

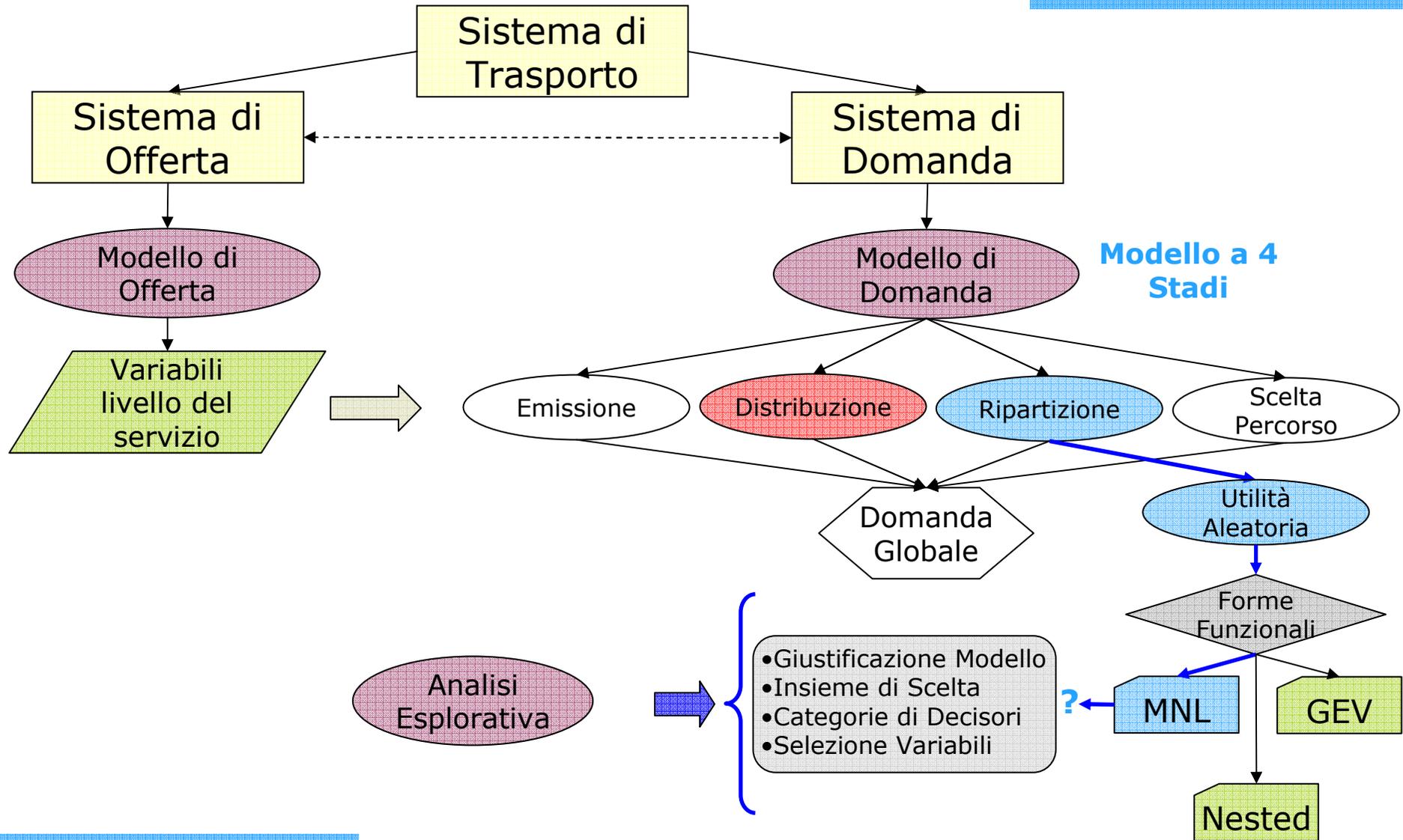
**SICUREZZA STRADALE**  
“Politiche ed esperienze europee a confronto”

**Modelli Decisionali  
per la Stima  
della Domanda di Mobilità**

*prof. Luigi D'Ambra*  
[dambra@unina.it](mailto:dambra@unina.it)

*dott. Guido Rodia*  
[rodia@unina.it](mailto:rodia@unina.it)

**Bari – 11 luglio 2008**



## Sistema di Trasporto

- Il **sistema di trasporto** è un sistema complesso che considera il flusso di domanda di trasporto in un fissato arco temporale e in una determinata area di riferimento
- Un **sistema di trasporto** è l'insieme di componenti sociali, economiche ed infrastrutturali, che determinano la domanda di spostamenti e l'offerta di servizi di trasporto (Cascetta E., 2001)

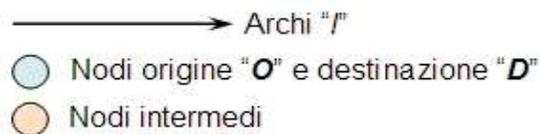
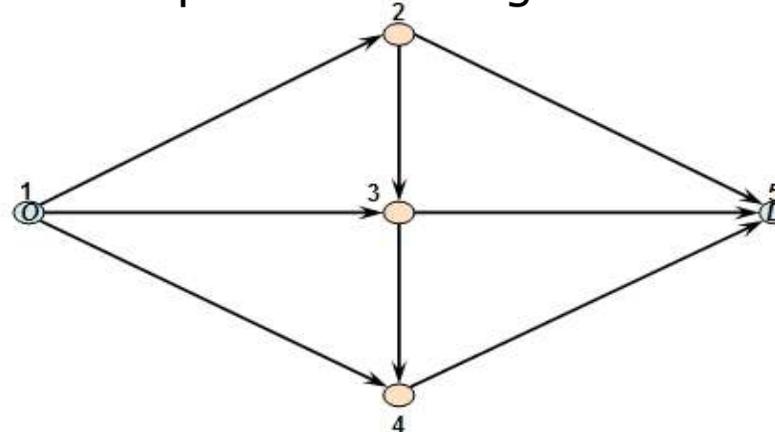
Il sistema dei trasporti è, perciò, costituito da due componenti principali:

- il sistema di **offerta**
- il sistema di **domanda**

# Offerta di Mobilità

- Il **sistema di offerta** rappresenta l'insieme delle infrastrutture, dei servizi e degli elementi organizzativi che consentono lo spostamento

Il **modello di offerta** permette di quantificare le prestazioni del sistema di trasporto tramite relazioni tra costi e flussi di percorso sulla rete, rappresentate per mezzo di grafi



- $G = \{N, L, K\}$
- $N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- $L = \{(1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5)\}$
- $K = \{(1,2,5), (1,3,5), (1,4,5), (1,2,3,5), (1,3,4,5), (1,2,3,4,5)\}$

## Domanda di Mobilità

- Un **sistema di domanda** è un sistema complesso, definito da caratteristiche spaziali e temporali. Esso permette di soddisfare e migliorare le esigenze di mobilità di utenti e merci agendo su infrastrutture e servizi di trasporto

Il **modello di domanda** è una relazione matematica che permette di associare, ad un sistema di offerta di trasporto, un flusso medio di domanda di spostamenti, in un dato periodo di riferimento, con le sue caratteristiche rilevanti

$$d_{od} [K_1, K_2, \dots, K_n] = d(SE, T, \beta)$$

## ***Modelli di domanda***

Una componente fondamentale e caratterizzante dei modelli di domanda è costituita dall'individuazione della dimensione di scelta che si vuole andare ad indagare.

Per ciò che riguarda le preferenze di mobilità, le dimensioni di scelta coinvolte, assumendo che il decisore si trovi nella zona  $o$ , sono relative a:

- numero di spostamenti ( $x$ );
- destinazione verso la quale recarsi ( $d$ );
- modo di trasporto da utilizzare ( $m$ );
- percorso da seguire ( $k$ )

## Modello a Quattro Stadi

Nella stima di un modello globale, la domanda viene di solito *fattorializzata* nel prodotto di sottomodelli interconnessi, ciascuno relativo alla dimensione di scelta che si indaga:

### EMISSIONE

✓ numero di spostamenti ( $x$ )

### DISTRIBUZIONE

✓ destinazione verso la quale recarsi ( $d$ )

### RIPARTIZIONE MODALE

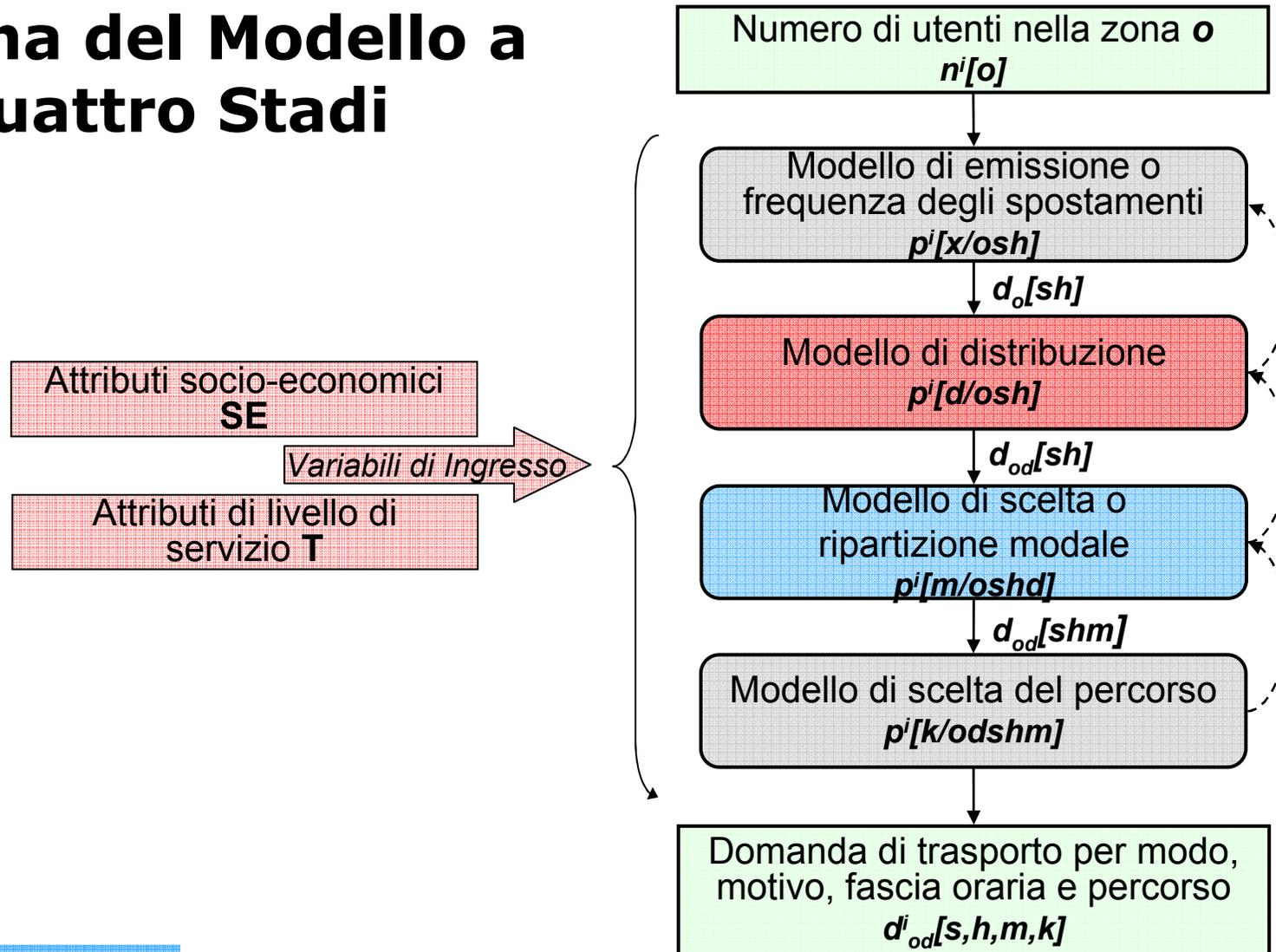
✓ modo di trasporto da utilizzare ( $m$ )

### SCelta DEL PERCORSO

✓ percorso da seguire ( $k$ )

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = d(SE, T) \Rightarrow n^i[o] \sum_x xp^i[x/osh](SE, T) \times p^i[d/osh](SE, T) \times p^i[m/oshd](SE, T) \times p^i[k/oshdm](SE, T)$$

# Schema del Modello a Quattro Stadi



## Modello di Scelta Modale

Nei modelli di ripartizione modale, la dimensione di scelta riguarda il **modo di trasporto**. Essi costituiscono una parte del sistema di modelli ad aliquote parziali ed in particolare, il modello di scelta modale, fornisce l'aliquota:

$$p^i [m / odsh]$$

ossia la percentuale di spostamenti di utenti di categoria  $i$  che, recandosi dalla zona  $o$  alla zona  $d$ , per il motivo  $s$ , nella fascia oraria  $h$ , utilizzano il modo  $m$

Il modello di scelta modale può essere inquadrato nella più ampia famiglia dei **modelli di utilità aleatoria**

## Modelli di Utilità Aleatoria (alcune proprietà)

Nei modelli di utilità aleatoria il soggetto  $i$  che compie la scelta  $j$  è un individuo razionale che massimizza l'utilità  $U_{ij}$  relativa alle proprie preferenze (Ben-Akiva M., Lerman S. 2002)

- Le alternative  $j$  disponibili per ciascun individuo costituiscono il suo insieme di scelta  $I^i$

- L'utilità  $U_{ij}$  dipende da una serie di attributi misurabili  $X_{ij}$

- L'utilità  $U_{ij}$  è costituita da una componente sistematica  $V_{ij}$  e da un residuo aleatorio  $\varepsilon_{ij}$

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \forall j \in I^i$$

- $\varepsilon_{ij}$  è una v.c. in cui la funzione densità di probabilità congiunta  $f(\varepsilon)$  dei residui non dipende dalla utilità sistematica  $V_{ij}$  (*proprietà dell'additività*)

- Nei modelli additivi le probabilità di scelta dipendono dalle differenze tra le utilità sistematiche,  $V_{ij} - V_{ik}$ , rispetto ad un'alternativa di riferimento

$$p_i[j/I^i] = \Pr[V_{ij} - V_{ik} \geq \varepsilon_{ik} - \varepsilon_{ij}] \quad \forall k \neq j; j, k \in I^i$$

## Modelli di Utilità Aleatoria (utilità sistematica)

L'utilità sistematica  $V_{ij}$  può essere definita come combinazione lineare dei  $k$  attributi  $X_{ij}$ , ciascuno con coefficiente  $\beta_k$

$$V_{ij}(\mathbf{X}_{ij}) = \sum_k \beta_k X_{ikj}$$

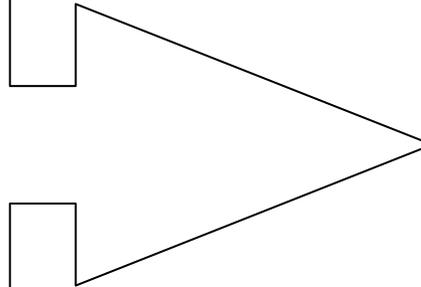
Gli attributi possono essere classificati in:

- **attributi di livello di servizio**, quelli volti ad esplicitare il livello di servizio offerto dal sistema di trasporto
- **attributi del sistema di attività**, quelli dipendenti dall'uso del territorio dell'area di studio
- **attributi socio economici**, quelli propri dell'utente, del suo nucleo familiare o del suo gruppo di appartenenza

## “Strategia di Analisi”

L'utilizzo di un modello di utilità aleatoria richiede la specificazione di taluni elementi fondamentali

- ❑ la scelta e giustificazione della forma funzionale del modello
- ❑ individuazione dell'insieme di scelta modale del decisore razionale
- ❑ selezione delle variabili esplicative maggiormente significative
- ❑ costruzione di gruppi omogenei di decisori razionali



### Analisi Esplorativa

L'obiettivo è quello di fornire un approccio integrato tra l'analisi fattoriale e i modelli di domanda di trasporto, più precisamente tra l'**analisi non simmetrica delle corrispondenze (ANSC)** e i **modelli di scelta modale**

## Caso Studio

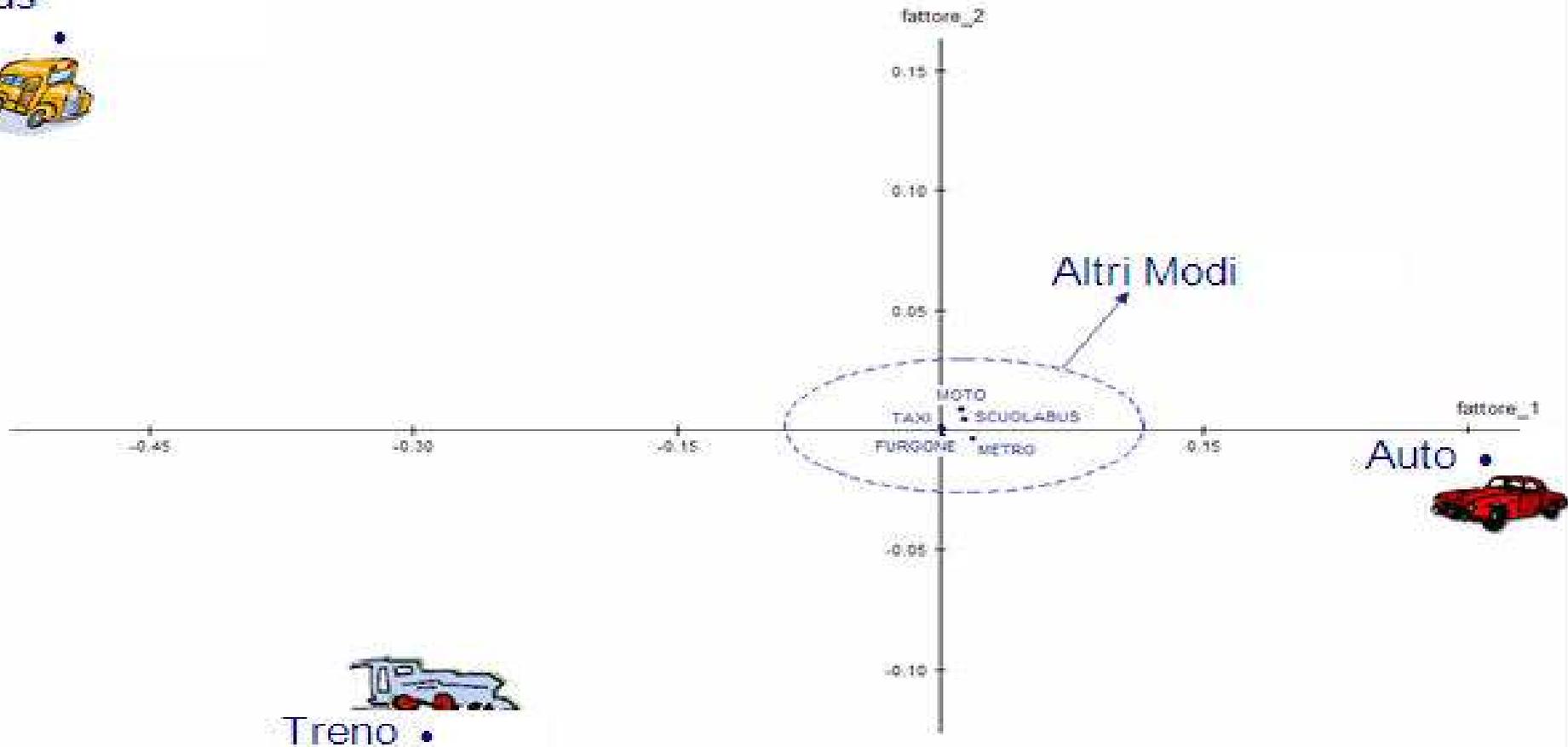
## Dati rilevati

La base dati utilizzata nell'applicazione è costituita dall'**"indagine volumetrica e motivazionale sugli utenti del trasporto in Campania"**, messa a disposizione dall'Assessorato alla Viabilità e Trasporti per il CRdCT (Centro Regionale di Competenza Trasporti).

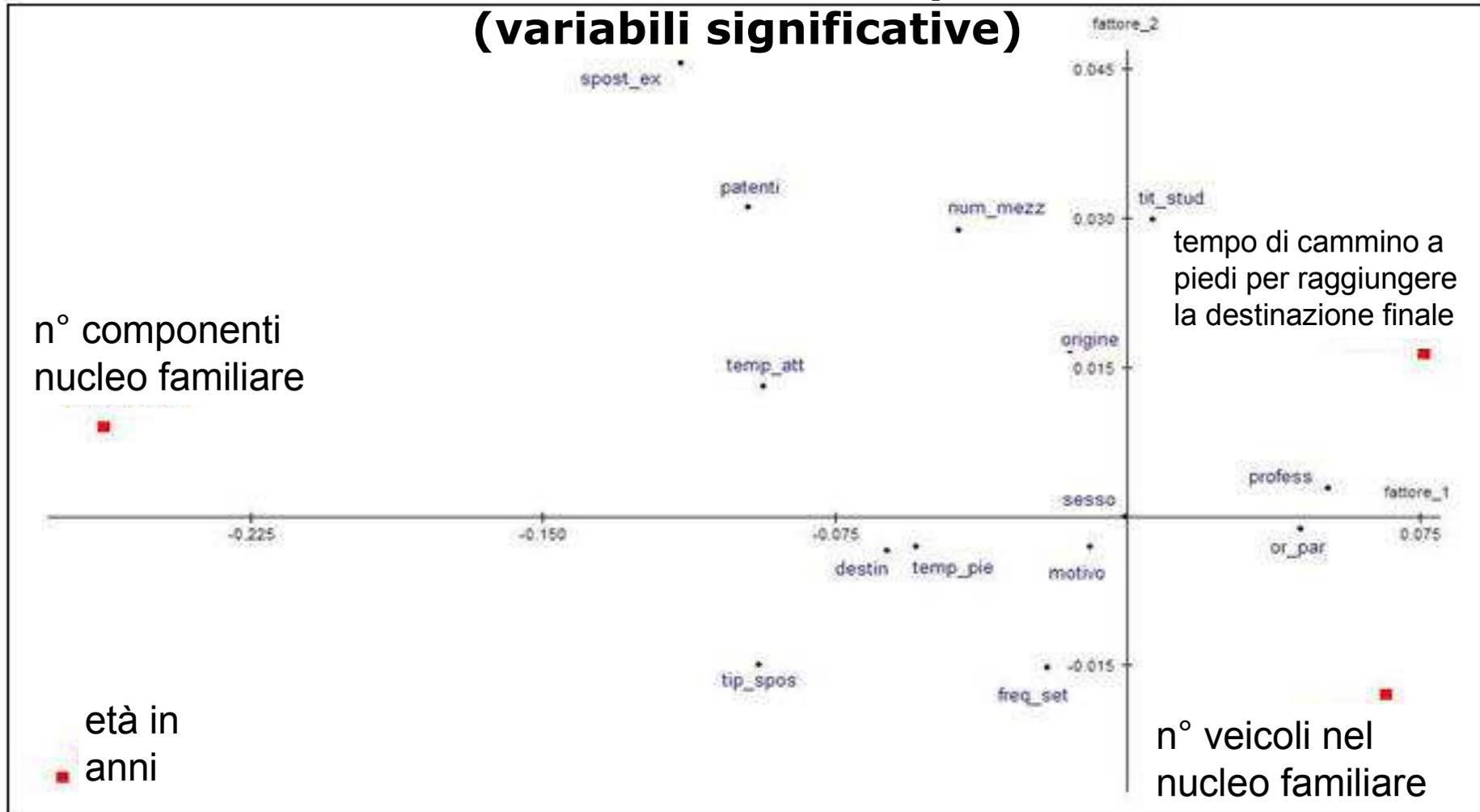
comune di residenza	indirizzo di destinazione
componenti nucleo familiari	orario di arrivo
componenti con oltre 14 anni	motivo spostamento
numero di patentati	numero di passeggeri a bordo
condizione professionale	uso autostrada
età	costo parcheggio
titolo di studio	uso bicicletta o a piedi
sesso	attesa del mezzo pubblico
totale spostamenti	tipo di titolo di viaggio
totale spostamenti extracomunali	orario effettivo di arrivo
comune origine dello spostamento	orario di arrivo a destinazione
orario di partenza	tempo totale spostamento
divisione delle spese	costo totale spostamento
indirizzo di origine	tempo trascorso a bordo
distanza totale spostamento	uso bicicletta o a piedi
numero di veicoli nel nucleo familiare	comune destinazione dello spostamento
componenti che hanno effettuato uno spostamento	tempo a piedi per raggiungere la destinazione finale
componenti che hanno effettuato uno spostamento extracomunale	possibilità di alternative di spostamento
tempo a piedi per raggiungere il mezzo di trasporto	frequenza settimanale dello spostamento
modo di trasporto	

## Caso Studio - Analisi Esplorativa (modalità di trasporto)

Bus



## Caso Studio – Analisi Esplorativa (variabili significative)



## Caso Studio (variabili e utilità sistematiche)

**ETÀ** è l'*età* dell'intervistato

**NVEIC** è il *numero di veicoli* presenti nel nucleo familiare

**NCOM** rappresenta il *numero di componenti* del nucleo familiare dell'intervistato

**CAMF**, *cammino finale*, rappresenta il tempo a piedi impiegato per raggiungere la destinazione finale

**T** tempo impiegato per lo spostamento

**C** costo dello spostamento

$$V_{auto}^g = \beta_0^g + \beta_1^g T + \beta_2^g C + \beta_3^g ETA + \beta_4^g NVEIC + \beta_5^g NCOM + \beta_6^g CAMF$$

$$V_{ferro}^g = \beta_7^g + \beta_1^g T + \beta_2^g C + \beta_8^g ETA + \beta_9^g NVEIC + \beta_{10}^g NCOM + \beta_{11}^g CAMF$$

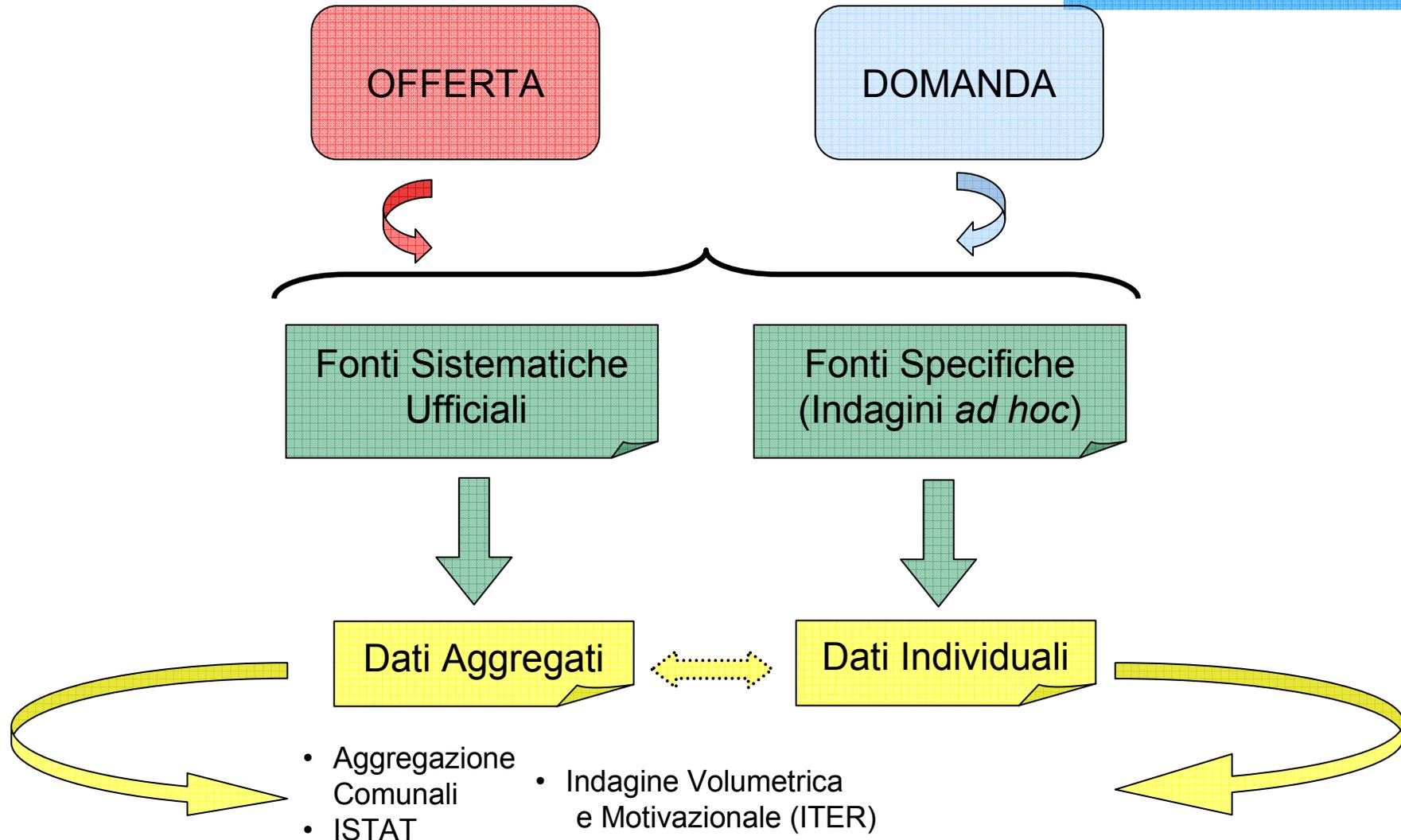
$$V_{bus}^g = \beta_{12}^g + \beta_1^g T + \beta_2^g C + \beta_{13}^g ETA + \beta_{14}^g NVEIC + \beta_{15}^g NCOM + \beta_{16}^g CAMF$$

$g$  = lavoro, studio, altro motivo

## Caso Studio (stima parametri)

VARIABILE	$\beta$	PARAMETRI E SIGNIFICATIVITÀ			ODDS RATIO		
		Lavoro	Scuola	Altro	Lavoro	Scuola	Altro
T	$\beta_1$	-0,33733 (0,1361)	-0,7576 (0,0420)	-0,85660 (0,0179)	0,7137	0,4687	0,4246
C	$\beta_2$	-0,0664 (0,1578)	-0,0383 (0,0542)	-0,09230 (0,0838)	0,9358	0,9624	0,9118
AUTO*	Intercetta	2,10601 (0,0007)	1,4840 (0,0705)	2,97540 (<0,0001)	8,2154	4,4106	19,5975
	ETA	0,42162 (0,0025)	1,1449 (0,0063)	-0,22053 (0,0338)	1,5244	3,1422	0,8021
	NVEIC	1,37869 (<0,0001)	0,8357 (0,0002)	1,07461 (<0,0001)	3,9697	2,3066	2,9289
	NCOM	-0,40801 (0,0001)	-0,2724 (0,0935)	-0,25279 (0,0174)	0,6650	0,7615	0,7766
	CAMF	-0,37830 (<0,0001)	-0,1251 (0,0029)	0,24791 (<0,0001)	0,6850	0,8823	1,2813
FERRO*	Intercetta	0,28145 (0,6759)	-1,1149 (0,0931)	-0,77960 (0,2885)	1,3250	0,3279	0,4586
	ETA	0,11252 (0,2606)	0,5696 (0,1865)	-0,22788 (0,0858)	1,1191	1,7677	0,7962
	NVEIC	0,27391 (0,2732)	0,3431 (0,1048)	0,22615 (0,3842)	1,3151	1,4094	1,2538
	NCOM	-0,22508 (0,0513)	-0,3159 (0,0448)	-0,18765 (0,0685)	0,7985	0,7291	0,8289
	CAMF	-0,25626 (0,0769)	0,1431 (<0,0001)	0,10969 (0,0004)	0,7739	1,1539	1,1159
Numero di osservazioni				7257	2352	5982	
-2 Log Likelihood (*)				2537,373	754,092	2054,482	
-2 Log Likelihood (0)				883,054	639,003	805,118	
Likelihood Ratio				1654,319 (<0,0001)	115,088 (<0,0001)	1249,363 (<0,0001)	

\*Il modo di trasporto di riferimento è il BUS



Il database è concepito per gestire differenti livelli di accesso alle informazioni oltre che l'interrogazione del sistema via Internet.

Il suo utilizzo consentirà:

- di supportare le attività interne alla Regione che operano nel settore dei trasporti;
- di rendere disponibili anche a soggetti esterni le matrici O/D o le interrogazioni più significative sui dati raccolti;
- di individuare differenti categorie di utenti, più esperti e "generici", con diversi livelli di operabilità per le interrogazioni e le analisi sui dati.

I principali vantaggi della soluzione proposta potranno essere:

- Distribuzione dell'informazione senza costi di amministrazione dei "client";
- Accesso facilitato alle informazioni per reporting e analisi;
- Possibilità di condivisione dei dati tra utenti interni ed esterni.

## Il data base relazionale

Il modello dei dati che sarà costruito permetterà l'interrogazione dei diversi aspetti legati alla mobilità regionale garantendo lo sviluppo futuro di altre possibili analisi.

La base dati sarà costruita su due livelli:

- *1° livello*, contenente i dati elementari;
- *2° livello*, con i dati opportunamente aggregati.

Il **1° livello** sarà formato dalle tabelle contenenti le informazioni dei diversi settori dell'indagine, ricavate a partire dalla struttura dei questionari e correlate opportunamente tra loro.

Il **2° livello** sarà costituito da un insieme di tabelle ottenute riaggregando in maniera opportuna le tabelle di 1° livello: in tal modo si migliorano, la velocità delle interrogazioni e i tempi di risposta.

# Modello di scelta modale e **COMPONENTE SPAZIALE**

