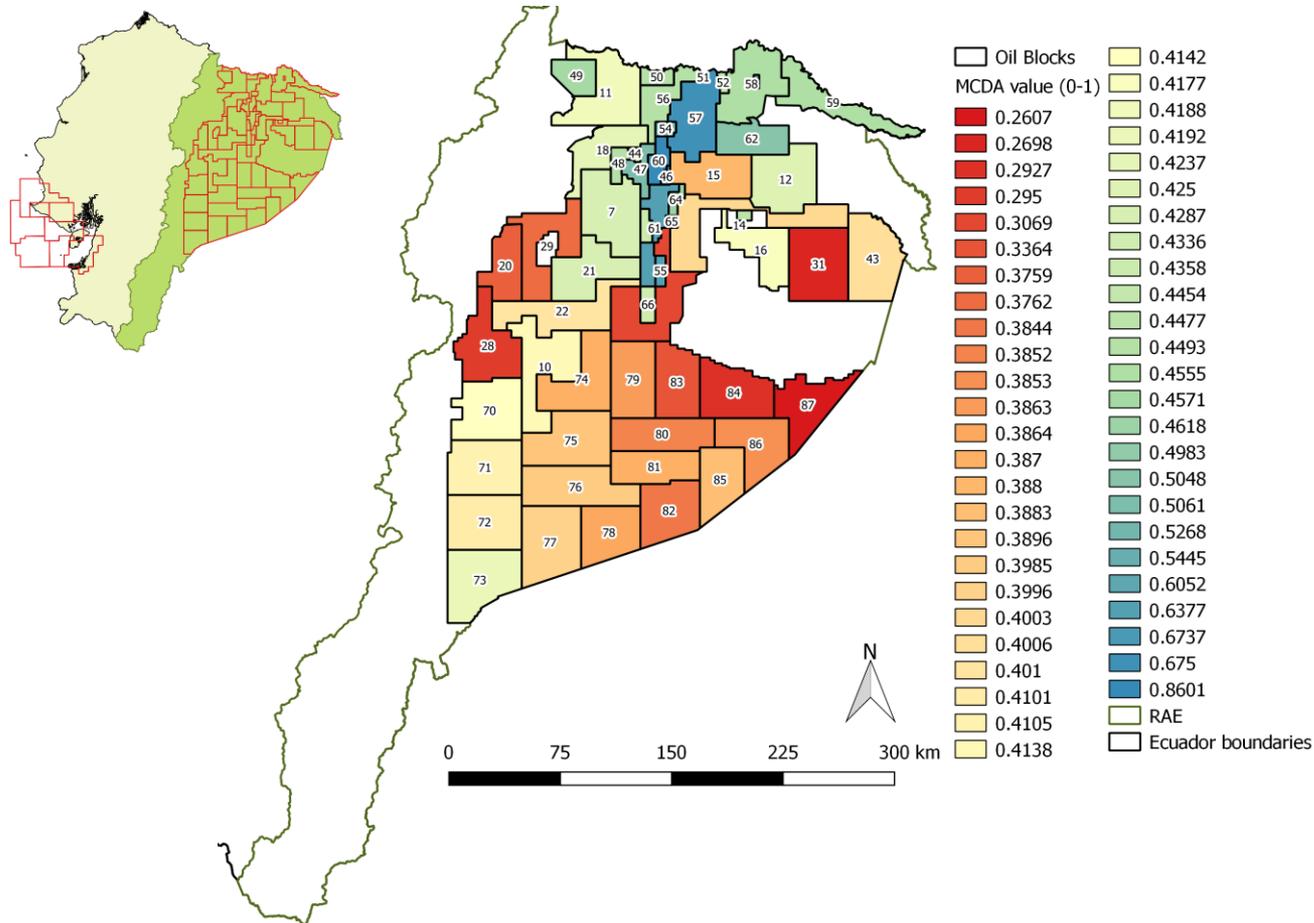


# L'Analisi Multi-criteriale Spaziale a supporto delle decisioni geografiche

## MCA, MCE, MCDA



Daniele Codato



Daniele.codato@unipd.it

1222-2022  
800  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Un processo multi-criteriale è la valutazione di un set di alternative sulla base di criteri conflittuali e incommensurabili in base alle preferenze dei decisori

L'analisi multicriteri MCDA (Multi Criteria Decision Aid) è una procedura di comparazione a criteri multipli che ha come scopo quello di contribuire allo sviluppo di un processo di apprendimento che alimenta lo stesso processo decisionale (Las Casas 1992)

I principali elementi di un problema decisionale multi-criteriale sono:

- I decisori (il decisore)
- L'obiettivo
- Le alternative o scenari
- I criteri decisionali

La procedura prevede alcuni passaggi:

- Individuazione e creazione dei criteri
- Normalizzazione dei criteri
- Pesatura e combinazione dei criteri
- Regole decisionali

### Analisi multicriteriale classica



Alternativa definita in generale da una **AZIONE**

### Analisi multicriteriale spaziale



Alternativa definita in generale da **UBICAZIONE** e **AZIONE**



Criteri definiti anche **SPAZIALMENTE**

Espressione del problema

$$DR \\ x \in X [f_1(x) \dots f_j(x)]$$

Risoluzioni di problemi:

- Choice
- Sorting
- Ranking

**Sia RASTER che VETTORIALE**

**MCDA** è uno strumento ampiamente utilizzato in ambito pubblico per i processi decisionali → combinazione di **criteri socio-economico-ambientali** (spazialmente espliciti)

I metodi di analisi multi-criterio supportano il decisore nella fase di organizzazione e sintesi di informazioni complesse e spesso di natura eterogenea

Tale metodologia permette al decisore di analizzare e valutare diverse alternative quando sono presenti numerosi criteri di decisione, valutando i pro e contro → migliore alternativa/e

Può beneficiare di strumenti di tipo informatico quali database, modelli matematici, GIS, etc.; tali sistemi di supporto prendono il nome di **Decision Support Systems** (strumenti di supporto alle decisioni) e facilitano il processo decisionale sulla base di criteri oggettivi quantificabili

Una caratteristica peculiare che un DSS deve avere, è la facilità di comprensione del risultato finale da parte di utenza non specialistica

**CRUCIALE** è la fase di **scelta dei criteri ed assegnazione dei pesi**, in quanto la pesatura dei criteri introduce un grado di soggettività nella fase di valutazione; la quale può essere tuttavia limitata se tale attribuzione avviene attraverso un **gruppo di esperti** (che non devono in alcun modo avere conflitti di interesse relativamente alla questione)  
e/o attraverso un **processo decisionale trasparente e partecipato**

**Il GIS introduce la dimensione geografica e spaziale per la definizione dei criteri nell'analisi**

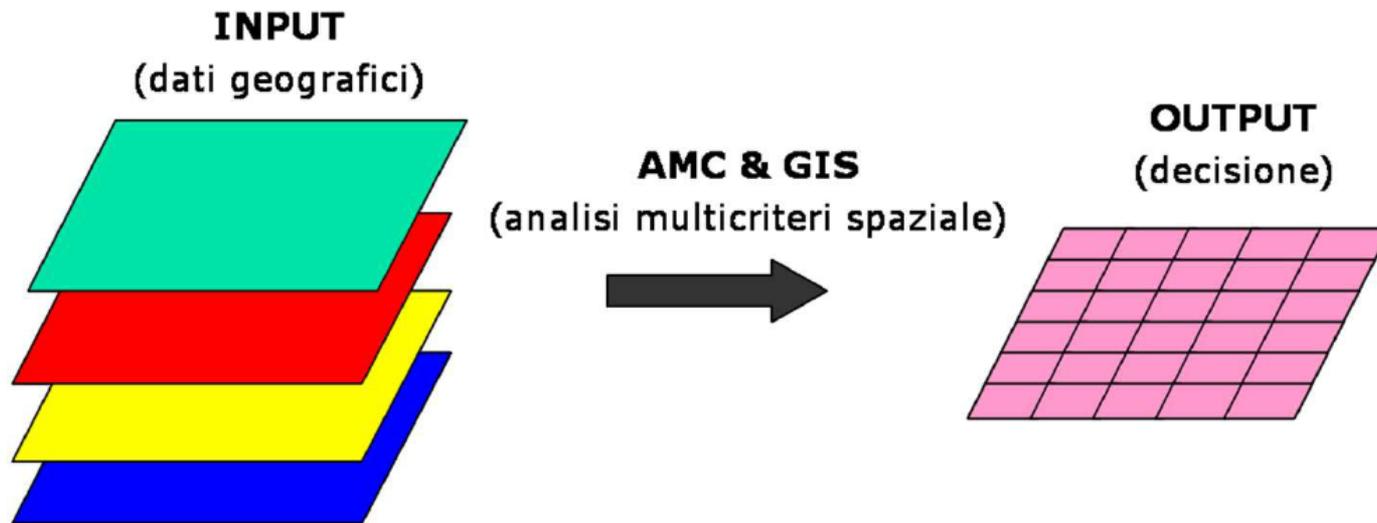
Usata oltre che per la **scelta tra alternative discrete definite a priori**, anche per **suitability analysis o Mapping**, ovvero per determinare l'area/aree di un territorio più idonee ad ospitare una certa attività/risorsa/specie animale o vegetale

# AMC SPAZIALE

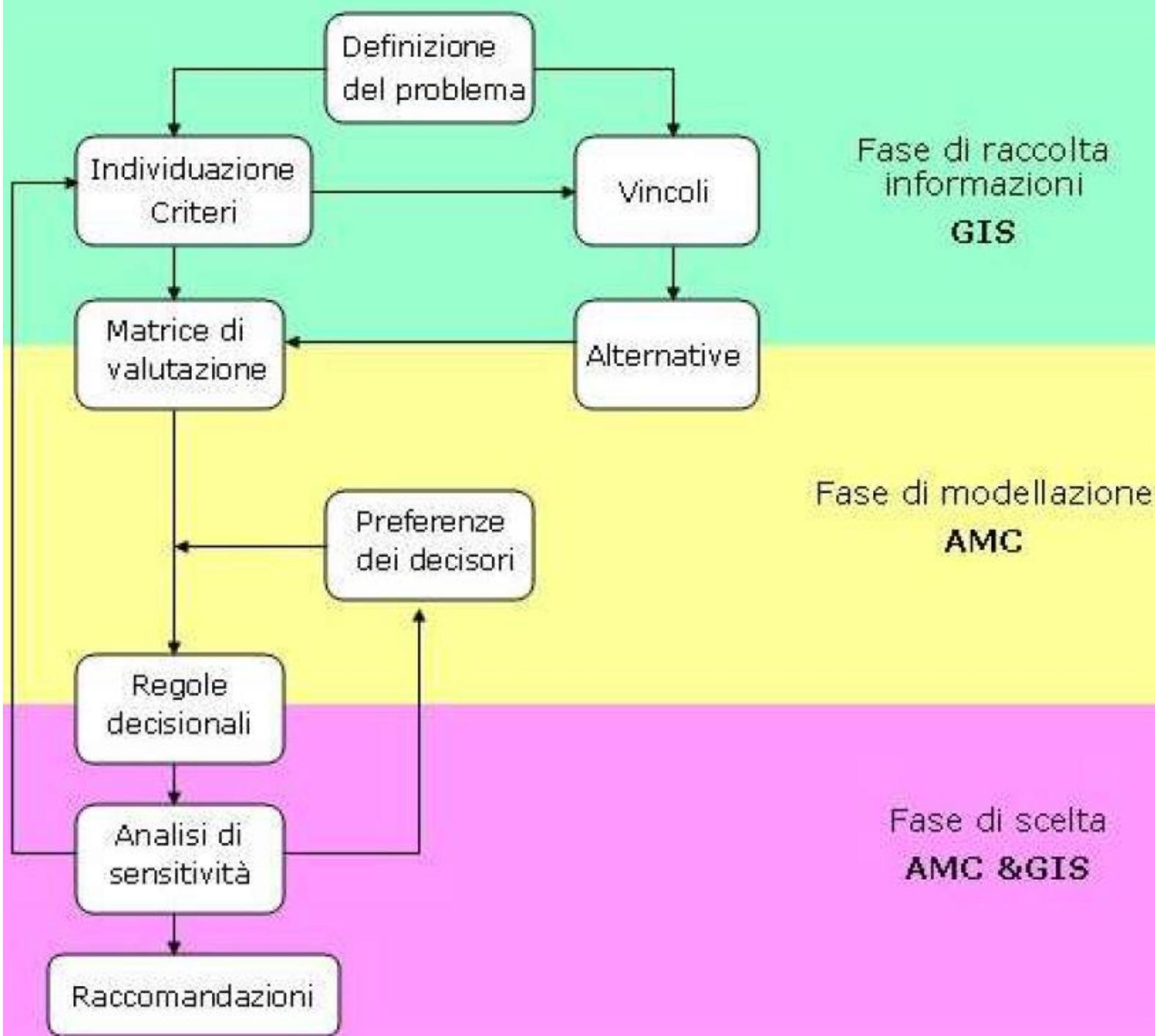
INSIEME DI ALTERNATIVE GEOGRAFICAMENTE DEFINITE

il risultato dell'analisi (**LA DECISIONE**) **DIPENDE ANCHE DALLA LORO DISTRIBUZIONE SPAZIALE.**

In termini GIS le alternative possono essere rappresentate attraverso una primitiva geometrica (punto, linea, arco, raster) a cui sono associati i **VALORI DEI CRITERI DI VALUTAZIONE CHE SONO MEMORIZZATI COME ATTRIBUTI ALFANUMERICI .**



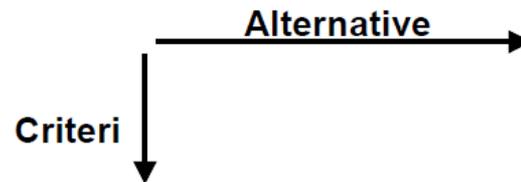
L'analisi a criteri multipli spaziale può essere pensata, quindi, come un processo che combina e trasforma i dati geografici di input in un output decisionale (Malczewski 1999).



- Esempio di matrice per una MCA spaziale con coordinate geografiche

Alternative, $A_i$	Criterion/attribute, $C_k$					Coordinates	
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$	$X$	$Y$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$	$x_1$	$y_1$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2n}$	$x_2$	$y_2$
$A_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	...	$a_{3n}$	$x_3$	$y_3$
...	...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	...	$a_{mn}$	$x_m$	$y_m$
Weight, $w_k$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_n$	$w_{ik}$	

- Attenzione nelle analisi multicriteriali non spaziali alternative e criteri sono disposti in maniera diversa



L'obiettivo è lo scopo che si intende raggiungere con l'attività svolta

L'alternativa si riferisce all'insieme di soluzioni che soddisfano l'obiettivo dichiarato:

- In un modello raster è ogni cella in cui è suddiviso un territorio in esame
- In un modello vettoriale è ciascun poligono/linea/punto presente sul territorio

I criteri sono gli elementi primari dell'analisi e la loro combinazione consentirà di valutare le varie alternative per l'obiettivo proposto, e possono dividersi in:

- Fattori: migliora o diminuisce l'idoneità di un'alternativa, quando si confrontano i risultati della misurazione del loro valore in ciascuna di esse
- Vincoli: restringono la possibilità di considerare un'alternativa, escludendola dall'analisi

## Omogeneizzazione criteri

La MCDA permette di combinare insieme criteri quantitativi e qualitativi, espressi in scale e unità di misura differenti

Essi però devono essere previamente **normalizzati o standardizzati** affinché possano essere combinati assieme (permette di combinare mele con pere)

Molto usati sono:

1. 
$$z = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Normalizzazione di tipo lineare: In questo modo tutti i dati vengono ridimensionati su un intervallo fisso, ad es tra 0 e 1, oppure su un altro intervallo inserendo il suo range:

$$x_i = \frac{(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} * \text{standardized\_range}$$

2. Riparametrizzazione (non lineare) dei valori continui o discreti con dei punteggi/in classi, assegnate arbitrariamente o secondo una certa funzione (rank), ad esempio da 1 a 5, impostando delle soglie tra un valore e l'altro

## Metodi di pesatura dei criteri (importanza relativa tra i criteri)

### Attribuzione diretta dei pesi

I Pesi sono attribuiti direttamente da un gruppo di esperti o durante un processo decisionale partecipato, tenendo conto che:

La somma dei pesi deve dare 1

Si può attribuire un peso da 1 a 10 (o da 1 a 100, ecc.) a ogni criterio e poi normalizzare sulla somma

**Nominal Group Process (NGP):** ogni attore ha 100 punti e li distribuisce fra i vari criteri, poi si normalizza

**Metodo ordinale (variante dei metodi Borda, Malczewski e Rinner, 2015):** ogni attore ordina i criteri in una scala ordinale e peso viene attribuito secondo posizione criterio

$$B = \frac{N - P + 1}{\sum_{i=1}^N 1+2+3+n}$$

P= posizione criterio nella scala ordinale  
N= numero criteri in scala ordinale

### Metodo Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1980)

I Pesi vengono attribuiti tramite un confronto a coppie.

## Diversi metodi (in letteratura) per condurre le analisi multi-criterio (metodi di aggregazione dei criteri pesati secondo una certa regola)...

AHP, ELECTRE, PROMETHEE, ecc...

### Metodo della somma pesata (Weighted Sum) (Fishburn, 1967)

- Principio base: la prestazione dell'alternativa è uguale alla somma delle prestazioni dei criteri
- Soddisfare le seguenti equazioni:

$$\text{punteggio } A_{WSM}^* = \max_i \sum_{j=1}^m a_{ij} w_j \text{ per criteri di beneficio}$$

$$\text{punteggio } A_{WSM}^* = \min_i \sum_{j=1}^m a_{ij} w_j \text{ per criteri di costo}$$

# Metodo Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (Hwang e Yoon, 1981)

Il metodo TOPSIS standard tenta di scegliere alternative che contemporaneamente

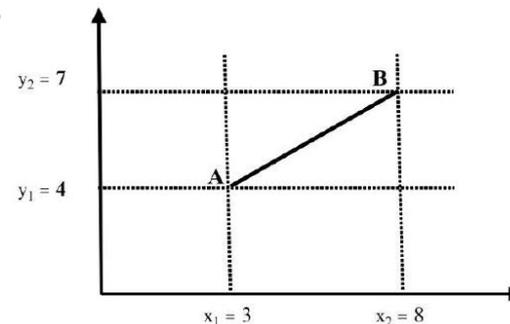
- Abbiano la distanza più breve dalla soluzione ideale positiva
- E la distanza più lontana dalla soluzione ideale negativa
- La soluzione ideale positiva massimizza i criteri di beneficio e minimizza i criteri di costo
- La soluzione ideale negativa massimizza i criteri di costo e minimizza i criteri di beneficio

Steps:

1. Costruire la matrice di decisione normalizzata
2. Costruire la matrice di decisione normalizzata ponderata
3. Determinare le soluzioni ideali positive e negative
4. Calcolare le misure di separazione per ogni alternativa
5. Calcolare le vicinanze relative alla soluzione ideale

CI (Closeness Index) =  $(R_-) / (R_+ + R_-)$   $0 < CI < 1$

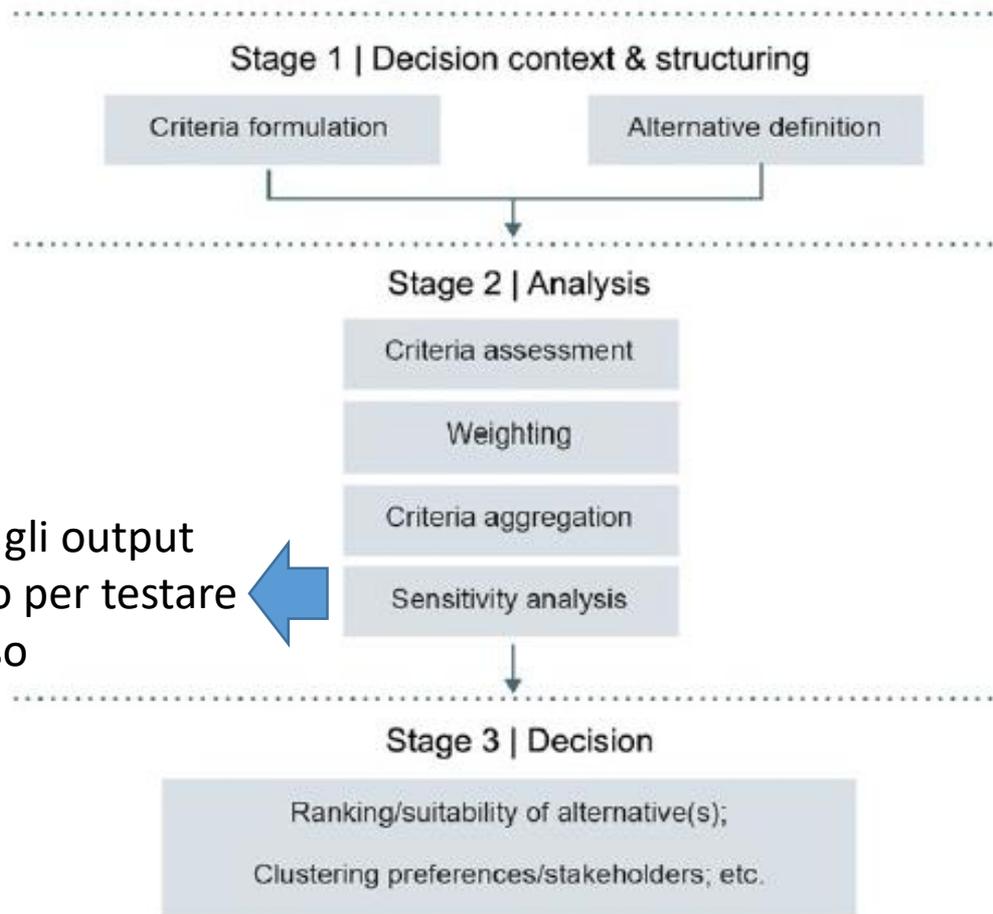
Selezionare l'alternativa con CI più prossimo a 1



$$\begin{aligned} \text{Distance AB} &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ &= \sqrt{(8 - 3)^2 + (7 - 4)^2} \\ &= 5.83. \end{aligned}$$

Principio base: la migliore alternativa è situata alla minor distanza dall'alternativa ideale e alla maggior distanza da quella ideale-negativa

## MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS PROCESS



**FIGURE 1** A generalized scheme of the main steps of a multicriteria decision analysis approach (based on Kiker et al., 2005; Geneletti & Ferretti, 2015)

Esplora le relazioni tra gli output e gli input del processo per testare robustezza del processo

Slide credits:  
Codato Daniele  
Masetto C., Approccio multicriterio per la valutazione degli effetti della tempesta Vaia, tesi Master GIScience e SPR aa 2018-2019  
Scantamburlo N., Valutazione ambientale e GIScience: analisi multicriteriale spaziale e applicazione Al caso di studio «Razionalizzazione della rete elettrica nell'area di Trento», tesi Master GIScience e SPR aa 2016-2017  
De Marchi M., Analisi Multicriteriale GIS, slides corso Participatory GIS e metodologie della decisione pubblica inclusiva, Master GIScience e SPR  
Santini L., L'analisi multicriteri, Università di Pisa