



## WORKING PAPERS

W.P. n. 13

**ALCUNI ASPETTI DELLA CALIBRAZIONE DI  
UN MODELLO DINAMICO SPAZIALIZZATO:  
IL CASO DEL MODELLO DELL'AREA METRO-  
POLITANA TORINESE**

*C.S. Bertuglia (\*), T. Gallino (\*), I. Gualco (\*),  
S. Occelli (\*), G.A. Rabino (\*), C. Salomone (\*\*),  
R. Tadei (\*)*





W.P. n. 13

**ALCUNI ASPETTI DELLA CALIBRAZIONE DI  
UN MODELLO DINAMICO SPAZIALIZZATO:  
IL CASO DEL MODELLO DELL'AREA METRO-  
POLITANA TORINESE**

*C.S. Bertuglia (\*), T. Gallino (\*), I. Gualco (\*),  
S. Occelli (\*), G.A. Rabino (\*), C. Salomone (\*\*),  
R. Tadei (\*)*

Comunicazione presentata alla giornate di lavoro AIRO 1982, Como, 27 - 29 settembre 1982

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

(\*\*) CERIS — Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo sviluppo del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Torino, Via Avogadro 8.





# 1. Introduzione

1	Introduzione	1
2	L'area di studio	2
3	Il modello di simulazione applicato	3
3.1	Struttura teorica del modello	3.1
3.2	Funzionamento del modello	3.2
3.3	Modifiche apportate alla versione iniziale del modello	3.3
4	La calibrazione del modello	4
4.1	Aspetti metodologici della calibrazione	4.1
4.2	Aspetti operativi della calibrazione	4.2
4.2.1	Procedura di calibrazione adottata	4.2.1
4.2.2	Struttura del software	4.2.2
5	Le informazioni necessarie per la calibrazione	5
5.1	Input del modello	5.1
5.2	Parametri della calibrazione	5.2

## SOMMARIO

In una precedente comunicazione all'AIRO è stata illustrata la struttura generale e la formulazione matematica di un modello urbano a larga scala di tipo dinamico e spaziale, predisposto per lo studio dell'evoluzione del sistema metropolitano torinese, in presenza di politiche socioeconomiche e territoriali di intervento.

La presente comunicazione, dopo aver illustrato le variazioni apportate alla struttura teorica ed alla formulazione matematica del modello in relazione ai problemi sorti in sede di implementazione operativa, descrive sia gli aspetti metodologici sia alcuni risultati della calibrazione del modello.

La parte centrale del modello, che rappresenta l'area urbana, è caratterizzata da una elevata concentrazione di popolazione, posti di lavoro e residenze. La parte periferica, invece, è caratterizzata da una minore densità di popolazione e da una maggiore estensione territoriale. Il modello è stato sviluppato per simulare l'evoluzione del sistema metropolitano torinese in presenza di politiche socioeconomiche e territoriali di intervento.

1. Introduzione	pag. 1
2. L'area di studio	" 1
3. Il modello di simulazione applicato	" 4
3.1. Struttura teorica del modello	" 4
3.2. Funzionamento del modello	" 8
3.3. Modifiche apportate alla versione iniziale del modello	" 11
4. La calibrazione del modello	" 13
4.1. Aspetti metodologici della calibrazione	" 13
4.2. Aspetti operativi della calibrazione	" 15
4.2.1. Procedura di calibrazione adottata	" 15
4.2.2. Struttura del software	" 16
5. Le informazioni necessarie per la calibrazione	" 19
5.1. Input del modello	" 19
5.2. Parametri della calibrazione	" 19
6. I passi operati nella calibrazione	" 20
7. Alcuni risultati della calibrazione	" 22
Riferimenti bibliografici	" 28
Appendice A. La formulazione matematica del modello	" 29



## 1. Introduzione

E' in corso la sperimentazione sul sistema metropolitano torinese di un modello a larga scala di tipo dinamico e spaziale.

Si tratta di un modello che simula l'evoluzione strutturale di un sistema urbano - in presenza di politiche di intervento socioeconomiche e territoriali -; la struttura generale e la formulazione matematica del modello sono già state illustrate in una comunicazione alle Giornate di lavoro AIRO 1979 (Bertuglia, Rabino, Tadei, 1979).

In questa comunicazione si procederà a:

- a. la descrizione dell'area di studio;
- b. la presentazione aggiornata del modello;
- c. l'esposizione degli aspetti metodologici ed operativi della calibrazione;
- d. la discussione di alcuni risultati della calibrazione.

## 2. L'area di studio

L'area di studio (comprensorio di Torino) comprende 206 comuni, dei quali il comune di Torino rappresenta, dal punto di vista socioeconomico, quello più importante. Per questa ragione, 53 delle 99 zone, secondo cui è stata articolata l'area di studio, appartengono al comune di Torino (cfr.: figg. 1 e 2). Complessivamente, l'articolazione territoriale individuata fa riconoscere una maglia più fitta nella parte centrale dell'area di studio (comune di Torino e comuni contermini) ed una maglia più rada al di là della parte centrale dell'area di studio. In tal senso, la suddetta articolazione - oltre a tenere conto degli attributi fisico-territoriali dell'area di studio e dell'esigenza di disporre di zone cui riferire inequivocamente le politiche simulate -, tiene conto anche delle caratteristiche socioeconomiche dell'area medesima, la quale, nella parte centrale, presenta un'elevata concentrazione di popolazione, posti di lavoro e residenze. Si fa presente

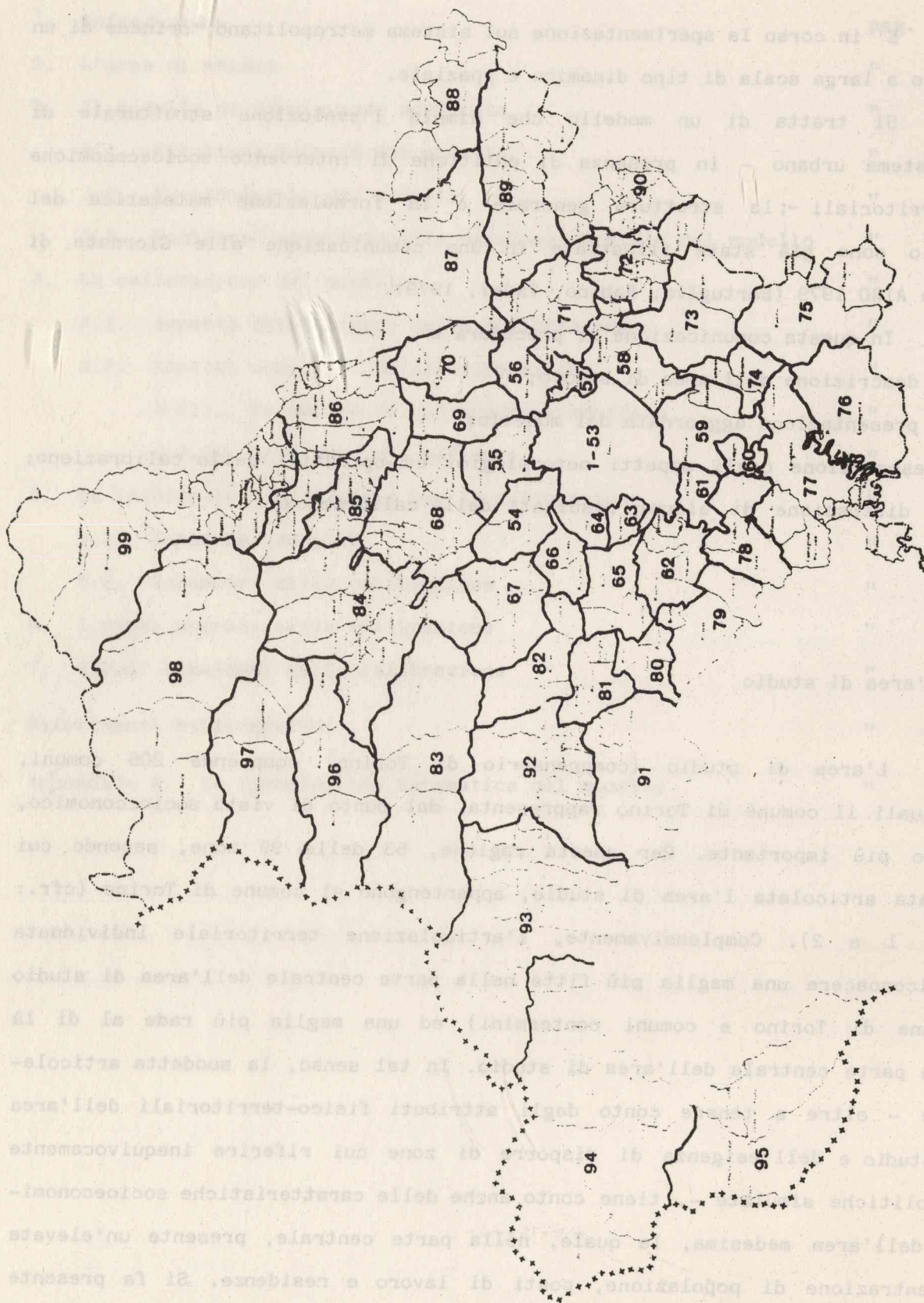


Figura 1 - Articolazione territoriale del comprensorio di Torino



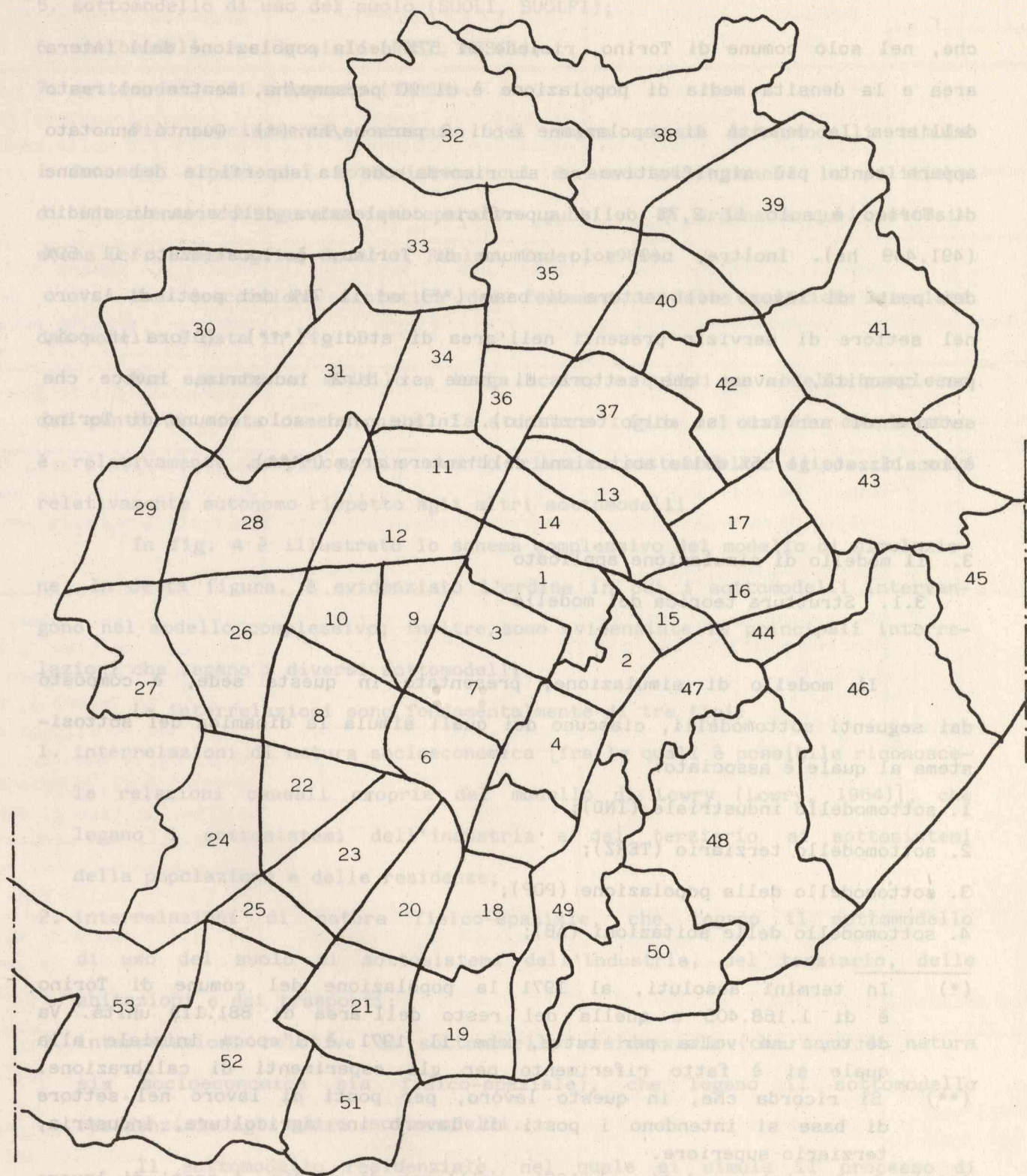


Figura 2 - Articolazione territoriale del comune di Torino



che, nel solo comune di Torino, risiede il 57% della popolazione dell'intera area e la densità media di popolazione è di 90 persone/ha, mentre nel resto dell'area la densità di popolazione è di 2 persone/ha (\*). Quanto annotato appare tanto più significativo se si ricorda che la superficie del comune di Torino è solo il 2,7% della superficie complessiva dell'area di studio (491.449 ha). Inoltre, nel solo comune di Torino, è localizzato il 59% dei posti di lavoro nel settore di base (\*\*) ed il 71% dei posti di lavoro nel settore di servizio presenti nell'area di studio (\*\*\*). (D'ora in poi, per comodità, invece che settore di base si dirà industria, invece che settore di servizio si dirà terziario). Infine, nel solo comune di Torino è localizzato il 55% delle abitazioni dell'intera area (\*\*\*\*).

### 3. Il modello di simulazione applicato

#### 3.1. Struttura teorica del modello

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

1. sottomodello industriale (IND);
2. sottomodello terziario (TERZ);
3. sottomodello della popolazione (POP);
4. sottomodello delle abitazioni (AB);

---

(\*) In termini assoluti, al 1971 la popolazione del comune di Torino è di 1.168.405 e quella del resto dell'area di 881.119 unità. Va detto, una volta per tutte, che il 1971 è l'epoca iniziale alla quale si è fatto riferimento per gli esperimenti di calibrazione.

(\*\*) Si ricorda che, in questo lavoro, per posti di lavoro nel settore di base si intendono i posti di lavoro in: agricoltura, industria, terziario superiore.

(\*\*\*) In termini assoluti, al 1971, nell'area di studio, i posti di lavoro nel settore di base sono 698.628 ed i posti di lavoro nel settore di servizio sono 88.227.

(\*\*\*\*) In termini assoluti, al 1971, nell'area di studio, le abitazioni sono 755.409.



5. sottomodello di uso del suolo (SUOLI, SUOLFI);
6. sottomodello residenziale (RESI, RESFI);
7. sottomodello di trasporto (TRASP).

Più precisamente, ciascuno dei sopra citati sottomodelli simula i fenomeni tipici del sottosistema cui è associato, nonché le politiche di intervento configurate dall'operatore pubblico in ordine a quel sottosistema (cfr.: Bertuglia, Occelli, Rabino, Tadei, 1980).

Una descrizione sintetica dei fenomeni e delle politiche simulate dal modello è data in fig. 3.

Pur essendo un modello a larga scala, e quindi un modello complesso dal punto di vista dimensionale, la struttura logica del modello complessivo è relativamente semplice, in quanto ciascun sottomodello agisce in modo relativamente autonomo rispetto agli altri sottomodelli.

In fig. 4 è illustrato lo schema complessivo del modello di simulazione. 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 (Lowry, 1964)], che legano i sottosistemi dell'industria e del terziario ai sottosistemi della popolazione e delle residenze;
2. interrelazioni di natura fisico-spaziale, che legano il sottomodello di uso del suolo ai sottosistemi dell'industria, del terziario, delle abitazioni e dei trasporti;
3. interrelazioni relative al sottomodello residenziale (che sono di natura sia socioeconomica sia fisico-spaziale), che legano il sottomodello residenziale agli altri sottomodelli.

Il sottomodello residenziale, nel quale si simula il processo di localizzazione residenziale delle famiglie, è quello maggiormente interconnesso con gli altri sottomodelli: in questo senso, detto sottomodello costituisce il cuore del modello complessivo.



sottosistema	fenomeni simulati dal modello	politiche simulate dal modello	principali variabili descrittive del sottomodello
1. industriale	apertura, chiusura di stabilimenti industriali e variazione del numero di posti di lavoro negli stabilimenti esistenti, nel settore t e nella zona j	costruzione e variazione di posti di lavoro negli stabilimenti industriali, nel settore t e nella zona j	IND(j,t): numero di posti di lavoro industriali, nel settore t e nella zona j
2. terziario	aumento e diminuzione di posti di lavoro terziari, nel settore l e nella zona j	variazione di posti di lavoro terziari, nel settore l e nella zona j	TERZ(j,l): numero di posti di lavoro terziari, nel settore l e nella zona j
3. della popolazione	variazione demografica, naturale e migratoria		P: popolazione totale dell'area
4. delle abitazioni	costruzione di nuovi alloggi, demolizione e recupero di alloggi obsoleti, nella tipologia residenziale s e nella zona i	costruzione e demolizione di alloggi, nella tipologia residenziale s e nella zona i	AB(i,s): numero di alloggi, nella tipologia residenziale s e nella zona i
5. residenziale	variazione nella distribuzione spaziale delle famiglie		DPOTO(i,j,f,s): numero di famiglie, di tipo f, con capofamiglia occupato nella zona di lavoro j, che risiedono in alloggi di tipo s, nella zona i. DPOTD(i,g,s): numero di famiglie, di tipo g, con capofamiglia non occupato, che risiedono in alloggi di tipo s, nella zona i
6. dei trasporti	variazione dell'accessibilità delle zone	variazione dei tempi di viaggio dalla zona i alla zona j, secondo il mezzo di trasporto v	T(i,j,v): tempo di viaggio tra la zona i e la zona j, secondo il mezzo di trasporto v
7. dell'uso del suolo	variazione dell'uso del suolo nella zona j (variazione dell'attrattività delle zone)	nuove destinazioni e riassegnazione degli usi del suolo industriale, residenziale, terziario e residuo (verde, strade ecc.), nella zona j	SLIO(j): mq di suolo industriale occupato nella zona j SLAO(j): mq di suolo residenziale occupato nella zona j SLTO(j): mq di suolo terziario occupato nella zona j SLRO(j): mq di suolo residuo occupato nella zona j

Figura 3 - Quadro riassuntivo dei fenomeni e delle politiche simulate dal modello ed elenco delle principali variabili del modello



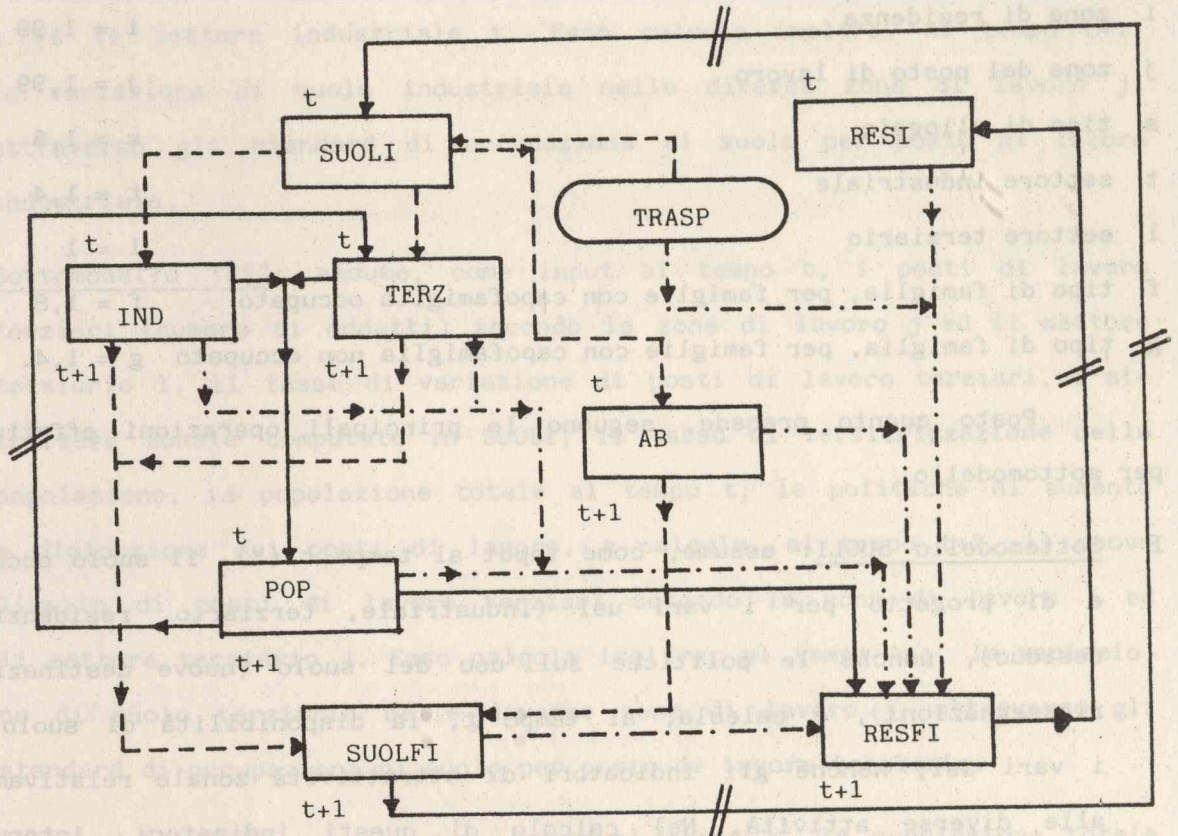


Figura 4 - I sottomodelli nel modello di simulazione: l'ordine in cui intervengono e le interrelazioni che li legano

$t$  tempo iniziale di un periodo di simulazione (1 anno)

$t+1$  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

### 3.2. Funzionamento del modello

Si illustrano ora, in modo sintetico, le principali operazioni effettuate da ciascun sottomodello (cfr.: fig. 4).

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	$s = 1,6$
t	settore industriale	$t = 1,4$
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 le principali operazioni effettuate, per sottomodello.

- I Sottomodello SUOLI: assume, come input al tempo  $t$  (\*), il suolo occupato e di progetto per i vari usi (industriale, terziario, residenziale, residuo), nonché le politiche sull'uso del suolo (nuove destinazioni, riassegnazioni), e calcola, al tempo  $t$ , la disponibilità di suolo per i vari usi, nonché gli indicatori di attrattività zonale relativamente alle diverse attività. Nel calcolo di questi indicatori, interviene l'accessibilità tramite TRASP.
- II Sottomodello RESI: assume, come input al tempo  $t$ , la distribuzione, rispettivamente, delle famiglie con capofamiglia occupato (tipo  $f$ ) e con capofamiglia non occupato (tipo  $g$ ), secondo la zona di residenza  $i$  ed il tipo di alloggio  $s$ , e calcola, al tempo  $t$ , il numero totale di famiglie residenti nell'area ed i tassi occupazionali delle famiglie secondo la zona di lavoro  $j$  ed il tipo di famiglia  $f$ .
- III Sottomodello IND: assume, come input al tempo  $t$ , i posti di lavoro indu-

---

(\*) Per chiarezza, l'indice  $t$ , quando esprime il riferimento temporale ad un generico periodo della simulazione, verrà sempre preceduto dalla parola tempo.



industriali (numero di addetti) secondo la zona di lavoro  $j$  ed il settore industriale  $t$ , i tassi di incremento e diminuzione dei posti di lavoro industriali, l'attrattore zonale computato in SUOLI, le politiche di aumento e diminuzione di posti di lavoro, e calcola, al tempo  $t+1$ , il nuovo livello dei posti di lavoro secondo la zona di lavoro  $j$  ed il settore industriale  $t$ . Esso calcola inoltre, al tempo  $t+1$ , la variazione di suolo industriale nelle diverse zone di lavoro  $j$ , attraverso gli standard di occupazione di suolo per posto di lavoro industriale.

IV Sottomodello TERZ: assume, come input al tempo  $t$ , i posti di lavoro terziari (numero di addetti) secondo la zona di lavoro  $j$  ed il settore terziario  $l$ , il tasso di variazione di posti di lavoro terziari, l'attrattore zonale computato in SUOLI, il tasso di terziarizzazione della popolazione, la popolazione totale al tempo  $t$ , le politiche di aumento e diminuzione dei posti di lavoro, e calcola, al tempo  $t+1$ , il nuovo livello di posti di lavoro terziari secondo la zona di lavoro  $j$  ed il settore terziario  $l$ . Esso calcola inoltre, al tempo  $t+1$  la variazione di suolo terziario nelle diverse zone di lavoro  $j$ , attraverso gli standard di occupazione di suolo per posto di lavoro terziario.

V Sottomodello POP: assume, come input al tempo  $t$ , la popolazione totale dell'area, i tassi di natalità, mortalità ed occupazione della popolazione, il tasso di variazione di occupazione della popolazione, il numero di addetti totali (computati, in IND e TERZ, al tempo  $t$ ), e calcola, al tempo  $t+1$ , la nuova popolazione totale dell'area.

VI Sottomodello AB: assume, come input al tempo  $t$ , le abitazioni secondo la zona di residenza  $i$  ed il tipo di alloggio  $s$ , i tassi di costruzione e demolizione di abitazioni, l'attrattore zonale computato in SUOLI, le politiche di costruzione e demolizione di abitazioni, e calcola, al tempo  $t+1$ , il nuovo livello di abitazioni secondo la zona di residenza  $i$  ed il tipo di alloggio  $s$ . Esso calcola inoltre, al tempo  $t+1$ , 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, le variazioni degli usi del suolo computate in SUOLI, al tempo  $t$ , ed in IND, TERZ ed AB, al tempo  $t+1$ , e calcola, al tempo  $t+1$ , 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  $g$ ) computate in RESI, al tempo  $t$ , i posti di lavoro computati in IND e TERZ, al tempo  $t+1$ , la popolazione totale computata in POP, al tempo  $t+1$ , e calcola, al tempo  $t+1$ , il nuovo livello delle famiglie di tipo  $f$  e di tipo  $g$  e la nuova distribuzione delle famiglie di tipo  $g$  secondo la zona di residenza  $i$  ed il tipo di alloggio  $s$ . Esso costruisce, quindi, delle funzioni di utilità potenziali e delle funzioni di utilità attese per le famiglie di tipo  $f$ , sulla base di indicatori di accessibilità zonale (calcolati tramite TRASP), di attrattività residenziale (calcolati tramite AB) e delle caratteristiche zonali - suolo residenziale - (calcolati tramite SUOLFI). In particolare, l'utilità potenziale è intesa come il soddisfacimento che una famiglia di tipo  $f$ , con posto di lavoro in  $j$ , raggiungerebbe qualora scegliesse un'abitazione di tipo  $s$  nella zona di residenza  $i$ . L'utilità attesa è una media ponderata delle utilità potenziali prima definite. Sulla base della differenza tra utilità attesa ed utilità potenziale - ossia sulla base dell'utilità effettiva delle famiglie - e del vincolo sul tempo di viaggio totale, il sottomodello calcola infine, al tempo  $t+1$ , la nuova distribuzione delle famiglie con capofamiglia occupato (tipo  $f$ ) secondo la zona di residenza  $i$ , la zona di lavoro  $j$  ed il tipo di alloggio  $s$ .

La formulazione matematica del modello è presentata nell'Appendice

A.



### 3.3. Modifiche apportate alla versione iniziale del modello

Nel corso dell'implementazione operativa del modello, si è reso necessario apportare alcune modifiche sia alla struttura logica del modello, ed alla relativa formulazione matematica, sia alle caratteristiche dimensionali del modello. Naturalmente, la formulazione matematica del modello, presentata nell'Appendice A, tiene conto di tali modifiche.

Premesso che dette modifiche non cambiano la struttura teorica complessiva del modello, per gli aspetti logici del modello esse concernono:

- 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 incremento 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 dello sviluppo o del contenimento delle attività nelle diverse zone;
- d. lo sviluppo del sottomodello di uso del suolo, nel quale è stata introdotta la modellizzazione delle operazioni di riassegnazione dell'uso del suolo da parte dell'operatore pubblico e la modellizzazione degli effetti delle suddette operazioni sulla disponibilità di suolo per i vari usi;

---

(\*) 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 basso livello di qualità ad una tipologia residenziale con più elevato livello di qualità).



e. l'esclusione del sottomodello di trasporto, 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 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 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 perchè è possibile simulare l'impatto delle politiche di trasporto modificando esogenamente la matrice dei tempi di viaggio, ma anche perchè esistono già, per l'area metropolitana torinese, studi approfonditi sul sistema dei trasporti, dai quali si potrebbero trarre elementi sugli effetti della distribuzione delle attività economiche sui tempi di viaggio (cfr.: Città di Torino, Assessorato ai trasporti e viabilità, 1981). A quanto precede si deve aggiungere che, inoltre, 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, queste 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. Dette utilità rappresentano, quindi, 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 effettuati hanno dimostrato che, in questa fase ancora sperimentale dell'applicazione, risulta più agevole operare con dimensioni più ridotte di quelle inizialmente previste, sia per motivi



di maneggevolezza nella gestione del modello complessivo sia, soprattutto, per motivi di lettura ed interpretazione degli output (ciò non toglie che, nelle applicazioni successive, un'ulteriore articolazione dimensionale, se riconosciuta opportuna, possa essere reintrodotta).

La riduzione delle dimensioni 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
t	settore industriale	da 10 a 4
l	settore terziario	da 3 a 1.

Si ritiene comunque 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 calibrazione del modello

##### 4.1. Aspetti metodologici della calibrazione

Come è noto, il processo di calibrazione è una delle fasi fondamentali dell'elaborazione modellistica. Infatti, è durante detto processo che si può pervenire ad una conoscenza approfondita del modello stesso (a detta conoscenza si perviene esplorando la struttura del modello e la sensitività delle variabili); inoltre, è attraverso il detto processo di calibrazione che è possibile pervenire ad una buona valutazione sia dei limiti sia della rilevanza del modello, con riferimento alla sua struttura teorica ed al suo uso nel processo di piano.

Dal punto di vista strettamente metodologico, i problemi che devono essere affrontati nella calibrazione di un modello sono principalmente due:

- a. la definizione di un "indicatore statistico significativo", cui ricorrere per misurare la bontà dell'aderenza del modello alla realtà in esame;
- b. lo sviluppo di metodi efficienti per la ricerca dei valori ottimali dei parametri del modello (Batty, 1976).

Naturalmente, occorre tenere presente che la calibrazione rimane, di fatto, una fase dell'elaborazione modellistica fortemente condizionata da fattori quali:

- a. le decisioni e le scelte del modellizzatore in ordine al grado di bontà dell'aderenza richiesta al modello;
- b. la struttura logico-formale del modello (capacità del modello di rappresentare, in modo significativo, il funzionamento del sistema in esame);
- c. il problema che si ha di fronte (obiettivi del modello, struttura dell'articolazione territoriale, informazioni disponibili).

La calibrazione di un modello dinamico con elevata disaggregazione spaziale, quale è quello presentato in questa sede, presenta caratteri e pone problemi diversi e più complessi di quelli relativi alla calibrazione di un modello statico di localizzazione. Detti caratteri e problemi possono essere riassunti come segue:

- a. presenza di un notevole numero di parametri (mentre, in generale, per un modello statico di localizzazione, si tratta di definire solo alcuni parametri);
- b. difficoltà connesse alla predisposizione delle informazioni necessarie alla calibrazione. Infatti, il più delle volte, ci si trova di fronte ad un insieme di informazioni eterogeneo e frammentario, dal punto di vista sia quantitativo - serie storiche di dati - sia qualitativo - articolazione socioeconomica e spaziale delle componenti esplicative di determinati fenomeni - (mentre, in generale, per un modello statico di localizzazione, le informazioni richieste sono quantitativamente più limitate e qualitativamente meno articolate).



## 4.2. Aspetti operativi della calibrazione

### 4.2.1. Procedura di calibrazione adottata

In questa fase dell'applicazione del modello, la procedura di calibrazione adottata è basata sul metodo tradizionale del trial and error. Secondo questo metodo, si assume che la soluzione ottimale si collochi in un certo intervallo dei valori dei parametri, e la bontà dell'aderenza del modello è valutata in corrispondenza a determinati valori di detto intervallo.

Come già detto illustrando gli aspetti metodologici della calibrazione, si porrebbe anche qui l'esigenza di disporre di un "indicatore statistico significativo", per misurare la bontà dell'aderenza del modello alla realtà in esame, e di un metodo efficiente, per la ricerca dei valori ottimali dei parametri del modello. Tuttavia, per ora, si è preferito adottare, il metodo del trial and error, rimandando ad un momento successivo l'utilizzazione di una procedura di calibrazione più significativa ed efficiente. Tale scelta, apparentemente riduttiva, è stata effettuata in attesa di poter disporre delle informazioni relative al Censimento 1981, le quali consentiranno di risolvere buona parte delle difficoltà connesse alla predisposizione delle informazioni.

Con riferimento a quanto sopra detto, la procedura di calibrazione utilizzata può essere riassunta nel modo seguente:

- a. attribuzione di valori ai parametri;
- b. esecuzione del modello (esperimento);
- c. analisi degli output;
- d. variazione dei valori dei parametri;
- e. ripetizione dei passi b, c e d, fino a che gli output non siano soddisfacenti (cfr.: fig. 5).

Si fa rilevare che la struttura del software del modello consente di effettuare dette operazioni in modo agevole, operando sia sui singoli sottomodelli sia sul modello complessivo.

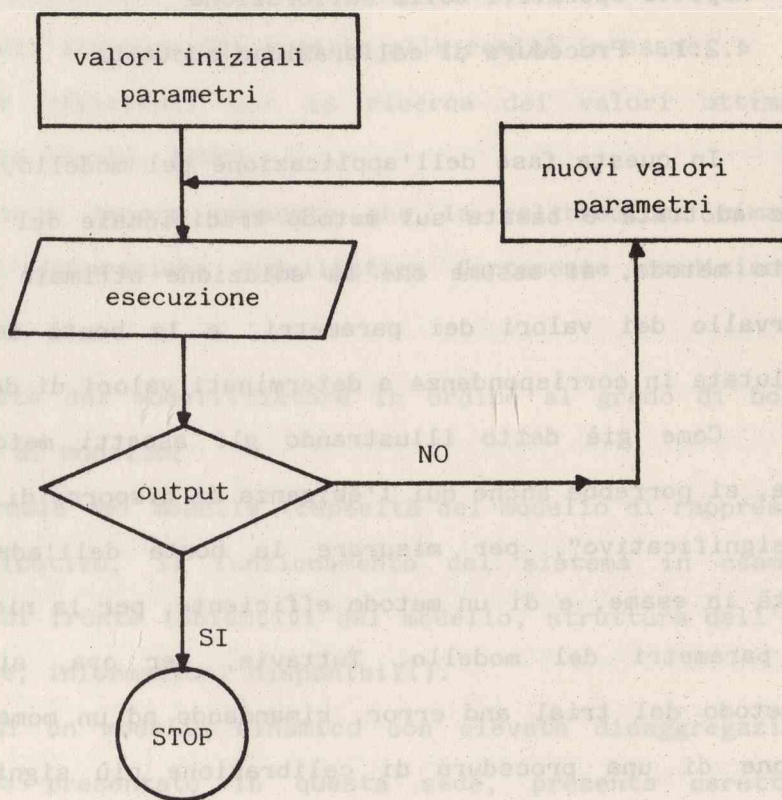


Figura 5 - Schema riassuntivo della procedura di calibrazione

#### 4.2.2. Struttura del software

Collegandoci a quanto esposto in Bertuglia, Occelli, Rabino, Salomone, Tadei (1981), si riassumono i componenti del software relativo al modello in oggetto (cfr.: fig. 6):

##### a. catalogazione e normalizzazione dei dati di input.

Per ciascuna variabile di possibile input del modello, viene data una descrizione completa: nome simbolico, eventuali dimensioni di array, eventuale unità di supporto, eventuale formato FORTRAN di registrazione, tipo di dato - intero, reale ecc. -, eventuale identificatore temporale. Vengono pure indicati i parametri del file di residenza dei dati normalizza-



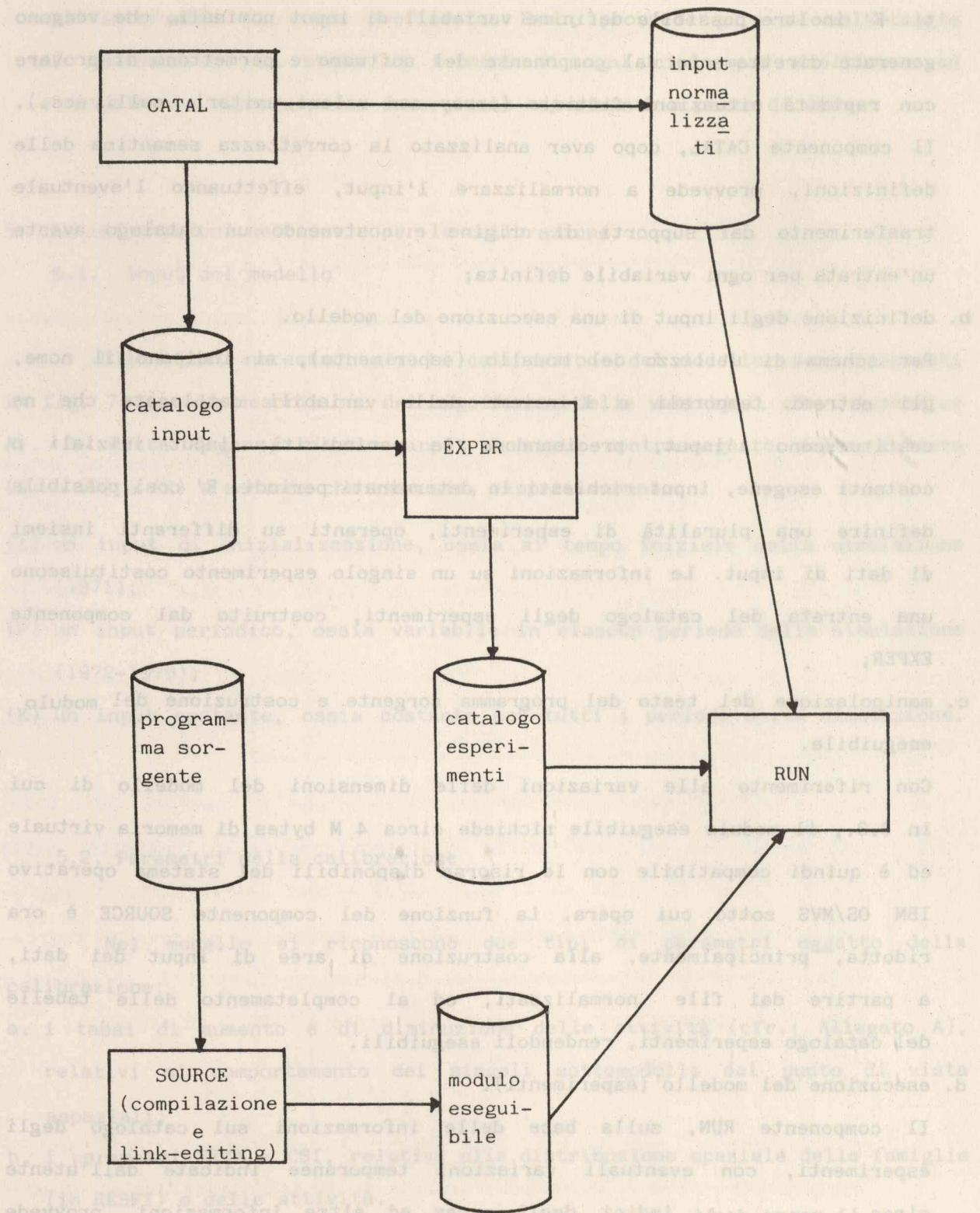


Figura 6 - Struttura del software

ti. E' inoltre possibile definire variabili di input nominali, che vengono generate direttamente dal componente del software e permettono di provare con rapidità situazioni fittizie (array con valori unitari, nulli ecc.). Il componente CATAL, dopo aver analizzato la correttezza semantica delle definizioni, provvede a normalizzare l'input, effettuando l'eventuale trasferimento dai supporti di origine e costruendo un catalogo avente un'entrata per ogni variabile definita;

b. definizione degli input di una esecuzione del modello.

Per schema di utilizzo del modello (esperimento), si indicano il nome, gli estremi temporali e l'insieme delle variabili catalogate che ne costituiscono l'input, precisandone la periodicità: input iniziali o costanti esogene, input richiesti in determinati periodi. E' così possibile definire una pluralità di esperimenti, operanti su differenti insiemi di dati di input. Le informazioni su un singolo esperimento costituiscono una entrata del catalogo degli esperimenti, costruito dal componente EXPR;

c. manipolazione del testo del programma sorgente e costruzione del modulo eseguibile.

Con riferimento alle variazioni delle dimensioni del modello di cui in 3.3., il modulo eseguibile richiede circa 4 M bytes di memoria virtuale ed è quindi compatibile con le risorse disponibili del sistema operativo IBM OS/MVS sotto cui opera. La funzione del componente SOURCE è ora ridotta, principalmente, alla costruzione di aree di input dei dati, a partire dai file normalizzati, ed al completamento delle tabelle del catalogo esperimenti, rendendoli eseguibili.

d. esecuzione del modello (esperimenti).

Il componente RUN, sulla base delle informazioni sul catalogo degli esperimenti, con eventuali variazioni temporanee indicate dall'utente circa il range degli indici degli array ed altre informazioni, provvede ad eseguire i trasferimenti dal file dei dati normalizzati alla memoria centrale ed a gestire la sequenza di esecuzione dei singoli sottomodelli



nell'intervallo di tempo prefissato. Esso, provvede pure al salvataggio di informazioni di stato al termine di ogni ciclo per analizzare ed eventualmente riprodurre un determinato esperimento o parte di esso.

## 5. Le informazioni necessarie per la calibrazione

### 5.1. Input del modello

Gli input, necessari per la calibrazione del modello, sono riassunti in fig. 7 (per la descrizione del significato delle variabili, cfr.: Appendice A). In detta figura, ciascun input è stato contrassegnato dalle lettere (I) o (P) o (K) a seconda che esso sia, rispettivamente:

(I) un input di inizializzazione, ossia al tempo iniziale della simulazione (1971);

(P) un input periodico, ossia variabile in ciascun periodo della simulazione (1972-1979);

(K) un input costante, ossia costante per tutti i periodi della simulazione.

### 5.2. Parametri della calibrazione

Nel modello si riconoscono due tipi di parametri oggetto della calibrazione:

- a. i tassi di aumento e di diminuzione delle attività (cfr.: Allegato A), relativi al comportamento dei singoli sottomodelli dal punto di vista spaziali;
- b. i parametri TETA e CSI, relativi alla distribuzione spaziale delle famiglie (in RESFI) e delle attività.

Ambedue i tipi di parametri vanno calibrati in modo da riprodurre la situazione del sistema al 1979.

In fase previsionale, detti parametri dovranno essere determinati

per ottenere lo sviluppo del sistema secondo scenari stabiliti, tenuto conto delle informazioni sulla sensitività del modello, al variare degli stessi parametri, che sono state ottenute nella calibrazione.

#### 6. Passi operati nella calibrazione

Con riferimento alla adottata procedura di calibrazione (della quale si è detto in 4.2.1.), sono stati operati i seguenti passi nella calibrazione del modello e del relativo software:

a. esecuzione di esperimenti - detti STATIC - con tassi di variazione delle attività nulli. Detti esperimenti hanno permesso di testare la congruenza logico-formale del modello e di verificare che, in regime statico, il modello riproduca indefinitamente lo stato iniziale del sistema (cioè, lo stato del sistema al 1971);

b. esecuzione di esperimenti - detti CALIB - con tassi di variazione delle attività e parametri di calibrazione attivati. Detti esperimenti sono stati articolati in due fasi:

b.1. esecuzione di esperimenti di simulazione per il periodo 1971-1979, escludendo il calcolo della distribuzione delle famiglie nella parte finale di RESFI ed il calcolo di output spazialmente disaggregati. Detti esperimenti fanno permesso di testare la congruenza logico-funzionale delle interrelazioni tra i diversi sottomodelli, in regime dinamico. In questa fase, CSI non è utilizzato e TETA è influente;

b.2. esecuzione di esperimenti (tuttora in corso) per la calibrazione dei parametri TETA e CSI nella funzione di distribuzione delle famiglie (nella parte finale di RESFI) e nell'articolazione spaziale degli output. La procedura di calibrazione di questi parametri viene effettuata



SUOLI		RESI		IND		TERZ		POP		AB		RESFI	
SLIO(j)	I	POTO(f)	I	IND(j,t)	I	TERZ(j,1)	I	P	I	AB(i,s)	I	TPROB(f,i)	K
SLTO(j)	I	POTD(g)	I	TCIN(t)	P	TCTN(1)	P	NN	P	TCAN(s)	P	TETA	P
SLAO(j)	I	DPOTO(s,i,f,j)	I	TDIN(t)	P	C(1)	P	MN	P	TDAN(s)	P	T(v,i,j)	K
SLRO(j)	I	DPOTD(s,i,g,j)	I	OSIP(j)	K	OSTP(j,1)	K	MIGN	K	OSAP(j)	K	K	K
SLIP(j)	I	PROBI(t,f)	K	PCI(j,t)	O	PCT(j,1)	O	B	P	TADN(i,s)	P	H	K
SLTP(j)	I	PROBT(1,f)	K	PDI(j,t)	O	PDT(j,1)	O	O	O	PCA(i,s)	O	N	K
SLAP(j)	I									PDA(i,s)	O	CSI	P
SLRP(j)	I											U(f)	P
T(v,i,j)	K												
RM(v)	K												
TETA	P												
MINR	K												
PR(d <sub>p</sub> <sup>d</sup> ,d <sub>a</sub> <sup>d</sup> ,j)	O												

Figura 7 - Schema riassuntivo degli input del modello

- I input di inizializzazione
- P input periodici
- K input costanti
- O input non necessari per la calibrazione

in due passi successivi:

- a. determinazione di TETA, tramite il metodo dei minimi quadrati;
- b. dato TETA, calcolo di CSI tramite procedimento iterativo.

## 7. Alcuni risultati della calibrazione

I risultati, qui esposti, si riferiscono agli esperimenti di calibrazione nei quali si è simulato l'evoluzione del sistema in esame per il periodo 1971-1979, prescindendo dalla considerazione dell'articolazione spaziale degli output (secondo quanto detto in 6., sub b.1.).

Va subito detto che, con riferimento ai problemi connessi all'attuale disponibilità di informazioni, dei quali si è detto in 4.1., l'andamento di alcune grandezze socioeconomiche può essere unicamente confrontato con stime di carattere qualitativo operate da esperti.

In fig. 8, è presentata la dinamica della popolazione nel complesso dell'area (comprensorio di Torino), calcolata dal modello. Per questa grandezza è disponibile una serie storica (1971-1979) con cui confrontare i dati calcolati dal modello. Data la struttura relativamente semplice del sottomodello della popolazione e la disponibilità della suddetta serie storica, si è ottenuta un'aderenza completa tra la dinamica calcolata e quella osservata, operando poche modifiche nei parametri del sottomodello interessato (\*).

In fig. 9, è presentata la dinamica degli addetti all'industria, rispettivamente nel complesso dell'area (comprensorio di Torino) e nella città di Torino, calcolata dal modello. Si può osservare che, per il periodo di tempo considerato, ad un incremento assai contenuto degli addetti all'industria nel complesso dell'area (comprensorio di Torino) fa riscontro una contrazione sensibile degli addetti all'industria nella città di Torino.

(\*) Si ricorda che il modello simula l'evoluzione della popolazione nel complesso dell'area in esame (comprensorio di Torino).



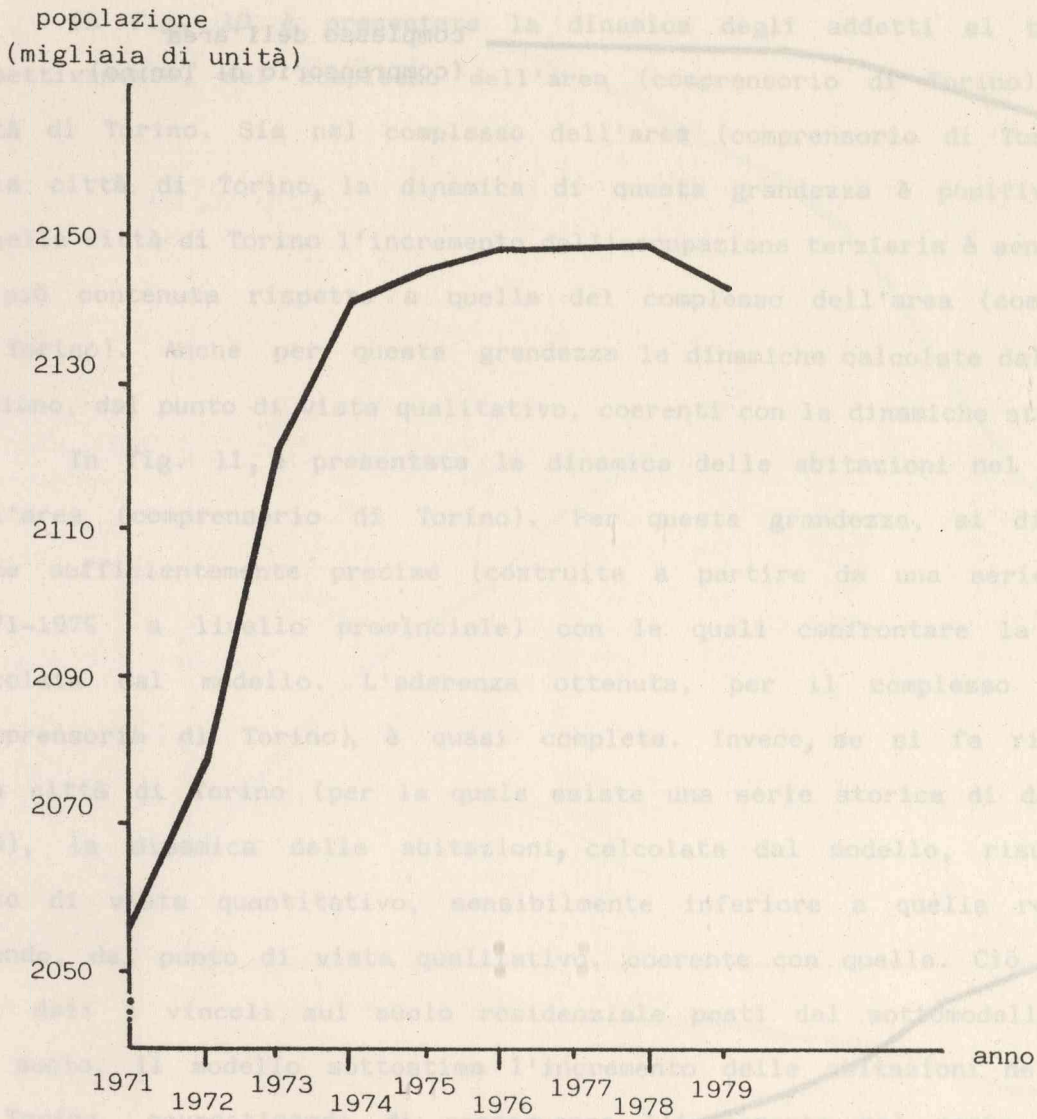


Figura 8 - Dinamica della popolazione nel complesso dell'area (comprensorio di Torino), calcolata dal modello

addetti all'industria  
(migliaia di unità)

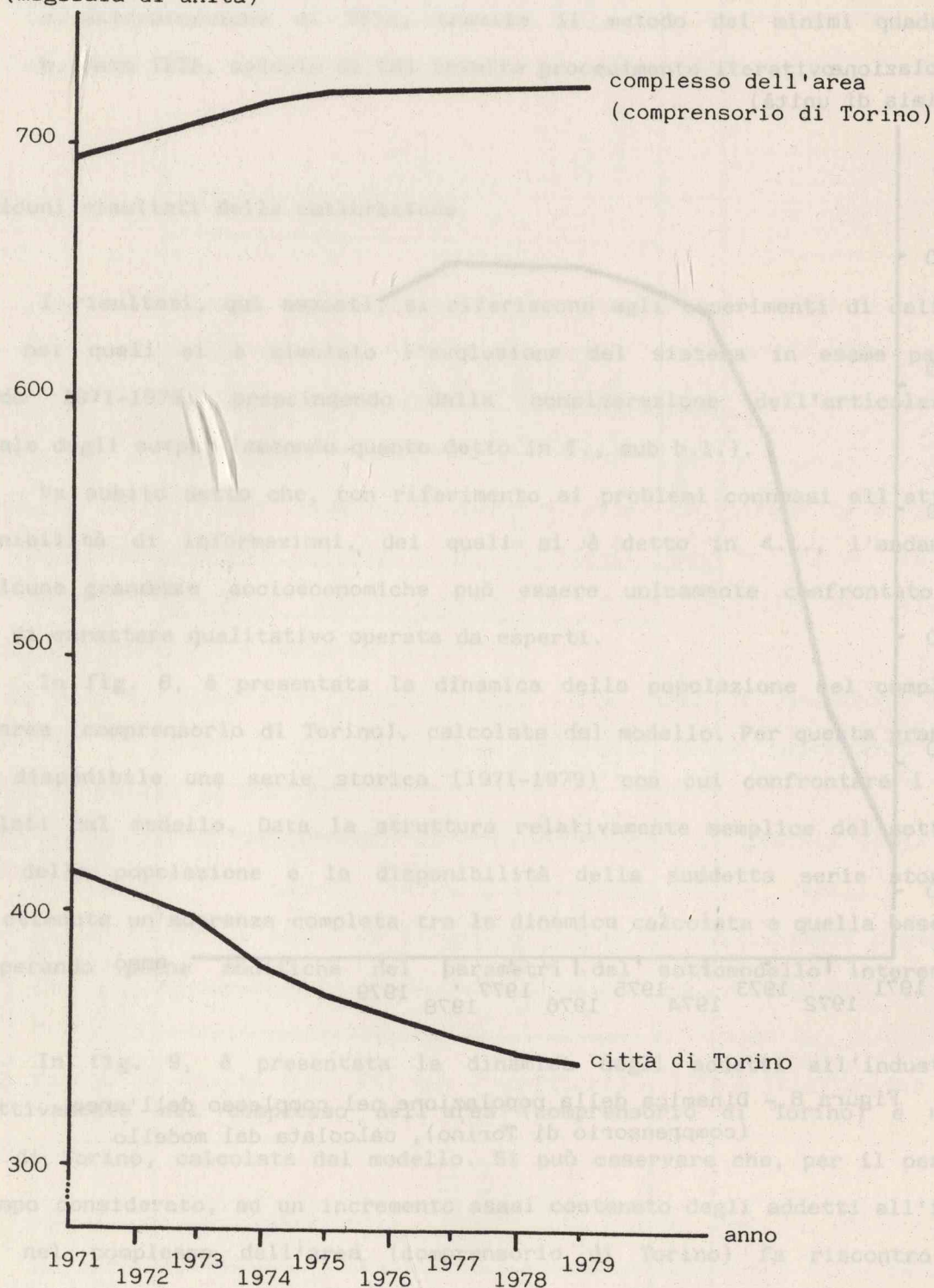


Figura 9 - Dinamica degli addetti, rispettivamente, nel complesso dell'area (comprensorio di Torino) e nella città di Torino, calcolata dal modello



Per questa grandezza, le dinamiche calcolate dal modello appaiono, dal punto di vista qualitativo, coerenti con le dinamiche stimate dagli esperti (\*).

In fig. 10, è presentata la dinamica degli addetti al terziario, rispettivamente, nel complesso dell'area (comprensorio di Torino) e nella città di Torino. Sia nel complesso dell'area (comprensorio di Torino) sia nella città di Torino, la dinamica di questa grandezza è positiva, anche se nella città di Torino l'incremento dell'occupazione terziaria è sensibilmente più contenuta rispetto a quella del complesso dell'area (comprensorio di Torino). Anche per questa grandezza le dinamiche calcolate dal modello appaiono, dal punto di vista qualitativo, coerenti con le dinamiche stimate dagli esperti.

In fig. 11, è presentata la dinamica delle abitazioni nel complesso dell'area (comprensorio di Torino). Per questa grandezza, si dispone di stime sufficientemente precise (costruite a partire da una serie storica 1971-1979 a livello provinciale) con le quali confrontare la dinamica calcolata dal modello. L'aderenza ottenuta, per il complesso dell'area (comprensorio di Torino), è quasi completa. Invece, se si fa riferimento alla città di Torino (per la quale esiste una serie storica di dati 1971-1979), la dinamica delle abitazioni, calcolata dal modello, risulta, dal punto di vista quantitativo, sensibilmente inferiore a quella reale, pur essendo, dal punto di vista qualitativo, coerente con quella. Ciò significa che, dati i vincoli sul suolo residenziale posti dal sottomodello di uso del suolo, il modello sottostima l'incremento delle abitazioni nella città di Torino, sovrastimando di conseguenza l'incremento nel resto dell'area (resto del comprensorio di Torino). I parametri del sottomodello delle abitazioni dovranno quindi essere ulteriormente specificati, in modo da tenere conto della diversa intensità dello sviluppo residenziale avutosi

---

(\*) A titolo di esempio, si tenga presente che, in Città di Torino, Assessorato ai trasporti e viabilità (1980, p. 59), per l'occupazione industriale nella città di Torino, si è stimato, nel periodo 1971-1978, un decremento medio annuo dell'1,25% nelle aziende superiori a 20 addetti. Va, tuttavia, precisato che detto decremento si riferisce al settore industriale in senso stretto (corrispondente, in questo modello, al settore t2).

addetti al terziario  
(migliaia di unità)

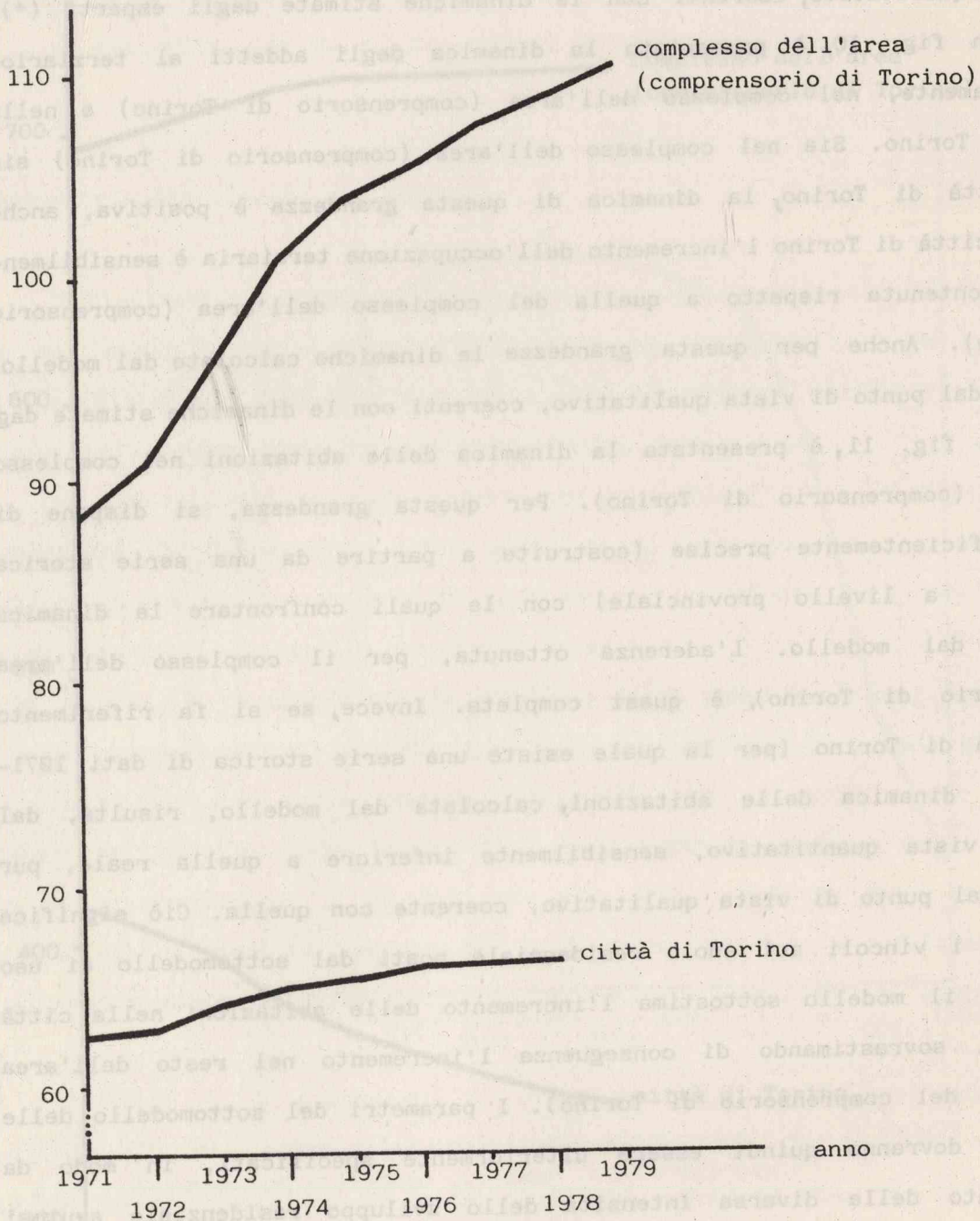


Figura 10 - Dinamica degli addetti al terziario, rispettivamente, nel complesso dell'area (comprendente di Torino) e nella città di Torino, calcolata dal modello



abitazioni  
(migliaia di unità)

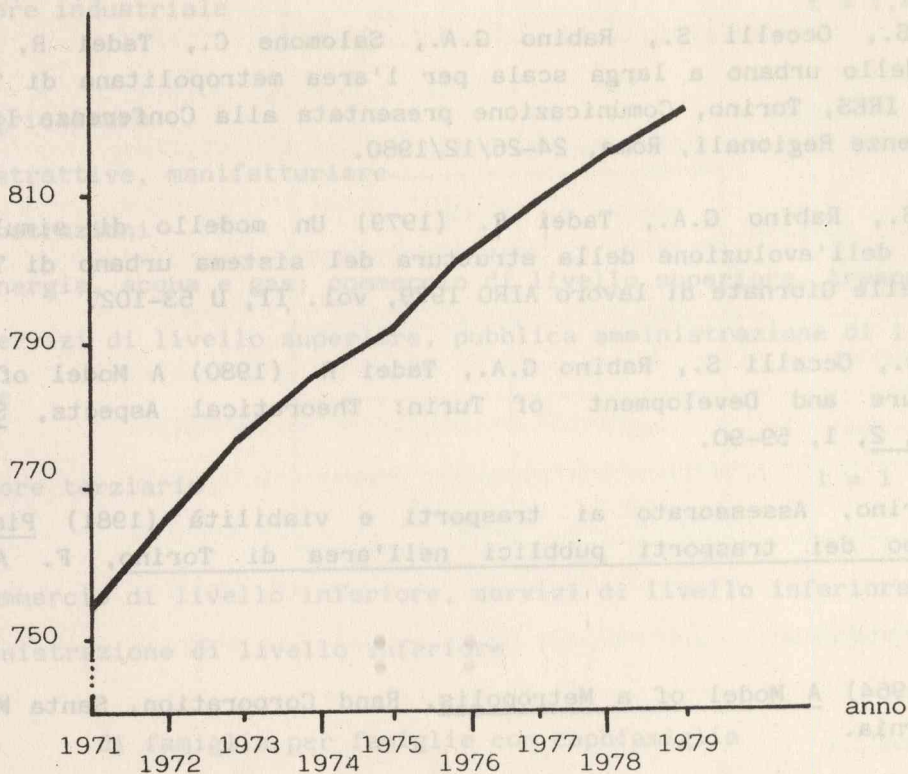


Figura 11 - Dinamica delle abitazioni nel complesso dell'area (comprensorio di Torino), calcolata dal modello

nella città di Torino e nel resto dell'area (resto del comprensorio di Torino), nel periodo 1971-1979.

#### Riferimenti bibliografici

Batty M. (1976) Urban Modelling, Algorithms, Calibrations, Predictions, Cambridge University Press, Cambridge.

Bertuglia C.S., Occelli S., Rabino G.A., Salomone C., Tadei R. (1981) Un modello urbano a larga scala per l'area metropolitana di Torino, WP 1, IRES, Torino, Comunicazione presentata alla Conferenza Italiana di Scienze Regionali, Roma, 24-26/12/1980.

Bertuglia C.S., Rabino G.A., Tadei R. (1979) Un modello di simulazione urbana dell'evoluzione della struttura del sistema urbano di Torino, Atti delle Giornate di lavoro AIRO 1979, vol. II, U 53-102.

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, 1, 59-90.

Città di Torino, Assessorato ai trasporti e viabilità (1981) Piano di sviluppo dei trasporti pubblici nell'area di Torino, F. Angeli, Milano.

Lowry I.S. (1964) A Model of a Metropolis, Rand Corporation, Santa Monica, California.



Appendice A. La formulazione matematica del modello

Descrizione delle variabili

Gli indici del modello sono:

- i zona di residenza i = 1,99
- j zona di lavoro j = 1,99
- t settore industriale t = 1,4

ove

- t1 agricoltura
- t2 estrattive, manifatturiere
- t3 costruzioni
- t4 energia, acqua e gas; commercio di livello superiore, trasporti, credito, servizi di livello superiore, pubblica amministrazione di livello superiore

- l settore terziario l = 1

ove

- l commercio di livello inferiore, servizi di livello inferiore, pubblica amministrazione di livello inferiore

- f tipo di famiglia, per famiglie con capofamiglia occupato f = 1,8

ove

condizione socioprofessionale	settore occupazionale capofamiglia t		settore occupazionale capofamiglia l	
	componenti della famiglia		componenti della famiglia	
	1 o 2	>2	1 o 2	>2
alta	f1	f5	f2	f6
bassa	f3	f7	f4	f8

g tipo di famiglia, con capofamiglia non occupato  
ove

g = 1,4

condizione socioprofessionale	componenti della famiglia	
	1 o 2	> 2
disoccupati	g1	g3
ritirati dal lavoro	g2	g4

s tipologia residenziale  
ove

s = 1,6

livello di qualità	numero di stanze	
	1 o 2	> 2
fatiscente	s1	s4
obsolescente	s2	s5
buono	s3	s6

v mezzo di spostamento  
ove  
v1 mezzo pubblico  
v2 mezzo privato

v = 1,2

d destinazione dell'uso del suolo  
ove

d = 1,4

d1 suolo industriale				
d2 suolo terziario				
d3 suolo residenziale				
d4 suolo residuo.				



Sottomodello di uso del suolo iniziale SUOLI

SLIO(j)	vettore del suolo industriale occupato
SLIP(j)	vettore del suolo industriale di progetto
SLTO(j)	vettore del suolo terziario occupato
SLTP(j)	vettore del suolo terziario di progetto
SLAO(j)	vettore del suolo residenziale occupato
SLAP(j)	vettore del suolo residenziale di progetto
SLRO(j)	vettore del suolo residuo occupato
SLRP(j)	vettore del suolo residuo di progetto
SLTOT(j)	vettore del suolo totale
TETXP(i,j)	matrice delle impedenze allo spostamento
TETA	parametro di impedenza allo spostamento
T(v,i,j)	matrice dei tempi di viaggio per mezzo di spostamento
RM(v)	parametro di ripartizione modale
SLID(j)	vettore del suolo industriale disponibile
SLTD(j)	vettore del suolo terziario disponibile
SLAD(j)	vettore del suolo residenziale disponibile
SLRD(j)	vettore del suolo residuo disponibile
PR( $d_p, d_a, j$ )	matrice delle politiche di riassegnazione dell'uso del suolo dall'uso iniziale $d_p$ all'uso finale $d_a$
MINR	percentuale minima di suolo destinata al suolo residuo
OSIN(j)	vettore di attrattività zonale per l'industria
OSTN(j)	vettore di attrattività zonale per il terziario
OSAN(j)	vettore di attrattività zonale per le residenze

Sottomodello residenziale iniziale RESI

POTO(f)	vettore delle famiglie con capofamiglia occupato
POTD(g)	vettore delle famiglie con capofamiglia non occupato
DPOTO(s,i,f,j)	matrice della distribuzione delle famiglie con capofamiglia occupato
DPOTD(s,i,f,j)	matrice della distribuzione delle famiglie con capofamiglia non occupato
POTI	famiglie totali
TAS	dimensione media delle famiglie
O(j,f)	matrice degli addetti per zona di lavoro e per tipo di famiglia
PROBI(t,f)	matrice di probabilità che un addetto nel settore t appartenga al tipo di famiglia f
PROBT(l,f)	matrice di probabilità che un addetto nel settore l appartenga al tipo di famiglia f
Q(j,f)	matrice delle famiglie con capofamiglia occupato per zona di lavoro e tipo di famiglia
KO(j,f)	matrice dei tassi di occupazione delle famiglie per zona di lavoro e tipo di famiglia



Sottomodello dell'industria      IND

IND(j,t)      matrice degli addetti nell'industria  
TCI(j,t)      matrice degli incrementi di posti di lavoro  
TCIN(t)      vettore dei tassi di incremento di posti di lavoro  
PCI(j,t)      matrice delle politiche di incremento di posti di lavoro  
SCI(j)      vettore del suolo richiesto per incrementi di posti di lavoro  
OSIP(j)      vettore dello standard di occupazione di suolo per nuovo posto  
                di lavoro  
TDI(j,t)      matrice dei decrementi di posti di lavoro  
TDIN(t)      vettore dei tassi di decremento di posti di lavoro  
PDI(j,t)      matrice delle politiche di decremento di posti di lavoro  
OSI(j)      vettore dello standard di occupazione di suolo per posto di  
                lavoro esistente  
SDI(j)      vettore del suolo reso disponibile per decrementi di posti di  
                lavoro

• •

Sottomodello del terziario    TERZ

TERZ(j,1)	matrice degli addetti nel terziario
TVT(j,1)	matrice delle variazioni di posti di lavoro
C(1)	vettore dei tassi di terziarizzazione della popolazione
TCTN(1)	vettore dei tassi di variazione dei posti di lavoro (al cambiamento dei tassi di terziarizzazione della popolazione)
PCT(j,1)	matrice delle politiche di incremento di posti di lavoro
PDT(j,1)	matrice delle politiche di decremento di posti di lavoro
OST(j)	vettore dello standard di occupazione di suolo per posto di lavoro esistente
SCT(j)	vettore del suolo richiesto per variazioni positive di posti di lavoro
OSTP(j)	vettore dello standard di occupazione di suolo per nuovo posto di lavoro
SDT(j)	vettore del suolo reso disponibile per variazioni negative dei posti di lavoro



Sottomodello della popolazione

POP

P	popolazione totale
N	nati
NN	tasso di natalità
M	morti
MN	tasso di mortalità
MIGR	saldo migratorio
B	tasso di occupazione della popolazione
MIGRN	tasso di variazione della popolazione (al cambiamento del tasso di occupazione della popolazione)

Sottomodello delle abitazioni AB

AB(i,s)	matrice delle abitazioni totali
TCA(i,s)	matrice degli incrementi di abitazioni
TCAN(s)	vettore dei tassi di incremento di abitazioni
PCA(i,s)	matrice delle politiche di incremento di abitazioni
SCA(i)	vettore del suolo richiesto per incrementi di abitazioni
OSAP(i)	vettore dello standard di occupazione di suolo per nuova abitazione
TDA(i,s)	matrice dei decrementi di abitazioni
TDAN(s)	vettore dei tassi di decremento di abitazioni
PDA(i,s)	matrice delle politiche di decremento di abitazioni
OSA(i)	vettore dello standard di occupazione di suolo per abitazione esistente
SDA(i)	vettore del suolo reso disponibile per decrementi di abitazioni <sub>i</sub>
ABD(i,s)	matrice delle abitazioni occupate
TADN(i,s)	matrice dei tassi di occupazione delle abitazioni



Sottomodello residenziale finale RESFI

QEXP(i,j,f)	matrice delle impedenze allo spostamento delle famiglie
TPROB(f,v)	matrice di probabilità che una famiglia di tipo f utilizzi il mezzo di spostamento v
A(i,f)	matrice delle accessibilità
AT(i,f)	matrice normalizzata delle accessibilità
RES(i,s)	matrice normalizzata delle attrattività residenziali relative alle abitazioni di tipo s
L(i)	vettore normalizzato delle attrattività residenziali relative alla disponibilità di suolo residenziale
U(s,i,f)	matrice delle utilità potenziali delle famiglie
K(f)	vettore dei pesi delle accessibilità
H(f)	vettore dei pesi delle attrattività residenziali relative alle abitazioni
N(f)	vettore dei pesi delle attrattività residenziali relative alla disponibilità di suolo residenziale
UEXP(s,i,f)	matrice delle utilità effettive delle famiglie
CSI	parametro di sensitività delle utilità effettive delle famiglie
$\bar{U}(f)$	vettore delle utilità attese delle famiglie
WT(s,i,f,j)	matrice delle assegnazioni delle famiglie
QWT(s,i,f,j)	matrice delle probabilità di assegnazione delle famiglie

Equazioni del modello

Sottomodello del suolo iniziale SUOLI

$$SLIO.X(j) = NSLIO(j)$$

$$SLIP.X(j) = NSLIP(j)$$

$$SLTO.X(j) = NSLTO(j)$$

$$SLTP.X(j) = NSLTP(j)$$

$$SLAO.X(j) = NSLAO(j)$$

$$SLAP.X(j) = NSLAP(j)$$

$$SLRO.X(j) = NSLRO(j)$$

$$SLRP.X(j) = NSLRP(j)$$

$$SLTOT(j) = SLIO.X(j) + SLTO.X(j) + SLAO.X(j) + SLRO.X(j)$$

$$TETXP(i,j) = \exp(-TETA * \sum_v T(v,i,j) * RM(v))$$

$$SLID.X(j) = SLIP.X(j) - SLIO.X(j)$$

$$SLTD.X(j) = SLTP.X(j) - SLTO.X(j)$$

$$SLAD.X(j) = SLAP.X(j) - SLAO.X(j)$$

$$SLRD.X(j) = SLRP.X(j) - SLRO.X(j)$$

$$SLID.Y(j) = SLID.X(j) + \sum_d PR(d,1,j) - PR(1,d,j)$$

$$SLTD.Y(j) = SLTD.X(j) + \sum_d PR(d,2,j) - PR(2,d,j)$$

$$SLAD.Y(j) = SLAD.X(j) + \sum_d PR(d,3,j) - PR(3,d,j)$$

$$SLRD.Y(j) = SLRD.X(j) + \sum_d PR(d,4,j) - PR(4,d,j)$$

$$SLIP.Y(j) = SLIO.Y(j) + SLID.Y(j)$$

$$SLTP.Y(j) = SLTO.Y(j) + SLTD.Y(j)$$

$$SLAP.Y(j) = SLAO.Y(j) + SLAD.Y(j)$$

$$SLRP.Y(j) = SLRO.Y(j) + SLRD.Y(j)$$



if SLRP.Y(j) < MINR \* SLTOT(j)

then SLRP.Y(j) = MINR \* SLTOT(j)

SLRD.Y(j) = SLRP.Y(j) - SLRO.Y(j)

endif

OSIN.XY(j) = 0

OSTN.XY(j) = 0

OSAN.XY(j) = 0

if SLID.X(j) > 0

then OSIN.XY(j) =  $(\sum_i SLID.X(j) * TETXP(i, j)) / (\sum_j \sum_i SLID.X(j) * TETXP(i, j))$

endif

if SLTD.X(j) > 0

then OSTN.XY(j) =  $(\sum_i SLTD.X(j) * TETXP(i, j)) / (\sum_j \sum_i SLTD.X(j) * TETXP(i, j))$

endif

if SLAD.X(j) > 0

then OSAN.XY(j) =  $(\sum_i SLAD.X(j) * TETXP(i, j)) / (\sum_j \sum_i SLAD.X(j) * TETXP(i, j))$

endif

Sottomodello residenziale iniziale RESI

$$POTO.X(f) = POTON(f)$$

$$POTD.X(g) = POTDN(g)$$

$$DPOTO.X(s,i,f,j) = DPOTON(s,i,f,j)$$

$$DPOTD.X(s,i,g,j) = DPOTDN(s,i,g,j)$$

$$POTI.X = \sum_f POTO.X(f) + \sum_g POTD.X(g)$$

$$TAS.X = P.X/POTI.X$$

$$O.X(j,f) = \sum_t IND.X(t,j) * PROBI(t,f) + \sum_l TERZ.X(l,j) * PROBT(l,f)$$

$$Q.X(f,j) = \sum_i \sum_s DPOTO.X(s,i,f,j)$$

$$KO.X(f,j) = Q.X(f,j)/O.X(f,j)$$

$$SLIP.Y(j) = SLIO.Y(j) + SLID.Y(j)$$

$$SLTP.Y(j) = SLTO.Y(j) + SLTD.Y(j)$$

$$SLAP.Y(j) = SLAO.Y(j) + SLAD.Y(j)$$

$$SLRP.Y(j) = SLRD.Y(j) + SLRD.Y(j)$$



Sottomodello dell'industria IND

IND.X(t,j) = INDN(t,j)

SCI.XY(j) = 0

if SLID.X(j) > 0

then

TCI.XY(t,j) = (( $\sum_j$  IND.X(t,j)) \* TCIN(t)) \* OSIN.XY(j) + PCI.X(t,j)

SCI.XY(j) =  $\sum_t$  TCI.XY(t,j) \* OSIP(j)

if SCI.XY(j) > SLID.X(j)

then TCI.XY(t,j) = (SLID.X(j) / SCI.XY(j)) \* TCI.XY(t,j)

SCI.XY(j) = SLID.X(j)

endif

endif

TDI.XY(t,j) = IND.X(t,j) \* (TDIN(t) + PDI.X(t,j))

if TDI.XY(t,j) > IND.X(t,j)

then TDI.XY(t,j) = IND.X(t,j)

endif

OSI.X(j) = SLIO.X(j) /  $\sum_t$  IND.X(t,j)

SDI.XY(j) =  $\sum_t$  TDI.XY(t,j) \* OSI.X(j)

IND.Y(t,j) = IND.X(t,j) + DT \* (TCI.XY(t,j) - TDI.XY(t,j))

Sottomodello del terziario TERZ

TERZ.X(l,j) = TERZN(l,j)

TVT.XY(l,j) = (C(l)\*P.X -  $\sum_j$  TERZ.X(l,j))\*TCTN(l)\*OSTN.XY(j)+PCT.X(l,j)-PDT.X(l,j)

OST.X(j) = SLTO.X(j)/ $\sum_l$  TERZ.X(l,j)

SCT.XY(j) = 0

SDT.XY(j) = 0

if TVT.XY(l,j) < 0

then if |TVT.XY(l,j)| > TERZ.X(l,j)

then TVT.XY(l,j) = -TERZ.X(l,j)

endif

SDT.XY(j) = SDT.XY(j) + TVT.XY(l,j)\*OST.X(j)

else if SLTD.X(j) > 0

then SCT.XY(j) = SCT.XY(j) + TVT.XY(l,j)\*OSTP(j)

endif

endif

if SLTD.X(j) > 0

then if SCT.XY(j) > SLTD.X(j)

then if TVT.XY(j) > 0

then TVT.XY(l,j) = (SLTD.X(j)/SCT.XY(j))\*TVT.XY(l,j)

endif

SCT.XY(j) = SLTD.X(j)

endif

endif





Sottomodello della popolazione POP

$$P.X = PN$$

$$N.XY = P.X * NN$$

$$M.XY = P.X * MN$$

$$MIGR.XY = \left( \sum_j \sum_t IND.X(t,j) + \sum_j \sum_l TERZ.X(l,j) \right) / B - P.X * MIGRN$$

$$P.Y = P.X + DT * (N.XY - M.XY + MIGR.XY)$$



Sottomodello delle abitazioni AB

$$AB.X(s,i) = ABN(s,i)$$

$$SCA.XY(i) = \emptyset$$

if SLAD.X(i) > 0

then

$$TCA.XY(s,i) = \left( \sum_i AB.X(s,i) \right) * TCAN(s) * OSAN(i) + PCA.X(s,i)$$

$$SCA.XY(s,i) = \sum_s TCA.XY(s,i) * OSAP(i)$$

if SCA.XY(i) > SLAD.X(i)

$$\text{then } TCA.XY(s,i) = (SLAD.X(i) / SCA.XY(i)) * TCA.XY(s,i)$$

$$SCA.XY(i) = SLAD.X(i)$$

endif

endif

$$TDA.XY(s,i) = AB.X(s,i) * TDAN(s) + PDA.X(s,i)$$

if TDA.XY(s,i) > AB.X(s,i)

$$\text{then } TDA.XY(s,i) = AB.X(s,i)$$

endif

$$OSA.X(i) = SLAO.X(i) / \sum_s AB.X(s,i)$$

$$SDA.XY(i) = \sum_s TDA.XY(s,i) * OSA.X(i)$$

$$AB.Y(s,i) = AB.X(s,i) + DT * (TCA.XY(s,i) - TDA.XY(s,i))$$

$$ABD.Y(s,i) = AB.Y(s,i) * TADN(s,i)$$

Sottomodello del suolo finale SUOLFI

$$SLIO.Y(j) = SLIO.X(j) + SCI.XY(j) - SDI.XY(j)$$

$$SLTO.Y(j) = SLTO.X(j) + SCT.XY(j) - SDT.XY(j)$$

$$SLAO.Y(j) = SLAO.X(j) + SCA.XY(j) - SDA.XY(j)$$

$$SLRO.Y(j) = SLTOT(j) - SLIO.Y(j) - SLTO.Y(j) - SLAO(j)$$



Sottomodello residenziale finale RESFI

$$QEXP(i,f,j) = \sum_v TPROB(v,f) * EXP(-TETA * T(v,i,j))$$

$$O.Y(f,j) = \sum_t IND.Y(t,j) * PROBI(t,f) + \sum_l TERZ.Y(l,j) * PROBT(l,f)$$

$$Q.Y(f,j) = O.Y(f,j) / KO.X(f,j)$$

$$POTO.Y(f) = \sum_j Q.Y(f,j)$$

$$POTD.Y(g) = (P.Y / TAS.X - \sum_f POTO.Y(f)) * POTD.X(g) / \sum_g POTD.X(g)$$

$$A.Y(i,f) = \sum_j Q.Y(f,j) * QEXP(i,f,j)$$

$$AT.Y(i,f) = (A.Y(i,f) - \min_{i,f} A.Y(i,f)) / (\max_{i,f} A.Y(i,f) - \min_{i,f} A.Y(i,f))$$

$$RES.Y(i,s) = (AB.Y(i,s) - \min_{i,s} AB.Y(i,s)) / (\max_{i,s} AB.Y(i,s) - \min_{i,s} AB.Y(i,s))$$

$$L.Y(i) = (SLAO.Y(i) - \min_i SLAO.X(i)) / (\max_i SLAO.Y(i) - \min_i SLAO.Y(i))$$

$$U.Y.(s,i,f) = K(f) * AT.Y(i,f) + H(f) * RES.Y(i,s) + N(f) * L.Y(i)$$

$$\bar{U}.Y(f) = \sum_i \sum_s (U.Y(s,i,f) * \sum_j DPOTO.X(s,i,f,j)) / POTO.X(f)$$

$$UEXP(s,i,f) = EXP(-CSI * (\bar{U}.Y(f) - U.Y(s,i,f)))$$

$$WT(s,i,f,j) = QEXP(i,f,j) * UEXP(s,i,f)$$

$$QWT(s,i,f,j) = WT(s,i,f,j) / \sum_i \sum_s WT(s,i,f,j)$$

$$DPOTO.Y(s,i,f,j) = Q.Y(f,j) * QWT(s,i,f,j)$$

$$DPOTD.Y(s,i,g,j) = DPOTD.X(s,i,g,j) * (POTD.Y(g) / POTD.X(g))$$





## 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*







**ires**

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