

GRUPPO 3

Relazione progetto Modelli e Metodi per il Supporto alle Decisioni

Gentilini Alessandro

Piccinini Chiara

Sergio Rebecca

Zampolini Matteo

Obiettivo 1: Applicazione di metodi MCDA

Obiettivo 1.A: Metodo di Borda

I calcoli eseguiti sono disponibili nel file *Borda.xlsx*, contenuto all'interno della cartella *Base*; è stato applicato il metodo di Borda alla tabella delle 9 città, ottenendo la seguente classifica:

<i>Città</i>	<i>Punteggio</i>
Aalborg	32
Gothenburg	37
Murcia	40
Florence	45
Christchurch	48
Berlin	50
Bangalore	65
Johannesburg	66
Tallinn	67

L'intervallo di punteggi possibili va da 5 (punteggio migliore) a $9 * 5 = 45$; per avere punteggi interi abbiamo raddoppiato i punteggi.

Obiettivo 1.B: Metodo di Condorcet

I calcoli eseguiti sono disponibili nel file *Condorcet.xlsx*, posto nella cartella *Base*. Sono stati applicati due metodi sulla tabella delle 9 città di gruppo, da ciascuno dei quali sono state ottenute due classifiche diverse:

<i>classifica di Copeland</i>		
<i>posizione</i>	<i>città</i>	<i>punteggio</i>
2	Gothenburg	14
2	Aalborg	14
3	Murcia	12
4	Florence	10
5	Christchurch	9
6	Berlin	6
7	Tallinn	4
8	Johannesburg	2
9	Bangalore	1

<i>classifica iterata</i>	
1	Gothenburg
2	Aalborg
3	Murcia
4	Florence
5	Christchurch
6	Berlin
7	Tallinn
8	Johannesburg
9	Bangalore

L'intervallo dei punteggi possibili va da 0 (punteggio peggiore) a 10 ($11-1=10$); in questo caso è stato riscontrato un pareggio tra la città 1 e la città 2 e attraverso l'iterazione è possibile trovare il vincitore.

Obiettivo 1.C: Metodo di Somma Pesata

I calcoli eseguiti sono disponibili nel file *WS.x/sx* all'interno della cartella *Base*, fogli *Caso 1,2* e *Caso 3*.

Caso 1. La classifica e i punteggi risultanti sono i seguenti:

<i>Caso 1</i>	
<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Aalborg	2,73
Gothenburg	2,61
Murcia	2,30
Florence	2,16
Christchurch	1,82
Berlin	1,46
Johannesburg	1,35
Bangalore	1,09
Tallinn	0,87

In questo caso i punteggi possibili vanno da 0 (punteggio peggiore) a 5.

Caso 2. La classifica e i punteggi risultanti sono i seguenti:

<i>Caso 2</i>	
<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Utopia	5,00
Aalborg	2,50
Gothenburg	2,33
Murcia	2,25
Florence	2,23
Christchurch	1,75
Berlin	1,56
Johannesburg	1,47
Bangalore	1,19
Tallinn	0,94
Distopia	0,00

Caso 3. La classifica e i punteggi ottenuti applicando la Norma 2 sono i seguenti:

<i>Caso 3</i>	
<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Gothenburg	2,15
Aalborg	1,89
Murcia	1,64
Florence	1,56
Christchurch	1,52
Berlin	1,43
Johannesburg	1,04
Bangalore	1,03
Tallinn	0,98

Confronto, vengono di seguito riportate le classifiche ottenute dai tre casi:

<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>	<i>Caso 3</i>
Aalborg	Aalborg	Göteborg
Göteborg	Göteborg	Aalborg
Murcia	Murcia	Murcia
Florence	Florence	Florence
Christchurch	Christchurch	Christchurch
Berlin	Berlin	Berlin
Johannesburg	Johannesburg	Johannesburg
Bangalore	Bangalore	Bangalore
Tallinn	Tallinn	Tallinn

- Confronto tra Caso 1 e Caso 2: l'introduzione delle due alternative fittizie Utopia e Distopia non ha provocato nessun fenomeno di rank reversal;
- Confronto tra Caso 2 e Caso 3: l'utilizzo della Norma 2 ha prodotto una classifica diversa da quella ottenuta utilizzando la normalizzazione in $[0, 1]$, in particolare le prime due città (Aalborg e Göteborg) si scambiano di posizione in classifica.

Obiettivo 1.D: Metodo TOPSIS

I calcoli eseguiti sono disponibili nel file *RP.xlsx* all'interno della cartella *RP*, foglio *TOPSIS*. Per entrambi i casi l'intervallo di punteggi possibili va da 0 (punteggio peggiore, al quale corrisponde Distopia) a 1 (al quale corrisponde Utopia, alternativa migliore). La classifica e il punteggio C^* ottenuta applicando il metodo TOPSIS alla tabella 9x5 (con le sole città "reali") è la seguente:

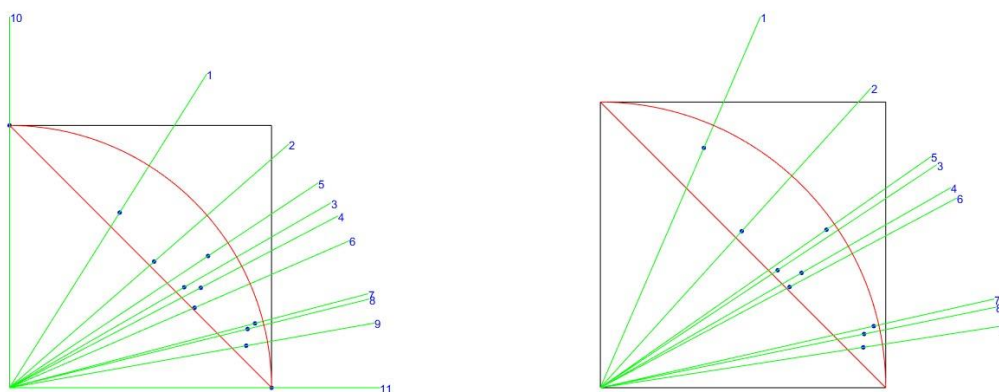
<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Göteborg	0,698
Aalborg	0,525
Christchurch	0,411
Murcia	0,398
Florence	0,363
Berlin	0,347
Johannesburg	0,184
Bangalore	0,169
Tallinn	0,133

La classifica e il punteggio C^* ottenuti applicando il metodo TOPSIS alla tabella 11x5, cioè con l'aggiunta delle due città fittizie, in cui Utopia rappresenta l'alternativa migliore e Distopia l'alternativa peggiore, è la seguente:

In questo caso l'introduzione delle due città fittizie non ha causato fenomeni di rank reversal.

Città	punteggio
Utopia	1,000
Gothenburg	0,614
Aalborg	0,466
Christchurch	0,399
Murcia	0,365
Florence	0,343
Berlin	0,302
Johannesburg	0,208
Bangalore	0,198
Tallinn	0,151
Distopia	0,000

La seguente figura mette in evidenza la differenza di punteggio tra l'alternativa migliore Utopia e la città reale migliore Gothenburg e la differenza tra quest'ultima e la seconda città reale Aalborg; la presenza di Utopia e Distopia ha provocato l'aumento generale della differenza tra i punteggi di tutte le alternative. In aggiunta si può vedere che la maggior parte delle alternative hanno una dispersione medio bassa, ad eccezione dell'alternativa 5 e dell'alternativa 7 che presentano una dispersione alta.



Obiettivo 1.E: Metodo VIKOR

I calcoli eseguiti sono disponibili nel file *RP.x/sx* all'interna della cartella *RP*, foglio *VIKOR*. Sia per il Caso 1 che per il Caso 2 l'intervallo dei punteggi possibili va da 0 (per l'alternativa migliore) a 1 (punteggio peggiore). La classifica e il punteggio Q ottenuti applicando il metodo VIKOR alla tabella 9x5 con le sole città reali è la seguente:

<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Murcia	0,117
Aalborg	0,147
Gothenburg	0,237
Florence	0,530
Berlin	0,626
Christchurch	0,692
Johannesburg	0,871
Bangalore	0,941
Tallinn	1,000

La classifica ottenuta utilizzando la tabella 11x5, con l'aggiunta delle due città fittizie è:

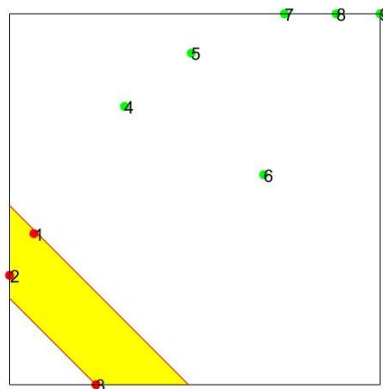
L'introduzione delle alternative fittizie modifica la posizione relativa delle città Murcia, Aalborg, Gothenburg e Florence. Inoltre la presenza di Distopia migliora il punteggio della città Tallinn, che nella prima classifica occupa la posizione peggiore.

Compromise Set :

- . La condizione C1 non è verificata;
- . Le città vincitrici sono Murcia, Aalborg e Gothenburg.

La seguente figura è a dimostrazione di questo:

<i>Città</i>	<i>punteggio</i>
Utopia	0,000
Aalborg	0,624
Murcia	0,688
Florence	0,722
Gothenburg	0,730
Berlin	0,736
Christchurch	0,819
Johannesburg	0,853
Bangalore	0,881
Tallinn	0,883
Distopia	1,000



Obiettivo 1.F: Metodo PROMETHEE

Grafici e calcoli per la scelta delle PF e delle soglie sono riportati nel file *PF.xls* posto nella cartella *VP* in cui è contenuto anche il modello *VP* risultante nel file *VP.vpg*.

Scelta di funzioni di preferenza e soglie

Tutti i criteri sono espressi su scale cardinali, vengono quindi utilizzate PF *Linear* o *V-Shape*. Le scelte fatte sono riassunte nella seguente tabella

Criterio	1	2	3	4	5
P	2360	2,32	34	50	9
Q	//	//	14	//	//
<i>preferenza 1</i>	9	6	5	6	7
<i>preferenza 0</i>	//	1	13	//	//

L'analisi dei criteri effettuata per il metodo PROMETHEE ha evidenziato alcune caratteristiche significative nella distribuzione delle preferenze piene e nulle, direttamente influenzate dalle soglie scelte e dalle scale dei dati. Il **Criterio 3** si distingue per un elevato numero di preferenze nulle, il che significa che il criterio non discrimina efficacemente le alternative.

Rappresentazione grafica

I criteri sono stati raggruppati in cluster:

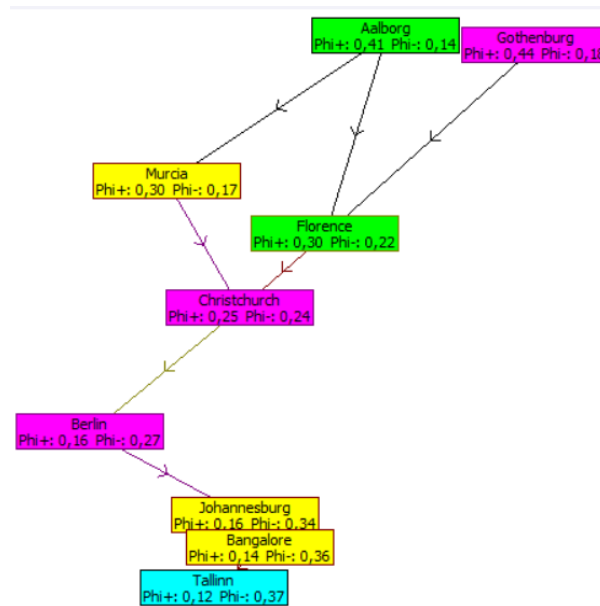
- **Energy Potential** (rombo verde acqua): **Criterio 1, Criterio 2 e Criterio 3**; raccoglie criteri che misurano l'energia potenziale, rispettivamente, solare, eolica e geotermica.
- **Electricity** (rombo rosa): **Criterio 4**; riguarda il criterio che misura la percentuale di energia rinnovabile per la produzione di elettricità.
- **Transport** (rombo blu): **Criterio 5**; comprende il criterio che misura la percentuale di energia verde utilizzata nel trasporto.

Risultati

La classifica e il punteggio sono i seguenti:

action	Phi
Aalborg	0,2678
Gothenburg	0,2587
Murcia	0,1311
Florence	0,0818
Christchurch	0,0123
Berlin	-0,1049
Johannesburg	-0,1826
Bangalore	-0,2129
Tallinn	-0,2512

I net flows sono valori compresi tra -1 (valore peggiore) e 1. L'ordine parziale di Promethee I è descritto dalla seguente figura:



Si può osservare che

- le prime due alternative in classifica non sono in relazione tra loro, ma dominano le altre;
- l'ultima alternativa è dominata da tutte le altre.

Analisi del piano Gaia

Possiamo individuare due gruppi di criteri:

- **Gruppo 1:** Criterio 4, Criterio 5, hanno valutazioni simili tra loro e vanno nella stessa direzione, il che supporta l'idea che le due dimensioni siano legate. Una città con alta percentuale di energia rinnovabile nella produzione di elettricità è più propensa ad utilizzare energia verde nei trasporti
- **Gruppo 2:** Criterio 1 e Criterio 2, sono inversamente correlati e quasi opposti, suggerendo che le città che eccellono nell'energia solare tendono a performare peggio sull'energia eolica.

Il criterio rimanente è il Criterio 3 che non ha una correlazione forte con nessun altro criterio.

Per quanto riguarda le alternative, e la loro catalogazione nelle "Action Categories":

- Le città **Berlin, Gothenburg e Christchurch** formano un cluster contente le città che hanno un buon equilibrio tra tutte;
- Le città **Murcia, Johannesburg e Bangalore** sono le migliori per l'utilizzo di energia solare;
- La città **Florence** è la migliore per l'energia geotermica;
- La città **Tallinn** è la migliore per l'utilizzo di energia eolica;
- Aalborg rappresenta la città migliore per tutti i criteri.



Obiettivo 1.G: Metodo VP-SIR

I relativi calcoli sono riportati nel file *VPSIR.xlsx* all'interno della cartella *VP*; lo stesso file contiene anche la costruzione del file di input per il calcolo del Tau di Kendall tra le classifiche considerate.

Le classifiche di VP-SIR 1 e VP-SIR2 sono entrambe diverse dalla classifica di Prometheè II e diverse tra loro, è stato quindi necessario calcolare il Tau di Kendall tra le tre classifiche. Risulta che la classifica di VP-SIR 2 fornisce un indice Tau pari a **0,944**, mentre la classifica di VP-SIR 1 fornisce un indice Tau pari a **0,889** e risulta per questo motivo la migliore:

Città	Punteggi
Aalborg	0,743
Murcia	0,712
Gothenburg	0,641
Florence	0,578
Berlin	0,512
Christchurch	0,379
Johannesburg	0,316
Bangalore	0,288
Tallinn	0,240

Il punteggio può variare da 0 a 1.

Obiettivo 2: Assegnamento di pesi ai metodi MCDA

Per l'obiettivo 2 è stata creata la cartella *MM*, all'interno della quale sono presenti i file *MM.vpg*, *A.txt*, *AHP.m* e *SFR.xlsx*. L'ordine dei metodi MCDA riflette una valutazione soggettiva su quest'ultimi in base alla loro applicabilità al problema, alla loro complessità, alla capacità di supportare decisioni coerenti, e alla trasparenza nell'interpretazione dei risultati.

- **Condorcet** è il miglior metodo poiché è il più robusto nei confronti delle incoerenze nelle preferenze. Considera ogni alternativa in confronto diretto con le altre, garantendo che la scelta finale sia rappresentativa delle priorità globali. Sebbene sia più complesso, offre una soluzione coerente e affidabile.
- Il metodo di **Borda** è semplice, intuitivo e utile per aggregare preferenze. È efficace soprattutto quando le alternative sono numerose e si vuole un risultato democratico, anche se può essere influenzato negativamente in caso di incoerenze nelle preferenze.
- **PROMETHEE** offre un'analisi dettagliata basata su flussi di preferenza, rendendolo uno strumento potente e personalizzabile. Tuttavia, la necessità di definire funzioni di preferenza specifiche per ciascun criterio lo rende più complesso da applicare rispetto ai primi due metodi.
- **VIKOR** introduce il concetto di compromesso, evidenziando le alternative che si avvicinano maggiormente al miglior equilibrio.
- **TOPSIS** combina la distanza dalla soluzione ideale e distopica, offrendo una visione bilanciata.
- La **somma pesata** è semplice e intuitiva, ma la sua affidabilità dipende strettamente dalla corretta definizione dei pesi. In problemi complessi, la linearità del metodo può portare a decisioni poco rappresentative della realtà.
- **VP SIR** è all'ultimo posto perché introduce un alto grado di soggettività che può rendere i risultati poco robusti.

Il file *SRF.xlsx* contiene il calcolo dei pesi con il metodo SRF e la costruzione di una matrice di input *A.txt*. I risultati ottenuti sono i seguenti.

SRF	criterio	Condorcet	Borda	Somma pesata	Topsis	Vikor	Promethee	VP SIR
	punteggio	189	189	51	97	97	120	28

AHP	criterio	Condorcet	Borda	Somma pesata	Topsis	Vikor	Promethee	VP SIR
	punteggio	0,327	0,327	0,035	0,079	0,079	0,130	0,024

Obiettivo 3: Aggregazione dei punteggi dei metodi MCDA

Nella cartella MM è presente il file *Punteggi.xlsx*, che contiene i punteggi dell'obiettivo 1, il calcolo delle soglie P, l'attribuzione dei pesi fittizi ai criteri, i risultati e le classifiche. Il modello VP è contenuto nel file *MM.vpg*. I due scenari corrispondono ai due vettori di pesi trovati con AHP e SRF. Le alternative sono rappresentate graficamente in base alla classifica, distinguendo tre gruppi con valori di flusso netto vicini tra loro.

Analisi di sensitività sui pesi. In nessuno dei due scenari vengono riscontrate le condizioni critiche indicate.

Si è scelto comunque di utilizzare lo scenario SRF, poiché ritenuto più stabile; la classifica di gruppo ottenuta è la seguente.

Città	Punteggio
Aalborg	0,421
Gothenburg	0,401
Murcia	0,269
Florence	0,110
Christchurch	0,029
Berlin	-0,081
Johannesburg	-0,362
Tallinn	-0,385
Bangalore	-0,401

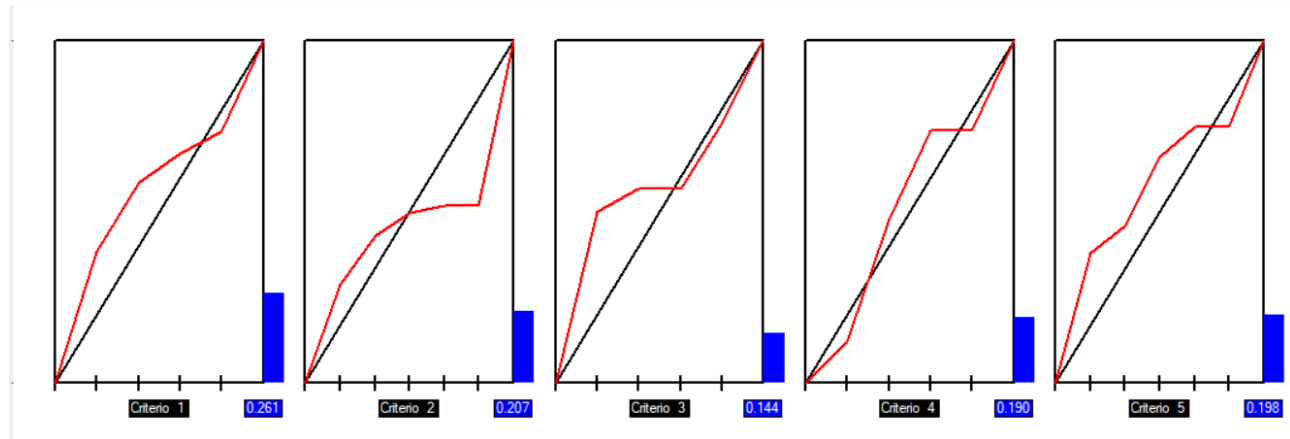
Dal momento che la classifica è diversa da quella ufficiale, è stato necessario calcolare il Tau di Kendall, che risulta pari a **0,944**.

Obiettivo 4: Metodo UTA

Solamente una delle differenze di punteggio tra alternative consecutive nella classifica dell'Obiettivo 3 è inferiore alla soglia richiesta $\gamma = 0,02$, e precisamente quella tra Tallinn e Bangalore, che occupano le ultime due posizioni, dunque, nel Reference Set queste due alternative sono considerate indifferenti, cioè ricevono lo stesso valore U' nel problema risolto dal metodo UTA. Le scelte dell'intervallo di definizione e del numero di sotto-intervalli per ciascun criterio sono riassunte nella seguente tabella:

	1	2	3	4	5
<i>min (Distopia)</i>	2640,0	3,4	36	1	0
<i>max (Utopia)</i>	6240,0	8	90	100	17,87
<i>range</i>	2000	3	35	0	0
	7000	9	100	110	18
<i>IntervalNum</i>	5	6	5	5	6
<i>lunghezza</i>	1000	1	13	22	3

Scelta degli andamenti delle UF Nel modello iniziale si ottiene un problema non molto vincolato, con errori nulli e una *looseness* 80% il “delta Teorico” è 0,096, il “delta MASSIMO” è 0,0818, e fissando il “nuovo valore minimo di delta” a 0,06 si ottiene un modello di buona qualità, con peso massimo 0,261 e rapporto tra peso massimo e minimo inferiore a due; le UF hanno l’andamento qui sotto riportato:

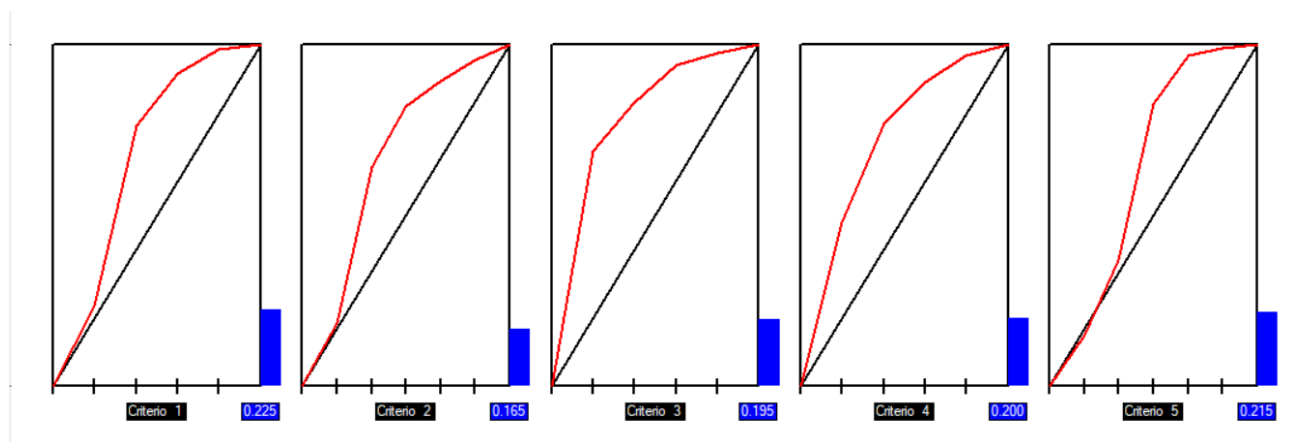


Di conseguenza, nel modello finale si impongono i seguenti andamenti:

- criteri 1, 5 e 4: concavo;
- criterio 2: convesso;
- criterio 3: concavo per i primi intervalli

Risultati

Con il modello finale abbiamo una *looseness* 53%; il “delta Teorico” è 0,1020, il “delta MASSIMO” è 0,0545, e fissando il “nuovo valore minimo di delta” a 0,04 si ottiene un modello di buona qualità, con peso massimo 0,225. Notiamo inoltre che gli errori “NormaUno” e “NormaInf” sono nulli, a dimostrazione del fatto che non sono presenti variazioni in classifica.



Riportiamo infine i range per il valore dei pesi di ciascun criterio:

Criterio 1: [0.000 , 0.537]

Criterio 2: [0.000 , 0.487]

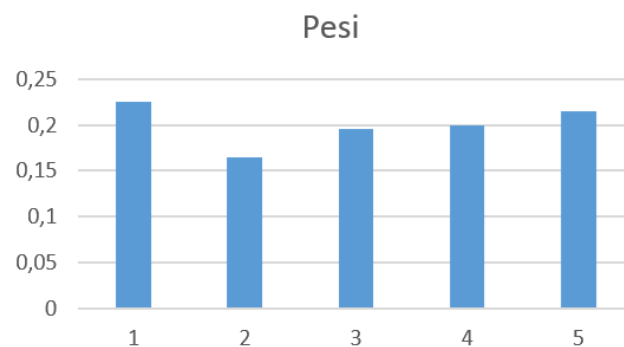
Criterio 3: [0.018 , 0.430]

Criterio 4: [0.000 , 0.623]

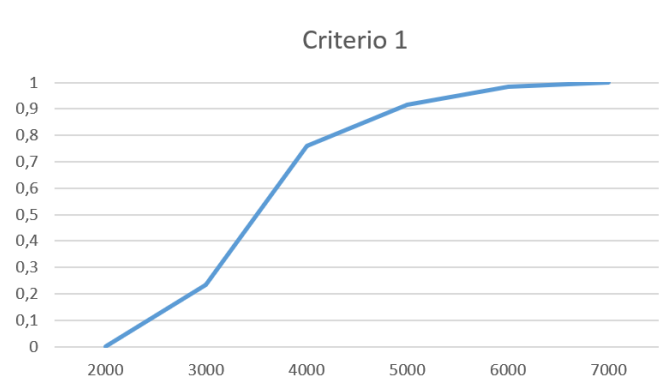
Criterio 5: [0.042 , 0.367]

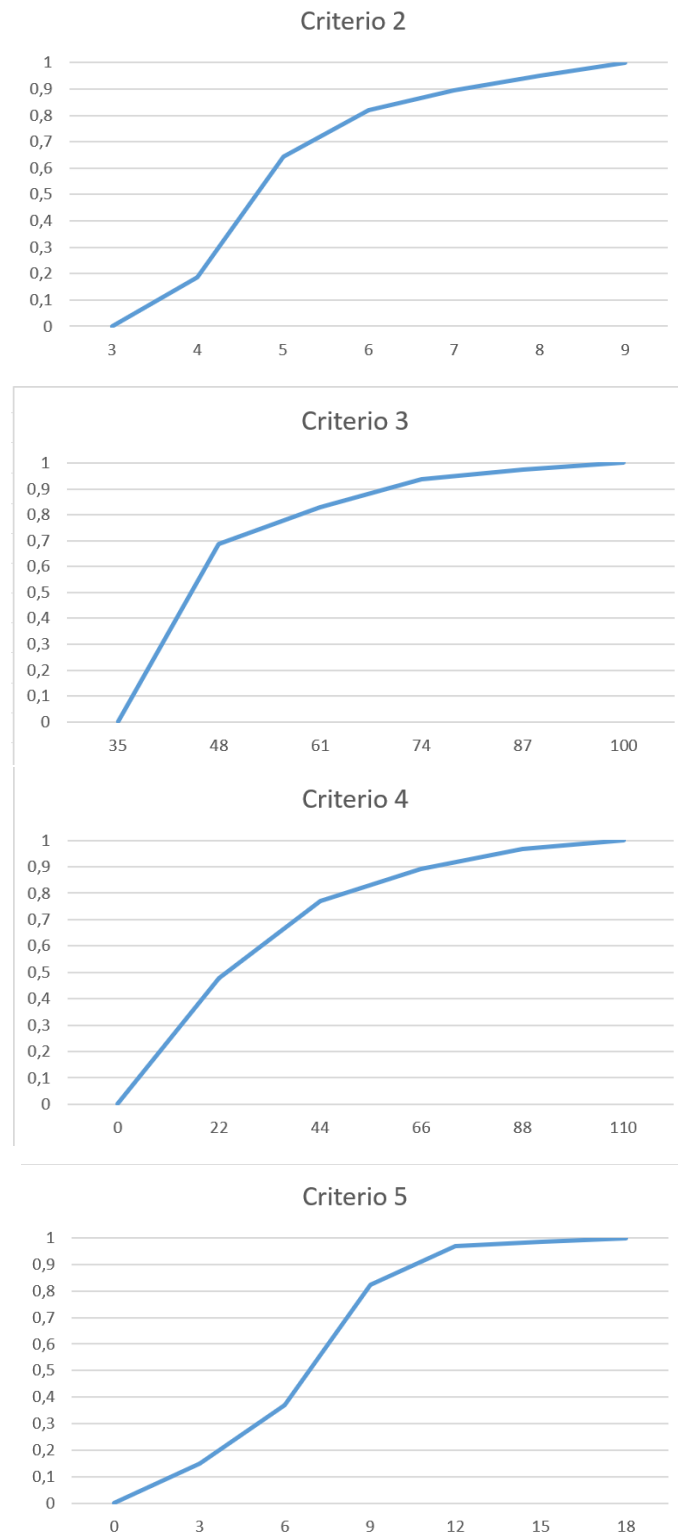
I pesi ottenuti sono riportati nella seguente tabella e illustrati nel successivo grafico:

Criterio	1	2	3	4	5
Peso	0,225	0,165	0,195	0,200	0,215



I grafici delle Funzioni di Utilità sono i seguenti





Obiettivo 5: Metodo ELECTRE

La seguente tabella mostra i risultati ottenuti cercando un nucleo di minima cardinalità nel grafo aggregato $G_{p,q} = (Q, U_{p,q})$ per quattro coppie di soglie p e q (si veda il file *Kernel.xlsx*).

Non è stato necessario cercare nuclei approssimati.

	p	q	$ U_{pq} $	$ S $	Nucleo (variabili x)								
					Gothenburg	Aalborg	Murcia	Florence	Christchurch	Berlin	Johannesburg	Bangalore	Tallinn
<i>Coppia1</i>	800	200	3	7	1	1	1	1	1	0	1	1	0
<i>Coppia2</i>	700	300	6	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>Coppia3</i>	600	400	12	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>Coppia4</i>	500	500	22	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0

Notare che le coppie di soglie sono ordinate per selettività *decrecente* (e dunque per densità crescente del grafo $G_{p,q}$) a partire da soglie abbastanza selettive (*Coppia1*) fino a soglie decisamente poco selettive (*Coppia4*). Si sono scelte soglie in modo tale che fosse rispettata questa relazione: $q \leq 500 \leq p$.

Le alternative PRESCELTE sono: Gothenburg e Murcia; mentre quelle AGGIUNTIVE sono: Aalborg, Florence e Christchurch, che rimangono nel nucleo per le prime tre coppie di soglie e poi escono.

Confronto con i risultati precedenti

Si può notare che le alternative prescelte sono in parziale accordo con la classifica dell'Obiettivo 3, dove occupano la seconda e terza posizione; inoltre, l'alternativa aggiuntiva Aalborg occupa la prima posizione, mentre le altre due aggiuntive sono in quarta e quinta posizione.

Risulta interessante anche il confronto con l'ordine parziale fornito da PROMETHEE I per l'Obiettivo 1.f, nel quale le alternative prescelte risultano incomparabili tra loro, Gothenburg non è dominata, mentre Murcia sì: dunque le indicazioni fornite da PROMETHEE I e da ELECTRE sono in parziale accordo. Le alternative aggiuntive Florence e Christchurch sono dominate da quelle prescelte, mentre Aalborg non è dominata.

Il confronto con il *Compromise Set* di VIKOR è molto interessante perché in esso ci sono come città vincitrici le due alternative prescelte, più una aggiuntiva: Gothenburg, Murcia e Aalborg.

Non risulta invece interessante il confronto con il risultato di PROMETHEE I dell'Obiettivo 3 (che è un ordine totale).