

Web Working Papers by

The Italian Group of Environmental Statistics



Gruppo di Ricerca per le Applicazioni della Statistica
ai Problemi Ambientali

www.graspa.org

Analisi spazio - temporale
della raccolta dei rifiuti urbani

Teresa Di Sarro e Giovanna Jona Lasinio

GRASPA Working paper n.15, Febbraio 2003

Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani¹

Teresa Di Sarro^{*}, Giovanna Jona Lasinio[§]

^{*}Istat Dipartimento delle Statistiche Sociali, Progetto Metodologie e statistiche ambientali, Via A. Ravà, 150 00142 Roma - Italy

[§]Dipartimento di Statistica, Probabilità e Statistiche applicate, Università di Roma “La Sapienza”. P.le Aldo Moro 5, 00185 Roma, Italy. Email: giovanna.jonalasinio@uniroma1.it

¹ Lavoro svolto nell'ambito del progetto nazionale MURST 2000-2002, “STATISTICA NELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE”

1. Introduzione

Tra le tematiche ambientali di maggior attualità, sicuramente un posto di primaria importanza è riservato alla gestione dello smaltimento dei rifiuti urbani. Negli ultimi anni è ormai divenuta evidente l'urgenza con la quale tale aspetto vada affrontato, a causa di una gestione più che trascurata e ad una legislazione per anni carente e non chiara, in molte zone del paese si è visto il sorgere di vere e proprie emergenze ambientali dovute ad un uso eccessivo ed indiscriminato della discarica. Anche a livello legislativo è soltanto dal 1997 che si sono visti interventi mirati al fine di del miglioramento e della regolamentazione delle procedure di smaltimento. Fino ad allora, infatti, con la parola "smaltimento", erano indicate tutte le fasi del processo di gestione dei rifiuti. Con l'introduzione del Decreto Legislativo n.22 del 5 Febbraio 1997, il cosiddetto Decreto Ronchi, con il quale l'Italia recepisce le Direttive comunitarie 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio, si introducono elementi chiarificatori e soprattutto regolatori del sistema stesso.

Con questo lavoro si è cercato di effettuare un'analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani con la costruzione di un opportuno Sistema Geografico Informativo (GIS). In altre parole si vuole fornire una descrizione della distribuzione spaziale e temporale della gestione dello smaltimento dei rifiuti urbani a livello provinciale. Quanto ci si propone è di fornire uno strumento di lettura immediata per il confronto tra situazioni territoriali (e storiche) assai diverse.

Il GIS da noi costruito è basato su di una metodologia di tipo Analisi in Componenti Principali (ACP) proposta da Jona Lasinio (2001). Il metodo utilizzato consente di effettuare un'analisi in componenti principali preservando l'informazione sulla struttura spazio-temporale delle osservazioni; esso si basa, infatti, su una misura di variabilità che tiene conto della struttura di vicinato tra le unità osservate. In tal modo è possibile rappresentare su di un'unica mappa un fenomeno caratterizzato da più variabili (o modalità) distinte tenute in conto simultaneamente. Tale metodologia ci permette inoltre di individuare delle "zone d'influenza", in altre parole quelle zone attorno a ciascuna unità territoriale nelle quali la correlazione spazio-temporale è più elevata, così da identificare quelle zone (e periodi) in cui il comportamento rispetto al fenomeno studiato è omogeneo.

Vediamo ora in particolare quali sono le unità osservate e le variabili analizzate per ciascuna di esse.

La raccolta di rifiuti urbani può avvenire con quattro diverse modalità:

- raccolta differenziata (per i rifiuti organici, il vetro, la carta, la plastica, l'alluminio ed altro);
- raccolta indifferenziata;
- raccolta selettiva (farmaci scaduti, pile e contenitori etichettati T/F²);
- raccolta degli ingombranti.

Prima di procedere è bene soffermarsi sulla definizione di raccolta differenziata e di raccolta selettiva. Nel 1997 nel Decreto Ronchi la raccolta differenziata era definita come la raccolta idonea a raggruppare i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee, destinate al riutilizzo, al riciclaggio e al recupero di materia prima. Tale definizione implicava una differenza con la raccolta selettiva la quale è relativa a frazioni merceologiche omogenee raccolte separatamente al solo fine di razionalizzarne lo smaltimento. Con l'articolo 12, comma 1, della legge 23 marzo 2001, n. 93 viene modificata la definizione della raccolta differenziata nel Decreto Ronchi, in particolare vengono soppresse le parole "destinate al riutilizzo, al riciclaggio e al recupero di materia prima". La conseguenza di questa nuova definizione è il venir meno della differenza tra raccolta differenziata e raccolta selettiva. Nel presente lavoro l'analisi è stata effettuata sui dati relativi ai rifiuti urbani degli anni 1996-1999 pubblicati dall' Agenzia Nazionale per la Protezione

² I contenitori T/F sono tutti i contenitori tossici ed infiammabili.

dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT già ex ANPA) che è il gestore delle informazioni derivanti dal Modello Unico di Dichiarazione ambientale (MUD) con il quale le unità locali e i Comuni dichiarano alle autorità competenti tutte le informazioni sui rifiuti da loro prodotti e/o gestiti. Le variabili considerate sono: la quantità pro-capite di rifiuti urbani raccolti in modo differenziato, la quantità pro-capite di rifiuti urbani raccolti in modo indifferenziato, la quantità pro-capite di rifiuti urbani raccolti selettivamente e la quantità pro-capite di rifiuti ingombranti; si è ritenuto opportuno analizzare comunque separatamente le quantità di raccolta differenziata e di raccolta selettiva dato che per gli anni considerati i dati sono disponibili per tutti e due tipi di raccolta e visto che in quegli anni erano considerati distinti.

Il lavoro è organizzato nel modo seguente: nella sezione 2 si riporta brevemente la metodologia utilizzata; nella sezione 3 le elaborazioni dei dati a nostra disposizione con i relativi commenti ed in fine nella sezione 4 si riportano alcune considerazioni conclusive.

2. La metodologia utilizzata

Dati Spaziali Multivariati

Siano dati n siti osservati sul territorio d'interesse e su ciascuno di essi si siano rilevate k variabili. In tal caso un dataset spaziale multivariato può essere rappresentato come una matrice $n \times k$. Nel trattare questo tipo di dati la prima domanda che sorge è:

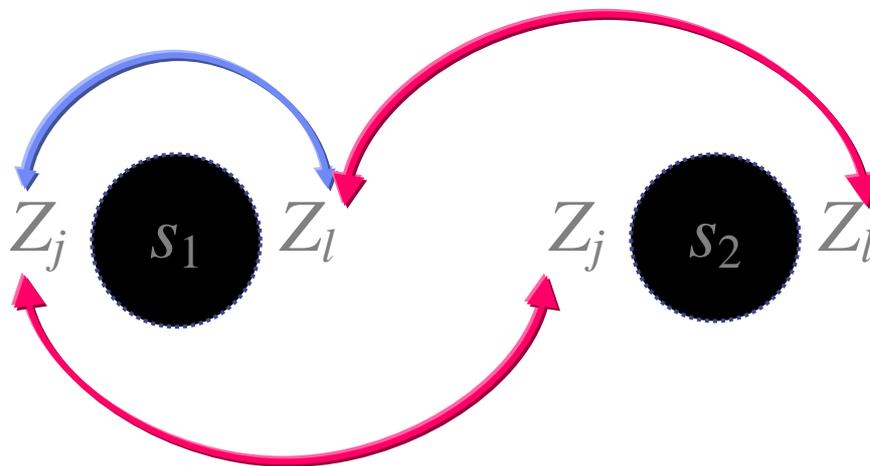
come descrivere la variabilità di un fenomeno spaziale multivariato? Infatti è necessario considerare che in un fenomeno spaziale multivariato interagiscono 2 fonti di variabilità:

1. variabilità locale: che concerne le interrelazioni tra le variabili osservate in ciascun sito;

2. variabilità spaziale: che concerne le interrelazioni tra le osservazioni di ciascuna variabile nei diversi siti.

Una schematizzazione di questo concetto è riportata in Fig.1.

Fig.1



In pratica è quasi impossibile distinguere le 2 componenti. E' necessario introdurre strumenti opportuni al fine di considerare congiuntamente le due fonti di variabilità. Uno di essi, quello che andremo ad utilizzare in seguito, è il **cross-variogramma**:

$$\gamma_{jl}(s_1, s_2) = \frac{1}{2} E((Z_j(s_1) - Z_j(s_2)) \cdot (Z_l(s_1) - Z_l(s_2))) \quad s_1, s_2 \in D, l, j = 1, \dots, k$$

Dove \mathbf{Z} è la matrice $n \times k$ delle osservazioni $\mathbf{Z} = (\mathbf{z}(s_1), \dots, \mathbf{z}(s_2))$, ed s_i è l'indice legato alla collocazione spaziale dell'unità considerata. E' ora necessario ricorrere ad alcune assunzioni di regolarità sul processo generatore dei dati al fine di garantire la possibilità di stima delle quantità d'interesse. Usualmente (tali assunzioni riguardano il vettore delle medie ed i cross-variogrammi) si richiede che il vettore delle medie sia costante al variare dell'indice spaziale e che le funzioni $\gamma_{jl}(s_1, s_2) = \gamma_{jl}(\mathbf{h})$ dove \mathbf{h} è il vettore della distanza tra i due siti considerati. Tali assunzioni sono note come *stazionarietà congiunta intrinseca*. Un'ulteriore ipotesi che verrà utilizzata in quanto segue è quella di *isotropia*, ovvero la funzione di cross-variogramma è uguale $\forall (s_i, s_j) \in D^2$ tali che h è la loro distanza. Sotto questa ipotesi la direzione del vettore che congiunge i siti non incide più sulla funzione considerata. Qualora queste assunzioni non vengano fatte, ci troveremo a dover stimare

un vettore delle medie per ciascun sito ed una matrice di cross-variogramma per ciascuna coppia di siti, avendo a disposizione solo n osservazioni per ciascuna variabile, ciò è chiaramente impossibile.

A questo punto la nostra proposta è di sintetizzare in qualche modo le k variabili, con una procedura simile all'Analisi in Componenti Principali (PCA). Poiché il dataset spaziale multivariato racchiude in sé sia la variabilità locale, sia la variabilità spaziale, condurre la PCA sulla matrice di varianze e covarianze S implica il trascurare la componente spaziale. Occorre allora identificare un'altra matrice che descriva globalmente la variabilità del fenomeno. La matrice $k \times k$ che ha per elementi i cross-variogramma descrive congiuntamente sia la variabilità locale, sia la variabilità spaziale. L'insieme di tutte le matrici $G(h)$ descrive dunque la variabilità delle k variabili nell'intero dominio spaziale D . Chiaramente non faremo uso di tutti i valori delle distanze tra i siti bensì di una loro classificazione in classi di distanze (*lag*) contenenti un numero "congruo" di coppie di unità da utilizzare ai fini della stima. Come passo successivo si procede ad una sintesi di tali matrici:

$$\Gamma = \sum_{h=h_1}^{h_m} \Gamma(h)$$

La matrice sintesi è dunque quella che verrà utilizzata come metrica per lo sviluppo della PCA. La scelta della sintesi additiva è giustificata dal fatto che proprio attraverso questa è possibile raccogliere una serie di informazioni sul comportamento della variabilità del fenomeno considerato. Infatti se indichiamo con δ_j la matrice ortogonale $k \times k$ degli autovettori di G e con Ψ la matrice diagonale $k \times k$ degli autovalori di G è possibile scrivere ciascun autovalore come:

$$\psi_j = \delta_j' \Gamma \delta_j = \sum_{h=h_1}^{h_m} \delta_j' \Gamma(h) \delta_j$$

Pertanto si può identificare la matrice $G(h)$ che ha il maggior peso nella determinazione del j -esimo autovalore indicando con h^* il lag corrispondente, questo può essere interpretato come il *lag* al quale le k variabili sono tra loro massimamente spazialmente incorrelate (si veda Jona Lasinio 2000) sull'asse corrispondente. Utilizzando questo valore è possibile determinare delle aree di "influenza" intorno a ciascun sito, nelle quali tutte le unità che vi ricadono sono tra loro fortemente correlate nello spazio. Ovvero:

$$R_l(s_i) = \{s_j \in D : dist(s_i, s_j) \leq h_l^*\}$$

Analizzando gli autovettori, è possibile definire quali variabili contribuiscono maggiormente a determinare ciascun asse e quindi il valore di h^* .

Qualora i nostri dati oltre che distribuiti nello spazio siano anche replicati nel tempo, quanto appena detto è ancora utilizzabile anche se con alcune cautele. E' sufficiente ridefinire l'indice spaziale come indice spazio temporale. Più precisamente si assume che il processo spazio-temporale che ha generato i dati sia del tipo:

$$\{Z(s, t), s \in D, t \in T\}$$

Dove D è lo spazio “dello spazio” che contiene gli n siti spaziali osservati, e T è lo spazio “del tempo” che contiene gli m istanti osservati. $Z(s,t)$ sarà un vettore (dimensione k) o uno scalare a seconda del numero di variabili osservate in ciascun sito (spazio+tempo).

In questo modo, si assume che il processo che ha generato i dati si manifesti su $D \times T$; i siti osservati, saranno in tutto nxm .

Nel caso più comune in cui i siti spaziali sono identificati da 2 coordinate (latitudine e longitudine), si considera il fenomeno spazio-temporale nello spazio R^3 (la terza dimensione è il tempo).

3 Elaborazioni e risultati

Poiché la metodologia da noi scelta richiede di base una certa “omogeneità” (stazionarietà almeno intrinseca) dei dati si è deciso di procedere nell’analisi studiando separatamente le 5 ripartizioni geografiche (seguendo quanto usualmente fatto dall’Istat):

1. Italia nord-occidentale: Piemonte, Valle D’Aosta, Lombardia e Liguria;
2. Italia nord-orientale: Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia ed Emilia Romagna;
3. Italia centrale: Toscana, Umbria, Marche e Lazio;
4. Italia meridionale: Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata e Calabria;
5. Italia insulare: Sicilia e Sardegna.

Per ogni ripartizione geografica le unità statistiche considerate sono le province italiane.

Il procedimento seguito per ogni ripartizione è il seguente:

- si calcolano le componenti principali come riportato nella sezione 2;
- si mostra la rappresentazione sui primi due assi di tutte le province in tutti e quattro gli anni presi in considerazione, in alcuni casi per rendere più leggibile tale rappresentazione, sono state tolte le province che in determinati anni assumono valori estremi;
- successivamente si costruiscono delle cartine (una per ogni anno considerato) nel seguente modo: si divide l’intervallo in cui varia la componente che stiamo analizzando (solitamente la prima perché ci fornisce sufficienti informazioni), in 5 intervalli, per ogni unità statistica (provincia) si calcola in quale intervallo cade il valore relativo della componente, e quindi dalla caratterizzazione dell’asse possiamo dire quali sono le caratteristiche delle province in termini di raccolta di rifiuti urbani;
- dopo aver analizzato le cartine, il metodo utilizzato ci permette di calcolare le “zone di influenza” di ogni provincia per vedere quali province hanno un comportamento simile e quali no.

Nel commentare la situazione di ogni provincia si definisce migliore la situazione maggiormente caratterizzata della raccolta differenziata, infatti in base alla legislazione vigente uno dei compiti delle amministrazioni locali, per rendere minimo il ricorso alla discarica, è quello di adottare tutte le possibili misure per aumentare la raccolta differenziata, che permette il riciclaggio e il recupero dei diversi materiali. In particolare nel Decreto Ronchi si definiscono gli obiettivi che ogni provincia deve raggiungere in termini di raccolta differenziata, in particolare: deve essere assicurata una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari alle seguenti percentuali minime di rifiuti prodotti:

- a) 15% entro due anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto;
- b) 25% entro quattro anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto;
- c) 35% a partire dal sesto anno successivo alla data di entrata in vigore del presente decreto.

3.1 Italia nord-occidentale

Le prime due componenti principali spiegano il 79% della variabilità del fenomeno. La prima componente è caratterizzata dalla raccolta indifferenziata con segno negativo (-0,61), dalla raccolta

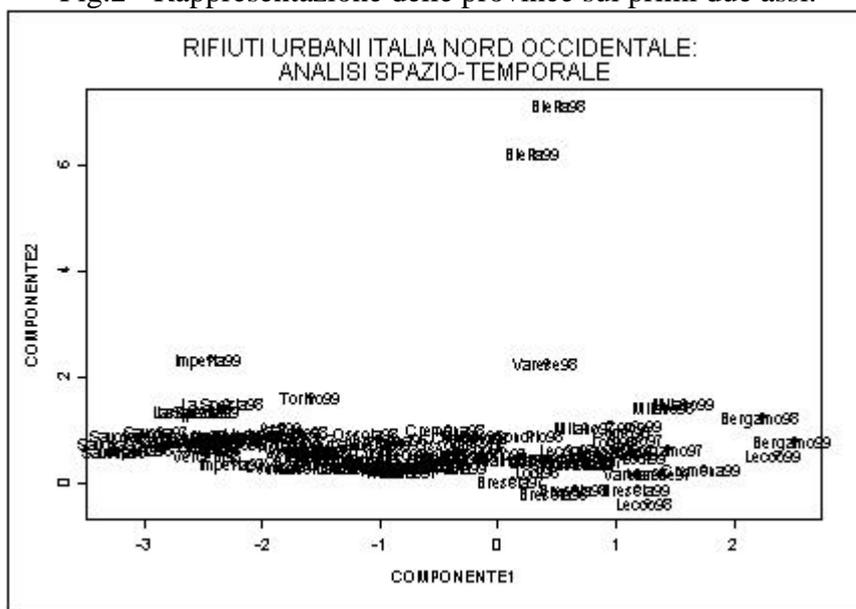
differenziata (0,56) e dalla raccolta degli ingombranti (0,51). La seconda componente è caratterizzata dalla raccolta selettiva (0,96).

Tav.1 – Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani

Autovalore	h*	% var. sp.	% var. sp. Cum.	Variabile	I autovett.	Variabile	II autovett.
1	53	58	58	Racc.ind.	-0,61	Racc.ind.	0,09
2	18	21	79	Racc.diff.	0,56	Racc.diff.	-0,05
3	40	14	93	Ingombr.	0,51	Ingombr.	-0,25
4	56	7	100	Racc.sel.	0,22	Racc.sel.	0,96

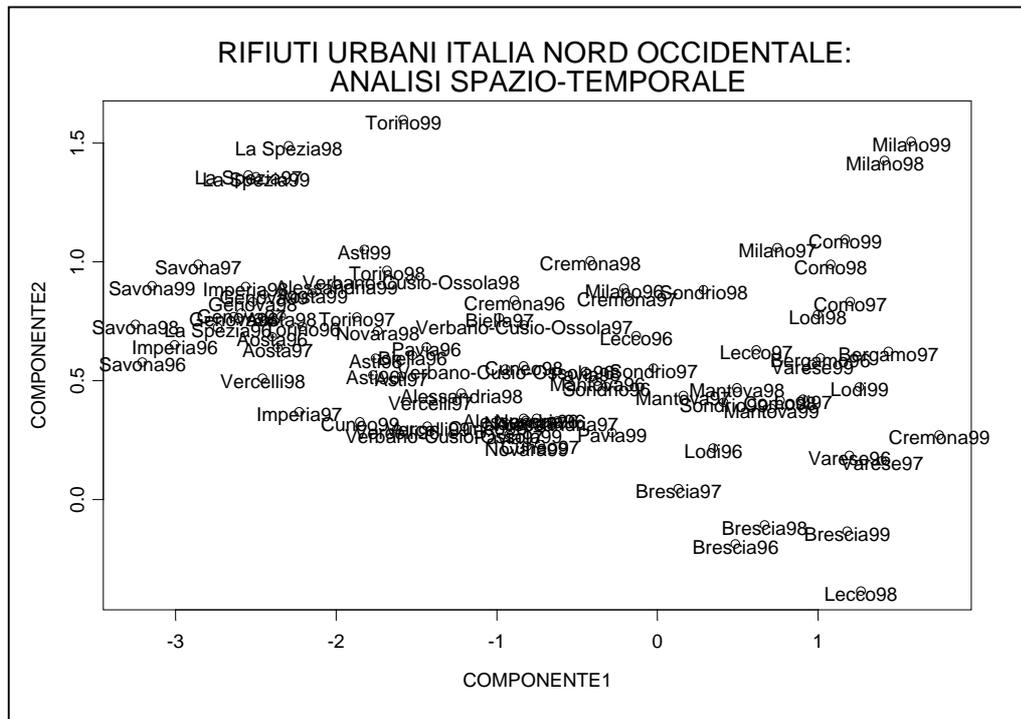
Dalla rappresentazione sui primi due assi (Fig.2) risulta evidente che le province dell'Italia nord-occidentale rispetto alla seconda componente e, quindi, rispetto alla raccolta selettiva che è la variabile che la caratterizza, hanno situazioni molto simili, vicine allo zero; le differenze riguardano le altre variabili (che sono quelle che caratterizzano il primo asse), infatti, le province della Liguria si trovano sul grafico in corrispondenza dei valori bassi, ciò significa che in tali province la modalità di raccolta che prevale è quella indifferenziata, contrariamente nelle province della Lombardia è la raccolta differenziata a prevalere. L'unica eccezione è rappresentata dalle province di Biella (per il 1998 e il 1999) Varese (per il 1998) ed Imperia (per il 1999) che fanno registrare in determinati anni valori significativi di raccolta selettiva.

Fig.2 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Togliendo dalla rappresentazione le province di Biella e Bergamo per gli anni 1998 e 1999, Varese per il 1998 e Imperia e Lecco per il 1999, la situazione diventa:

Fig.3 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.

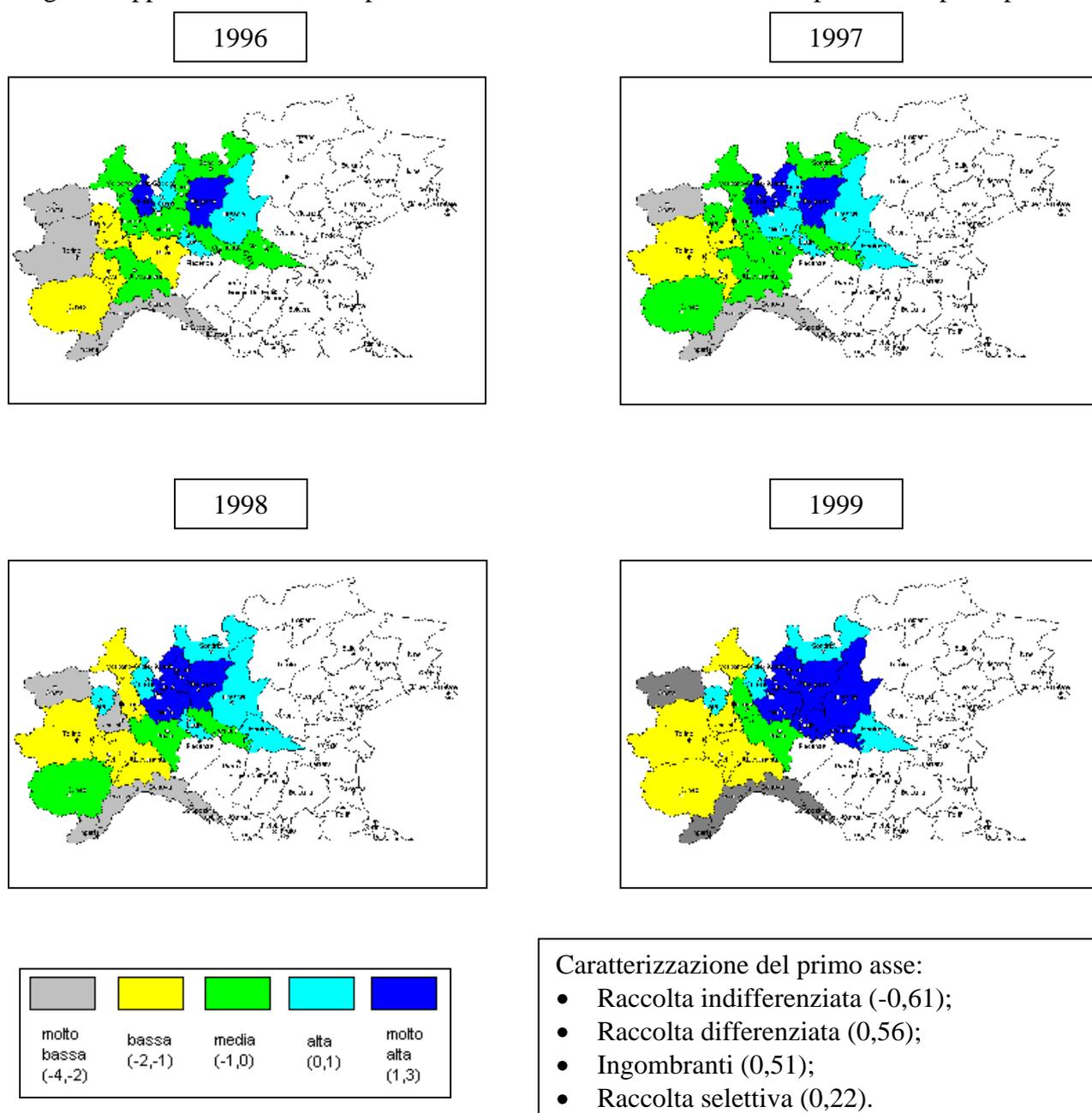


La situazione migliore nel senso della raccolta differenziata, che emerge dalla rappresentazione, dopo aver tolto le province che in alcuni anni assumono valori estremi, è relativa alla provincia di Milano, infatti la troviamo per tutti gli anni nella parte in alto a destra del grafico, ossia in corrispondenza di valori alti per la raccolta differenziata, per gli ingombranti (primo asse) e della raccolta selettiva (secondo asse). Situazione simile è quella della provincia di Como. Brescia si trova per tutti e quattro gli anni in basso a destra del grafico questo sta ad indicare che ha un valore elevato della raccolta differenziata e degli ingombranti e un valore basso per la raccolta selettiva. La provincia di Savona è quella che maggiormente è caratterizzata dalla raccolta indifferenziata. Nel 1999 si registra per Torino un valore molto alto della raccolta selettiva.

Le cartine riportate in Fig.4 mostrano la situazione delle province dell'Italia nord-occidentale rispetto al primo asse principale, relativamente al quale abbiamo i seguenti intervalli (-4, -2), (-2, -1), (-1,0), (0,1), (0,3). Ciò significa che le province per le quali i valori della prima componente sono compresi tra -4 e -2, vista la caratterizzazione dell'asse, sono quelle dove è maggiormente sviluppata la raccolta indifferenziata, quindi, le province i cui valori cadono nei primi due intervalli sono quelle caratterizzate dalla raccolta indifferenziata mentre le province che si trovano negli ultimi due sono caratterizzate dalla raccolta differenziata e dagli ingombranti. Le province i cui valori cadono nell'intervallo (-1,0) hanno una situazione intermedia.

Le cartine ci permettono di vedere l'evoluzione avvenuta nei quattro anni considerati.

Fig.4 - Rappresentazione delle province dell'Italia Nord occidentale sul primo asse principale.



Tutte le province della Liguria ed Aosta, hanno una situazione costante nel tempo e caratterizzata dalla raccolta indifferenziata, rispetto alla quale, quindi, non mostrano cenni di miglioramento, Asti pur con valori più contenuti presenta una situazione del tutto simile a tali province.

Alessandria e Verbania addirittura passano da una situazione intermedia del 1996 e 1997 ad una situazione caratterizzata dalla raccolta indifferenziata per il 1998 e per il 1999.

Vercelli e Novara mostrano un peggioramento nel 1998, ma comunque anche per gli altri anni è la raccolta indifferenziata a prevalere.

La provincia di Cuneo presenta una situazione anomala, infatti nel 1997 e 1998 accenna dei miglioramenti che svaniscono nel 1999.

Torino che nel 1996 si trova in una situazione caratterizzata dalla raccolta indifferenziata accenna un miglioramento nel 1997 ma rimane costante nel 1998 e 1999.

Tra tutte le province piemontesi quella che sicuramente presenta la situazione migliore è Biella, che ha avuto tra il 1996 e il 1999 il miglioramento maggiore nel senso della raccolta differenziata.

Bergamo è la provincia che in assoluto mostra la situazione migliore per quel che riguarda la raccolta dei rifiuti urbani, infatti, per tutti e quattro gli anni considerati, è caratterizzata dalla raccolta differenziata.

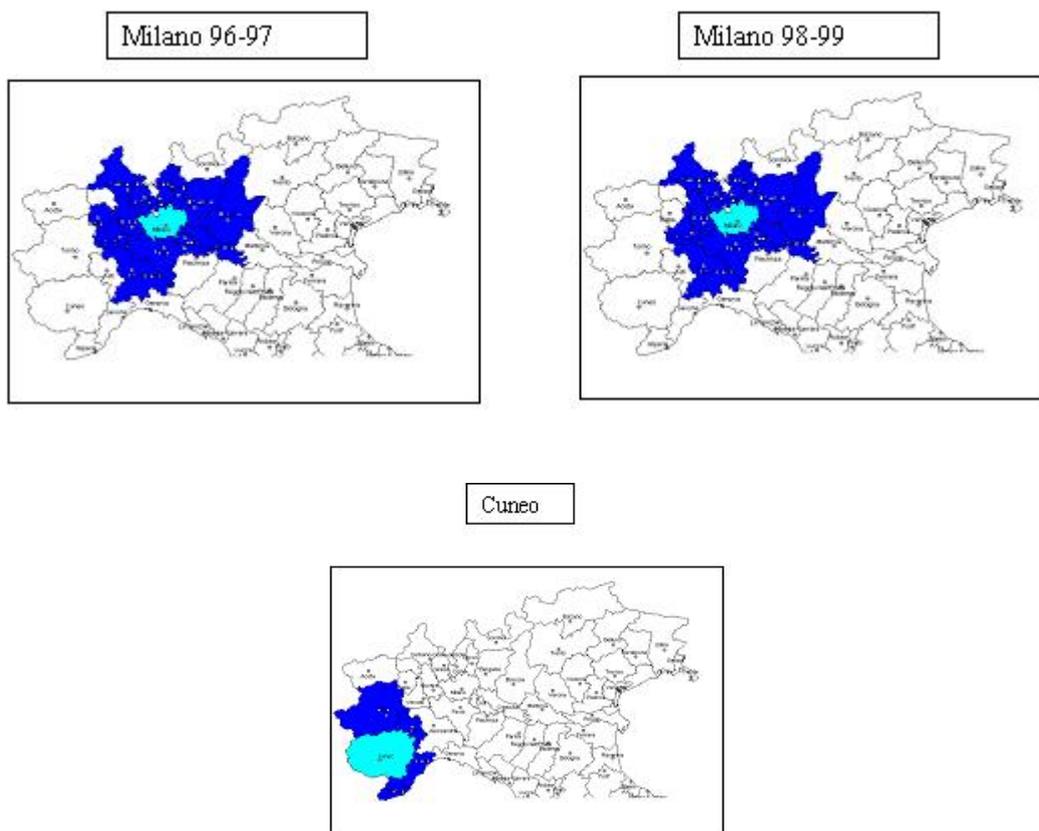
Tutte le altre province della Lombardia migliorano tra il 1996 e il 1997 e in alcuni casi (Brescia, Milano, Cremona, Lodi, Lecco e Como) arrivano ad avere valori interni all'intervallo più alto al quale corrisponde il livello maggiore di raccolta differenziata; tra le province di tale regione Pavia è quella che presenta una maggiore raccolta indifferenziata anche se seguendo la tendenza delle altre mostra un miglioramento tra il 1996 e il 1999.

Per quanto riguarda le zone di influenza il primo valore di h^* è 53 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo³ (227190,20m + 241876,67m), per tale valore le province risultano essere tutte correlate; il secondo valore di h^* è 18 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (86948,47m + 90367,95m), per tale valore le zone di influenza di ogni provincia sono ridotte. In particolare le province della Liguria hanno le zone di influenza meno estese, per La Spezia addirittura limitata alla sola provincia di Genova. Vediamo (Fig.5) come esempi le zone di influenza di Milano e di Cuneo, la prima risulta essere una tra le più ampie, mentre la seconda è tra quella meno estese.

Per ciò che riguarda le variazioni nel tempo, rispetto al secondo valore di h^* , tra il 1996 e il 1997 non si registra nessun cambiamento, mentre nel 1998 e nel 1999 le zone di influenza si riducono; nelle cartine che seguono per la provincia di Milano sono presentate le zone di influenza degli anni 1996-1997 e del 1998-1999, la differenza è rappresentata dalla provincia di Biella che esce dalla zona di influenza di Milano negli ultimi due anni considerati.

³ Le distanze sono misurate in metri.

Fig.5 – Zone di influenza per Milano e Cuneo ($h^*=18$)



3.2. Italia nord-orientale

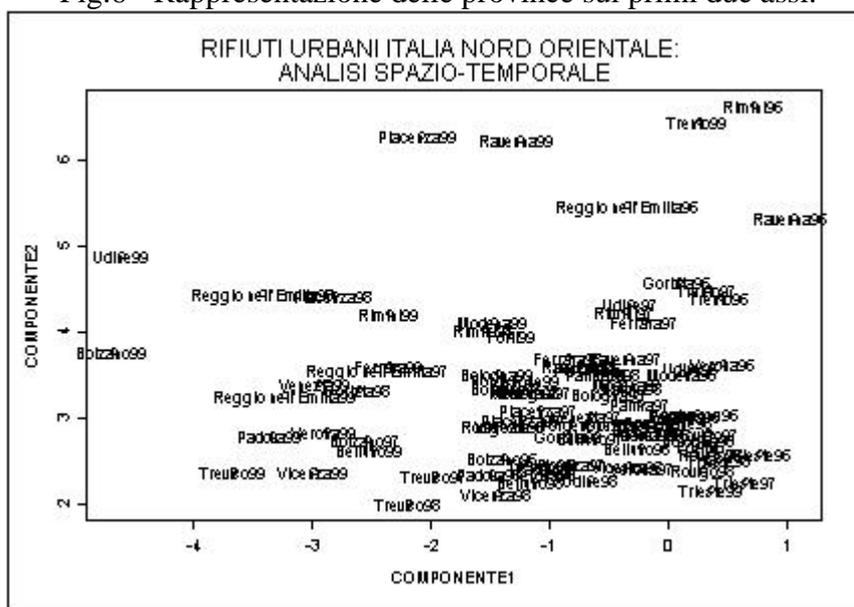
Le prime due componenti principali spiegano il 64% della variabilità del fenomeno. La prima componente è caratterizzata dalla raccolta selettiva (-0,67) e dalla raccolta differenziata (-0,67) entrambe con segno negativo. La seconda componente è caratterizzata dagli ingombranti (0,88) e dalla raccolta indifferenziata (0,39).

Tav.2 Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani Italia nord-orientale.

Autovalore	h*	% var. sp.	% var. sp. Cum.	Variabile	I autovett.	Variabile	II autovett.
1	45	39	39	Racc.ind.	0,26	Racc.ind.	0,39
2	33	25	64	Racc.diff.	-0,67	Racc.diff.	0,21
3	33	24	88	Ingombr.	0,18	Ingombr.	0,88
4	45	12	100	Racc.sel.	-0,67	Racc.sel.	0,17

Dalla rappresentazione sui primi due assi (Fig.6) si può notare che per il 1999 Bolzano e Udine sono quelle dove è maggiormente sviluppata la raccolta differenziata e la raccolta selettiva mentre Piacenza, Ravenna, Trento quelle dove è più rilevante la raccolta degli ingombranti, che fa registrare dei valori alti anche per Rimini, Reggio nell'Emilia e Ravenna per il 1996.

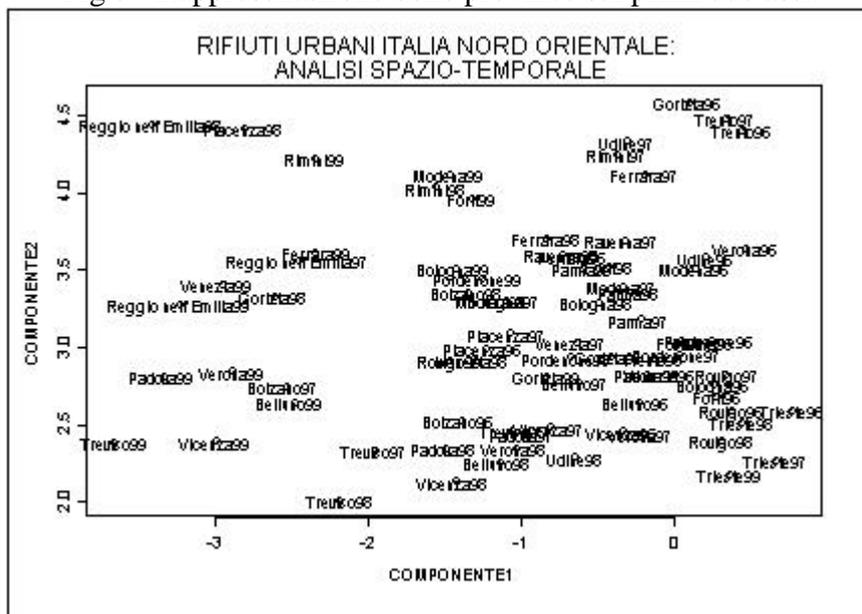
Fig.6 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Togliendo dalla rappresentazione sui primi due assi i valori estremi quindi Ravenna96 e Ravenna99, Rimini96, Reggio Emilia96, Trento99, Udine99, Bolzano99 e Piacenza99 la provincia maggiormente caratterizzata dalla raccolta differenziata e selettiva è Reggio Emilia infatti i valori

relativi al 1997, 1998 e 1999 si trovano in corrispondenza dei valori più bassi della prima componente (Fig.7).

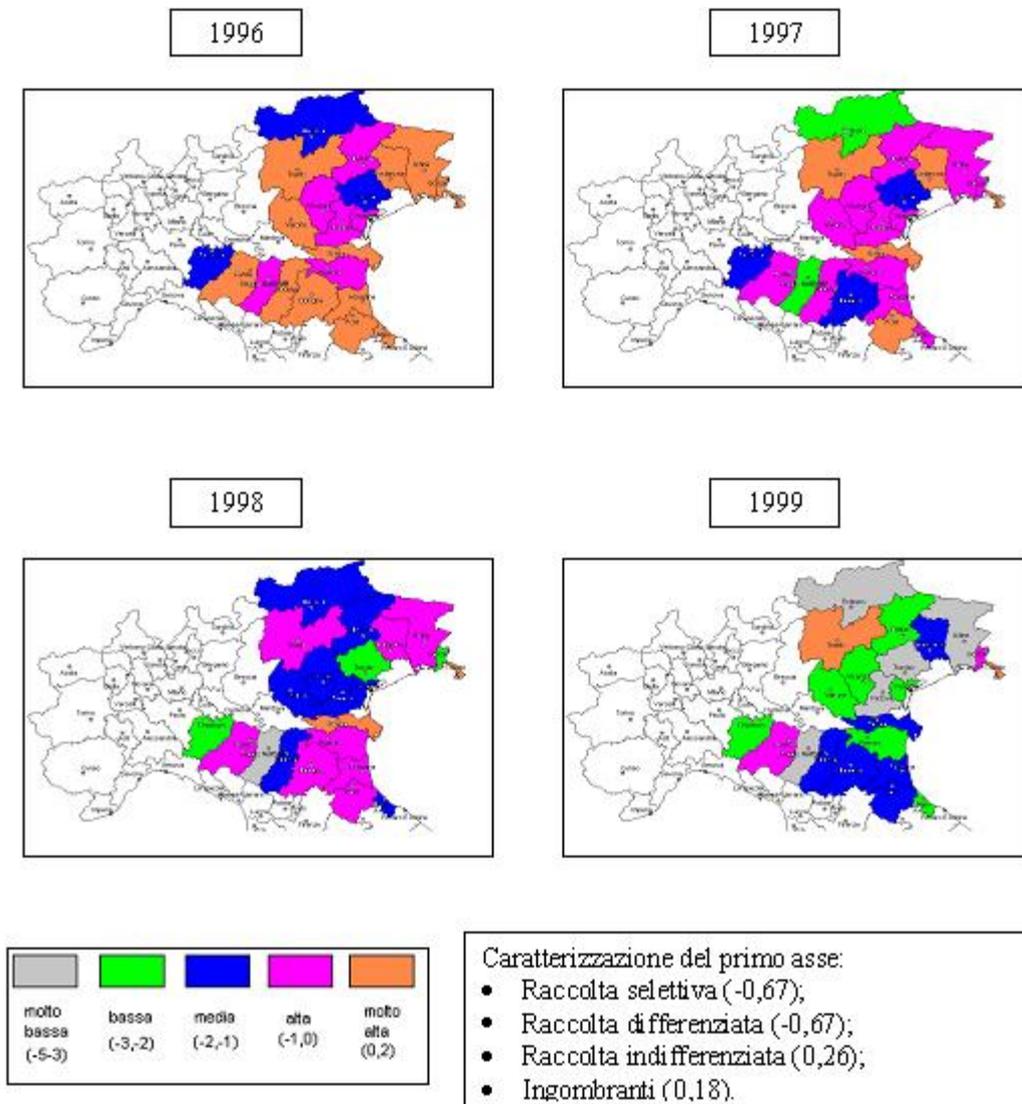
Fig.7 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Per vedere meglio i cambiamenti avvenuti durante i quattro anni presi in esame è opportuno analizzare le cartine riportate in Fig.8.

Tali cartine mostrano la situazione delle province dell'Italia nord-orientale rispetto al primo asse principale, relativamente al quale abbiamo i seguenti intervalli $(-5,-3)$, $(-3,-2)$, $(-2,-1)$, $(-1,0)$, $(0,2)$. Le province che hanno quindi un valore della prima componente compreso tra -5 e -2 sono caratterizzate dalla raccolta selettiva e dalla raccolta differenziata, mentre le province con un valore compreso tra -2 e -1 hanno una situazione intermedia, infine le province con un valore compreso tra -1 e 2 sono caratterizzate dalla raccolta indifferenziata e degli ingombranti. Analizziamo ora l'evoluzione avvenuta in ogni provincia tra il 1996 e il 1999. Nel 1996 19 province su 22 presentavano valori interni agli intervalli $(-1,0)$ e $(0,2)$, quindi erano caratterizzate dalla raccolta indifferenziata, le altre province, Bolzano, Treviso e Piacenza, si trovano nel 1996 in una situazione intermedia. Negli anni successivi le province di Trento e Trieste presentano la situazione peggiore, infatti anche se Trento mostra un leggero miglioramento nel 1998, nel 1999 le troviamo nella stessa situazione del 1996. La provincia di Rovigo pur mantenendo una situazione costante fino al 1998, nel 1999 fa registrare un buon miglioramento. Parma al contrario, accenna un leggero miglioramento tra il 1996 e il 1997 poi però rimane ferma negli anni successivi. La provincia di Udine che per il 1996 è tra quelle caratterizzate dalla raccolta indifferenziata, nel 1999 fa registrare un valore interno all'intervallo $(-5,-3)$, ciò significa che probabilmente tra il 1998 e il 1999 sono state adottate delle linee di gestione dei rifiuti volte a favorire la raccolta differenziata. Le province di Pordenone, Modena, Bologna, Ravenna e Forlì passano da una situazione in cui prevale la raccolta indifferenziata ad una situazione intermedia. Gorizia fa registrare un leggero miglioramento nei quattro anni considerati anche se per il 1998 il valore mostra una maggiore raccolta differenziata. Verona e Rimini sono altre due province che mostrano un buon miglioramento tra il 1996 e il 1999. Anche per tutte le altre province la situazione nei quattro anni si evolve passando dalla raccolta indifferenziata alla raccolta differenziata.

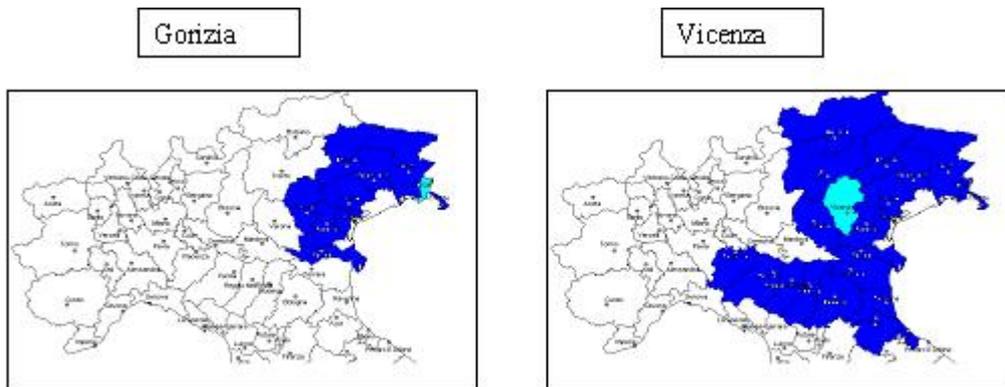
Fig.8 - Rappresentazione delle province dell'Italia Nord orientale sul primo asse principale.



Il primo valore di h^* è 45 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (254158,77m + 271808,88m), per tale valore tutte le province risultano correlate; il secondo valore di h^* è 33 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (177980,70m + 186506,30m) e anche in questo caso le zone di influenza risultano abbastanza estese. Nelle cartine seguenti sono riportate le zone di influenza di Gorizia che è tra le meno estese e quella di Vicenza che, al contrario, è estesa a tutta l'Italia nord-orientale.

Nei quattro anni considerati le zone di influenza della maggior parte delle province sono rimaste invariate, gli unici cambiamenti avvenuti riguardano le province di Bolzano e Ferrara che risultano correlate solo nel 1996 e Ravenna e Trieste che risultano correlate nel 1996, 1997 e 1998 ma non nel 1999.

Fig.9 – Zone di influenza per Gorizia e Vicenza ($h^*=33$)



3.3 Italia centrale

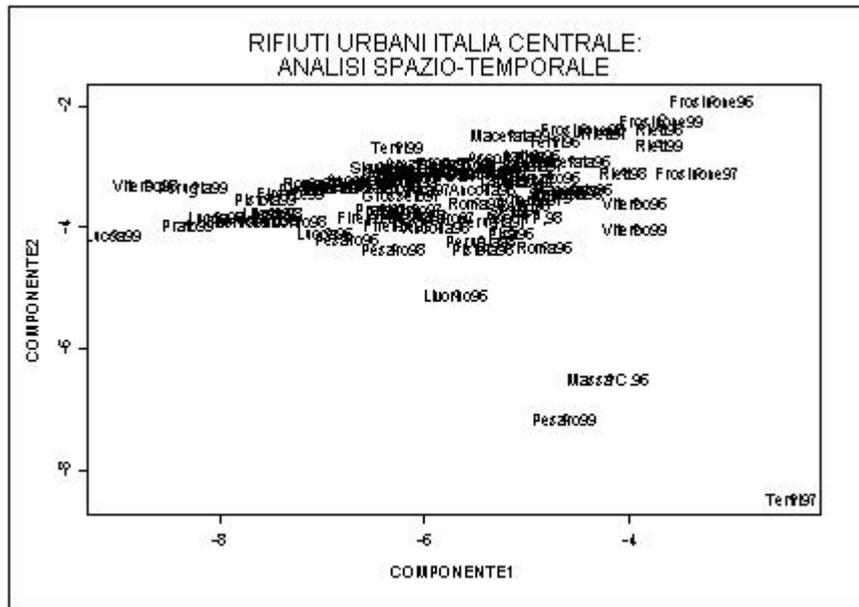
Le prime due componenti principali spiegano il 65% della variabilità del fenomeno. La prima componente è caratterizzata dalla raccolta differenziata (-0,57), dalla raccolta indifferenziata (-0,56) e dagli ingombranti (-0,47) tutte con segno negativo e con punteggio più basso dalla raccolta selettiva (0,36). La seconda componente è caratterizzata dagli ingombranti (-0,92), dalla raccolta indifferenziata (-0,32).

Tav.3 Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani: Italia centrale.

Autovalore	h^*	% var. sp.	% var. sp. Cum.	Variabile	I autovett.	Variabile	I autovett.
1	42	43	43	Racc.ind.	-0,56	Racc.ind.	-0,32
2	43	22	65	Racc.diff.	-0,57	Racc.diff.	-0,22
3	24	19	84	Ingombr.	0,36	Ingombr.	-0,92
4	17	16	100	Racc.sel.	-0,47	Racc.sel.	-0,05

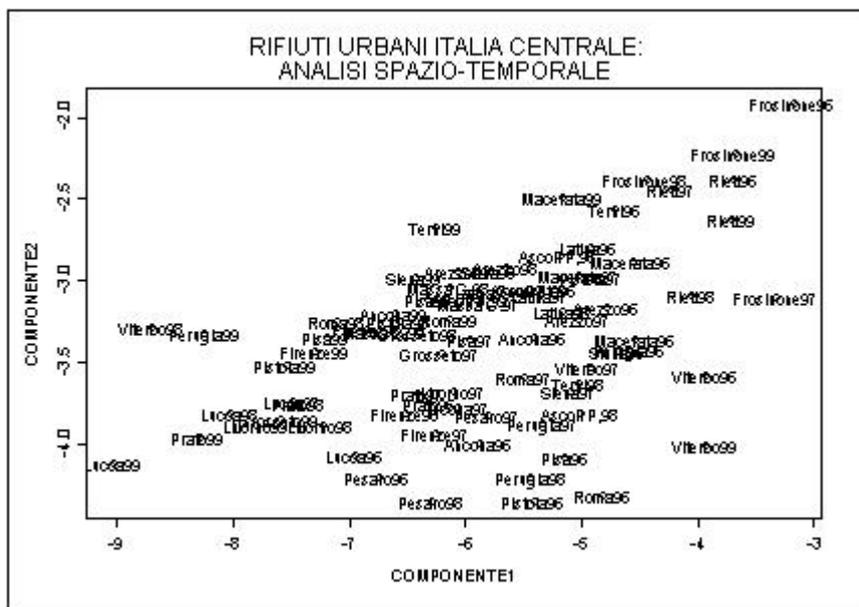
Dalla rappresentazione delle province sui primi due assi (Fig.10), risulta che le province hanno una situazione più omogenea rispetto alla seconda componente e quindi agli ingombranti, alcune situazioni diverse sono rappresentate da Massa C.(96), Pesaro(99) e Terni (97) che fanno registrare in particolari anni una maggiore raccolta di ingombranti. Rispetto alla prima componente le province del Lazio fanno registrare i valori più bassi mentre le province toscane si trovano in corrispondenza dei valori più alti.

Fig.10 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Togliendo dal grafico i valori estremi quindi Massa96, Livorno96, Terni97 e Pesaro99 la rappresentazione diventa:

Fig.11 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.

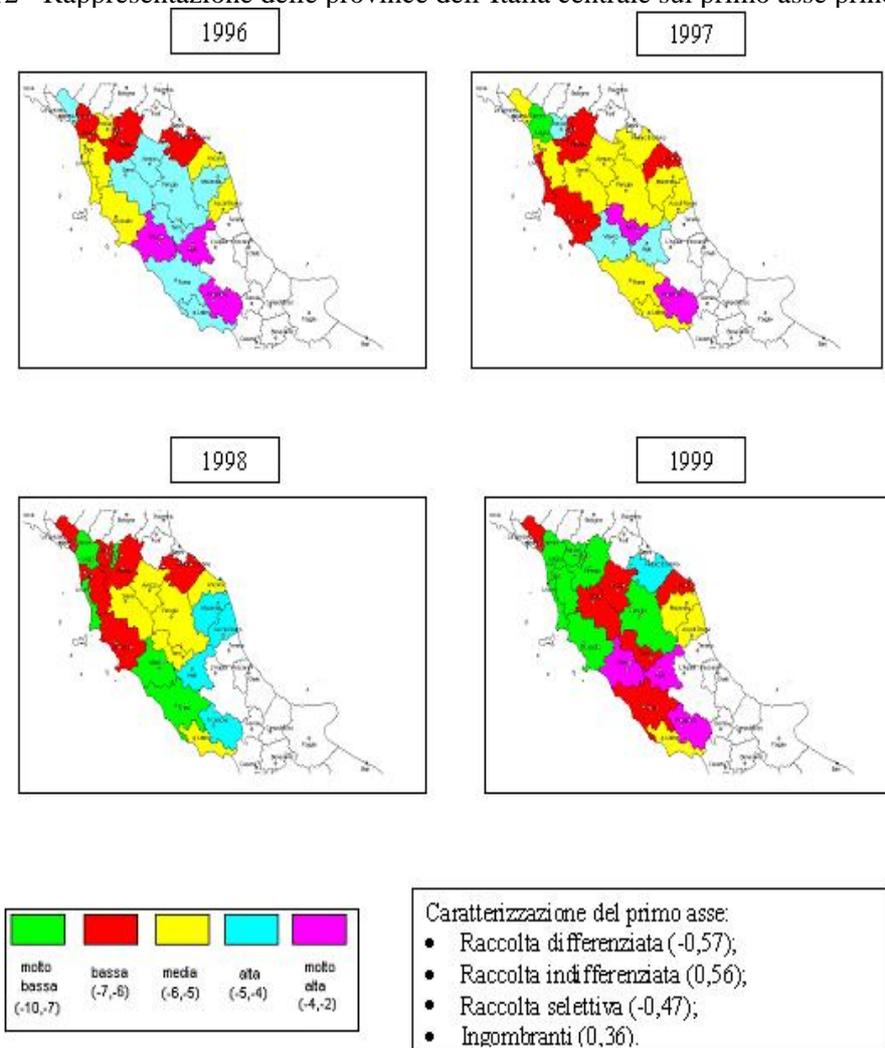


Dalle cartine della Fig.12 si vedono forse più chiaramente i cambiamenti avvenuti nel tempo, in particolare nelle cartine è rappresentata la situazione delle province dell'Italia centrale rispetto al primo asse, gli intervalli considerati sono: (-10,-7), (-7,-6), (-6,-5), (-5,-4), (-4,-2). Le province che si trovano nei primi due intervalli sono quelle dove sono più sviluppate la raccolta differenziata, la raccolta indifferenziata e la raccolta selettiva, mentre le province che hanno valori compresi negli ultimi due intervalli sono quelle dove è prevalente la raccolta degli ingombranti.

Dalla caratterizzazione dell'asse si può dire che più i valori della prima componente sono bassi più è sviluppata la raccolta differenziata, vediamo ora la situazione di ogni provincia nei quattro anni considerati.

La provincia di Lucca che già per il 1996 mostra un valore che indica un buon livello della raccolta differenziata, nel 1997 mostra un miglioramento che dura per il 1998 e il 1999. Una situazione simile mostrano sia la provincia di Prato che quella di Firenze. Le altre province della Toscana mostrano tutte la stessa tendenza verso un maggior ricorso alla raccolta differenziata, anche se alcune di esse come Siena e Arezzo, partendo da una situazione peggiore nel 1999 ancora non hanno raggiunto l'intervallo più basso. Situazioni simili sono relative alle province di Perugia e Terni. Ancona e Macerata presentano una situazione che nei quattro anni considerati mostra dei miglioramenti non duraturi nel tempo. Una situazione peggiore è quella della provincia di Pesaro e Urbino che a differenza di tutte le altre mostra la tendenza ad allontanarsi dalla raccolta differenziata. Ascoli Piceno oltre a mostrare un peggioramento avvenuto nel 1998 per tutti gli altri tre anni considerati non dà nessun cenno di miglioramento. Passando ad analizzare le province laziali si può dire che sono quelle dove maggiormente si fa ricorso alla raccolta degli ingombranti, Viterbo accenna dei miglioramenti nel 1998 che svaniscono completamente nel 1999, Frosinone Latina e Rieti mantengono delle situazioni più o meno costanti nel tempo, Roma infine è l'unica provincia del Lazio che mostra una tendenza verso la raccolta differenziata con un miglioramento soprattutto tra il 1997 e il 1998.

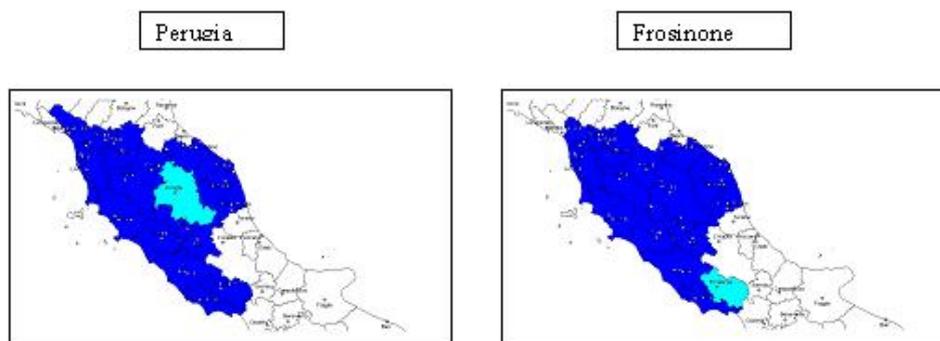
Fig.12 - Rappresentazione delle province dell'Italia centrale sul primo asse principale



Il primo valore di h^* è 42 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (323663,97m + 365455,16m), per tale valore le province risultano essere tutte correlate ad eccezione di Frosinone e Massa Carrara che non lo sono, il secondo valore di h^* è 43 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (365455,16m + 365455,16m), e ovviamente anche per tale valore le province risultano essere tutte correlate.

Le zone di influenza rimangono costanti per tutti e quattro gli anni sia per il primo che per il secondo valore di h^* .

Fig.13 – Zone di influenza per Perugia e Frosinone ($h^*=42$)



3.4 Italia meridionale

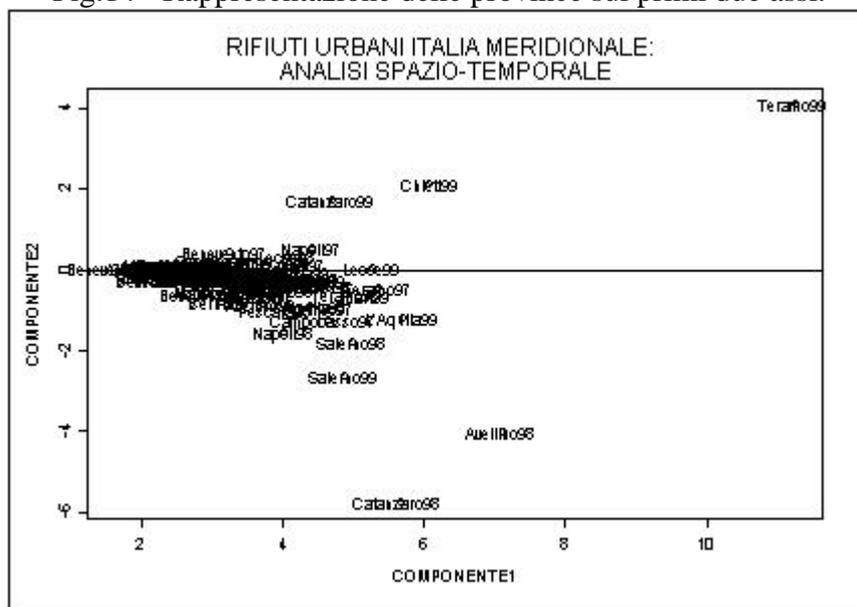
Le prime due componenti principali spiegano il 67% della variabilità del fenomeno. La prima componente è caratterizzata dalla raccolta differenziata (0,64), dagli ingombranti (0,53), dalla raccolta indifferenziata (0,40) e dalla raccolta selettiva (0,38). La seconda componente è caratterizzata dalla raccolta selettiva (-0,80) con segno negativo e dagli ingombranti (0,60).

Tav.4 Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani: Italia meridionale.

Autovalore	h^*	% var. sp.	% var. sp. Cum.	Variabile	I autovett.	Variabile	I autovett.
1	51	42	42	Racc.ind.	0,40	Racc.ind.	0,02
2	50	25	67	Racc.diff.	0,64	Racc.diff.	-0,03
3	8	22	89	Ingombr.	0,53	Ingombr.	0,60
4	50	11	100	Racc.sel.	0,38	Racc.sel.	-0,80

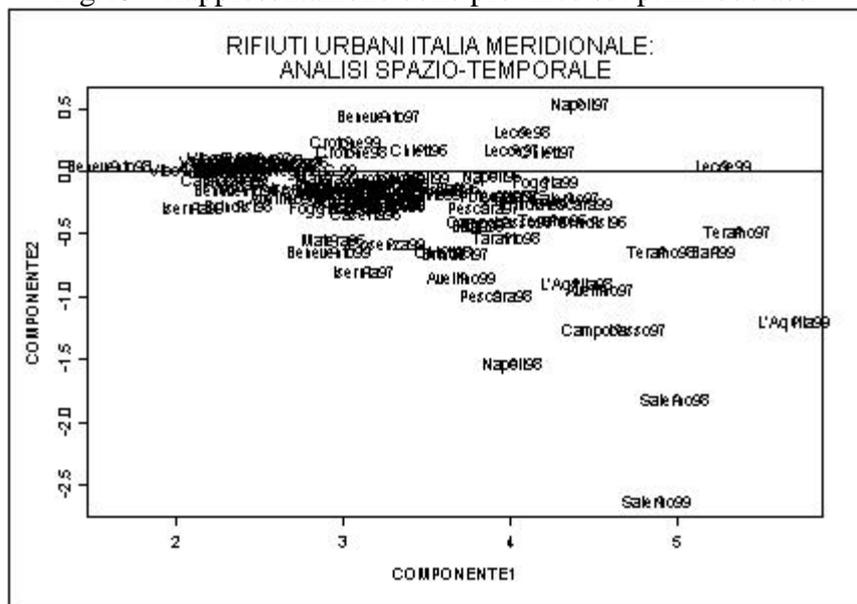
Dalla rappresentazione delle province sui primi due assi principali (Fig.14), la situazione risulta essere molto omogenea tra le province dell'Italia meridionale, in particolare rispetto al secondo asse tutte si trovano intorno allo zero, ciò data la caratterizzazione dell'asse, sta a significare che nell'Italia meridionale non sono molto sviluppate né la raccolta selettiva né la raccolta degli ingombranti. Alcune eccezioni sono rappresentate dalle province di Teramo, Catanzaro e Chieti che per il 1999 fanno registrare una maggiore raccolta differenziata e degli ingombranti, e dalle province di Catanzaro e Avellino per il 1998 fanno registrare un valore più alto per la raccolta selettiva.

Fig.14 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Togliendo dal grafico i valori estremi la rappresentazione sui primi due assi diventa:

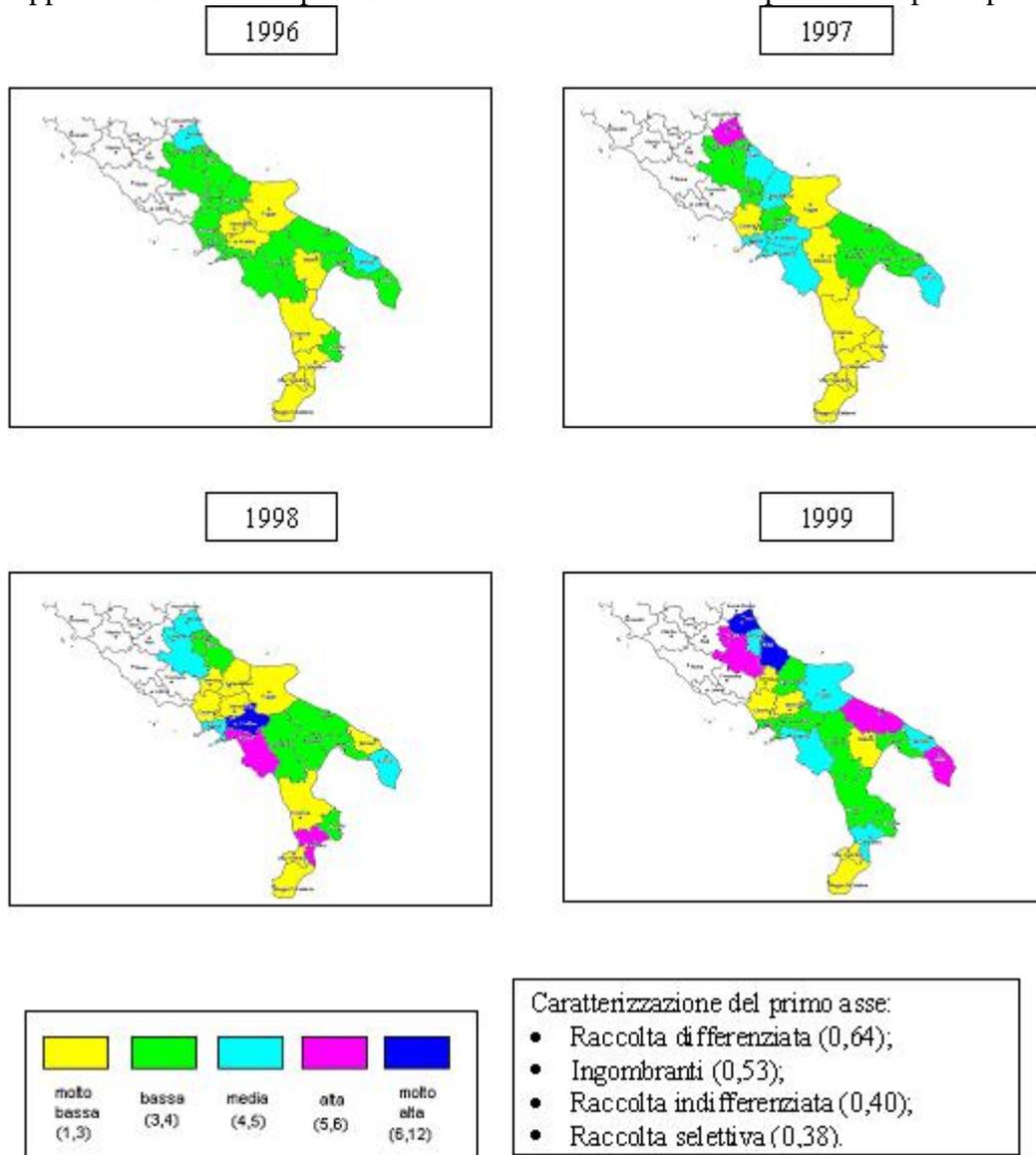
Fig.15 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Vediamo ora nelle cartine relative al primo asse (Fig.16) i cambiamenti avvenuti tra il 1996 e il 1999. Gli intervalli considerati sono: (1,3), (3,4), (4,5), (5,6), (6,12), più i valori della prima componente sono alti più le province sono caratterizzate dalla raccolta differenziata. Ne l 1996 le province con la situazione migliore sono Brindisi e Teramo, mentre quest'ultima nei quattro anni considerati mostra dei miglioramenti e nel 1999 è la provincia Chieti con la maggior raccolta differenziata, Brindisi peggiora nel 1997 e nel 1998 e nel 1999 ritorna al livello del 1996. Le province di Caserta e Isernia nel 1996 mostrano dei valori bassi per la raccolta differenziata e negli anni successivi peggiorano tale situazione. Le altre province mostrano tutti situazioni in cui la raccolta differenziata non è molto sviluppata ma tra il 1996 e il 1999 mostrano leggeri

miglioramenti più accentuati quelle delle province di L'Aquila, Bari e Lecce. Eccezioni sono rappresentate da Taranto, Reggio Calabria e Vibo Valentia che tra il 1996 e il 1999 non presentano nessun cambiamento relativo alla raccolta dei rifiuti urbani.

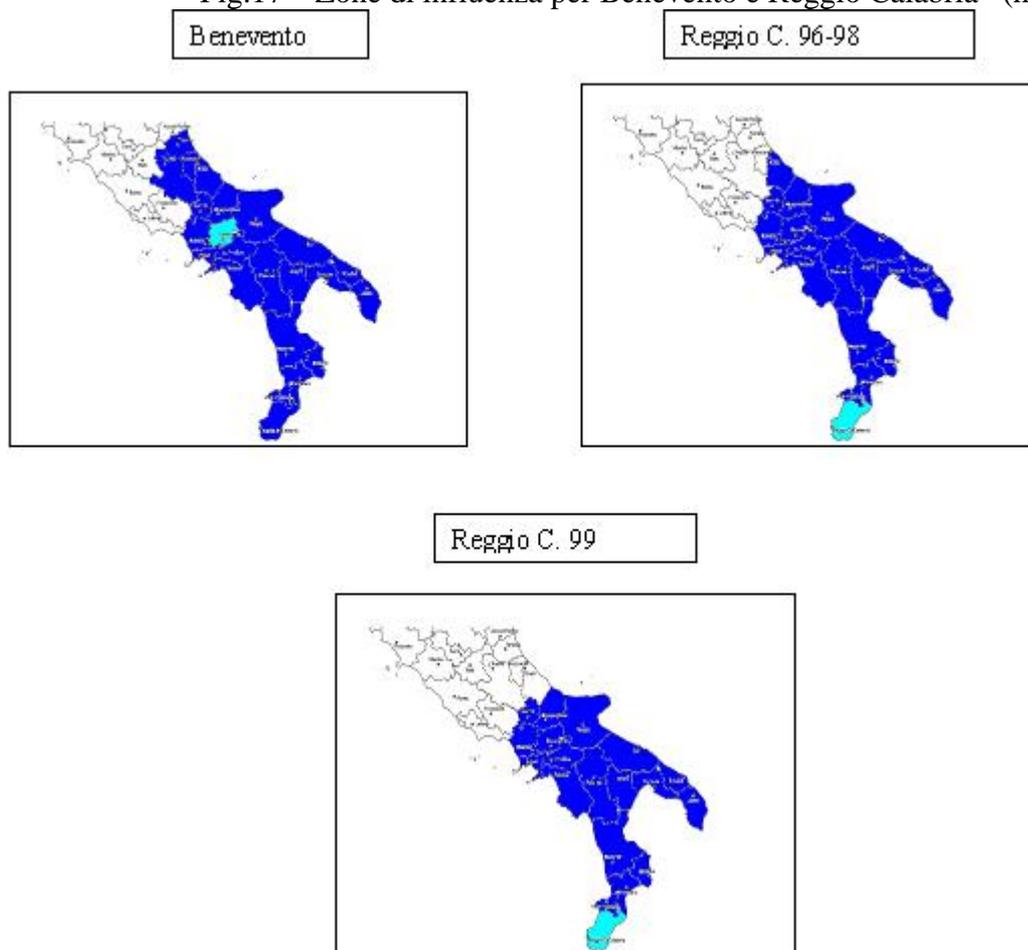
Fig.16 - Rappresentazione delle province dell'Italia Meridionale sul primo asse principale.



Il primo valore di h^* è 51 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo $(491627,22m + 534119,19m)$, per tale valore le province risultano essere tutte correlate, il secondo valore di h^* è 50 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo $(471547,16m + 491627,22m)$ ed anche in questo caso la zona di influenza di ogni provincia è molto estesa.

Le zone di influenza di Teramo, Chieti, Crotone e Reggio Calabria sono le uniche che cambiano dal 1996 al 1999, anche in questo caso, come per le altre ripartizioni, si riducono e quindi Teramo e Crotone sono correlate solo nel 1996 mentre Chieti e Reggio Calabria sono correlate nel 1996, 1997 e 1998 ma non nel 1999.

Fig.17 – Zone di influenza per Benevento e Reggio Calabria ($h^*=50$)



3.5 Italia insulare

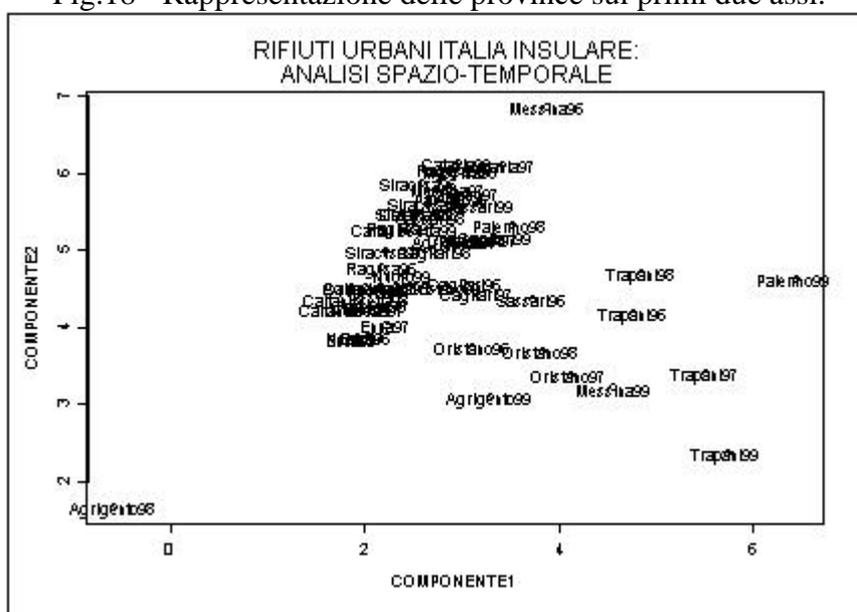
Le prime due componenti principali spiegano il 58% della variabilità totale del fenomeno. La prima componente è caratterizzata dalla raccolta differenziata (0,66), dagli ingombranti (0,57), dalla raccolta indifferenziata (0,34) e con segno negativo dalla raccolta selettiva (-0,35). La seconda componente è caratterizzata dalla raccolta indifferenziata (0,77) e con segno negativo dagli ingombranti (-0,50) e dalla raccolta selettiva (-0,37).

Tav.5 Analisi spazio-temporale della raccolta dei rifiuti urbani: Italia Insulare.

Autovalore	h*	% var. sp.	% var. sp. Cum.	Variabile	I autovett.	Variabile	I autovett.
1	9	33	33	Racc.ind.	0,34	Racc.ind.	0,77
2	6	25	58	Racc.diff.	0,66	Racc.diff.	-0,16
3	6	23	81	Ingombr.	0,57	Ingombr.	-0,50
4	9	19	100	Racc.sel.	-0,35	Racc.sel.	-0,37

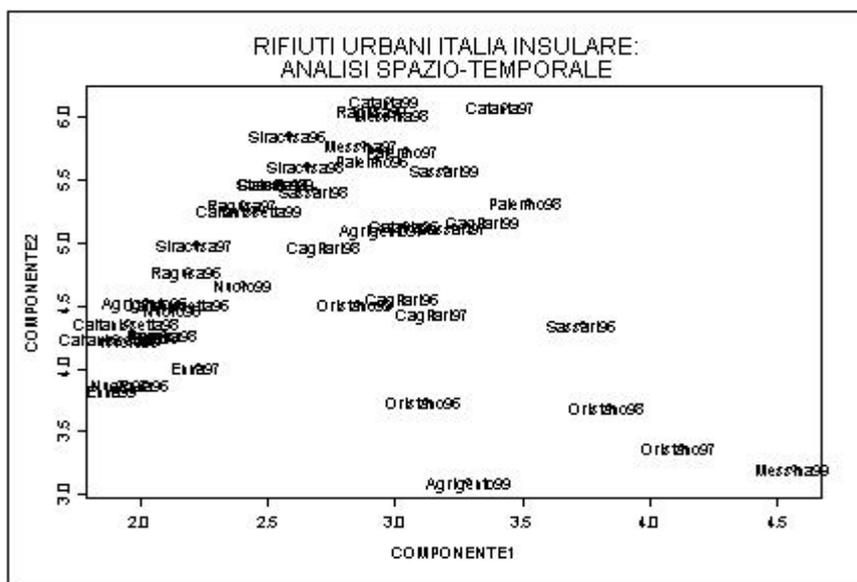
Dalla rappresentazione delle province sui primi due assi (Fig.14), risulta una situazione abbastanza omogenea, con alcune eccezioni rappresentate dalle province di Trapani ed Oristano e per il 1999 Palermo.

Fig.18 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



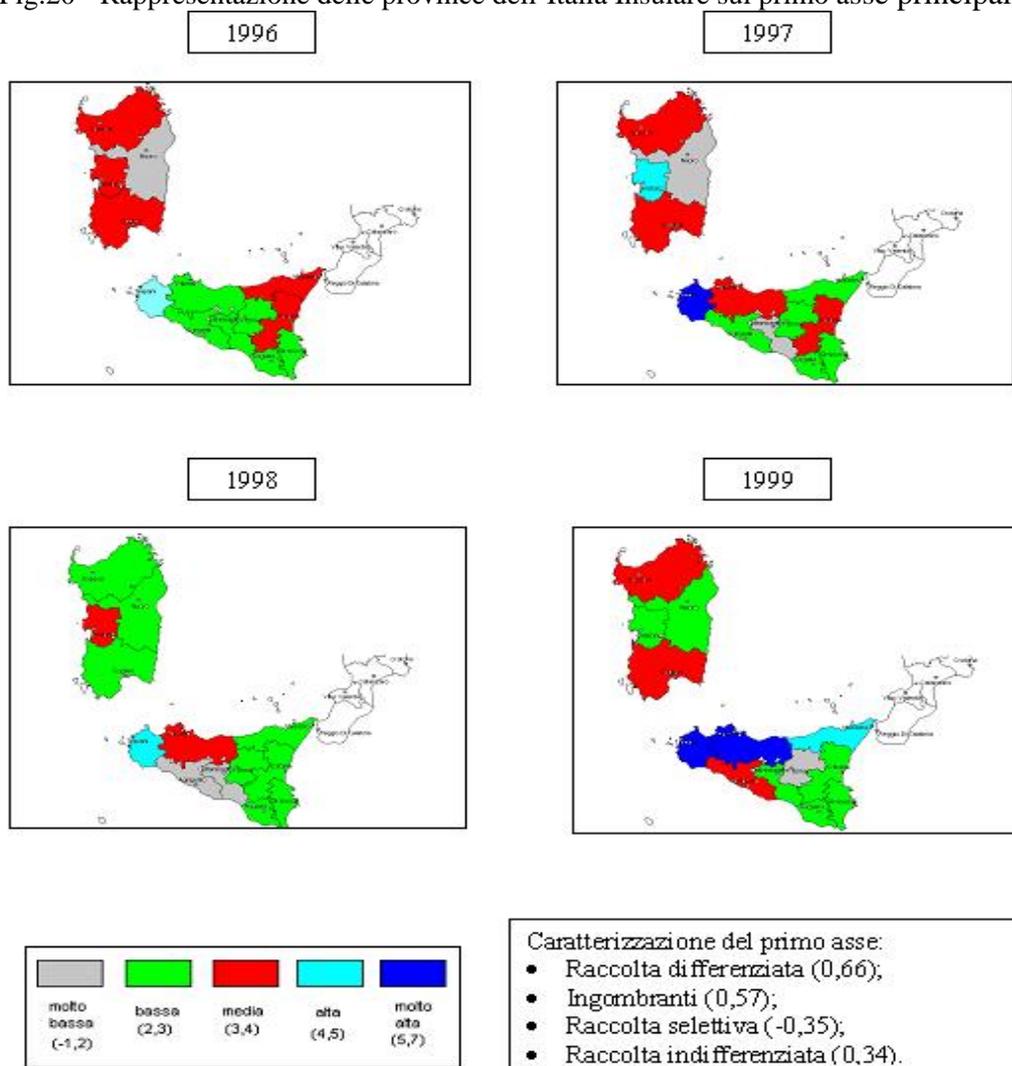
Togliendo dal grafico i valori estremi, quindi Messina96, Agrigento98, Palermo99 e Trapani96/97/98/99 la rappresentazione sui primi due assi diventa:

Fig.19 - Rappresentazione delle province sui primi due assi.



Vediamo ora la situazione relativa al primo asse. Gli intervalli considerati relativamente al primo asse nelle cartine sono: (-1,2), (2,3), (3,4), (4,5), (5,7), le province che si trovano nei primi due intervalli, vista la caratterizzazione dell'asse sono quelle dove è maggiormente sviluppata la raccolta selettiva e indifferenziata, mentre in quelle, i cui valori si trovano negli ultimi due intervalli, si ha una maggiore raccolta differenziata e degli ingombranti. Dalle cartine (Fig.risulta abbastanza evidente che in tutte le province dell'Italia insulare non è molto presente la raccolta differenziata, anche se tra il 1996 e il 1999 si registra un leggero miglioramento. Trapani è sicuramente la provincia nella quale è più sviluppata la raccolta differenziata, anche Palermo e Messina fanno registrare valori che mostrano la presenza del ricorso alla raccolta differenziata. Le province di Agrigento, Caltanissetta, Sassari e Cagliari dopo un leggero peggioramento tra il 1997 e il 1998 nel 1999 tornano ad avere valori simili a quelli del 1996. Enna e Catania mostrano un peggioramento tra il 1996 e il 1999. Oristano che tra il 1996 e il 1997 presenta un miglioramento nel 1998 e nel 1999 mostra valori molto bassi della raccolta differenziata. Le province di Ragusa e Siracusa hanno entrambe situazioni costanti nel periodo considerato e caratterizzate da valori bassi della raccolta differenziata.

Fig.20 - Rappresentazione delle province dell'Italia Insulare sul primo asse principale



Il primo valore di h^* è 9 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (229302,20m + 378863,44m), per tale valore le zone di influenza risultano abbastanza estese, il secondo valore di h^* è 6 e corrisponde alla classe definita dall'intervallo (125825,05m + 154300,30m) e in questo caso le province risultano meno correlate e quindi le loro zone di influenza meno estese. Tali zone inoltre risultano di ampiezza costante per la maggior parte delle province durante i quattro anni considerati, gli unici cambiamenti riguardano Messina e Caltanissetta che sono correlate solo nel 1996 mentre Agrigento e Siracusa sono correlati nel 1996, 1997 e 1998 ma non nel 1999.

Fig.21– Zona di influenza per Palermo (h*=9)

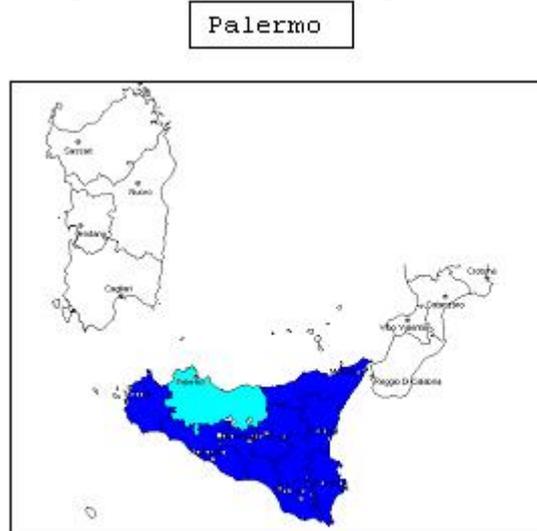
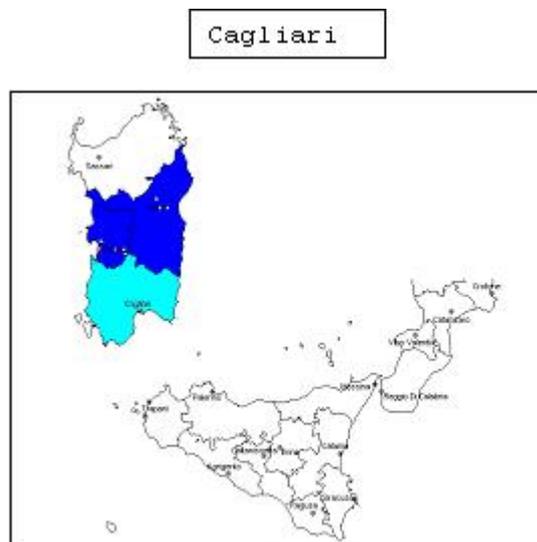


Fig.22 – Zona di influenza per Cagliari (h*=6)



4. Conclusioni

Dall'analisi effettuata risulta che in tutte, o quasi, le province dell'Italia tra il 1996 e il 1999 c'è un miglioramento relativamente alla raccolta differenziata, che d'altra parte si sta diffondendo sempre più in tutte le province. La situazione comunque è diversa se consideriamo le province del nord e quelle del sud. Nelle prime, infatti, la raccolta differenziata è già abbastanza diffusa e il miglioramento avvenuto nell'intervallo temporale considerato è notevole, contrariamente nelle province del sud la raccolta differenziata è ancor di più la raccolta selettiva e degli ingombranti

fanno registrare valori molto bassi, inoltre dove si registra un miglioramento tra il 1996 e il 1999 tale miglioramento è lieve. L'Italia centrale fa registrare una situazione intermedia.

Un altro elemento che viene fuori dall'analisi è che passando da nord a sud la situazione sulla raccolta dei rifiuti urbani diventa più omogenea e le province risultano più correlate.

La differenza che si registra tra le diverse ripartizioni dell'Italia non è dovuta a particolari leggi regionali o provinciali, in quanto la normativa di riferimento per la gestione dei rifiuti urbani in tutta l'Italia è il Decreto Ronchi, infatti le relative leggi regionali e provinciali sono tutte emanate per rispettare le indicazioni che si trovano nel Decreto stesso, in base a questo, quindi, si può affermare che le diversità esistenti sono dovute a comportamenti propri delle province.

9. Riferimenti bibliografici e normativi

GIOVANNA JONA-LASINIO (2001) " Modeling and Exploring Multivariate Spatial Variation: A Test Procedure for Isotropy of Multivariate Spatial Data - Journal of Multivariate Analysis " , Volume 77, Number 2, 2001 pp. 295-317.

Agenzia Nazionale per la protezione dell'ambiente (ANPA)- Osservatorio Nazionale sui Rifiuti "Rapporto preliminare sulla raccolta differenziata e sul recupero dei rifiuti di imballaggio 1998-1999", febbraio 2000.

DPCM 6 luglio 1995, *Approvazione del modello unico di dichiarazione in materia ambientale, previsto dall'art. 6 della legge 25 gennaio 1994, n. 70*, G. U. n. 175 del 28 luglio 1995; *MUD '96* (dati '95).

Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio; è il cosiddetto *decreto Ronchi*.

DPCM 21 marzo 1997, *Sostituzione del modello unico di dichiarazione in materia ambientale, previsto dall'art. 6 della legge 25 gennaio 1994, n. 70*, G. U. n. 80 del 7 aprile 1997; *MUD '97* (dati '96), confermato nel '98 (dati '97).

Decreto Legislativo 8 novembre 1997, n. 389 "Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, in materia di rifiuti, di rifiuti pericolosi, di imballaggi e di rifiuti di imballaggio; cosiddetto *decreto Ronchi - bis*.

DPCM 31 marzo 1999, *Approvazione del nuovo modello unico di dichiarazione ambientale per l'anno 1999*, G. U. n. 86 del 14 aprile 1999; *MUD '99* (dati '98), confermato nel 2000, nel 2001 e nel 2002 (relativi ai dati, rispettivamente, del '99, del 2000 e del 2001).