



## WORKING PAPERS

*W.P. 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

*C. S. Bertuglia, G. Foti, A. Ostanello, G. A. Rabino, R. Tadei, G. Vota*



SOMMARIO

Lo studio si propone di redare un contributo alla definizione delle forme matematiche che legano la domanda di trasporto alle variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali.

A questo scopo lo studio è stato articolato secondo le tre seguenti fasi:

*W.P. 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**

*C. S. Bertuglia, G. Foti, A. Ostanello, G. A. Rabino, R. Tadei, G. Vota*

*Febbraio 1983*



## SOMMARIO

Lo studio si propone di recare un contributo alla definizione delle forme matematiche che legano la domanda di trasporto alle variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali.

A questo scopo lo studio è stato articolato secondo le tre seguenti fasi:

- a) analisi bibliografica volta a definire lo stato dell'arte nel campo. L'analisi tende a mettere in evidenza i contributi di natura e scuole diverse relativamente al seguente oggetto: analisi della domanda di trasporto di persone alla scala interregionale, sue relazioni con le variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali, metodi e forme matematiche assunte per la sua determinazione;
- b) individuazione di un metodo per l'analisi delle relazioni tra variabili strutturali e domanda di trasporto. Il metodo tende a mettere in evidenza il carattere di processo della formazione della domanda, carattere che si considera fondamentale per le previsioni di scenari.  
Si è così predisposto un metodo adatto a prendere in considerazione le dimensioni multiple del problema e la complessità del sistema degli attori del processo;
- c) costruzione di strumenti informatici adatti ad una sperimentazione del metodo proposto.



## INDICE DEL RAPPORTO FINALE

	Pag.
1. Introduzione	1
2. Descrizione della ricerca	3
2.1. Domanda di trasporto di persone alla scala interregionale, sue relazioni con le variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali, metodi e forme matematiche assunte per la sua determinazione: analisi bibliografica	3
2.1.1. Premessa	3
2.1.2. Modelli convenzionali di pianificazione dei trasporti: modelli aggregati sequenziali	5
2.1.3. Modelli aggregati simultanei (economici)	9
2.1.4. Modelli disaggregati di scelte di spostamento	13
2.1.5. Approccio di attività	19
2.1.6. Modelli continui urbani	21
2.1.7. Modelli diretti di domanda	23
2.1.8. L'analisi comportamentale	24
2.1.8.1. Lo spostamento come esemplificazione dei complessi comportamenti umani	24
2.1.8.2. Analisi delle "intenzioni" di spostamento	28
Riferimenti bibliografici	30
2.2. Un metodo per l'analisi di scenari in un contesto multidimensionale	40
2.2.1. Considerazioni metodologiche generali	40
2.2.1.1. Introduzione	40
2.2.1.2. Assunzioni	44
2.2.2. Domanda, scenari	46

	Pag.
2.2.2.1. Domanda	46
2.2.2.2. Scenari	47
2.2.3. Problemi connessi con la valutazione di scenari	51
2.2.3.1. Modello relativo all'utenza potenzia- le	51
2.2.3.2. Modello relativo all'offerta	53
2.2.3.3. Modello relativo alla domanda	55
2.2.4. Un metodo per la costruzione di sce- nari di domanda	56
2.2.4.1. Fase I	58
2.2.4.2. Fase II	69
2.2.4.3. Fase III	75
Riferimenti bibliografici	76
2.3. Software per la verifica sperimenta- le del metodo individuato in 2.2.	80
2.3.1. Introduzione	80
2.3.2. Files e base dati	80
2.3.3. FASE1	82
2.3.4. PREORD.FOR	85
2.3.5. FASE2.PAS	89
2.3.6. PESI.FOR	91
2.3.7. Analisi post-ottimale	92
2.3.8. FASE3.PAS	95
3. Conclusioni	97

1.

## INTRODUZIONE

In questa introduzione vengono descritte, in modo sintetico, le linee generali dello studio. Quanto qui trattato sarà ripreso in 2.

Lo studio si è proposto di recare un contributo alla definizione delle forme matematiche che legano la domanda di trasporto alle variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali.

A questo scopo, lo studio è stato articolato secondo le tre seguenti fasi:

- a) analisi bibliografica volta a definire lo stato dell'arte nel campo. L'analisi tende a mettere in evidenza i contributi di natura e scuole diverse relativamente al seguente oggetto: analisi della domanda di trasporto di persone alla scala interregionale, sue relazioni con le variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali, metodi e forme matematiche assunte per la sua determinazione. Questa fase è sviluppata in 2.1.;
- b) individuazione di un metodo per l'analisi delle relazioni tra variabili strutturali e domanda di trasporto. Il metodo tende a mettere in evidenza il carattere di processo della formazione della domanda, carattere che si considera fondamentale per le previsioni di scenari.

Si è così predisposto un metodo adatto a prendere in considerazione le dimensioni multiple del problema e della complessità del sistema degli attori del processo. Questa fase è sviluppata in 2.2.;

- c) alla luce dei risultati delle due precedenti fasi, si è proceduto alla costruzione di strumenti informatici adatti ad una sperimentazione del metodo proposto. Questa fase del lavoro è documentata in 2.3..

## 2. DESCRIZIONE DELLA RICERCA

2.1. DOMANDA DI TRASPORTO DI PERSONE ALLA SCALA INTERREGIONALE, SUE RELAZIONI CON LE VARIABILI STRUTTURALI DEI SISTEMI ECONOMICI E TERRITORIALI, METODI E FORME MATEMATICHE ASSUNTE PER LA SUA DETERMINAZIONE: ANALISI BIBLIOGRAFICA

### 2.1.1. PREMESSA

Possono essere condotte varie classificazioni degli studi e contributi riguardanti lo sviluppo di metodi quantitativi di stima della domanda di spostamento e delle diverse scuole relative all'oggetto della presente ricerca. Gli approcci della modellizzazione della domanda di spostamento sono vari ed alternativi in funzione della combinazione degli scopi e degli attributi di viaggio e delle variabili di attività prese in considerazione per "spiegare" il comportamento nello spostamento.

In letteratura, una ricorrente classificazione individua i seguenti approcci di modellizzazione:

- modelli aggregati sequenziali;
- modelli aggregati simultanei;
- modelli disaggregati sequenziali;
- modelli disaggregati simultanei;
- approccio di attività;

- modelli continui urbani;
- modelli diretti di domanda.

Altre classificazioni comprendono, inoltre, i seguenti aspetti:

- studi attitudinali;
- modelli di previsione diretta;
- modelli di previsione indiretta.

Recentemente un interessante contributo metodologico è dato dagli studi che si sono focalizzati sull'"analisi comportamentale". Sono essenzialmente due le motivazioni per le quali si identificano e valutano i fattori che maggiormente determinano il comportamento individuale nello spostamento. La prima è la previsione degli effetti che vengono prodotti dalle modificazioni nello "scenario" del viaggio. La seconda è la necessità, per la valutazione dei progetti di pianificazione nell'ambito del trasporto, di una attendibile misura dei benefici sia per gli utenti sia per la società.

I fattori "determinanti" nello spostamento sono gli attributi di viaggio. Un attributo di viaggio è in generale un aspetto del viaggio poco piacevole come il suo costo, l'inutilità dello spostamento, il tempo di viaggio, la mancanza di comfort, l'attesa ecc..

Nei prossimi punti vengono esposti i lineamenti di massima delle scuole, approcci metodologici e dei contributi di maggior interesse nel campo della modellizzazione.

### 2.1.2. MODELLI CONVENZIONALI DI PIANIFICAZIONE DEI TRASPORTI; MODELLI AGGREGATI SEQUENZIALI

La gran parte degli studi sui trasporti, come ad esempio il Greater London Transport Study e il Washington Metropolitan Transport Study, generalmente hanno usato per la pianificazione dei trasporti dei modelli derivati dall'analisi di dati per anno, che identificano il comportamento nello spostamento per abitanti e per zone, ponendolo in relazione alla rappresentazione della rete di trasporto ed alle caratteristiche geografiche dell'area. Le osservazioni erano, quindi, aggregate per zone. Queste procedure di modellizzazione sono caratterizzate da modelli aggregati sequenziali (\*).

I modelli convenzionali di trasporto separano, quindi, la funzione di domanda in quattro funzioni.

---

(\*) Un modello aggregato è un modello stimato attraverso una variabile dipendente che rappresenta un gruppo di osservazioni.

Non esiste in questa scuola un singolo modello di domanda di spostamento, ma un gruppo di modelli, i quali trattano sequenzialmente le quattro scelte classiche di spostamento che corrispondono alle domande: quanti viaggi?, verso dove?, con quale mezzo?, su quale via?.

Si tratta, in particolare, dei modelli di generazione, attrazione, distribuzione dei viaggi, ripartizione modale ed assegnazione.

Le originarie versioni di questi modelli assumevano che il numero di viaggi partenti o terminanti in ogni zona è strettamente determinato dalle caratteristiche degli abitanti nella zona (come, ad esempio, il reddito).

Recenti versioni considerano, inoltre, la disponibilità e l'attrattività delle loro destinazioni e delle possibilità di trasporto.

Si assume, in genere, che la distribuzione geografica dei viaggi è strettamente influenzata dagli afferenti costi delle alternative destinazioni, mentre la ripartizione modale e l'assegnazione dipendono dai modi di spostamento e dai percorsi che si offrono in competizione tra loro.

Il modello di generazione è, quindi, del tipo:

$$N_i = f_1(SE_i);$$

cioè, il numero dei viaggi partenti dalla zona  $i$  ( $N_i$ ) è funzione delle caratteristiche socio-eco-

nomiche della zona  $i$  ( $SE_i$ ).

Nel modello di attrazione il numero di viaggi terminanti nella zona  $j$  ( $N_j$ ) è funzione delle caratteristiche della zona  $j$ , come una misura delle attività lavorative ( $E_j$ ) e parametri dell'uso del suolo ( $LU_j$ ):

$$N_j = f_2 (E_j, LU_j)$$

Il modello di distribuzione è un modello gravitazionale e distribuisce il numero di viaggi generati da ogni zona  $i$  in ogni destinazione  $j$  ( $N_{ij}$ ) considerando l'impedenza allo spostamento ( $T_{ij}$ ):

$$N_{ij} = f_3 (SE_i, E_j, T_{ij})$$

Esistono varie versioni del modello di ripartizione modale, ma, in genere, si ricorre ad un modello probabilistico del tipo:

$$\frac{N_{ij} \text{ pr}}{N_{ij} \text{ pb}} = f_4 (T_{ij} \text{ pr}, T_{ij} \text{ pb}, SE_i, LU_j),$$

ove il numero di viaggi distribuiti tra coppie di zone è suddiviso tra mezzo privato (pr) e mezzo pubblico (pb), sulla base dei relativi tempi e costi dei due modi di spostamento ed inoltre, in alcuni casi, sulla base di selezionate caratteristiche sol

cioeconomiche delle zone di origine e delle caratteristiche del suolo delle zone di destinazione.

Nel modello di assegnazione

$$N_{ija} = f_5 \text{ (minimo cammino-tempo, capacità)}$$

i viaggi sono assegnati ai vari percorsi con il criterio del minimo tempo e minimo cammino considerando vincoli di capacità.

La definizione delle varie relazioni, tra le variabili strutturanti il sistema, è affrontata indipendentemente, sebbene esista una similitudine funzionale tra i modelli di distribuzione, ripartizione modale ed assegnazione.

Il punto saliente di questa metodologia risiede nella capacità di stimare lo spostamento pubblico e privato sia globalmente sia nel particolare, trattando così tutte le parti di una rete di trasporto, ed inoltre nella possibilità di valutare differenti ed alternative politiche assunte riguardo ad uno sviluppo futuro.

Una limitazione invece, oltre all'onere di risorse di calcolo, è dovuta all'incertezza delle stime per quel che riguarda decisioni e previsioni sulla realtà futura. Inoltre, questi modelli non spiegano con evidenza le consistenze delle relazioni temporali e, soprattutto, non sono suppor-

tati da una confortante base teorica sul comportamento nello spostamento.

Fertal ed altri (1966) forniscono una buona descrizione dei modelli convenzionali urbani di domanda di spostamento e dei modelli di ripartizione modale. Sono, inoltre, interessanti i lavori di Hartgren e Tanner (1970), Manheim (1970), Stopher e Lisco (1970), Brand (1972).

### 2.1.3. MODELLI AGGREGATI SIMULTANEI (econometrici)

La considerazione, secondo cui le scelte di spostamento sono raramente identificabili separatamente dall'utenza che effettua lo spostamento, porta alla definizione di una struttura metodologica alternativa, nella quale le scelte di spostamento sono modellate simultaneamente, anche se si usano ancora i dati osservati considerando aggregazioni geografiche. Si vedano, in proposito, i lavori della Charles River Associates (1967), di Quandt e Baumol (1968), Shepherd (1972), Talvitie (1973).

Questi modelli esprimono il numero di viaggi tra ogni coppia di zone, per un dato modo e scopo di spostamento, in funzione del numero di abitanti delle zone di origine e delle loro caratteristiche socioeconomiche. Inoltre, rappresentano: una

misura specifica del livello delle attività, altre rilevanti caratteristiche socio-economiche e dell'uso del suolo delle zone di destinazione, insieme ai tempi e ai costi di spostamento degli alternativi modi di trasporto, ed infine la valutazione di alternative destinazioni.

In questi modelli, una valida misura dell'impatto, sull'intera domanda di spostamento, delle variazioni nelle dimensioni degli attributi di spostamento (come costo e tempo), risulta il termine economico elasticità. Al riguardo è interessante lo studio di Kemp (1973).

Questi strumenti dell'economia sono stati quindi ampiamente usati per la previsione della domanda di trasporto pubblico. Negli ultimi anni, si è registrata una considerevole estensione del lavoro sperimentale per misurare e usare quest'elasticità.

La base teorica è minimale, riducendosi spesso alla sola postulazione dell'esistenza di una curva di domanda. In altri termini, questa scuola si interessa più della bontà di "fit" che di argomenti teorici.

Sono stati comunemente usati, per queste analisi, due tipologie di dati che hanno portato a due distinti tipi di modelli.

La disponibilità dei dati, provenienti da studi

di trasporto o da studi condotti in particolare, ha portato alla definizione di modelli di tipo cross-sectional. Si veda in proposito il lavoro di Shepherd (1972).

I dati delle serie temporali, che usualmente sono di natura aggregata, sono stati la base di partenza di studi condotti sui fattori che maggiormente influenzano il trasporto pubblico. Per questi studi, si vedano: Oldfield (1974), Fairhurst (1975), Fairhurst ed altri (1975), Gaudry (1975, 1982).

I due tipi di modelli, definiti precedentemente, costituiscono il caso speciale di un modello generale che considera gli effetti cross-sectional su più anni. Infatti, i modelli cross-sectional trattano in genere dati relativi ad un solo anno, mentre i modelli di serie temporali considerano dati annuali ma con un unico livello di aggregazione.

Si può dimostrare, se i due tipi di modelli sono stati specificati correttamente e se il processo di aggregazione è conforme a certi requisiti, che le stime delle elasticità, risultanti dai due tipi di modelli, sono formalmente equivalenti. Si veda Travers Morgan e Partners (1974). In pratica, però, a causa della collinearità della maggior parte dei fattori comuni che influenzano il trasporto, si presentano diversi problemi nei pro

cessi di stima. La ricerca di una formalizzazione semplice porta a modelli non "spiegati" completamente e la letteratura contiene molti esempi al riguardo. Bisogna ricordare, comunque, che la completa specificazione è spesso non necessaria per un particolare obiettivo.

Queste analisi hanno due vantaggi nei riguardi dei modelli convenzionali di pianificazione. Innanzi tutto, esse presentano economicità di calcolo e semplicità nella stima e nell'applicazione delle differenti politiche. Si veda, in proposito, il testo di Quandt (ed.) (1972). Inoltre, sono state più frequentemente applicate per progetti relativi a periodi temporali brevi (il costo per anno aumenta) e così risultano già disponibili vari esperimenti, mentre ciò non avviene per modelli tradizionali ove si hanno proiezioni sui 15 - 20 anni.

Infine, in questa scuola, sono esemplificativi i lavori di Kraft (1963), Domencich, Kraft e Valette (1968), Senior e Williams (1977), Williams (1977, 1979).

#### 2.1.4. MODELLI DISAGGREGATI DI SCELTE DI SPOSTAMENTO(\*)

Questa scuola di modellizzazione è stata originariamente sviluppata per comprendere, per un dato viaggio e scopo, le scelte tra due modi di trasporto in competizione. Si vedano, in proposito, i lavori di Warner (1962), Beesley (1965), Quarmby (1967), Lisco (1967) e Richards e Ben-Akiva (1975).

Warner (1962) ha sviluppato un modello binario di scelta (tra i primi di tipo stocastico e probabilistico) per analizzare le scelte modali, basandosi sull'analisi delle osservazioni individuali dei viaggi; è stato inoltre uno dei primi ad usare dati disaggregati.

Beesley (1965) ha ricercato il valore del tempo di spostamento che meglio spiega le scelte modali, osservando un campione formato dagli impiegati del Ministero dei Trasporti a Londra.

Quarmby (1967), partendo dai lavori di Beesley, ha formalizzato un modello lineare, atto a definire le scelte dei modi di spostamento nei viaggi verso il luogo di lavoro.

Lisco (1967) ha stimato il valore del tempo di spostamento, analizzando i dati riguardanti la

---

(\*) Un modello disaggregato è un modello stimato per mezzo di una variabile dipendente che rappresenta un'osservazione di un singolo evento (un viaggio).

scelta tra due modi di trasporto ed usando un'analisi binaria di probabilità.

Partendo dai presupposti delle teorie dell'utilità del consumatore, Mc Gillivray (1967) ha sviluppato un modello di scelta modale.

Rassam, Ellis e Bennett (1971) estendono l'uso dei modelli logit all'analisi della scelta tra alternative multiple di trasporto.

Dello stesso problema si interessa, nei suoi lavori, Mc Fadden (1968, 1973).

Heggie (1976a) delinea i modelli di scelta e fornisce una valutazione delle assunzioni sulle quali si fondano i modelli disaggregati. Egli afferma che molte delle assunzioni, spesso, non riflettono il comportamento individuale reale.

Lerman (1982) tratta dell'uso di modelli disaggregati di scelta del consumatore quando questo è di fronte a un numero (discreto) di alternative di trasporto ed usa un modello logit.

L'approccio metodologico dato dai modelli disaggregati, basandosi sullo studio del comportamento individuale, fa riferimento ad una chiara teoria di scelta socio-economica in rapporto ai fattori sottostanti le decisioni di spostamento. Questo approccio ha avuto non poche ripercussioni sulla formulazione dei modelli convenzionali di pianificazione e dei modelli aggregati, ed in par

ticolare ha influenzato lo sviluppo del concetto di costo generalizzato (cioè che include le variabili tempo e costo).

I modelli disaggregati di scelta di spostamento assumono parte dei concetti della teoria psicologica e della teoria economica del comportamento, basandosi sulla razionalità degli individui che scelgono un mezzo di trasporto, quindi massimizzando l'utilità dello spostamento.

La funzione di utilità, diversamente dai tradizionali modelli economici, contiene per un individuo una componente casuale che si riferisce alle sue non stimabili idiosincrasie nei confronti di particolari benefici e, inoltre, agli attributi misurabili delle alternative di trasporto.

Le tecniche disaggregate di scelta di spostamento differiscono dai metodi tradizionali ed econometrici, principalmente, per quanto riguarda il trattamento delle osservazioni individuali nel modello di calibrazione e nell'uso delle tecniche di stima (massima probabilità). Per contro, queste procedure hanno numerose caratteristiche in comune con le tecniche econometriche convenzionali, come ad esempio:

- a) il modo di aggregazione delle informazioni risultanti dalle osservazioni;
- b) l'uso di variabili simili a quelle dei model-

li econometrici come descrittori del comportamento e delle caratteristiche delle alternative. In genere, queste variabili sono dei descrittori socio-economici ed indicatori di prestazioni del sistema, a differenza dei descrittori della qualità del servizio e dei processi di decisione;

c) la combinazione di queste variabili nelle funzioni di decisione. Queste sono espresse, generalmente, con una semplice combinazione lineare degli attributi;

d) aggregazione spaziale, temporale, demografica delle previsioni;

e) sviluppo di modelli per "data-base" per la registrazione dei viaggi.

Riferimenti su questa problematica possono trovarsi in Hartgen e Wachs (1974).

Un esempio di modellizzazione disaggregata e simultanea si può vedere nel lavoro di Ben - Akiva (1973), mentre per quanto attiene la modellizzazione disaggregata e sequenziale si può far riferimento a Reichman e Stopher (1971) ed a Domenich e Mc Fadden (1974).

Sono, inoltre, interessanti i lavori di Stopher e

Meyburg (1976), di Mc Fadden (1977) (\*), Heggie e Jones (1978) e Jones (1979).

Esiste una ben definita divisione tra l'approccio economico-psicologico definito precedentemente, ed associato principalmente a Luce (1959) e Mc Fadden (1973), e quello sviluppato soprattutto da Hagerstrand (1970, 1974) e Chapin (1974), ma anche da Jones (1976a, 1976b) e da Fried, Havens e Thall (1977) e Koppelman (1982).

Il primo approccio è condizionato dall'assunzione del criterio di massimizzazione dell'utilità e dallo spostamento modellato attraverso un processo di scelta isolato dal resto dell'attività umana.

Il secondo approccio, anche se ancora condizionato dall'assunzione del criterio di massimizzazione dell'utilità ma supportato da un'ampia base

---

(\*) Goodwin ed Hensher (1978) presentano uno schema generale di sistemazione delle scuole di modellizzazione finora descritte.

Le maggiori differenze tra le procedure di modellizzazione sono da ricercarsi nel livello di aggregazione dei dati, nella relazione strutturale tra le scelte di spostamento, nei metodi di stima e nei le forme funzionali dei modelli. Le somiglianze, a volte anche di natura strutturale, si riferiscono alla logica di previsione della domanda di spostamento. L'utilizzo di modelli disaggregati e aggregati si pone in termini di risposta a differenziati gradi di adattabilità a diverse problematiche. In altri termini, speciali contesti, come la scelta modale in un campione localizzato, richiedono dei modelli di tipo disaggregato, mentre la pianificazione di grandi strategie in ordine alle reti di trasporto, che incidono sull'uso del suolo, suggeriscono l'utilizzo di modelli aggregati.

comportamentale, assume che lo spostamento è in un "range" di attività complementari e competitive operanti in un campione continuo od in una sequenza di eventi nello spazio e nel tempo. Lo spostamento rappresenta la procedura mediante la quale gli individui usano il tempo per spostarsi nello spazio, allo scopo di partecipare ad attività successive. L'ipotesi dominante è che tempo e spazio sono delle risorse e che i vincoli, nei quali operano gli individui, sono dettati principalmente dalle esperienze individuali (che potranno comunque rimuovere). Questo approccio teorico può essere diviso in due gruppi. Il primo è quello associato con i tentativi di migliorare la formulazione dei modelli logit multinomiali (MNL) di scelta individuale (\*). Il secondo è costituito dai tentativi per strutturare modelli alternativi di comportamento nello spostamento, in particolare considerando i processi Markoviani

---

(\*) Il modello MNL di scelta assume che la probabilità della razionalità di scelta, di un'alternativa rispetto ad altre, non è influenzata dalla presenza o dall'assunzione di qualche addizionale alternativa nel set considerato.

(Semi-Markov) (\*\*) ed i modelli di soglia (\*\*\*)).

### 2.1.5. APPROCCIO DI ATTIVITA'

Come già visto, negli ultimi anni c'è stata una considerevole estensione della considerazione del comportamento come base per la modellizzazione della domanda di spostamento.

Spesso, il comportamento individuale è preso come punto di partenza dell'analisi. Anche se i modelli convenzionali aggregati sono stati completati con l'introduzione dei modelli disaggregati, in questi ultimi esiste comunque, nella maggior parte dei casi, la nota sequenzialità (generazione, attrazione ecc.). In pratica, il compor

---

(\*\*) In questa famiglia di modelli è necessario definire il set di stati che un individuo potrà occupare nelle varie situazioni temporali. Il processo, quindi, definisce la probabilità per l'individuo di trovarsi in un dato stato al tempo  $t$ , oppure, dato il numero totale di individui nei vari stati al tempo  $(t-1)$ , il modello stimerà il loro numero in ogni stato al tempo  $t$ , basandosi sulla matrice di probabilità di transizione. Si veda, in proposito, Gilbert, Peterson e Linne (1972), Gilbert (1973), Burnett (1974).

(\*\*\*) I modelli di soglia sono basati, rispetto ai modelli MNL, su differenti assunzioni in ordine ai processi di scelta individuali anche se considerano le procedure di massimizzazione dell'utilità.

Il punto di partenza è la considerazione che gli individui non reagiscono continuamente ai cambiamenti negli attributi, ma solo ad un certo livello di soglia. Si veda, in proposito, De Janosi (1956), Simon (1957), Devletoglu (1963, 1971), Tversky (1972), Wilson (1976), Krishnan (1977).

tamento nello spostamento è isolato dalle altre attività umane ed è analizzato separatamente.

L'alternativa a queste premesse è prendere il cam pione totale di attività degli individui come pun to di partenza e considerare così lo spostamento come una domanda derivata: è quanto avviene nell'approccio di attività.

La base di questi studi è, infatti, la registrazione e descrizione delle attività di spostamento sulla base di comportamenti rilevati. Interes se primario è posto nelle relazioni tra i proces si e le condizioni sociali, tecniche, economiche e fisiche e, soprattutto, nella rilevazione della struttura del sistema dei vincoli.

Lo spostamento in sè non ha senso, ma è il com pletamento necessario per la prestazione di atti vità in differenti tempi e luoghi.

Qualche passo nella direzione citata è stato com piuto, e questi progressi sono stati riassunti da Jones (1977); come ad esempio:

- 1) studio del tempo per tipi di attività e colle gamento alle caratteristiche socio-economiche;
- 2) visione del tempo come risorsa da allocare in accordo ai principi di massimizzazione dell'u tilità. Sono stati intrapresi vari tentativi per delineare una teoria formale (Bruzelius, 1978);

3) studio dei movimenti degli individui nel tempo e nello spazio.

Possono essere utilizzate varie tecniche per osservare i campioni di attività, quali le tecniche di ottimizzazione (Jones, 1977) e i modelli stocastici (Westelius, 1973).

Oltre a quelli citati, altri studi di rilievo sono: Chapin (1974), Hagerstrand (1974), Cullen e Godson (1975), Hensher, Leod e Stanley (1975), Jones (1975, 1976a, 1976b), Hensher (1976), Kobayasky (1976), Lentorp (1976), Van der Hoorn (1979).

#### 2.1.6. MODELLI CONTINUI URBANI

In parte per reazione alla grande quantità di dati usati nei modelli discreti descritti precedentemente, una scuola di modellizzazione, parallela, ma in qualche modo isolata dalle altre, ha sviluppato lo studio dei modelli "continui". Sono di esempio i lavori di Clark (1951), Smeed (1968), Blumenfield, Srager, Weiss (1975) e Vaughan (1975).

Questi modelli sono basati sulla rappresentazione idealizzata di un'area urbana. Le linee salienti di questa metodologia sono date dalla grande

economicità di dati e di risorse di calcolo.

Le limitazioni risiedono nella superficialità della metodologia stessa, che tratta modelli generali di spostamento senza alcuna specificità di rete o di zona. Questo approccio, quindi, non permette di investigare a livello di singolo "link" di rete. Inoltre, non sempre è supportato da una base di analisi comportamentale. Si veda, in proposito, Goodwin, Hensher (1978).

Un approccio invece usato più ampiamente per lo studio di politiche ed applicato specialmente alle aree centrali di città è quello dei "modelli globali", i quali approssimano l'intera area con un piano uniforme. Per questa scuola, si vedano i lavori di Smeed e Wardrop (1964) e Webster (1968).

Infine, degno di nota è lo studio dei modelli semplificati che sono una via di mezzo tra i modelli continui e l'approccio di rete, come ad esempio il Transport Road Research Laboratory Model Cristal. Per quest'ultimo, si veda Tanner ed altri (1973).

### 2.1.7. MODELLI DIRETTI DI DOMANDA

In contrapposizione alla categoria dei modelli urbani di trasporto definiti precedentemente, nei quali i vari aspetti del processo di domanda di spostamento sono separati in sottomodelli individuali, c'è un'altra categoria di modelli di domanda di spostamento, indicata in genere come "modelli diretti di domanda", nella quale le fasi del processo di generazione ed attrazione, distribuzione tra zone e scelta modale, sono combinate in un singolo modello di domanda. Come gli altri modelli, anche questi modelli si differenziano a seconda dello scopo e del particolare impiego dei dati osservati attraverso aggregazioni geografiche.

Al riguardo, interessanti esempi di modellizzazione sono: Kraft-SARC Model (del 1963), Quandt-Baumol abstract Mode model (del 1966), Blackburn model (del 1969), Charles River Associates Bay Toll model (del 1967). Questa classe di modelli usa come unità di osservazione il numero di viaggi osservati per scopo e per modo di trasporto tra coppie di zone. Con questo approccio si fa a meno del modello di distribuzione e, inoltre, si separa il modello di ripartizione modale. Come variabili, questa metodologia considera una qualche misura delle caratteristiche socio-economiche delle zone di origine, la misura dell'attra-

zione delle zone di destinazione e la misura delle prestazioni delle alternative di trasporto tra loro in competizione.

## 2.1.8. L'ANALISI COMPORTAMENTALE

### 2.1.8.1. LO SPOSTAMENTO COME ESEMPLIFICAZIONE DEI COMPLESSI COMPORTAMENTI UMANI

Come già visto, le teorie micro-economiche di domanda studiano comunemente il comportamento nello spostamento per mezzo di modelli di iterazione spaziale o modelli logit di scelta.

Nei recenti lavori di Burnett e Hanson (1979), Burnett (1980), Burnett e Ellerman (1981), Burnett e Hanson (1982) si propone di ammettere una maggiore complessità nelle variabili dipendenti che definiscono nella modellizzazione il comportamento, focalizzando la scala dei diversi gruppi umani.

In questi studi si intende lo spostamento come l'esemplificazione di complessi comportamenti umani in situazioni di vincoli spaziali. Nello studio del comportamento nello spostamento, Burnett e Hanson (1982) individuano le seguenti tipologie:

a) comportamenti abitudinari;

- b) comportamenti evitati;
- c) comportamenti vincolati (istituzionali);
- d) manifestazioni di scelta.

In letteratura, invece, il comportamento nello spostamento è in genere individuato semplicemente attraverso opportune registrazioni e classificazioni degli spostamenti. Si vedano ad esempio: Adler e Ben-Akiva (1974), Lentorp (1976), Pred (1978), Horowitz (1979), Pred (1980).

Non individuare correttamente un comportamento in un progetto di pianificazione può evidentemente determinare uno spreco di risorse. Occorre, quindi, fare riferimento alle differenti cause, cioè riuscire a distinguere il comportamento secondo le precedenti categorie.

Inoltre, nella pianificazione, l'assunzione del comportamento quale risultato di razionali ed individuali scelte economiche è riduttiva. Lo spostamento deve essere considerato come un campione complessivo e non come una sequenza di differenziate scelte di viaggio. Questo campione complessivo potrà diversificarsi all'interno dei diversi gruppi di popolazione. Potrà forse risultare condizionato più da specificità dell'ambiente e da fattori psicologici che da criteri di massimizzazione dell'utilità o da altri criteri economici. A questo riguardo, si veda: Horton e Rey-

nolds (1971).

Soprattutto nei modelli di scelta e nei modelli di interazione spaziale rimane la tendenza a trattare individui e gruppi come entità indipendenti senza tener conto degli effetti competitivi per l'utilizzo di beni.

Burnett e Hanson (1982) individuano la seguente formalizzazione per un modello di comportamento nello spostamento:

$$P_i(j) = \frac{f(x_j, s_i)}{\sum_{j=1}^n f(x_j, s_i)} \quad n \geq 2 \quad (1)$$

dove:

$P_i(j)$ : è la probabilità per gli individui  $i$  di scegliere alternative  $j$  (con  $n$  numero alternative  $\geq 2$ );

$x_j$ : è il set degli attributi misurabili delle alternative;

$s_i$ : è un vettore delle caratteristiche socio-economiche degli individui.

La (1) è soggetta al vincolo probabilistico dato dall'equazione strutturale:

$$P_i(j) = P_i(j \in A) \quad P_i(j|j \in A) \quad (2)$$

dove:

$P_i(j|j \in A)$  rappresenta i modelli normali di de  
cisione indicata da (1);

$P_i(j \in A) = f(V_i)$  è un modello di scelta casuale  
 e contiene il vettore delle va-  
 riabili ( $V_i$ ) (vincoli) che defi-  
 niscono le probabilità delle dif-  
 ferenze alternative (A).

Il modello (1) è stato preso in esame per preve-  
 dere i vari viaggi assegnati a differenti alter-  
 native di modo e di destinazione.

Il modello (2) si associa a più realistiche spie-  
 gazioni dei comportamenti umani. Permette di mi-  
 surare la complessità dei comportamenti, di de-  
 terminare se sono soggetti ad abitudini o a scel-  
 te vincolate, cioè, in altri termini, di indivi-  
 duare se rispondono alle tipologie comporta<sup>ta</sup>  
 li definite precedentemente ed inoltre permetue  
 di scoprire i relativi effetti che si determina-  
 no sulle variabili strutturali e di decisione e  
 sulle strategie nei movimenti.

Attraverso le funzioni (1) e (2) possono essere  
 incorporati nella modellizzazione i comportamen-  
 ti strutturali e personali di lungo e breve pe-  
 riodo, di macro e micro causa.

Altri lavori alternativi in merito alle variabili strutturali dell'uso del suolo sono: Cox (1980), Papageorgiou e Smith (1980), Pred (1980), Reiner e Wolpert (1980), Scott (1980) e Teitz (1980).

#### 2.1.8.2. ANALISI DELLE "INTENZIONI" DI SPOSTAMENTO

Partendo dalla considerazione emergente che il comportamento è una funzione di molteplici cause, Hensher e Louvière (1979) propongono un approccio alternativo per la comprensione del comportamento nello spostamento mediante l'uso di metodi sperimentali di analisi del comportamento, verificato in rapporto alle modificazioni nel livello del servizio nella struttura dei trasporti. Questo nuovo approccio contribuisce alla conoscenza dei processi di scelta e permette di migliorare la specificità dei modelli per quel che attiene il comportamento.

Le analisi, che ne risultano, favoriscono considerazioni sulla forma funzionale dei modelli di scelta, sull'elasticità della domanda di spostamento valutata in rapporto alle variazioni nei costi e nei tempi e, infine, permettono la definizione di probabilità di comportamento.

Interesse primario di questi studi è l'analisi della sensibilità dell'intenzione di comportamento

to rispetto ai cambiamenti nelle varie combina-  
zioni degli attributi di trasporto.

Viene definito un modello matematico che mette in  
relazione le variazioni negli attributi di tra-  
sporto con le variazioni nelle intenzioni di spo-  
stamento. Gli attributi sono costituiti dalle in-  
formazioni sul sistema: gli individui integrano e  
combinano queste informazioni ed esprimono un'in-  
tenzione di comportamento.

In conclusione, la metodologia permette un'analisi  
di sensibilità delle intenzioni di comporta-  
mento in presenza di semplici o combinati cambi  
negli attributi di trasporto.

Altri interessanti lavori su questa nuova linea  
di pensiero, che fa soprattutto riferimento a stu-  
di nel campo della psicologia, si trovano in: Hen-  
sher e McLeod (1972), Louvière, Wilson e Piccolo  
(1977), Lerman e Louvière (1978), Louvière (1978),  
Levin (1979), Louvière (1979), Louvière (1981).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Adler T., Ben-Akiva M. (1974) A Joint Frequency, Destination and Mode Choice Model for Shopping Trips, Transportation Research Rec., 569, 136-150.
- Beesley M.E. (1965) The Value of Time Spent Travelling: Some New Evidence, Economia, 32, 174-185.
- Ben-Akiva (1973) The Structure of Passenger Travel Demand Models, Unpublished PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Institute of Tecnology, Mass.
- Blumenfeld D.E., Srager R.I., Weiss G.H. (1975) Spatial Distributions of Homes for Journeys to Work by Different Modes of Transport, Transportation Research, 9, 19-23.
- Brand D. (1972) Theory and Method in Land Use and Travel Forecasting, Paper presented at the Highway Research Board.
- Bruzelius N. (1978) The Value of Travel Time Theory and Measurement, Skrift n. 1978, 3. Stockholm: National Ekonomiska Institutionen Stockholms Universitet.
- Burnett K.P. (1974) A Three - state Markov Model of Choice Behaviour within Spatial Structures, Geographical Analysis, 6, 53-68.
- Burnett K.P. (1980) Spatial Constraints-oriented Approaches to Movement, Micro-economic Theory and Urban Policy, Urban Geography, 1.
- Burnett K.P., Ellerman B.R. (1981) New Methodologies for Modelling the Travel Behavior of Diverse Human Groups in American Cities, Annual TRB Meetings, Washington, D.C., Transportation Research Rec.
- Burnett K.P., Hanson S. (1979) A Rationale for an Alternative Mathematical Paradigm for Movement as Complex Human Behavior, Transportation Research Rec., 723, 11-24.

- Burnett K.P., Hanson S. (1982) The Analysis of Travel as an Example of Complex Human Behavior, in Spatial - con - trained Situations: Definition and Measurement Issues, Transportation Research, 16, 87-102.
- Chapin F.S. (1974) Human Activity Patterns in the City: Things People do in Time and Space, Wiley, New York.
- Charles River Associates (1967) A Model of Urban Passenger Travel Demand in the San Francisco Metropolitan Area, Report prepared for the California Division of Bay Toll Crossing, Cambridge, Mass..
- Clark C. (1951) Urban Population Densities, Journal of the Royal Statistical Society A, 114.
- Cox K.R. (1980) Location and Public Problems: A Political Geography of the Contemporary World, Maaroufa, Chicago.
- Cullen I., Godson V. (1975) Urban Networks: the Structure of Activity Patterns, Progress in Planning, 4, 1.
- De Janosi P.E. (1956) Factors Influencing the Demand for the New Automobiles: A Cross-section Analysis, Unpubli - shed Ph. D. Thesis, University of Michigan, Department of Economics.
- Devletoglu N.E. (1963), Threshold and Rationality, Kyklos, 21, 4.
- Devletoglu N.E. (1971) Threshold and Transaction Costs, Quarterly Journal of Economics, 85, 163-170.
- Domencich T., Kraft G., Valette J. (1968) Estimation of Urban Passenger Travel Behavior: An Economic Demand Model, Highway Research Board, Record 238, 64-78.
- Domencich T., Mc Fadden D. (1974) Urban Travel Demand. A Behavioural Analysis, North Holland, Amsterdam.
- Fairhurst M.H. (1975) Public Transport and Car Ownership, Journal of Transport Economics and Policy, 9.

- Fairhurst M.H., Lindsay J.F., Morris P.J. (1975) An Analysis of the Fares Revision Introduced on 23 March 1975, Economic Research Report R218, London.
- Fertal M., Weiner E., Balek A., Sevin A. (1966) Modal Split, U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, D.C..
- Fried M., Havens J., Thall M. (1977) New Approach to Understanding Travel Behaviour, Boston College, Boston.
- Gaudry M.J.I. (1975) An Aggregate Time-series Analysis of Urban Transit Demand: The Montreal Case, Transportation Research, 9, 249-258.
- Gaudry M.J.I. (1982) Functional Form and Stochastic Specification: Current Applications to Aggregate Time-series and Cross-sectional Travel Demand Models, Paper presented at the First Course on Transportation Planning Models, Amalfi, Italy.
- Gilbert C.G. (1973) Semi - Markov Processes and Mobility, Journal of Mathematical Sociology, 3.
- Gilbert C.G., Peterson G.L., Linne D.W. (1972) Towards a Model of Travel Behaviour in the Boundary Waters Canoe Area, Environment and Behaviour, 4, 57-131.
- Goodwin P.B., Hensher D.A. (1978) The Transport Determinants of Travel Choices: An Overview, in Hensher, Dalvi (eds.) (1978), 1-65.
- Hagerstrand T. (1970) What about People in Regional Science?, Papers of the Regional Science Association, 24, 7 - 24.
- Hagerstrand T. (1974) the Impact of Transport on the Quality of Life, Fifth International Symposium on Theory and Practice in Transport Economics (Athens), OECD, Paris.
- Hartgren D., Tanner G. (1970) Behavioral Model of Mode Choice, Preliminary Report, New York State Department of Transportation, Albany, N.Y..

- Hartgren D., Wachs M. (1974) Disaggregate Travel Demand Models for Special Context Planning: a Disserting View, in Stopher, Meyburg (eds.) (1974).
- Heggie I.G. (1976a) A Diagnostic Survey of Urban Journey-to-work Behaviour, in Heggie, (ed.) (1976b).
- Heggie I.G. (ed.) (1976b) Model Choiche and the Value of Time, Oxford University Press, Oxford.
- Heggie I.G., Jones P.M. (1978) Defining Domains for Models of Travel Demand, Research M.S. Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.
- Hensher D.A. (1976) The Structure of Journeys and Nature of Travel Patterns, Environment and Planning A, 8, 655-672.
- Hensher D.A., Dalvi M.Q. (eds.) (1978) The Determinants of Travel Choiche, Teakfield Publishing Limited, Farnborough, England.
- Hensher D.A., Louvière J.J. (1979) Behavioural Intentions as Predictors of Very Specific Behaviour, Transportation, 8, 167-182.
- Hensher D.A., Mc Leod P.B. (1972) Towards an Integrated Approach to the Identification and Evaluation of the Transport Determinant of Travel Choice, Transportation Research, 2, 77-93.
- Hensher D.A., Mc Leod P.B., Stanley J.K. (1975) Usefulness of Attitudinal Measures in Investigation the Choice of Travel Mode, International Journal of Transport Economic 2, 2, 51-75.
- Hensher D.A., Stopher P.R. (eds.) (1979) Behavioural Travel Modelling, Croom Helm, London.
- Horowitz J. (1979) A Utility Maximizing Model of the Demand for Multi-destination non-Work Travel, (mimeo), Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

- Horton F.E., Reynolds B.R. (1971) Effects of Urban Spatial Structure on Individual Behaviour, Economic Geography, 47, 36-48.
- Jones P.M. (1975) Modelling Travel Behaviour in an Human Activity Framework, Transport Studies Unit, Research Note 1, Oxford.
- Jones P.M. (1976a) A Gaming Approach to the Study of Travel Behaviour using Human Activity Approach, Transport Studies Unit, Working Paper 18, Oxford.
- Jones P.M. (1976b) Travel as a Manifestation of Activity Choice: Trip Generation Reinterpreted, Transport Studies Unit, Working Paper 14, Oxford.
- Jones P.M. (1977) Forecasting Family Response to Changes in School Hours: An Explanatory Study Using HATS, Paper presented to Urban Transport Studies Group Annual Conference, Glasgow University.
- Jones P.M. (1979) New Approach to Understanding Travel Behaviour. The Human Activity Approach, Transport Studies Unit, Working Paper 28, Oxford University, Oxford.
- Kemp M.A. (1973) Some Evidence on transit Demand Elasticities, Transportation, 2, 25-52.
- Kobayasky K. (1976) An Activity Model: A Demand Model for Transportation, Transportation Research, 10, 105-110.
- Koppelman F. (1982) The Application of Disaggregate Choice Models to Travel Demand Forecasting: Issues and Methods, Paper presentet at the First Course on Transportation Planning Models, Amalfi, Italy.
- Kraft G. (1963) Demand for Intercity Passenger Travel in the Washington Boston Corridor, Part V, Northeast Corridor Project, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C...
- Krishnan K.A. (1977) Incorporating the Concept of Minimum Perceivable Difference in the Logit Model, Management Science.

- Lentorp B. (1976) Paths in Space - Time Environment . A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, University of Lund, Sweden.
- Lerman S.R. (1982) Recent Advances in Disaggregate Demand Modelling, Paper presented at the First Course on Transportation Planning Models, Amalfi, Italy.
- Lerman S.R., Louvière J.J. (1978) On the Use of Functional Measurement to Identify the Functional Form of Utility Expression in Travel Demand Models, Transportation Research Rec., 673, 78-86.
- Levin J.P. (1979) The Development of Attitudinal Modelling Approaches in Transportation Research, in Hensher, Stopher (eds.) (1979), 758-781.
- Lisco T. (1967) The Value of Commuters' Travel Time: A Study in Urban Transportation, Unpublished Ph.D. Dissertation Department of Economics, University of Chicago, Chicago, Ill..
- Louvière J.J. (1978) Psychological Measurement of Travel Attributes, in Hensher, Dalvi (eds.) (1978), 148-185.
- Louvière J.J. (1981) A Conceptual and Analytical Framework for the Analysis of Spatial on Travel Choice, Economic Geography, special edn.
- Louvière J.J., Wilson E.M., Piccolo J.M. (1977) Application of Psychological Measurement and Modelling to Behavioural Travel Demand Analysis, Research Paper 2, Centre for Behavioural Studies, Institute for Policy Research, University of Wyoming, Laramie, Wyoming.
- Louvière J.J., Attitudinal Measurement, and the Relationship between Attitudes and Behaviour in Hensher, Stopher (eds.) (1979), 782-794.
- Luce R.D. (1959) Individual Choice Behaviour, Wiley, New York.

- Manheim M. (1970) Fundamental Prospectus of Systems of Demand Models, M.I.T., Discussion Paper, T70-1 (initial draft).
- Mc Fadden D. (1968) The Revealed Preferences of a Government Bureaucracy, Technical Report W-17, Institute of International Studies, University of California, Berkeley.
- Mc Fadden D. (1973) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, Working Paper 199/BART 10, University of California, Berkeley.
- Mc Fadden D. (1977) Quantitative Methods for Analyzing Travel Behavior of Individuals: Some Recent Developments, Working Paper 7704, Institute for Transportation Studies, Berkeley.
- Mc Gillivray R.G. (1967) Binary Choice of Transport Modes in the San Francisco Bay Area, Ph. D. Dissertation, Department of Economics, University of California, Berkeley.
- Olfeld R. (1974), Elasticities of Demand for Travel, Supplementary Report 116 U.C., Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, England.
- Papageorgiou G.J., Smith I.R. (1980) Spatial Equilibria with Externalities: Existence and Uniqueness. Paper presented at Annual Meetings, Association of American Geographers, Louisville.
- Pred A. (1978) The Impact of Technological and Institutional Innovation on Life - content: Some Time-geographic Observation, Geographical Analysis, 10, 345-372.
- Pred A. (1980) Time Geographic View of Individual Behaviour in its Societal Context, Paper presented at First World Regional Science Congress, Harvard University, Harvard.
- Quandt R.E. (ed.) (1972) Studies in Travel Demand, Lexington Books, D.C. Heath, Lexington, Mass..

- Quandt R.E., Baumol W.L. (1968) The Demand for Abstract Transport Modes: Theory and Measurement, Journal of Regional Science, 6, 13-26.
- Quarmby D.A. (1967) Choice of Travel Mode for the Journey to Work: Some Findings, Journal of Transport Economics and Policy, 1, 273-324.
- Rassam P., Ellis R., Bennett J. (1971) The N - dimensional Logit Model: Development and Application, Highway Research Record 369, 135-147.
- Reichman S., Stopher P. (1971) Disaggregate Stochastic Models of Travel-mode Choice, Highway Research Record 369, 91-103.
- Reiner T., Wolpert J. (1980) Philantropy and Metropolitan Growth, Paper presented at the First World Regional Science Congress, Harvard University, Harvard.
- Richards M.G., Ben-Akiva M. (1975) A Disaggregate Travel Demand Model, D.C. Heath Limited, Farnborough.
- Scott A.J. (1980) Location Dynamics and Patterns of Industries in Large Metropolitan Regions. Paper presented at First World Regional Science Congress, Harvard University, Harvard.
- Senior M.L., Williams H.C.W.L. (1977) Model-based Transport Policy Assesment: 1. The Use of Alternative Forecasting Models, Traffic Engineering and Control, 18, 402-406.
- Shepherd L.E. (1972) An Econometric Approach to the Demand for Urban Passenger Travel, Proceedings of Australian Road Research Board Bi Annual Conference, 6.
- Simon H.A. (1957) Models of Man, Wiley, New York.
- Smeed R.J. (1968) Traffic Studies and Urban Congestion, Journal of Transport Economics and Policy, 2, 33-70.

- Smeed R.J., Wardrop J.G. (1964) An Explanatory Comparison of the Advantages of Cars and Buses, Institute of Transport Journal.
- Stopher P.R., Lisco T. (1970) Modelling Travel Demand: A Disaggregate Behavioral Approach-Issues and Applications, Transportation Research Forum Proceedings, 11, 195-214.
- Stopher P.R., Meyburg A.H. (eds.) (1974) Behavioural Demand Modelling and Valuation of Travel Time, Transportation Research Board, Special Report 149, Washington D.C..
- Stopher P.R., Meyburg A.H. (eds.) (1976) Behavioral Travel Demand Models, Lexington Books, D.C. Heath, Lexington, Mass..
- Talvitic A. (1973) A Direct Demand Model for Downtown Work Trips, Transportation, 2, 121-152.
- Tanner J.C. et al. (1973) Development and Calibration of the Cristal Transport Planning Model, Report LR 574, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, England.
- Teitz M. (1980) Small Business and the Theory of Local Economic Development. Paper presented at First World Regional Science Congress, Harvard University, Harvard.
- Travers Morgan R. and Partners (1974) Air Travel Demand Forecasts - Second Sidney Airport Study, Unpublished Report, Sidney.
- Tversky A. (1972) Elimination by Aspects: a Theory of Choice, Psychological Review, 79, 99-281.
- Van Der Hoorn T. (1979) Travel Behaviour and the Total Activity Pattern, Transportation Research, 8, 309-328.
- Vaughan R.J. (1975) Optimum Distribution of Population within a Linear City, Transportation Research, 9, 25-29.
- Warner S.L. (1962) Stochastic Choice of Mode in Urban Travel: A Study in Binary Choice, Northwestern University Press, Evanston, Ill..

- Webster F.V. (1968) A Theoretical Estimate of the Effect of London Car Commuters Transferring to Bus Travel, Report LR 165, Road Research Laboratory, Berkshire, England.
- Westelius O. (1973) The Individual's Way of Choosing between Alternative Outlets, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm.
- Williams H.C. (1977) On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit, Environment and Planning A, 9, 285-344.
- Williams H.C. (1979) Travel Demand Forecasting - an Overview of Theoretical Developments, Working Paper 243, School of Geography, University of Leeds, Leeds, England.
- Wilson A.G. (1976) Catastrophe Theory and Urban Modelling An Application to Model Choice, Environment and Planning A, 8, 351-356.

## 2.2 UN METODO PER L'ANALISI DI SCENARI IN UN CONTESTO MULTIDIMENSIONALE

### 2.2.1. CONSIDERAZIONI METODOLOGICHE GENERALI

#### 2.2.1.1. INTRODUZIONE

Un'analisi su un sistema complesso, finalizzata alla costruzione di "scenari", deve possedere "capacità rappresentativa" dei fenomeni osservati: deve cioè poter condurre alla costruzione di un modello descrittivo-esplicativo dei fenomeni stessi. Essa pertanto deve avere alcuni caratteri essenziali:

- a) essere "globale", per non perdere di vista dimensioni determinanti nello sviluppo del fenomeno (Roy, 1974);
- b) essere al tempo stesso "sufficientemente dettagliata", per non perdere "sintomi", quantitativamente anche non rilevanti, ma qualitativamente essenziali per la comprensione di evoluzioni del fenomeno;
- c) non trascurare i problemi connessi con la formazione di nuove politiche e con l'attuazione delle scelte corrispondenti.

In questa ottica, i problemi che un'analisi comporta sono molto complessi.

Da un'analisi della letteratura sull'argomento (ad es. deMontgolfier, Bertier, 1978) risulta che una gran parte dei metodi adottati per le "previsioni" si ricollegano alla "tradizione econo-

mica", nell'ambito della quale l'analisi è riferita all'insieme dei "fatti economici" (processi di produzione, di scambio, di consumo di beni materiali e di servizi, ...). In questo ambito solitamente si opera su quantità di dati aggregati e si collegano misure di "domanda" (di qualche tipo) ad un insieme di "variabili indipendenti".

Da parte di molti autori si fanno diverse critiche ad un tale approccio (ad es. deMontgolfier, Bertier, 1978; Griguolo, Palermo, 1982), non ultima quella di separare artificiosamente i processi, definiti, economici dagli altri aspetti della vita sociale (vedere anche Rouget, 1981).

L'insieme dei "fatti economici", nella nostra società, è ben lungi dall'essere un "sistema chiuso". E' necessario ricordare che le decisioni di ordine economico dipendono dai rapporti di forza tra gli attori? Che i modi di vita dipendono strettamente dai vincoli imposti dalle condizioni della produzione: la concentrazione industriale induce l'urbanizzazione, i grandi spostamenti quotidiani, le migrazioni stagionali per le vacanze...? Che l'urbanizzazione, a sua volta, ha trasformato profondamente i rapporti familiari, gli stili di vita...?

Isolare nell'analisi i "fatti economici" dal contesto generale, se da un lato può talvolta esse

re comodo (dal punto di vista teorico e pratico), dall'altro può comportare il rischio di rinchiudere l'interpretazione dei fenomeni osservati in un quadro troppo semplificato.

A seconda degli scopi per cui gli "scenari" vengono sviluppati, della disponibilità di informazioni e dati e della struttura dei modelli utilizzati, l'analisi deve poter condurre a prendere in considerazione, accanto a "variabili" demografiche, socio-economiche, relative al sistema fisico, anche variabili di comportamento dei soggetti e variabili di decisione (controllo).

Modelli che non includano variabili di decisione, ad esempio, sembrano assolvere difficilmente al compito di valutare le conseguenze di politiche o di scelte; questi tipi di modelli sono utili a fornire una "spiegazione" dell'evoluzione "spontanea" del sistema, ma mancano tuttavia proprio nell'assumere (implicitamente) che il sistema sia "passivo" (Steinbruner, 1974).

Un'altra considerazione che si può fare relativamente ai lavori della letteratura è che, in generale, manca un "quadro concettuale" (o se esiste è eccessivamente semplificato) in grado di dare coerenza e qualità alla indagine empirica. In assenza di tale quadro, ogni sforzo su temi particolari può diventare poco rilevante e lo studio, anche se "razionale", rischia di non a-

vere alcuna possibile utilizzazione. A questo proposito non possiamo non rilevare l'ambiguità relativa al carattere di "razionalità" di molti studi: quando ci si pone all'interno di essi, cioè dal punto di vista della loro logica interna e della loro coerenza, essi appaiono razionali; ma, visti secondo un'ottica più ampia, la loro razionalità diventa soggetta a precauzioni quando essa implica ipotesi, spesso non formulate, che non corrispondono alla realtà: in altre parole essi mancano di "razionalità esterna", non sono coerenti con la realtà. Ora, gli elementi "più rilevanti" della realtà non sono necessariamente i più evidenti né i più facili da considerare in uno studio.

Se si accetta un'ottica di analisi, impostata sui caratteri indicati [ a), b), c)], l'idea di costruire un modello "globale", che sia articolato quanto è necessario e "coerente" esternamente e internamente, sembra imporsi.

Tuttavia essa non ci sembra proponibile per molte ragioni (ben note a chi si occupa di analisi empirica): basti pensare alla carenza di dati e alla insoddisfacente qualità di informazione adeguata.

D'altra parte, ai fini interpretativi, non pare utile proporre modelli di valutazione che risultino tra loro non compatibili o anche solo non

riferibili ai contesti reali delle decisioni (o perché i processi decisionali si sviluppano secondo principi di razionalità differenti da quelli supposti dai modelli o anche solo perché i parametri del modello hanno una incerta capacità interpretativa).

Tenendo conto soprattutto dei limiti di informazione e delle difficoltà di concettualizzazione, si può proporre una via intermedia; ragioni pratiche e concettuali non ci consentono tuttavia la sopravvalutazione dei contributi possibili.

#### 2.2.1.2. ASSUNZIONI

Volendo costruire un modello è indispensabile avere presente due punti:

- le funzioni dell'analisi;
- la corrispondenza con i problemi decisionali connessi.

Costruire un modello interpretativo equivale a costruire una rappresentazione, di un certo fenomeno in un certo contesto, che sia "credibile", almeno per l'osservatore che la costruisce, e "coerente" con il suo quadro concettuale (Jacquet-Lagrèze e altri, 1978). L'analisi deve evidenziare problemi "critici" e tendenze; le

previsioni, più che quantitative, devono essere strutturali-qualitative: esse devono tendere al la costruzione di "scenari" piuttosto che a calcoli e stime.

A tal fine, si propone di definire dei modelli parziali, che consentano di valutare, con un minimo di credibilità, le conseguenze di un insieme limitato di ipotesi, dal significato condiviso, e che siano perciò utili come "schemi" per approfondire altre ipotesi, meno facilmente formalizzabili entro uno schema unico e precostituito.

Non si tratta di costruire modelli complessi, ma tali da garantire la trasparenza dei significati e l'utilità dei risultati.

L'analisi del "sistema di trasporti" presuppone la disponibilità di un sistema informativo atto alla costruzione di un quadro delle strutture, del loro funzionamento e della loro evoluzione, e di un analogo quadro dell'utenza.

Per questo è importante innanzi tutto:

- 1) individuare alcune categorie concettuali su cui fondare il modello di analisi: dai dati reperibili occorre "estrarre" quelli atti ad esprimere informazioni relative ai problemi trattati (ad esempio, la mobilità);

- 2) elaborare "variabili" (o "indicatori"), relative rispettivamente alla "domanda" e all'"offerta", atte ad evidenziare fenomeni critici, da potenziare o da ridurre;
- 3) individuare "aree problematiche" da analizzare;
- 4) chiarire, se possibile, degli obiettivi a cui orientare l'analisi.

#### 2.2.2. DOMANDA, SCENARI

##### 2.2.2.1. DOMANDA

La strutturazione della "domanda" di servizi (non solo di trasporto) è storicamente indotta da una serie di fattori culturali e istituzionali, tra cui particolarmente rilevante è la struttura esistente dell'offerta (fenomeno di circolarità).

Un'analisi interpretativa della domanda non può ridurre l'individuazione di questa solo alla "utenza" (approccio che parte dai "portatori di domanda"), problematizzando l'indagine in termini di una "molteplicità di fattori" che caratterizzano i "bisogni", né far derivare i problemi da una preliminare definizione di obiettivi, che al contrario dovrebbero emergere contestualmente dalla individuazione dei problemi e dei relati-

vi indicatori.

La DOMANDA dovrebbe essere concepita come modalità di relazione tra due sistemi concettuali, non derivabili l'uno dall'altro; tale relazione non è definibile a priori con precisione, ma deve essere individuata all'interno della dialettica tra due "sottosistemi" empiricamente osservabili, gli "utenti potenziali" da un lato, le strutture di "offerta" dall'altro, per la descrizione dei quali devono essere precisate strategie metodologiche e strumentali adeguate. Dal punto di vista operativo, la differente natura dei due sottosistemi pone problemi di natura e complessità diverse.

Pare ovvio sottolineare che i sottosistemi e le loro relazioni si trasformano nel tempo.

#### 2.2.2.2. SCENARI

##### "Utenza potenziale"

Per la sua rappresentazione è importante individuare, in modo articolato, diversi fattori, relativi a condizioni sociali, economiche, occupazionali, culturali, insediative, ....; definire criteri di relazione tra i diversi fattori, al fine di costruire indicatori, che rendano empiricamente leggibili i "quadri problematici" (sce

nari di utenza potenziale).

Ognuno degli indicatori sarà l'output di un lavoro di modellizzazione, con una sua coerenza interna ed esterna, almeno relativamente al periodo t cui l'osservazione si riferisce.

### "Strutture di offerta"

L'analisi delle strutture sembra porre problemi metodologici meno complessi, anche se essa si scontra con i problemi di gestione e le politiche di trasformazione (scenari di offerta).

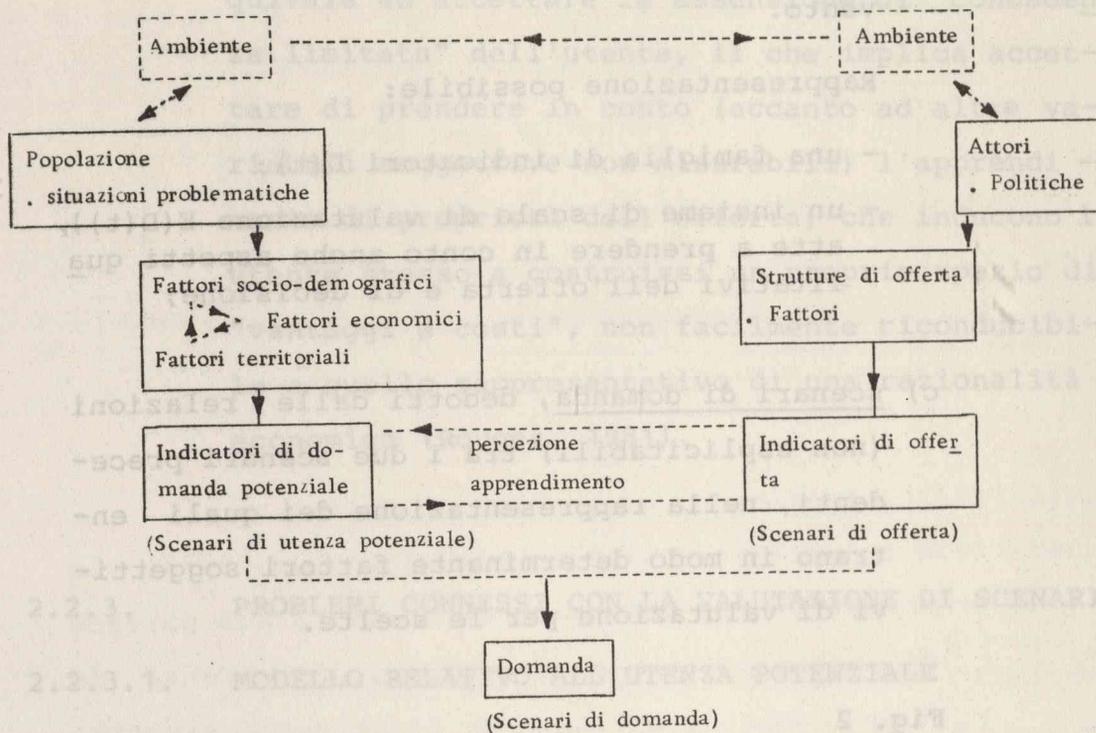
L'individuazione di scenari relativi alla "utenza potenziale" non è da sola sufficiente per la costruzione di "scenari di domanda", se non sono individuati i rapporti dell'utenza con l'offerta e con le politiche di intervento (scenari di offerta); ciò rende necessaria l'esplicitazione di connessi "scenari di comportamento", almeno parzialmente riconducibili ad obiettivi (o utilità) di attori determinati.

Lo schema concettuale suesposto è stato rappresentato in Figura 1.

In esso si possono riconoscere tre diversi tipi di scenari:

- a) scenari relativi all'utenza potenziale, dipendenti dalle possibili evoluzioni delle situazioni problematiche e dell'ambiente.

Fig. 1



Rappresentazione possibile (ad un tempo  $t$ ):

- una famiglia di indicatori  $I(t) = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}_t$

- un insieme di scale di valutazione  $E(I(t)) = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}_t$ , i cui "stati", e  $i_k \in E_i$  siano adatti a cogliere livelli marginali di problematicità;

b) scenari relativi all'offerta, dipendenti dallo stato attuale ( $t$ ) delle strutture, dallo

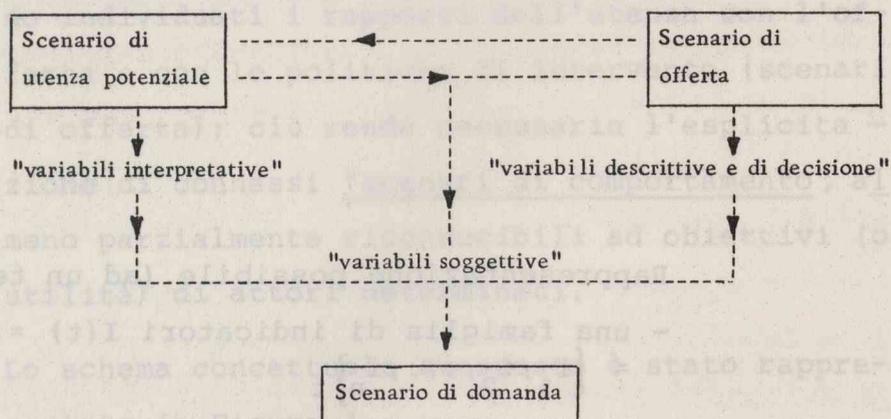
ro funzionamento e dalle politiche di intervento.

Rappresentazione possibile:

- una famiglia di indicatori  $D(t)$ ;
- un insieme di scale di valutazione  $E(D(t))$ , atte a prendere in conto anche aspetti qualitativi dell'offerta e di decisione;

c) scenari di domanda, dedotti dalle relazioni (non esplicitabili) tra i due scenari precedenti, nella rappresentazione dei quali entrano in modo determinante fattori soggettivi di valutazione per le scelte.

Fig. 2



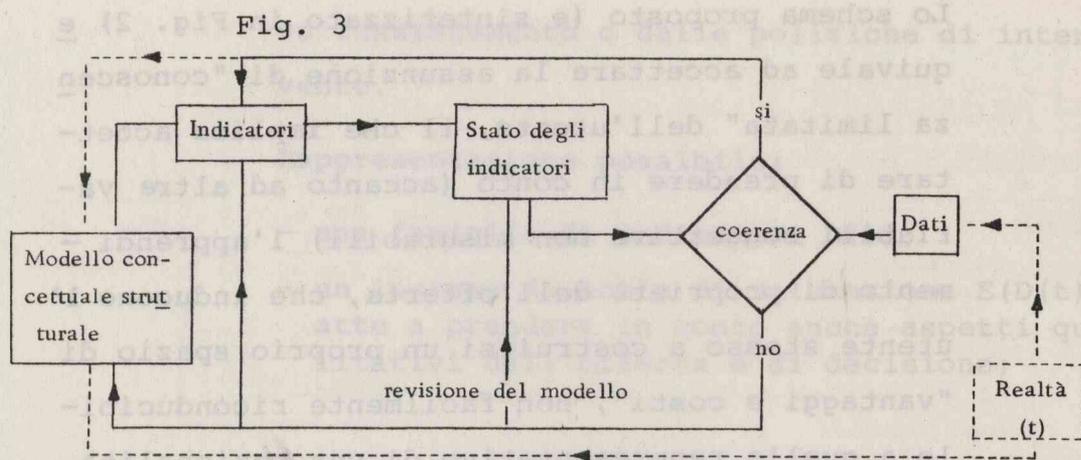
Lo schema proposto (e sintetizzato in Fig. 2) è equivalente ad accettare la assunzione di "conoscenza limitata" dell'utente, il che implica accettare di prendere in conto (accanto ad altre variabili soggettive non misurabili) l'apprendimento di proprietà dell'offerta, che inducono l'utente stesso a costruirsi un proprio spazio di "vantaggi e costi", non facilmente riconducibile a quello rappresentativo di una razionalità economica (Rouget, 1981).

### 2.2.3. PROBLEMI CONNESSI CON LA VALUTAZIONE DI SCENARI

#### 2.2.3.1. MODELLO RELATIVO ALL'UTENZA POTENZIALE

Come si è detto, l'output di questo modello è costituito dagli indicatori di utenza potenziale (Fig. 1). Dalla loro definizione concettuale-strutturale dipende la "capacità interpretativa" (coerenza esterna) del modello; questa non può essere recuperata mediante un processo di calibrazione, che secondo l'uso corrente impone l'introduzione di parametri di calibrazione (di incerta capacità interpretativa), a meno che tale processo non accetti la ridefinizione degli indicatori stessi (Fig. 3).

Per l'assestamento degli indicatori, e quindi del modello, viene utilizzato il concetto di "coerenza".



A seconda delle situazioni, questo concetto viene utilizzato diversamente: così si può parlare di coerenza interna ed esterna, di coerenza di comportamenti, di coerenza di progetti rispetto a politiche di piano (cfr.: ad esempio, Norese, 1981), di coerenza di un modello.

Fondato sugli assiomi della teoria razionale delle decisioni, esso è sostitutivo del concetto di ottimalità in casi in cui si assuma l'esistenza di un riferimento: "coerente"  $\sim$  "comportamento ottimale" rispetto ad obiettivi, fini, livelli, ... (espressi o implicitamente assunti).

Nel caso di un modello, il riferimento può essere duplice, costituito:

- da un riferimento concettuale [dipendente dal sistema informativo, di valori, di relazioni del modellizzatore (Jacquet-Lagrèze e altri,

1978)], a partire dal quale gli indicatori sono costruiti (deMontgolfier e Bertier, 1978; Griguolo e Palermo, 1982);

- da un sistema di dati.

La capacità del modello a riprodurre, entro limiti di errore accettati, i dati disponibili può essere assunta come misura di coerenza (anche se, in questa accezione, sarebbe più corretto il termine "congruenza").

In questa accezione, la capacità interpretativa delle variabili può essere del tutto irrilevante se manca il primo dei due riferimenti.

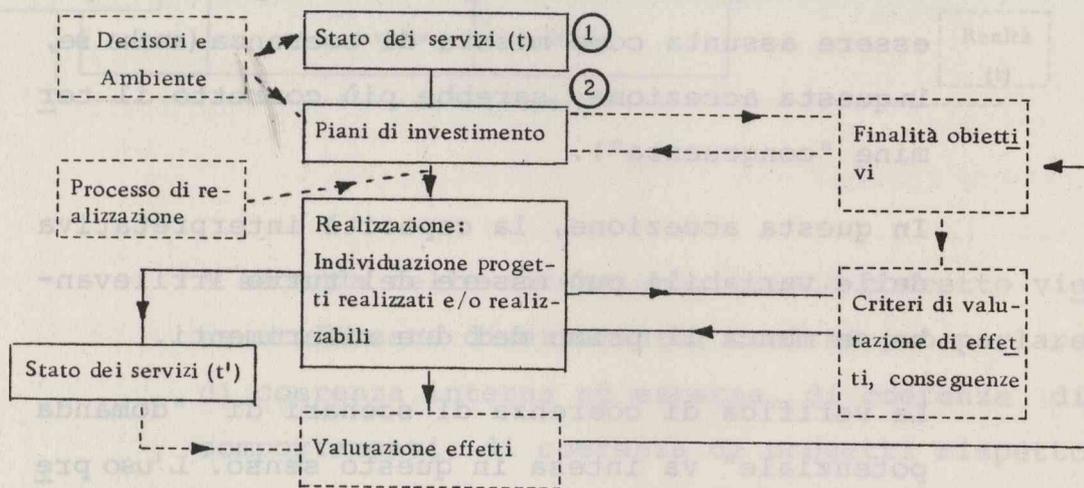
La verifica di coerenza di scenari di "domanda potenziale" va intesa in questo senso. L'uso preventivo del modello è comunque condizionato dalla capacità degli indicatori di cogliere l'evoluzione dei fattori, delle loro relazioni e non ultimo dei comportamenti dei soggetti.

#### 2.2.3.2. MODELLO RELATIVO ALL'OFFERTA

2.2.3.3. Nell'ambito dell'analisi dell'offerta, la verifica di coerenza (intesa nella penultima delle accezioni indicate) può essere fatta per valutare gli effetti, percepiti, prodotti dagli investimenti (misurati in termini di quantità, qualità migliore o diversa) rispetto alle politiche di piano.

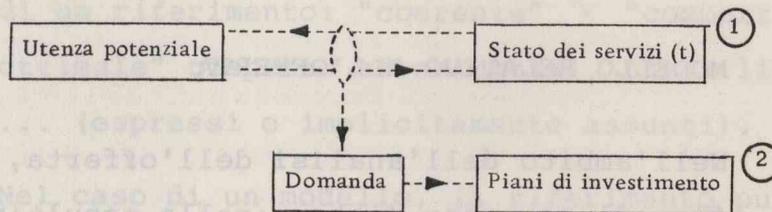
In Fig. 4 viene illustrato uno schema di verifica. Per una migliore comprensione degli aspetti operativi si rimanda a Merighi e Norese, 1980; Norese, 1981; Moscarola e Roy, 1977.

Fig. 4



Se si assume che i piani tengano conto della domanda, la Fig. 4 va integrata con la Fig. 5:

Fig. 5



Si possono verificare due situazioni:

a) i piani fanno esplicitamente o implicitamente riferimento al soddisfacimento della domanda: in questo caso, nell'insieme dei criteri di valutazione, alcuni devono esprimere la percezione di tale domanda (punto di vista dell'utente, accettato dai decisori dei piani).

Si può allora verificare in quale misura il punto di vista degli utenti incida sulle decisioni e come esso pesi rispetto ad altri punti di vista;

b) le politiche di piano, privilegiando altri punti di vista, non possono o non vogliono tenere conto della domanda attuale (effetto di "anticipazione", "programmazione" od altro).

Il punto di vista degli utenti va, in questo caso, preso comunque in considerazione: gli effetti per gli utenti possono servire come input per la valutazione dei comportamenti.

#### 2.2.3.3. MODELLO RELATIVO ALLA DOMANDA

Nel modello assunto (Fig. 1 e Fig. 2), la domanda è definita a partire dalle relazioni complesse tra il "sistema utenti" e il "sistema offerta".

Si è già detto come non sia corretto cercare di modellizzare in modo formale tali relazioni, tenuto conto soprattutto delle variabili soggettive, in parte derivate dal processo di apprendimento degli utenti.

La coerenza di comportamenti può essere valutata quindi sulla base di criteri imputati, di preferenza nelle scelte.

In quale misura questi criteri siano in grado di descrivere/spiegare i comportamenti osservati non è facile stabilire. I modelli esplicativi, sviluppati soprattutto nell'ambito della psicologia (ad esempio Srinivasan e Shocker, 1973), non sembrano operativamente applicabili al problema in esame, per ragioni di scala e di disponibilità di informazione adeguata.

Un modello recente (Jacquet-Lagrèze e Siskos, 1978), di tipo statico, sembra il più adatto; di esso proponiamo una estensione che ci sembra adatta a descrivere l'evoluzione nel tempo delle preferenze e quindi a formulare ipotesi di scenari di domanda.

#### 2.2.4. UN METODO PER LA COSTRUZIONE DI SCENARI DI DOMANDA

Il metodo che proponiamo è concepito per simulare il processo di evoluzione delle preferenze su

un insieme evolutivo di alternative,  $A(t)$ , (di comportamento, di scelta, ...),  $t = t_1, \dots, t_N$ .

Esso può essere utilizzato per stimare comportamenti futuri (scenari di domanda) in un tempo  $t'$ ,  $t' > t_N$ , in cui eventi previsti (economici, sociali, ...) consentano di assumere certe priorità sui criteri piuttosto che altre (trasformazione del sistema di valori, di informazione).

Il metodo è articolato in tre fasi:

Fase I: Per un valore fissato di  $t \in \{t_1, \dots, t_N\}$ , in questa fase:

- si fissano dei criteri;
- si stimano utilità (implicite) su un insieme  $A(t)$ ;
- si calcola un preordine di preferenza (\*),  $R'_t$  su  $A(t)$ ;
- si verifica la coerenza tra  $R'_t$  e un preordine  $R_t$  osservato (coerenza del modello, nel senso del par. 3.1.).

---

(\*) Preordine: relazione binaria su un insieme, dotata delle proprietà riflessiva e transitiva.

Preordine di preferenza: preordine in cui la relazione binaria è detta di preferenza. Nei casi di simmetria, la relazione tra coppie è detta "indifferenza". Nei casi in cui, tra coppie di elementi, la relazione non è verificata, si parla di "incomparabilità". In caso contrario si parla di "comparabilità".

Preordine totale: preordine in cui ogni coppia di elementi è comparabile.

Fase II: Per ogni  $t = t_1, \dots, t_N$ , in questa fase vengono assestate le utilità in funzione dell'evoluzione di  $A(t)$  e di  $R_t$ .

In questa Fase si assumerà stabile l'insieme,  $g$ , dei criteri, confermati si esplicativi nella Fase I; l'evoluzione dell'insieme delle alternative e di condizioni esterne (tali da indurre modifiche nella struttura di preferenza) inciderà sia sulle utilità calcolate (diverso andamento) sia sulle priorità tra criteri.

Fase III: Le due fasi precedenti possono essere utilizzate, dall'utente del metodo, come "processo di apprendimento" delle relazioni tra soggetti decisionali, offerta e ambiente, basato su una analisi delle modifiche di comportamento di fronte ad un insieme di alternative, che o rimane sostanzialmente invariato o subisce trasformazioni.

Se la funzione di apprendimento delle prime due fasi è svolta, in questa Fase possono essere fatte previsioni.

#### 2.2.4.1. FASE I

L'applicazione di questa Fase del metodo presuppone che:

- sia stato identificato un soggetto o un gruppo di soggetti, di cui si possano ragionevol-

mente ritenere "omogenee" (\*) le preferenze, in determinate situazioni problematiche;

- sia stato identificato un insieme di alternative (azioni potenziali, oggetti) sulle quali sono possibili le scelte;
- le alternative siano descritte in base ad un insieme di fattori (variabili descrittive) atti a rappresentarle, sui quali sono individuate delle scale per indicarne lo "stato" (a t, fissato).

In base a questi elementi viene costruita una Tabella descrittiva, A (Fig. 7).

Fig. 7: Tabella descrittiva delle alternative, A:

Criteri descrittivi	$d_1 \dots d_h \dots d_H$
Alternative	
$a_1$	
.	
.	
$a_i$	$a_{ih}$
.	
.	
$a_m$	

(\*) Termine improprio, ma sintetico, adottato per indicare una coerenza reciproca delle preferenze (dei soggetti) che il modello tenta di spiegare mediante insiemi, dotati di relazioni di preferenza, quali: criteri, livelli di riferimento sui criteri.

A partire dalla Tabella descrittiva  $A$ , è necessario definire una famiglia di criteri di preferenza su  $A$ ,  $g$  (che il modellizzatore assume, temporaneamente, come esplicativi). La famiglia deve essere costruita in modo da riflettere i diversi punti di vista dei soggetti, con particolare riferimento alla situazione problematica in esame.

Su ciascuno dei criteri,  $g_j, j = 1, \dots, n$ , viene introdotta una scala (quantitativa o qualitativa) in base alla quale ogni alternativa  $a_i$  di  $A$  viene valutata (può quindi trattarsi di "valutazione referenziale", Roy, 1974).

Fig. 8: Tabella valutativa della alternative,  $g(A)$ :

$g(A)$	$g_1 \dots g_j \dots g_n$
$a_1$	
.	
.	
$a_i$	$g_j(a_i)$
.	
.	
$a_m$	

Si presuppone inoltre di conoscere le preferenze dei soggetti sull'insieme delle alternative (che chiameremo  $A$ , attribuendo impropriamente ai soggetti-decisori la stessa conoscenza del modellizzatore).

Queste preferenze sono espresse mediante una relazione di preordine totale,  $R$ , su  $A$ , del tipo:

$$(1) R (\supseteq) : a_1 \supseteq a_2 \supseteq \dots \supseteq a_i \supseteq \dots \supseteq a_m,$$

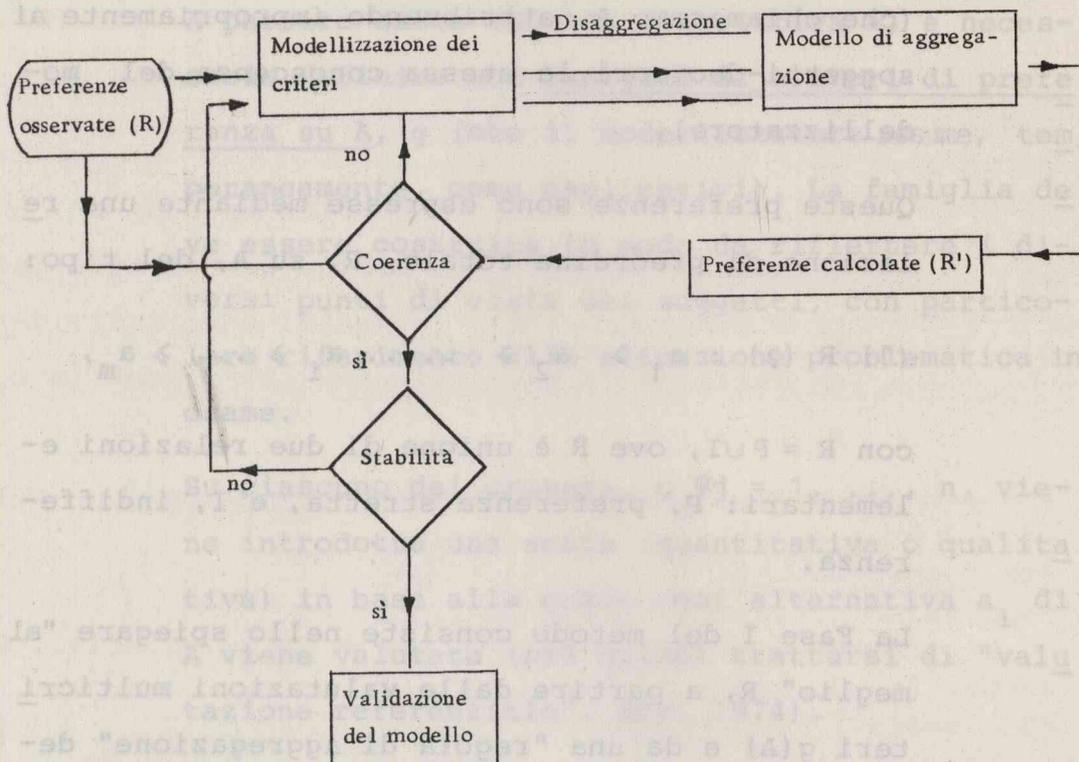
con  $R = P \cup I$ , ove  $R$  è unione di due relazioni elementari:  $P$ , preferenza stretta, e  $I$ , indifferenza.

La Fase I del metodo consiste nello spiegare "al meglio"  $R$ , a partire dalle valutazioni multicriteri  $g(A)$  e da una "regola di aggregazione" degli  $n$  criteri.

I criteri sono le variabili esplicative della relazione  $R$ .

L'espressione "al meglio" corrisponde ad un criterio di coerenza tra le preferenze osservate e i risultati del modello (Fig. 9).

Fig. 9



Basandoci sul metodo UTA I (Jacquet-Lagrèze e Siskos, 1978) assumeremo come regola di aggregazione una funzione di "utilità" additiva (\*), della forma:

(\*) L'additività di  $U(g)$ , legata all'indipendenza preferenziale dei criteri dovrebbe essere verificata (Keeney e Raiffa, 1975): questa verifica, già complessa per un individuo identificato, è impossibile nella modellizzazione di preferenze di gruppi di soggetti. In pratica, l'assunzione di additività può ragionevolmente essere fatta dal modellizzatore a seguito dell'analisi che conduce all'individuazione del gruppo di soggetti e di quella sulla situazione problematica.

$$(2) U(g) = \sum_{j=1}^n u_j(g_j) \text{ con } u_j \text{ utilità marginali sui criteri}$$

$$(3) U(g) = \sum_j u_j(g_j) p_j, \text{ con } u_j \text{ utilità marginali normalizzate,}$$

$$0 \leq u_j \leq 1, \text{ e } p_j \text{ pesi assegnati}$$

In questa Fase, il metodo stima le funzioni di utilità marginali, in base alla preferenza  $R$  e alle valutazioni  $g(A)$ .

Ogni funzione  $u_j$  è definita sulla scala  $E_j$ , di valutazione del criterio corrispondente  $g_j$ :

$$E_j = [\underline{e}_j, \bar{e}_j] \xrightarrow{u_j} u_j(g_j),$$

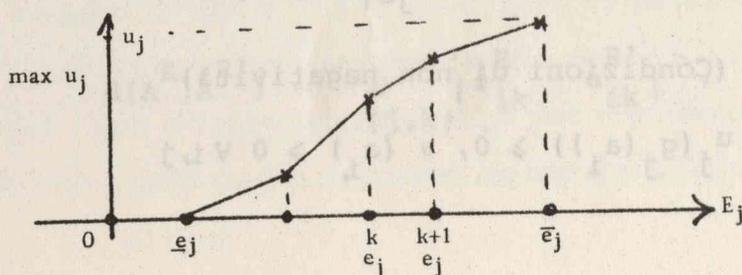
con  $\underline{e}_j$ : stato "meno preferito"

$\bar{e}_j$ : stato "più preferito".

Questa assunzione sulla scala implica l'assunzione di utilità monotone non decrescenti.

Si può assumere, senza restrizioni, che  $u_j(\underline{e}_j) = 0$  e accettare una forma lineare a pezzi per  $u_j$  (Fig. 10).

Fig. 10



La stima delle utilità è fatta in base alla risoluzione di un modello di Programmazione Lineare, (4), con il quale si cerca di mandare a zero delle variabili di errore,  $\sigma(a) \forall a \in A$ , introdotte per dare compatibilità a relazioni di preferenza, dedotte da R, espresse in termini di utilità:

$$(4) \text{ (Funzione di errore) } \min F = \sum_{i=1}^m \sigma(a_i)$$

(Relazioni di preferenza stretta)

$$a_i P a_{i+1} \Rightarrow \sum_{j=1}^n \left\{ u_j(g_j(a_i)) - u_j(g_j(a_{i+1})) \right\} + \sigma(a_i) - \sigma(a_{i+1}) \geq s$$

(Relazioni di indifferenza)

$$a_i I a_{i+1} \Rightarrow \sum_{j=1}^n \left\{ u_j(g_j(a_i)) - u_j(g_j(a_{i+1})) \right\} + \sigma(a_i) - \sigma(a_{i+1}) = 0$$

(Condizioni di monotonia)

$$u_j(e_j^{k+1}) - u_j(e_j^k) \geq s_j \quad \forall j, k = 1, \dots, m-1$$

(Condizioni di normalizzazione)

$$u_j(\bar{e}_j) \geq 0 \quad \forall j, \quad \sum_{j=1}^n u_j(\bar{e}_j) = 1$$

(Condizioni di non negatività)

$$u_j(g_j(a_i)) \geq 0, \quad \sigma(a_i) \geq 0 \quad \forall i, j$$

dove  $s$  ed  $s_j$  sono parametri di soglia, atti a caratterizzare la preferenza.

In base al modello (4) vengono calcolate le utilità marginali  $u_j$ ; quindi viene costruita la relazione  $R'$  su  $A$ , in base alla regola di aggregazione adottata, (2) o (3): perciò si avrà

$$a_i P a_{i+1} \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n u_j(g_j(a_i)) > \sum_{j=1}^n u_j(g_j(a_{i+1}))$$

$$a_i I a_{i+1} \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n u_j(g_j(a_i)) = \sum_{j=1}^n u_j(g_j(a_{i+1}))$$

La verifica di coerenza può essere fatta utilizzando un coefficiente di correlazione tra preordini: il preordine dato  $R$  e quello stimato  $R'$ .

Noi utilizzeremo il coefficiente  $\tau$  di Kendall (de Montgolfier e Bertier, 1978, pag. 124).

Il coefficiente di Kendall viene costruito a partire dalle matrici associate ai due preordini,  $A^R$  e  $A^{R'}$ . Una distanza tra i due preordini viene calcolata, in base alla differenza simmetrica,

$$d(A^R, A^{R'}) = \sum_{(j,k)} |a_{jk}^R - a_{jk}^{R'}|,$$

ove la sommatoria è estesa a tutte le coppie di alternative confrontate, e  $a_{ik}^R, a_{ik}^{R'} = 1$  o  $0$ , a seconda che nel grafo orientato corrispondente esista un arco tra  $a_i$  ed  $a_k$ .

Posto

$$d_k(A^R, A^{R'}) = 1/2 d(A^R, A^{R'})$$

si calcola  $\max d_k = \frac{m(m-1)}{2}$ , con  $m$  = numero di alternative, e si definisce il coefficiente di Kendall come:

$$\tau(A^R, A^{R'}) = 1 - 4 \frac{d_k(A^R, A^{R'})}{m(m-1)}$$

da cui risulta che  $\tau$  può variare tra  $-1$  e  $+1$ .

Se, indipendentemente dal fatto che  $\min F = 0$ , risulta un valore di  $\tau$  elevato (e comunque non negativo) si può ritenere soddisfacente il carattere esplicativo del modello. In questo caso si procede ad una analisi di sensibilità.

In caso contrario, si può pensare che i criteri non siano adeguati a riflettere le preferenze osservate e si torna ad una loro definizione.

L'analisi di sensibilità del modello viene condotta al fine di verificare se variazioni nei parametri  $s_i$  ed  $s_j$ , e perturbazioni sul livello ottimale  $F^*$ , della funzione di errore, non alte-

rano sensibilmente gli andamenti delle utilità marginali e quindi del preordine  $R'$ .

In questa analisi si può considerare che, essendo  $s$  la più piccola differenza di utilità tra due classi consecutive del preordine, il suo valore dipende dal numero  $Q$  di queste classi: così ad esempio si può accettare per  $4 \leq Q \leq 6$ ,  $0,01 \leq s \leq 0,1$ , e valori decrescenti di  $s$ , per  $Q$  crescente, tali che  $s \geq \sum_j s_j$ .

La Fase I del metodo è riassunta nello schema di Fig. 11.

Commenti allo schema di Fig. 11:

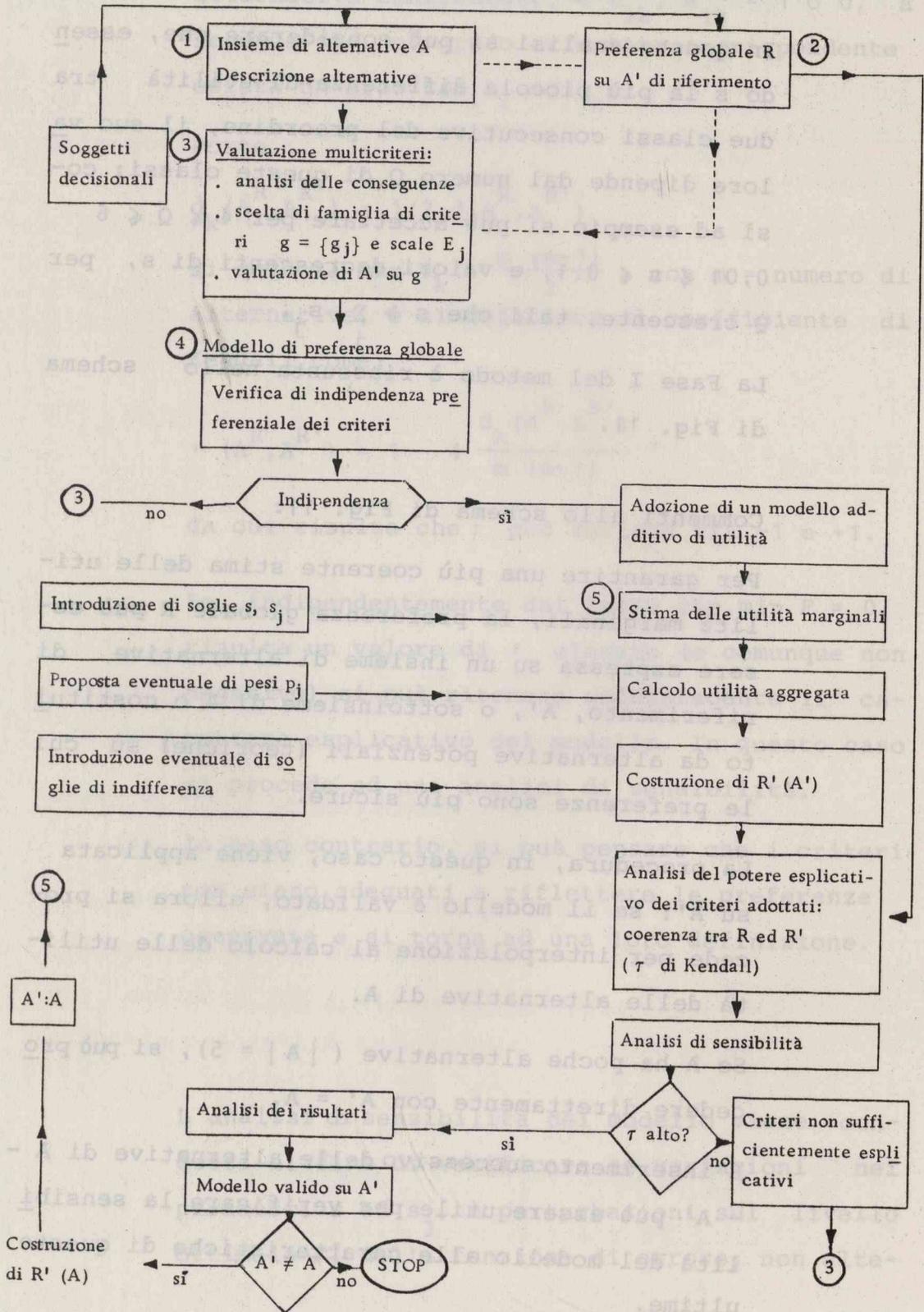
Per garantire una più coerente stima delle utilità marginali, la preferenza globale  $R$  può essere espressa su un insieme di alternative di riferimento,  $A'$ , o sottoinsieme di  $A$  o costituito da alternative potenziali (teoriche) su cui le preferenze sono più sicure.

La procedura, in questo caso, viene applicata su  $A'$ : se il modello è validato, allora si procede per interpolazione al calcolo delle utilità delle alternative di  $A$ .

Se  $A$  ha poche alternative ( $|A| = 5$ ), si può procedere direttamente con  $A' = A$ .

L'inserimento successivo delle alternative di  $A - A'$  può essere utile per verificare la sensibilità del modello alle caratteristiche di queste ultime.

Fig. 11: schema logico della Fase I



La fase I fornisce come output:

- Utilità marginali  $u_j$  sui criteri  $g_j$  (relative all'insieme A)
- pesi dei criteri  $P_j = \max u_j$  (funzione di  $g$  e di A)
- utilità aggregata  $U(A)$
- misura di coerenza del modello,  $\tau$ .

#### 2.2.4.2. FASE II

In questa Fase si cerca di stimare come si trasformano le utilità sui criteri, assestati come famiglia nella Fase I, e la rilevanza reciproca di questi ultimi nella formazione delle preferenze su insiemi  $A(t)$ ,  $t = t_1, \dots, t_N$ , eventualmente evolutivi.

Tenute ferme le assunzioni della Fase I, si richiedono come inputs le utilità marginali  $u_j(g_j)$ , normalizzate tra 0 ed 1.

Si ipotizza in sostanza che, nel tempo, per ragioni varie - cambiamento della situazione economica, delle condizioni socio-culturali, ... - i criteri di scelta, pur rimanendo globalmente validi, acquisiscano rilevanza diversa per i soggetti-decisori (evoluzione del sistema informativo, di valori).

Presupponendo quindi una sostanziale stabilità dell'insieme dei criteri, si assume che:

- l'evoluzione delle alternative-oggetto e del loro stato;
- l'evoluzione del sistema informativo e dei valori dei soggetti

incidano sulla percezione di utilità delle alternative e sulla priorità dei criteri, cosicché.

$$P_j = P_j(t)$$

$$u_j = u_j(t) \hat{=} p_j(t) u_j(g_j).$$

Nel passaggio da  $t$  a  $t+1$ , possono cambiare:

- l'insieme  $A$  e/o il suo stato ( $D$ )
- la percezione e valutazione dei soggetti ( $P$ ).

Le situazioni possibili, riassunte in Fig. 12, sono quattro:

N/N: I risultati di  $t$  sono assunti validi per  $t+1$ ;

C/N: si assume  $A(t)$  come insieme di riferimento per  $t+1$ ,  $A'(t+1) = A(t)$ , e si passa alla Fase I;

N/C: si può distinguere:

- a) cambiano le valutazioni di  $A(t)$ : esse vengono inserite in  $A'(t+1)$  e si passa

alla Fase I;

b) cambiano i comportamenti: le  $u_j(t)$  sono usate come inputs della Fase II;

C/C: si inserisce  $A(t)$  in  $A'(t+1)$  e si passa alla Fase I.

Fig. 12

		P	
		Non cambia	Cambia
D	Non cambia	N/N	N/C
	Cambia	C/N	C/C

Il passaggio dalla Fase I alla Fase II e viceversa corrisponde a tenere conto:

- sia della "memoria" dei soggetti (conseguenza delle azioni passate, inerzia, ...);
- sia dell'"apprendimento" (diverse utilità sulle alternative e sui criteri possono dipendere oltre che da "stimoli" dell'ambiente anche dalle azioni passate).

Il modello utilizzato per stimare le preferenze nella Fase II è descritto con il Programma Lineare (5):

$$(5) \text{ (Funzione di errore) } \min F = \sum_{i=1}^m \sigma(a_i)$$

(Relazioni di preferenza stretta)

$$a_i P a_{i+1} \Rightarrow \sum_{j=1}^n \left\{ u_j(g_j(a_i)) - u_j(g_j(a_{i+1})) \right\} p_j + \sigma(a_i) - \sigma(a_{i+1}) \geq s$$

(Relazioni di indifferenza)

$$a_i I a_{i+1} \Rightarrow \sum_{j=1}^n \left\{ u_j(g_j(a_i)) - u_j(g_j(a_{i+1})) \right\} p_j + \sigma(a_i) - \sigma(a_{i+1}) = 0$$

(Normalizzazione dei pesi)

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1$$

(Condizioni di non negatività)

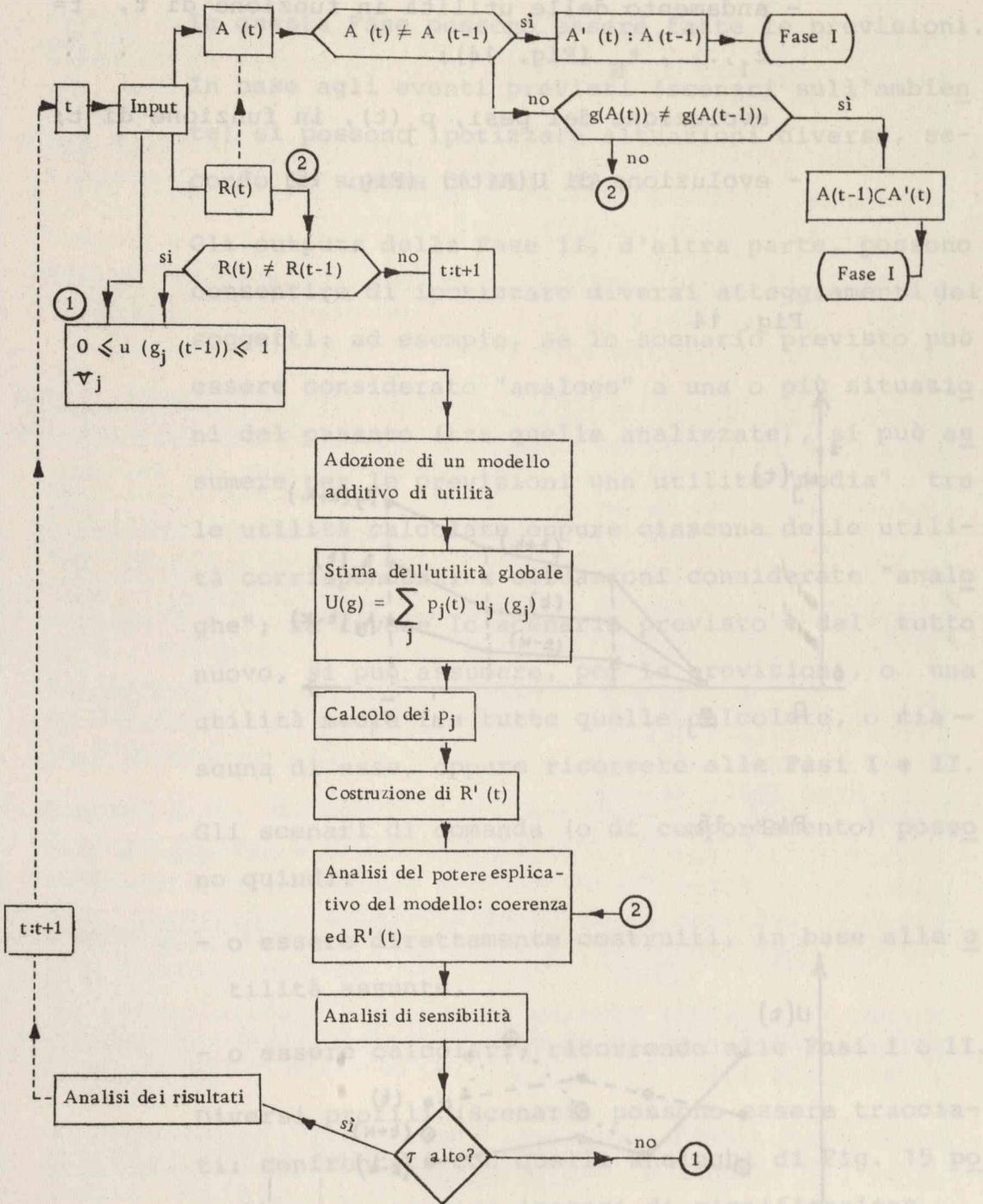
$$p_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$\sigma(a_i) \geq 0 \quad \forall i.$$

Il modello ha una struttura analoga a (4), nelle variabili  $p_j$ .

La struttura della Fase II è riassunta nello schema di Fig. 13.

Fig. 13



La Fase II fornisce come outputs:

- andamento delle utilità in funzione di  $t$ ,  $t = t_1, \dots, t_N$  (Fig. 14);
- evoluzione dei pesi,  $p_j(t)$ , in funzione di  $t$ ;
- evoluzione di  $U(A(t))$  (Fig. 15)

Fig. 14

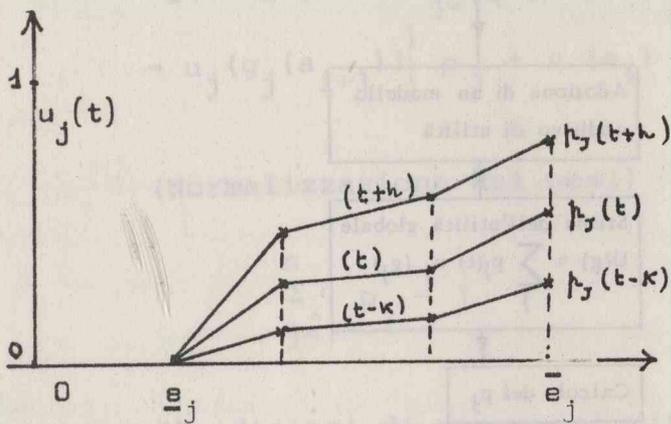
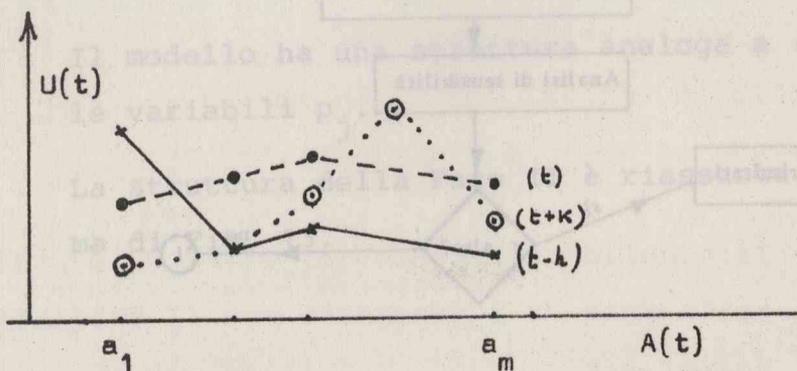


Fig. 15



## 2.2.4.3. FASE III

In questa Fase possono essere fatte le previsioni.

In base agli eventi previsti (scenari sull'ambiente) si possono ipotizzare situazioni diverse, secondo lo schema di Fig. 12.

Gli outputs della Fase II, d'altra parte, possono consentire di ipotizzare diversi atteggiamenti dei soggetti: ad esempio, se lo scenario previsto può essere considerato "analogo" a una o più situazioni del passato (tra quelle analizzate), si può assumere per le previsioni una utilità "media" tra le utilità calcolate oppure ciascuna delle utilità corrispondenti a situazioni considerate "analoghe"; se invece lo scenario previsto è del tutto nuovo, si può assumere, per le previsioni, o una utilità media fra tutte quelle calcolate, o cia-scuna di esse, oppure ricorrere alle Fasi I e II.

Gli scenari di domanda (o di comportamento) possono quindi:

- o essere direttamente costruiti, in base alle utilità assunte,
- o essere calcolati, ricorrendo alle Fasi I o II.

Diversi profili (scenari) possono essere tracciati: confrontati con quelli analoghi di Fig. 15 potrebbero consentire ipotesi di pianificazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- De Montgolfier J., Bertier P. (1978) Approche multicritère des problèmes de décision, Editions Hommes et Techniques, Suresnes.
- Griguolo S., Palermo P.C. (1982) Metodologia di analisi urbana per la formazione di piani urbanistici, Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1982, 151-170.
- Jacquet-Lagrèze E., Moscarola J., Roy B., Hirsch G. (1978) Description d'un processus de décision, Cahiers du LAMSADE, n. 13, Université Paris IX Dauphine.
- Jacquet-Lagrèze E., Siskos J. (1978) Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives explicatives d'une préférence globale, Cahiers du LAMSADE, n. 16, Université Paris IX Dauphine.
- Keeney R.L., Raiffa H. (1976) Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, New York.
- Merighi D., Norese M.F. (1980) Un problema di localizzazione: verifica della coerenza delle scelte rispetto a nuove informazioni acquisite, Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1980, 483-499.
- Moscarola J., Roy B. (1977) Procédure automatique d'examen de dossiers fondée sur une segmentation trichotomique en présence de critères multiples, R.A.I.R.O. Recherche Opérationnelle, 11, 145-173.
- Norese M.F. (1981) Modello normativo e modello reale: verifica di coerenza su un caso studiato, in Ostanello (1981), 109-126.
- Ostanello A. (1981) Processi decisionali e modelli: appunti per un'analisi multicriteri, Levrotto e Bella, Torino.

- Roy B. (1974) La modélisation des préférences: un aspect crucial de l'aide à la décision, METRA, 13, 2.
- Rouget B. (1981) Images de la ville et topologie floue, Sistemi Urbani, 3, 93-105.
- Srinivasan V., Shocker A.D. (1973) Estimating the Weights for Multiple Attributes in a Composite Criteria Using Pairwise Judgements, Psychometrica, 38, 473-493.
- Steinbruner J.D. (1974) The Cybernetic Theory of Decision: New Dimensions of Political Analysis, Princeton University Press, Princeton, N.J..

Altri riferimenti bibliografici, non citati nel testo ma di cui si è tenuto conto nel corso dello studio:

- Bell D.E., Keeney R.L., Raiffa H. (1977) Conflicting Objectives in Decisions, International Series on Applied Systems Analysis, J. Wiley, New York.
- Bertuglia C.S., Gallino T., Gualco I., Occelli S., Rabinno G., Salomone C., Tadei R. (1982) Alcuni aspetti della calibrazione di un modello dinamico spazializzato: il caso del modello dell'area metropolitana torinese, Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1982, 200-248.
- Bonczek R.H., Holsapple C.W., Whinston A.B. (1981) Foundations of Decision Support Systems, Academic Press, New York.
- Bowman E.H. (1963) Consistency and Optimality in Managerial Decision Making, Management Science, 9, 310-321.
- Cyert R.M., March J.G. (1963) A Behavioral Theory of the Firm, Prentice Hall, N.Y..
- Cochrane J.L., Zeleny M. (eds.) (1972) Multiple Criteria Decision Making, University of South Carolina Press, Columbia, South-Carolina.

- Hogart R.M., Makridakis S. (1981) The Value of Decision Making in a Complex Environment: an Experimental Approach, Management Science, 27, 93-107.
- Hollnagel E. (1977) Cognitive functions in Decision Making, in Jungermann, de Zeeuw (eds.) (1977), 431-444.
- Jacquet-Lagrèze E., Siskos J. (1982) Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multicriteria Decision Making: the UTA Method, European Journal of O.R., 10, 151-164.
- Jungermann H., de Zeeuw G. (1977) (eds.) Decision making and change in human affairs, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Kaplan M.F., Schwartz S. (eds.) (1975) Human Judgment and Decision Processes, Academic Press, N.Y..
- Le Moigne J.L. (1973) Les systèmes de décision dans les organisations, Editions Hommes et Techniques, Suresnes.
- Marchet J.C., Siskos J. (1979) Aide à la décision en matière d'environnement: application au choix de tracé autoroutier, Sistemi Urbani, 1, 2, 65-95.
- Meyer R.F. (1977) State-dependent Time Preference, in Bell, Keeney, Raiffa (eds.) (1977), 323-344.
- Rizzi M. (1981) Une nouvelle méthode d'aide à la décision en avenir incertain, Comptes rendus de la 14ème Réunion du Working Group EURO "Aide à la décision multicritère", Bruxelles, Institut Européen de Recherches et d'Etudes Supérieures en Management, n. 1, 5-24.
- Roy B., Bertier P. (1972) La méthode ELECTRE II: une application au media planning, VII Conférence International de R.O., Dublin.
- Rolando A. (1980) Sui fondamenti logici delle previsioni economiche, Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1980, 15-37.

- Schaefer R.E., Borcharding K. (1977) Consistency of Future Event Assessments, in Jungermann, de Zeeuw (eds.) (1977), 331-344.
- Schwartz L.E. (1972) Uncertainty Reduction Over Time in the Theory of Multi-attributed Utility, in Cochrane, Zeleny (eds.) (1972), 108-123.
- Siskos J. (1982) Evaluating a System of Furniture Retail Outlets Using an Interactive Ordinal Regression Method, Cahiers du LAMSADE, n. 38, Université Paris IX Dauphine.
- Tversky A. (1977) On Elicitation of Preferences: Descriptive and Prescriptive Considerations, in Bell, Keeney, Raiffa (eds.) (1977), 209-222.
- Upshaw H.S. (1975) Judgment and Decision Processes in the Formation and Change of Social Attitudes, in Kaplan, Schwartz (eds.) (1975), 201-228.

## 2.3. SOFTWARE PER LA VERIFICA SPERIMENTALE DEL METODO INDIVIDUATO IN 2.2.

### 2.3.1. INTRODUZIONE

In 2.2. si sono affrontati i problemi di ordine teorico e metodologico legati all'analisi di scenari in un contesto multidimensionale, ed è stato presentato un metodo per la loro risoluzione.

Il passo successivo è quello di implementare su un elaboratore il metodo proposto, ottenendo così un duplice risultato: da un lato, si verifica l'effettiva realizzabilità del metodo e, dall'altro, si mettono a disposizione dello studioso programmi atti a risolvere il problema in questione.

I programmi qui presentati sono stati sviluppati presso il Consorzio per il Sistema Informativo (CSI-Piemonte) sul calcolatore DEC-10.

### 2.3.2. FILES E BASE DATI

Da un punto di vista realizzativo, il metodo illustrato in 2.2. richiede due livelli di virtualizzazione della macchina: al livello più basso la macchina deve eseguire algoritmi di programmazione lineare piuttosto complessi, mentre al livello superiore deve offrire una interfaccia uomo - macchina versatile e di facile uso.

A tal fine, si sono scelti due linguaggi di programmazione distinti, ognuno orientato verso una delle due problematiche: si è scelto il linguaggio FORTRAN-10, per gli algoritmi matematici, e il linguaggio Pascal, per i programmi di interfaccia con l'utente.

I programmi sviluppati sono in totale cinque, dei quali tre sono in Pascal e due in FORTRAN-10.

I programmi sono i seguenti:

FASE1.PAS	18
FASE2.PAS	15
FASE3.PAS	13
PREORD.FOR	137
PESI.FOR	100,

ove i numeri indicano l'occupazione di memoria dei files sorgenti espressa in blocchi DEC - 10 (1 blocco = 512 words).

La base dati richiede, però, altri files, denominati come segue:

FOR20.DAT
FOR21.DAT
FOR22.DAT
FOR23.DAT
FOR01.DAT,

il cui uso verrà spiegato in seguito.

I programmi denominati con FASE1.PAS e con FASE2.PAS fanno riferimento alle due fasi definite nel metodo, mentre con FASE3.PAS si è definito un programma che permette una concatenazione automatica della Fase1 con la Fase2 in casi particolari.

### 2.3.3. FASE1

Nella Fase1 del metodo, si lavora su un sottoinsieme A' di azioni e su un preordine R; alla fine si vuole il preordine definito dall'utilità ed il rango delle azioni.

Il programma denominato FASE1.PAS colloquia in modo interattivo con l'utente, richiedendogli i dati di ingresso necessari alle costruzioni del preordine, e genera in uscita un file, indicato con FOR20.DAT, nel quale sono contenuti tutti i dati dell'utente formatisi secondo le specifiche del programma PREORD.FOR, che verrà eseguito subito dopo.

Per utilizzare questo programma, occorre cominciare col dare il seguente comando:

```
EXE FASE1.PAS.
```

Con questo comando, viene generato, qualora non più presente, il file eseguibile, caricato in memoria e posto in esecuzione.

A questo punto, il programma richiede il file su cui dovrà preparare i dati per la fase successiva, e gli si indicherà il file FOR20.DAT:

```
OUTPUT = FOR20.DAT.
```

Ora viene stampato un asterisco di pronto a cui si risponde battendo un Carriage Return <CR>:

\*<CR>.

Il programma richiede ora i dati da analizzare, e, se non vi sono stati errori, genera in uscita il file FOR20.DAT, finendo la sua esecuzione.

Per i dati in ingresso sussistono delle limitazioni, dovute alla memoria disponibile, per cui il numero massimo di azioni in A' è posto a 20, mentre il numero massimo di criteri è 10.

Per prima cosa, viene richiesto il titolo del problema, il quale non deve superare gli 80 caratteri. Dopo, vengono richiesti il numero delle azioni, il numero dei criteri ed il numero delle classi definite nel preordine. Viene pure richiesto il valore della più piccola differenza di utilità da considerare tra due classi, che siano nello stesso preordine, valore chiamato DELTA, che si pone in genere tra  $0.01 \leq \text{DELTA} \leq 0.10$  e che, comunque, deve essere tanto più piccolo quante più sono le classi nel preordine.

Gli altri dati richiesti sono:

- se i coefficienti  $p(a)$  siano tutti uguali ad 1;
- se no verranno richiesti i coefficienti voluti;
- se si vuole o no l'analisi post-ottimale;
- se le utilità sono del tipo:

$$u(\underline{g}) = \sum_i u_i(g_i),$$

oppure del tipo:

$$u(\underline{g}) = \sum_i p_i u_i(g_i),$$

nel quale ultimo caso verranno poi richiesti i valori per le p.

Successivamente, per ogni criterio, si richiedo-  
no il nome, il numero di gradini in cui è suddi-  
visa la scala ed i valori massimo e minimo sulla  
scala stessa.

Per ogni classe, si richiede il numero delle azio-  
ni in essa contenute ed i nomi delle classi stes  
se, nomi che devono essere dati secondo il pre-  
ordine stabilito.

Si richiede, poi, la valutazione multicriteri di o-  
gni azione, secondo l'ordine delle azioni dato e  
secondo i criteri, nell'ordine con cui si sono da-  
ti i loro nomi.

A seconda delle risposte date all'inizio, ora ven-  
gono richiesti i valori delle soglie, il numero  
delle soluzioni post-ottimali volute e se si vu  
ole massimizzare (e si indica battendo 1) o mini-  
mizzare (-1) l'obiettivo.

## 2.3.4. PREORD.FOR

Dopo aver eseguito il programma FASE1.PAS si deve porre in esecuzione il programma denominato PREORD.FOR. Per fare questo occorre dare il comando:

EXE PREORD.FOR,

comando che provvederà alla compilazione ed esecuzione del programma stesso. Questo programma genera due files in uscita: uno è chiamato FOR21.DAT e contiene il preordine definito dalle utilità e il calcolo del Tau di Kendall; l'altro, indicato con FOR01.DAT, contiene le utilità marginali elaborate e serve come input per la FASE2.

Il programma PREORD.FOR lavora sui dati preparati dal programma FASE1.PAS nel file FOR20.DAT.

Si considera il preordine R su A' contenente Q classi di equivalenza (o d'indifferenza), ognuna delle quali contiene  $n_q$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q$  azioni.

Poi si suppone che i valori estremi  $g_{i*}$ ,  $g_i^*$  su ogni criterio siano finiti e si divide l'intervallo  $G_i = [g_{i*}, g_i^*]$  in  $(a_i - 1)$  intervalli uguali  $[g_i^j, g_i^{j+1}]$ , e il valore di  $a_i$  è quello specificato dall'utente in FASE1.PAS.. Questo  $a_i$  specifica il numero dei punti calcolati per ogni utilità  $u_i$ .  $g_i^j$  è allora calcolato con la seguente formula di interpolazione lineare:

$$g_i^j = g_{i^*} + \frac{j-1}{a_i - 1} (g_i^* - g_{i^*}).$$

Su ogni utilità  $u[g(a)]$ ,  $a \in A'$ , è definita la variabile d'errore  $\sigma(a)$  pesata da un coefficiente  $p(a)$ ; per cui, le utilità parziali  $u_i(g_i^j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , nella forma:

$$u(g) = u_1(g_1) + u_2(g_2) + \dots + u_n(g_n)$$

e i loro errori  $\sigma$  sono calcolati con il seguente programma lineare:

$$(1) \quad [\min] \quad F = \sum_{a \in A'} p(a) \sigma(a)$$

con i vincoli:

$$(2) \quad \sum_{i=1}^n \left\{ u_i[g_i(a)] - u_i[g_i(b)] \right\} + \sigma(a) - \sigma(b) \geq \delta \text{ se } aPb$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^n \left\{ u_i[g_i(a)] - u_i[g_i(b)] \right\} + \sigma(a) - \sigma(b) = s \in aIb$$

$$(4) \quad u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq s_i \text{ per ogni } i, j$$

$$(5) \quad \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1$$

$$(6) \quad \begin{cases} u_i(g_{i^*}) = 0 \\ u_i(g_i^j) \geq 0 \quad \forall i, j \\ \sigma(a) \geq 0 \quad \forall a \in A'. \end{cases}$$

Il programma lineare (1) - (6) è un programma del tipo "goal programming", e i vincoli (2) e (3) rispecchiano le relazioni:

$$u(g) > u(g') \iff a P a'$$

$$u(g) = u(g') \iff a I a'$$

del preordine R, mentre i vincoli (4) - (6) riguardano le condizioni di monotonia e di normalizzazione delle u.

Le utilità parziali  $u_i$  delle azioni  $a \in A'$ , che cadano all'interno di un intervallo  $[g_i^j, g_i^{j+1}]$ , sono calcolati per interpolazione lineare secondo la formula:

$$u_i [g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)]$$

Anche per questo programma vi sono delle limitazioni riguardo al numero delle equazioni e delle variabili: il numero delle equazioni è dato da:

$$NEQ = \sum_{i=1}^n (a_i - 1) + |A'|$$

ed è limitato a 100, mentre il numero delle variabili è dato da:

$$NV = \sum_{i=1}^n (a_i - 1) + 2 * \sum_{i=1}^Q (n_i - 1) + Q + 1$$

ed è limitato a 300.

Le procedure di PREORD.FOR sono le seguenti:

DATA: legge, dal file FOR20.DAT, i dati in ingresso e li organizza secondo il programma lineare primale (1) - (6);

MATRA: memorizza solo gli elementi non nulli della matrice dentro un vettore A per risparmiare spazio in memoria. La lettura degli elementi verrà fatta con la funzione  $A(i,j)$ ;

LU: risolve un programma lineare col metodo di decomposizione di BALTELS-GOLUB, per il quale la base del semplice è espressa come il prodotto di una matrice triangolare inferiore L e di una matrice triangolare superiore U ( $B = LU$ ). Questo metodo permette di ottenere una grande precisione numerica;

TRIANG: esegue la triangolarizzazione di una matrice cercando l'elemento maggiore sulla diagonale;

SYSSUP: risolve il sistema triangolare superiore per il calcolo del vettore  $y$  del semplice;

SYSINF: risolve il sistema triangolare inferiore per calcolare il vettore dei moltiplicatori del

2.3.6. simple;

**SORTIE:** stampa dei risultati sul file FOR21.DAT e delle utilità marginali sul file FOR01.DAT.

I risultati di PREORD.FOR sono il valore della Tau di Kendall, il preordine calcolato e le matrici associate ai preordini.

### 2.3.5. FASE2.PAS

In questa seconda fase del metodo, si parte dalle utilità marginali  $u_i(g_i)$  normalizzate tra 0 ed 1, per trovare i pesi ad esse associati secondo la relazione:

$$u(\underline{g}) = \sum_{i=1}^n p_i u_i(g_i), \underline{g} \in G.$$

Il programma interagisce con l'utente richiedendo i dati necessari a questa fase, secondo lo schema già visto per la Fase1. Alla fine, genera un file denominato FOR22.DAT, nel quale vi sono i dati per il programma PESI.FOR.

Il programma viene attivato mediante il comando:

EXE FASE2.PAS.

Viene quindi richiesto il file di output e si risponderà con:

```
OUTPUT = FOR22.DAT;
```

alla stampa di un asterisco si batterà un <CR> ed inizierà la fase interattiva del programma.

I dati richiesti sono analoghi a quelli della FASE1, con in più la possibilità o di far calcolare le utilità dal programma, nel qual caso si sottointenderà un andamento lineare, oppure di utilizzare le utilità precedentemente calcolate nel la Fase 1. Questo programma può così essere utilizzato sia come passo successivo alla Fase 1, sia in modo del tutto autonomo da essa. Comunque, per le parti analoghe a quelle descritte per FASE1, valgono le stesse limitazioni, e cioè un numero massimo di azioni in A di 20 e al massimo 10 criteri.

L'uscita del programma è costituita dal file FOR22.DAT, nel quale sono stati formattati i dati da passare a PESI.FOR.

## 2.3.6. PESI.FOR

Questo programma viene attivato mediante il comando:

EXE PESI.FOR

e richiede che sia stato eseguito prima il programma FASE2.PAS, dal quale riceve il file FOR22.DAT. I risultati di questo programma saranno nel file denominato FOR23.DAT.

Il programma calcola i pesi  $p = (p_1, \dots, p_n)$  della forma additiva:

$$u(g) = \sum_{i=1}^n p_i u_i(g_i), \quad g \in G,$$

utilizzando il seguente programma lineare:

$$(1) \quad [\min] F = \sum_{a \in A'} p(a) \sigma(a)$$

con i vincoli:

$$(2) \quad \sum_{i=1}^n \left\{ u_i[g_i(a)] - u_i[g_i(b)] \right\} p_i + \sigma(a) - \sigma(b) \geq \epsilon \text{ se } a P b$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^n \left\{ u_i[g_i(a)] - u_i[g_i(b)] \right\} p_i + \sigma(a) - \sigma(b) = 0 \text{ se } a I b$$

$$(4) \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n p_i = 1 \\ p_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \sigma(a) \geq 0 \quad \forall a \in A' \end{array} \right.$$

I metodi usati sono del tutto simili a quelli esposti per il programma PREORD.FOR. Il programma utilizza le utilità calcolate nella Fase 1, se queste ci sono; altrimenti, le calcola supponendo un andamento lineare.

Come per PREORD.FOR, anche qui il numero delle equazioni è limitato a 100, mentre il numero delle variabili è limitato a 300.

### 2.3.7. ANALISI POST-OTTIMALE

Nell'eseguire le due fasi del metodo, è possibile richiedere una analisi post-ottimale, sia dopo la Fase 1 sia dopo la Fase 2, mediante una funzione  $u^*(\underline{g})$ ,  $\underline{g} \in G$ , che espliciti "al meglio" la relazione R secondo il criterio F.

Nei modelli usati, ciò è ottenuto risolvendo un programma lineare del tipo ( $p(a)=1, \forall a \in A'$ ):

$$\begin{aligned} & [\min] F = \sum_{a \in A'} \sigma(a) \\ (1) \quad & \text{nel poliedro:} \\ & A \underline{x} \geq \underline{b} \\ & \underline{x} \geq 0. \end{aligned}$$

Indicato con  $F^*$  il valore ottimo, se  $K(F^*)$  è un valore positivo piccolo o il valore nullo dipendente da  $F^*$ , si ha un nuovo vincolo:

$$(2) F \leq F^* + K(F^*),$$

relativo ai valori di  $F$ , che si aggiunge ai vincoli (1).

Il nuovo poliedro sarà dunque della forma:

$$\begin{cases} A \underline{x} \geq \underline{b} \\ -F \geq -[F^* + K(F^*)] \\ \underline{x} \geq 0 \end{cases}$$

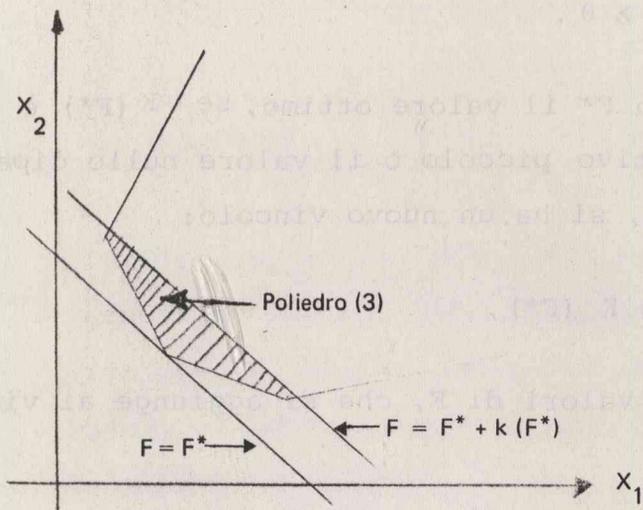
o in modo più sintetico:

$$(3) \begin{cases} A' \underline{x} \geq \underline{b}' \\ \underline{x} \geq 0, \end{cases}$$

$$\text{ove: } A' = \begin{bmatrix} A \\ -F \end{bmatrix} \text{ e } \underline{b}' = \begin{bmatrix} \underline{b} \\ -F^* + K(F^*) \end{bmatrix}$$

sono le matrici  $A$  e  $\underline{b}$  con in più il vincolo (2).

Nello spazio bidimensionale, questo poliedro sarà rappresentato dalla regione tratteggiata nella figura seguente:



L'analisi post-ottimale consiste nel ricercare tutti i vettori (punti)  $\underline{x}$  contenuti nel poliedro. Nei metodi usati per PREORD.FOR e per PESI.FOR, si ricercano tra i vertici del poliedro i più differenti possibili, e precisamente quelli che danno pesi estremi ai criteri.

Questa esplorazione del poliedro è eseguita con la risoluzione successiva dei seguenti programmi lineari:

$$(4) \left\{ \begin{array}{l} \underset{i=1}{\overset{n}{\text{[min]}} \sum \rho_i P_i \\ \text{nel poliedro (3)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \underset{i=1}{\overset{n}{\text{[max]}} \sum \rho_i P_i \\ \text{nel poliedro (3)}, \end{array} \right.$$

con  $\rho_i = 0$  o  $1$  per tutti gli  $i$ ; per PREORD.FOR, si pone  $p_i = u_i(g^*)$ . In questo modo, si riesce ad avere un'idea molto chiara delle variazioni dei pesi per uno o più criteri, e quindi della stabilità dell'ottimo calcolato.

Questa analisi permette di studiare la sensibilità e la stabilità della funzione di utilità  $u^*(g)$ ,  $g \in G$ , e dà delle informazioni molto interessanti sulle differenti possibilità di interpretazione della preferenza globale  $R$ .

Per ogni nuova soluzione si ricalcola il Tau di Kendall.

#### 2.3.8. FASE3.PAS

Questo programma viene posto in esecuzione col comando:

EXE FASE3.PAS.

Esso richiederà due files di input ed uno di output, a cui si dovrà rispondere nel seguente modo:

IN1	= FOR20.DAT
IN2	= FOR01.DAT
OUTPUT	= FOR22.DAT.

Questo programma serve nel caso che si sia già eseguita la Fase 1 e si voglia eseguire la

Fase 2 sugli stessi dati usati per la Fase 1 ed u  
 tilizzare le utilità calcolate. In questo caso,  
 FASE3.PAS prende i dati di ingresso uti  
 lizzati nella Fase 1, legge le utilità calcola  
 te da PREORD.FOR e prepara il file FOR22.DAT,  
 che sarà poi processato da PESI.FOR.

2.3.8. FASE3.PAS

Questo programma viene posto in esecuzione col  
 comando:  
 EXEC FASE3.PAS  
 Base richiesta due files di input ed uno di out  
 put a cui si dovranno rispondere nei seguenti modi:  
 INPUT - FOR20.DAT  
 IN2 - FOR21.DAT  
 OUTPUT - FOR22.DAT  
 Questo programma serve nel caso in cui si sia  
 già eseguita la Fase 1 e si voglia eseguire la  
 Fase 3.

## 3. CONCLUSIONI

In questa conclusione vengono, sinteticamente, ripresi i risultati ottenuti, evidenziati i prodotti trasferibili, richiamate le linee di ricerca secondo cui avanzare in futuro.

Il principale risultato ottenuto può prospettarsi come segue: prendendo atto del carattere processuale della formazione della domanda di trasporto e della rilevanza che, negli anni più recenti, viene attribuita all'analisi dei comportamenti (come è emerso in 2.1.), si è predisposto un metodo che tenesse conto di quanto sopra. Nel metodo viene anche sviluppato un modello esplicativo della domanda, il quale accetta di prendere in considerazione variabili che caratterizzano lo stato dell'offerta, gli effetti di politiche di piano e l'apprendimento di proprietà dell'offerta che inducono l'utente a costruirsi un proprio spazio di vantaggi e costi, non completamente riconducibile a quello rappresentativo di una pura razionalità economica.

A questo risultato ottenuto corrisponde, per quanto attiene ai prodotti trasferibili, un package interattivo e di elevata portabilità, in grado di consentire sperimentazioni.

L'attività di ricerca futura si individua chiaramente nella conduzione delle sopradette sperimentazioni e, anche, in un eventuale adattamento del metodo alla natura dei dati prodotti.



## 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*





*ires*

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