

Analisi del mercato del lavoro: metodi per la costruzione di aree funzionali*

di Marco Martini e Giorgio Vittadini

1. Premessa. - 2. Aree funzionali e loro rappresentazione in termini di grafi e matrici. - 3. Principali metodi per la costruzione di aree funzionali. - 4. Le aree funzionali per l'osservazione del mercato del lavoro. - 5. Aree di massima associazione tra luogo di residenza e luogo di lavoro

1. Premessa

Uno dei più complessi problemi che l'analisi del mercato del lavoro regionale deve affrontare riguarda la definizione degli ambiti territoriali cui fare riferimento.

È ormai universalmente riconosciuto che non è possibile concepire un unico «mercato del lavoro regionale» sia perché non sussiste «omogeneità» tra i lavoratori sotto il profilo professionale e delle caratteristiche ascritte (sesso, età, ecc.), sia perché l'ipotesi di perfetta mobilità territoriale nell'ambito regionale non è affatto verificata.

Ne deriva che il «funzionamento» del mercato del lavoro, ovvero l'insieme dei processi che regolano l'incontro tra la domanda e l'offerta di lavoro vanno osservati su scale territoriali sub-regionali.

In proposito vanno distinti due tipi di aree: le «aree problema» e le «aree per l'osservazione o per la gestione corrente» del mercato del lavoro.

Il primo tipo di aree va definito *ad hoc*, di volta in volta, a partire da un particolare problema. In genere si tratta di circoscrivere le zone su cui si riversano gli effetti di specifici fenomeni come, ad esempio, crisi aziendali o di settore, nuovi insediamenti produttivi, ecc. L'unità territoriale in cui il fenomeno è localizzato è un «polo» intorno al quale si tratta di disegnare un «bacino» che comprenda tutte le unità territoriali che sono direttamente o indirettamente interessate agli effetti del fenomeno stesso.

Il secondo tipo di aree, invece, una volta definito, può essere aggiornato al medio-lungo periodo, ma costituisce il riferimento territoriale stabile per l'osservazione sistematica del funzionamento dei mercati del lavoro locale oppure per gli interventi di gestione corrente del mercato del lavoro. Tali aree devono essere costituite da unità territoriali che presentino un elevato grado di integrazione, dal punto di vista del funzionamento del mercato del lavoro (aree funzionali) oppure una forte somiglianza dal punto di vista di particolari fenomeni (aree omogenee).

Le recenti rassegne sui metodi di costruzione delle aree funzionali (Sforzi-Openshaw, 1982, De Angelini-Torelli, 1983, IRSEV, 1984) sono state condotte secondo un'ottica prevalentemente di tipo geografico. In questa sede, invece, si intende fornire una

chiave di lettura dei metodi proposti che evidenzii le possibili scelte metodologiche che devono essere compiute nelle diverse fasi della procedura di costruzione delle aree stesse.

In tal modo si costruirà una griglia classificatoria dei possibili metodi, fondata sulla combinazione delle diverse alternative.

Si passerà poi a considerare i cinque principali gruppi di metodologie già proposte nella letteratura, con riguardo alle loro caratteristiche essenziali, alle loro eventuali varianti e alle principali argomentazioni dei loro sostenitori e dei loro critici.

Si concentrerà infine l'attenzione sulle aree funzionali del mercato del lavoro, da costruirsi sulla base delle informazioni degli spostamenti casa-lavoro, indicando, tra le possibili, le opzioni metodologiche che meglio si adattano alla loro natura.

Marco Martini è professore associato dell'Istituto di scienze statistiche e matematiche «M. Boldrin» dell'Università di Milano

Giorgio Vittadini è collaboratore del medesimo Istituto.

* Il presente contributo è stato fornito dagli autori nell'ambito dello «Studio di fattibilità di un sistema informativo sul mercato del lavoro nella regione Lazio» coordinato da F. Buffoni. Per l'inquadramento generale della ricerca si veda F. Buffoni «Il progetto di sistema informativo sul mercato del lavoro: obiettivi, opzioni e architettura» in *Lazioricerche*, n. 4/84.

A. M. Martini è dovuta la stesura dei par. 1, 2, 4 e 5, a G. Vittadini quella del par. 3.

2. Aree funzionali e loro rappresentazione in termini di grafi e matrici

2.1. Premessa

In generale, le «aree funzionali» di una regione sono costituite da insiemi di unità territoriali (u.t.) appartenenti alla regione stessa, costruiti a partire dalla misura delle relazioni esistenti tra ogni coppia di u.t., secondo opportuni criteri di ottimizzazione.

A questo concetto generale possono essere riportate diverse definizioni elaborate quali quelle di area metropolitana (Spence, 1982), area degli spostamenti di lavoro (Smart, 1974), sistema urbano giornaliero (Coombes, 1982), area di trasporto (Fonti-Rusca, 1978), bacino locale (Martini, 1982), ecc.

Le relazioni tra u.t., si manifestano con degli spostamenti di persone, di cose o di informazioni tra le u.t. stesse.

Considerando una regione formata da «m» u.t. (comuni, province, ecc.) i dati sulla base dei quali si costruiscono le aree funzionali derivano dalla rilevazione congiunta effettuata su «n» unità statistiche (persone o cose in movimento) di due fenomeni: l'origine e la destinazione dei movimenti medesimi. Sia il primo che il secondo fenomeno assumono modalità coincidenti con le u.t. che compongono la regione considerata. I risultati della rilevazione possono essere così sintetizzati in una tabella quadrata o doppia entrata, il cui generico elemento n_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, m$) corrisponde alla frequenza congiunta dei movimenti, aventi l' i -esima u.t. come origine e la j -esima u.t. come destinazione e che d'ora in avanti sarà chiamata flusso da i a j .

A seconda della natura dei flussi, gli elementi della diagonale principale n_{ii} ($i = 1, 2, \dots, m$) possono essere uguali o maggiori di 0. In particolare nel caso del pendolarismo, essi indicano la frequenza di coloro che risiedono e svolgono la loro attività (di lavoro o di studio) nella stessa u.t.

La somma dei flussi per riga $\sum_j n_{ij} = n_i$ e quella per colonna

$\sum_i n_{ij} = n_j$, costituiscono le frequenze marginali e corrispondono, rispettivamente, alla frequenza dei movimenti complessivi che hanno origine dall'u.t. i -esima (n_i) o a quella dei movimenti che hanno come destinazione l'u.t. j -esima (n_j), essendo: $\sum_i n_i = \sum_j n_j = n$.

Detta tabella a doppia entrata, o matrice origine-destinazione dei flussi, costituisce il materiale di base dal quale possono essere ricavate le misure delle relazioni tra tutte le coppie di u.t. della regione.

2.2. Misura delle relazioni tra u.t.

Il sistema di relazioni tra le u.t. che compongono la regione è rappresentabile con un grafo (grafo-regione) in cui i vertici sono le unità territoriali e gli spigoli sono le misure delle relazioni medesime.

Lo stesso sistema può anche essere rappresentato come una matrice quadrata detta di «adiacenza» la cui riga i -esima e colonna j -esima corrispondono alle unità territoriali i -esima e j -esima, e il cui generico elemento appartenente alla i -esima riga e alla j -esima colonna coincide con la misura della relazione tra l'unità i e l'unità j .

La misura più semplice delle relazioni è data da una funzione che assume valore 1 se il flusso n_{ij} è maggiore di 0 e valore 0 in caso contrario.

In termini di grafi la regione si rappresenta allora con un «grafo non valutato» in cui le u.t. sono i vertici che solo collegati da spigoli sono in corrispondenza dei valori pari a 1. A tale grafo corrisponde una matrice di adiacenza «booleana» formata da elementi uguali a 1, se esiste la relazione, e uguali a 0 se essa non esiste.

La misura della relazione può essere espressa anche con una opportuna funzione dei flussi osservati (ad esempio: frequenze relative, indici di associazione, ecc.), che ad ogni coppia di u.t. fa corrispondere un numero reale. La regione è in questo caso rappresentata da un «grafo valutato» in cui ad ogni spigolo corrisponde un numero reale, e da

una matrice di adiacenza non booleana, i cui elementi sono costituiti da numeri reali.

Con riferimento al tipo di fenomeno studiato e agli obiettivi che ci si prefiggono, per la generica coppia i, j , si possono costruire due distinte misure delle relazioni in funzione, rispettivamente, del flusso nel senso $i \rightarrow j$ e nel senso $j \rightarrow i$, oppure un'unica misura funzione di ambedue i flussi.

Nel primo caso il sistema è rappresentato da un «grafo non planare orientato» (valutato o no) cui corrisponde una matrice di adiacenza asimmetrica.

Nel secondo caso il sistema è rappresentato da un «grafo planare» che può essere disegnato in modo che gli spigoli non si intersechino se non nei vertici. A tale grafo planare corrisponde una matrice di adiacenza simmetrica.

A seconda della natura delle relazioni può interessare tener conto soltanto delle relazioni «dirette» (valutate o no; orientate o no) tra le coppie di unità, oppure anche delle relazioni «indirette» che collegano due unità con il tramite di altre unità del sistema.

Se ad esempio si considerano gli spostamenti casa-lavoro le aree funzionali dovrebbero essere costruite esclusivamente sulla base delle relazioni dirette.

Se invece si considerano i flussi migratori, dette aree potrebbero costruirsi sulla base, oltre che dei flussi diretti tra ogni coppia di u.t., anche di quelli indiretti: infatti un individuo, che, nel corso di un dato periodo, ha modificato la sua residenza, può in un periodo successivo trasferirsi in un'altra u.t. e così via.

Nel primo caso si considerano soltanto gli spigoli che congiungono ogni coppia ai vertici e i corrispondenti elementi della matrice di adiacenza.

Nel secondo caso, invece, si considerano anche i «cammini» ovvero le sequenze di spigoli mediante le quali due vertici possono congiungersi attraverso il passaggio per altri vertici¹.

¹ In termini matriciali, se A è la matrice di adiacenza, sotto determinate ipotesi la matrice A^2 rappresenta i cammini formati da due spigoli, la matrice A^3 quelli formati da tre spigoli, ecc.

2.3. Aree «di massima interazione», o di «massima omogeneità nelle relazioni»

A partire dalla matrice di adiacenza le aree funzionali possono essere costruite secondo due criteri che conducono, rispettivamente, ad «aree di massima interazione» e ad «aree di massima omogeneità nelle relazioni».

Fissata un'opportuna funzione che esprime l'intensità delle relazioni tra gruppi di u.t., queste ultime sono raggruppate in modo che «sia massima la interazione tra le u.t. comprese in un'area o minima quella tra le u.t. appartenenti ad aree diverse» (Fischer, 1980, Masser-Brown, 1975). Si ottengono in tale caso le «aree di massima interazione» che possono esser costruite con tecniche di *cluster analysis* di tipo agglomerativo o scissorio, gerarchiche o non, caratterizzate oltre che dalla misura di relazione prescelta, dalla funzione di interazione da massimizzare, dalla scelta del legame e dalle regole di arresto.

Adottando un altro punto di vista la matrice delle misure delle relazioni comunque costruite viene considerata alla stregua di una matrice osservazioni/variabili. Ad esempio le «m» u.t. origine (righe) sono considerate «osservazioni» mentre le «m» misure di relazione ad esse corrispondenti sono considerate altrettante intensità delle «m» «variabili»: relazioni con l'u.t. destinazione 1, relazioni con l'u.t. destinazione 2, ecc.

Analogamente si potrebbero considerare osservazioni le «m» u.t. destinazione e variabili le «m» relazioni con le «m» u.t. origine.

Ciò premesso le «aree di massima omogeneità nelle relazioni», possono esser costruite con il criterio che ad esse appartengono le u.t. che si presentano simili sotto il profilo delle relazioni che ciascuna di esse intrattiene con tutte le u.t. della regione (Brown-Holmes, 1971; Davies, 1980).

Le tecniche di raggruppamento che si possono adottare in questo caso sono quelle comunemente utilizzate nella classificazione di unità statistiche sulle quali sono state effettuate rileva-

zioni di più caratteri quantitativi e che si possono ricondurre: i) all'analisi delle componenti principali (o all'analisi dei fattori condotta con l'approccio dell'analisi delle componenti principali); ii) alla *cluster analysis*.

Si osservi che in questo caso la tecnica di *cluster analysis* (scissoria o agglomerativa, gerarchica o non) sarà caratterizzata dalla scelta della «distanza», o funzione obiettivo, dal legame e dalle regole di arresto adottate.

Mentre per la costruzione di aree di massima interazione è opportuno che le misure di relazione siano in qualche modo indipendenti dalla «taglia» delle u.t. (espressa dalle frequenze marginali di riga e di colonna delle matrici dei flussi), per la costruzione di aree di massima omogeneità le misure di relazione sono solitamente costruite in funzione delle frequenze condizionate $n_{ij} / n_{i.}$ ($i = 1, 2 \dots m$) nel senso delle righe, oppure $n_{ij} / n_{.j}$ ($j = 1, 2 \dots m$) nel senso delle colonne, a seconda che siano considerate osservazioni le u.t. corrispondenti alle righe o alle colonne della matrice dei flussi.

2.4. Aree funzionali «non gerarchiche» o «gerarchiche»

Indipendentemente dalla «misura» delle relazioni, dal tipo di area funzionale e dalla tecnica classificatoria adottata, si può optare per un sistema di aree funzionali non gerarchiche o gerarchiche.

Nel primo caso si tenderà a definire una sola partizione della regione formata da un numero di aree minore al numero di unità territoriali.

Nel secondo caso si avranno più partizioni ordinate, tali che la generica area appartenente ad una partizione risulti inclusa, oppure senza alcuna intersezione, con una generica area appartenente a partizioni superiori. Le aree non gerarchiche si rappresentano, in termini di grafi, attraverso un'unica partizione in «sottografi» del grafo-regione e, in termini di matrici, attraverso la suddivisione della matrice di adiacenza in tanti blocchi quante sono le aree.

Le aree gerarchiche, invece, in termini di grafi, si rappresentano attraverso un sistema gerarchico di sottografi del grafo regione e in termini di matrici attraverso la suddivisione della matrice di adiacenza in blocchi e «sotto-blocchi».

Una volta prescelta la misura delle relazioni tra u.t., la misura delle relazioni tra aree può essere costruita in due modi:

i) si calcola il flusso tra due aree come somma dei flussi tra le rispettive unità territoriali e, quindi, la misura della relazione come «funzione» di tali flussi tra aree;

ii) la misura delle relazioni tra aree è una funzione delle misure delle relazioni tra rispettive unità territoriali. Essendo a e b due aree, i e j due unità territoriali, f (i, j) la misura della relazione tra le unità i e j, tra le funzioni più usate si ricordano:

$$f(a, b) = \max_{\substack{i \in a \\ j \in b}} \{f(i, j)\}: \text{legame singolo}$$

$$f(a, b) = \min_{\substack{i \in a \\ j \in b}} \{f(i, j)\}: \text{legame completo}$$

$$f(a, b) = \frac{\sum_{i \in a} \sum_{j \in b} W_{ij} f(i, j)}{(\sum_{i \in a} \sum_{j \in b} W_{ij} = 1; w_{ij} \geq 0)}: \text{legame medio}$$

3. Principali metodi per la costruzione di aree funzionali

3.1. Premessa

I principali metodi utilizzati per la costruzione delle aree funzionali sono caratterizzati, per quanto fin qui detto:

a) dalla misura delle relazioni tra u.t.: valutata o non valutata, simmetrica o no, diretta o diretta e indiretta;

b) dal tipo di area funzionale che si intende costruire: di massima interazione, o di massima omogeneità nelle relazioni;

c) dal tipo di tecnica utilizzata: analisi dei fattori, *cluster analysis*;

d) dalle molteplici scelte operate nell'ambito di tali tecniche: procedura scissoria o agglomerativa, gerarchica o non gerarchica, funzione obiettivo, legami, regola di arresto per la *cluster analysis*; numero di componenti da conservare, criteri di rotazione, ecc. per l'analisi delle componenti principali.

Nel seguente paragrafo verranno esaminate cinque famiglie di metodi proposte da diversi autori e concretamente applicate a dati empirici, per ognuna delle quali si evidenziano gli elementi essenziali che le caratterizzano, le eventuali varianti, gli argomenti a favore portati dagli autori stessi e le critiche mosse da altri.

I gruppi di metodi sono denominati, di seguito:

- analisi dei fattori
- catene di Markov
- aggiustamento proporzionale iterativo
- intramax
- multicriteria

I primi due gruppi di metodi conducono ad aree di massima omogeneità nelle relazioni, a partire dalla matrice delle frequenze condizionate dei flussi.

Il primo (analisi dei fattori) classifica le u.t. applicando l'analisi delle componenti principali, a tali misure di relazioni dirette.

Il secondo (catene di Markov) considera le frequenze condizionate «probabilità di transizione» e da queste ricava le misure di relazione (dirette o indirette) che si identificano con i «tempi medi di primo passaggio»; a questi ultimi, poi, applica una tecnica di *cluster analysis* agglomerativo gerarchico.

I restanti metodi invece pervengono ad aree di massima interazione.

In particolare il terzo (aggiustamento biproporzionale iterativo) ed il quarto (intramax) applicano tecniche di *cluster analysis* gerarchico ma si differenziano, sia per la definizione delle misure di relazione sia per la procedura (scissoria, o agglomerativa) del *clustering*.

Il quinto metodo (multicriteria) è invece caratterizzato dall'impiego di tecniche di *clustering* di tipo non gerarchico, integrate con

altri criteri per la fissazione del numero di aree funzionali.

I risultati cui si perviene con i diversi metodi sono sintetizzati nella tab. 1 dove, per ogni metodo, si indica se esso conduce ad aree gerarchiche o no, se queste possono essere assimilate a grafi valutati o no, orientati o no, e infine se sono costruiti sulla base delle sole relazioni dirette oppure anche delle relazioni indirette.

3.2. Analisi dei fattori

Dopo la prima applicazione dell'analisi delle componenti principali ad una matrice booleana simmetrica (Garrison-Marble, 1963), numerosi sono stati gli studi che impiegano queste metodologie per la costruzione di aree funzionali. Fra essi si ricordano quelli condotti su:

— movimenti di merci internazionali e scambi diplomatici (Russet, 1967);

— flussi di trasporti in San Paolo del Brasile (Gauthier, 1968);

— movimenti di taxi nella grande Londra (Goddard, 1970);

— chiamate telefoniche in Galles (Clark, 1973);

— flussi di pendolarismo nel Galles (Davies-Musson, 1978, Davies, 1980);

— chiamate telefoniche in alcune province del Canada (Nader, 1981).

In Italia essi hanno riguardato:

— flussi di migrazione e di pendolarismo in Toscana (Sforzi - Openshaw, 1982), con comparazione dei risultati ottenuti con le procedure «intramax», «aggiustamento proporzionale iterativo», «analisi delle catene Markov», «metodi multi-criteria»;

— flussi di migrazione e pendolarismo in Toscana (De Angelini - Torelli, 1983), con comparazione dei risultati ottenuti con le procedure intramax e dell'analisi delle catene Markov;

— flussi di trasporto e pendolarismo nell'alto Lazio (Fonti - Rusca, 1978-79).

I diversi autori citati, nel proporre ed applicare la metodologia in questione hanno introdotto numerose varianti all'originaria versione che può essere così sintetizzata: le relazioni funzionali tra le u.t. origine e le u.t. destinazione sono calcolate come frequenze condizionate (per riga):

$$f_{ij} = n_{ij}/n_{i.}$$

La matrice delle relazioni funzionali è considerata matrice di osservazioni-variabili. Le u.t. origine (righe della matrice di adiacenza) sono considerate osservazioni e le u.t. destinazione (colonne della matrice di adiacenza) sono considerate variabili.

Si calcolano i coefficienti di correlazione di Pearson tra ogni coppia di variabili (u.t. destinazione) che sarà tanto più elevato quanto più le due u.t. origine sono simili.

Tab. 1 - Metodi e caratteristiche delle aree funzionali.

Tipo di aree funzionali	Metodi	Subgrafi		Grafici		Relazioni	
		Si	No	Valutati Si No	Orientati Si No	Dirette	Dirette e indirette
di massima omogeneità nelle relazioni	1. Analisi dei fattori	X	X	X	X	X	X
	2. Catene di Markov	X		X	X		X
area di massima interazione	3. Aggiustam. biprop. iterativo	X		X	X	X	
	4. Intramax	X		X	X	X	
	5. Multicriteria		X	X	X	X	

Si estraggono quindi dalla matrice di correlazione i «fattori principali», costruiti come combinazioni lineari delle variabili e tra loro ortogonali.

Ogni fattore risulta fortemente correlato con un gruppo di variabili (u.t. destinazione). Fra le u.t. origine, quelle caratterizzate da più elevato «punteggio fattoriale», risultano caratterizzate da intensi legami di relazione con le u.t. destinazione fortemente correlate con il fattore. Fissata una soglia, è così possibile individuare un'area funzionale formata dalle u.t. che presentano un punteggio fattoriale superiore.

A questa struttura base della procedura numerose varianti sono state proposte nella letteratura.

Innanzitutto si può rendere simmetrica la matrice dei flussi sommando i flussi nei due sensi per ogni coppia di u.t. (Davies, 1979). In questo caso il coefficiente di correlazione fra ogni coppia di u.t. è funzione diretta della somiglianza in termini di relazioni funzionali complessive (in entrata e uscita) con le altre u.t. del sistema. Le corrispondenti aree funzionali ottenute con il metodo fattoriale sono costruite sulla base di «somiglianza nella struttura delle relazioni complessive».

Si può inoltre procedere ad una preventiva standardizzazione dei dati per eliminare l'effetto della diversa taglia delle u.t. sul calcolo dei coefficienti di correlazione (Davies e Musson, 1978).

Se in generale per individuare i fattori si adotta il metodo delle componenti principali che non comporta assunzioni a riguardo della comunalità e del numero degli assi (Davies, 1978; Fonti - Rusca, 1978, 1979), numerosi sono i criteri adottati per la fissazione del numero dei fattori da conservare (Rummel, 1970; Davies - Barrow, 1973). Tra di essi trova particolare favore la fissazione di una soglia minima per gli autovalori associati a fattori conservati (Goddard, 1970; Rummel, 1970; Davies, 1980; Nader, 1981).

Molti autori propongono di operare una rotazione dei fattori in modo da migliorare la soluzione ottenuta con fattori non ruota-

ti e da evidenziare con maggior chiarezza l'insieme delle unità territoriali destinazione individuate da ogni fattore. Sono state proposte sia rotazioni dirette (ad esempio «normal varimax» Rummel, 1970; Goddard, 1970), sia rotazioni oblique (Rummel, 1970; Davies, 1978; Davies e Musson, 1979; Nader, 1981). In caso di rotazioni oblique deve essere deciso anche il grado di obliquità più opportuno.

Nel caso si opti per una rotazione obliqua dei fattori è possibile calcolare sulla base dei fattori (non ortogonali) una nuova matrice di correlazione.

A partire da tale matrice di correlazione si possono ricavare «fattori» e aree funzionali di ordine superiore rispetto a quelle ottenute dalla primitiva matrice di correlazione.

Ripetendo iterativamente il processo ed estraendo fattori del terzo, quarto... ordine si può costruire un sistema di aree funzionali gerarchiche (Davies, 1980; Davies - Musson, 1978; Nader, 1981; Holsman, 1980)².

Ove sia disponibile solo l'informazione sull'esistenza o meno di relazioni funzionali in entrata ed uscita o laddove, attraverso la fissazione di una soglia si trasformi la matrice dei flussi in una matrice booleana, l'analisi dei fattori può essere effettuata anche a partire da quest'ultima.

Si calcola infatti un «coefficiente di associazione» del tipo:

$$\gamma_{ij} = \frac{p_{ij} - p'_{ij}}{m}$$

ove p_{ij} è il numero delle coincidenze e p'_{ij} quella delle non coincidenze di 0 e 1 per le u.t. origine i e j ed m è il numero delle unità.

A partire dalla matrice formata da tali coefficienti che variano tra -1 e +1 (Tinkler, 1971) si procede come nel caso generale al calcolo dei fattori (Fonti - Rusca, 1978).

Volendo tenere conto anche delle relazioni indirette si costruisce la matrice:

ove q_i è un opportuno «peso» attribuito alle relazioni indirette tra u.t., al passaggio i -esimo.

A partire dalla matrice S_n si ricavano i fattori e il sistema di aree funzionali nel modo già indicato (Gauthier, 1963; Fonti-Rusca 1978, 1979).

L'analisi dei fattori, secondo i suoi sostenitori presenta i seguenti vantaggi:

a) non impone alcuna struttura predeterminata ai dati. Non si introducono criteri specifici e, per certi aspetti, arbitrari, per definire le aree funzionali (Hall, 1971), né si introduce «alcuna assunzione a priori» a riguardo delle proprietà nelle misure di relazione funzionale» (Davies, 1980);

b) è dotata di grande flessibilità rispetto agli obiettivi dell'operatore poiché permette di costruire: aree basate sul complesso delle relazioni tra due u.t. o sulle relazioni orientate in un solo senso (Davies, 1979); i sistemi di aree funzionali non gerarchici o gerarchici (Davies, 1980);

c) permette di ricavare «misure standardizzate realistiche delle relazioni trovate entro il sistema funzionale» (Davies, 1980); e in particolare di valutare:

— l'importanza delle diverse aree funzionali mediante la quota di varianza associata al relativo asse principale;

— il grado di integrazione di ogni u.t. con ogni area funzionale attraverso la matrice di correlazione tra i fattori e le u.t. (destinazione);

— il grado di «errore» associato alla quota di varianza residua;

d) si presta ad essere utilizzata quando siano formulate differenti ipotesi riguardo le caratteristiche delle aree funzionali in quanto possono essere utilizzati metodi alternativi di individuazione dei fattori di diverso significato interpretativo (ad esempio, criterio di conservazione dei fattori, metodi di rotazione, ecc.) (Davies, 1980);

² Nella letteratura si sottolinea anche la forte differenza concettuale esistente tra aree funzionali e aree nodali. L'individuazione delle u.t. nodo avviene però in una fase successiva alla costruzione delle aree funzionali e perciò non modifica il procedimento.

$$S_n = \sum_{i=1}^n q_i A_i'$$

e) permette di costruire oltre che partizioni anche aree «*overlapping*» in quanto le u.t. non sono classificate rigidamente in un ordinamento gerarchico ma possono essere attribuite a più di un'area (ad esempio si hanno punteggi fattoriali elevati in corrispondenza di più di un fattore) (Davies, 1980).

Numerose sono però anche le critiche rivolte da altri autori a questa metodologia. In particolare si osserva che:

a) le aree così ottenute non rispondono al criterio di massima interazione ma a quello di omogeneità nelle relazioni;

b) la standardizzazione della matrice iniziale, se elimina l'effetto taglia delle u.t. sui risultati impone una «struttura predeterminata alle misure di relazione» (Holmes, 1977);

c) le scelte della tecnica di analisi dei fattori, del numero dei fattori da conservare, della soglia per i punteggi fattoriali, dei criteri secondo cui si effettua la rotazione dei fattori e si fissa il loro grado di obliquità (nel caso si opti per rotazione obliqua) sono quasi del tutto arbitrarie in quanto non hanno un legame logico con la natura del problema. I risultati ottenuti sono quindi eccezionalmente soggettivi (Sforzi-Openshaw, 1982).

3.3. Analisi delle catene di Markov

Alcuni autori hanno sviluppato una procedura di costruzione di aree funzionali che si basa, nella sua prima fase, sull'applicazione del processo stocastico delle catene di Markov per la definizione della cosiddetta «distanza funzionale» fra coppie di u.t.; nella seconda fase su un procedimento di *cluster analysis* gerarchico del tipo proposto da Ward (1963).

I contributi fondamentali e le prime applicazioni di questa procedura sono dell'inizio degli anni '70 ad opera di Brown-Horton (1970), Brown-Odland-Golledge (1971: applicazione al caso di flussi di migrazione intrametropolitani negli USA), Brown-Holmes (1971: applicazione al caso di flussi di pendolarismo nel Derbyshire, Yorkshire, Nottinghamshire).

Dopo queste prime applicazioni, assai vasto è stato il numero degli studiosi che hanno adottato tale metodologia. Si ricordano Masser-Scheurwater (1980), per la costruzione di aree di migrazione nella grande Londra mediante metodo intramax e catene di Markov e, in Italia, IRPET (1978) per la costruzione di aree di pendolarismo in Toscana; Sforzi (1980) per la costruzione di aree di migrazione in Toscana e confronto con intramax; Sforzi-Openshaw (1982) per la costruzione di aree di pendolarismo e migrazione in Toscana e confronto con intramax, aggiustamento bi-proportionale iterativo, analisi dei fattori, *cluster* non gerarchico; De Angelini-Torelli (1983) confronto con analisi dei fattori e intramax.

Il concetto di «distanza funzionale» fra le u.t. è alla base della filosofia del metodo. Tale distanza funzionale fra le u.t. misura «la propensione delle singole u.t. all'interazione con il sistema nel suo complesso» e quindi può essere considerato un indice della relazione funzionale esistente tra una u.t. ed il complesso delle altre u.t. della regione. La «distanza funzionale» inoltre tiene conto sia delle relazioni dirette sia di quelle indirette, e secondo i suoi proponenti, permette di individuare la «struttura latente» delle relazioni nel sistema?

Brown e Horton propongono il seguente procedimento:

La frequenza condizionata (per riga) ottenuta dalla matrice dei flussi, viene considerata una «matrice di transizione P », il cui generico elemento $p_{ij} = n_{ij}/n_{i.}$ è la probabilità del movimento verso j condizionato al trovarsi in i , al primo passaggio.

Moltiplicando la matrice P per se stessa si ottiene una matrice di transizione, P^2 , corrispondente al secondo passaggio. Proseguendo per successivi stadi si ottengono le matrici corrispondenti al terzo, quarto... passaggio.

Sulla base del modello markoviano (Kemeny-Snell, 1963) si può calcolare la matrice T dei «tempi medi di primo passaggio» il cui elemento t_i corrisponde al numero medio di passaggi «tramite»

u.t. diverse da i e da j , necessario per passare dalla u.t. i -esima alla u.t. j -esima. Tali «tempi medi di primo passaggio» possono considerarsi «distanze funzionali» in quanto misurano la accessibilità di una u.t. ad un'altra, tenendo conto di tutte le relazioni del sistema.

Considerando la matrice dei tempi medi di primo passaggio come matrice osservazioni-variabili: (u.t. origine: osservazioni; tempi medi di primo passaggio alle u.t. destinazione: variabili), si calcola la «distanza euclidea» tra ogni coppia di u.t. origine.

Scelto un opportuno legame per la fusione di due gruppi si procede all'aggregazione secondo le regole di raggruppamento proposto da Ward (1963) e da Anderberg (1973).

La procedura di costruzione delle aree funzionali basate sulla analisi delle catene di Markov è rimasta pressoché immutata in tutte le sue applicazioni. Vi è da notare inoltre che la differenza fra aree funzionali e aree nodali su cui tutti i sostenitori di questo metodo si soffermano non ha rilevanza, sotto il profilo metodologico, per la costruzione delle aree funzionali. Infatti i «nodi» delle diverse aree funzionali sono individuati soltanto dopo aver costruita l'area funzionale.

Fra i metodi di costruzione di aree nodali sulla base di aree funzionali ricordiamo quello proposto di Keane (1978) che non è basato sul calcolo dei tempi medi di primo passaggio.

A partire dalla definizione di «distanza funzionale» e di «relazione funzionale» fra u.t. concepite come «entità legate» Brown - Horton (1970) e Brown - Holmes (1971) affermano che una regione funzionale deve essere caratterizzata da un sistema di aree:

1) basate su relazioni dirette ed indirette;

2) costruite in modo tale da non assumere né simmetria né riflessività nelle relazioni fra u.t.;

3) di numerosità non prefissata;

4) tali da attribuire una u.t. ad una sola area funzionale;

5) tali da non attribuire *a priori* importanza relativa diversa a ciascuna u.t.

I pregi della procedura, secondo i suoi sostenitori, stanno proprio nel fatto che essa consente di costruire aree funzionali dotate delle proprietà indicate che mostrano chiaramente il nesso tra scelte metodologiche e obiettivi conoscitivi (Brown-Horton, 1970; Brown-Holmes, 1971; Sforzi-Openshaw, 1982).

Secondo i citati autori l'applicazione delle catene di Markov alla matrice iniziale permette di soddisfare le prime due proprietà; l'utilizzo dell'algoritmo di Ward consente quelle 3 e 4; la standardizzazione iniziale dei dati (frequenze condizionate) permette di soddisfare alla proprietà 5.

Numerose però sono anche le critiche avanzate nella letteratura a questa metodologia:

a) L'assunto della non simmetria e riflessività delle relazioni e l'utilizzo della regola di Ward, porta alla costruzione di aree basate su «somiglianze di comportamento in termini di destinazione delle relazioni funzionali» più che su «minima distanza funzionale» (Masser-Scheurwater, 1980).

b) Misure che incorporano relazioni funzionali indirette sono appropriate solo per sequenze di movimenti di popolazione nel tempo e non per casi nei quali si considerino i viaggi scuola-lavoro, scuola-casa, ecc. (Stephen-son, 1974; Masser-Scheurwater, 1980).

c) La standardizzazione iniziale dei dati altera la reale struttura delle relazioni fra u.t. (Sforzi-Openshaw, 1982).

d) La definizione delle misure di relazione dirette e indirette, è determinata più dalla peculiarità del metodo matematico che dalla natura del problema (Keane, 1978; Sforzi-Openshaw, 1982; Davies, 1980).

e) La procedura di *cluster* adottata e le scelte in essa implicate (distanze, legami) comporta soluzioni arbitrarie e non pienamente giustificate (Johnsthor, 1970; Davies, 1980).

In particolare la struttura gerarchica può non avere alcun riscontro nella realtà.

3.4. Aggiustamento proporzionale iterativo

Questa metodologia è stata introdotta da P.B. Slater per la prima volta nel 1974 per la costruzione di aree funzionali relative a flussi di migrazione in Francia (1974 a) ed è stata utilizzata dallo stesso autore per la costruzione di aree basate sui flussi degli studenti di *high-school* negli USA (1974 b), sui flussi migratori in Russia (1975 a), in Turchia (1975 b), in Francia (1976 b), in Giappone (1976 c), in Italia (1976 a) e ancora in Italia (Gentileschi-Slater, 1980).

Slater ha inoltre confrontato i risultati con quelli ottenuti con altre metodologie nel caso di costruzione di aree funzionali sulla base di flussi internazionali di studenti delle *high-school* (1981). Analoga comparazione ha effettuato F. Sforzi sui flussi migratori e di pendolarismo tra i comuni della Toscana (Sforzi-Openshaw, 1982).

Il metodo dell'«aggiustamento per bistandardizzazione iterativa» è stato più volte riproposto da Slater ma non ha avuto alcun altro sostenitore di rilievo ed è rimasto pressoché invariato dalla prima formulazione.

La metodologia si compone di due fasi distinte:

— la bistandardizzazione dell'iniziale matrice di flussi per eliminare gli effetti che le differenze nella taglia delle u.t., espressa in termini di frequenze marginali di riga e di colonna;

— la costituzione vera e propria delle aree funzionali mediante una procedura di *cluster* di tipo scissorio.

La prima fase comporta una trasformazione della matrice dei dati iniziali di flusso, in una matrice caratterizzata da frequenze marginali di riga e di colonna identiche.

Fra i metodi iterativi proposti da Slater (Bacharach, 1965) uno in particolare, la procedura di aggiustamento iterativo proporzionale, IPFP (Fienberg, 1970) permette di conservare la struttura di interazione delle tavole originarie in termini di «*cross-product ratio*»:

$$\frac{n_{ij}}{n_{ik}} \cdot \frac{n_{hk}}{n_{hi}} \quad (i \neq h, j \neq k)$$

Gli elementi della matrice «adattata» sono «stime» di massima entropia della matrice originale dato il vincolo che tutte le righe e colonne devono essere uguali (Slater, 1975). La convergenza del metodo iterativo è assicurata se non vi sono elementi nulli nelle matrici iniziali.

La seconda fase del metodo consiste nel costruire aree gerarchiche con una procedura di *cluster* scissorio sulla base delle misure di relazione dirette costituite dagli elementi di tale matrice bistandardizzata (matrice di adiacenza).

Le aree funzionali sono assimilate a «grafi fortemente connessi» tali cioè che tutti i vertici (u.t.) in esse compresi siano collegati da uno spigolo, cioè da una relazione diretta di misura superiore ad una determinata soglia di significatività.

L'algoritmo proposto da Slater, comporta il progressivo innalzamento della soglia di significatività e, quindi la progressiva scissione dei «grafi» fortemente «connessi» (Harary, 1965) in «sottografi» fortemente «connessi», fino al punto in cui tutti i vertici risultano tra loro separati.

Naturalmente se nella matrice dei flussi (e in quella di adiacenza) vi sono elementi nulli, la regione non può essere rappresentata come un unico «grafo» fortemente «connesso» neppure in corrispondenza al valore minimo della soglia (zero).

Tenuto conto anche delle segnalate difficoltà inerenti all'applicazione del metodo di aggiustamento iterativo, nel caso che alcuni elementi della matrice siano nulli, in questo caso Slater propone di decomporre la matrice dei flussi di partenza in sottomatrici che non rappresentino elementi nulli; di procedere alla bistandardizzazione di ciascuna sottomatrice e di applicare l'algoritmo scissorio ad ognuno dei sottografi ad esse corrispondenti.

Secondo Slater le aree più «omogenee» sono quelle che «mantengono inalterate le loro identità per un largo numero di passi», e che sono composte da

«un numero relativamente elevato di u.t. per il livello della soglia al quale si disgregano».

L'autore propone perciò un «indice di omogeneità interna»:

$$\frac{d - n}{n(n - 1) - n}$$

dove «n» è il numero di u.t. appartenenti all'area e «d» è il numero di passi della procedura divisiva corrispondenti a soglie superiori a quella in corrispondenza del quale il gruppo si è formato. Poiché un «grafo fortemente connesso» con «n» vertici deve avere $n(n-1)$ legami, l'indice risulta compreso tra 0 e 1.

L'indice vale 0 se l'area è formata da una unità isolata e 1 se il numero di unità che lo compone è uguale al numero di passi successivi a quello della sua formazione.

I pregi della metodologia sinteticamente illustrata sono, secondo Slater, i seguenti:

a) la misura bistandardizzata delle relazioni elimina l'effetto taglia delle u.t. e, se si applica l'IPFP, preserva il «cross-product ratio», cioè la struttura originale delle relazioni funzionali fra u.t. dell'originale;

b) il risultato è costituito da un sistema gerarchico di aree funzionali costruito direttamente a partire dall'originale matrice asimmetrica di relazioni funzionali;

c) la procedura permette di individuare le aree con «forte identità locale» che sono quelle che si isolano per ultime nella procedura scissoria;

d) è possibile valutare l'«omogeneità interna» delle aree funzionali create.

Dal vivace dibattito tra Holmes (1977-1978) e Slater (1977-1978) sulla validità del metodo e dai rilievi mossi da Masser-Scheurwater (1978, 1980) emergono le seguenti critiche:

a) la bistandardizzazione secondo Holmes (1977) «distrukge l'effetto taglia dovuto alle dimensioni delle due entità interagenti, di fondamentale importanza per attribuire significato alla forma e alla direzione delle relazioni funzionali». Inoltre l'uso di tale me-

todo può, sotto certe condizioni, portare soluzioni non convergenti (Mohr, 1975);

b) l'utilizzo dell'algoritmo divisivo è criticato in quanto porta alla creazione di catene di u.t. e quindi di aree scarsamente integrate (Holmes, 1977, 1978);

c) non è chiaro il nesso fra struttura gerarchica dei risultati e sistema funzionale. E' contestata la interpretazione data da Slater ai risultati in quanto le u.t. che si isolano per prime possono anche essere aree periferiche caratterizzate da basse misure di relazione con le altre u.t. o con altre aree;

d) il metodo risulta di difficile applicazione nel caso in cui le matrici di flusso presentino molti elementi nulli.

3.5. Intramax

Prendendo le mosse dalla procedura gerarchica agglomerativa di analisi dei gruppi codificata da Anderberg (1973) e proposta da Ward (1963) per la costruzione di aree omogenee, numerosi autori hanno dato vita a una originale metodologia per la costruzione di aree funzionali fondata sul criterio di massimizzare l'intensità delle relazioni tra aree che si aggregano a ciascun passo del processo di raggruppamento.

Sulla base delle prime proposte (Hollingworth, 1971; Masser-Brown, 1975) si è sviluppato un ampio dibattito incentrato soprattutto sulle misure delle relazioni e sulle loro proprietà cui hanno contribuito numerosi autori: Hirst (1977), Masser (1978), Ball (1980), Terrier-Sinou (1979), Martini (1982).

Numerose sono state anche le applicazioni empiriche dell'intramax per la costruzione di aree funzionali.

Ricordiamo tra le altre l'utilizzo:

— della misura di Hollingworth per la costruzione delle aree funzionali basate sui flussi migratori in Toscana;

— delle prime misure di Masser per la costruzione di aree di pendolarismo nel Wirral (Masser-Brown, 1975); in Toscana (Sforzi-Openshaw, 1982), con confronto con quelle ottenute con le meto-

dologie basate sulla distanza funzionale, sulla analisi dei fattori, sul cluster non gerarchico, sul procedimento di aggiustamento iterativo della matrice; in provincia di Venezia (Costa-Piasentin, 1976); nel Veneto (De Angelini-Torelli, 1983), confrontate con quelle ottenute con l'analisi dei fattori e le distanze funzionali;

— della seconda misura di Masser per la costruzione di aree funzionali basate sui flussi migratori in Olanda e nella grande Londra (Masser-Scheurwater, 1980) confrontate con quelle ottenute con la metodologia dell'aggiustamento iterativo della matrice e con la «distanza funzionale»; in Toscana (Sforzi, 1982), confrontate con quelle ottenute con la «distanza funzionale»; ai flussi internazionali tra i colleghi delle *high-schools* (Slater, 1981) con un confronto con quelle ottenute con il procedimento di aggiustamento iterativo;

— della misura di Martini (1982) per la costruzione di aree di pendolarismo in provincia di Bergamo, confrontate con quelle ottenute utilizzando le misure di Masser, Terrier-Sinou, Hollingworth e Ball.

Il procedimento «intramax» è stato proposto da Hollingworth (1971). In seguito, Masser-Brown (1975) hanno ripreso nella sostanza tale proposta apportando alcune modifiche formali alla misura di relazione e dando un'ampia giustificazione teorica della validità della procedura.

L'intramax è presentato dai suddetti autori come «sviluppo della procedura di aggregazione gerarchica di Ward (1963) nella quale è rispecificata la convenzionale funzione obiettivo in termini di cambio della proporzione dei flussi interzonali che avviene in seguito alla fusione di coppie di unità territoriali» (Masser-Brown, 1975).

L'algoritmo di Ward si applica al caso classico in cui si disponga di una matrice osservazioni-variabili e si fonda sulla massimizzazione, ad ogni passo della procedura, della quota di devianza interna ai gruppi, rispetto alla devianza totale.

A tal fine vengono successivamente aggregati due gruppi ca-

rafferizzati dalla massima «distanza euclidea». L'intramax, invece, si applica ad una matrice di misure delle relazioni, e comporta, ad ogni passo, il calcolo delle misure di relazione tra aree e la fusione della coppia di aree caratterizzate dalla misura di relazione massima.

La funzione obiettivo da massimizzare, è la seguente:

$$\max_{i,j} \{r_{ij} + r_{ji}\}$$

dove r_{ij} ed r_{ji} sono le misure di relazione tra l'area i -esima e l'area j -esima, nei due sensi, calcolate sulla base della matrice dei flussi tra aree.

La funzione da ottimizzare coincide dunque con la misura della relazione «completa» tra le due aree.

Poiché l'adozione dei flussi n_{ij} e n_{ji} come misura di relazione non risulta opportuna in quanto l'algoritmo condurrebbe alla creazione di poche grandi aree intorno alle u.t. di maggior dimensione, Hollingworth (1971) propone di eliminare l'«effetto taglia» riportando i flussi osservati alla frequenza attesa nell'ipotesi di indipendenza stocastica tra origine e destinazione. La misura proposta da Hollingworth è pertanto la seguente:

$$n_{ij} / \hat{n}_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{con:} \quad \hat{n}_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{n}$$

Masser (1975) propone di adottare, anziché il rapporto la differenza:

$$n_{ij} - \hat{n}_{ij}$$

In seguito alle obiezioni mosse da Hirst (1977) corregge la misura, rapportando la differenza ai flussi attesi:

$$\frac{n_{ij} - \hat{n}_{ij}}{\hat{n}_{ij}}$$

Le proposte di Masser e di Hollingworth hanno trovato negli ultimi anni sostenitori e critici (Ball, 1980; Terrier-Sinou, 1979; Martini, 1982).

Il dibattito sulle misure di relazione ha consentito di chiarire quali sono le proprietà che devo-

no essere soddisfatte dalla misura di relazione da adottare nella procedura intramax (Martini, 1982):

a) essere crescente al crescere della intensità del flusso corrispondente;

b) essere proporzionale: tale cioè da non variare se il flusso aumenta proporzionalmente alle corrispondenti frequenze marginali di riga e colonna;

c) essere dotata di estremi unici: assumere cioè un unico valore massimo nei casi in cui sia $n_{ij} = n_i$, oppure $n_{ij} = n_j$; ed un unico valore minimo nei casi in cui sia $n_{ij} = 0$ oppure: $n_{ij} = n_i + n_j - A$

Si dimostra (Martini, 1982) che le proprietà b) e c) non sono soddisfatte né dalla misura di Hollingworth e di Masser, né da quelle successivamente introdotte da Ball (1980) e da Terrier-Sinou (1979), mentre invece sono verificate insieme con la a) da misure che siano esprimibili come funzione crescente dell'argomento:

$$b_{ij} = \frac{n_{ij} (n - n_i - n_j + n_{ij})}{(n_i - n_{ij}) (n_j - n_{ij})}$$

Martini (1982) propone, in particolare, di adottare la misura di relazione:

$$\frac{b_{ij} - 1}{b_{ij} + 1}$$

che risulta compresa tra 0 e 1, e che, nel caso degli spostamenti casa-lavoro può essere interpretata, a differenza di quelle proposte dagli altri autori, come indice di associazione (nel senso di Edwards) tra luogo di residenza e luogo di lavoro.

Masser propone infine la adozione del vincolo di contiguità in modo da assicurare che le u.t. che formano un'area siano confinanti tra loro. Tale vincolo non appare sempre giustificato e comunque risulta giustapposto alla logica del metodo.

Se ampio e ricco di risultati è stato il dibattito sulle misure delle relazioni, del tutto assente è stata la riflessione sulla procedura aggregativa, ed in particolare sulla scelta del legame. Di fatto tutti gli autori hanno adottato

l'algoritmo proposto da Masser. Anche per quanto riguarda la regola di arresto per la scelta di una fra le $n-1$ partizioni della successione dei risultati non vi è stato alcun approfondito dibattito. I criteri proposti sono per lo più legati alla misura di relazione adottata. È suggerito spesso di scegliere fra le $n-1$ partizioni quelle per cui la prima volta la percentuale dei flussi tra aree supera una soglia prefissata (Masser 1975, Ball, 1980).

In altri casi (Martini 1982) è stato proposto un criterio più sofisticato quale l'osservazione dell'«indice di compattezza» di una partizione, dato dal minimo tra gli «indici di compattezza» delle aree. Tale «indice di compattezza» di un'area è costituito dalla differenza tra la misura della relazione completa in corrispondenza alla quale l'area medesima si è formata e quella corrispondente alla sua successiva fusione.

I vantaggi elencati dai sostenitori della procedura intramax sono molteplici:

a) le aree funzionali ottenute con l'intramax «massimizzano la proporzione di relazioni funzionali che terminano entro i confini dell'area» (Masser-Brown, 1975; Masser-Scheurwater, 1980);

b) la misura delle relazioni coincide con la funzione obiettivo del processo aggregativo;

c) la procedura non comporta scelte soggettive o arbitrarie se non la fissazione della regola di arresto;

d) una volta risolti i problemi di proporzionalità e unicità degli estremi (Martini, 1982) la misura della relazione elimina l'effetto della taglia delle u.t. senza distorcere i risultati.

Le critiche rivolte al metodo, prescindendo dal dibattito sulle misure di relazione, sono le seguenti:

— una struttura gerarchica di aree funzionali può essere un risultato artificioso senza riscontro reale (Davies 1980);

— se è vero che la quota di relazioni funzionali interna alla area è massima, è anche vero che non si tiene conto della struttura e della direzione delle

relazioni che attraversano l'area (Masser-Brown 1975);

— le aree ottenute mediante l'algoritmo di Ward applicato alle relazioni funzionali, non sono assimilabili a «grafi fortemente connessi» (Slater, 1975 a).

3.6. Metodi multi-criteria

E' frequente nella letteratura il caso di autori che disponendo di conoscenze *a priori* sulle realtà oggetto di studio, utilizzano queste conoscenze per costruire le aree funzionali. Nascono così le procedure multi-criteria basate su diversi criteri «empirici e soggettivi» (Smart, 1974; Spence, 1982).

In alcuni studi però alla base della procedura di tipo «multi criteria» sta l'utilizzo dell'analisi dei gruppi non gerarchici. In proposito si possono ricordare quelli di Nagel (1965), Kaiser (1963), Littschweger (1973), relativi alla costruzione di distretti dello Iowa; Sammons (1976) per la costruzione di aree di trasporto nel West Midland; Masser-Brown (1975) per la costruzione di aree di pendolarismo.

Non esistono tuttora significativi esempi di applicazione di metodologie simili in Italia.

La procedura consta in generale di tre fasi:

a) l'utilizzo di un procedimento di raggruppamento non gerarchico presuppone la preventiva individuazione di un gruppo di s ($s < m$) u.t. origine a cui attribuire in prima istanza le rimanenti $m-s$ u.t. secondo i criteri più opportuni. In questa luce il primo problema che si pone è quello della fissazione del numero di queste unità territoriali «polo» della regione e quindi del numero delle aree che attorno ad esse si vengono a creare. Tale numero può essere fissato secondo criteri puramente empirici e totalmente arbitrari (quali il rapporto tra addetti e attivi, la densità occupazionale o criteri di tipo geografico) o attraverso la cosiddetta «regola di Broadbent» (Broadbent, 1969-1970, Barras-Broadbent, 1971). Secondo questa regola in un buon sistema di aree funzionali

la maggior parte dei flussi deve (o non deve) superare il confine delle aree secondo un criterio intramin o intramax. Perciò il raggio di un'area funzionale deve essere pari alla lunghezza corrispondente al primo percentile (all'ultimo percentile) dei viaggi. Fissata in base a questa regola la lunghezza massima dei viaggi intrazonali sulla base della ampiezza delle regioni, può essere calcolato il numero delle u.t. polo;

b) come in ogni procedura di analisi dei gruppi non gerarchica, date le unità polo di partenza, le rimanenti u.t. sono assegnate alle u.t. polo secondo diverse regole che si specificano in altrettanti algoritmi.

Fra esse i più importanti e frequentemente utilizzati risultano essere:

— gli algoritmi basati sui criteri di contiguità, di compattezza, di uguaglianza della popolazione, di particolari forme dell'area, (Moshman-Kokiko 1973; Littschweger, 1973). In questo caso le u.t. non polo sono attribuite in una prima fase alle u.t. polo contigue che formano con esse un'area di forma compatta. In una seconda fase si riallocano in modo da migliorare la compattezza e la forma delle aree funzionali stesse. Il procedimento termina quando non è possibile alcun miglioramento ulteriore della configurazione delle aree;

— gli algoritmi che interpretano la funzione obiettivo di minimizzazione dei costi di trasporto tra le u.t. e il centroide dell'area (Masser-Brown, 1975). Fissati opportunamente i centroidi iniziali, le restanti u.t. sono attribuite in modo tale che sia minimizzata la somma dei quadrati delle distanze fisiche tra ogni unità di popolazione e il centroide dell'area.

Dopo questa prima allocazione si calcolano nuovi centroidi delle aree così formate e si riallocano le u.t. con lo stesso criterio. Si ripete la procedura fino a che i centroidi e le configurazioni delle aree non si sono stabilizzati.

Le critiche mosse al metodo multicriteria si riferiscono ai numerosi aspetti di arbitrarietà che presenta nelle sue diverse fasi:

a) la fissazione del numero delle aree, se fatta in base a criteri di tipo geografico dipende da considerazioni soggettive; se effettuata sulla base della regola di Broadbent è per larghi aspetti arbitraria. Infatti risulta largamente opinabile la fissazione del percentile di frequenze cumulate dei viaggi cui corrisponde la lunghezza massima del raggio intrazonale;

b) l'individuazione dell'u.t. polo iniziale del processo iterativo di aggregazione avviene anch'essa secondo criteri ultimamente soggettivi e influenza considerevolmente le soluzioni finali (Sammons, 1976);

c) le aree ottenute con il metodo multicriteria non sono chiaramente definibili nella loro proprietà e spesso non corrispondono alla definizione generale di aree funzionali.

4. Le aree funzionali per l'osservazione del mercato del lavoro

Dopo aver descritto le caratteristiche dei diversi metodi si evidenziano le scelte più opportune per la costruzione delle «unità territoriali elementari» (UTE) del mercato del lavoro, e delle «aree funzionali per l'osservazione» del mercato del lavoro sulla base delle informazioni sugli spostamenti casa-lavoro intercomunali.

Si ricorda che le «unità territoriali elementari» sono raggruppamenti di comuni, creati per osservare il «funzionamento» del mercato del lavoro, cioè le modalità secondo le quali avviene l'incontro tra domanda ed offerta di lavoro.

All'interno di una unità elementare deve risultare «indifferente» abitare in un comune e lavorare in un altro analogamente a quanto avviene per i quartieri di una stessa città. Inoltre, due comuni si devono raggruppare nella stessa unità elementare indipendentemente dalla loro funzione prevalente: residenziale o produttiva.

Le stesse caratteristiche valgono per le aree funzionali per l'osservazione del mercato del lavoro che sono state definite sistemi «quasi chiusi» del mercato del la-

voro ottenuti raggruppando unità elementari tra le quali sussistono intensi spostamenti casa-lavoro.

Ciò premesso, le principali opzioni metodologiche per la identificazione delle unità elementari e delle loro aree funzionali di livello superiore sono le seguenti:

i) le unità elementari del mercato del lavoro sono assimilabili alle aree funzionali di «massima interazione» e non a quelle di «massima omogeneità nelle relazioni»; importa infatti che i comuni che le compongono intrattengano intense relazioni tra loro e non che siano simili nelle relazioni con tutti i comuni della regione;

ii) ne deriva che per la loro costruzione devono applicarsi tecniche di *cluster analysis*, e non di analisi delle componenti principali (o dei fattori);

iii) quanto alla misura delle relazioni si osserva che la natura del fenomeno del pendolarismo, induce a costruire misure basate sulle sole relazioni dirette tra comuni e ad escludere le relazioni indirette. Non ha alcun senso infatti ipotizzare «catene» di spostamenti pendolari da un comune ad un altro, da questo ad un terzo e così via;

iv) ai fini della costruzione delle unità elementari del mercato del lavoro poi conviene considerare le relazioni complessive nei due sensi piuttosto che le relazioni orientate. Queste ultime infatti sono rilevanti nell'analisi delle funzioni che ogni comune svolge nell'area ma non per decidere se due comuni debbano considerarsi appartenenti alla stessa area;

v) infine poiché sono molto numerosi i casi di flussi di pendolarismo nulli, tra i metodi che consentono di depurare le relazioni dall'effetto taglia, vanno esclusi quelli basati su aggiustamenti bi-proporzionali iterativi che, come si è visto, non risultano necessariamente convergenti;

v) tale circostanza, inoltre, induce a preferire procedure agglomerative a procedure scissorie che implicano connessioni tra tutte le coppie di unità che compongono la regione.

5. Aree di massima associazione tra luogo di residenza e luogo di lavoro

5.1. Costruzione delle «Unità territoriali elementari» (UTE)

Facendo riferimento ad una regione formata da m comuni per la quale si dispone dei dati di pendolarismo [n_{ij} : numero di lavoratori residenti nel comune i che lavorano nel comune j ($i, j = 1, 2, \dots, m$)] il procedimento per la costruzione delle UTE è il seguente:

A - si calcolano le frequenze congiunte e relative ai movimenti complessivi nei due sensi:

$$c_{ij} = c_{ji} = n_{ij} + n_{ji}$$

B - si calcola l'indice di associazione completa tra luogo di residenza e luogo di lavoro:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ij} + 1}$$

con:

$$x_{ij} = \frac{c_{ij} (c_i - c_i - c_j + c_{ij})}{(c_i - c_{ij}) (c_j - c_{ij})},$$

$$c_i = \sum_{j=1}^m c_{ij}; \text{ taglia del comune } i,$$

$$c_j = \sum_{i=1}^m c_{ij}; \text{ taglia del comune } j,$$

$$+ c = \sum_{i=1}^m c_i = \sum_{j=1}^m c_j; \text{ movimenti complessivi.}$$

La misura di associazione y_{ij} (Martini, 1982):

i) è crescente con c_{ij} ;

ii) è proporzionale, ovvero invariante rispetto ad un aumento proporzionale di c_{ij} e di c_i (o di c_j);

iii) è simmetrica rispetto a i e a j , essendo: $y_{ij} = y_{ji}$;

iv) è normalizzata ovvero compresa tra i valori 0 e 1 che corrispondono, rispettivamente, al valore minimo e massimo di c_{ij} , dati c_i e c_j ;

v) vale 1/2 per

$$c_{ij} = \frac{c_i \cdot c_j}{c}$$

che corrisponde all'ipotesi di indipendenza stocastica tra luogo di residenza e luogo di lavoro.

Sulla base di tali misure si costruiscono le UTE secondo il se-

guente procedimento gerarchico agglomerativo:

a) si cerca il valore massimo della «misura di interazione» tra tutti i gruppi di comuni (v. punto c) che, per definizione, al primo passo sono formati tutti da un solo elemento;

b) si aggregano tra di loro i due gruppi che presentano il valore di interazione massimo;

c) la misura dell'interazione tra due gruppi α, β è data dalla minima misura di associazione tra coppie di comuni appartenenti, rispettivamente al gruppo α e al gruppo β (legame completo);

c) si ritorna in a), finché la misura di interazione tra tutte le coppie di gruppi non risulta uguale a 0.

I k gruppi di comuni sono così ottenuti ($k < m$) possono considerarsi UTE in quanto:

i) sono assimilabili a grafi fortemente connessi dove ogni vertice è collegato ad ogni altro vertice della stessa area da uno spigolo di valore superiore a 0, ovvero dove vi è associazione tra risiedere (lavorare) in un comune e lavorare (risiedere) in ognuno degli altri compresi nella area;

ii) almeno per una coppia di comuni appartenenti a due aree diverse non vi è associazione tra risiedere e lavorare.

5.2 Costruzione delle aree funzionali

Le UTE sono successivamente aggregate in aree funzionali secondo la seguente procedura.

a) Si calcolano i flussi complessivi di pendolarismo tra UTE. Per la generica coppia di UTE α e β ($\alpha, \beta = 1, 2, \dots, k$) il flusso complessivo è dato dalla somma dei flussi tra i comuni in esse compresi:

$$C_{\alpha\beta} = \sum_{i \in \alpha} \sum_{j \in \beta} c_{ij}$$

In particolare la somma dei flussi tra comuni compresi nella stessa UTE costituiscono i movimenti pendolari interni:

$$C_{\alpha\alpha} = \sum_{i \in \alpha} \sum_{j \in \alpha} c_{ij}$$

E' immediato verificare che la «taglia» di ogni UTE coincide con la somma delle taglie dei comuni compresi nella UTE stessa:

$$C_n = \sum_{\beta=1}^k C_{n\beta} = \sum_{i \in \alpha} C_i$$

b) Si calcola la misura dell'associazione residenza-lavoro tra UTE come al punto B, par. 4.1.

c) Si aggregano le UTE in aree funzionali seguendo la procedura descritta ai punti a) b) c) e d) del par. 4.1. Si ottengono così aree funzionali disgiunte tali che ogni UTE risulti associata a tutte le UTE comprese nella stessa area ed a non tutte quelle comprese in aree diverse.

Per le aree funzionali così ottenute si possono calcolare i flussi interarea e le relative misure di associazione. Sulla base di queste ultime si possono costruire aree funzionali di livello superiore, sempre applicando la stessa procedura, finché per nessuna coppia di aree si ottiene una misura di associazione superiore a 0.

In sintesi, dunque, i comuni vengono raggruppati in UTE, le UTE in aree funzionali di primo livello, le aree di primo livello in aree di secondo livello e così via.

Si ottiene così un sistema di partizioni gerarchico in duplice senso:

1) perché la procedura di aggregazione seguita per passare da un livello a quello successivo è gerarchica;

2) perché vi è una gerarchia tra livelli:

Poiché la suddivisione del territorio regionale in comuni è, dal punto di vista del mercato del lavoro, del tutto convenzionale, è possibile considerare unità territoriali elementari non solo le aree formate da comuni, ma anche quelle dei livelli superiori purché sia soddisfatta la condizione della accessibilità in tempi brevi tra i comuni in esse compresi.

Riferimenti bibliografici

- M.R. Anderberg (1973), *Cluster analysis for application*, Academic Press, New York.
- M. Bacharach (1965), *Biproportional matrices and input-output changes*, Cambridge University Press, Cambridge.
- R.M. Ball (1980), «The use and definition of travel to work areas in Great Britain. Some problems», *Regional Studies*, 14, 125-139.
- R. Barras, T.A. Broadbent and al. (1971), «An operational urban development model of Cheshire», *Environment and Planning*, 3, 115-234.
- T.A. Broadbent (1969), «Zone size and singly constrained interaction models» in *Ceswn-132*, Centre for Environmental Studies, Londra.
- T.A. Broadbent (1970), «Notes on the design of operational models», *Environment and Planning*, 2, 469-471.
- L.A. Brown e F.E. Horton (1970), «Functional Distance: an Operational Approach», *Geographical Analysis*, 2, 76-83.
- L.A. Brown-J. Odland e R.G. Golledge (1971), «Migration, Functional Distance and Urban Hierarchies by Functional Distance Approach», *Journal of Regional Science*, 46, 472-485.
- L.A. Brown e J. Holmes (1971), «The Delimitation of Functional Regions, Nodal Regions and Hierarchies by Functional Distance Approaches», *Journal of Regional Science*, 11, 58-61.
- D. Clark (1973), «The Formal and Functional Structure of Wales», *Annals of the Association of American Geographers*, 63, 71-85.
- M.G. Coombes, I.S. Dixon, J.B. Goddard, S. Openshaw e P.J. Taylor (1982), *Functional Regionalisation for the Population Census of Great Britain*, (in corso di stampa).
- P. Costa e U. Plasentin (1976), «L'impegno della tecnica intramex per la delimitazione spaziale dei mercati del lavoro», *Territorio e programmazione*, 4-5, 42-46.
- W.K.D. Davies (1972), «Conurbation and City Region in an Administrative Borderland», *Regional Studies*, 6, 217-236.
- W.K.D. Davies, G. Barrow (1973), «A Comparative factorial ecology of three Canadian cities» *Canadian Geographer*, 17, 327-355.
- W.K.D. Davies e T.C. Musson (1978), «Spatial Patterns of Commuting in South Wales, 1951-1971: a Factor Analysis Definition», *Regional Studies*, 12, 353-366.
- W.K.D. Davies (1979), «Urban Connectivity in Montana», *Annals of Regional Science*, 13, 29-46.
- W.K.D. Davies (1980), «High-Order Factor Analysis and Functional Regionalisation: a Case Study in South Wales. 1971», *Environment and Planning A*, 12, 685-701.
- A. De Angelini, N. Torelli (1983), «Individuazione di aree funzionali nel Veneto attraverso un'analisi fattoriale», *Atti della IV Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, Firenze, novembre 1983, 470-488.
- S.E. Fienberg (1970), «An Iterative Procedure for Estimation in Contingency Tables», *The Annals of Mathematical Statistics*, 41, 907-917.
- M.M. Fischer (1980), «Regional Taxonomy — A Comparison of Some Hierarchical Strategies», *Regional Science and Urban Economics*, 10, 503-577.
- L. Fonti, R. Rusca (1978), «Applicazioni dell'analisi statistica multivariata alla struttura delle reti di trasporto e dei flussi di spostamento», *Giornata di lavoro su: urbanistica e trasporti nell'aspetto del territorio*, Cosenza.
- L. Fonti, R. Rusca (1979), «Applicazione di una procedura di correlazione canonica a flussi di spostamenti nell'alto Lazio: le variabili strutturali nei centri», *Atti delle giornate di lavoro AIRO*, 1979.
- M.L. Gentileschi e P.B. Slater (1980), «Interpretazione geografica di un tentativo di regionalizzazione migratoria dell'Italia», *Rivista Geografica Italiana*, 87, 133-150.
- W.L. Garrison, D.F. Marble (1963), «Factor analysis of the connectivity of a transportation network», *Papers of Regional Science Association*, Lund Congress.
- H.L. Gauthier (1963), «Transportation and the Growth of the S. Paolo Economy» *Journal of Regional Science*, 1.
- J.B. Goddard (1970), «Functional Regions within the City Centre — A Study by Factor Analysis of Taxi Flows in Central London», *Transactions of the Institute of British Geographers*, 49, 161-182.
- M. Grassi, F. Sforzi e G. Martinelli (1978), *Un modello stocastico per l'individuazione di sistemi territoriali a scala sub-regionale*, CISM, Udine.
- P. Hall (1971), «Spatial structure of metropolitan England and Wales», *Spatial Policy problems of the British Economy*, Eds. Chisolm, Cambridge University Press, London, 96-125.
- F. Harary, R.Z. Norman and D. Cartwright (1965), *Structural dels: an Introduction to the Theory of Graphs*, Wiley, New York.
- M.A. Hirst (1977), «Hierarchical Aggregation Procedures for Interaction Data: a Comment», *Environment and Planning A*, 3, 99-103.
- T.H. Hollingworth (1971), «Gross Migration Flows as a Basis for Regional Definition: an Experiment with Scottish Data», *Proceedings of the I.U.S.S.P. Conference*, London 1969, 4, 2755-2765.
- J.H. Holmes (1977), «Hierarchical Regionalisation by Iterative Propor-

- tional Fitting Procedures: a Comment», *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 8, 325-332.
- J.H. Holmes (1978), «Transformations of Flows Matrices to Eliminate the Effects of Differing Sizes of Origin-Destination Units: a Further Comment», *IEEE Transactions of Systems, Man and Cybernetics*, 8, 325-332.
- A. Holsman (1980), «Higher Factor Analysis and His Application to Transport Networks», *Prof. Geography*, 32, 192-198.
- L.J. Hubert (1974), «Some Application of Graph Theory to Clustering», *Psychometrica*, 39, 283-309.
- IRPET (1978 a), *Criteri per l'individuazione delle unità intercomunali*, Firenze.
- IRPET (1978 b), *Gli spostamenti pendolari per motivi di lavoro in Toscana*, 1971, Firenze.
- IRSEV (1984), *L'individuazione di aree funzionali nel Veneto*, Venezia.
- J. Johnston (1970), «Grouping and Regionalisation: Some Methodological Observations», *Economic Geography*, 46, 293-305.
- M.J. Keane (1978), «A Functional Distance Approach to Regionalisation», *Regional Studies*, 12, 379-386.
- M.F. Kaiser, «Image Analysis» (1963), *Problems in measuring change*, Eds. C.W. Harris, University of Wisconsin Press, Madison, 156-166.
- Kemeny-Snell (1960), *Finite Markov Chains*, D. Van Norstrand, Princeton.
- J.M. Littschwager (1973), «The Iowa Redistricting System», *Annals of the New York Academy of Science*, 219, 221-235.
- M. Martini (1982), «Metodi statistici per la definizione delle aree», in AA.VV., *Mercato regionale e mercati locali del lavoro*, Regione Lombardia, Milano.
- I. Masser, P.W.J. Batey e P.J.B. Brown (1975), «The Design of Zoning Systems for Interactions Models», in E.L. Cripps (ed.), *Regional Science: New Concepts and Old Problems*, 168-187, Pion, London.
- I. Masser e J. Brown (1975), «Hierarchical Aggregation Procedures for Interaction Data» *Environment and Planning A*, 7, 509-523.
- I. Masser e J. Scheustowater (1978), «The Specification of Multi-level Systems for Spatial Analysis» in I. Masser e P. Brown (eds.), *Spatial representation and Spatial Interaction*, Nijhoff, Leiden, 151-172.
- I. Masser e J. Scheustowater (1980), «Functional Regionalisation of Spatial Interaction Data: an Evolution of Some Suggested Strategies», *Environment and Planning A*, 12, 1357-1382.
- M. Mohz (1975), «A consistency problem of Multi Regional Input output and existence conditions of constrained biproportional matrices», RhD thesis, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- J. Moshamn, E.M. Kokiko (1973), «A Redistricting Algorithm Applier to Geographical Reorganisation of Circuit Courts», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 219, 236-245.
- G.A. Nader, R.C. Watkins (1976), «The Delineation of Planning Regions: a Case Study of the Province of Saskatchewan», *Plan Can*, 9, 15-24.
- G.A. Nader (1981), «The Delimitation of a Hierarchy of Nodal Regions by Mean of High-Order Factor Analysis», *Regional Studies*, 6, 475-492.
- S.S. Nagel (1965), «Simplified Bipartisan Computer Redistricting», *Stanford Law Review*, 17, 863-899.
- R.J. Rummel (1970), *Applied Factor Analysis*, Northwestern University Press, Evanston, Illinois.
- B.M. Russet (1967), *International Regions and International Systems*, Rank Mx Wally, New York.
- R. Sammons (1976), *Zoning Systems for Spatial Models*, Geographical Papers 52, Department of Geography, University of Reading.
- F. Sforzi (1980), «L'identificazione di sistemi sub-regionali in Toscana», Firenze, *Atti della Conferenza JOINT IIASA, IASI, CNR, IRPET*.
- F. Sforzi e S. Openshaw (1982), «La delimitazione di sistemi spaziali sub-regionali. Scopi algoritmi, applicazioni», *Atti della III Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, Venezia.
- P.B. Slater (1974 a), «Hierarchical Clustering of French Regions Using Interregional Migration Flows», *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*.
- P.B. Slater (1974 b), *Regionalisation of United States Based upon the Hierarchical Clustering of Interstate Flows of College Students*.
- P.B. Slater (1975 a), «A Hierarchical Regionalisation of Russian Administrative Units using 1966-1969 Migration Data», *Soviet Geography*, 16, 453-465.
- P.B. Slater (1975 b), «The identification of Turkish Region Using 1965 Lifetime Interprovincial Migration Data», *Geoforum*.
- P.B. Slater (1976 a), «Hierarchical Internal Migration Regions of Italy», *Metron* 33, 182-189.
- P.B. Slater (1976 b), «Hierarchical Internal Migration Regions of France», *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 6, 321-324.
- P.B. Slater (1976 c), «A Hierarchical Regionalisation of Japanese Prefecture Using 1972 Interprefectural Migration Flows», *Regional Studies*, 10, 123-132.
- P.B. Slater (1977), «A Reply to Holmes' Comment», *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 7, 477-478.
- P.B. Slater (1978), «A Reply to Holmes' Comments» *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 8, 332-333.
- P.B. Slater (1981), «Comparison of Aggregation Procedures for Interaction Data: an Illustration Using a College Student International Flow Table», *Socio-Economic Planning Sciences*, 15, 1-8.
- M.W. Smart (1974), «Labour Market Areas: Uses and Definitions», *Progress in Planning*, 2, 239-353.
- N. Spence, A. Gillespie, J. Goddard, S. Kennet, S. Pinch e A. Williams (1982), *British Cities: an Analysis of Urban Change*, Pergamon, Oxford.
- L. Stephenson (1974), «On Functional Regions and Indirect Glows», *Geographical Analysis*, 6, 383-385.
- C. Terrier, B. Sinou (1979), «Méthode informatique de recherche et d'analyse des bassins pour l'études des liaisons logement-travail», INRIA, *Secondes journées internationale d'analyse des données*, Versailles.
- T. Tinkler (1971), *A Coefficient of Association Data*, Area 1.
- J.H. Ward (1963), «Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function», *Journal of American Statistical Association*, 58, 236-244.