



Analisi MultiCriteriale

Claudio Fagarazzi



La valutazione dei progetti

- L'aumento dell'importanza delle **risorse naturali** e ambientali hanno portato alla necessità di **metodi per la valutazione dell'efficacia di progetti** ed interventi che implicino l'uso di risorse naturali. Le direzioni di ricerca sono due:
 - **Metodi monetari**: basati sui principi dell'economia del benessere: **Analisi Costi Benefici**
 - **Metodi non monetari**, basati sulla teoria delle decisioni e su modelli specifici di molte discipline: **Analisi MultiCriteriale**



Campo di applicazione

(*cfr.* Nijkamp e Voogd, 1989)

- Le due linee metodologiche presentano pregi e limiti che ne rendono complementare il campo di applicazione.
 - l'**Acb** viene prevalentemente applicata alla valutazione di progetti finalizzati al miglioramento di un preciso servizio ambientale.
 - I metodi di **Amc** trovano le due principali linee operative nella **Valutazione di Impatto Ambientale** e nella **pianificazione territoriale**.



Fasi dell'AMC applicata al settore pianificatorio - 1

- Fase informativa
 - **Individuazione dei criteri** di pianificazione (es. funzioni)
 - **Individuazione delle azioni** (alternative) di pianificazione
 - **Individuazione degli indici** di valutazione
 - **Valutazione delle potenzialità attuali e dei possibili mutamenti** indotti dalle alternative di pianificazione



Fasi dell'AMC - 2

- Fase decisionale

- Individuazione del decisore o dei gruppi decisionali interessati
- Valutazione, per ogni gruppo decisionale, delle aspettative (preferenze rispetto a ciascun obiettivo, vincoli irrinunciabili, ecc.)
- Ricerca del **compromesso ottimale**
 - Tecnicamente:
 - Costruzione del modello di AMC
 - Individuazione del metodo di soluzione più appropriato



Fase informativa

Individuazione dei criteri

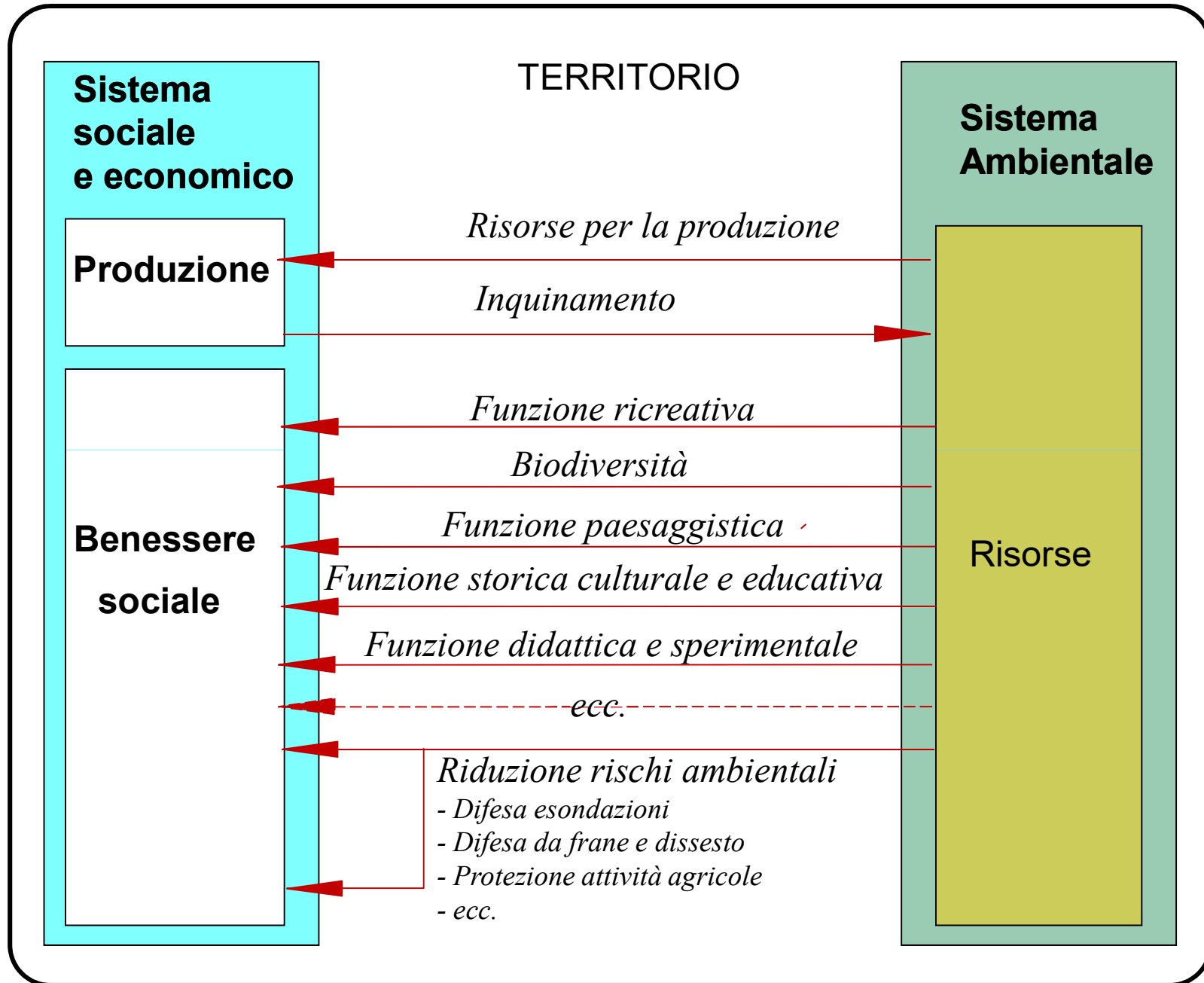
Il criterio generale a cui generalmente si ispira la pianificazione territoriale è rappresentato dallo **sviluppo sostenibile e multifunzionale del sistema ambientale**.
Risulta evidente perciò come, per **identificare le diverse funzioni**, sia necessario definire l'ambito generale in cui tali funzioni si esplicano: **il concetto di ambiente**

Il concetto di ambiente funzionale alla nostra trattazione..



- sistema di interscambio fra attività umane e risorse dell'ambiente naturale in un ambito territoriale dato
 - definito dall'esistenza di soggetti economici e sociali pubblici o privati
 - percorso da strategie riguardanti l'uso delle risorse, da conflitti originatesi dalla limitatezza delle risorse stesse
 - strutturato da norme che regolano i rapporti intersoggettivi (Bresso Russo e Zeppetella, 1985)

Il concetto di ambiente funzionale alla nostra trattazione..



Fase informativa

Individuazione delle (azioni) alternative di pianificazione

- Le azioni di pianificazione possono essere di tre tipi:
 - Prescrittive (vincolistiche) = zonizzazioni
 - Indirettamente prescrittive = finanziati i cambi uso del suolo es. 1990/2050
 - Direttamente prescrittive = vincoli parco, vincoli paesaggistici, etc.

Fase informativa

Individuazione degli indici di valutazione

Il carattere comune di tutti i metodi di Analisi Multicriteriale è l'abbandono del metro monetario unico, sostituito dall'impiego di indicatori specifici nella misurazione degli effetti:

- Fisici
- Ecologici
- sociali ed economici

... di un dato indirizzo gestionale nell'uso del territorio.



Costruzione di un indice

- Individuazione sintetico-intuitiva del criterio di pianificazione da sottoporre ad analisi;
 - Univocamente accettata: p.e. capacità di produrre reddito, erosione, capacità di produrre occupazione: **Indici Tecnici**
 - Vaga, equivoca: p.e. valore paesaggistico, valore naturalistico di un territorio: **Indici complessi, logici, a punteggio, sfocati, sistemi esperti, neuronali, ecc.**

Alcuni esempi:

Il metodo del Soil Conservation services

La capacità di ritenuta idrica dei suoli

Dal momento che una delle principali cause del dissesto idrogeologico è rappresentata dalla carente regimazione dei deflussi idrici, come indicatore del rischio per tale fenomeno è stata impiegata la capacità di ritenzione idrica del suolo.



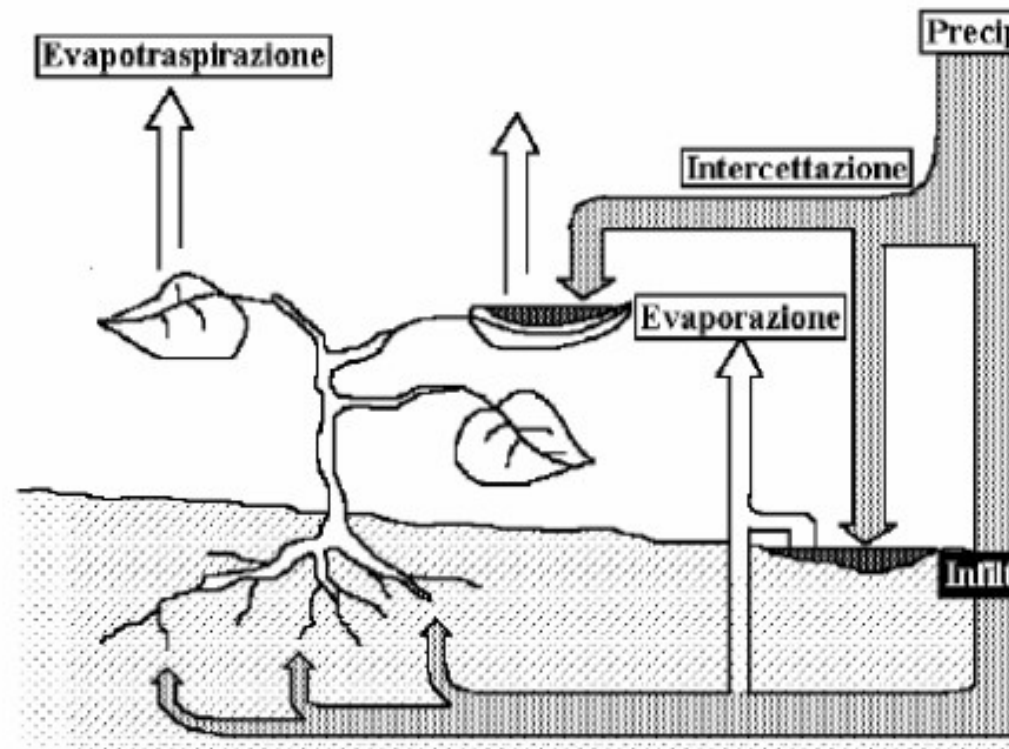
Segue SCS

La metodologia è detta *SCS Curve Number Procedure* consente la stima della capacità di deflusso superficiale di un suolo sulla base dell'afflusso (precipitazioni) e di un parametro, Chiamato **CN** compreso fra 1 e 100, determinato in base a:

- uso del suolo
- lavorazioni
- tipo di suolo: struttura, tessitura e permeabilità

Esempio CN

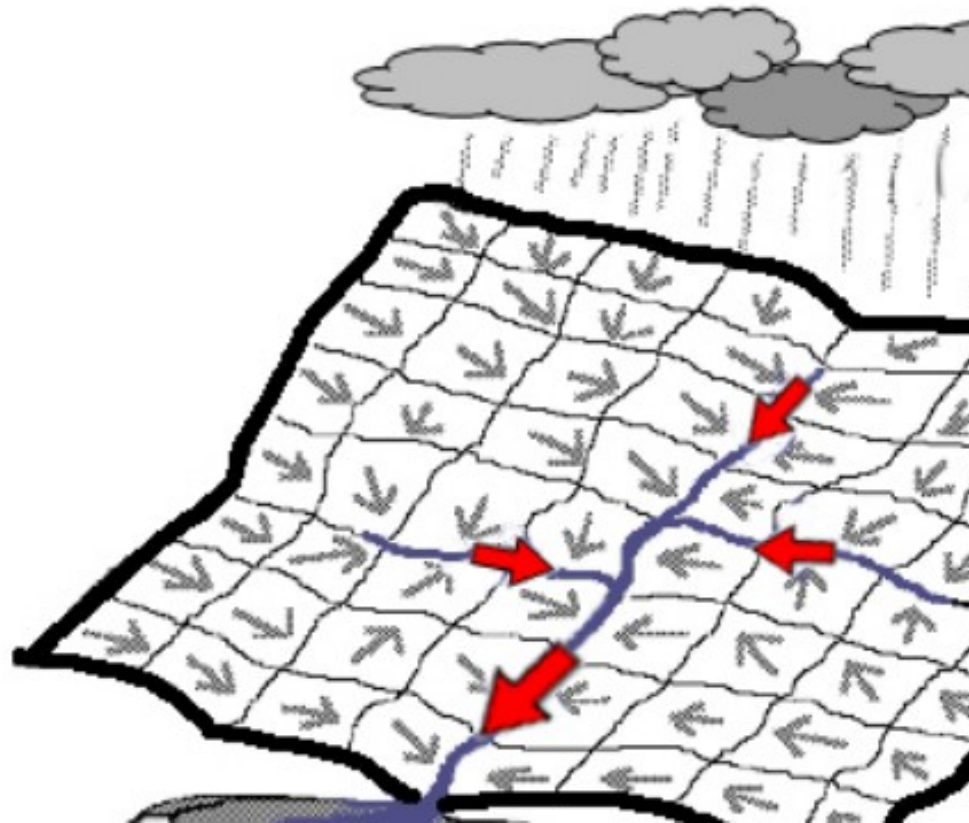
o nei pressi della stessa. L'acqua è infatti assimilabile dove l'afflusso si trasforma istantaneamente in deflusso.



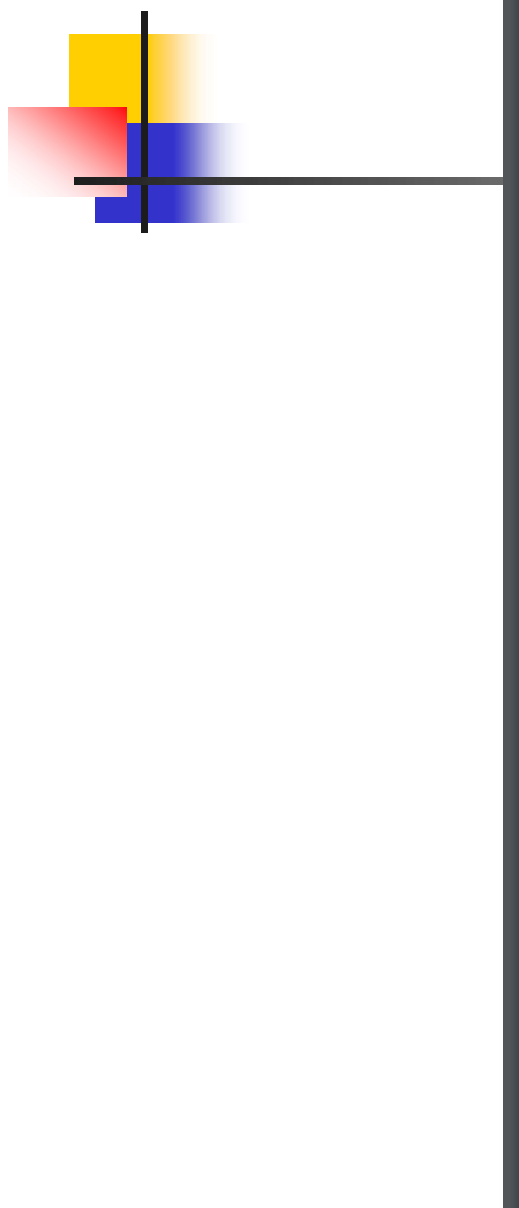


Esempio CN

temporaneo.



Es valori di CN



Valori di “Curve Number (CN)” in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo e del tipo di suolo

Tipologie di uso del suolo	Tipo di suolo		
	A	B	C
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88
Pascoli	39-68	61-79	74-86
Prati	30	58	71
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70
Aree a parco e di fruizione ricreativa:			
- con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74
- con copertura erbacea dal 50 al 75%	49	69	79
Aree commerciali (impermeabili per il 185%)	89	92	94
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91
Aree residenziali con percentuale media impermeabile:			
65%	77	85	90
38%	61	75	83
30%	57	72	81



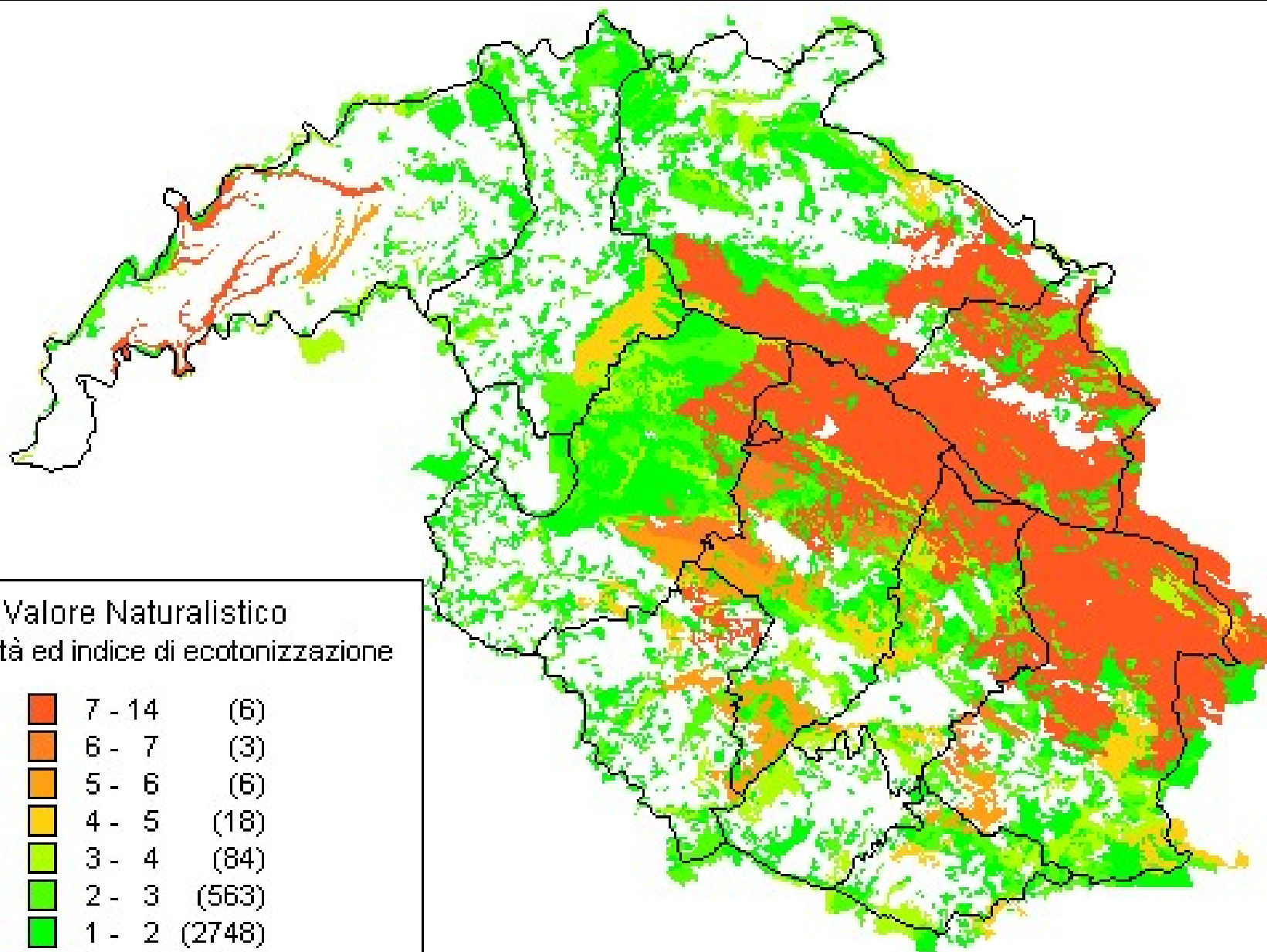
Valore naturalistico

- Alcuni approcci:
 - Rarità:
 - Indice Helliwell: $R = SI \times A^{0,36}$
 - Punteggio Gehlbach:
 - 1 specie alla periferia dell'areale
 - 2 specie endemiche
 - 3 specie minacciate



Segue Valore Naturalistico

- (Bio)diversità
 - Indici di biodiversità (Shannon, ecc.)
 - Approcci fitosociologici
 - Curve specie area
 - Gap Analysis
- Ecologia del paesaggio
- Sensibilità
 - Aree oggetto di riqualificazione ecologica
 - Aree con specie di elevata importanza
 - Aree importanti per lo spostamento della fauna
 - Aree ad alta diversità ecologica e specifica
 - Aree sottoposte a specifici provvedimenti di tutela





Il paesaggio

- Metodi basati su approcci "storico-tipologici"
- Metodi di valutazione della qualità visiva
 - Aggregazione componenti paesistiche
 - East Hampshire
 - Piano West Midlands
 - Metodo preferenze visive
 - East Sussex
 - Daniel Boster (landscape esthetics)
 - Somma ponderata preferenze visive
 - Intervisibilità e tecniche di determinazione dell'area di influenza visiva



La fase decisionale

I modelli di Analisi MultiCriteriale

- Una volta individuati:
 - Criteri
 - Azioni (alternative di piano)
 - Effetti di ogni azione su ogni obiettivo per ciascuna componente territoriale
- E' possibile costruire un **modello di analisi Multicriteriale**



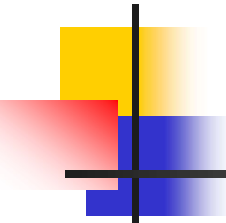
Modelli di analisi MultiCriteriale

- *Gli approcci seguiti sono riconducibili a tre filoni di ricerca:*
 - **individuazione della alternativa più soddisfacente** applicando metodi di **analisi multiattributo**;
 - Applicazione di tecniche MC tramite Sistemi Informativi Territoriali (**Modelli multicriteriali geografici**)
 - Costruzione di un modello matematico rappresentativo del territorio applicando nella soluzione metodi di **analisi multiobiettivi**.



I metodi Multiattributo: un po' di terminologia

- **Alternativa progettuale:** costituita da una combinazione data di possibili alternative tecniche, per esempio, una combinazione di possibili interventi selvicolturali, di dotazione di infrastrutture e di regolamentazioni.
- **Criteri:** per criteri si intendono le regole che guidano il processo decisionale.
- **Obbiettivi:** rappresentano la direzione (massimizzare o minimizzare) desiderabile per ogni criterio.
- **Attributo:** il livello raggiunto da una data alternativa progettuale per un dato criterio.



Metodi multiattributo

Un esempio (quasi reale)

- Problema:
 - Indirizzi di gestione di una proprietà forestale pubblica
- Superficie 4.969 ettari



Alternative

- **A1 Parco turistico naturalistico**
 - Superficie forestale gestita con criteri che tengano conto sia della protezione naturalistica che turistica
 - Costruzione di 7 aree di sosta attrezzate
 - 3 fabbricati destinati a museo o esposizioni tematiche
 - Costruzione di 4 itinerari tematici naturalistici
 - Costo 1,2 milioni
 - Occupazione 15 UL



... segue alternative

- **A2 Riserva naturale e faunistica**

- Interventi sul bosco a carattere strettamente naturalistico
- Fruizione turistica su parte della proprietà a numero chiuso e su itinerari obbligati
- Fabbricati (3) destinati a foresteria per ricerca e didattica e a laboratorio
- Punti permanenti di avvistamento e studio della fauna
- 4 itinerari tematici
- Costo 1 milione
- Occupazione 10 UL



... segue alternative

- **A3 Azienda pilota per la valorizzazione della produzione forestale**
 - Interventi sui boschi finalizzati alla produzione legnosa sostenibile con l'ambiente
 - Attrezzature per la realizzazione dei tagli con tecniche a basso impatto ambientale
 - Laboratori e impianti specializzati per la valorizzazione di qualità del materiale di provenienza locale
 - Formazione professionale nell'artigianato del legno
 - Costo 1,5 milioni
 - Occupazione 23 UL



... segue alternative

- **A4 Azienda multifunzionale a prevalente produzione legnosa**
 - Simile all'alternativa di azienda produttiva pilota, ma parte dell'azienda (boschi e fabbricati) viene destinata all'uso turistico ricreativo
 - Gli investimenti in attrezzature d'avanguardia sono minori
 - Costo 0,7 milioni
 - Occupazione 12 UL



... segue alternative di piano

- **A5 Parco multifunzionale a prevalente funzione turistica**

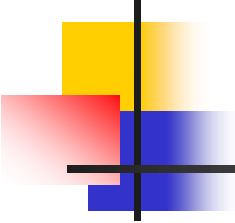
- Simile al parco turistico, ma con parte dei boschi lasciati alla utilizzazione produttiva e parte della proprietà alla protezione naturalistica
- Costo 0,810 milioni
- Occupazione 12 UL



... segue alternative di piano

- **A6 Parco multifunzionale**

- Rappresenta il minimo comune denominatore fra tutte le alternative.
- Parte dell'azienda a protezione, parte a produzione e parte a valorizzazione turistica
- Costo 0,4 milioni
- Occupazione 8 UL



Individuazione Criteri/(funzioni)

- Economico (produzione legnosa)
- Habitat per la fauna selvatica (produzione alimentare asportabile)
- Servizi sociali (numero annuo di visite)
- Occupazionale (giornate di lavoro annue)



Individuazione degli attributi

		Obbiettivi			
		Produzione	Fauna	Ricreazione	Occupazione
		mc/anno	q.s.v./anno	n.vis./anno	gg/anno
Alternative	A1 Produzione legnosa	6120.98	<u>0</u>	<u>0</u>	1858.98
	A2 Riserva naturale	<u>953.37</u>	3932.85	3463.47	<u>963.06</u>
	A3 Parco turistico ricreativo	1052.42	2570.85	8379.49	1544.37
	A4 Azienda multifunzionale puro	3701.17	2091.31	4455.41	1895.29
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	2838.25	2645.92	5636.97	1816.67
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	4477.03	1504.22	3204.64	1882.93
	IDEALE	6120.98	3932.85	8379.49	1895.29
	ANTIIDEALE	953.37	0	0	963.06



Metodi di soluzione dei modelli di analisi multiattributo

- Sono moltissimi
- Uno dei più semplici (e più usati) è quello della distanza dall'ideale



Distanza dall'ideale

- La misurazione della distanza dall'ideale è un metodo di normalizzazione
- Si definisce
 - **alternativa ideale** quell'alternativa fittizia che ha il valore massimo per tutti i criteri
 - **alternativa Antiideale** quell'alternativa fittizia che ha il valore minimo per tutti i criteri



Alternativa ideale e antiideale

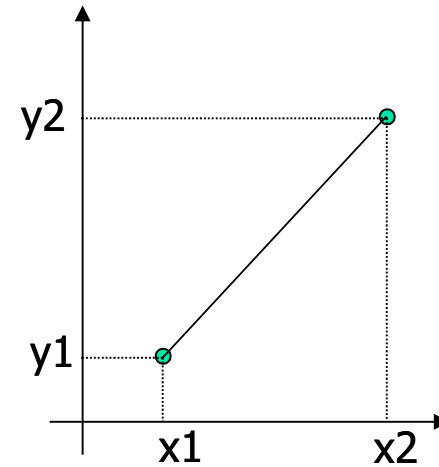
		Obbiettivi			
		Produzione	Fauna	Ricreazione	Occupazione
		mc/anno	q.s.v./anno	n.vis./anno	gg/anno
Alternative	A1 Produzione legnosa	6120.98	0	0	1858.98
	A2 Riserva naturale	953.37	3932.85	3463.47	963.06
	A3 Parco turistico ricreativo	1052.42	2570.85	8379.49	1544.37
	A4 Azienda multifunzionale puro	3701.17	2091.31	4455.41	1895.29
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	2838.25	2645.92	5636.97	1816.67
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	4477.03	1504.22	3204.64	1882.93
	IDEALE	6120.98	3932.85	8379.49	1895.29
	ANTIIDEALE	953.37	0	0	963.06

ideale

antideale

La distanza dall'ideale e dall'antiideale

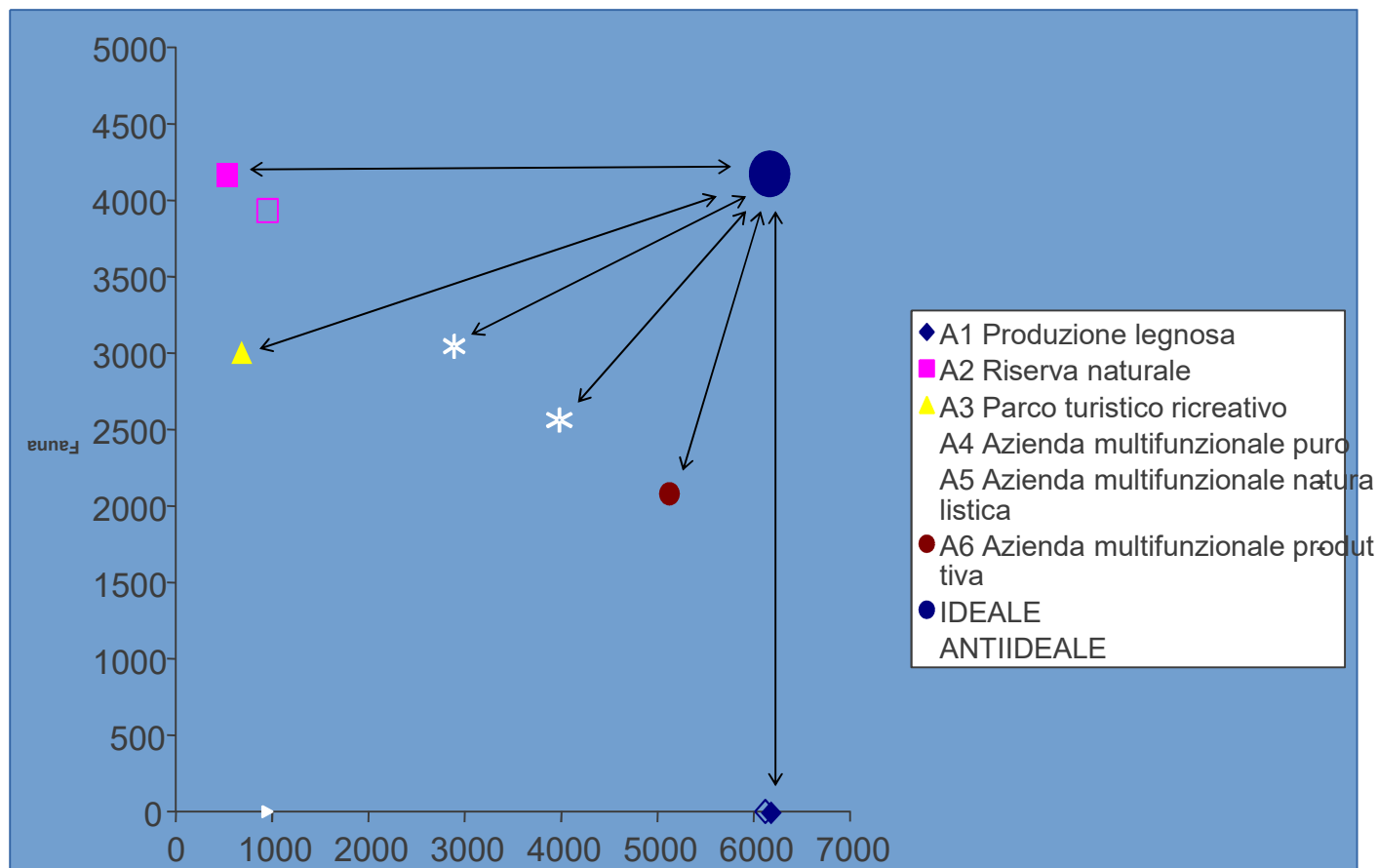
- Geometricamente la distanza fra due punti è data in un sistema cartesiano (a due dimensioni) dal teorema di pitagora.



$$d = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

La distanza dall'ideale per due obiettivi del caso di studio

FAUNA



PROD. LEGNOSA

PROBLEMA: UNITA MISURA DIVERSE

quindi..prima fase: calcolo della matrice normalizzata della distanza dall'ideale

		Obbiettivi			
		Produzione	Fauna	Ricreazione	Occupazione
		mc/anno	q.s.v./anno	n.vis./anno	gg/anno
Alternative	A1 Produzione legnosa	6120.98	<u>0</u>	<u>0</u>	1858.98
	A2 Riserva naturale	<u>953.37</u>	3932.85	3463.47	<u>963.06</u>
	A3 Parco turistico ricreativo	1052.42	2570.85	8379.49	<u>1544.37</u>
	A4 Azienda multifunzionale puro	3701.17	2091.31	4455.41	1895.29
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	2838.25	2645.92	5636.97	1816.67
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	4477.03	1504.22	3204.64	1882.93
	IDEALE	6120.98	3932.85	8379.49	1895.29
	ANTIIDEALE	<u>953.37</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>963.06</u>

$$\frac{V_i^{\text{ideale}} - V_i^{\text{alternativa}}}{V_i^{\text{ideale}} - V_i^{\text{antiideale}}} = \frac{(1895.29 - 1544.37)}{(1895.29 - 963.06)} \approx 0.38$$

		Obbiettivi			
		Produzione	Fauna	Ricreazione	Occupazione
		mc/anno	q.s.v./anno	n.vis./anno	gg/anno
Alternative	A1 Produzione legnosa	0.00	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	0.04
	A2 Riserva naturale	<u>1.00</u>	0.00	0.59	<u>1.00</u>
	A3 Parco turistico ricreativo	0.98	0.35	0.00	<u>0.38</u>
	A4 Azienda multifunzionale puro	0.47	0.47	0.47	0.00
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	0.64	0.33	0.33	0.08
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	0.32	0.62	0.62	0.01



Per più di due criteri...

- Per più di due criteri la distanza non è più rappresentabile graficamente in quanto è multidimensionale.
- E' però possibile calcolarla...

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{n \text{ criteri}} \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)^2}$$

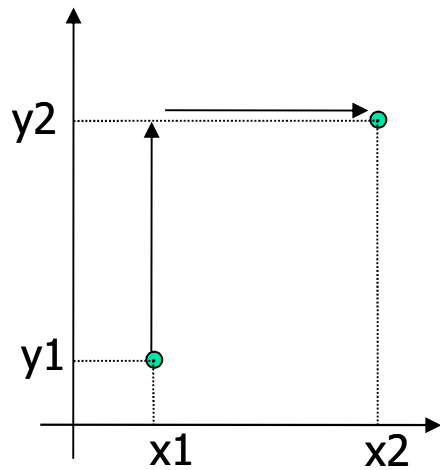
Seconda fase: calcolo della distanza

		Obbiettivi				Distanza
		Produzione mc/anno	Fauna q.s.v./anno	Ricreazione n.vis./anno	Occupazione gg/anno	
Alternative	A1 Produzione legnosa	0.00	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	0.04	1.41
	A2 Riserva naturale	<u>1.00</u>	0.00	0.59	<u>1.00</u>	1.53
	A3 Parco turistico ricreativo	0.98	0.35	0.00	0.38	1.11
	A4 Azienda multifunzionale puro	0.47	0.47	0.47	0.00	0.81
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	0.64	0.33	0.33	0.08	0.79
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	0.32	0.62	0.62	0.01	0.93

$$\text{distanza A3} = \sqrt{0.64^2 + 0.33^2 + 0.33^2 + 0.08^2} = 0.79$$

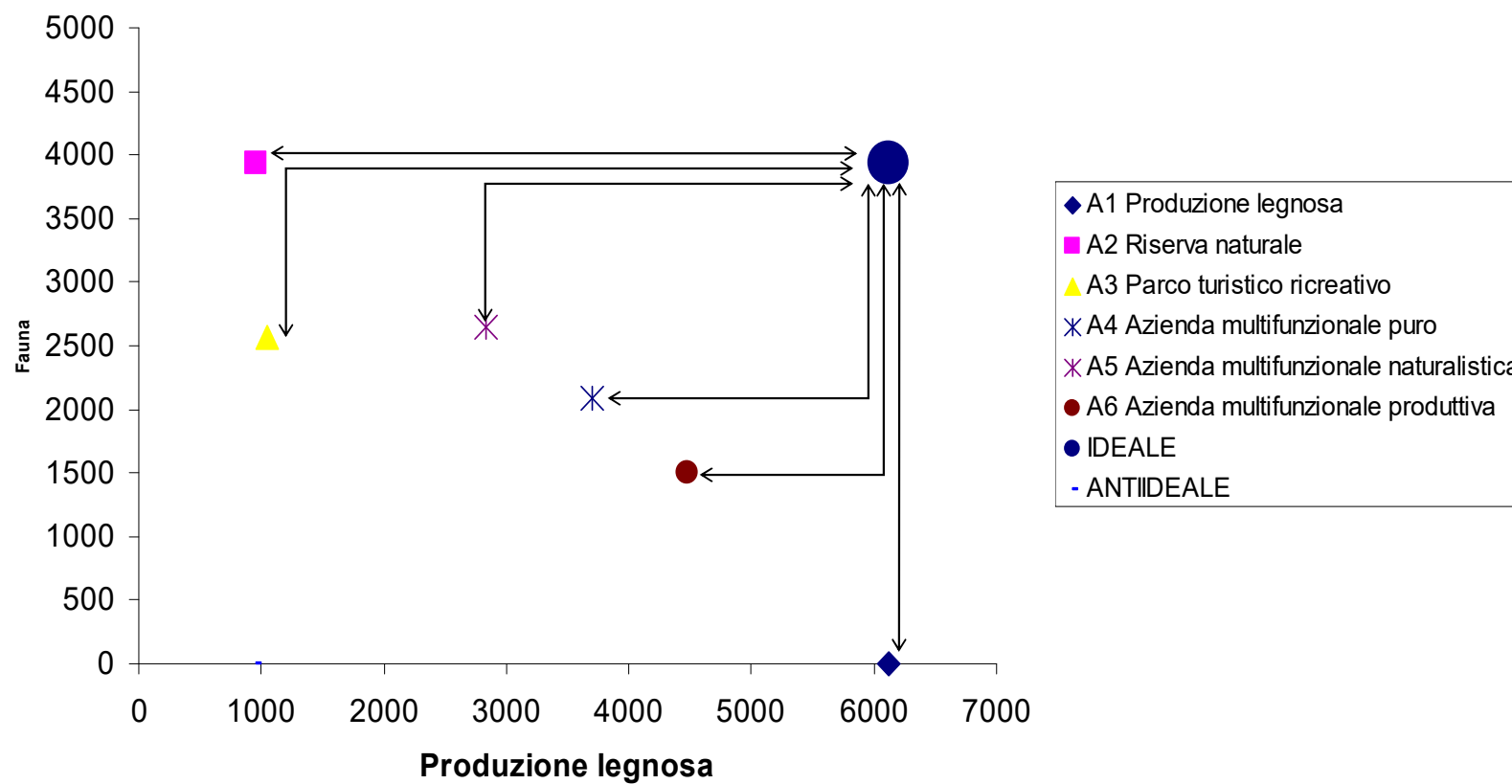
La distanza in città...

- La distanza euclidea non è sempre corretta...



$$d = (x2 - x1) + (y2 - y1)$$

La distanza "in città" per due obiettivi del caso di studio





Per più di due criteri...

$$d = \sum_{i=1}^{n \text{ criteri}} \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)$$

Calcolo della distanza "in città"

		Obbiettivi				Distanza
		Produzione mc/anno	Fauna q.s.v./anno	Ricreazione n.vis./anno	Occupazione gg/anno	
Alternative	A1 Produzione legnosa	0.00	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	0.04	2.00
	A2 Riserva naturale	<u>1.00</u>	0.00	0.59	<u>1.00</u>	1.59
	A3 Parco turistico ricreativo	0.98	0.35	0.00	0.38	1.33
	A4 Azienda multifunzionale puro	0.47	0.47	0.47	0.00	1.40
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	0.64	0.33	0.33	0.08	1.29
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	0.32	0.62	0.62	0.01	1.55

distance A3 = $0.64 + 0.33 + 0.33 + 0.08 = 1.29$



Infinite distanze...

distanza euclidea

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{n \text{ criteri}} \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)^2}$$

distanza in città

$$\sum_{i=1}^{n \text{ criteri}} \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)$$

distanza generica

$$\sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n \text{ criteri}} \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)^p}$$

distanza con "metrica infinito"

$$\max \left(\frac{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{alternativa}}}{v_i^{\text{ideale}} - v_i^{\text{antiideale}}} \right)$$

Calcolo della distanza con metrica infinito

		Obbiettivi				Distanza
		Produzione mc/anno	Fauna q.s.v./anno	Ricreazione n.vis./anno	Occupazione gg/anno	
Alternative	A1 Produzione legnosa	0.00	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	0.04	1.00
	A2 Riserva naturale	<u>1.00</u>	0.00	0.59	<u>1.00</u>	1.00
	A3 Parco turistico ricreativo	0.98	0.35	0.00	0.38	0.98
	A4 Azienda multifunzionale puro	0.47	0.47	0.47	0.00	0.47
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	0.64	0.33	0.33	0.08	0.64
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	0.32	0.62	0.62	0.01	0.62

distanza A3 = $\max(0.64, 0.33, 0.33, 0.08) = 0.64$



Confrontando le soluzioni

		Distanza euclidea	Distanza "in città"	Distanza metrica infinito
Alternative	A1 Produzione legnosa	1.41	2.0	1.00
	A2 Riserva naturale	1.53	2.59	1.00
	A3 Parco turistico ricreativo	1.11	1.70	0.98
	A4 Azienda multifunzionale pura	0.81	1.40	0.47
	A5 Azienda multifunzionale naturalistica	0.79	1.37	0.64
	A6 Azienda multifunzionale produttiva	0.93	1.57	0.62

Soluzioni compensatorie

Soluzione non compensatoria



Che senso hanno le diverse metriche...

- Distanza euclidea e "in città"
 - Sono compensatorie, cioè un basso livello in un obiettivo può essere compensato da un alto livello in un altro obiettivo
- Distanza con metrica infinito
 - È non compensatoria, cioè vale il "fattore limitante"



Il ruolo dei pesi

- I pesi rappresentano l'indice di importanza dato ai diversi obiettivi
- Sono piuttosto "delicati" da calcolare e sono state proposte molte tecniche per la loro individuazione.

es.. Analitic Hierarchy Process



I metodi discreti multidecisore

- Nella pianificazione territoriale si riscontra sempre la presenza di gruppi di pressione in grado di condizionare la scelta degli indirizzi di piano
- In molti casi l'esistenza di diversi gruppi di interesse e il loro coinvolgimento, in vario grado, nel processo di valutazione è esplicitamente prevista dalla normativa
 - Legge quadro sui parchi
 - Valutazione impatto
 - ... ecc. ... ecc.