pesi dei macrocriteri, mantenendo inalterata la proporzione tra i restanti, riscontrando in tal modo, il range di valori , all'interno del quale non si registrano variazioni di risultato.

La robustezza è stata valutata sia globalmente, ovvero rispetto al modello generale proposto, sia rispetto al miglior tracciato risultato dall'applicazione dei diversi metodi: Electre ed AHP.

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi di robustezza condotta.

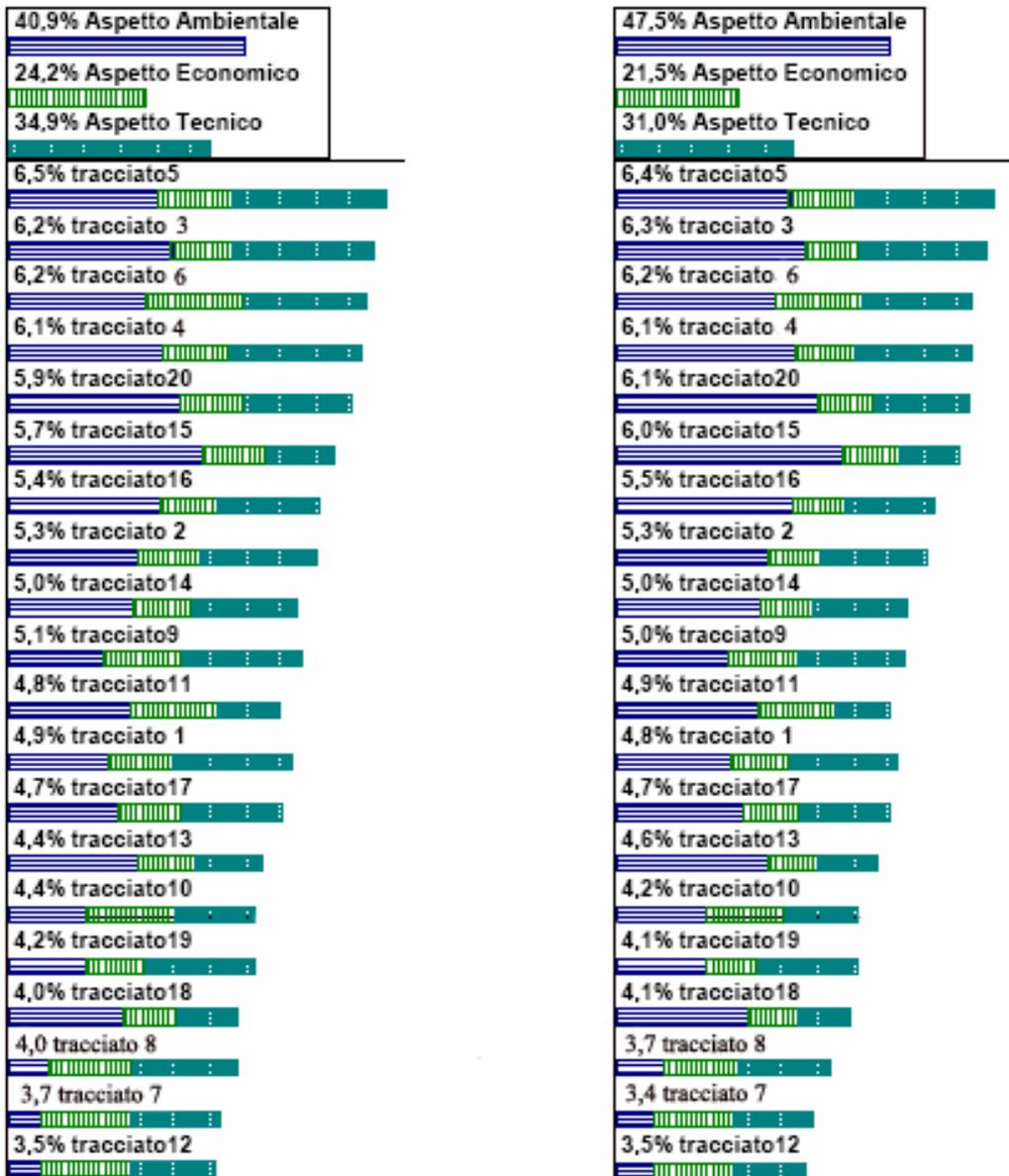


Figura. 9.1.6. – robustezza secondo il criterio ambiente

La graduatoria ottenuta è valida per un intervallo di variabilità del peso del criterio ambiente che va dal 40,9% al 47,5%.

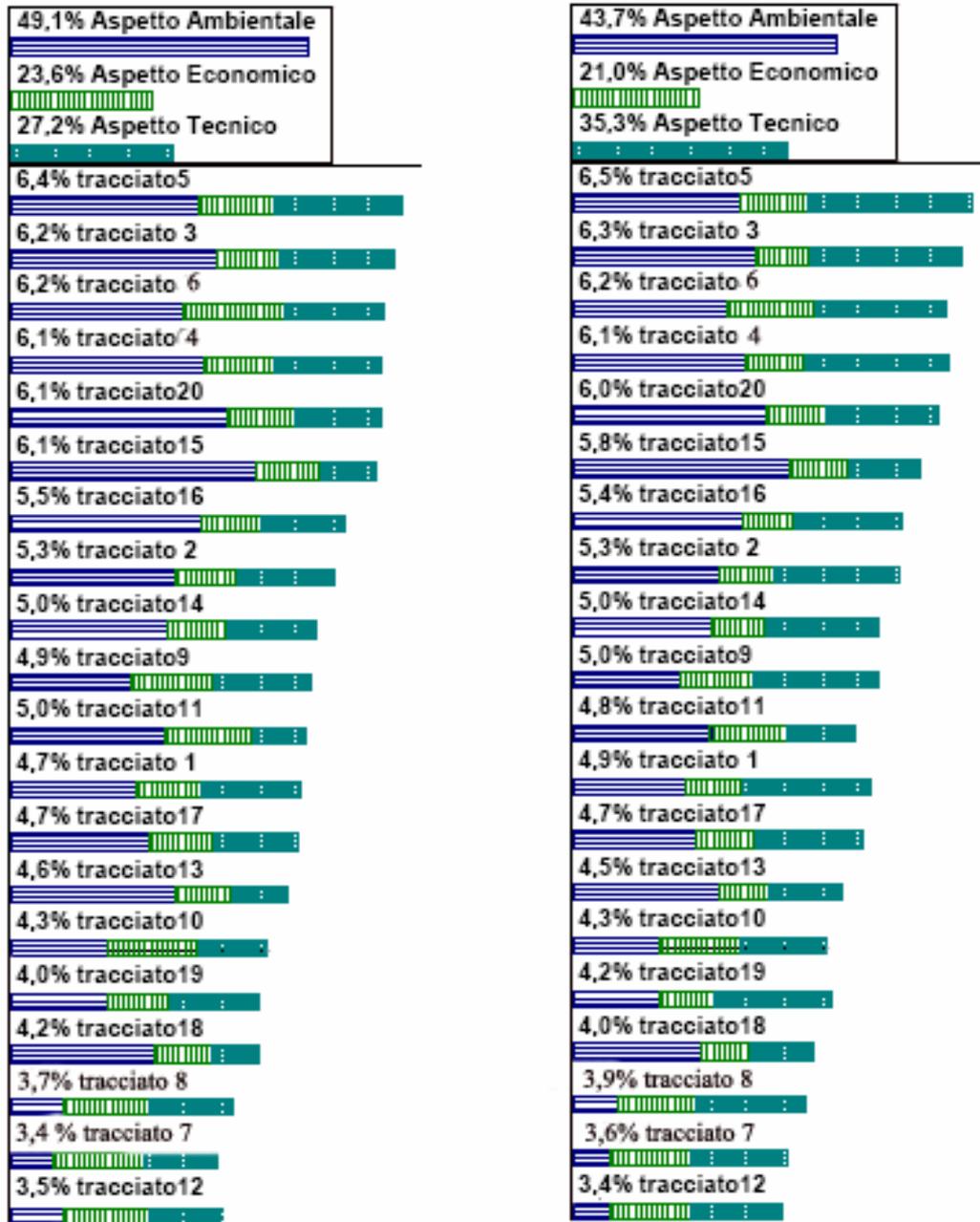


Figura. 9.1.7. – robustezza secondo il criterio tecnico.

La graduatoria ottenuta è valida per un intervallo di variabilità del peso del criterio tecnico che va dal 27,2% al 35,3%.

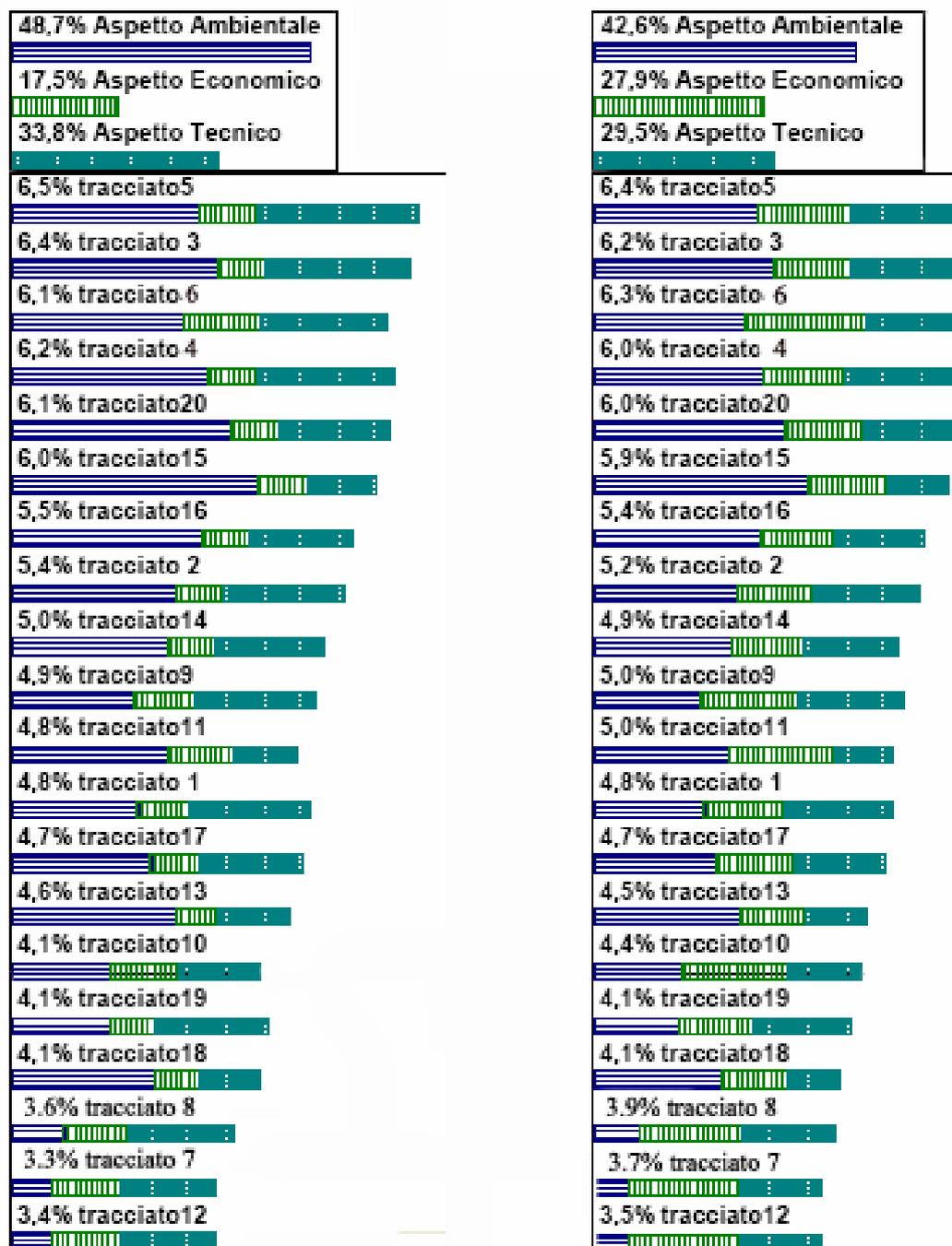


Figura 9.1.8. – robustezza secondo il criterio economico.

La graduatoria ottenuta è valida per un intervallo di variabilità del peso del criterio economico che va dal 17,5% al 27,9%.

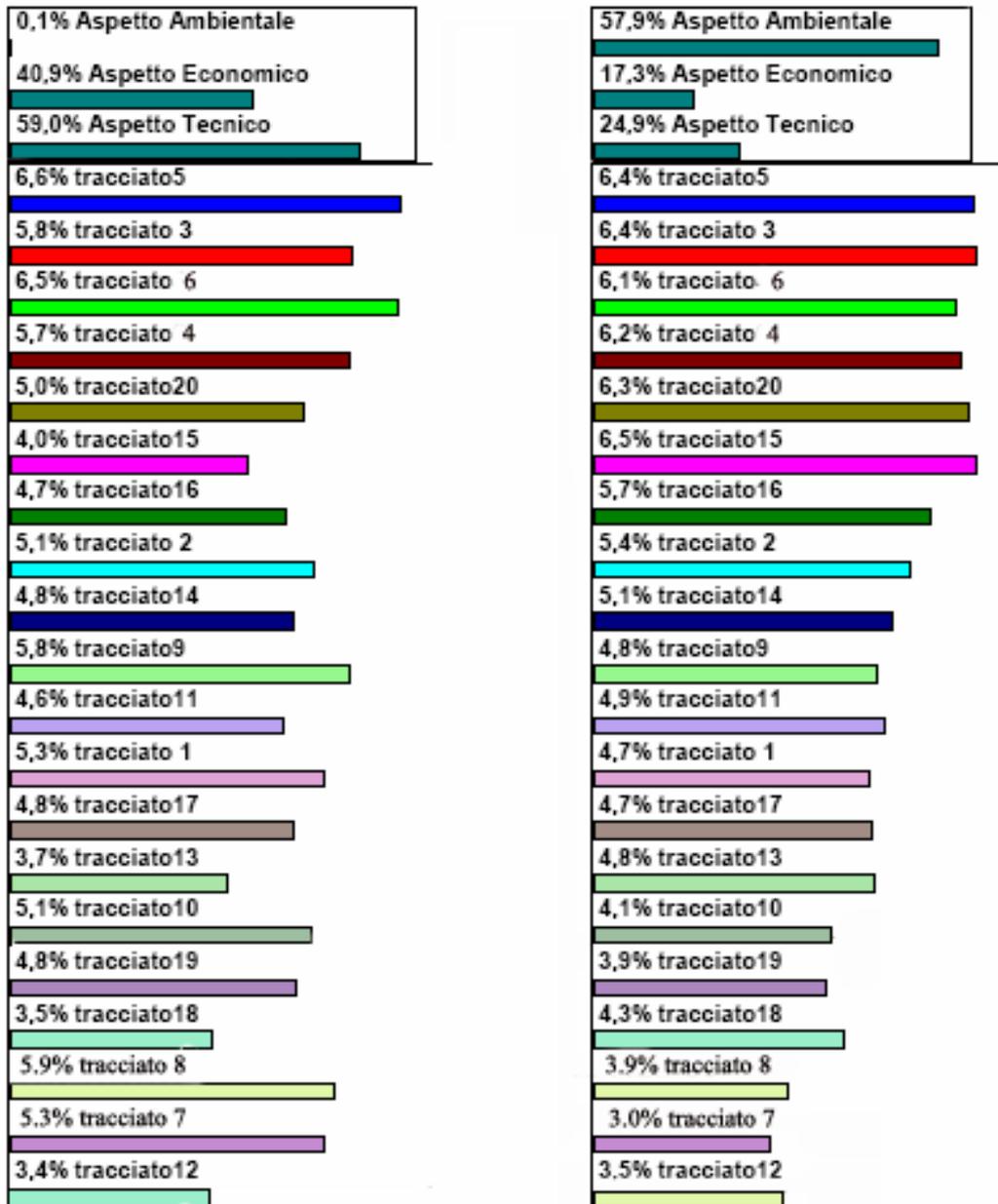


Figura. 9.1.8. – robustezza per il miglior tracciato secondo il criterio ambiente.

Il miglior tracciato rimane tale per un intervallo di variabilità del peso del criterio ambiente che va dallo 0,0% al 57,9%.

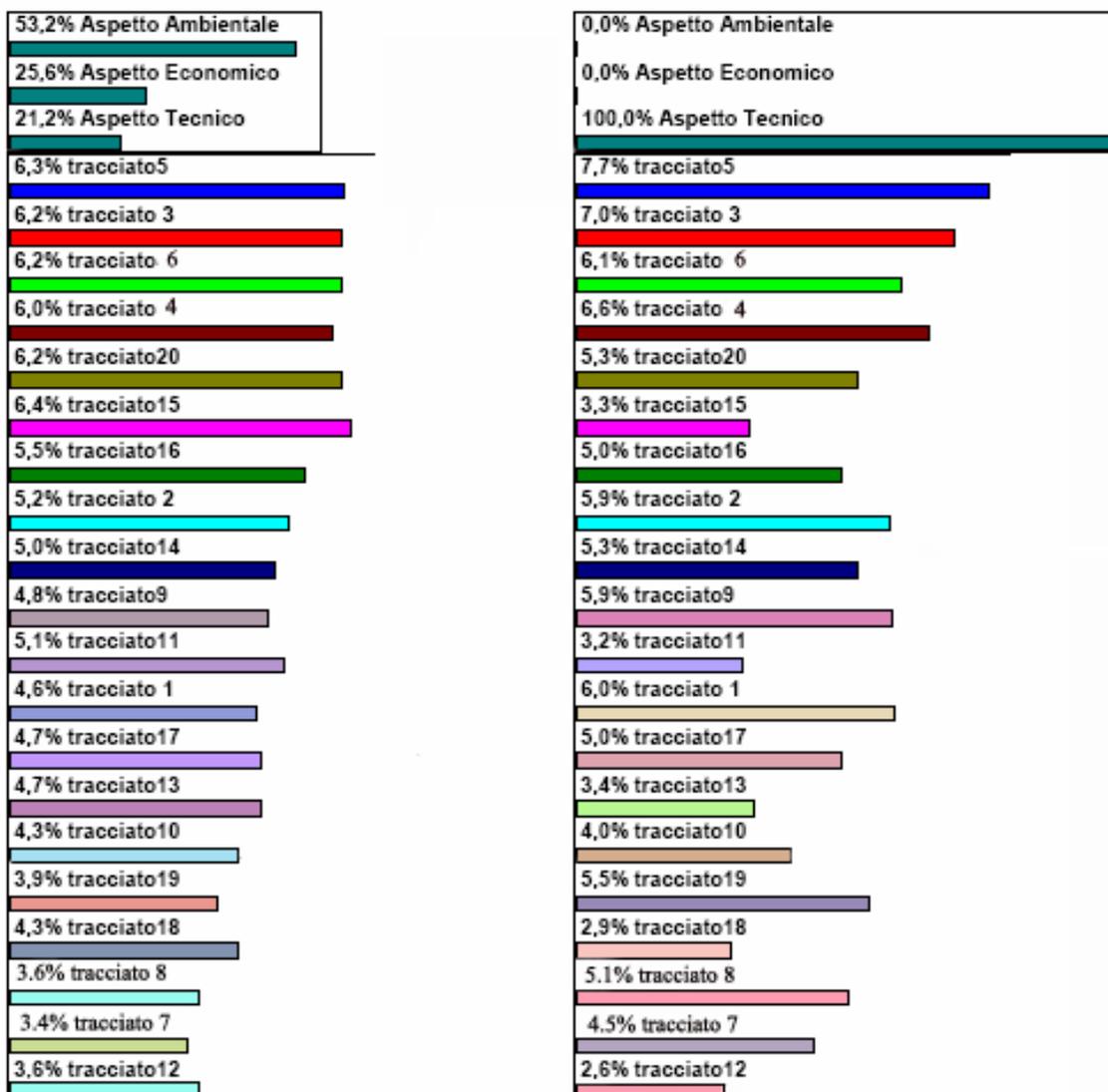


Figura 9.1.9– robustezza per il miglior tracciato secondo il criterio tecnico.

Il miglior tracciato rimane tale per un intervallo di variabilità del peso del criterio tecnico che va dallo 21,2% al 100%.

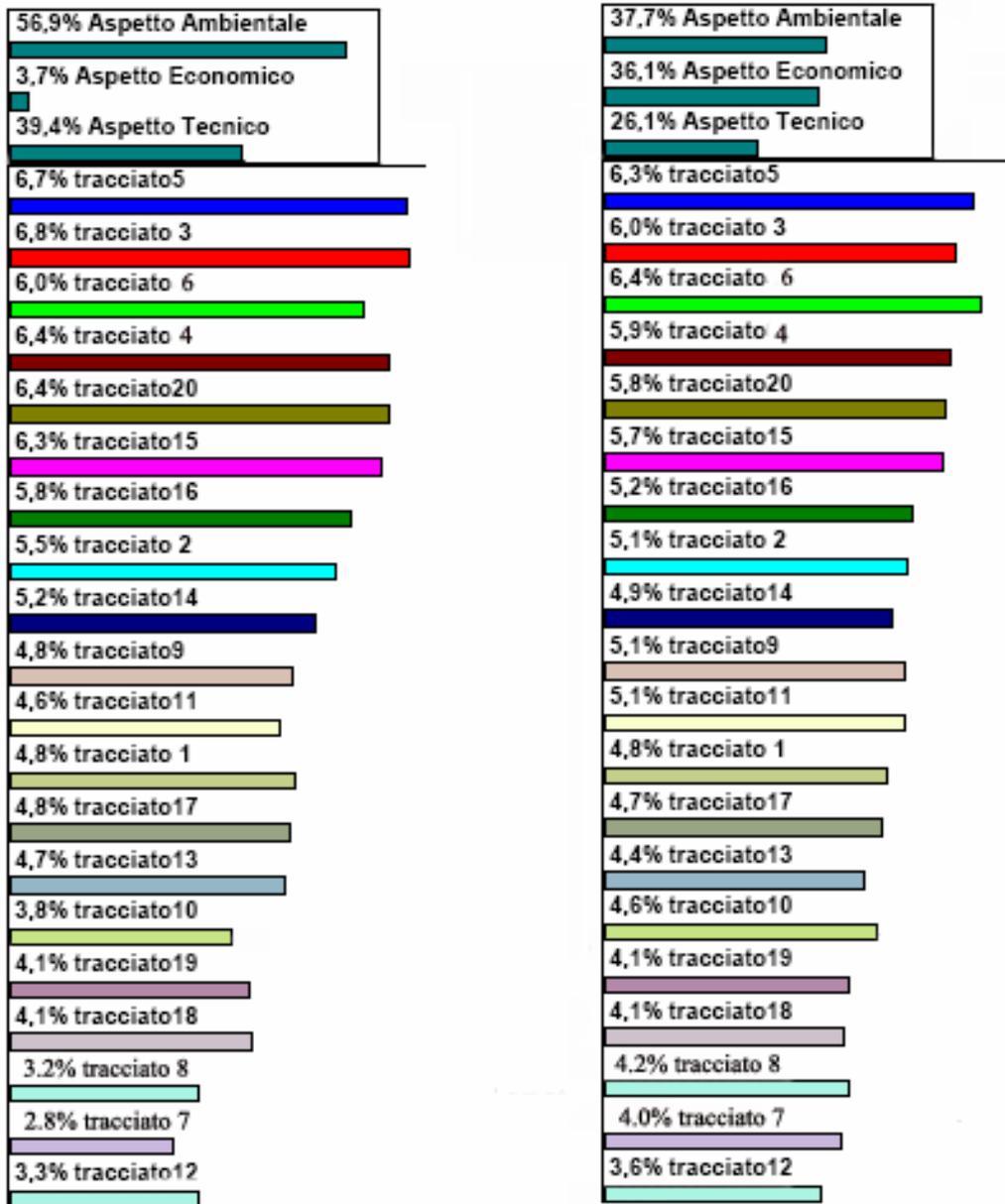


Figura 9.1.10. – robustezza per il miglior tracciato secondo il criterio economico.

Il miglior tracciato rimane tale per un intervallo di variabilità del peso del criterio economico che va dallo 3,7% al 36,1%.

## **CONCLUSIONI**

Il lavoro svolto nel corso della presente tesi, ha consentito di sviluppare una metodologia di analisi per la valutazione delle diverse alternative di tracciato stradale e ferroviario. In particolare il presente lavoro si configura come un utile strumento di supporto alle decisioni in aggiunta alle tecniche usuali adoperate per la redazione degli studi di fattibilità, ovvero a quelle dedicate alla problematica di valutazione ambientale.

Le tecniche multicriteriali su cui si basa l'analisi del Valore quali: l' AHP ed Electre, hanno, in tal senso, consentito, seppur in modo differente, di individuare un ordinamento tra la rosa di alternative proposte; sulla base di criteri e parametri rappresentativi dei potenziali impatti indotti dall'infrastruttura sulle componenti ambientali, antropiche ed economiche.

Come riscontrato dai risultati i due metodi conducono ad ordinamenti simili, anche se non coincidenti per la maggior parte delle posizioni, ed in particolare si registra una coincidenza nella determinazione del miglior tracciato.

Le aspettative iniziali e le positive sensazioni riscontrate durante l'intero lavoro sono risultate soddisfatte dai risultati ottenuti e delle possibilità di sviluppo, che si pensa, tale modello possa avere.

Si ritiene infatti, che tali metodi, oltre ad essere un valido supporto nei processi di decisione, possano in futuro, e con opportuni adattamenti, essere utilizzati anche come tecniche di supporto alla progettazione diretta della migliore alternativa.

## **RINGRAZIAMENTI**

E' un piacere ringraziare le numerose persone che mi hanno incoraggiato durante questi anni di studio, in particolare il Prof. Ing. Renato Lamberti per i suoi consigli e la costante attenzione posta alla mia attività di ricerca, nonché per avermi trasmesso un approccio metodologico pieno di idee e senso critico.

I miei ringraziamenti, inoltre al Prof. Roy WoodHead dell'Università di Oxford e vicepresidente della SAVE, a Gorge Hunter VA Manager della Caltrans ed al Prof. Pasquale Erto, al Prof. P.Luigi Maffei, per la collaborazione fornitami durante il lavoro di tesi. Ringrazio, altresì, l'Ing. Gianluca Dell'Acqua, l'Ing. Iginio Cianciarelli e l'Ing. Salvatore Summonte per l'attenzione e la disponibilità fornitami durante il lavoro.