

## 4° CORSO – 1° MODULO

*Livelli adeguati di servizio e individuazione dei costi di riferimento dei servizi di trasporto pubblico locale su strada*



# Pianificazione dei servizi di TPL

Cenni metodologici

Prof. Stefano de Luca

*Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili - ISTMoS*

*Dipartimento di Ingegneria Civile*

*Università di Salerno*



Con il contributo tecnico-scientifico di



Con il patrocinio di



PROVINCIA  
DI COSENZA



si ringraziano per il loro importante contributo



## **MERCOLEDÌ 12 NOVEMBRE 2025**

**Ore 14.00 La pianificazione dei servizi di TPL**

**I servizi minimi e i livelli adeguati di servizio**

**Relatore: Prof. Stefano de Luca**

# La progettazione dei servizi di trasporto collettivo

*quali esigenze...*

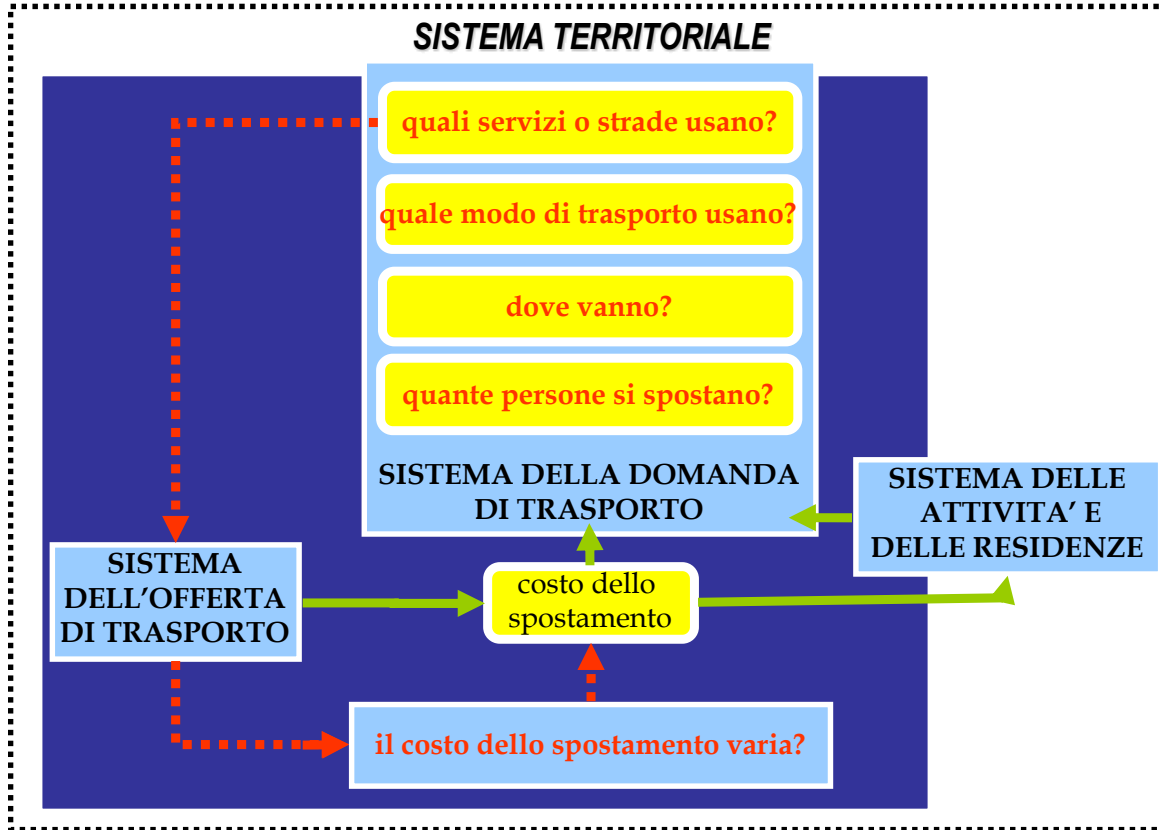
**.....anche nel breve termine e nella semplice programmazione dei servizi non si può lavorare in scenari di domanda e territorio «rigidi»**

Da un  
approccio  
«statico»  
a domanda  
«rigida» e  
«territorio»  
rigido

verso.. un'ottica di  
sistema a domanda  
e territorio  
«variabile»

# La progettazione dei servizi di trasporto collettivo

*Il sistema di trasporto: questo sconosciuto*



# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le  
problematiche

## Progettazione di una Rete di Trasporto Collettivo

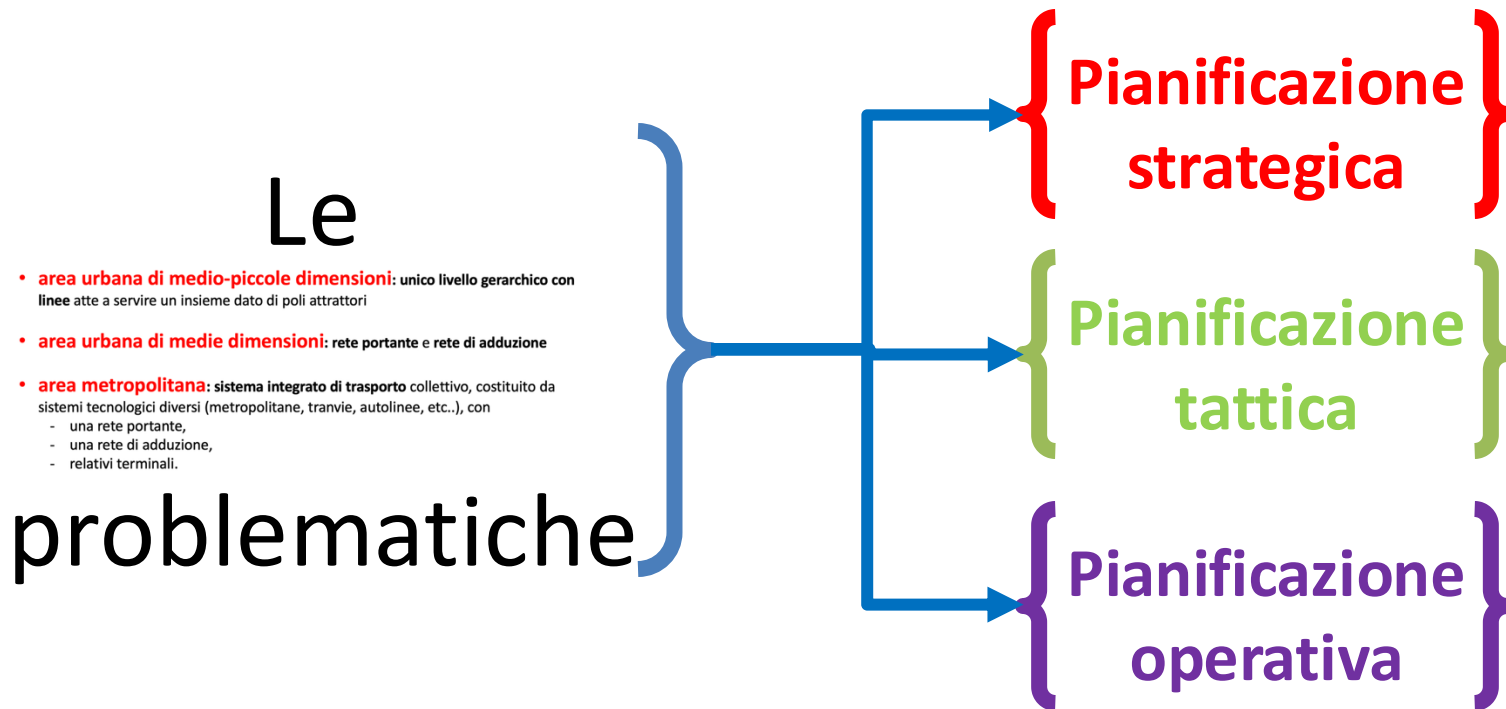
Il problema di Progettazione della Rete di Linee di TC consiste nel determinare la **configurazione ottimale** del sistema in termini di **percorsi** delle linee e di **frequenze associate (orari)** che minimizzi il costo generalizzato del trasporto e i costi per l'azienda

# La progettazione della Rete

## ...e gli ambiti territoriali

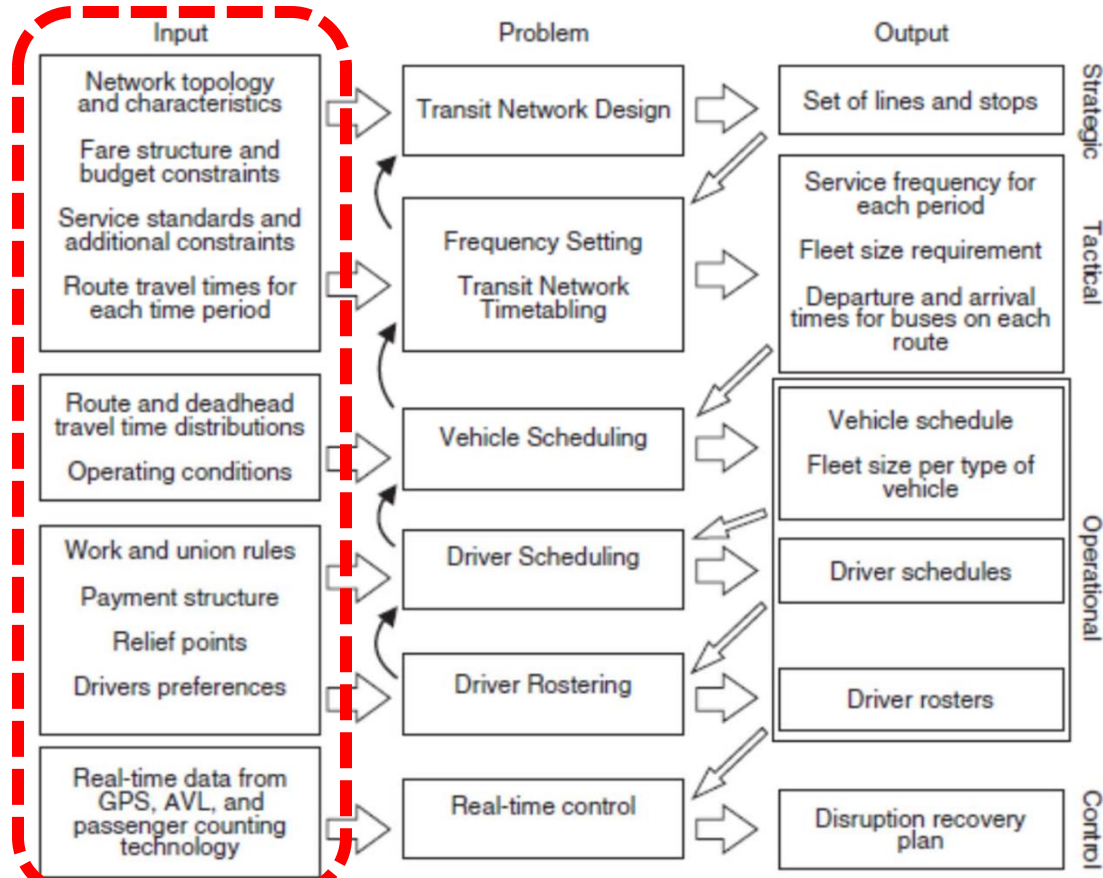
- **area urbana di medio-piccole dimensioni:** unico livello gerarchico con linee atte a servire un insieme dato di poli attrattori
- **area urbana di medie dimensioni:** rete portante e rete di adduzione
- **area metropolitana:** sistema integrato di trasporto collettivo, costituito da sistemi tecnologici diversi (metropolitane, tranvie, autolinee, etc..), con
  - una rete portante,
  - una rete di adduzione,
  - relativi terminali.

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL



# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

## Le problematiche tutte e i dati di input



Problematiche  
strategiche

## Problematiche strategiche

### Pianificazione Strategica

- Nel lungo periodo il **Transit Network Planning** prende il nome di **Progettazione della Rete** del TC  
(Transit Network Design, TND)
- Consiste nella determinazione ottimale di:
  - 1) - Struttura della rete
  - 2) - Linee
  - 3) - Tipologia di veicoli
  - 4) - Frequenze

# Le problematiche

Problematiche  
tattiche

## Problematiche tattiche

**Determinazione delle Frequenze** (Frequency Setting, FS) **e/o dell'Orario** (Transit Network Timetabling, TNT) delle Linee della Rete del TC



Struttura della rete, domanda e dimensione del parco veicolare (non loro distribuzione tra le linee): fissati

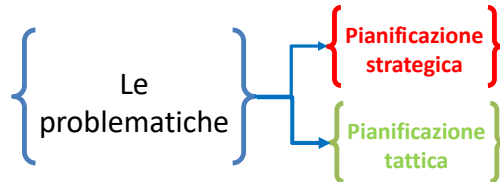
# Le problematiche

Problematiche  
operative

## Problematiche operative

- **Vehicle Scheduling Problem (VSP)**: definisce la programmazione dei veicoli in modo da minimizzare i costi operativi
- **Driver Scheduling Problem (DSP)**: definisce la programmazione degli autisti per soddisfare i viaggi previsti in modo da minimizzare i costi di personale
- **Driver Rostering Problem (DRP)**: definisce la specifica turnazione degli autisti per soddisfare i viaggi previsti in uno specifici deposito per un certo periodo temporale (mese), nel rispetto dei vincoli sindacali ed in modo da minimizzare i costi di personale

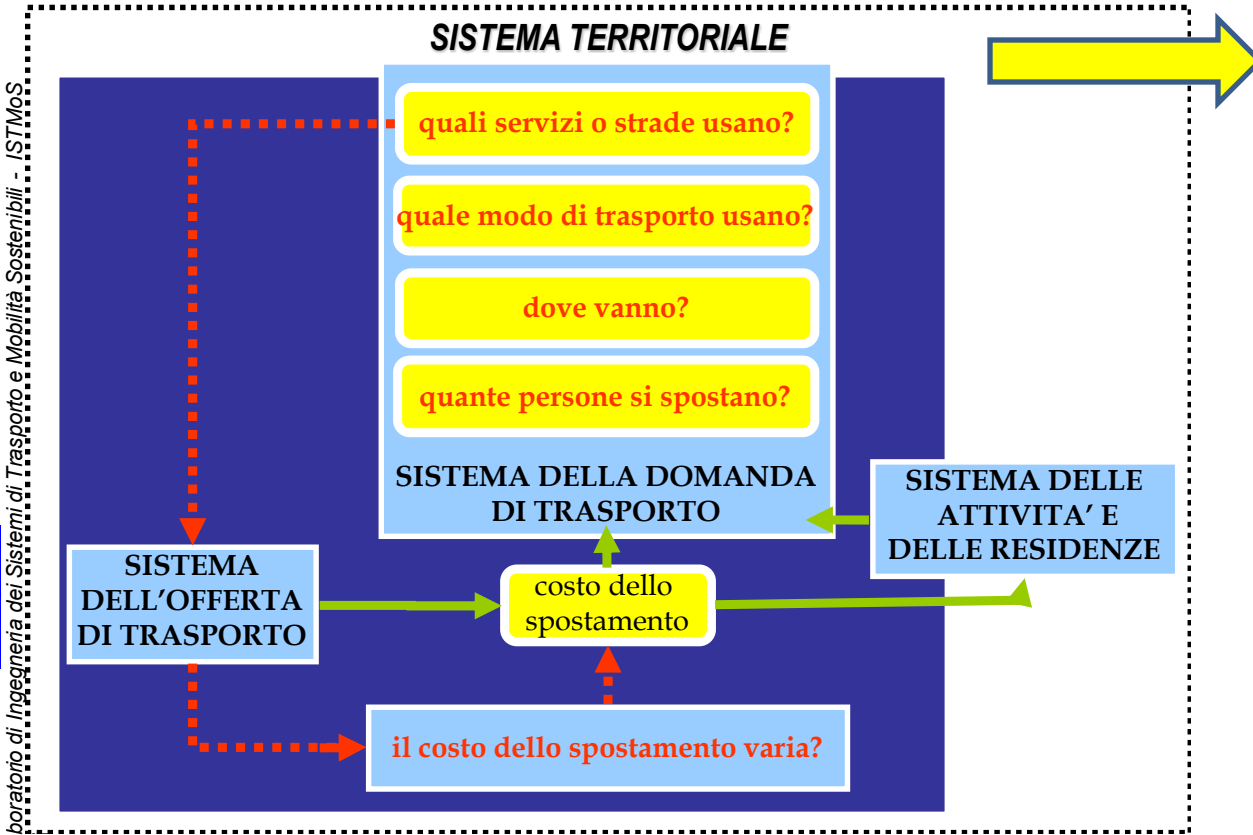
# Le problematiche



- **Transit Network Design (TND)**: definisce la struttura della rete in termini di percorsi e principali caratteristiche operative attraverso la minimizzazione di un FO. Fin da questo livello, le frequenze devono essere calcolate in via preliminare e successivamente aggiustate nel Frequency Setting problem
- **Frequency Setting (FS)**: determina il numero di viaggi/ora necessary per soddisfare la domanda nei diversi periodi di riferimento
- **Transit Network Timetabling (TNT)**: definisce gli istanti di arrivo e di partenza dei bus alle fermate per rispettare le frequenze assegnate e ottimizzare i trasbordi
- **Vehicle Scheduling Problem (VSP)**: definisce la programmazione dei veicoli in modo da minimizzare i costi operativi
- **Driver Scheduling Problem (DSP)**: definisce la programmazione degli autisti per soddisfare i viaggi previsti in modo da minimizzare i costi di personale
- **Driver Rostering Problem (DRP)**: definisce la specifica turnazione degli autisti per soddisfare i viaggi previsti in uno specifici deposito per un certo periodo temporale (mese), nel rispetto dei vicoli sindacali ed in modo da minimizzare i costi di personale

# La progettazione dei servizi di trasporto collettivo

*quindi? Stima costi di spostamento, domanda multi-modale...interazione*



**Ma anche**

**..costi produzione del servizio andrebbero «sempre» inglobati nella progettazione dei servizi**

**Per avere configurazioni costo/ricavi efficienti**

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Gli approcci

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Gli approcci  
*dipendono da...*

Quali dati di  
**INPUT?**

Quali  
strumenti?

Quali  
vincoli?

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

## gli approcci

Gli approcci  
dipendono da...

Quali dati di  
INPUT?

Quali  
strumenti?

Quali  
vincoli?

### Approccio «0»

pochi

elementari

pochi

### Approcci «modellistici»

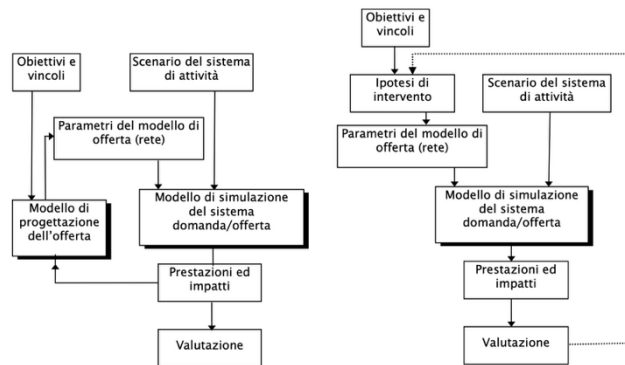
Dati e modelli

Base e/o  
avanzati

Ben definiti

#### APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE DELL'OFFERTA DI TRASPORTO

input



approccio  
"WHAT TO"

modello di  
progetto dell'offerta

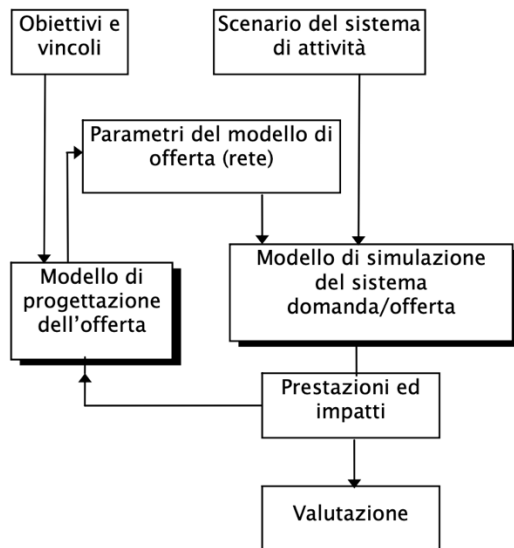
approccio  
"WHAT IF"

modello di  
simulazione

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

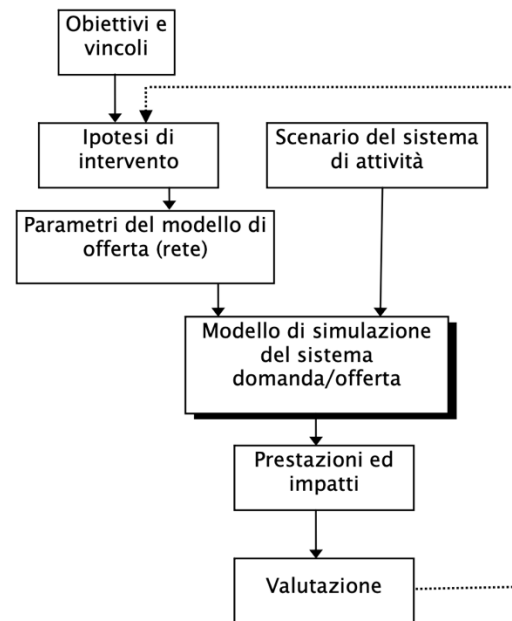
## gli approcci

### APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE DELL'OFFERTA DI TRASPORTO



approccio  
“WHAT TO”

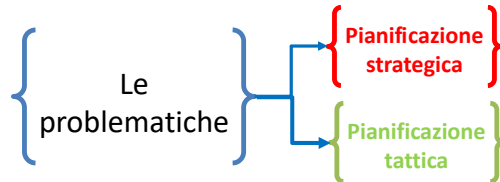
modello di  
progetto dell'offerta



approccio  
“WHAT IF”

modello di  
simulazione

# Le problematiche



- **Transit Network Design** (TND): definisce la struttura del sistema di trasporto e i principali caratteristiche del livello, le frequenze dei trasporti e le frequenze dei trasporti sono aggiustate nel Frequency Setting problem.  
**Approccio «0»** **What «if»** **What «to»**
- **Frequency Setting** (FS): determina il numero di viaggi/ora necessari per soddisfare la domanda nei diversi periodi di riferimento. **What «to»**
- **Transit Network Timetabling** (TNT): definisce gli istanti di arrivo dei bus alle fermate per rispettare le frequenze assegnate e ottimizzare i trasporti.
- **Vehicle Scheduling Problem** (VSP): definisce la programmazione dei veicoli in modo da minimizzare i costi operativi.
- **Driver Scheduling Problem** (DSP): definisce la programmazione del personale per soddisfare i viaggi previsti in modo da minimizzare i costi di personale. **What «to»**
- **Driver Rostering Problem** (DRP): definisce la specifica turnazione del personale per soddisfare i viaggi previsti in uno specifico deposito per un certo periodo temporale (mese), nel rispetto dei vincoli sindacali ed in modo da minimizzare i costi di personale.

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

L'approccio  
«0»

{

pochi

}

{

elementari

}

{

pochi

}

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

L'approccio  
What if

# La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL



# La progettazione «what if» dell'offerta dei servizi di TPL

## Classificazione

#ipotizza  
#simula  
#verifica  
#modifica

## dei problemi

Rete non  
congestionata

domanda

offerta

Rete  
congestionata

domanda

offerta

rigida

elastica



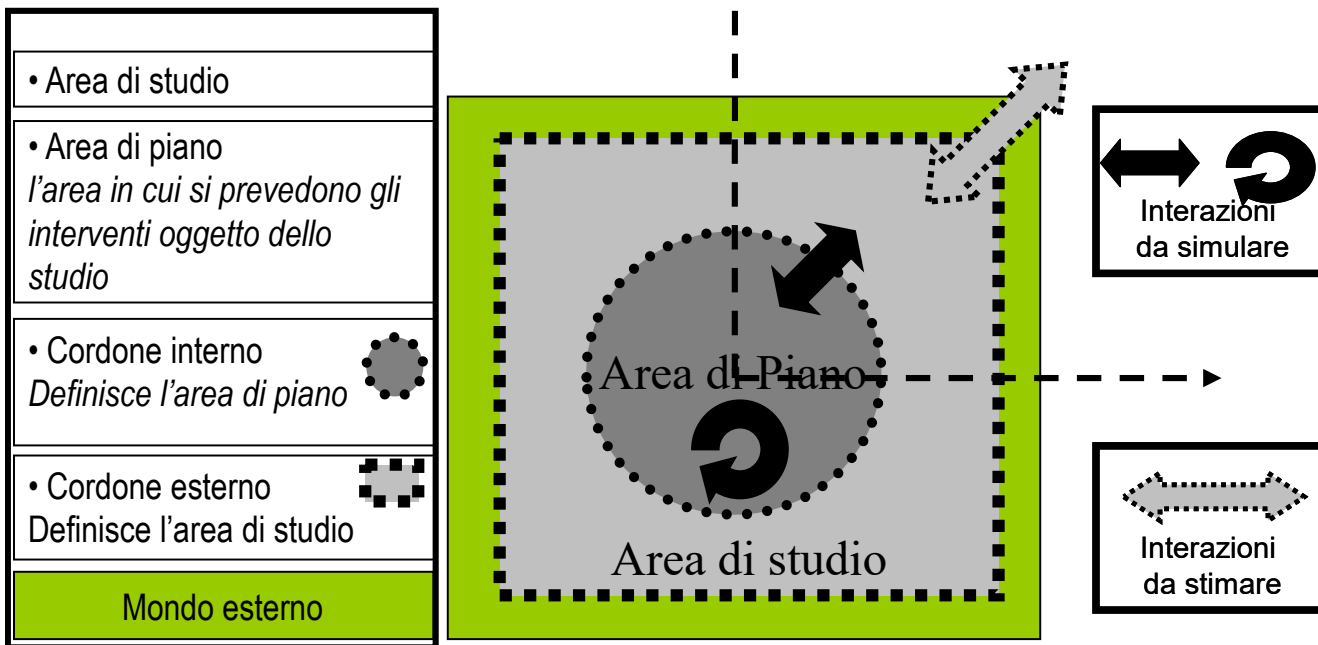
Costruzione  
modello di offerta  
Trasporto collettivo

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

- I. delimitazione dell'area di studio
- II. costruzione del grafo
  - discretizzazione del territorio (zonizzazione)
  - discretizzazione delle infrastrutture (grafo trasporto privato)
  - discretizzazione dei servizi (grafo trasporto collettivo)
- III. definizione delle caratteristiche funzionali delle:
  - infrastrutture (modello di offerta di trasporto individuale)
  - dei servizi (modello di offerta di trasporto collettivo)

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La caratterizzazione spaziale



N.B. Nell'area di studio devo simulare le componenti del sistema di trasporto

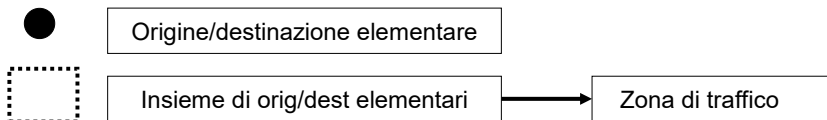
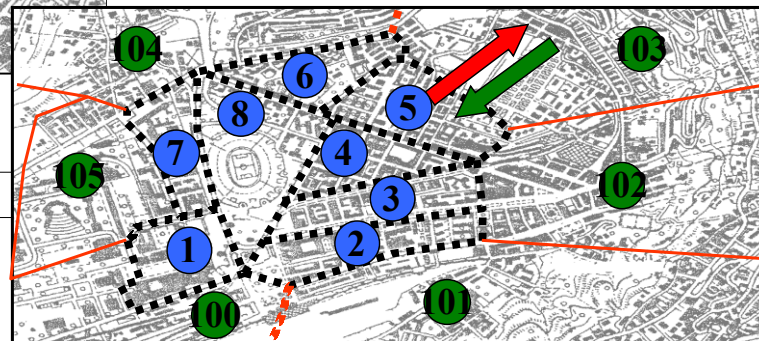
# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La caratterizzazione spaziale



### zone esterne

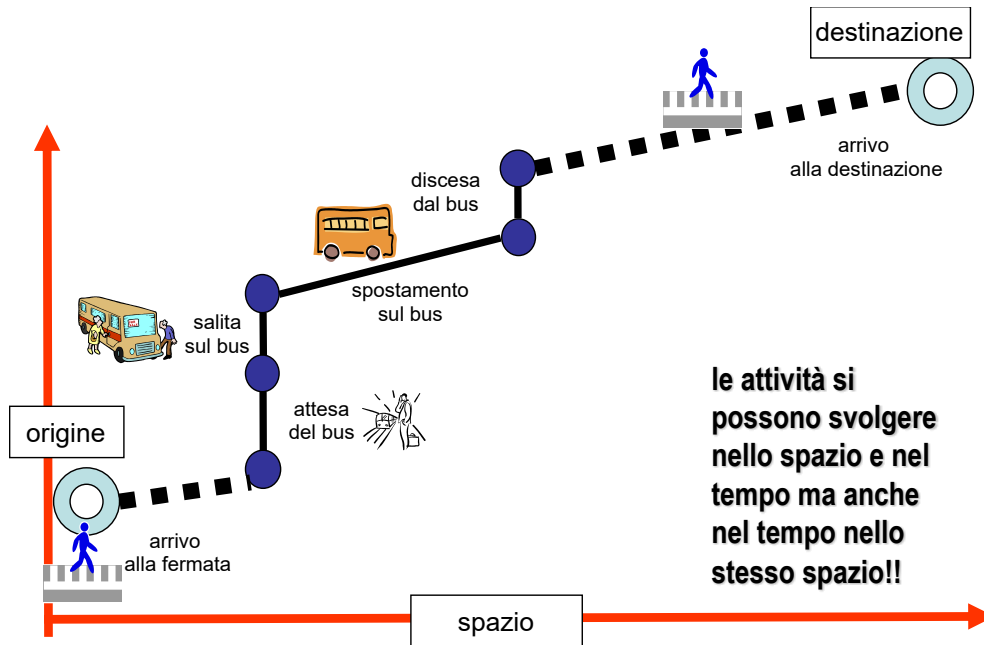
*"individuano le zone di traffico esterne all'area di studio. La loro funzione è la simulazione dell'interazione con il mondo esterno"*



# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La estrazione della rete di base

Lo spostamento è una  
sequenza di attività omogenee  
nello spazio e nel tempo  
che l'utente svolge utilizzando  
le infrastrutture ed i servizi  
di trasporto disponibili



# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La estrazione della rete di base

### Identificazione

**tutti i servizi di trasporto rilevanti ai fini della analisi della mobilità dell'area di studio in esame**

- servizi di trasporto collettivo “pubblici”
- servizi di trasporto collettivo “privati”
- servizi di trasporto alternativ...verso i MAAS
  - servizi a chiamata (dial a ride)
  - car-sharing

### Classificazione (1)

-> servizi continui simultanei (sincronici)

disponibili in ogni istante ed accessibili da ogni punto (e.g. auto o pedoni)

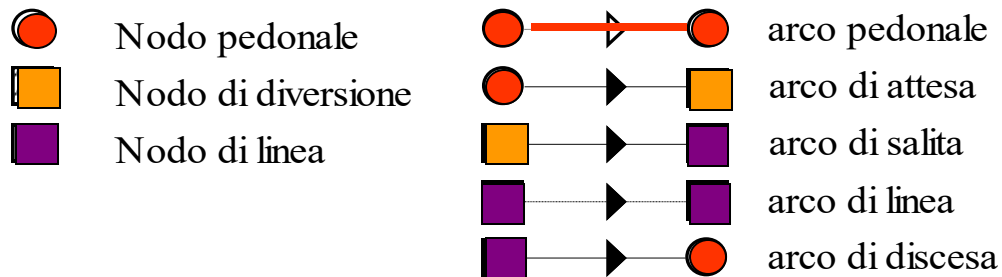
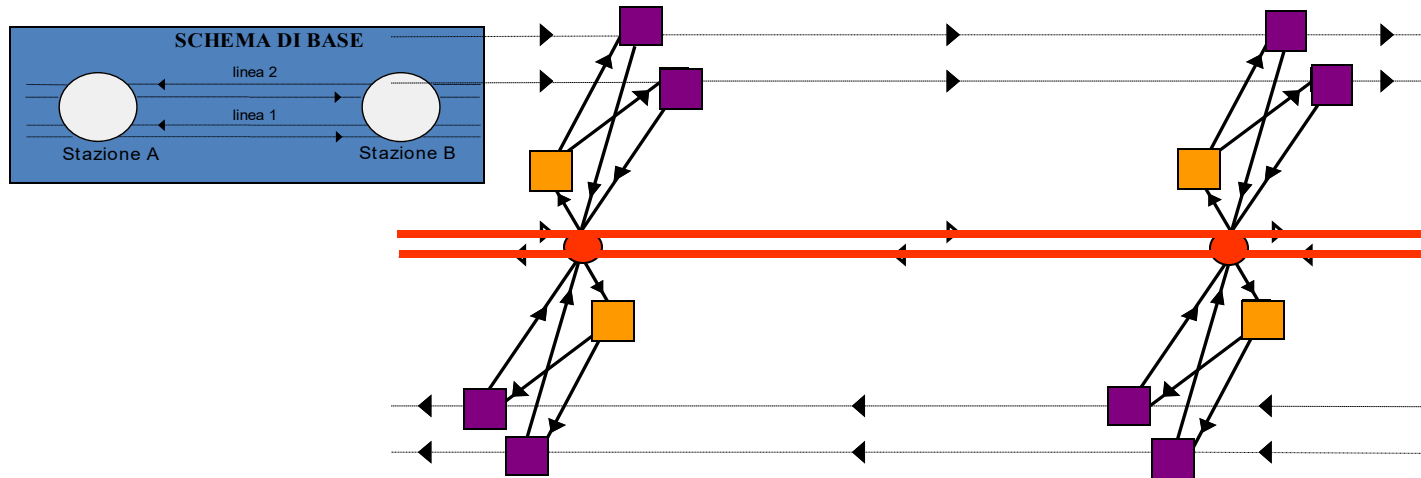
-> servizi discontinui e non simultanei

non disponibili in ogni punto e non disponibili in ogni orario (e.g. trasporto collettivo su gomma, su ferro, aereo etc...)

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

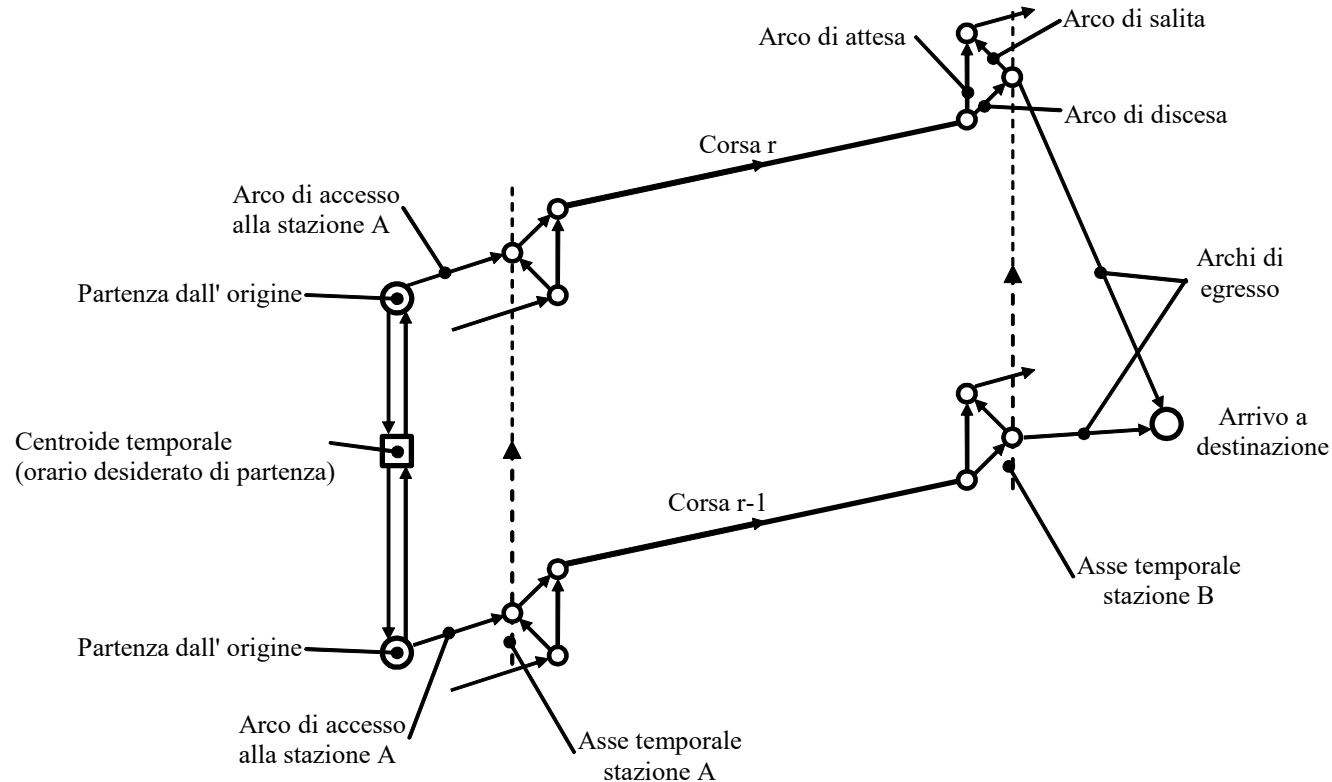
## La estrazione della rete di base

### GRAFO RAPPRESENTATIVO



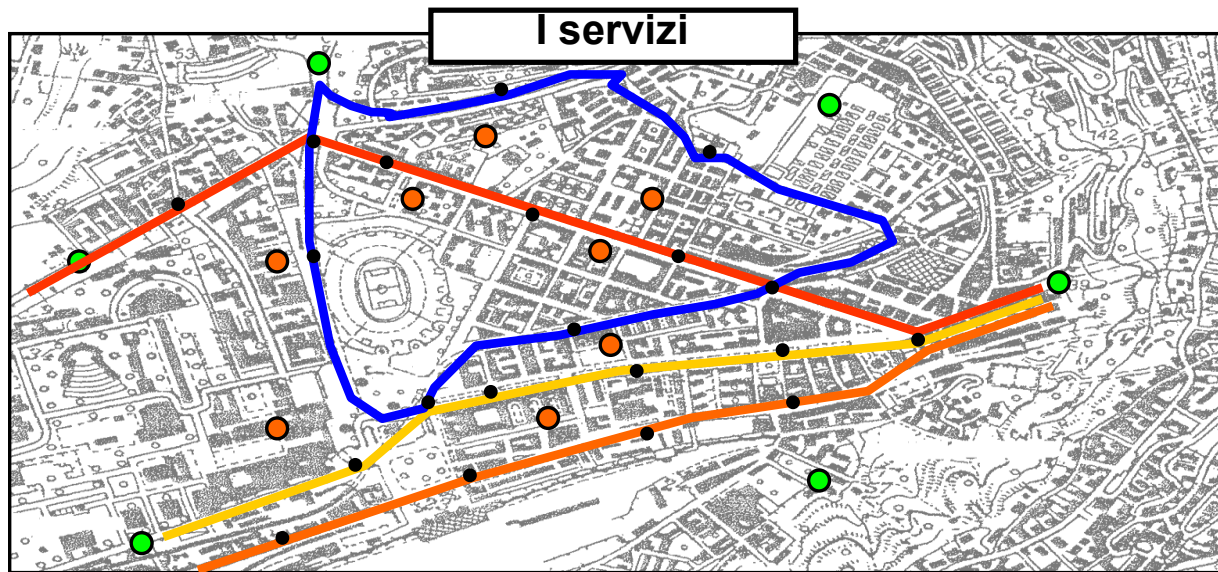
# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La estrazione della rete di base



# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

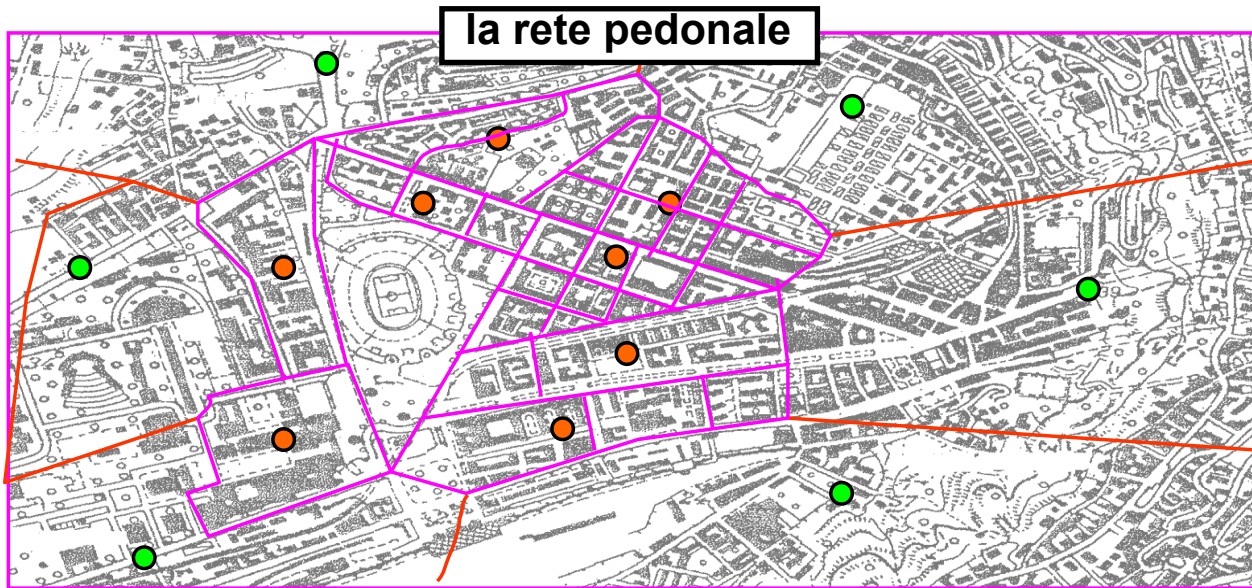
## La estrazione della rete di base



- Centroidi al cordone
- Centroidi di zona
- Nodi fittizi
- Nodi fermata

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

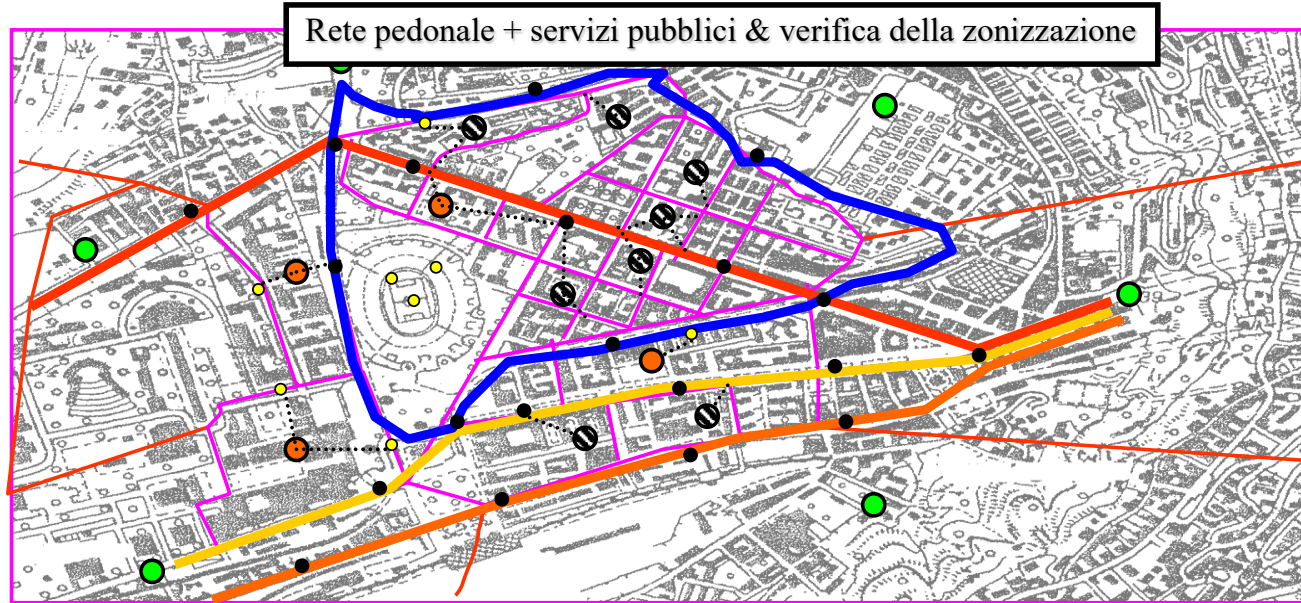
## La estrazione della rete di base



- Centroidi al cordone
- Centroidi di zona
- Nodi fittizi
- Nodi reali

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La estrazione della rete di base

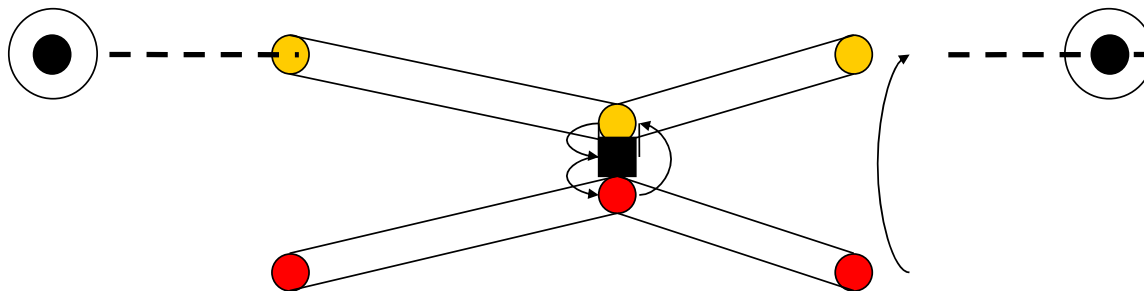


- Centroidi al cordone
- Centroidi di zona    ● Nuovi Centroidi di zona
- Nodi fittizi
- Nodi reali

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## La estrazione della rete di base

Grafo sincronico – TRASPORTO PUBBLICO



Nodi rappresentano:

- Luoghi della rete che l'utente può raggiungere a piedi 
- Luoghi in cui transitano (ma non si fermano) una o più linee di trasporto pubblico 
- Luoghi in cui transitano e fermano una o più linee di trasporto pubblico 

*•In corrispondenza dei nodi fermata si svolgono attività diverse: Attesa, salita o discesa*

# Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

## Le funzioni di prestazione

### Funzioni di prestazione per una rete di trasporto collettivo

Tempo di accesso  
Tempo di egresso  
Velocità pedonale

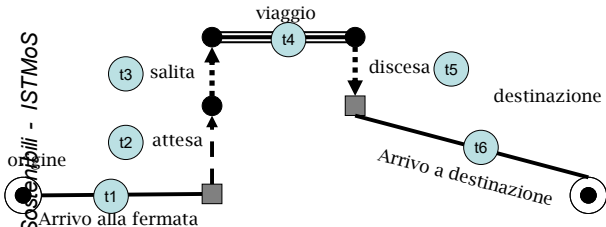
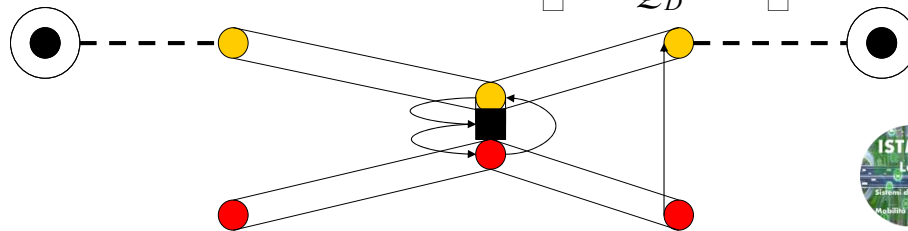
$$Ta_l = \frac{L_l}{v_{al}(b_l, \gamma_l)}$$

$$Tw_l = \frac{\theta}{\phi_l} \rightarrow Tw_l = \frac{\theta}{\phi_l} \frac{f_{b(.)} + f_{w(.)}}{Q_l}$$

Velocità commerciale del mezzo  $\rightarrow Tb_l = \frac{L_l}{v_l(b_l, \gamma_l)}$

Tempo di salita

$$Td_l = \gamma_1 + \gamma_2 \frac{f_{al(l)} + f_{br(l)}}{Q_D} \gamma_3$$



La «stima» della  
domanda di  
spostamento

# La progettazione «what if» dell'offerta dei servizi di TPL

## La domanda?

Rete non  
congestionata

Modello di scelta  
del percorso

Rete  
congestionata

Domanda  
rigida

Domanda  
elastica

Modello  
di scelta  
del  
percorso

Modello di scelta modale

Modello di scelta destinazione

Modello di frequenza degli spostamenti

# La domanda di trasporto

## definizioni (1)

**1) “la domanda di trasporto deriva dalla necessità di svolgere delle attività in luoghi diversi ....., e’ determinata dalla configurazione che il sistema delle attività e quello dell’offerta di trasporto assumono nell’area di studio”**

**2) puo’ essere definita come .....  
.....il numero di utenti che consumano i servizi offerti dal sistema dell’offerta di trasporto in un ben preciso intervallo di tempo e per uno specifico motivo  
(flusso di domanda)**

**3) ad un flusso di domanda possono (devono) essere associate delle caratteristiche necessarie per IDENTIFICARLO**

# La domanda di trasporto

*definizioni – caratterizzazione della domanda di trasporto (1/2)*

## il generico spostamento è

- I. un'attività svolta da un utente con le sue caratteristiche che lo differenziano da altri utenti
- II. un'attività deriva dall'esigenza di compiere un'altra attività "primaria"
- III. un'attività che si svolge in un ben definito intervallo temporale
- IV. un'attività che si svolge tra due punti del territorio
- V. un'attività che utilizza un modo di trasporto

# La domanda di trasporto

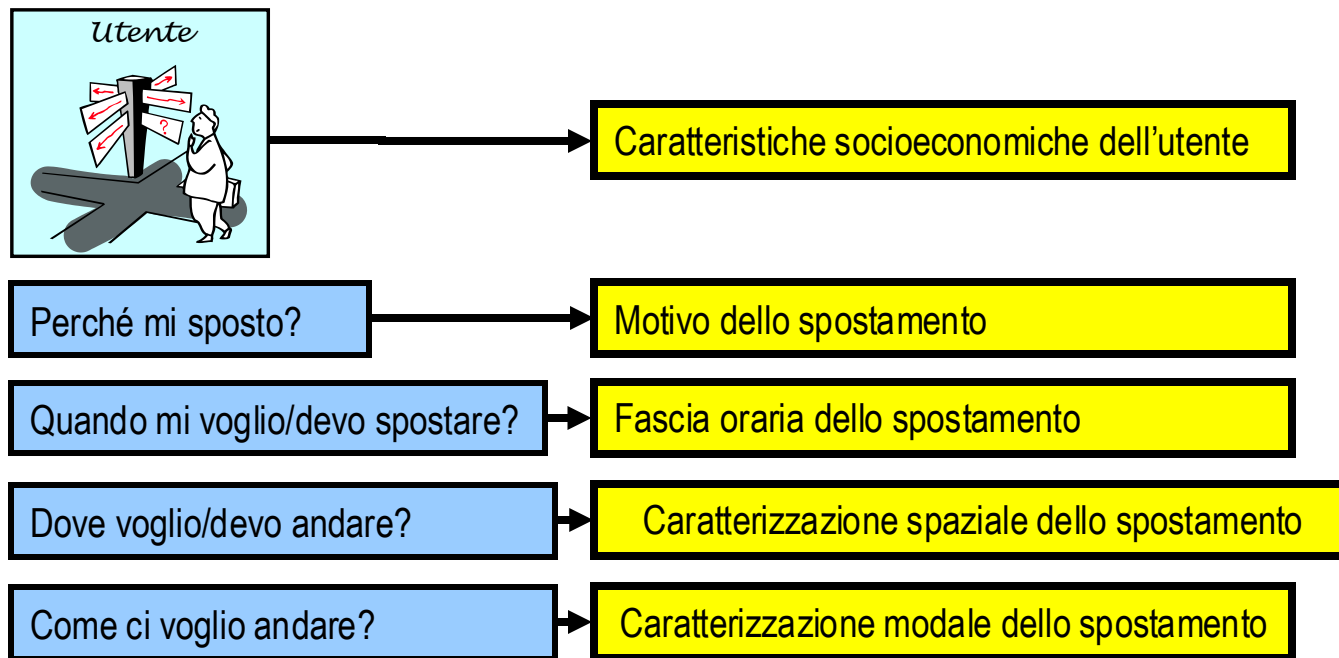
*definizioni – caratterizzazione della domanda di trasporto (2/2)*

**il generico spostamento è identificato nel momento in cui sono definiti:**

- I. l'utente (o la classe di utenti)
- II. il motivo dello spostamento
- III. la fascia oraria dello spostamento
- IV. l'origine e la destinazione dello spostamento
- V. Il modo di trasporto dello spostamento

# La domanda di trasporto

## definizioni – caratteristiche della domanda di trasporto



# La domanda di trasporto

*l'utente*

## PERCHE' classificare gli utenti che si spostano?

- (a) i comportamenti di spostamento variano da utente a utente
- (b) non è possibile modellare comportamenti in modo indifferenziato
- (c) per semplicità si è soliti aggregare utenti che si ritengono omogenei in classi di utenti

**una possibile classificazione deve essere coerente con le classificazioni ISTAT!!**

# La domanda di trasporto

*il motivo dello spostamento*

## PERCHE' specificare un motivo dello spostamento?

- il motivo dello spostamento è, innanzitutto, un **criterio di classificazione** degli utenti in classe omogenee
- i comportamenti possono essere molto diversi al variare del motivo dello spostamento

*solitamente si è soliti distinguere **almeno**  
gli spostamenti sistematici da quelli non sistematici*

# La domanda di trasporto

*la fascia oraria dello spostamento (vedi anche intervallo di simulazione)*

## PERCHE' specificare una fascia oraria?

- le componenti del sistema dell'offerta di trasporto hanno una **capacità** di assorbire "domanda" **limitata** e, pertanto, per una loro corretta progettazione è necessario conoscere la struttura temporale della domanda, ossia, la fascia oraria dello spostamento (**intervallo di simulazione**)
- (come per le classi e i motivi)...i comportamenti di spostamento possono essere molto diversi al variare della fascia oraria

# La domanda di trasporto

## la caratterizzazione spaziale (1)

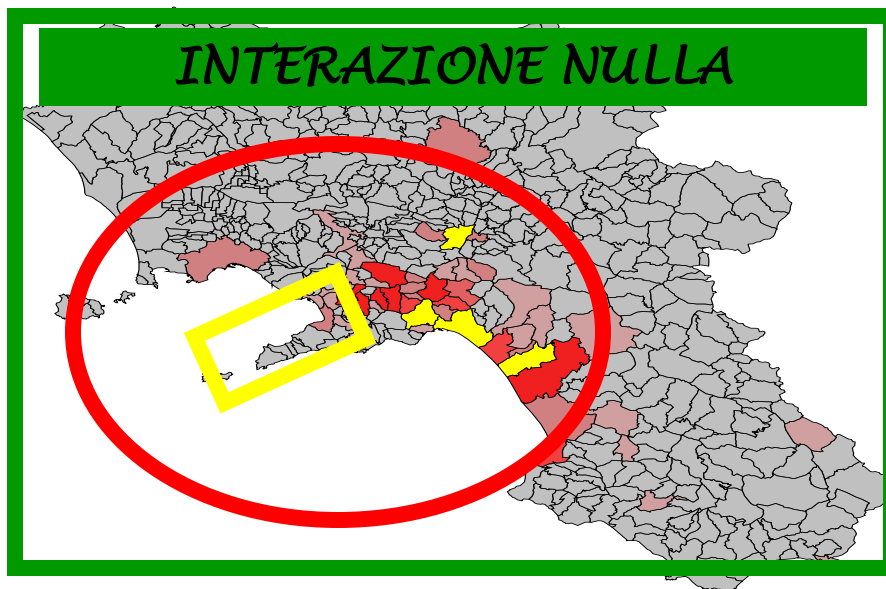
### PERCHE' spazializzarla?

- ogni spostamento è caratterizzato da un origine e da una destinazione
- la domanda di mobilità deve riferirsi alle possibili origini ed alle possibili destinazioni esistenti all'interno dell'area di studio
- benché le origini e le destinazioni dello spostamento siano punti elementari del territorio, si è soliti riferirsi a macro-zone di "traffico" (vedi zonizzazione)
- **la zonizzazione del territorio caratterizza spazialmente la domanda di mobilità** e consente di definire le matrici origine-destinazione che rappresentano la mappa della mobilità dell'area di studio

# La domanda di trasporto

## la caratterizzazione spaziale (2)

- per caratterizzare spazialmente la domanda di trasporto si è soliti distinguere:
- a) l'area di studio
  - b) le zone di traffico



# La domanda di trasporto

## la caratterizzazione spaziale (3)

### → La matrice O-D

- **N**: zone totali
- **I**: zone interne
- **I-I**: spost. Interni/Interni
- **I-E**: spost. Interni/Esterni
- **E-I**: spost. Esterni/Interni
- **E-E**: spost. Esterni/Esterni

|     | 1 | 2   | .. | I | I+1 | I+2 | ... | N |
|-----|---|-----|----|---|-----|-----|-----|---|
| 1   |   |     |    |   |     |     |     |   |
| 2   |   | I-I |    |   |     | I-E |     |   |
| ..  |   |     |    |   |     |     |     |   |
| I   |   |     |    |   |     |     |     |   |
| I+1 |   |     |    |   |     |     |     |   |
| I+2 |   | E-I |    |   |     | E-E |     |   |
| ... |   |     |    |   |     |     |     |   |
| N   |   |     |    |   |     |     |     |   |

# La domanda di trasporto

## *la caratterizzazione modale*

- ogni spostamento è caratterizzato da .....un modo di trasporto...
- Dal..... percorso scelto

# La domanda di trasporto

riassumendo

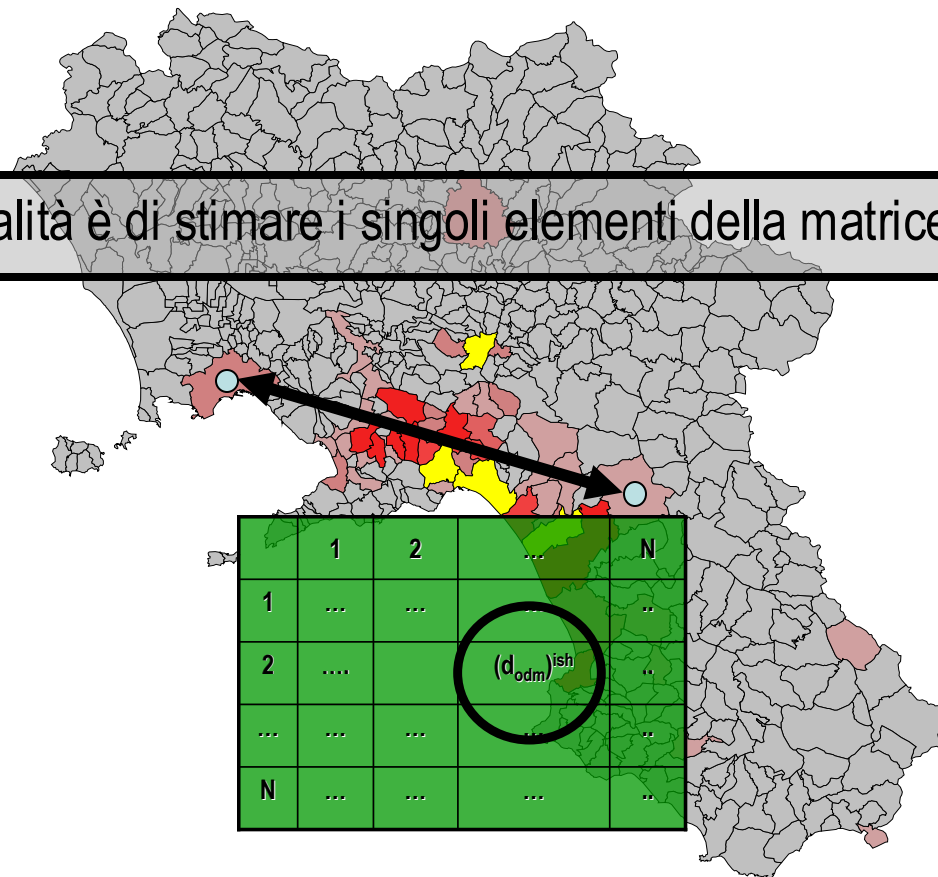
- per ogni:
  - *motivo*  $(s)$
  - *classe di utenti*  $(i)$
  - *fascia oraria*  $(h)$
  - *modo di trasporto*  $(m)$
- la domanda di mobilità  $(d_{odm})^{sh}$  può essere schematizzata in tante matrici origine-destinazione i cui elementi sono i flussi di domanda che vogliamo stimare

|     | 1    | 2                 | ... | N  |
|-----|------|-------------------|-----|----|
| 1   | ...  | ...               | ... | .. |
| 2   | .... | $(d_{odm})^{ish}$ | ... | .. |
| ... | ...  | ...               | ... | .. |
| N   | ...  | ...               | ... | .. |

# La domanda di trasporto

## le incognite del problema

La finalità è di stimare i singoli elementi della matrice (O-D)



# La simulazione della domanda di trasporto

*la stima da modello: una classificazione dei problemi e dei tipi di modelli*

## *modelli di mobilità*

- scelta del luogo di residenza e di lavoro, la scelta di possedere la patente di guida e del numero di automobili sono altrettanti esempi (scelte con un elevato costo di variazione solitamente assunte invarianti nel breve periodo).

## *modelli di viaggio*

- simulano le scelte che caratterizzano il viaggio. Appartengono a questa categoria le scelte di frequenza, di destinazione, del modo di trasporto, del percorso, ecc.

# La simulazione della domanda di trasporto

*la stima da modello: tipologie di modelli di viaggio*

## *modelli di viaggio*

- *modelli per la domanda di spostamenti* : si assume che le scelte relative a ciascuno spostamento Origine-Destinazione avvengano indipendentemente da quelle degli altri spostamenti dello stesso viaggio e degli altri viaggi.
- *modelli per la domanda di sequenze di spostamenti* assumono che l'utente effettui contestualmente scelte su tutte le dimensioni che intervengono per l'intero viaggio.
- *modelli per la domanda di partecipazione alle attività*, tengono conto dei condizionamenti che avvengono fra i diversi viaggi di una stessa persona nell'ambito di una giornata "tipo" e fra i viaggi delle persone appartenenti alla stessa famiglia.

# La simulazione della domanda di trasporto

*la stima da modello: modelli di viaggio al variare delle vari.di ingresso*

## aggregati

- se **i comportamenti osservati sono aggregazione di singoli comportamenti** e se le variabili (attributi) che vi compaiono sono relative ad un aggregato di utenti (ad es. tempi e costi medi fra tutti gli spostamenti che avvengono fra i punti di due zone di traffico o il numero medio di auto possedute dalle famiglie di una certa categoria) e

## disaggregati

- se le variabili (attributi) che vi compaiono sono relative al singolo utente (ad es. i tempi e i costi fra i luoghi effettivi di inizio e termine dello spostamento o il numero di auto del nucleo familiare di appartenenza)

# La simulazione della domanda di trasporto

*la stima da modello: modelli di viaggio al variare delle ip. interpretative*

## **comportamentali**

- *esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti (e.g. scelgo l'alternativa che costa di meno)*

## **non comportamentali**

- *descrivono le relazioni fra la domanda e le variabili SE e T senza formulare ipotesi sul comportamento dei decisori*

# La domanda di trasporto

*quale approccio alla stima delle incognite del problema (1)*

**i flussi di domanda possono essere esplicitati come il  
prodotto dei seguenti termini  
(parzializzazione del flusso di domanda)**

$$d^i_{od}[s,h,m] = [N^i[o] \times \underline{m}^i[o]] \times p^i[d/osh] \times p^i[m/oshd]$$

- **$N^i[o]$ :** numero di persone della zona (o), della classe (i) che possono spostarsi per il motivo (s) nella fascia oraria (h)
- **$\underline{m}^i[o]$ :** numero medio di spostamenti compiuti dall'utente (i) nella fascia oraria (h) e per il motivo (s)
- **$p^i[d/osh]$ :** percentuale degli utenti che si spostano  $[n^i[o] \times m^i]$  e che si recano nella destinazione (d)
- **$p^i[m/osh]$ :** percentuale degli utenti che spostandosi e recandosi nella destinazione (d)  $\{[n^i[o] \times m^i] \times p^i[d/osh]\}$ , utilizzano il modo di trasporto (m)

# La domanda di trasporto

*quale approccio alla stima delle incognite del problema (2)*

- l'ingegneria dei Sistemi di Trasporto studia, anche, i metodi funzionali alla stima delle aliquote in cui può essere “parzializzato” un flusso di domanda

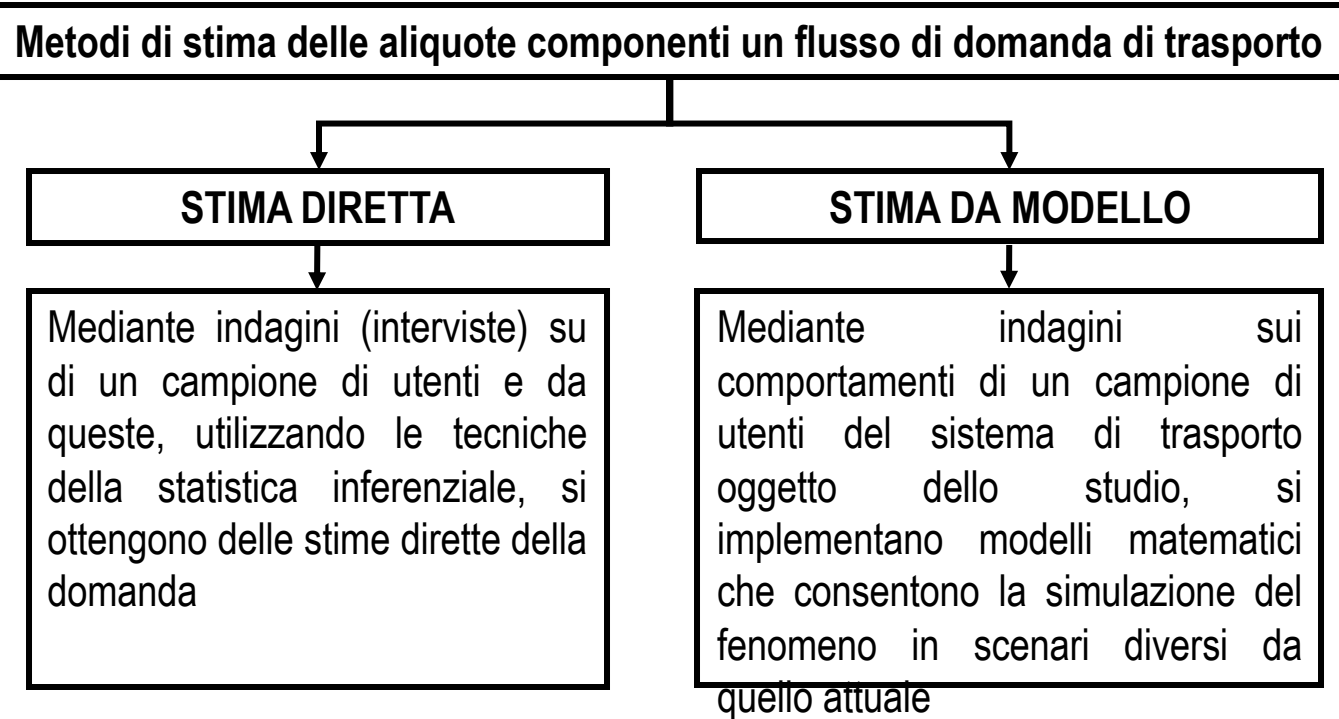
$$d_{od}^{i}[s,h,m,k] = [N^i[o] \times \underline{m^i[o]} \times p^i[d/osh] \times p^i[m/oshd]]$$

- i singoli termini sono definiti come “**aliquote**” di domanda e, spesso, identificate come **dimensioni di scelta**, ritenendo che ciascuna di esse sia il prodotto di un processo decisionale dell'utente/i

la combinazione delle diverse aliquote è anche noto il modello ad aliquote parziali ovvero modello a “3” stadi

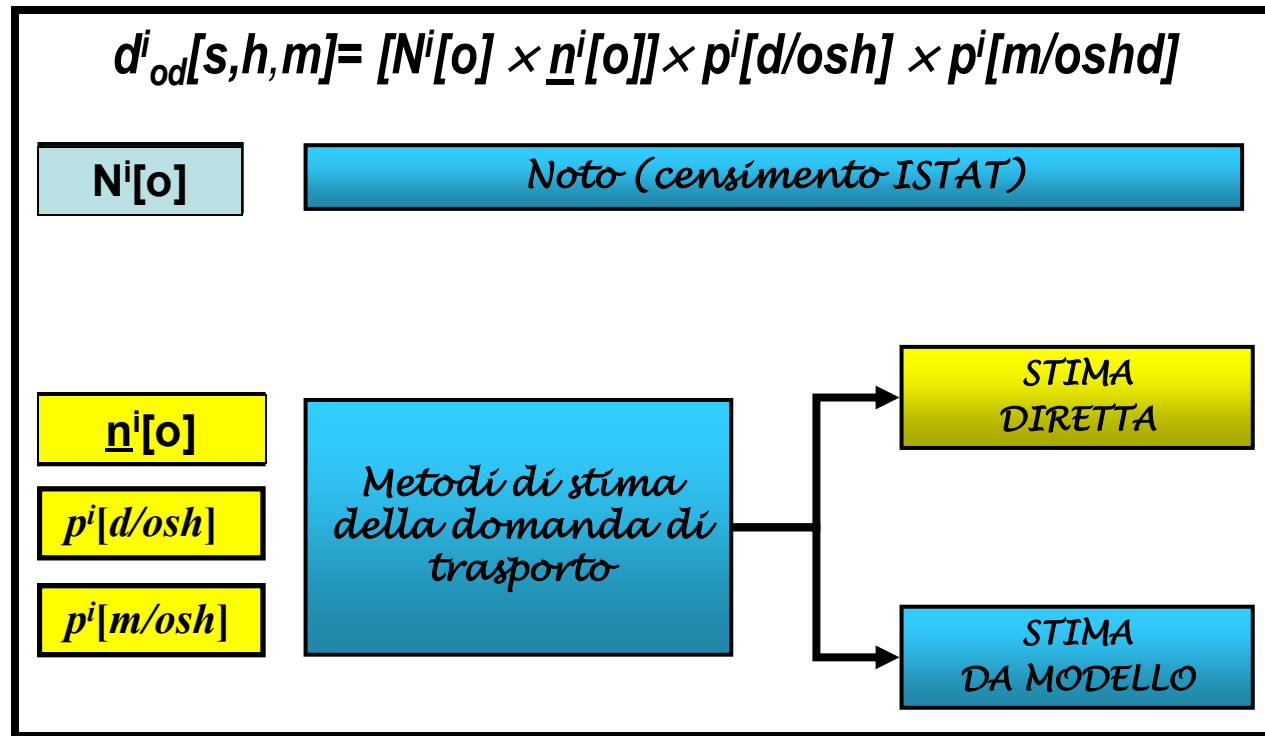
# La domanda di trasporto

*quale approccio alla stima delle incognite del problema (3)*



# La domanda di trasporto

quale approccio alla stima delle incognite del problema (4)



# La domanda di trasporto

come scegliere l'approccio alla stima delle incognite del problema (1)

→ In funzione di quale elemento della matrice O-D stiamo stimando

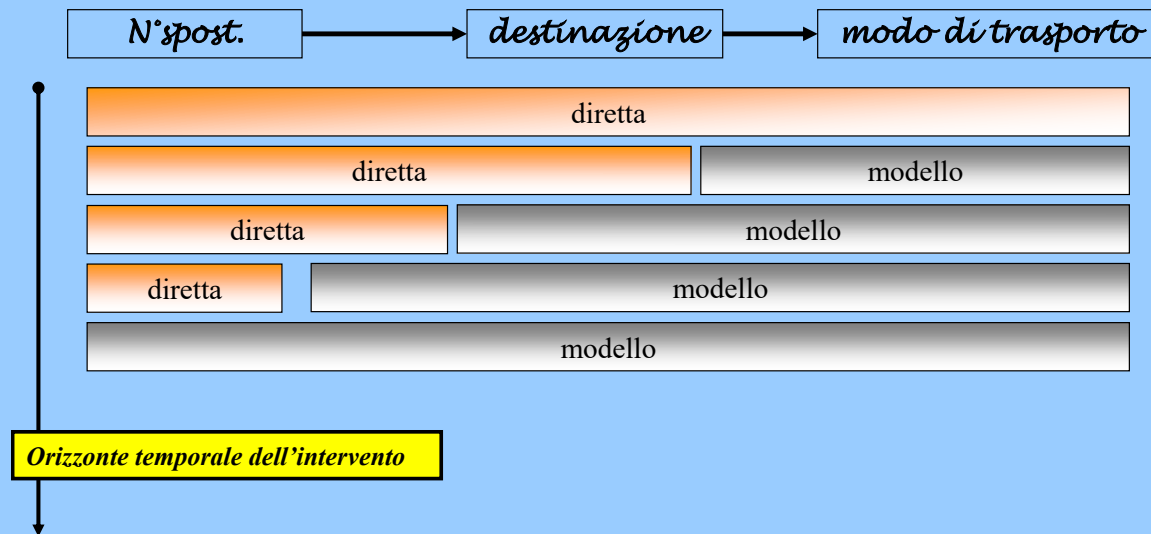
- **N:** zone totali
- **I:** zone interne
- **I-I:** spost. Interni/Interni
- **I-E:** spost. Interni/Esterni
- **E-I:** spost. Esterni/Interni
- **E-E:** spost. Esterni/Esterni

|     | 1                | 2 | .. | I | I+1           | I+2 | ... | N |
|-----|------------------|---|----|---|---------------|-----|-----|---|
| 1   | STIMA DA MODELLO |   |    |   | STIMA DIRETTA |     |     |   |
| 2   |                  |   |    |   |               |     |     |   |
| ..  |                  |   |    |   |               |     |     |   |
| I   |                  |   |    |   |               |     |     |   |
| I+1 | STIMA DIRETTA    |   |    |   | STIMA DIRETTA |     |     |   |
| I+2 |                  |   |    |   |               |     |     |   |
| ... |                  |   |    |   |               |     |     |   |
| N   |                  |   |    |   |               |     |     |   |

# La domanda di trasporto

*come scegliere l'approccio alla stima delle incognite del problema (2)*

L'approccio dipende dall'influenza che gli interventi previsti sul sistema dell'offerta di trasporto possono avere sulle caratteristiche della domanda di trasporto  
(quale caratteristica della domanda di trasporto è sensibile (elastica) rispetto all'intervento previsto?)



# Stima diretta della domanda

*quali indagini per le diverse tipologie di flussi O-D da stimare*

▪ **N:** zone totali

▪ **I:** zone interne

▪ **I-I:** spost. Interni/Interni

▪ **I-E:** spost. Interni/Esterni

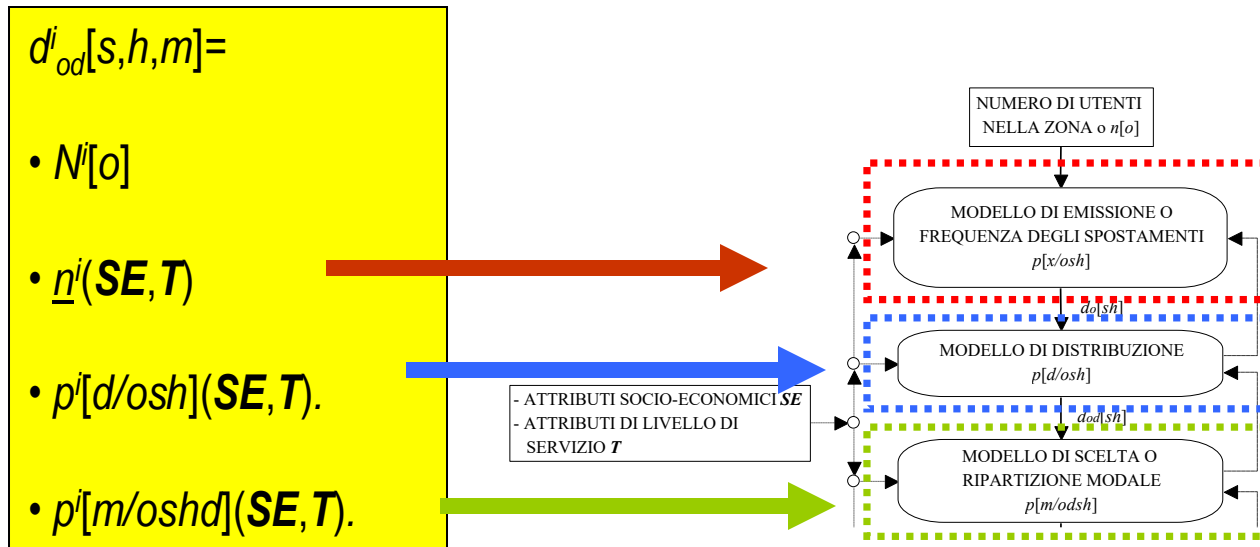
▪ **E-I:** spost. Esterni/Interni

▪ **E-E:** spost. Esterni/Esterni

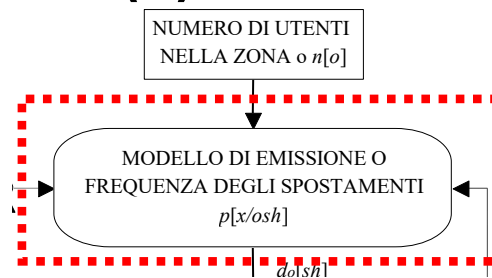
|     | 1                                                                                  | 2 | .. | I | I+1                                                  | I+2 | ... | N |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|---|----|---|------------------------------------------------------|-----|-----|---|
| 1   | <b>► a domicilio</b><br><br>raramente<br>- a bordo del veicolo<br>- a destinazione |   |    |   | <b>► a bordo del veicolo</b>                         |     |     |   |
| 2   |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |
| ..  |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |
| I   |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |
| I+1 | <b>► a bordo del veicolo</b><br><br><b>► a destinazione</b>                        |   |    |   | <b>► a bordo del veicolo</b><br><br><b>► “targa”</b> |     |     |   |
| I+2 |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |
| ... |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |
| N   |                                                                                    |   |    |   |                                                      |     |     |   |

# Il sistema della domanda di trasporto

la stima da modello – approccio disaggregato comportamentale



# I modelli di emissione (1)



***Il modello di emissione ( $m_i [osh]$ ), fornisce il numero medio di spostamenti effettuati nel periodo “h” per il motivo “s” dal generico utente appartenente alla categoria “i” con origine nella zona di traffico “o”.***

***Consente di stimare quante persone si spostano dalla zona “o” per “s” in “h”***

$$d_o^i [sh] = n_o[i] \times m^i [osh]$$

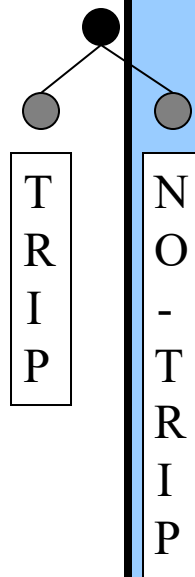
# I modelli di emissione (2)

$$d_o^i [sh] = N_o[i] \times n_o^i [osh]$$

- $N_o[i]$  = numero di persone appartenenti alla classe  $i$ , che risiedono nella zona  $o$ , che possono spostarsi per il motivo  $s$  e nella fascia oraria  $h$
- $n_o^i [osh]$  = **MODELLO DI EMISSIONE**  
(numero medio di spostamenti compiuti dagli utenti della classe  $i$ , che risiedono nella zona  $o$ , per il motivo  $s$ , nella fascia oraria  $h$ )
  - Stima diretta
    - Indagine campionaria
  - Stima da modello
    - Indagine campionaria + specificazione di modelli di tipo regressivo (e.g. regressione lineare) **di tipo non comportamentale**
    - Indagine campionaria + specificazione di modelli basati sulla teoria dell'utilità aleatoria **di tipo comportamentale**

# Modelli comportamentali

un esempio<sup>1</sup>

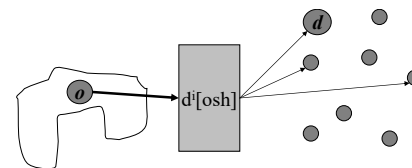


$$V_{TRIP} = \beta_1 DA + \beta_2 OCC + \beta_3 ETA' + \beta_4 LRD + \beta_5 DN + \beta_6 ACC$$

$$V_{NOTRIP} = \beta_7 SAM + \beta_8 SAF + \beta_9 NT$$

| Tipologia delle variabili                                            | Nome delle variabili                                          |             |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|
| Socio-economiche                                                     | disponibilità dell'auto                                       | <i>DA</i>   |
|                                                                      | occupazione                                                   | <i>OCC</i>  |
|                                                                      | età                                                           | <i>ETA'</i> |
|                                                                      | livello di reddito                                            | <i>LRD</i>  |
|                                                                      | donna                                                         | <i>DN</i>   |
| Localizzazione                                                       | Accessibilità                                                 | <i>ACC</i>  |
| Disponibilità tempo                                                  | altri spostamenti effettuati dalla persona per altri motivi   | <i>SAM</i>  |
| Interrelazione individuo famiglia                                    | spostamenti totali degli altri familiari per lo stesso motivo | <i>SAF</i>  |
| Attributo Specifico dell'Alternativa (ASA)                           | preferenza NOTRIP                                             | <i>NT</i>   |
| <i>DA</i> var. ombra: 0 = auto non disponibile; 1 = auto disponibile |                                                               |             |
| <i>OCC</i> var. ombra: 0 = non occupato; 1 = occupato                |                                                               |             |
| <i>ETA'</i> var. ombra: 0 = > 35 anni; 1 = ≤ 35                      |                                                               |             |
| <i>LRD</i> var da 0 a 5, 0= reddito basso 5=reddito molto alto       |                                                               |             |
| <i>DN</i> var. ombra: 0 = uomo, 1 = donna                            |                                                               |             |

# I modelli di distribuzione (1)



*Il modello di distribuzione fornisce la percentuale  $p^i[d/osh]$  di spostamenti effettuati da utenti di categoria “i” che, partendo dalla zona “o” per il motivo “s” nel periodo “h”, si recano alla destinazione “d”*

*Consente di stimare quante persone si spostano tra una zona “o” e una zona “d”*

$$d_{od}^i[sh] = \boxed{N_o[i] \times \underline{n}^i[osh]} \times \boxed{p^i[d/osh]}$$

# I modelli di distribuzione (2)

$p^i[d/osh]$

Stima diretta

- Indagine campionaria

|     | 1    | 2   | ...          | N  |
|-----|------|-----|--------------|----|
| 1   | ...  | ... | ...          | .. |
| 2   | .... |     | $p^i[d/osh]$ | .. |
| ... | ...  | ... | ...          | .. |
| N   | ...  | ... | ...          | .. |

Stima da modello

- Indagine campionaria + specificazione di modelli di tipo non comportamentale
- Indagine campionaria + specificazione di modelli basati sulla teoria dell'utilità aleatoria (modelli di tipo comportamentale)

# I modelli di distribuzione

la stima da modello = un esempio (2)

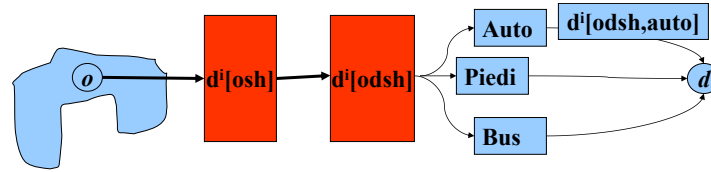
ATTRAZIONE

COSTO

$$p[d / osh] = \frac{\exp(\beta_1 A_d - \beta_2 C_{od})}{\sum_{d'} \exp(\beta_1 A_{d'} - \beta_2 C_{od'})}$$

| MOTIVO | AD                              | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|--------|---------------------------------|-----------|-----------|
| C-L    | ADD. SETTORE INDUSTRIA          | 1.10      | 0.70      |
|        | ADD. SETTORE SERVIZI            | 0.93      | 0.70      |
|        | ADD. SETTORE SERVIZI PRIVATI    | 0.93      | 0.83      |
|        | ADD. SETTORE SERVIZI PUBBLICI   | 0.93      | 0.58      |
| C-SC   | ALUNNI SCUOLE ELEMENTARI        | 0.90      | 2.52      |
|        | STUDENTI SCUOLE MEDIE INFERIORI | 0.95      | 2.24      |
|        | STUDENTI SCUOLE SUPERIORI       | 1.00      | 0.35      |
| C-SP   | ADDETTI SERVIZI                 | 0.91      | 0.78      |
| C-AP   | STUD. SCUOLE ELEM. E MEDIE SUP. | 0.20      | 1.35      |
| C-AB   | ADDETTI COMMERCIO               | 1.61      | 2.54      |

# I modelli di scelta modale (1)



*Il modello di scelta modale fornisce l'aliquota  $p^i[m/oshd]$  di spostamenti di utenti di categoria  $i$  che, recandosi dalla zona ( $o$ ) alla zona ( $d$ ) per il motivo ( $s$ ) nella fascia oraria ( $h$ ), usa il modo ( $m$ ).*

*Consente di stimare quante persone si spostano tra una zona “ $o$ ” e una zona “ $d$ ”*

$$d_{od}^i [sh] = n_o[i] \times m^i [osh] \times p^i[d/osh] \times p^i[m/odmsh]$$

# I modelli di scelta modale (2)

$p_i[m/odsh]$

|     | 1    | 2   | ...               | N  |
|-----|------|-----|-------------------|----|
| 1   | ...  | ... | ...               | .. |
| 2   | .... |     | $(d_{odm})^{ish}$ | .. |
| ... | ...  | ... | ...               | .. |
| N   | ...  | ... | ...               | .. |

- Stima diretta
  - Indagine campionaria
- Stima da modello
  - Indagine campionaria + specificazione di modelli basati sulla teoria dell'utilità aleatoria

# I modelli di scelta del percorso (1)

*Il modello di scelta del percorso fornisce l'aliquota  $p_i[k/oshdm]$  degli spostamenti effettuati da utenti di categoria  $i$ , che utilizzano ciascun percorso  $k$  relativo al modo  $m$  per recarsi da  $o$  a  $d$  per lo scopo  $s$  nella fascia oraria  $h$ .*

*Consente di stimare i flussi di percorso sulla rete modale  $m$  ( $F_k$  o il vettore  $\mathbf{F}$ ) una volta noti i flussi di domanda per origine-destinazione e per modo di trasporto  $m$*

$$d_{od}^{i} [sh] = n_{ol}^{i} \times m^{i} [osh] \times p^{i}[d/osh] \times p^{i}[m/odmsh] \times p^{i}[k/oshdm]$$

# I modelli di scelta del percorso

## *una classificazione<sup>1</sup>*

- **comportamento di scelta preventivo<sup>1</sup>**
  - la scelta del percorso è effettuata interamente prima di iniziare lo spostamento
- **comportamento di scelta preventivo-adattivo<sup>2</sup>**
  - la scelta del percorso avvenga in due fasi e sia completamente definita solo durante lo spostamento a seguito di adattamenti alle circostanze non prevedibili prima di intraprendere lo spostamento incontrate durante lo spostamento stesso

# I modelli di scelta del percorso

## *una classificazione<sup>2</sup>*

- **comportamento di scelta preventivo<sup>1</sup>**
  - è assunto per la scelta del percorso per sistemi che offrono un servizio di trasporto continuo (modalità individuali quali auto, i piedi, ecc.), ovvero un servizio di trasporto discontinuo (ad orario) con frequenze sufficientemente basse ed elevata regolarità per il quale si può assumere che l'utente conosca l'offerta (orario dei servizi) e scelga la corsa prima di iniziare lo spostamento.,
- **comportamento di scelta preventivo-adattivo<sup>2</sup>**
  - è considerato per sistemi che offrono un servizio di trasporto discontinuo (di linea) con frequenza di servizio elevata e/o bassa regolarità quali i servizi di autobus urbani