

# La teoria di Saaty e l'applicazione sul Tirreno-Brennero

Valeria Sabia<sup>1</sup> and IRMA FACCENDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Affiliation not available

## Abstract

L' ANALYTIC HIERARCHY PROCESS, nasce dal matematico Thomas Saaty, negli anni Settanta per organizzare ed analizzare decisioni complesse.

La metodologia consente di confrontare più alternative in relazione ad una pluralità di criteri, di tipo quantitativo o qualitativo, e ricavare una valutazione globale per ciascuna di esse. Ciò permette di: ordinare le alternative secondo un asse di preferenza, selezionare l'alternativa globalmente migliore e assegnare le alternative a sottoinsiemi predefiniti.

I punti di forza principali sono il confronto a coppie delle alternative decisionali e la separazione fra importanza del criterio e impatto sulla decisione.

Il metodo è basato su una scala di comparazione, suddivisa in nove livelli, la cui base teorica è data dal teorema di Perron-Frobenius.

Riportiamo a seguire la documentazione relativa alla realizzazione del corridoio Tirreno -Brennero sul quale è stato applicato il metodo AHP, relativamente al confronto dei diversi corridoi stradali e la successiva scelta di quello a minimo impatto ambientale.

## Analytic Hierarchy Process

AHP è l' acronimo di:

- **(Analytic) Analitico:** separazione di un qualunque problema, in elementi costituenti fondamentali.
- **(Hierarchy) Gerarchia:** decomposizione dettagliata del problema: la decisione viene scomposta in tre livelli.
- **(Process) Processo:** una serie di azioni che conducono ad un risultato finale.

L'analisi è composta da tre parti: il problema (goal) che si sta cercando di risolvere, tutte le possibili soluzioni (alternative) e i criteri su cui si giudicheranno quest' ultime. <sup>1</sup>

Data la rilevanza della problematica di comparazione, il teorema dell'AHP è accompagnato da una scala ad-hoc, strutturata su nove livelli di giudizio, che permette di rendere le decisioni maggiormente consistenti e lineari. <sup>2</sup>

### **L'AHP trova una delle sue basi teoriche in uno specifico teorema [Perron-Frobenius](#)**

Se  $A$ , è una matrice non negativa primitiva e indecomponibile (cioè, con tutti gli elementi maggiori o uguali a zero) allora:

- L'autovalore di modulo massimo della matrice  $A$ , è reale e positivo;
- L' autovettore corrispondente ha tutte le componenti positive. <sup>3</sup>

Nella teoria dell'AHP si usa su una matrice di confronti fra coppie di possibili decisioni: poichè  $A$  è a componenti strettamente positive, esiste un autovettore  $w$  che si usa per ordinare le alternative del decisore, ottenendone così una classifica. <sup>4</sup>

Consideriamo le alternative  $A_1, A_2, A_3$  e supponendo di avere un criterio di merito che genera il vettore  $w = (8, 4, 1)$ . Questo significa che secondo il nostro criterio gradiamo  $A_1$  con intensità 8,  $A_2$  con intensità 4 e  $A_3$  con intensità 1. <sup>5</sup> Se si è coerenti nell'applicazione dei punteggi contenuti in  $w$  potete facilmente confrontare le alternative a due a due: ad esempio  $A_1$  è 2 volte preferibile ad  $A_2$  ( $8/4=2$ ) e il decisore gradisce  $A_3$  un quarto di quello che gradisce  $A_2$ , giungendo così alla

matrice A.

Il legame tra la matrice e il vettore, è dato dal prodotto  $Aw$ .

Nel nostro caso è pari a 3 e rappresenta il numero di alternative presenti.

A seconda della metodologia utilizzata per il calcolo dell'autovettore, può essere necessario effettuare una normalizzazione del vettore al fine di ottenere una classifica definitiva, rappresentata dal vettore  $nw$  <sup>6</sup>:

La valutazione della consistenza del decisore, per ognuna delle matrici elaborate, si può ottenere tramite uno specifico indice, il CONSISTENCY INDEX .

Si tratta di un valore che è nullo per decisori perfettamente consistenti e cresce all'aumentare delle contraddizioni nelle valutazioni: di conseguenza, più basso è e meglio è. <sup>7</sup> Più precisamente, è un indice, che misura l'inconsistenza decisionale, a tal proposito, un decisore consistente ha un indice CI, che non supera il 10% del valore di inconsistenza casuale. <sup>8</sup>

## **IL CASO STUDIO: IL CORRIDOIO TIRRENO BRENNERO**

La progettazione delle opere di completamento del corridoio autostradale Tirreno – Brennero (Ti. Bre.) risulta di fondamentale importanza per lo sviluppo del sistema infrastrutturale italiano in quanto consente di realizzare il collegamento tra la A22 “del Brennero” e la A12 “Genova – Rosignano”. Il progetto del Ti.Bre. si inserisce all'interno del progetto europeo di realizzazione del Corridoio 5, l'asse di collegamento Ovest-Est. <sup>9</sup>

Sono state presentate diverse soluzioni progettuali:

- Tracciato alto: prevede il completamento dell'A15 della Cisa con una bretella autostradale

di circa 80 km che collega Parma con Verona;

- Tracciato basso: prevede il collegamento dell’A15 con Mantova tramite una bretella autostradale. Tale soluzione è stata scartata a vantaggio del Tracciato alto;
- Autostrada Lucca - Modena: prevede il collegamento diretto tra l’Alto Tirreno e la A22 del Brennero con un raccordo autostradale di 80 km, metà dei quali realizzati in galleria; per tale motivo questo progetto trova opposizioni ambientali.

Allo scopo di costruire una mappa di sensibilità territoriale atta ad individuare le porzioni di territorio che, sulla base dei criteri e degli attributi considerati, meglio si prestano ad accogliere la nuova infrastruttura viene applicato l’AHP. <sup>10</sup>

Sono stati individuati tre criteri principali: “acqua”, “suolo e sottosuolo”, “paesaggio”.

Vengono considerati anche alcuni vincoli escludenti che individuano le porzioni di territorio ad altissima sensibilità ambientale e quindi meno idonee al passaggio della infrastruttura.

Una volta definiti i grid relativi agli attributi della struttura gerarchica è necessario procedere alla ricomposizione gerarchica per ottenere le mappe di sensibilità territoriale rispetto ai criteri: esse sono ottenute come combinazione lineare di quelle degli attributi dove i coefficienti sono rappresentativi del peso. <sup>11</sup>

L’assegnazione dei pesi dei quattro attributi rispetto al criterio “Acqua” viene effettuata attraverso il metodo dei confronti a coppie, costruendo una matrice di rango 4 i cui elementi sono computati in base alla scala semantica di Saaty, di cui deve essere verificata la consistenza imponendo che il rapporto di consistenza CR non superi una soglia convenzionale del 10%. Nel caso in esame la matrice dei confronti a coppie, il calcolo dei pesi cui corrisponde un valore di consistenza CR pari a 0,009.

Per ottenere la mappa di sensibilità finale è necessario assegnare ai tre criteri un peso rappresentativo della sua importanza rispetto all’obiettivo ed effettuare poi una combinazione lineare fra i

corrispondenti strati informativi geografici, sovrapponendo poi i fattori escludenti che eliminano le aree dove il tracciato non può passare.

La parte finale dell'analisi consiste nel definire i diversi scenari di valutazione e ne sono stati identificati quattro:

- **Equilibrato:** viene attribuita la stessa importanza a tutti gli elementi della gerarchia;
- **Protezione suolo:** viene attribuita maggiore importanza a tutti gli attributi connessi al criterio suolo;
- **Protezione risorse idriche:** viene attribuita maggiore importanza al criterio acqua ed alla protezione della risorsa idrica superficiale e sotterranea;
- **Protezione del paesaggio:** viene attribuita maggiore importanza agli attributi connessi alla protezione della tipicità dei luoghi.

Dall'analisi dei diversi scenari di sensibilità ambientale è possibile confrontare l'andamento planimetrico dei quattro corridoi di minima sensibilità ognuno corrispondente ad uno specifico scenario. <sup>12</sup>

## **CONCLUSIONI**

Dal confronto, ben tre tracciati su quattro tendono a coincidere per buona parte del loro sviluppo, distanziandosi solo in alcune zone dell'area di studio in cui si dovranno affrontare specifiche problematiche ambientali. L'unico scenario che porta alla definizione di un corridoio completamente diverso dagli altri è quello dipendente dal criterio "acqua": ciò dipende dal fatto che l'area di studio si caratterizza dalla presenza di ben due zone naturali tutelate a livello ambientale.

## References

1. Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).
2. *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*. (Springer International Publishing, 2020). doi:10.1007/978-3-030-13068-8.
3. Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).
4. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives — Request PDF.
5. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review — Global NEST Journal.
6. Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).
7. A Comparative and Critical Evaluation of Different Sampling Materials in the Measurement of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry — Chemical Engineering Transactions.
8. Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).
9. Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. A comparative approach to the variation of natural elements in Italian bottled waters according to the national and international standard limits. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 505–514 (2008).
10. Odour Impact Assessment in Industrial Areas — Chemical Engineering Transactions.

11. Photolysis of Mono- and Dichloramines in UV/Hydrogen Peroxide: Effects on 1,4-Dioxane Removal and Relevance in Water Reuse.

12. Armando COFRANCESCO Alessandra LAPUCCI, A. S. A. N. T. U. C. C. I. e. L'AIUTO ALLE DECISIONI MULTICRITERI E LE TECNICHE DI ANALISI SPAZIALE PER LA VALUTAZIONE TERRITORIALE INTEGRATA: L'INDIVIDUAZIONE DI UN CORRIDOIO STRADALE DI MINIMO IMPATTO.

# Figure Captions

Figure 1. Struttura Gerarchica

Figure 2. Matrice

Figure 3. Normalizzazione del vettore nw

Figure 4. Indice di Consistenza

# Figures

## STRUTTURA GERARCHICA

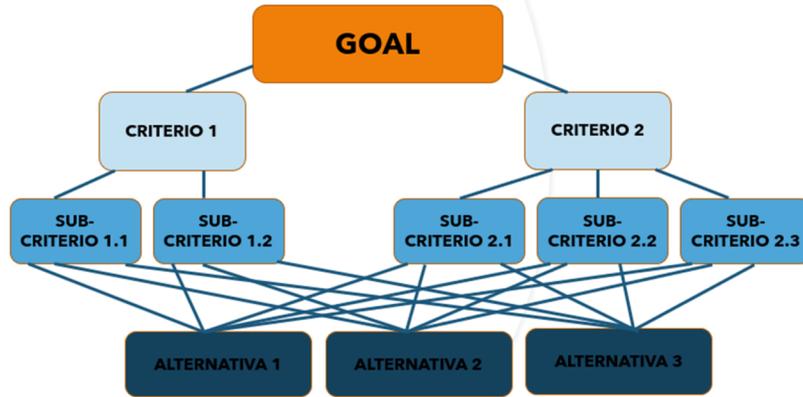


Figure 1: Struttura Gerarchica

$$Aw = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 8 \\ \frac{1}{2} & 1 & 4 \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = 3w$$

Figure 2: Matrice

$$nw = \frac{w}{\sum wi}$$

Figure 3: Normalizzazione del vettore nw

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Figure 4: Indice di Consistenza