



## WORKING PAPERS

W.P. 40

**IL MODELLO IRES PER L'AREA METROPOLITANA DI TORINO: STRUTTURA FORMALE, BASE DI DATI, USO PER LA PIANIFICAZIONE**

*C.S. Bertuglia (\*) - I. Gualco (\*) - S. Ocelli (\*)  
G.A. Rabino (\*) - C. Salomone (\*\*) - R. Tadei (\*)*



INDICE

	pag.
1. INTRODUZIONE	1
2. IL MODELLO DI TORINO NELL'EVOLUZIONE DEI MODELLI MATEMATICI DI SISTEMA UR- BANO	2
3. STRUTTURA, CARATTERI E FUNZIONAMEN- TO DEL MODELLO	7
W.P. 40	
3.1. IL MODELLO IRES PER L'AREA METROPOLI- TANA DI TORINO: STRUTTURA FORMALE, BASE DI DATI, USO PER LA PIANIFICAZIONE	7
3.2. ...	12
C.S. Bertuglia (*) - I. Gualco (*) - S. Ocelli (*) G.A. Rabino (*) - C. Salomone (**) - R. Tadei (*)	
4. LA BASE	15
4.1. Tipi di dati utilizzati dal modello	15
4.2. Costruzione dei dati iniziali	18
4.3. Il software	20
5. ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI: PRE- SENTAZIONE E LORO DISCUSSIONE	23
5.1. Introduzione	23
5.2. Simulazione di scenari socio-economici	23
5.3. Simulazione di politiche di trasporto	24
6. USO DEL MODELLO NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	28
7. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	32
Riferimenti bibliografici	41
APPENDICE A	43

Novembre 1984

(\*) IRES — Istituto Ricerche Economico-Sociali del Piemonte, Via Bogino 21, Torino

(\*\*) CERIS — Istituto di Ricerche sull'Impresa e lo Sviluppo del CNR, Via Avogadro 8,  
Torino



## INDICE

1.	INTRODUZIONE	pag.	1
2.	IL MODELLO DI TORINO NELL'EVOLUZIONE DEI MODELLI MATEMATICI DI SISTEMA URBANO	"	2
3.	STRUTTURA, CARATTERI E FUNZIONAMENTO DEL MODELLO	"	7
	3.1. Versione attuale del modello	"	7
	3.2. Modifiche apportate alla versione iniziale del modello	"	12
4.	LA BASE DI DATI ED IL SOFTWARE	"	15
	4.1. Tipi di dati utilizzati dal modello	"	15
	4.2. Costruzione dei dati iniziali	"	18
	4.3. Il software	"	20
5.	ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI: PRESENTAZIONE E LORO DISCUSSIONE	"	22
	5.1. Introduzione	"	22
	5.2. Simulazione di scenari socio-economici	"	22
	5.3. Simulazione di politiche di trasporto	"	24
6.	USO DEL MODELLO NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	"	35
7.	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	"	37
	Riferimenti bibliografici	"	41
	APPENDICE A	"	43



## **1. INTRODUZIONE**

In questa relazione si tratteranno i seguenti punti:

- a. la collocazione del modello di Torino nell'evoluzione dei modelli matematici di sistema urbano;
- b. la struttura, i caratteri ed il funzionamento del modello;
- c. la base di dati ed il software;
- d. alcuni risultati sperimentali: presentazione e loro discussione;
- e. uso del modello nella pianificazione territoriale.

Si aggiunge che l'intera esposizione è volta a dare un quadro generale del modello e, sopra tutto, a mostrare l'uso che dello stesso può essere fatto.

## **2. IL MODELLO DI TORINO NELL'EVOLUZIONE DEI MODELLI MATEMATICI DI SISTEMA URBANO**

E' fondamentale a partire dagli anni sessanta che si è prodotto un poderoso sviluppo modellistico, il quale ha avuto le sue radici in formulazioni quantitative di regolarità spaziali empiriche prive (almeno alla loro origine) di una vera e propria interpretazione economica.

Detto sviluppo modellistico, in parte, si è orientato verso la costruzione e la sperimentazione di modelli immediatamente operabili per la pianifica-

zione e, in parte, verso la costruzione di approcci teorici alternativi a quelli strettamente neoclassici.

Il primo filone (quello della costruzione e della sperimentazione di modelli immediatamente operabili per la pianificazione) prende le mosse dal contributo pionieristico di Hansen (1959) e trova il suo caposaldo fondamentale nel modello di Lowry (1964).

Il secondo filone (quello della costruzione di approcci teorici alternativi a quelli strettamente neoclassici) prende le mosse dall'approccio di Wilson (1970), il quale si impone subito, sia per il vigore innovativo che possiede sia per l'impatto che ha sugli sviluppi di studio successivi: si tratta dell'introduzione del principio di massimizzazione dell'entropia. Il messaggio fondamentale, lanciato da Wilson, consiste nel rilevare la necessità e nell'aprire strade per rilassare il determinismo e la razionalità perfetta, implicate dalla teoria neoclassica, ed introdurre aspetti più realistici (anche di natura stocastica).

Dopo l'introduzione del principio di massimizzazione dell'entropia, un altro importante sviluppo, per certi versi parallelo a quello sopra richiamato e per altri versi confluyente in esso, è quello delle diverse interpretazioni economiche dei modelli di interazione spaziale. Tali interpretazioni sono organizzabili in due gruppi:

- a. gli approcci macroeconomici. A questo gruppo si riconducono i modelli derivati dalla massimizzazione del surplus dei consumatori e quelli basati sulla efficienza rispetto ai costi;
- b. gli approcci microeconomici. Questo gruppo consiste nella famiglia di modelli basati sulla teoria delle utilità casuali.

La teoria delle utilità casuali è il più importante tentativo di dare fondamenti economici ai modelli di interazione spaziale e, sia per la ricchezza della produzione sia per la portata applicativa, è il più direttamente paragonabile all'approccio entropico di Wilson.



Va notato che - nonostante le differenze, spesso anche notevoli, nei fondamenti teorici - dal punto di vista dei modelli che generano, gli approcci citati si possono considerare equivalenti tra loro ed equivalenti al principio della massimizzazione dell'entropia. In effetti, tutti gli approcci finora discussi, incluso quello della massimizzazione dell'entropia, portano, sotto ipotesi abbastanza generali, a modelli di scelta e di interazione spaziale della forma nota come modello Logit.

Un'altra assunzione restrittiva dell'approccio neoclassico, per la verità condivisa da molti modelli di interazione spaziale, e cioè quella dell'equilibrio, è stata oggetto di tentativi di rilassamento da parte di molti studiosi.

Si possono distinguere due linee di avanzamento verso la soluzione del problema, le quali si collocano in due epoche successive.

Nella prima linea di avanzamento, è stata considerata la dinamica di fenomeni interagenti tra loro in modo lineare.

Nella seconda linea di avanzamento, è stata considerata, invece, la dinamica di fenomeni interagenti tra loro in modo non lineare. Essa si fonda sull'esigenza di analizzare i meccanismi endogeni che provocano interazioni tra i diversi attori e tensioni tra i diversi processi che concorrono a configurare il sistema urbano: da qui le non linearità nella struttura delle transizioni di stato.

Nella prima linea di avanzamento si collocano Forrester (1969) ed altri studiosi, che applicano il modello di Forrester, sia nella versione originale sia in versioni modificate. In detta linea di avanzamento si collocano anche, tranne che per un aspetto, il modello di Torino ed il modello di Dortmund. L'aspetto per il quale i due citati modelli si sottraggono a questa linea, ed invece si collocano in quella indicata come seconda linea di avanzamento, è il trattamento del sottosistema residenziale.

Nella seconda linea di avanzamento si individuano alcune tendenze distinte, vuoi, per tipo di approccio al problema e, vuoi, per oggetti di inte

resse.

Alcune di tali tendenze sono dirette generalizzazioni dinamiche di tematiche classiche della geografia e delle scienze regionali; ad esempio, le generalizzazioni dinamiche della teoria dei luoghi centrali, l'uso della teoria della diffusione nei suoi vari aspetti, le versioni dinamiche dell'assetto ottimale dell'uso del suolo.

Altre delle dette tendenze si rifanno a teorie matematiche o fisico-matematiche sviluppate in tempi recenti, che vengono utilizzate per l'analisi della dinamica dei fenomeni spaziali.

Un ruolo predominante spetta al vasto gruppo di lavori ispirati alla teoria delle catastrofi, la quale viene proposta per l'analisi a livello urbano complessivo e per l'analisi dello sviluppo e declino economico generale. Ma lo sviluppo più poderoso si ha per l'analisi della dinamica di sottosistemi urbani e, in particolare, del sottosistema terziario.

Un secondo gruppo di lavori si ispira, per analogia, a modelli di origine ecologica e, in particolare, ai modelli di competizione tra specie, ponendo in generale l'accento sugli aspetti di stabilità od instabilità strutturale.

Un terzo gruppo di lavori si ispira alle teorie dei processi dissipativi della scuola di Bruxelles, tentando di estenderne le applicazioni all'analisi dei sistemi urbani.

Un quarto gruppo di lavori si può ricondurre alle idee sviluppate nella teoria dei processi sinergetici, che viene estesa all'analisi della dinamica delle interazioni sociali e spaziali. Va precisato che vi è una sostanziale differenza tra il tipo di processi dinamici considerati in questo ultimo gruppo, essenzialmente legati a dinamiche veloci (ad esempio, la mobilità della popolazione) ed i processi dinamici considerati nei gruppi precedenti, essenzialmente legati a dinamiche lente (ad esempio, i mutamenti negli stock di abitazioni o di servizi). Per un aspetto (il trattamento del sottosistema residenziale), si collocano qui sia il modello di Torino sia il modello di

Dortmund (\*) (\*\*).

Se ci si vuol limitare alla collocazione del modello di Torino nell'evoluzione italiana dei modelli matematici di sistema urbano, si può dire che esso appartiene alla generazione di modelli successiva a quella del modello per l'organizzazione del comprensorio di Biella (Bertuglia, Rabino, 1975), del modello applicato al comprensorio di Torino, nell'ambito di un processo di piano, nel 1976 (Ires, 1976), del modello di Venezia (Piasentin, Costa, Foot, 1978).

Se si vuole brevemente qualificare il modello di Torino, è sufficiente dire (Bertuglia ed altri, 1980; Bertuglia, Ocelli ed altri, 1984) che si tratta di un modello a larga scala (concernente, cioè, tutti i sottosistemi del sistema urbano), dinamico (la dimensione temporale è, infatti, elemento essen-

---

(\*) Per quanto attiene al modello di Torino, quanto nel testo diventerà chiaro più avanti (cap. 3), in sede di analisi della struttura del modello stesso. Per quanto attiene al modello di Dortmund, qui è sufficiente dire che si tratta di un modello dinamico di simulazione dello sviluppo regionale, organizzato secondo tre livelli gerarchici: a. un modello macroanalitico dello sviluppo economico e demografico, per l'analisi del mercato del lavoro, a scala sovraregionale; b. un modello mesoanalitico delle decisioni localizzative e migratorie intraregionali, a scala regionale (regione di Dortmund); c. un modello microanalitico dello sviluppo dell'uso del suolo, a scala di uno o più distretti urbani (della città di Dortmund) (Wegener, 1983a).

Il modello del mercato residenziale si colloca al secondo livello gerarchico e si fonda sul principio di massimizzazione dell'utilità, il quale viene reso più realistico da un certo numero di assunzioni in ordine al comportamento in condizioni di informazione incompleta e di incertezza. Il modello è costituito, fondamentalmente, da due sottomodelli: un sottomodello dell'"invecchiamento", che descrive i cambiamenti delle famiglie e delle abitazioni tramite una catena semimarkoviana con tassi di transizione dinamici, ed un sottomodello del mercato residenziale, che descrive le transizioni di mercato come processi di ricerca tramite la tecnica di simulazione Monte Carlo (Wegener, 1983b).

(\*\*) Per una trattazione approfondita dell'evoluzione dei modelli matematici di sistema urbano, cfr.: Bertuglia, Leonardi ed altri, 1984.

ziale del modello), basato - per gli aspetti socioeconomici -, anche se non esclusivamente, sullo schema causale di Lowry (1964), - per gli aspetti spaziali - sul metodo di massimizzazione dell'entropia di Wilson (1970) e - per gli aspetti dinamici - sull'analisi dinamica di Forrester (1969).

Come si vede, ci siamo qui limitati a collocare il modello di Torino nel quadro dello sviluppo degli studi modellistici. Non abbiamo, invece, trattato il problema generale della possibilità e della fondatezza dell'uso dei modelli matematici nella pianificazione (in particolare, nella pianificazione territoriale) e, più in generale, nelle scienze sociali. Sappiamo che questo è un problema aperto e sappiamo, anche, che non si chiuderà a breve scadenza.

Tuttavia, abbiamo escluso di trattarne per i seguenti motivi:

- a. il problema è di tale complessità da richiedere una trattazione a sé (in questo senso, una sua trattazione non epidermica avrebbe portato fuori dagli scopi di questo scritto);
- b. almeno per la pianificazione (in particolare, per quella territoriale), la trattazione del problema in oggetto, per avere qualche significato, non può prescindere dall'analisi di quanto sia stato prodotto e sperimentato nel campo. In questo capitolo 2., si è già visto come sia difficile dare anche solo un inquadramento generale all'impetuoso sviluppo degli studi nel campo. Se già detto inquadramento - per quanto sia stato sommario e per quanto sia insufficiente ad introdurre una trattazione della possibilità e della fondatezza dell'uso dei modelli matematici nella pianificazione territoriale - rischia di essere andato al di là di quanto possa pensarsi compatibile con l'economia generale del presente scritto, appare chiaro come al di là di un siffatto inquadramento non si potesse, qui, andare.

Senza entrare nel merito di questioni epistemologiche, in questa sede pare utile avvertire che ai modelli matematici si può guardare come alla traduzione, in linguaggio matematico, di teorie. Ne consegue che il modello matematico conserva il carattere di generalità, che è proprio della teoria. Ne

conseguie ancora che occorre, poi, adattare il modello matematico, che per quanto detto è generale, al caso specifico che si intende indagare: ciò avviene attraverso la calibrazione del modello matematico. In conclusione, se le operazioni tecniche sono condotte in modo corretto, la bontà del modello matematico dipende dalla bontà della teoria.

Lo stato dell'arte dell'elaborazione teorica in campo urbano, malgrado il molto cammino fatto, non può ancora considerarsi completamente soddisfacente.

Probabilmente, l'esplosione degli studi modellistici potrà contribuire, alla lunga, anche al miglioramento dell'elaborazione teorica in campo urbano.

### 3. STRUTTURA, CARATTERI E FUNZIONAMENTO DEL MODELLO

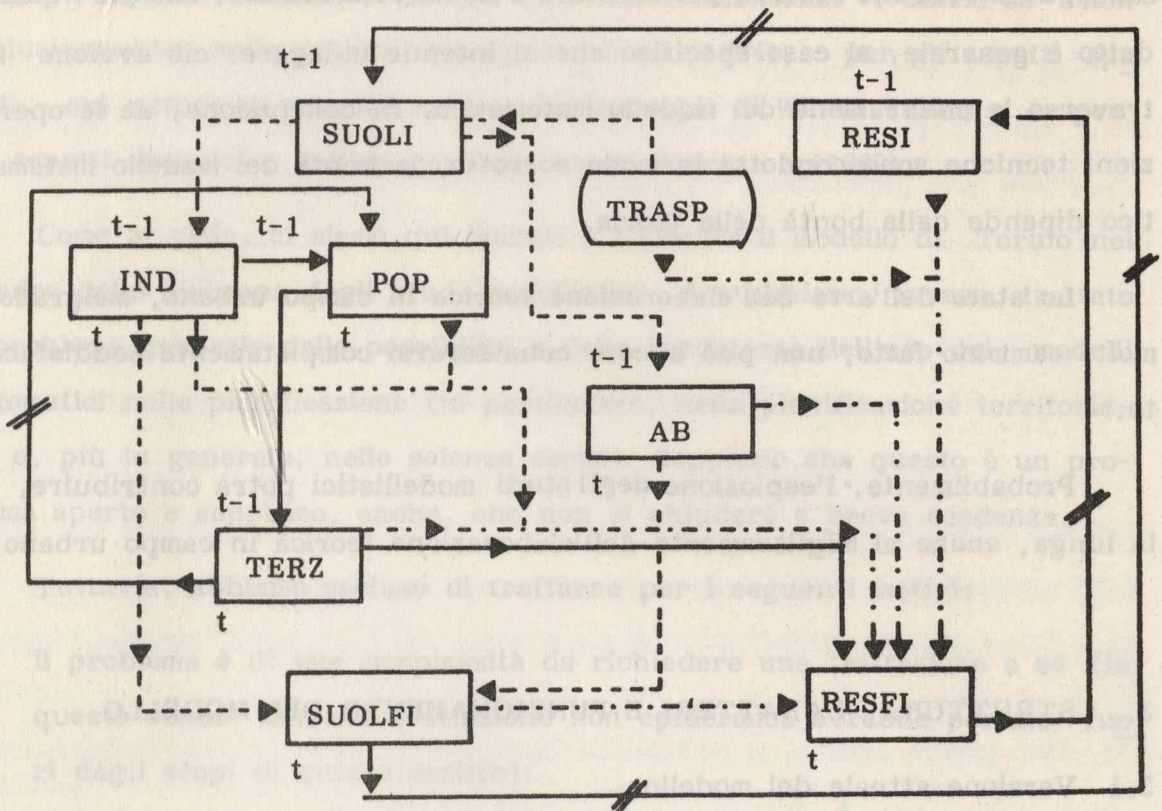
#### 3.1 Versione attuale del modello

Il modello di simulazione è composto dai seguenti sottomodelli, ciascuno dei quali simula la dinamica del sottosistema al quale è associato:

- a. sottomodello industriale (IND);
- b. sottomodello terziario (TERZ);
- c. sottomodello della popolazione (POP);
- d. sottomodello delle abitazioni (AB);
- e. sottomodello di uso del suolo (SUOLI + SUOLFI);
- f. sottomodello residenziale (RESI + RESFI);
- g. sottomodello di trasporto (TRASP).

In realtà, al sottosistema dei trasporti non corrisponde un vero e proprio sottomodello, bensì una variabile di input (matrice dei tempi di viaggio secondo il mezzo di spostamento). E' comunque sempre possibile introdurre un vero e proprio sottomodello dei trasporti, a tal fine utilizzando il sistema di modelli integrati di trasporto SMIT, predisposto dall'IRES (IRES, 1983).

In fig. 1 è illustrato lo schema complessivo del modello di simulazione.



- t-1 tempo iniziale di un periodo di simulazione (1 anno)  
 t tempo finale di un periodo di simulazione  
 — interrelazioni di natura socioeconomica  
 - - - interrelazioni di natura fisico-spaziale  
 ···· interrelazioni relative al sottomodulo residenziale  
 // principali relazioni di feed-back

Figura 1. - I sottomodelli nel modello di simulazione: l'ordine in cui intervengono e le interrelazioni che li legano.

In detta figura, è evidenziato l'ordine in cui i sottomodelli intervengono nel modello complessivo; inoltre, sono evidenziate le principali interrelazioni che legano i diversi sottomodelli.

Le interrelazioni sono fondamentalmente di tre tipi:

1. interrelazioni di natura socioeconomica [fra le quali è possibile riconoscere le relazioni causali proprie del modello di Lowry (1964)], che legano i sottomodelli dell'industria e del terziario ai sottomodelli della popolazione e delle residenze;
2. interrelazioni di natura fisico-spaziale, che legano il sottomodello di uso del suolo ai sottomodelli dell'industria, del terziario, delle abitazioni e dei trasporti;
3. interrelazioni relative al sottomodello residenziale (di natura sia socioeconomica sia fisico-spaziale), che legano il sottomodello residenziale agli altri sottomodelli.

Si illustrano ora, in modo sintetico, le principali operazioni effettuate da ciascun sottomodello (cfr.: fig. 1).

Gli indici del modello, che servono all'illustrazione, sono:

i	zona di residenza	i = 1,99
j	zona del posto di lavoro	j = 1,99
s	tipo di alloggio	s = 1,6
v	settore industriale (*)	v = 1,4
l	settore terziario	l = 1
f	tipo di famiglia, per famiglie con capofamiglia occupato	f = 1,8
g	tipo di famiglia, per famiglie con capofamiglia non occupato	g = 1,4.

Posto quanto precede, seguono, come annunciato, le principali operazioni di ciascun sottomodello.

(\*) Comprendente anche l'agricoltura ed il terziario superiore: in realtà si tratta del "settore di base" della teoria della base economica urbana, incorporata nel modello di Lowry.

- I Sottomodello SUOLI: assume, come input, il suolo occupato e di progetto per i vari usi al tempo  $t-1$ , lo modifica in base alle politiche di riassegnazione dell'uso del suolo, ottenendo, come output, la situazione dei suoli per i vari usi al tempo  $t$ . Sulla base di tale situazione e dei tempi di spostamento interzonali, calcola gli attrattori zionali per i vari usi per l'intervallo temporale  $t-1, t$ .
- II Sottomodello RESI: assume, come input, la distribuzione delle famiglie per tipo ( $f$  o  $g$ ) al tempo  $t-1$  e la probabilità, per un occupato in un settore ( $v$  o  $l$ ), di appartenere ad una famiglia di tipo  $f$ , e calcola, per tipo di famiglia  $f$  e zona di lavoro  $j$ , il rapporto fra capofamiglia ed occupati, il quale verrà utilizzato per determinare, nel sottomodello RESFI, la distribuzione, al tempo  $t$ , delle famiglie di tipo  $f$  per zona di lavoro  $j$ , zona di residenza  $i$  e tipo di alloggio  $s$ .
- III Sottomodello POP: assume, come input, la popolazione totale dell'area al tempo  $t-1$ , i tassi di natalità e mortalità per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , il tasso di occupazione della popolazione, il numero di addetti totali (computati, in IND e TERZ, al tempo  $t-1$ ), e calcola, al tempo  $t$ , la nuova popolazione totale dell'area.
- IV Sottomodello IND: assume, come input, i posti di lavoro industriali (numero di addetti) per zona di lavoro  $j$  e settore industriale  $v$ , al tempo  $t-1$ , i tassi di aumento e diminuzione dei posti di lavoro industriali per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , l'attrattore zonale computato in SUOLI per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , le politiche di aumento e diminuzione di posti di lavoro al tempo  $t-1$ , e calcola, al tempo  $t$ , il nuovo livello di posti di lavoro industriali per zona di lavoro  $j$  e settore industriale  $v$ . Calcola inoltre, al tempo  $t$ , la variazione di suolo industriale nelle diverse zone di lavoro  $j$ , attraverso gli standard di occupazione di suolo per posto di lavoro industriale.
- V Sottomodello TERZ: assume, come input, i posti di lavoro terziari (numero di addetti) per zona di lavoro  $j$  e settore terziario  $l$  al tempo  $t-1$ ,



- la popolazione totale al tempo  $t$ , l'attrattore zonale computato in SUOLI per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , il tasso di terziarizzazione della popolazione, le politiche di aumento e diminuzione di posti di lavoro al tempo  $t-1$ , e calcola, al tempo  $t$ , il nuovo livello di posti di lavoro terziari per zona di lavoro  $j$  e settore terziario  $l$ .
- VI Sottomodello AB: assume, come input, le abitazioni per zona di residenza  $i$  e tipo di alloggio  $s$  al tempo  $t-1$ , i tassi di costruzione e demolizione di abitazioni per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , l'attrattore zonale computato in SUOLI per l'intervallo temporale  $t-1, t$ , le politiche di costruzione e demolizione di abitazioni al tempo  $t-1$  e calcola, al tempo  $t$ , il nuovo livello di abitazioni per zona di residenza  $i$  e tipo di alloggio  $s$ . Calcola inoltre, al tempo  $t$ , la variazione di suolo residenziale nelle diverse zone di residenza  $i$ , attraverso gli standard di occupazione di suolo per alloggio.
- VII Sottomodello SUOLFI: assume, come input al tempo  $t$ , la situazione dei suoli per i vari usi computata in SUOLI e le variazioni di suolo industriale e residenziale computate in IND e AB, e calcola, al tempo  $t$ , i nuovi livelli di suolo occupato dalle diverse attività.
- VIII Sottomodello RESFI: assume, come input, i tassi occupazionali delle famiglie con capofamiglia occupato (tipo  $f$ ) e le famiglie con capofamiglia non occupato (tipo  $g$ ), computati in RESI al tempo  $t-1$ , i posti di lavoro computati in IND e TERZ al tempo  $t$ , la popolazione totale computata in POP al tempo  $t$ , e calcola, al tempo  $t$ , il nuovo livello delle famiglie di tipo  $f$  e la relativa distribuzione per zona di residenza  $i$ , zona di lavoro  $j$  e tipo di alloggio  $s$ , il nuovo livello delle famiglie di tipo  $g$  e la relativa distribuzione per zona di residenza  $i$  e tipo di alloggio  $s$ . Per arrivare a quanto detto, il sottomodello in oggetto utilizza una formulazione entropica (precisamente, un modello di interazione spaziale semplicemente vincolato) che incorpora delle funzioni di utilità potenziali per le famiglie di tipo  $f$ , costruite sulla base degli indicatori di

accessibilità zonale, di quelli di attrattività residenziale e delle caratteristiche zonali - suolo residenziale - (\*). In altri termini, in questo sottomodulo - che costituisce il cuore del modello complessivo - il processo di assegnazione delle famiglie allo stock abitativo viene descritto considerando due fattori fondamentali: un fattore spaziale - l'accessibilità residenziale - ed un fattore economico - l'utilità familiare (come più sopra definita) - (\*\*). Si noti che proprio l'interdipendenza esistente tra questi due fattori - l'accessibilità residenziale è, infatti, anche una componente dell'utilità - è causa delle non linearità del sottomodulo.

### 3.2 Modifiche apportate alla versione iniziale del modello

Il modello, il cui funzionamento è stato brevemente esposto in 3.1, presenta alcune modifiche, sia nella struttura logica sia nella formulazione matematica sia nelle caratteristiche dimensionali, rispetto al modello iniziale (cioè, al modello come esposto in: Bertuglia ed altri, 1980). Tali modifiche sono state apportate nel corso dell'implementazione operativa del modello.

Premesso che dette modifiche non cambiano la struttura teorica complessiva del modello, si espongono le stesse per la struttura logica e per le caratteristiche dimensionali (mentre, qui, si tralascia di esporre quelle per la formulazione matematica, rinviando per esse al confronto tra Bertuglia ed altri, 1980, e Bertuglia, Gallino ed altri, 1982).

Per gli aspetti logici del modello, le modifiche apportate concernono:

- 
- (\*) Si precisa che l'utilità potenziale è intesa come il soddisfacimento che una famiglia di tipo  $f$  raggiungerebbe qualora scegliesse un'abitazione di tipo  $s$  nella zona di residenza  $i$ .  
La formulazione matematica del modello è presentata in Bertuglia, Gallino ed altri (1982), all'Appendice A.
  - (\*\*) Entrambi questi fattori compaiono, infatti, nel termine esponenziale della formulazione entropica.

- a. la semplificazione, nella modellizzazione, dei fenomeni di rilocalizzazione delle attività industriali e terziarie e del fenomeno di turnover industriale, i quali sono stati assimilati a fenomeni di aumento e diminuzione di posti di lavoro in seguito ad apertura e chiusura di stabilimenti industriali e terziari;
- b. la semplificazione, nella modellizzazione, del fenomeno di recupero residenziale, il quale è stato assimilato al fenomeno di costruzione e demolizione di alloggi (\*);
- c. l'approfondimento delle relazioni che legano la dinamica dei sottosistemi industriale, terziario e delle abitazioni, alle variazioni dell'uso del suolo ad essi relativi; ossia, per ciascuno dei suddetti sottosistemi, si sono modellizzati esplicitamente gli effetti "incentivanti" e "disincentivanti" della disponibilità di suolo nei confronti della crescita o del contenimento delle attività nelle diverse zone;
- d. lo sviluppo del sottomodello di uso del suolo, nel quale è stata introdotta sia la modellizzazione delle operazioni di riassegnazione dell'uso del suolo da parte dell'operatore pubblico sia la modellizzazione degli effetti delle suddette operazioni sulla disponibilità di suolo per i vari usi;
- e. l'esclusione del sottomodello dei trasporti, originariamente previsto come un vero e proprio modello a latere, interconnesso al modello di simulazione complessivo e costituito, a sua volta, dai sottomodelli di distribuzione, ripartizione modale, assegnazione e deflusso. Il sottosistema dei trasporti è stato, invece, rappresentato assumendo esogenamente la matrice dei tempi di viaggio secondo il mezzo di spostamento (pubblico, privato). Di fatto, si è rinunciato solo alla modellizzazione degli

---

(\*) La versione originale del modello prevedeva la modellizzazione esplicita del recupero residenziale inteso come cambiamento della tipologia residenziale di appartenenza di un alloggio (passaggio da una tipologia residenziale con un dato livello di qualità - ovviamente, basso - ad una tipologia residenziale con un più elevato livello di qualità).

effetti della distribuzione delle attività economiche sui tempi di viaggio. Questa non appare come una grave menomazione rispetto agli obiettivi del modello, e ciò non solo perché è possibile simulare l'impatto delle politiche di trasporto modificando esogenamente la matrice dei tempi di viaggio, ma anche perché esistono già, per l'area metropolitana torinese, studi approfonditi sul sistema dei trasporti (Città di Torino - Assessorato ai Trasporti e Viabilità, Trasporti Torinesi, 1981), dai quali si potrebbero trarre elementi sugli effetti della distribuzione delle attività economiche sui tempi di viaggio. A quanto precede si deve, inoltre, aggiungere che l'accessibilità e l'attrattività delle zone sono computate all'interno del modello di simulazione complessivo (\*);

- f. una diversa interpretazione delle funzioni di utilità delle famiglie. Nella versione originale del modello, dette funzioni rappresentavano delle utilità "reali", in quanto assumevano, implicitamente, che l'utilità familiare fosse condizionata da un vincolo di reddito. Nella versione attuale del modello, l'utilità familiare esprime il soddisfacimento che una famiglia raggiungerebbe qualora scegliesse un certo insieme residenziale (tipo di alloggio più localizzazione residenziale), prescindendo dalla considerazione del vincolo di reddito familiare. Ne consegue che le utilità sono, più propriamente, delle utilità potenziali.

Per le caratteristiche dimensionali del modello, le modifiche apportate consistono in una riduzione delle dimensioni complessive. Infatti, i primi esperimenti hanno dimostrato che, almeno in una prima fase dell'applicazione, è più opportuno operare con dimensioni più ridotte di quelle inizialmente previste, sia per motivi di maneggevolezza nella gestione del modello complesso sia, soprattutto, per motivi di lettura ed interpretazione degli output (ciò non toglie che, successivamente, un'ulteriore articolazione dimensionale, se riconosciuta opportuna, possa essere reintrodotta). La riduzione delle di

---

(\*) In ogni caso, per questo sottomodello si tenga presente quanto già annotato nella parte iniziale di 3.1..

mensioni ha riguardato, esclusivamente, gli indici spaziali del modello, e cioè:

s	tipologia residenziale	da 18 a 6
f	tipologia familiare con capofamiglia occupato	da 40 a 8
g	tipologia familiare con capofamiglia non occupato	da 8 a 4
v	settore industriale	da 10 a 4
l	settore terziario	da 3 a 1.

Si ritiene che, avendo mantenute invariate le dimensioni spaziali del modello (99x99), la riduzione suddetta non alteri le caratteristiche intrinseche del modello quale modello a larga scala spazialmente disaggregato.

#### 4. LA BASE DI DATI ED IL SOFTWARE

##### 4.1 Tipi di dati utilizzati dal modello

Da un punto di vista operativo, il modello utilizza le seguenti categorie di dati:

##### 1. grandezze fondo.

Con questo termine si intendono le quantità misurabili in un certo istante di tempo o, più semplicemente, ad una certa data.

Nel modello sono grandezze fondo, all'inizio ed alla fine di ciascun periodo di simulazione:

- il numero di occupati per settore e zona di lavoro;
- il numero di alloggi per tipo e zona di residenza;
- la popolazione complessiva del comprensorio e quella di particolari aggregati di zone di residenza;
- la distribuzione dei capifamiglia per tipo di famiglia, zona di residenza, tipo di alloggio e zona di lavoro (se occupati).

Nella formalizzazione adottata, le grandezze fondo vengono indicate con simboli del tipo nome.X e nome.Y, rispettivamente, per valori iniziali e

finali. Ad esempio, la popolazione finale di un certo anno è P.Y..

La matrice dei tempi di spostamento interzonali è concettualmente assimilabile alle grandezze fondo. Essa tuttavia è utilizzata dal modello come insieme di parametri (cfr.: il successivo punto 3., dedicato ai parametri);

## 2. grandezze flusso.

Sono così definite le quantità che si riferiscono ad un intervallo di tempo, in questo caso un anno. Le grandezze flusso del modello sono: i tassi di variazione degli occupati per settore e degli alloggi per tipo, ambedue per aggregati di zone, nonché i tassi di natalità e mortalità per l'intero comprensorio. Sono, inoltre, grandezze flusso gli incrementi ed i decrementi originati dai tassi suddetti, nonché il saldo migratorio annuale, che viene determinato in funzione di un tasso atteso di occupazione e di un coefficiente di sensitività del modello al saldo migratorio teorico. Sono, infine, grandezze flusso gli attrattori zonali.

La notazione per le grandezze flusso, derivanti dall'applicazione di tassi a grandezze fondo iniziali, è nome.XY;

## 3. parametri.

In questa categoria sono compresi tutti i coefficienti che adattano il comportamento delle funzioni, utilizzate per il calcolo delle grandezze fondo finali, alle caratteristiche particolari del sistema studiato.

In altre parole, il modello può simulare, entro i limiti posti dalla teoria cui si riferisce, il comportamento di sistemi urbani che si differenziano, ad esempio, per la dinamica demografica, il tasso di terziarizzazione, il sistema di trasporti e così via. Ciò che gli consente di simulare il comportamento di un particolare sistema è, appunto, il valore dei parametri in esso contenuti. La procedura di ricerca dei valori più opportuni è detta calibrazione del modello.

I parametri utilizzati dal modello sono stati sintetizzati nelle seguenti

classi:

a. fattori di impedenza.

Le grandezze fondo sono calcolate a livello comprensoriale o di aggregati di zone. Le dette grandezze vengono disaggregate per zone di residenza o lavoro, o per tipo di alloggio, utilizzando modelli di allocazione spaziale di tipo wilsoniano. Questi determinano una matrice di flussi interzonalì in funzione dei costi di spostamento (e - spressi in varie grandezze: distanza, tempo, costo generalizzato di viaggio), nonché di un fattore di impedenza allo spostamento, o fattore di sconto spaziale, che misura, in prima approssimazione, la difficoltà di spostamento, associata al costo, nell'ambito di un particolare sistema. Il modello impiega questo tipo di allocazione in due forme distinte, e per ciascuna di esse utilizza particolari parametri;  $\theta$  per occupati ed alloggi,  $\beta$  per i capifamiglia occupati;

b. pesi della funzione di utilità.

L'allocazione dei capifamiglia occupati, per zona di residenza e tipo di alloggio, è effettuata tramite una formulazione entropica, e precisamente con una matrice di probabilità, a sua volta costruita sulla base dei flussi interzonalì e di una funzione di utilità potenziale. I parametri della funzione di utilità sono i pesi applicati ai valori normalizzati (ovvero depurati dalle dimensioni derivanti dall'unità di misura impiegata) di tre grandezze: la disponibilità di alloggi, la disponibilità di suolo residenziale ed una misura del grado di accessibilità di una zona di residenza rispetto a tutte le altre. Detti pesi sono:  $h$  per la disponibilità abitativa,  $n$  per la disponibilità di suolo residenziale e  $k$  per l'accessibilità. Vi è, inoltre, un coefficiente  $\xi$  che misura l'impedenza alla allocazione dei capifamiglia per zona di residenza e tipo di alloggio.

c. coefficienti di sensitività.

Il saldo migratorio è calcolato con i passi seguenti:

- dato il numero di occupati totali alla fine dell'anno precedente, si determina la popolazione attesa in funzione di un tasso di occupazione teorico;
- da essa si sottrae la popolazione effettiva al termine dell'anno precedente, ottenendo il saldo migratorio atteso;
- questo viene corretto da un coefficiente di sensitività, che misura la propensione del sistema ad "accettare" il saldo atteso. Il coefficiente di sensitività per il saldo migratorio è denominato *migrn*.

Uno schema analogo è utilizzato nel determinare la variazione di occupati nel terziario inferiore. In questo caso, il coefficiente di sensitività è denominato *tctn*;

#### d. probabilità.

Il modello utilizza matrici di probabilità condizionale, cioè di appartenenza ad un tipo di famiglia, dato il settore di attività di un occupato, e di utilizzo di un mezzo di trasporto (pubblico o privato), dato il tipo di famiglia. Inoltre, è presente una matrice di probabilità (semplice) di utilizzo dei mezzi suddetti;

#### e. altri coefficienti.

In questa categoria, residuale ai fini della presente esposizione, vengono inclusi gli altri valori, numeri puri o dotati di unità di misura, che descrivono caratteristiche del sistema. Si indicano qui la matrice dei tempi di spostamento ed i tassi teorici di occupazione, citati in precedenza.

### 4.2 Costruzione dei dati iniziali

Le fonti, utilizzate per ottenere i dati iniziali di ogni esperimento di simulazione effettuato, sono le seguenti:



a. censimenti della popolazione 1971 e 1981.

Prescindendo dalle differenze nella struttura delle registrazioni e nel livello di elaborazione (campione al 20% nel 1971, intero universo nel 1981), gli archivi di partenza contenevano la riproduzione dei fogli di famiglia censuari, ovviamente anonimi. Le elaborazioni sono consistite, inizialmente, nel calcolo delle distribuzioni di frequenza, in termini di singoli individui e di alloggi, per zona di residenza, tipo di famiglia, tipo di alloggio, settore di attività e mezzo di trasporto impiegato per recarsi al lavoro. Più complessa è stata la fase successiva di attribuzione della zona di lavoro per gli occupati nel comune di Torino. Infatti, essendo per il 1971 disponibile soltanto l'indirizzo del luogo di lavoro, ma non la sezione di censimento, si è dovuto attribuire la seconda al primo, attraverso l'accesso automatico ad una tabella di tutti gli indirizzi comunali validi all'epoca (1971), ed applicando algoritmi specifici per i casi non risolvibili con la tabella suddetta. Per il 1981, è disponibile un archivio, messo a punto dal Consorzio TT-Trasporti Torinesi, che associa, a ciascun occupato residente in Torino, la sezione di censimento del luogo di lavoro. Ciò ha risolto il problema solo parzialmente, vista la non omogeneità dei due archivi (quello Istat fornisce i dati definitivi, il Consorzio TT ha invece elaborato i dati provvisori).

Le variabili, costruite a partire dai censimenti della popolazione, sono:

- a<sub>1</sub>. alloggi per tipo e zona;
- a<sub>2</sub>. occupati per settore di attività e zona di lavoro;
- a<sub>3</sub>. capifamiglia per tipo di alloggio, zona di residenza, tipo di famiglia (determinato in funzione del numero di componenti e della posizione professionale del capofamiglia) e zona di lavoro (se occupati);
- a<sub>4</sub>. matrice di probabilità di appartenenza ad un tipo di famiglia per gli occupati in un determinato settore;
- a<sub>5</sub>. matrici di probabilità semplici di uso del mezzo di trasporto (pubblico o privato) e matrici di probabilità condizionali, sempre, di uso del mezzo di trasporto (pubblico o privato), dato il tipo di fa-

miglia di appartenenza;

b. altre fonti.

b<sub>1</sub>. archivi TT ed archivi IRES, predisposti per altri studi, a partire dai quali sono stati costruiti le matrici dei tempi di trasporto sulla base dei dati rilevati al 1971 ed al 1981, nonché i successivi scenari derivanti da variazioni nel sistema di infrastrutture di trasporto secondo linee di intervento descritte in documenti del Comprensorio di Torino e del Comune di Torino;

b<sub>2</sub>. altre fonti comunali e comprensoriali, a partire dalle quali è stata costruita una distribuzione del suolo comprensoriale, per tipo di uso e per zona, al 1971 e al 1981. In particolare, sono stati misurati, o stimati, il suolo occupato, per uso, e la corrispondente situazione descritta dagli strumenti urbanistici, indicata come suolo di progetto. La differenza algebrica tra i due valori, per zona ed uso, quando negativa, indica il suolo disponibile; quando positiva, indica, invece, l'eccedenza di suolo occupato sul suolo di progetto;

c. calibrazioni.

I parametri utilizzati negli esperimenti di simulazione sono stati determinati, come si è detto, con procedure di calibrazione. In particolare, il parametro  $\theta$  è stato ottenuto dalla calibrazione di un modello di allocazione doppiamente vincolato, mentre la determinazione dei parametri  $\beta$ ,  $\xi$ ,  $h$ ,  $n$  e  $k$  ha richiesto complesse procedure a più fasi.

#### 4.3 Il software

Il software, per l'applicazione del modello su elaboratore (il sistema IBM compatibile del CSI Piemonte), è stato costruito privilegiando la flessibilità, cioè la capacità di adattamento alle variazioni del modello - in termini di dati, equazioni, caratteristiche temporali e spaziali degli esperimenti di simulazione - con il minimo di variazioni formali.

Sono stati costruiti quattro componenti, ciascuno dei quali svolge una funzione nella preparazione o nell'esecuzione dell'esperimento.

I componenti, governati dall'utilizzatore mediante parole chiave, sono i seguenti:

- a. definizione degli input: creazione della base dei dati utilizzabili nel corso di un esperimento. E' possibile registrare, sotto forma di differenti insiemi di dati, scenari paralleli in cui eseguire gli esperimenti. Da un punto di vista informatico, la base registra i dati in modo tale da rendere più efficienti le operazioni di accesso agli stessi durante gli esperimenti;
- b. definizione degli esperimenti: identificazione degli esperimenti nella loro estensione temporale e negli specifici input da utilizzare. E' possibile organizzare un qualunque input nella sequenza temporale desiderata. Questo componente fa riferimento alle informazioni fornite nella fase di "definizione degli input", senza necessità di ripeterle;
- c. adattamento automatico del programma sorgente: adattamento di una copia del programma FORTRAN alle caratteristiche di un esperimento scelto tra quelli definiti nel componente precedente. Questo adattamento, consistente in una manipolazione del testo sorgente, viene effettuato automaticamente, evitando operazioni manuali, che sono causa di possibili errori;
- d. esecuzione dell'esperimento: effettuazione dell'esperimento secondo le specifiche indicate, con produzione di output - di diversa forma e contenuto - relativi alle variabili scelte dall'utilizzatore.

## 5. ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI: PRESENTAZIONE E LORO DISCUSSIONE

### 5.1 Introduzione

Si presentano e discutono i risultati di due sperimentazioni.

La prima sperimentazione concerne la simulazione di tre scenari socio-economici, ciascuno dei quali rappresenta una diversa evoluzione del sistema urbano di Torino per il periodo 1981-1999, e non tiene conto di alcuna ipotesi di intervento, ovviamente di consistenza significativa, dell'operatore pubblico. Tale sperimentazione permette di individuare gli effetti, sul sistema comprensoriale di Torino, dell'impatto dei tre scenari ipotizzati.

La seconda sperimentazione concerne l'analisi degli effetti, sul sistema comprensoriale di Torino, dell'impatto di politiche (in questo caso, di trasporto), definite dal Comprensorio di Torino.

### 5.2 Simulazione di scenari socioeconomici

Come già detto, gli esperimenti effettuati hanno riguardato la simulazione di tre scenari socioeconomici, ciascuno dei quali rappresenta una diversa (e, per ora, ipotetica) evoluzione (socioeconomica) del sistema urbano di Torino per il periodo 1981-1999.

Nella definizione delle tendenze evolutive del sistema e dei relativi scenari, si è fatto riferimento all'analisi dei processi di sviluppo demografico ed economico del comprensorio nello scorso trentennio (Bertuglia, Ocelli ed altri, 1983).

Le tre tendenze di evoluzione, ed i corrispondenti scenari, sono:

1. continuazione delle attuali tendenze di evoluzione (ossia, di quelle che sono state osservate nel periodo 1971-1980). Lo scenario corrispondente è stato definito sulla base di una semplice (ed indubbiamente rozza) estrapolazione grafica dei tassi di variazione (crescita e diminuzione)

delle attività a livello comprensoriale, che sono stati osservati nello scorso decennio;

2. declino del sistema. Lo scenario corrispondente è stato determinato considerando solo i tassi di diminuzione delle attività, osservati nel primo scenario (i tassi di crescita delle attività sono stati azzerati);
3. crescita del sistema. Lo scenario corrispondente è stato definito considerando solo i tassi di incremento delle attività, osservati nel primo scenario (i tassi di diminuzione delle attività sono stati azzerati).

Inoltre, nei tre scenari, si è assunto che gli usi del suolo (di progetto), i tempi di viaggio, i coefficienti di uso del suolo ed il parametro della distanza rimanessero invariati. Si è assunto cioè che, nel periodo 1981-1999, non intervenissero cambiamenti in talune componenti spaziali del sistema, tali da modificare i vincoli di uso del suolo e la struttura delle infrastrutture di trasporto esistenti. Questa è un'assunzione certamente riduttiva (ma, comunque, non tale da impedire che si abbiano dinamiche spaziali differenti in relazione ai differenti scenari ipotizzati). Essa, tuttavia, dovrà essere rilassata negli esperimenti futuri.

E' ovvio che gli scenari socioeconomici sopra descritti sono ipotetici. Infatti, gli input, utilizzati nella definizione dei vari scenari, sono essenzialmente delle pure quantificazioni numeriche, non basate, per ora, su alcuna fondata previsione socioeconomica né, soprattutto, su alcuna ipotesi di intervento dell'operatore pubblico.

In questa sede, non si descriveranno gli output numerici delle simulazioni effettuate, ma ci si limiterà ad illustrare soltanto alcuni output di natura qualitativa, i quali, tuttavia, sono sufficienti a mettere chiaramente in luce gli effetti, sul sistema urbano di Torino, dell'impatto dei tre scenari ipotizzati.

In fig. 2 sono visualizzate le variazioni percentuali 1971-1999 (relative) degli addetti nella città di Torino e nelle tre corone, risultanti dalla simula-

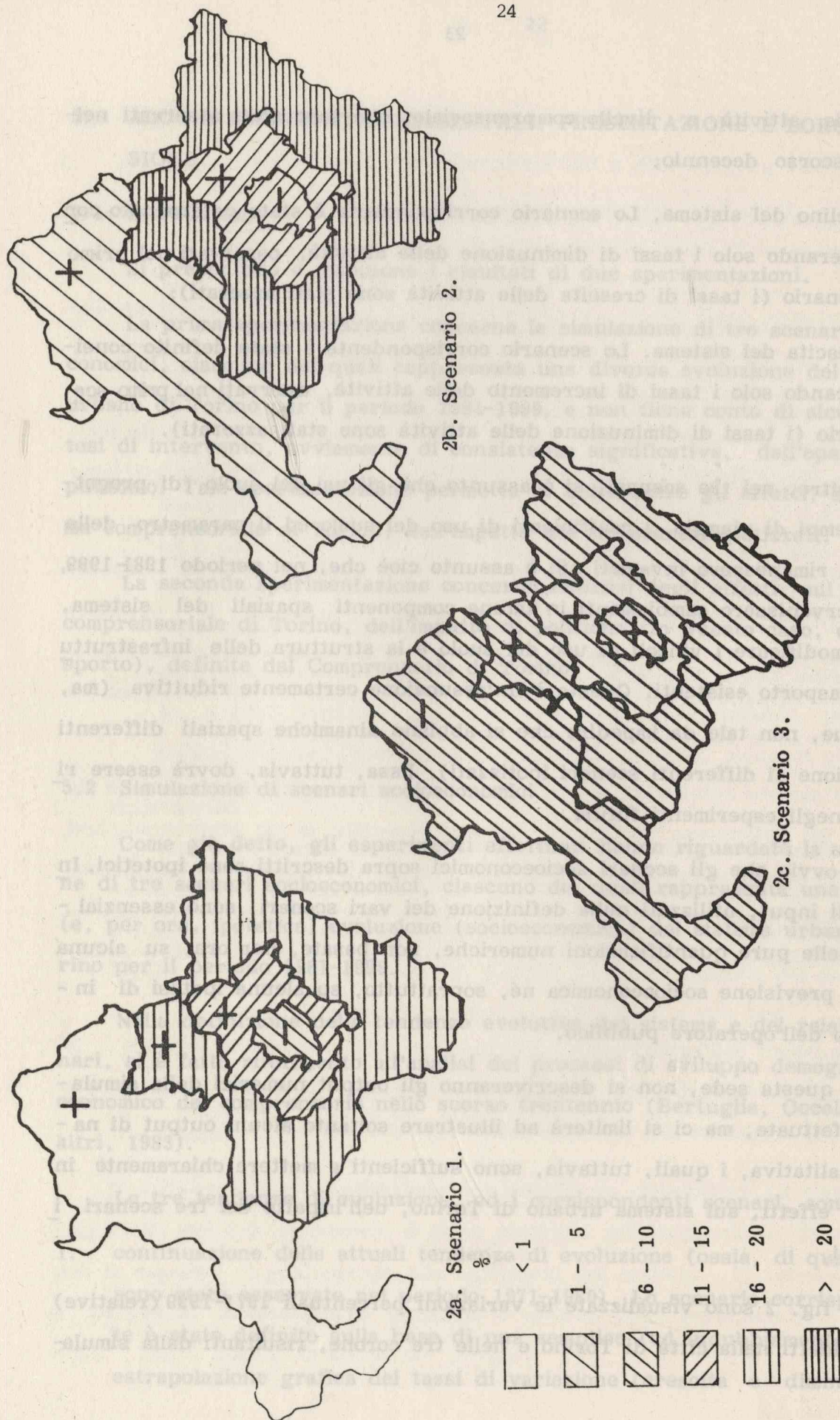


Figura 2.- Variazione percentuale 1971-1999 degli addetti nella città di Torino e nelle tre corone nei tre scenari simulati. (La variazione percentuale è stata calcolata sui valori percentuali degli addetti nella città e nelle tre corone rispetto al totale degli addetti nel comprensorio) (a).

(a) Il simbolo + indica un incremento ed il - una diminuzione.

zione dei tre scenari.

Nella fig. 2a - estrapolazione delle tendenze attuali - si riconosce la prosecuzione del processo di diffusione spaziale osservato nello scorso decennio. Si può osservare un calo, relativo, dell'importanza della città ed un aumento, relativo, dell'importanza delle corone esterne, che risulta più significativo per la seconda corona.

Nella fig. 2b - declino del sistema - il processo di diffusione spaziale, osservato nello scenario dell'estrapolazione delle tendenze attuali (figura 2a), risulta più accentuato. Il calo dell'importanza della città è maggiore e, contemporaneamente, l'aumento di importanza delle corone esterne è più evidente. Anche in questo scenario, la seconda corona è quella maggiormente interessata dal processo diffusivo.

Nella fig. 2c - crescita del sistema - il processo, osservato nei precedenti scenari, si inverte ed emerge una tendenza alla concentrazione spaziale. Aumenta l'importanza della città di Torino e, anche, quella delle prime due corone (e, anche in questo caso, in misura maggiore nella seconda corona), mentre diminuisce l'importanza della terza corona.

Risultati del tipo ora esaminato, da un lato, mettono in luce alcune delle potenzialità d'uso del modello e, da un altro lato, presentano indubbi motivi di interesse per l'operatore pubblico con compiti di pianificazione, motivi di interesse che vengono ulteriormente sottolineati da quanto ora si fa seguire, sempre a proposito della sperimentazione di cui si è trattato.

Le riflessioni che erano derivate dall'analisi dei processi di sviluppo demografico ed economico del comprensorio di Torino nell'ultimo trentennio (Bertuglia, Ocelli ed altri, 1983) inducevano la proposizione della seguente domanda e la necessità di rispondere ad essa.

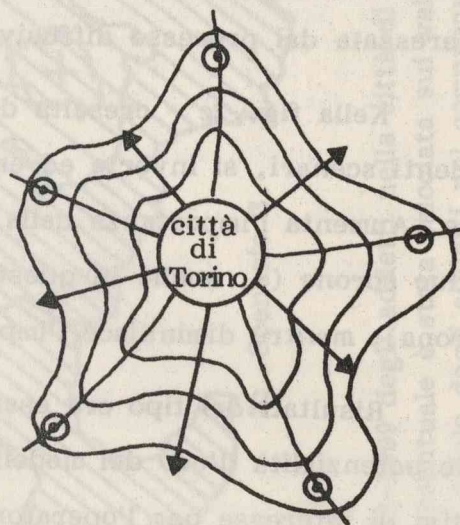
A. In che misura la tendenza alla diffusione spaziale dell'evoluzione socioeconomica del sistema, che è stata osservata nel decennio 1971-1980, possa ritenersi determinata:

- A.1. dalle trasformazioni socioeconomiche del sistema (in breve, dalla contrazione dell'occupazione industriale, dalla progressiva terzizzazione dell'economia e dalla tendenza negativa della dinamica demografica)?
- A.2. oppure da un processo connesso, o connesso anche, alla maggior importanza di alcuni centri più periferici (in particolare, nella seconda e terza corona)?

Nel caso A.1., la tendenza alla diffusione spaziale andrebbe intesa come l'effetto di una situazione di crisi socioeconomica, che, una volta superata, potrebbe invertirsi, dando nuovamente luogo a processi di concentrazione spaziale nell'area metropolitana (sistema aperto, cfr.: fig. 3a) (\*).



3a. - Sistema aperto



3b. - Sistema chiuso

Figura 3. - Schemi di configurazioni dell'assetto futuro del sistema urbano di Torino

(\*) Con sistema aperto si intende un sistema urbano in fase di crescita economica il cui comportamento localizzativo è tale da spingere verso la concentrazione spaziale nel centro dello stesso.

Con sistema chiuso si intende un sistema urbano in fase di declino economico il cui comportamento localizzativo è tale da spingere verso la diffusione spaziale nella periferia dello stesso.

Tali definizioni si ispirano all'interpretazione del processo di urbarizzazione data da Papageorgiou (1983).



Nel caso A.2., anche in presenza del superamento della situazione di crisi socioeconomica e di assestamento delle trasformazioni socioeconomiche, la tendenza alla diffusione spaziale potrebbe continuare a prodursi (sistema chiuso, cfr.: fig. 3b).

Gli esperimenti di simulazione effettuati, e prima descritti, indicano che la risposta corretta sarebbe quella che conferma quanto ipotizzato in A.1..

### 5.3 Simulazione di politiche di trasporto

Gli esperimenti condotti hanno riguardato la simulazione di politiche di trasporto, nell'ipotesi, su cui si richiama l'attenzione, che, nel periodo considerato 1981-1991, non intervenissero cambiamenti nella struttura socioeconomica del sistema (\*). Ci si è collocati, cioè, nello scenario precedentemente discusso di continuazione delle attuali tendenze di evoluzione, assumendo che, nel periodo 1981-1991, i tassi di variazione delle attività rimasero costanti (precisamente, invariati rispetto a quelli del 1981) e che, inoltre, le altre componenti spaziali del sistema - coefficienti e struttura degli usi del suolo, parametro della distanza - non subissero modificazioni. Ciò costituisce una semplificazione, da rilassare in successive sperimentazioni; non dimeno è una ipotesi utile per una prima analisi dell'impatto delle politiche dell'operatore pubblico.

Le politiche di trasporto simulate sono state tratte dallo Schema di Piano del Comprensorio di Torino, dalle elaborazioni effettuate dall'Assessorato ai Trasporti e Viabilità della Città di Torino e dall'Assessorato ai Tra-

(\*) Il periodo temporale considerato in queste simulazioni è differente da quello cui si è fatto riferimento nelle simulazioni di cui in 5.2, poiché è solo con riferimento al decennio 1981-1991 che l'operatore pubblico ha formulato un quadro di politiche temporalmente definito.

Va ribadito, inoltre, che le simulazioni degli scenari di cui in 5.2 sono solo sperimentali. Detti scenari andranno rielaborati ancorandoli a quantificazioni numeriche fondate, temporalmente coerenti con le politiche (non solo nel campo dei trasporti) dell'operatore pubblico.

sporti della Regione Piemonte.

Sulla base di tali indicazioni, partendo dalle matrici dei tempi di viaggio al 1981, sono state costruite le matrici dei tempi di viaggio al 1985, che si intendono sondare:

- la matrice dei tempi interzonalì per il mezzo pubblico, la quale tiene conto degli interventi infrastrutturali per la città di Torino e per il resto dell'area comprensoriale, previsti dallo Schema di Piano comprensoriale e da realizzare entro il 1985 (tale epoca delimita, infatti, la prima fase di realizzazione dello Schema di Piano comprensoriale) (\*);
- la matrice dei tempi interzonalì per il mezzo privato, la quale, come la precedente, tiene conto degli interventi infrastrutturali per la città di Torino e per il resto dell'area comprensoriale, previsti dallo Schema di Piano comprensoriale e da realizzare entro il 1985.

L'insieme degli interventi considerati sono schematizzati nelle figg. 4a e 4b, rispettivamente per il resto dell'area comprensoriale e per la città di Torino (\*\*).

---

(\*) Anche se non sarebbe strettamente necessario, si fa presente che la matrice dei tempi interzonalì per il mezzo pubblico al 1981 teneva già conto delle modifiche alla rete di trasporto nella città di Torino e delle parziali ristrutturazioni della stessa rete nell'area comprensoriale, introdotte negli anni 1980 e 1981.

(\*\*) Gli interventi in oggetto sono:

a. per il mezzo pubblico:

- introduzione di un'aliquota della linea metropolitana 1 nella città di Torino;
- potenziamento di due tratte della linea ferroviaria Torino-Ceres: Venaria-aeroporto di Caselle e Lanzo-Ceres;
- raddoppio della linea ferroviaria Torino-Modane;

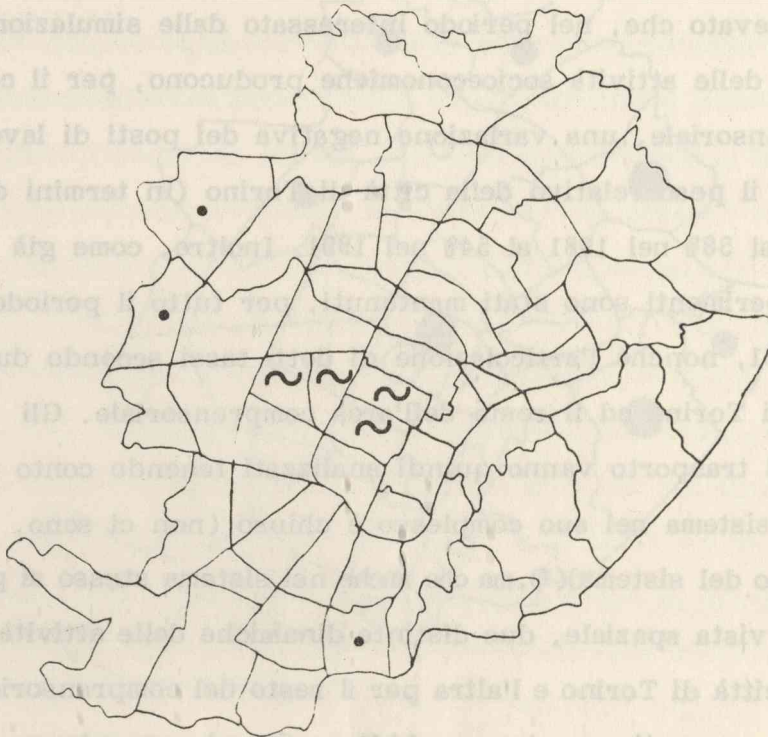
b. per il mezzo privato:

- raddoppio del ponte sul Sangone tra Torino e Nichelino;
- completamento della tangenziale sud di Orbassano;
- potenziamento della strada Rivoli-Rivalta;
- introduzione della tangenziale sud-est di Rivoli;
- introduzione della variante nord-est di Rivoli;
- completamento dell'asse di corso Marche nella città di Torino;
- sistemazione del nodo di Borgone;
- introduzione della circonvallazione di Ciriè;
- introduzione della circonvallazione di Rivarolo;
- introduzione della circonvallazione di Chivasso.

- principali direttrici di collegamento
- ~ intervento per il mezzo pubblico
- intervento per il mezzo privato



4a. Interventi per il resto dell'area comprensoriale



4b. Interventi per la città di Torino

Figura 4. - Principali interventi nel settore dei trasporti nel comprensorio di Torino previsti dall'operatore pubblico al 1985

Sono stati realizzati due esperimenti di simulazione:

- a. il primo esperimento sonda gli effetti delle matrici, fatte agire a partire dal 1981, fino al traguardo temporale del 1991 (che costituisce l'epoca finale per la realizzazione dello Schema di Piano comprensoriale);
- b. il secondo esperimento sonda gli effetti delle matrici, fatte agire a partire dal 1985, fino al traguardo temporale del 1991.

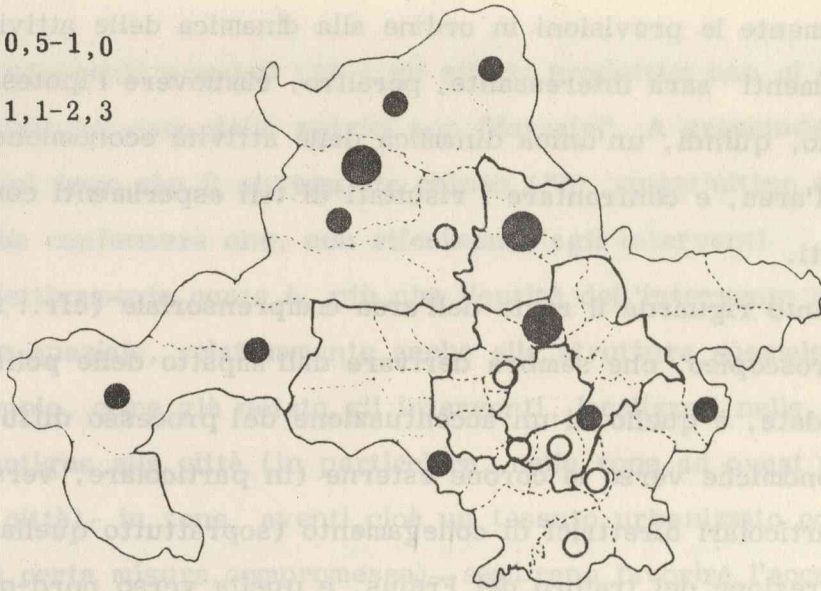
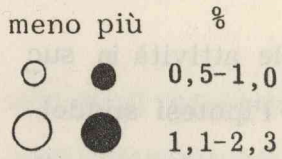
Come è ovvio, il confronto tra i risultati dei due esperimenti consente di individuare gli effetti specifici al 1991 della prima fase di realizzazione dello Schema di Piano comprensoriale, vale a dire degli interventi che devono essere introdotti entro il 1985.

I risultati degli esperimenti suddetti sono riportati nelle figg. 5a e 5b, rispettivamente per il resto dell'area comprensoriale e per la città di Torino. Precisamente, sono riportate le differenze tra le variazioni percentuali 1981-1991 dei posti di lavoro, calcolate nei due esperimenti.

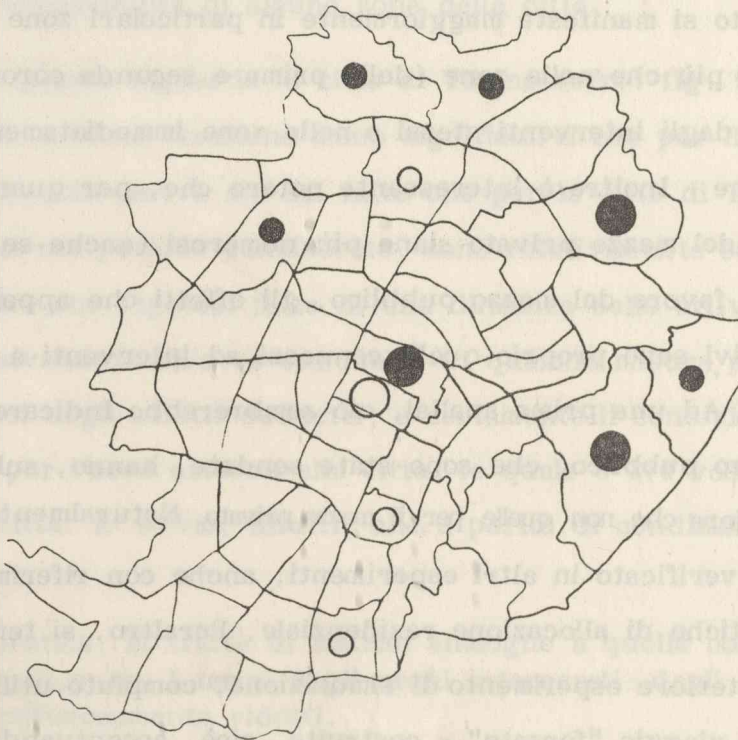
Va subito rilevato che, nel periodo interessato dalle simulazioni, i tassi di variazione delle attività socioeconomiche producono, per il complesso dell'area comprensoriale, una variazione negativa dei posti di lavoro di circa 0,9%, mentre il peso relativo della città di Torino (in termini di posti di lavoro) passa dal 58% nel 1981 al 54% nel 1991. Inoltre, come già detto, in entrambi gli esperimenti sono stati mantenuti, per tutto il periodo 1981-1991, i tassi al 1981, nonché l'articolazione di detti tassi secondo due macrozone: la città di Torino ed il resto dell'area comprensoriale. Gli effetti delle politiche di trasporto vanno quindi analizzati tenendo conto del fatto che non solo il sistema nel suo complesso è chiuso (non ci sono, cioè, scambi con l'esterno del sistema)(\*), ma che anche nel sistema stesso si producono, dal punto di vista spaziale, due distinte dinamiche delle attività economiche: una per la città di Torino e l'altra per il resto del comprensorio(\*\*). A prescindere da come l'operatore pubblico riterrà opportuno arti-

(\*) Non dovrebbe essere necessario richiamare l'attenzione sul fatto che il senso dell'espressione "sistema chiuso", ora adoperata, è diverso dal senso che la stessa espressione ha a p. 27. ed in fig. 3b.

(\*\*) Detta articolazione spaziale della dinamica delle attività economiche è stata assunta in fase di calibrazione del modello (che è relativa al periodo temporale 1971-1981) ed è stata mantenuta, per semplicità, anche in questi esperimenti di simulazione.



5a. Differenze per il resto dell'area comprensoriale



5b. Differenze per la città di Torino

Figura 5. - Differenze delle variazioni percentuali 1981-1991 degli addetti ottenute nei due esperimenti (variazioni percentuali ottenute utilizzando la matrice dei tempi al 1985 meno variazioni percentuali ottenute utilizzando la matrice dei tempi al 1981).

colare spazialmente le previsioni in ordine alla dinamica delle attività in successivi esperimenti sarà interessante, peraltro, rimuovere l'ipotesi suddetta, ipotizzando, quindi, un'unica dinamica delle attività economiche per il complesso dell'area, e confrontare i risultati di tali esperimenti con quelli qui ottenuti.

Per quanto riguarda il resto dell'area comprensoriale (cfr.: fig. 5a), l'effetto più macroscopico, che sembra derivare dall'impatto delle politiche di trasporto sondate, è quello di un'accentuazione del processo diffusivo delle attività economiche verso le corone esterne (in particolare, verso la terza), lungo particolari direttrici di collegamento (soprattutto quella verso ovest, nella direzione del traforo del Fréjus, e quella verso nord-ovest, nella direzione del Canavese occidentale) (\*). Sebbene, intuitivamente, tale effetto diffusivo fosse prevedibile, da questo esperimento emerge che, complessivamente, tale effetto si manifesta maggiormente in particolari zone (della corona più esterna) più che nelle zone (della prima e seconda corona) direttamente interessate dagli interventi stessi o nelle zone immediatamente adiacenti a queste ultime. Inoltre, è interessante notare che, per quanto gli interventi a favore del mezzo privato siano più numerosi (anche se più frammentari) di quelli a favore del mezzo pubblico, gli effetti che appaiono maggiormente significativi sono proprio quelli connessi ad interventi a favore del mezzo pubblico. Ad una prima analisi, ciò sembrerebbe indicare che le politiche per il mezzo pubblico, che sono state sondate, hanno, sul sistema, una incisività maggiore che non quelle per il mezzo privato. Naturalmente, quanto osservato andrà verificato in altri esperimenti, anche con riferimento agli effetti delle politiche di allocazione residenziale. Peraltro, si tenga presente che in un ulteriore esperimento di simulazione, compiuto utilizzando matrici dei tempi di viaggio "forzate" - costruite, cioè, accentuando l'inten-

---

(\*) L'entità delle differenze riportate nelle figg. 5a e 5b non è molto elevata. Ciò è dovuto, fondamentalmente, al fatto che gli interventi, previsti nelle politiche sondate, hanno una rilevanza, complessivamente, piuttosto modesta. Ciò fa sì che, strutturalmente, le matrici dei tempi al 1985 non presentino differenze sostanziali rispetto a quelle al 1981.

sità degli interventi previsti (\*) - , gli effetti prodottisi non si discostano da quelli ottenuti nel caso delle matrici non "forzate". A prescindere da considerazioni sul fatto che il sistema sia chiuso (\*\*), quest'ultimo esperimento sembrerebbe confermare che, con riferimento agli interventi considerati, ciò che effettivamente conta è, più che l'entità dell'intervento stesso, la sua collocazione spaziale, relativamente anche alla struttura spaziale esistente. Così, ad esempio, come già notato, gli interventi, localizzati nelle zone immediatamente contigue alla città (in particolare, nelle zone ad ovest ed a nord-ovest della città) - in zone aventi, cioè, un tessuto urbanizzato congestionato (e , in una certa misura, compromesso) - sembrano favorire l'accessibilità delle zone più periferiche del sistema urbano, situate sulle direttrici uscenti dalle zone interessate dagli interventi. Così pure, possono contribuire ad aumentare l'accessibilità di alcune zone della città.

Per quanto riguarda la città di Torino (cfr.: fig. 5b), gli effetti delle politiche sondate risultano meno significativi che per il resto dell'area comprensoriale. Ciò deriva sia dal fatto che per la città di Torino gli interventi, previsti nel periodo considerato, sono relativamente scarsi (cfr.: fig. 4b), sia dal fatto che l'ipotesi fatta di una dinamica delle attività economiche riferita esclusivamente all'area comunale, in qualche misura, può condizionare il manifestarsi degli effetti suddetti, e certamente li condiziona in misura maggiore che per l'area esterna alla città, la quale è 370 volte più estesa dell'area della città. E' ovvio, infatti, che, a parità di condizioni, gli effetti spa

---

(\*) In pratica, si tratta di matrici analoghe a quelle considerate prima, nelle quali, però, i tempi degli archi interessati dagli interventi sono stati artificialmente ridotti.

(\*\*) Poiché il sistema è chiuso, a parità di tutte le altre condizioni, una riduzione ulteriore dei tempi, sugli archi interessati dagli interventi, ha portato, solo, ad una diminuzione (peraltro, lieve) del costo medio di spostamento totale, e, di fatto, le accessibilità relative delle zone rimangono immutate.

ziali, di un dato insieme di interventi, hanno una maggiore libertà di manifestarsi in un'area grande piuttosto che in un'area piccola.

Va aggiunto che, per la città di Torino, interviene il vincolo sulla disponibilità di suolo, che condiziona fortemente la distribuzione spaziale delle variazioni dei posti di lavoro. Analogamente a quanto rilevato per il resto dell'area comprensoriale, gli effetti delle politiche sondate tendono a prodursi, in modo più marcato, nelle zone più lontane dal centro della città - quelle in cui la disponibilità di suolo è relativamente maggiore - ; in particolare, lungo le direttrici di fuoriuscita nord e nord-est. Si noti, inoltre, che l'aumento di posti di lavoro, che sembra verificarsi nel centro della città è, in realtà, una minore diminuzione di posti di lavoro (cfr.: fig. 5b) (si ricordi che la dinamica delle attività economiche, ipotizzata per la città nel periodo 1981-1991, prevede una diminuzione complessiva di posti di lavoro dell'ordine del 7%). Per la scarsità degli interventi previsti e per la presenza di vincoli sulla disponibilità di suolo, gli effetti nella città appaiono, ad una prima analisi, maggiormente connessi con gli interventi previsti nelle zone immediatamente adiacenti alla città che non con gli interventi previsti nella città stessa. Peraltro, la lettura attenta della natura e dell'entità degli effetti nella città richiederà un'analisi più approfondita di quanto qui non si sia fatto, poiché è proprio nella città che si producono (e si produrranno) le dinamiche socioeconomiche più complesse (vedi ad esempio: contrazione dell'occupazione industriale, incremento dell'occupazione terziaria) e che maggiormente si manifestano le inerzie derivanti dalle esistenti strutture spaziali. Naturalmente, anche questi risultati andranno suffragati da successivi esperimenti, che rilassino le ipotesi semplificatrici di cui si è detto e che siano poggiati su previsioni più fondate in ordine alle diverse dinamiche delle attività socioeconomiche.



## 6. USO DEL MODELLO NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

In 5. sono stati presentati e discussi i risultati di due sperimentazioni. Le due sperimentazioni sono state scelte in modo tale da poter dire che, in 5., sono stati mostrati due fra gli usi che del modello si possono dare con riferimento alla pianificazione (in particolare, con riferimento alla pianificazione territoriale).

Si vuole ora provare a dare un quadro più sistematico degli usi del modello.

La distinzione fondamentale, all'interno della quale si possono introdurre gli altri usi, è la seguente:

- a. analisi delle trasformazioni territoriali associate a scenari socioeconomici alternativi (non considerando esplicitamente politiche d'intervento dell'operatore pubblico);
- b. analisi degli effetti, sul sistema, dell'impatto di politiche d'intervento dell'operatore pubblico (più dettagliatamente: definite dall'operatore pubblico oppure supposte per l'operatore pubblico).

Ora si procede facendo riferimento all'articolazione introdotta.

Caso a. Analisi delle trasformazioni territoriali associate a scenari socioeconomici alternativi (non considerando esplicitamente politiche d'intervento dell'operatore pubblico).

Una analisi di questo tipo è stata presentata e discussa in 5.2..

Come si è visto, analisi di questo tipo permettono di indagare il comportamento localizzativo di un sistema urbano con riferimento a scenari socioeconomici alternativi. Nel caso discusso in 5.2., si è visto come analisi di questo tipo permettano di pervenire, anche, a conclusioni di una qualche generalità; in ogni caso, e comunque, a conclusioni utili per gli operatori di pianificazione territoriale (e non solo di pianificazione territoriale).

Caso b. Analisi degli effetti, sul sistema, dell'impatto di politiche di intervento dell'operatore pubblico (più dettagliatamente: definite dall'operatore pubblico oppure supposte per l'operatore pubblico).

Tali politiche, in genere, vanno inquadrare in uno scenario; ma possono essere inquadrare in più scenari alternativi, per comprendere, fra l'altro, a quale scenario si adattino meglio (oppure a quali scenari non si adattino). Non si esclude che, talora, non occorra fare riferimento ad uno specifico scenario (per esempio, se mi domando: oggi, ove introducessi questo intervento, quali effetti provocherei sull'assetto esistente?). Le politiche possono concernere molti campi ed essere definite in molti modi. Ci si può fare un'idea particolareggiata di ciò leggendo, in modo mirato, quanto esposto in 3.1.. In breve, si può dire che le politiche possono concernere, in primo luogo, l'uso del suolo, la localizzazione di posti di lavoro, la localizzazione di residenze, i trasporti (per esempio, in 5.3. è stato esaminato e discusso l'impatto, sul sistema, di alcune politiche di trasporto definite dall'operatore pubblico). L'analisi può essere condotta considerando: 1. un solo intervento in un solo settore; 2. più interventi in uno stesso settore; 3. più interventi in più settori. Il caso operativamente più utile è quello sub 3., cioè quello dell'analisi dell'impatto di insiemi di politiche intersettoriali, ma è opportuno pervenire a questo caso passando attraverso i casi sub 1. e sub 2., che permettono di definire gli effetti di una singola politica settoriale e di più politiche in uno stesso settore (casi la cui esplorazione consente, poi, di spiegare più agevolmente gli effetti congiunti di tante politiche diverse).

Quanto precede dovrebbe far cogliere sia la molteplicità di usi possibili del modello sia la flessibilità d'uso del modello; molteplicità e flessibilità che ne rendono evidente l'utilità come strumento di ausilio per chi ha la responsabilità della pianificazione (in particolare, di quella territoriale): in

fatti, si può andare dallo studio degli effetti di interventi singolari e a breve - per una politica tattica - allo studio degli effetti di un complesso di interventi profondi e a lungo - per una politica strategica -.

## 7. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Una completa valutazione della presente esperienza modellistica richiede, naturalmente, lo svolgimento di una parte consistente del piano di esperimenti indicato in 6. e, su questa base, la verifica della capacità del modello di testare l'impatto delle politiche urbane. Pertanto, una completa valutazione della presente esperienza modellistica si potrà avere dopo il 1985.

Chiarito ciò, si può dire che, dal punto di vista dell'uso (esecuzione del modello) e della gestione (definizione degli esperimenti e dei relativi input) del modello, la procedura di simulazione che è stata predisposta è relativamente maneggevole e sufficientemente flessibile (cfr.: Bertuglia ed altri, 1981, 1982). Ciò consente di predisporre e di eseguire, con una certa facilità, un gran numero di simulazioni. Tuttavia, va rilevato che la dimensione complessiva del modello costituisce, in una certa misura, un handicap, in quanto comporta un tempo elevato di esecuzione. Tale tempo, in condizioni ottimali, può essere ridotto a circa quindici minuti; costituito, quasi interamente, da tempo di CPU.

Si deve aggiungere che, dal punto di vista teorico-metodologico, alcune indicazioni, soprattutto per un ulteriore sviluppo in termini dinamici del modello complessivo, sono già state date in Bertuglia, Gallino ed altri (1984). Qui si accenna ad altri approfondimenti, che possono contribuire a migliorare la struttura complessiva del modello e la sua capacità previsiva. Detti approfondimenti sono:

- a. rendere endogeni i tassi di variazione delle attività.

Ciò che, fondamentalmente, il modello fa è distribuire spazialmente delle variazioni esogene delle diverse attività (stimate ad un livello ag-

gregato), date certe capacità insediative delle zone. In questo senso, il modello compie, essenzialmente, un'operazione di disaggregazione spaziale dei trend socioeconomici (osservati o prevedibili).

Uno sviluppo del modello consiste, dunque, nella determinazione endogena dei suddetti tassi di variazione, tenendo conto dell'interdipendenza esistente tra la dinamica di questi tassi e modellizzando quindi, esplicitamente, sia i feedback tra i sottosistemi sia i fenomeni di ritardo.

Come peraltro suggerito in Bertuglia, Gallino ed altri (1984), ciò implica una diversa formulazione del modello (probabilmente, un nuovo modello), che va ancorata ad un approccio di analisi intrinsecamente dinamico (ad esempio, nella direzione suggerita da Wilson, 1981, con la formulazione delle equazioni logistiche della crescita per popolazioni "interagenti");

b. considerare più attentamente il sottomodello dei trasporti.

Nella versione attuale del modello, il sottomodello dei trasporti è rappresentato semplicemente in termini di matrici esogene (eventualmente, aggiornabili) dei tempi di viaggio. Poiché uno degli obiettivi di fondo del modello è l'analisi sia degli effetti spaziali sul sistema prodotti da certe dinamiche socioeconomiche, sia di come la struttura spaziale del sistema possa condizionare la distribuzione di dette dinamiche nello spazio, è evidente che uno sviluppo futuro del modello è quello di approfondire, nell'analisi della strutturazione spaziale del sistema, il ruolo del sottosistema dei trasporti.

Ciò significa, non solo reintrodurre, eventualmente, nel modello di simulazione complessivo il sottomodello di trasporto come era nella versione originale del modello (Bertuglia ed altri, 1980) (per tener conto delle modifiche della rete e dei conseguenti effetti sui flussi di traffico e sui tempi di viaggio)(\*), ma anche affrontare il problema della

(\*) Cosa che, per altro, si può fare nel modo indicato nella parte iniziale di 3.1..

modellizzazione delle diverse velocità di cambiamento che si producono nel sottosistema dei trasporti (relativamente, cioè, alla rete ed ai flussi) e di come detti cambiamenti influenzino nel tempo gli altri sottosistemi (si pensi, ad esempio, a come modifiche o nuovi interventi sulla rete dei trasporti possano influenzare le decisioni localizzative degli individui). Ciò costituisce un problema tuttora aperto nel campo della modellistica urbana. Alcune stimolanti direzioni di lavoro sono indicate, ad esempio, in Leonardi (1983), per quanto concerne il trattamento della domanda di trasporto, ed in Wilson (1983), per quanto concerne il trattamento dell'offerta di trasporto;

c. approfondire il processo di allocazione residenziale.

Alla luce di quanto esposto in Bertuglia, Gallino ed altri (1983, pp. 6-15), un futuro passo da compiere per l'analisi teorica (e la verifica sperimentale) del comportamento localizzativo delle famiglie è l'investigazione del ruolo dell'utilità, relativamente anche a quello dell'accessibilità residenziale.

In questo senso, si ritiene che un ulteriore esame della struttura dei differenziali di utilità e di forme alternative di funzioni di utilità (Bertuglia, Gallino ed altri, 1983, pp. 6-15) possa risultare utile.

La costruzione di un nuovo modello che tenga conto degli avanzamenti sopra suggeriti e che, più in generale, si proponga come modello dinamico globale ed integrato è in avvio all'IRES, con la collaborazione di A. Anas, G. Haag, G. Leonardi e A.G. Wilson (\*).

Per collocare questo nuovo tentativo modellistico dell'IRES nell'evolu-

---

(\*) Un modello siffatto richiede, è meglio dire: impone, l'approfondimento della tematica degli indicatori di performance. Si tratta di una tematica che è già stata posta dall'uso del modello attuale, sopra tutto quando diventa ampio come mostrato in 5. e come configurato in 6.. L'approfondimento della tematica in oggetto, già iniziato con riferimento al modello attuale, assume però una posizione strategica nel nuovo tentativo modellistico, e ciò nel senso che può arrivare a conformare importanti aspetti del modello stesso (Wilson, 1984).

zione dei modelli matematici di sistema urbano è, forse, sufficiente dire poche parole.

Secondo quanto emerge dallo stato dell'arte (Bertuglia, Leonardi ed altri, 1984), sono stati sviluppati modelli di dinamica degli stock che, però, trascurano la dinamica dei flussi; come pure, sono stati sviluppati modelli di dinamica dei flussi che, però, trascurano la dinamica degli stock.

Per l'interazione tra dinamica degli stock e dinamica dei flussi, lo stato dell'arte è molto meno soddisfacente, anche se esiste qualche tentativo settoriale interessante.

Se ne trae l'opportunità di un impegno di studio nello sviluppo di teorie e modelli della dinamica congiunta degli stock e dei flussi, oltre che per alcuni sottosistemi del sistema urbano, anche, e soprattutto, per il sistema urbano complessivo.

Inoltre, appare opportuno intensificare l'impegno di studio in direzione della costruzione di modelli che tengano conto della dinamica delle infrastrutture di trasporto nelle interazioni stock-flussi.

E' alla soluzione di questo complesso di problemi aperti che il nuovo tentativo modellistico dell'IRES intende recare un contributo.

Il fatto di mettere mano a questo nuovo modello non comporta l'abbandono del modello attualmente in uso. Mentre si lavorerà al nuovo modello, sarà completato il piano di esperimenti già indicato per il modello in corso di applicazione. Non solo; il modello attuale potrà essere applicato per molti anni a venire e potrà stimolare la costruzione di versioni più agili per un'applicazione sistematica a molti casi, come è già avvenuto per i modelli costruiti dall'IRES a metà degli anni settanta (Bertuglia, Rabino, 1975; IRES, 1976), i quali hanno stimolato la costruzione di versioni più agili per un'applicazione sistematica, per iniziativa della Regione Piemonte, a tutti i comprensori della regione.

### Riferimenti bibliografici

- Bertuglia C.S., Gallino T., Gualco I., Occelli S., Rabino G.A., Salomone C., Tadei R. (1982) Alcuni aspetti della calibrazione di un modello dinamico spazializzato: il caso del modello dell'area metropolitana torinese, in Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1982, Como, 200-248.
- Bertuglia C.S., Gallino T., Gualco I., Occelli S., Rabino G.A., Salomone C., Tadei R. (1983) Un modello del sistema urbano di Torino: alcune valutazioni di un'esperienza modellistica, in Atti della IV Conferenza Italiana di Scienze Regionali, Firenze, vol. 3, 409-432.
- Bertuglia C.S., Gallino T., Gualco I., Occelli S., Rabino G.A., Salomone C., Tadei R. (1984) L'applicazione di un modello dinamico a larga scala per l'area metropolitana di Torino: la calibrazione, in Leonardi G., Rabino G.A. (a cura), L'analisi degli insediamenti umani e produttivi, Angeli, Milano, 205-227.
- Bertuglia C.S., Leonardi G., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1984), Location-Transport Relationships: State-of-the-Art, Unifying Efforts and Future Developments, Working Paper 32, IRES, Torino.
- Bertuglia C.S., Occelli S., Rabino G.A., Salomone C., Tadei R. (1983) Dinamiche spaziali dell'area metropolitana di Torino negli ultimi decenni, Working Paper 22, IRES, Torino.
- Bertuglia C.S., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1980) A Model of Urban Structure and Development of Turin: Theoretical Aspects, Sistemi Urbani, 2, 59-90.
- Bertuglia C.S., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1981) Un modello urbano a larga scala per l'area metropolitana di Torino, Working Paper 1, IRES, Torino.
- Bertuglia C.S., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1984) L'area metropolitana di Torino all'anno 2010: verso quale sistema?, Working Paper 8, Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di Insediamento, Politecnico, Torino.
- Bertuglia C.S., Rabino G.A. (1975) Modello per l'organizzazione di un comprensorio, Guida, Napoli.
- Città di Torino - Assessorato ai Trasporti e Viabilità, Trasporti Torinesi (1981) Piano di sviluppo dei trasporti pubblici nell'area di Torino, Angeli, Milano.
- Forrester J.W. (1969) Urban Dynamics, MIT Press, Cambridge, Mass..

- Hansen W.G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use, Journal of the American Institute of Planners, 25, 73-76.
- IRES (1976) Linee di piano territoriale per il comprensorio di Torino, Guida, Napoli.
- IRES (1983) Modelli integrati di trasporto per la pianificazione subregionale, Rendiconto finale, PFT, CNR.
- Leonardi G. (1983) A Choice - Theoretical Framework for Household Mobility and Extensions, in IRES, Feasibility Analysis of Transport-Location Relationships Studies, Rendiconto finale, PFT, CNR.
- Lowry I.S. (1964) A Model of Metropolis, RM - 4035 - RC, Rand Corporation, Santa Monica, California.
- Papageorgiou Y.Y. (1983) Theoretical Aspects of Urban Economics with Emphasis on the Relationships between Transportation and Spatial Structure, in IRES, Feasibility Analysis of Transport-Location Relationships Studies, Rendiconto finale, PFT, CNR.
- Piasentin U., Costa P., Foot D. (1978) The Venice Problem: An Approach by Urban Modelling, Regional Studies, 12, 579-602.
- Wegener M. (1983a) Description of the Dortmund Region Model, Arbeitspapier 8, IRPUD, Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund.
- Wegener M. (1983b) The Dortmund Housing Market Model: A Monte Carlo Simulation of a Regional Housing Market, Institute of Urban and Regional Planning, University of Dortmund, Dortmund.
- Wilson A.G. (1970) Entropy in Urban and Regional Modelling, Pion, London.
- Wilson A.G. (1981) Catastrophe Theory and Bifurcation with Applications in Urban Geography, Croom Helm, London.
- Wilson A.G. (1983) Transport and the Evolution of Urban Spatial Structure, in Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1983, Guida, Napoli, 7-27.
- Wilson A.G. (1984) Spatial Dynamics: Classical Problems, An Integrated Modelling Approach and System Performance, Workin Paper 402, School of Geography, University of Leeds, Leeds.



## APPENDICE A

## LA CALIBRAZIONE DELLA MATRICE DI ALLOCAZIONE DELLE FAMIGLIE

## A.1. ASPETTI TEORICO-METODOLOGICI

Fra tutte le operazioni necessarie all'implementazione operativa del modello, la calibrazione della matrice di allocazione delle famiglie (generata dal sottomodello di localizzazione residenziale) costituisce l'operazione più complessa ma anche più stimolante dal punto di vista modellistico.

Come ampiamente discusso in Bertuglia et al. (1983), detta complessità è determinata fundamentalmente da:

- a. la multidimensionalità della matrice di allocazione (essa dipende da quattro indici, il cui prodotto genera un totale di circa 470.000 elementi);
- b. la presenza di cinque parametri  $\beta$ ,  $\xi$ ,  $k$ ,  $h$ ,  $n$ , da determinare simultaneamente per ciascun tipo di famiglia;
- c. l'interdipendenza esistente tra l'accessibilità residenziale e la funzione di utilità potenziale delle famiglie.

In Bertuglia et al. (1983) sono state illustrate la metodologia (fondata sul principio di massima verosimiglianza) e le procedure seguite (basate sul metodo di Newton-Raphson, con e senza cicli integrativi di Hyman). Inoltre, sono stati presentati e discussi i risultati degli esperimenti effettuati seguendo diverse possibili alternative di calibrazione, che hanno riguardato esclusivamente la determinazione dei parametri  $\beta$  e  $\xi$ , considerando i rimanenti  $k$ ,  $h$ ,  $n$ , come input esogeni.

Dai risultati ottenuti esplorando le alternative possibili-i quali, complessivamente, possono considerarsi scarsamente soddisfacenti-è emerso che, sicuramente, un approfondimento dell'analisi della funzione di utilità delle famiglie avrebbe permesso di pervenire, se non ad un fitting ottimale della matrice di allocazione calcolata (DPOTO), almeno ad una migliore conoscenza della struttura della funzione di utilità utilizzata.

Come primo passo nella direzione suddetta, si è quindi ritenuto opportuno de-

terminare, tramite calibrazioni, i pesi  $k$ ,  $h$  e  $n$  delle funzioni di utilità. Inoltre, nel corso delle riflessioni di natura teorico-metodologica ed operativa, resesi necessarie per la predisposizione della procedura di calibrazione dei parametri suddetti, è emerso che, stante l'intrinseca linearità delle funzioni di utilità utilizzate (e, in particolare, dei differenziali di utilità), la funzione di distribuzione delle famiglie, DPOTO, poteva essere riscritta (tralasciando gli indici) come segue\*:

$$DPOTO = \frac{\sum Q \cdot TPROB \cdot e^{-\beta \cdot T} \cdot e^{\xi \cdot U}}{\sum TPROB \cdot e^{-\beta \cdot T} \cdot e^{\xi \cdot U}}, \quad (A.1)$$

ove

$Q$  famiglie (con capofamiglia occupato);

$TPROB$  probabilità di utilizzazione dei mezzi di trasporto;

$T$  matrici dei tempi di viaggio;

$\beta$  e  $\xi$  parametri, rispettivamente, della distanza e dell'utilità;

$U$  utilità potenziale delle famiglie, definita da:

$$U = k \cdot AT + h \cdot RES + n \cdot L \quad (A.2)$$

ove

$AT$  accessibilità residenziale (valori normalizzati);

$RES$  abitazioni (valori normalizzati)

$L$  suolo residenziale (valori normalizzati);

$k, h, n$  parametri.

Si noti che nell'Equazione(A.1) scompare il termine relativo alle funzioni di utilità attese delle famiglie ( $\bar{U}$ ), e che il parametro  $\xi$  non gioca, di fatto, nessun ruolo nella distribuzione delle famiglie, ma può considerarsi inglobato nei parametri della funzione di utilità, ossia:

$$U = (\xi \cdot k \cdot AT) + (\xi \cdot h \cdot RES) + (\xi \cdot n \cdot L). \quad (A.3)$$

Per quanto riguarda la procedura predisposta per la calibrazione dei parametri  $k$ ,  $h$  e  $n$ , gli aspetti teorico-metodologici di detta procedura sono stati fondati, analogamente alle procedure già predisposte per la calibrazione di  $\beta$  e  $\xi$ , sul principio della massima verosimiglianza (Bertuglia et al., 1983).

(\*) -Un particolare ringraziamento va a G.Leonardi per i suggerimenti da Lui avuti su questo argomento.

Da detto principio sono state derivate le seguenti Equazioni di massima verosimiglianza, ove CAL e OB rappresentano, rispettivamente, il DPOTO calcolato e quello osservato:

$$F_1(k, h, n) = \sum \text{CAL} \cdot \text{AT} = \sum \text{OB} \cdot \text{AT} \quad (\text{A.4})$$

$$F_2(k, h, n) = \sum \text{CAL} \cdot \text{RES} = \sum \text{OB} \cdot \text{RES} \quad (\text{A.5})$$

$$F_3(k, h, n) = \sum \text{CAL} \cdot L = \sum \text{OB} \cdot L \quad (\text{A.6})$$

Le Equazioni (A.4)-(A.6) costituiscono un sistema non lineare in tre incognite,  $k$ ,  $h$  ed  $n$ , per la cui soluzione si è utilizzata una procedura iterativa, basata su un meccanismo di sostituzioni successive dei valori dei parametri nelle stesse Equazioni (A.4-A.6).

La determinazione (aggiornamento) dei valori dei parametri, relativamente a ciascun tipo di famiglia, viene effettuata tramite la formula di convergenza di Hyman.

Lo schema della procedura è rappresentato nel diagramma di Figura A.1.

Si noti che nella procedura suddetta si è implicitamente assunto che i valori dei parametri  $\beta$  siano noti. Precisamente, sono stati considerati valori di  $\beta$  (articolati per tipo di famiglia) ottenuti da precedenti esperimenti di calibrazione considerando una funzione di accessibilità residenziale logaritmica (Bertuglia et al., 1983).

Peraltro, è relativamente immediato considerare nella procedura anche l'Equazione del costo totale di spostamento e determinare, contemporaneamente ai valori di  $k$ ,  $h$  e  $n$ , anche quelli di  $\beta$ .

## A.2. ALCUNI RISULTATI

Dalla procedura di calibrazione schematizzata in Figura A.1 sono stati ottenuti dei valori dei parametri molto simili per ciascun tipo di famiglia. Precisamente, per tutti i tipi di famiglia,  $k$  oscilla intorno all'unità, mentre  $n$  ed  $h$  sono molto prossimi allo zero.

Nella funzione di utilità, dunque, il peso maggiore sembra essere attribuito all'accessibilità residenziale, mentre gli altri due componenti di detta funzione - che misurano l'attrattività residenziale in termini di alloggi e di suolo residenziale - sembrano avere una rilevanza pressochè nulla.

Ciò, nuovamente, conferma quanto già emerso in Bertuglia et al. (1983)

circa la tendenza del sottomodulo di localizzazione residenziale ad attribui

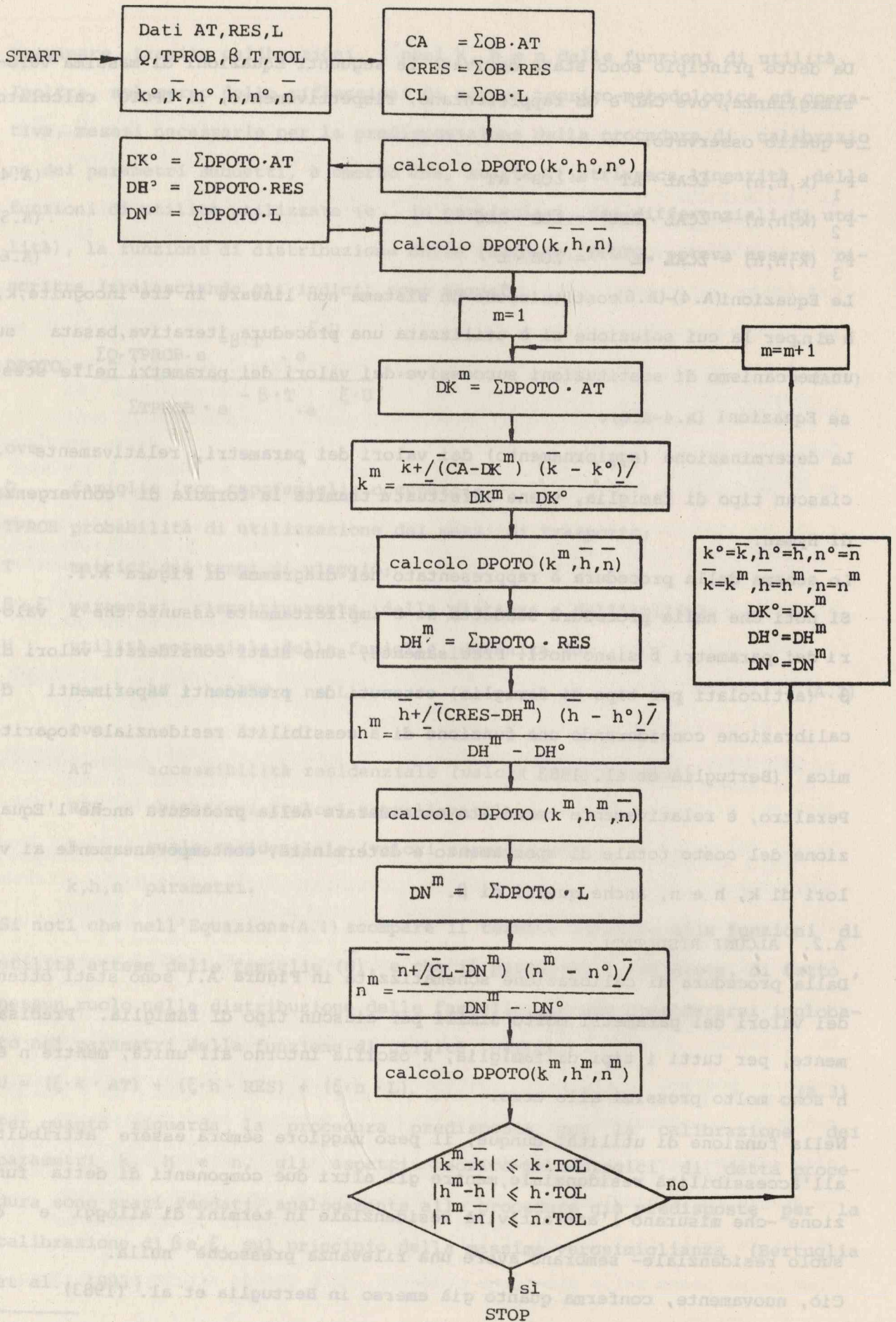


Figura A.1.-Diagramma della procedura di calibrazione dei coefficienti della funzione di utilità

re un'importanza eccessiva al ruolo dell'accessibilità residenziale nell'allocazione residenziale delle famiglie.

Anche il confronto tra la distribuzione calcolata e quella osservata del DPOTO, secondo le zone di residenza, mostra una sovrastima dei flussi nelle zone di accessibilità più elevata. Peraltro, da questi esperimenti emerge, in modo più chiaro che dagli esperimenti precedenti, che l'errore delle stime è maggiore nelle zone in cui la densità residenziale osservata è meno elevata. Dal punto di vista operativo, va detto che la procedura utilizzata ha raggiunto la convergenza in dieci cicli di iterazioni, ciascuno dei quali ha richiesto un tempo di CPU di circa sedici secondi.

Poichè il fitting ottenuto non era ancora sufficientemente soddisfacente, sulla base di quanto discusso in Bertuglia et al. (1983), si è sondata un'ulteriore alternativa di calibrazione, nella quale si introduce una condizione di permanenza della struttura residenziale esistente.

Dal punto di vista teorico-metodologico, ciò significa assumere che la distribuzione residenziale delle famiglie, stimata dal sottomodello, deve, in una certa misura, tenere conto della struttura delle localizzazioni residenziali osservate.

Si noti, per inciso, che l'ipotesi suddetta rende la logica di funzionamento di questo sottomodello molto più simile a quella degli altri sottomodelli, nei quali ciò che, nei diversi periodi, viene allocato è la variazione dell'attività considerata. Così facendo, dunque, il sottomodello di localizzazione residenziale determina la distribuzione residenziale della variazione delle famiglie, che si produce nel periodo di simulazione considerato, a seguito della variazione negli altri sottomodelli (industria, terziario, popolazione ed abitazioni).

Gli esperimenti condotti -come, peraltro, tutti gli esperimenti di calibrazione realizzati in precedenza- sono stati effettuati in regime statico, assumendo cioè che, in assenza di variazioni negli altri sottosistemi, questo sottomodello sia in grado di riprodurre la distribuzione delle famiglie all'epoca considerata (in questo caso, al 1971).

La procedura predisposta consiste in un processo iterativo nel quale, data una certa struttura residenziale (il DPOTO osservato), la distribuzione resi-

denziale stimata (il DPOTO calcolato) viene confrontata con quella data e l' eventuale eccesso, nella distribuzione stimata, viene rimesso in giuoco nel ciclo successivo. Si tratta, dunque, di un processo iterativo basato su un meccanismo di "saturazione progressiva" delle caselle delle destinazioni. Per valutare in che misura l'ipotesi di mantenimento della struttura residenziale esistente condiziona le stime del modello, sono stati compiuti diversi esperimenti, in ciascuno dei quali si è, di volta in volta, imposto un vincolo sempre più restrittivo sul grado di mantenimento.

In Figura A.2. sono riportate, per i diversi valori dei vincoli suddetti (coefficienti di mantenimento), le percentuali di zone residenziali in cui lo scarto percentuale dei valori stimati, rispetto ai valori osservati, è minore del 5% e maggiore del 50%. Si può osservare che, fino ad un grado di mantenimento del 60%, solo il 6% delle zone (come è noto, le zone di residenza sono 99) presentano uno scarto percentuale inferiore al 5% e più del 30% hanno uno scarto superiore al 50%. Con un grado di mantenimento dell' 80%, la situazione migliora sensibilmente: il 15% delle zone hanno uno scarto superiore al 50%. Ancora, con un grado di mantenimento del 99%, si raggiunge una situazione pressochè ottimale, in cui il 77% delle zone presentano uno scarto inferiore al 5% e solo il 2% uno scarto superiore al 50%.

### A.3 CONCLUSIONE

L'analisi di sensitività, precedentemente descritta, mostra (cfr.: Figura 2) che solo con un coefficiente di mantenimento compreso tra il 90 ed il 99% - cioè in un'ipotesi di pressochè totale riproduzione della struttura residenziale osservata - il fitting può ritenersi soddisfacente. Quanto appena osservato, in pratica, equivale a considerare esplicitamente un vincolo alle destinazioni, e cioè ad utilizzare un modello doppiamente vincolato. Da ciò consegue che occorre modificare l'attuale formulazione del sottomodello di localizzazione residenziale e, naturalmente, predisporre la relativa procedura di calibrazione.

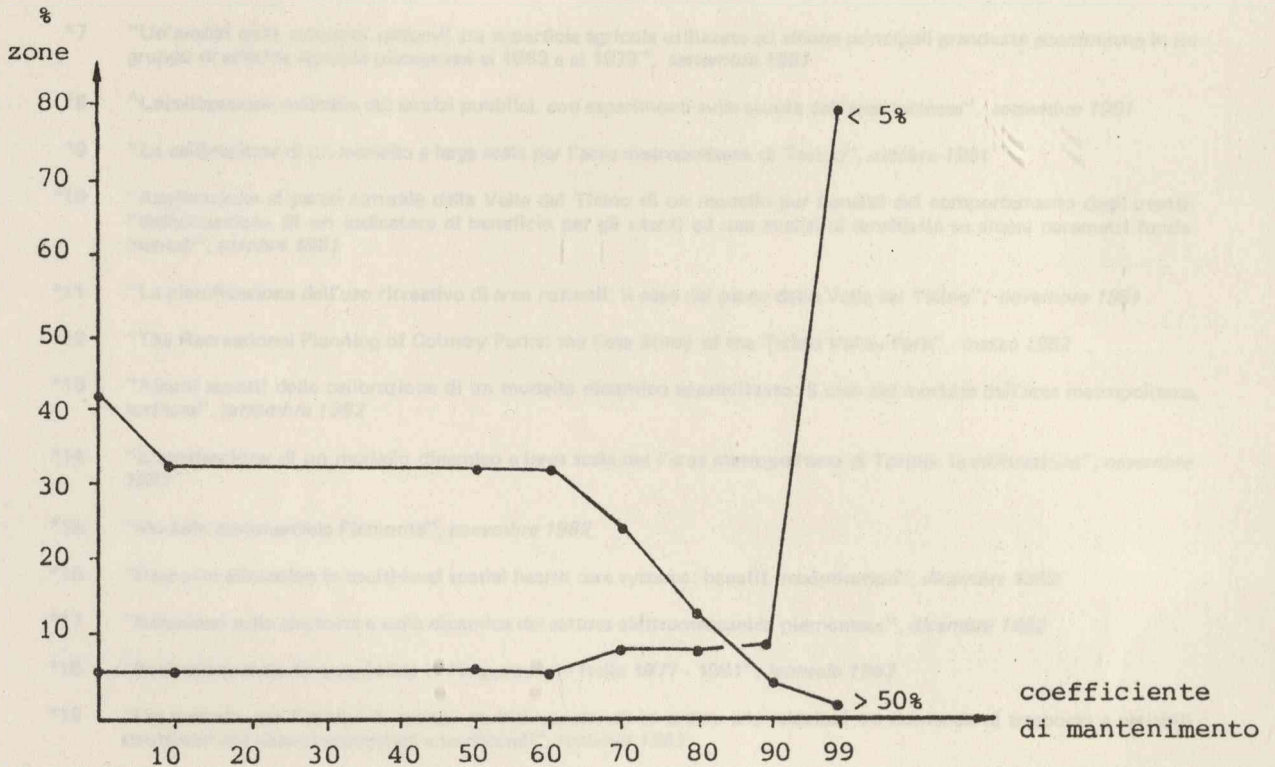


Figura A.2.- Percentuale di zone in cui i valori stimati hanno uno scarto percentuale, rispetto ai valori osservati, inferiore al 5% oppure superiore al 50%, per i diversi coefficienti di mantenimento





## WORKING PAPERS

- \*1 "Un modello urbano a larga scala per l'area metropolitana di Torino", *gennaio 1981*
- \*2 "Metodologie per la pianificazione dei parchi regionali", *gennaio 1981*
- \*3 "A Large Scale Model for Turin Metropolitan Area", *maggio 1981*
- \*4 "An Application to the Ticino Valley Park of a Mathematical Model to Analyse the Visitors Behaviour", *luglio 1981*
- \*5 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: la calibrazione del modello", *settembre 1981*
- \*6 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: l'uso del modello", *settembre 1981*
- \*7 "Un'analisi delle relazioni esistenti tra superficie agricola utilizzata ed alcune principali grandezze economiche in un gruppo di aziende agricole piemontesi al 1963 e al 1979", *settembre 1981*
- \*8 "Localizzazione ottimale dei servizi pubblici, con esperimenti sulle scuole dell'area torinese", *settembre 1981*
- \*9 "La calibrazione di un modello a larga scala per l'area metropolitana di Torino", *ottobre 1981*
- \*10 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: l'individuazione di un indicatore di beneficio per gli utenti ed una analisi di sensitività su alcuni parametri fondamentali", *ottobre 1981*
- \*11 "La pianificazione dell'uso ricreativo di aree naturali: il caso del parco della Valle del Ticino", *novembre 1981*
- \*12 "The Recreational Planning of Country Parks: the Case Study of the Ticino Valley Park", *marzo 1982*
- \*13 "Alcuni aspetti della calibrazione di un modello dinamico spazializzato: il caso del modello dell'area metropolitana torinese", *settembre 1982*
- \*14 "L'applicazione di un modello dinamico a larga scala per l'area metropolitana di Torino: la calibrazione", *novembre 1982*
- \*15 "Modello commerciale Piemonte", *novembre 1982*
- \*16 "Resource allocation in multi-level spatial health care systems: benefit maximisation", *dicembre 1982*
- \*17 "Relazione sulla struttura e sulla dinamica del settore elettromeccanico piemontese", *dicembre 1982*
- \*18 "Evoluzione della finanza locale in Piemonte e in Italia 1977 - 1981", *febbraio 1983*
- \*19 "Un metodo per l'analisi di scenari multidimensionali in ordine alle relazioni tra domanda di trasporto e variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali", *febbraio 1983*
- 20 "Modello commerciale Piemonte", *marzo 1983*
- \*21 "Calibrating the residential location submodel of the simulation model for the Turin metropolitan area", *giugno 1983*
- \*22 "Dinamiche spaziali dell'area metropolitana di Torino negli ultimi tre decenni", *giugno 1983*
- \*23 "Struttura economica delle imprese del dettaglio alimentare in Piemonte — prime valutazioni", *luglio 1983*
- \*24 "The dynamics of Turin metropolitan area: a model for the analysis of the processes and for the policy evaluation", *agosto 1983*
- 25 "Un'analisi, con il modello RAMOS, della struttura spaziale del servizio sanitario regionale: il caso del Piemonte", *settembre 1983*
- 26 "Manuale per l'uso del modello RAMOS (Resource Allocation Model Over Space)", *settembre 1983*
- 27 "The spatial dynamics of the Turin metropolitan area: an analysis of the last three decades", *ottobre 1983*
- \*28 "Un modello del sistema urbano di Torino: alcune valutazioni di un'esperienza modellistica", *novembre 1983*
- 29 "Il conto economico dei comparti manifatturieri piemontesi, 1980 — Elaborazioni su dati rilevati dall'ISTAT sul Prodotto Lordo delle imprese manifatturiere con sede sociale in Piemonte", *novembre 1983*
- 30 "Interrelazioni tra localizzazioni e trasporti: stato dell'arte e possibili linee di sviluppo futuro", *gennaio 1984*
- 31 "Fondamenti per un approccio unificante all'analisi del comportamento della domanda in un sistema localizzazioni-trasporti", *gennaio 1984*

- 32 "Location-transport relationships: state-of-the-art, unifying efforts and future developments", *maggio 1984*
- 33 "Modelli di allocazione spaziale delle risorse sanitarie: la ricerca in corso all'IRES di Torino", *maggio 1984*
- 34 "Modelli per la determinazione delle aree di intervento dei servizi di emergenza", *giugno 1984*
- 35 "Aspetti metodologici e proposta di modello di clustering dinamico per la identificazione di aree omogenee sanitarie", *settembre 1984*
- 36 "Models for health care planning: the case of the Piemonte Region", *ottobre 1984*
- 37 "The potential for day hospitals in Piemonte. A feasibility study", *ottobre 1984*
- 38 "Il principio di equità nella localizzazione degli ospedali: una sperimentazione del modello RAMOS<sup>-1</sup> al caso del Piemonte", *ottobre 1984*
- 39 "Manuale per l'uso del modello RAMOS<sup>-1</sup>", *ottobre 1984*



*ires*

ISTITUTO RICERCHE ECONOMICO - SOCIALI DEL PIEMONTE  
VIA BOGINO 21 10123 TORINO