

1° CORSO

RUOLI E COMPITI NEGLI AFFIDAMENTI DEI SERVIZI DI TPL



Associazione per il governo regionale,
locale e urbano della mobilità sostenibile

1° Modulo

La progettazione dei servizi



Prof. Stefano de Luca

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

Dipartimento di Ingegneria Civile

Università di Salerno



Roma – 20/03/2023

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO

in collaborazione con

Con il patrocinio di



PROVINCIA
DI COSENZA

Si ringraziano per il loro importante contributo



1° Corso Ruoli e compiti negli affidamenti dei servizi di TPL

Programma della giornata

La pianificazione locale: dai Piani di Bacino del TPL ai Piani Urbani del Traffico

Ore 9.45 La pianificazione regionale: normativa generale e alcuni casi studio

Docente: Prof. Stefano De Luca

Ore 13.00 Pausa pranzo

Ore 14.00 La pianificazione locale: la normativa generale

Docente: Prof. Stefano De Luca

Ore 15.00 La normativa generale e la progettazione dell'offerta dei servizi di TPL nella pianificazione della mobilità sostenibile

Docente: Prof. Stefano De Luca

Ore 17.00 Conclusione dei lavori

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»

è ISFOR
uo»

- federMob
è

- e»

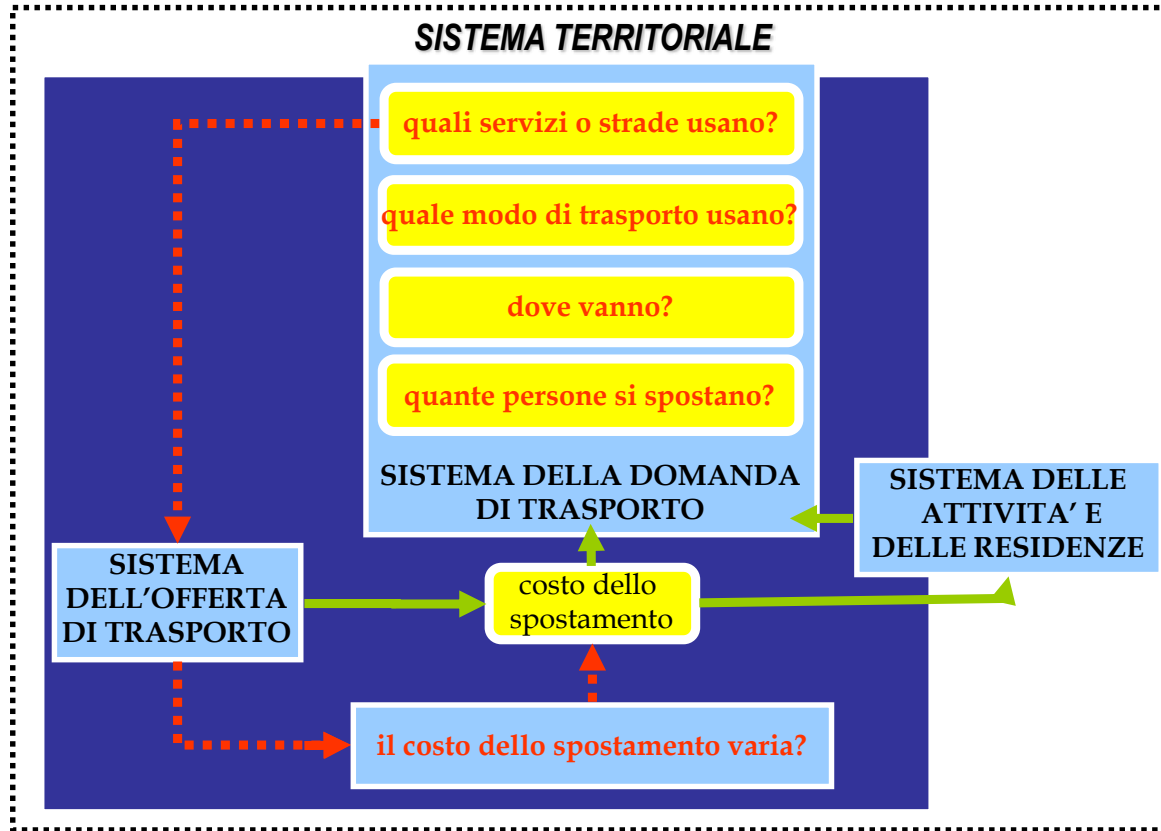
è
...

- «...petizione»

- modella
-
- 

La progettazione dei servizi di trasporto collettivo

Il sistema di trasporto: questo sconosciuto



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le
problematiche



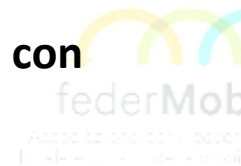
Progettazione di una Rete di Trasporto Collettivo

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

Le
problematiche

- **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.

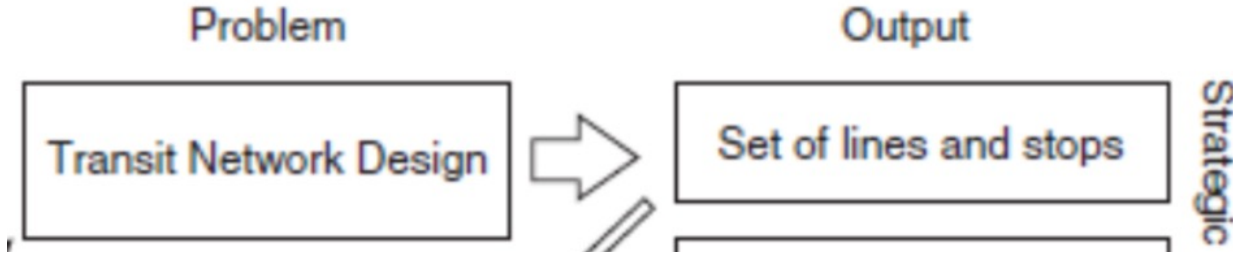
Pianificazione
strategica

Pianificazione
tattica

Pianificazione
operativa

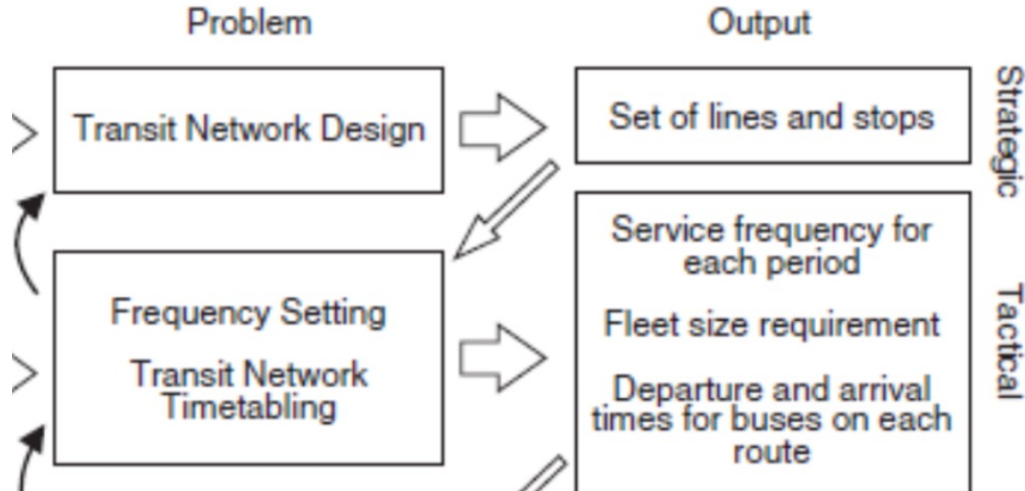
La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche #1



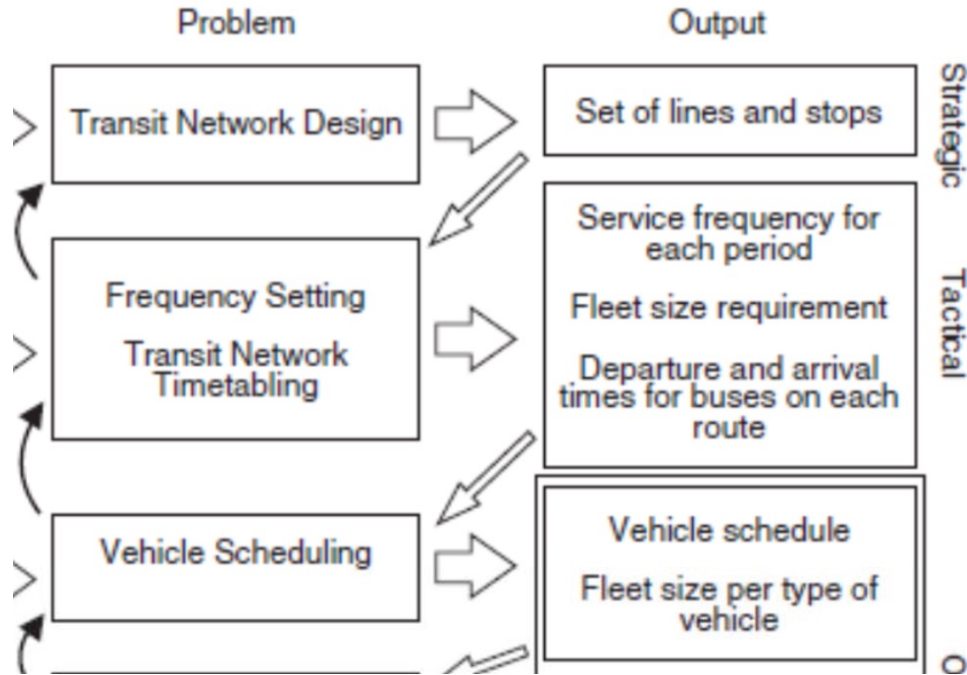
La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche #2



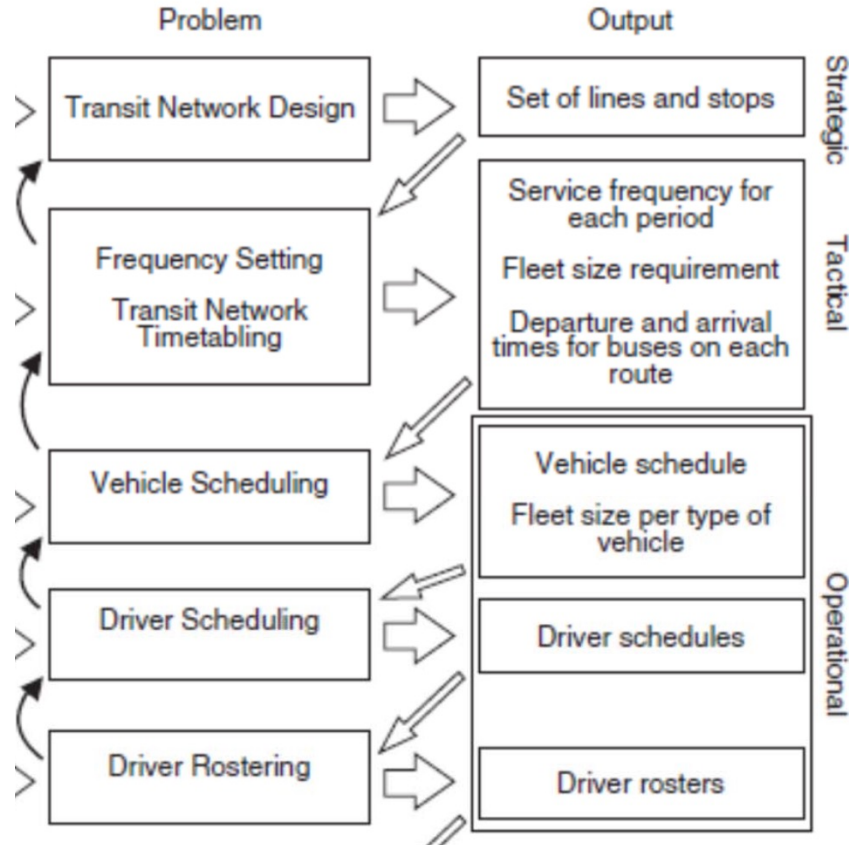
La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche #3



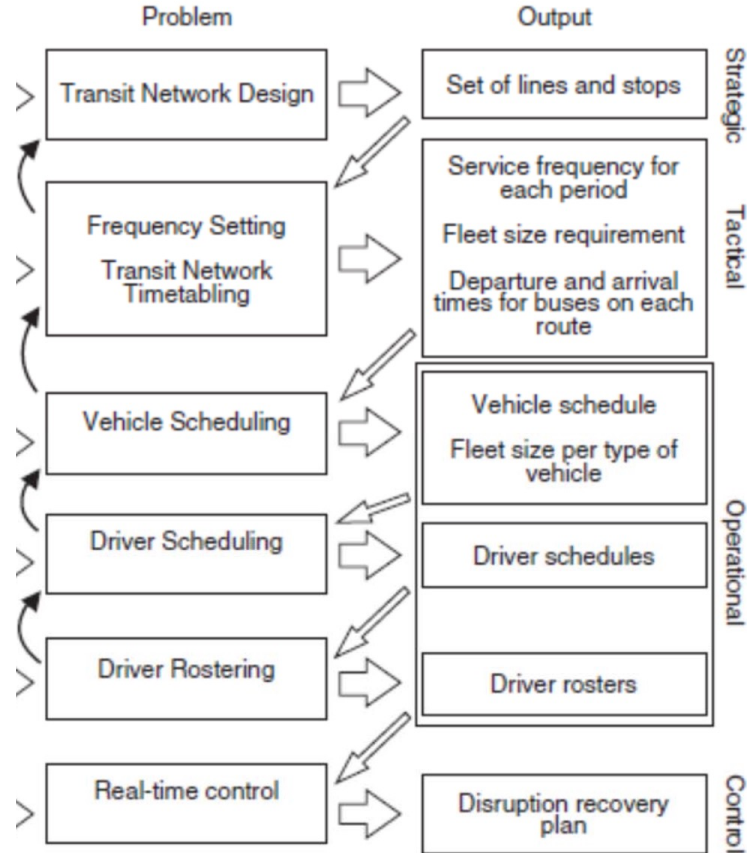
La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche #4



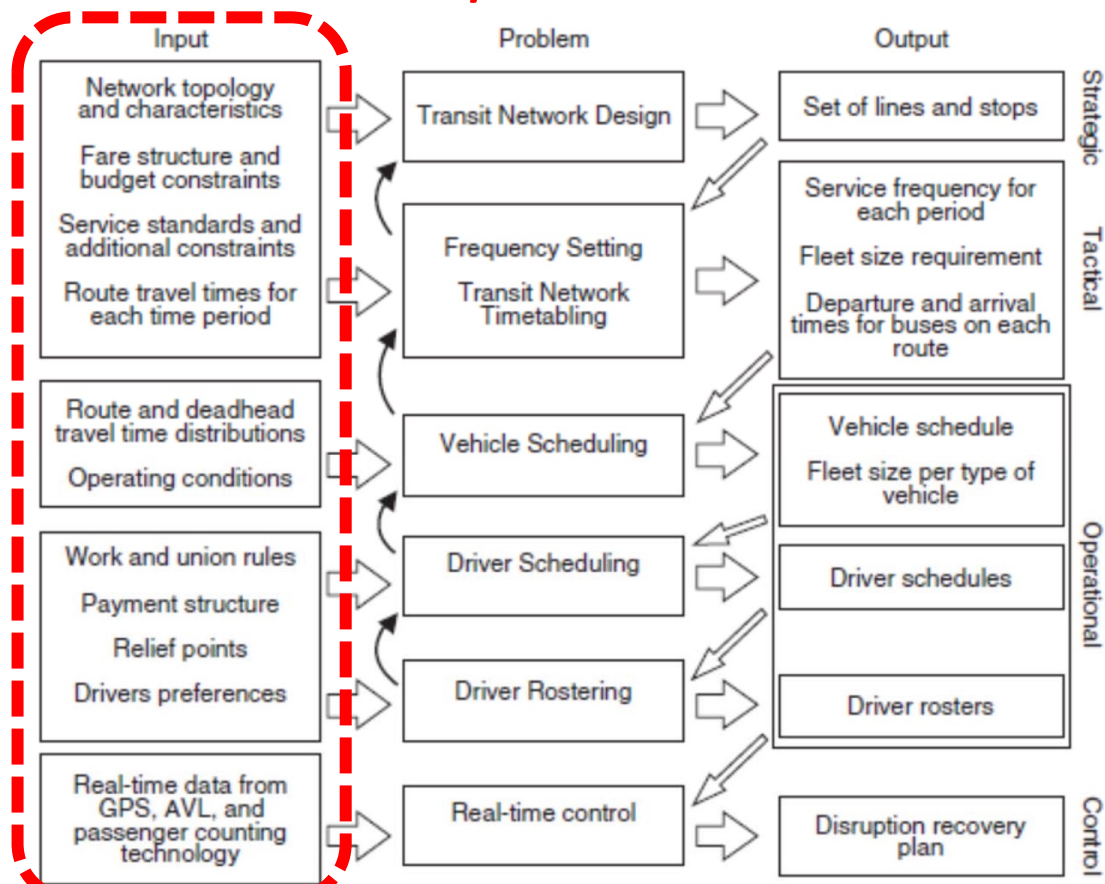
La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche #5



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Le problematiche tutte e i dati di input



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

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



Le problematiche

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

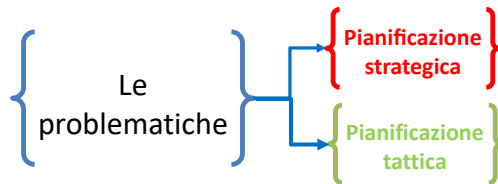


Le problematiche

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 specifico deposito per un certo periodo temporale (mese), nel rispetto dei vincoli sindacali ed in modo da minimizzare i costi di personale

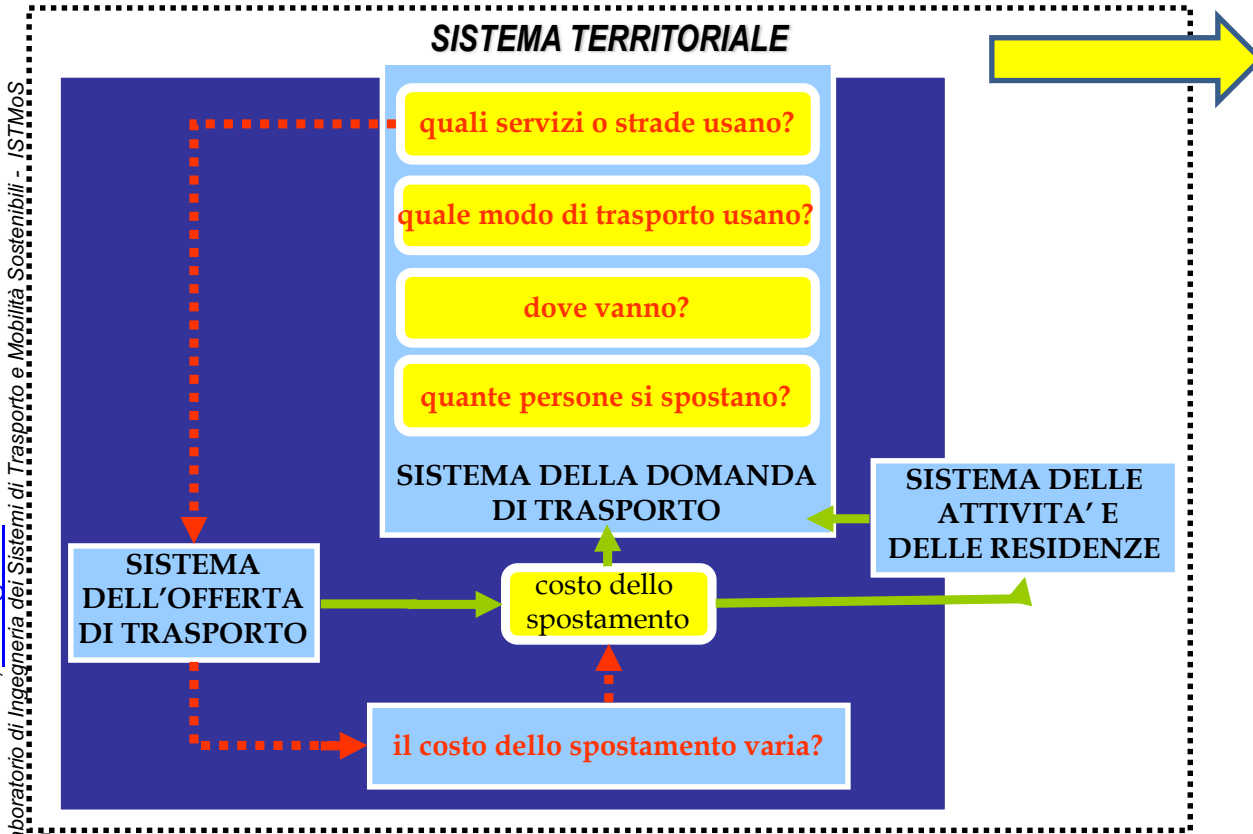
Le problematiche



- **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



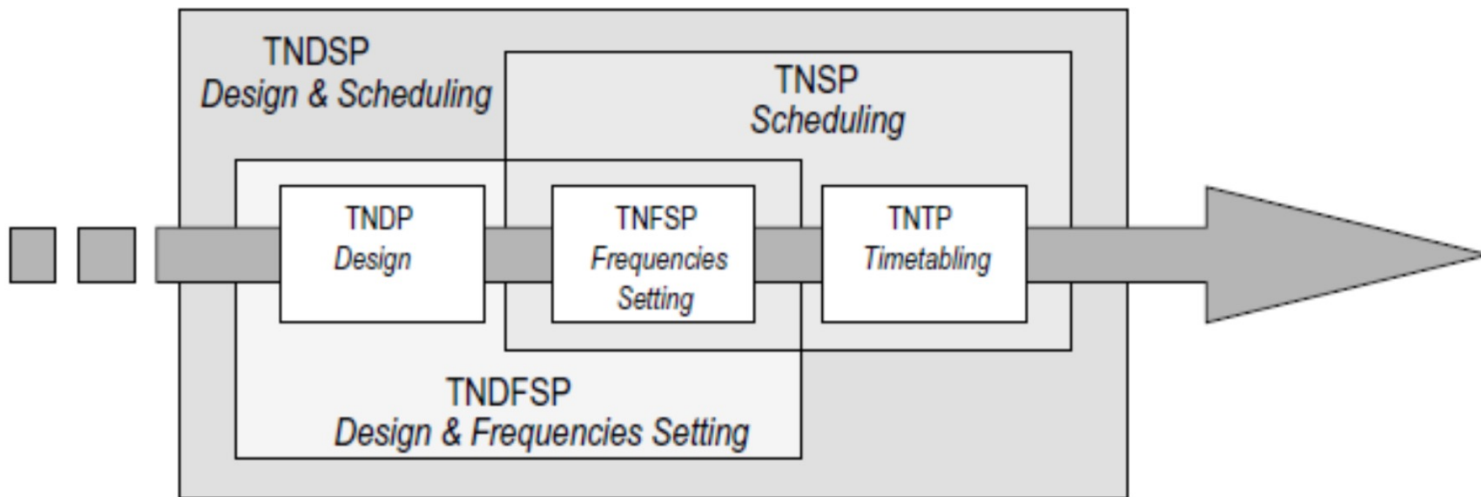
Ma anche

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

Per avere configurazioni costo/ricavi efficienti

L'attuale approccio «integrato» alle problematiche

L'approccio **usuale** consiste nel risolvere **sequenzialmente** i diversi sotto-problemi, in maniera iterativa



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»

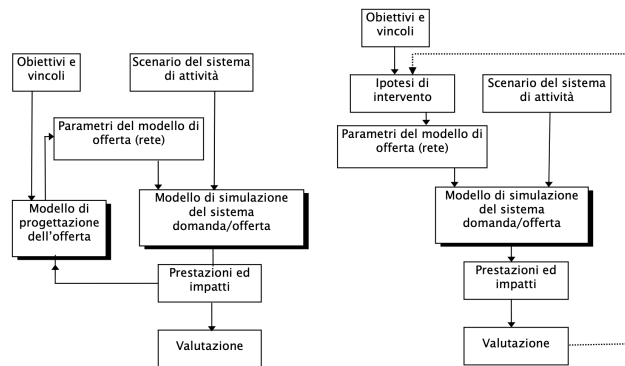
Dati e modelli

Base e/o
avanzati

Ben definiti

APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE DELL'OFFERTA DI TRASPORTO

input



approccio
"WHAT TO"

modello di
progetto dell'offerta

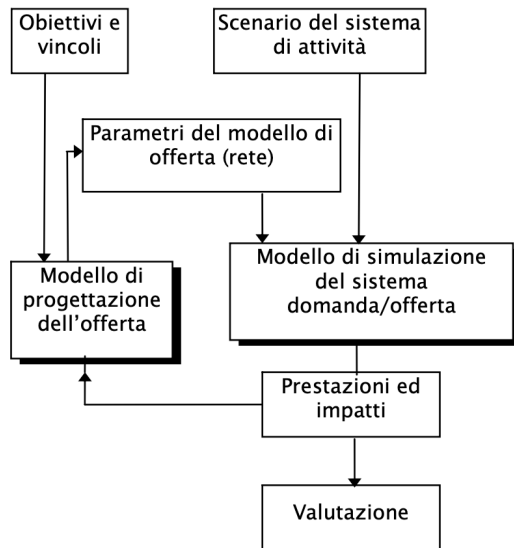
approccio
"WHAT IF"

modello di
simulazione

La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

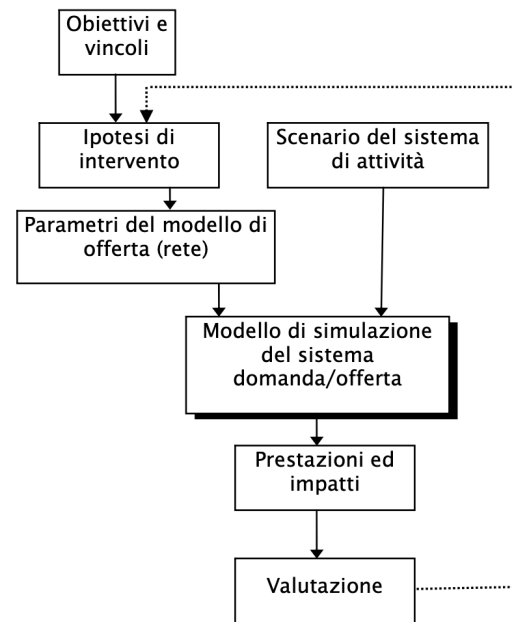
gli approcci

APPROCCI ALLA PROGETTAZIONE DELL'OFFERTA DI TRASPORTO



approccio
“WHAT TO”

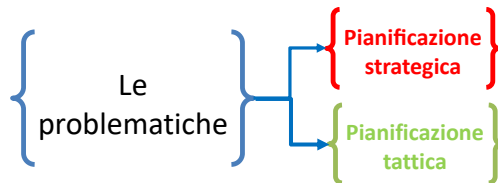
modello di
progetto dell'offerta



approccio
“WHAT IF”

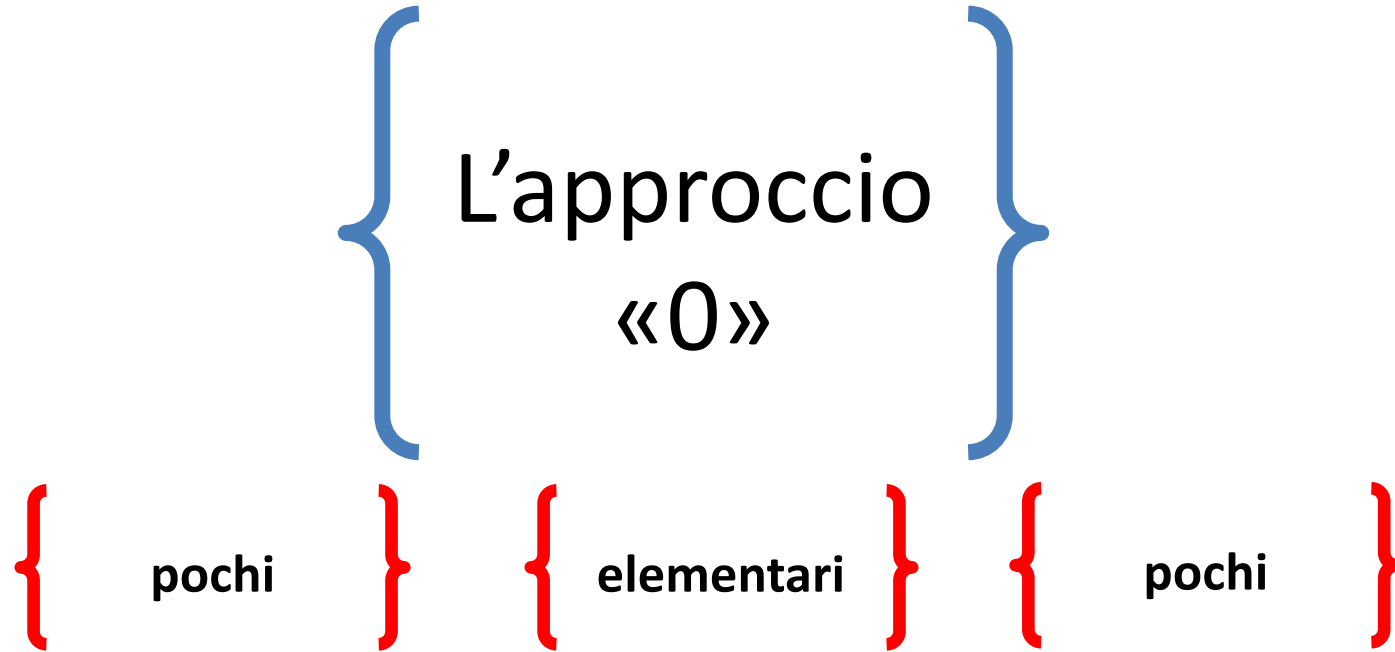
modello di
simulazione

Le problematiche



- **Transit Network Design** (TND): definisce la struttura della rete di trasporto e i principali caratteristiche del livello, le frequenze dei viaggi e le frequenze dei viaggi 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 e di partenza ai bus alle fermate per rispettare le frequenze assegnate e ottimizzare i trasporti. **What «to»**
- **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. **What «to»**

La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

Approccio «0»

...un... Esempio



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



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL - «what IF»

Costruzione
modello di offerta
Trasporto collettivo



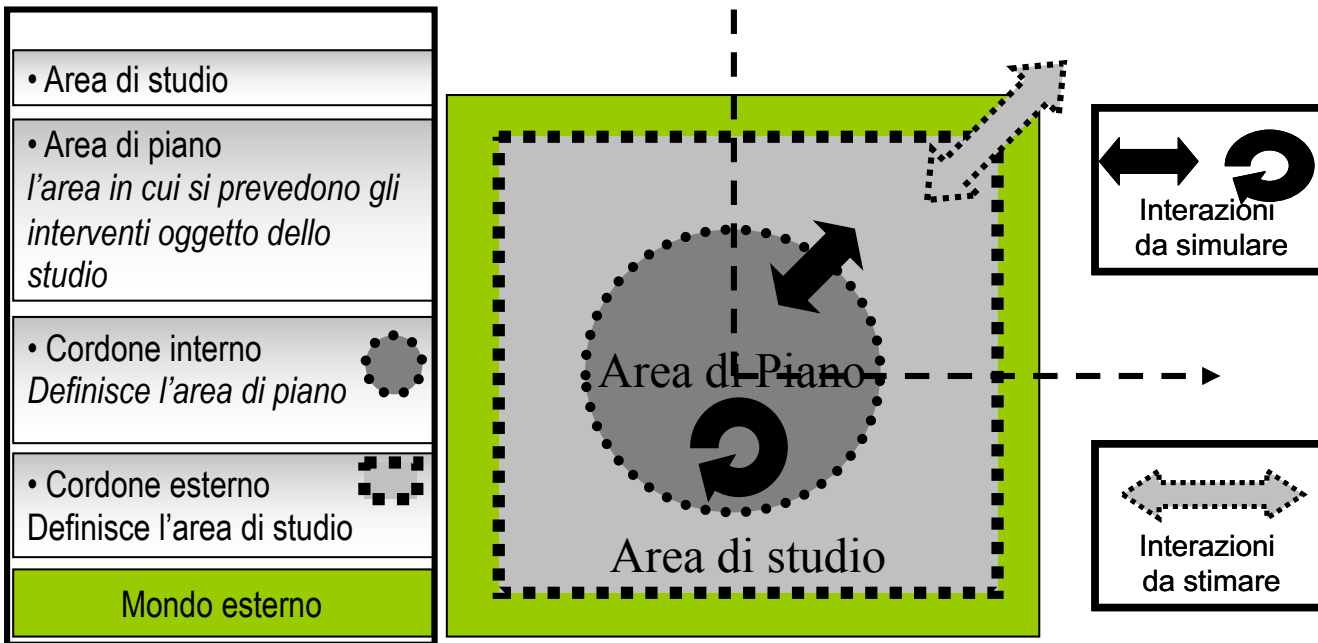
Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

- 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

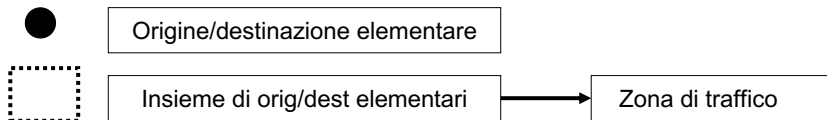
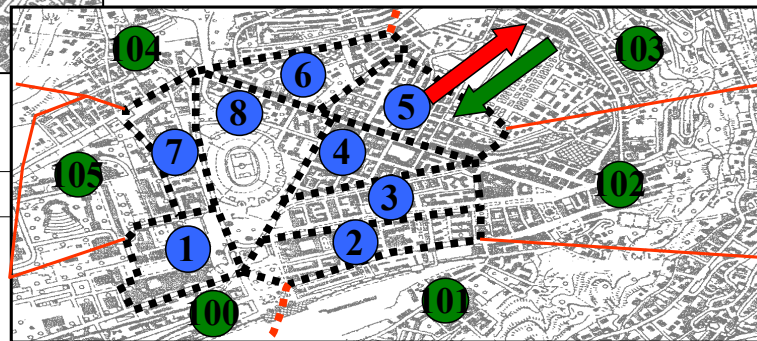
Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

La caratterizzazione spaziale



zone esterne

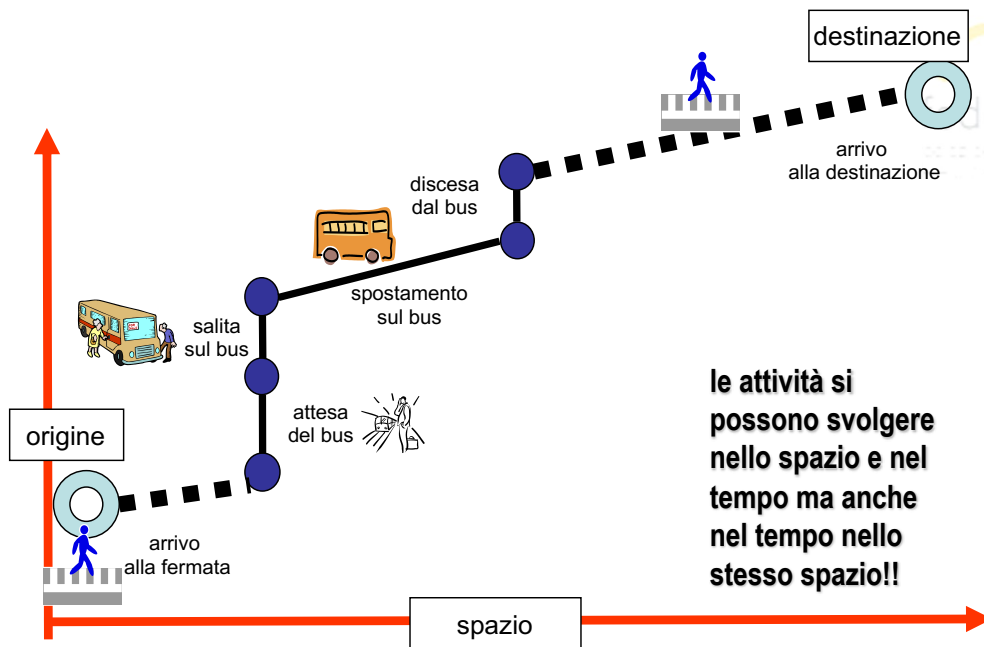
"individuano le zone di traffico esterne all'area di studio. La loro funzione è la simulazione dell'interazione con il mondo esterno"



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

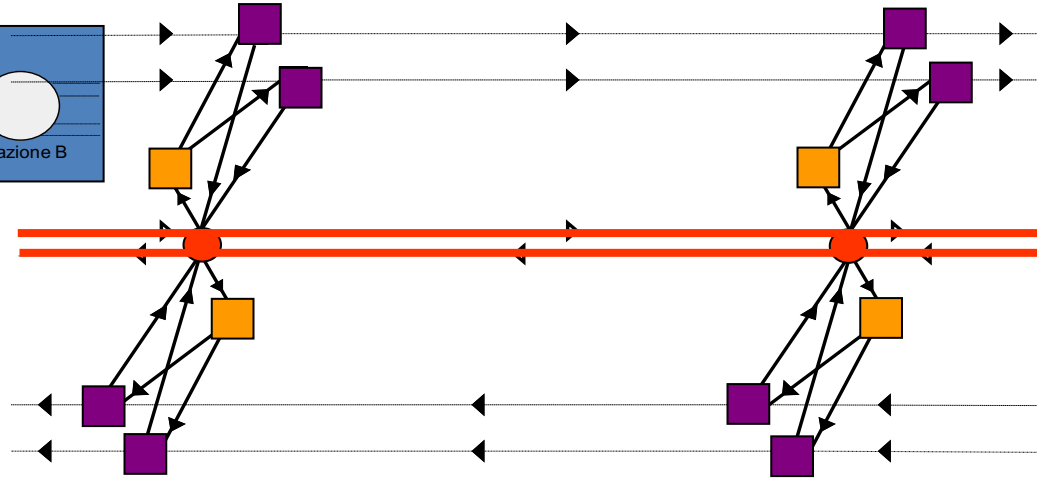
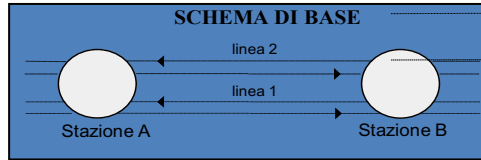
non disponibili in ogni punto e non disponibili in ogni orario (e.g. trasporto collettivo su gomma, su ferro, aereo etc...)



Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

La estrazione della rete di base

GRAFO RAPPRESENTATIVO



Nodo pedonale



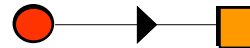
Nodo di diversione



Nodo di linea



arco pedonale



arco di attesa



arco di salita



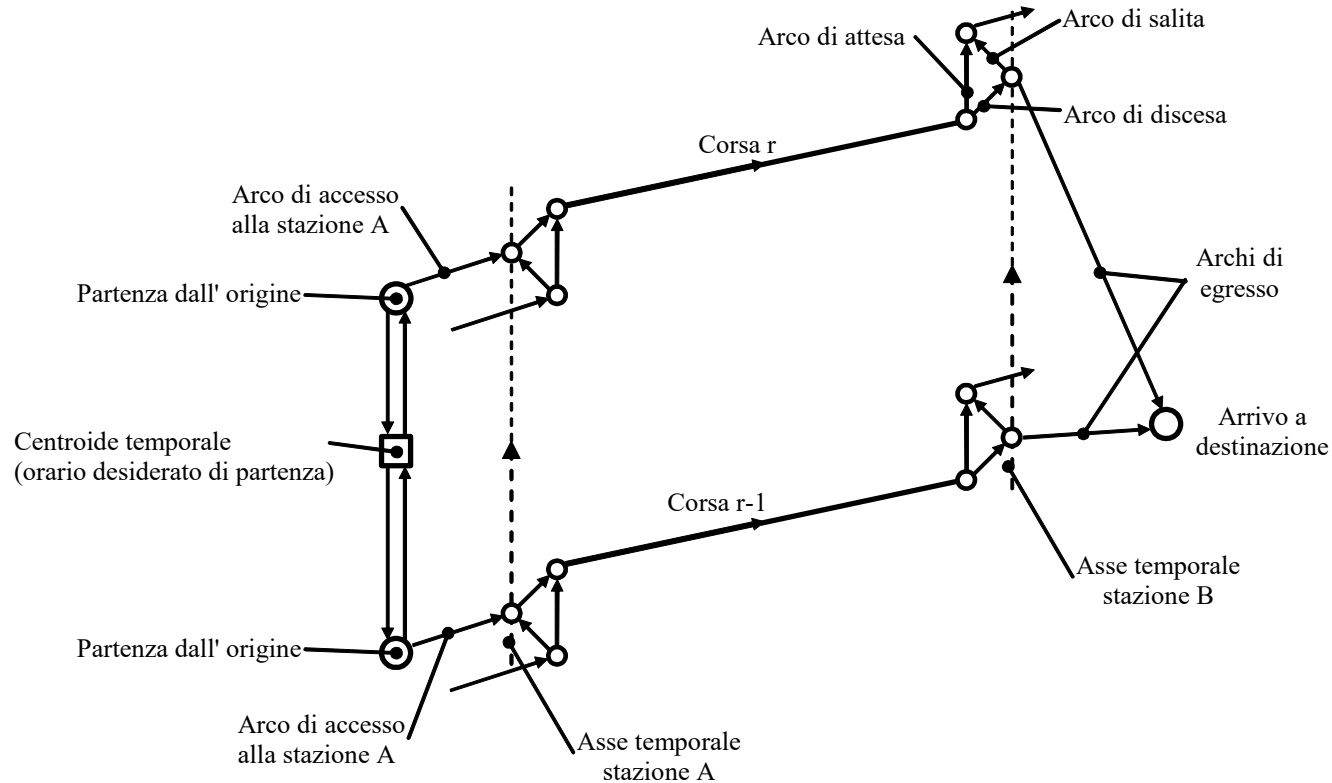
arco di linea



arco di discesa

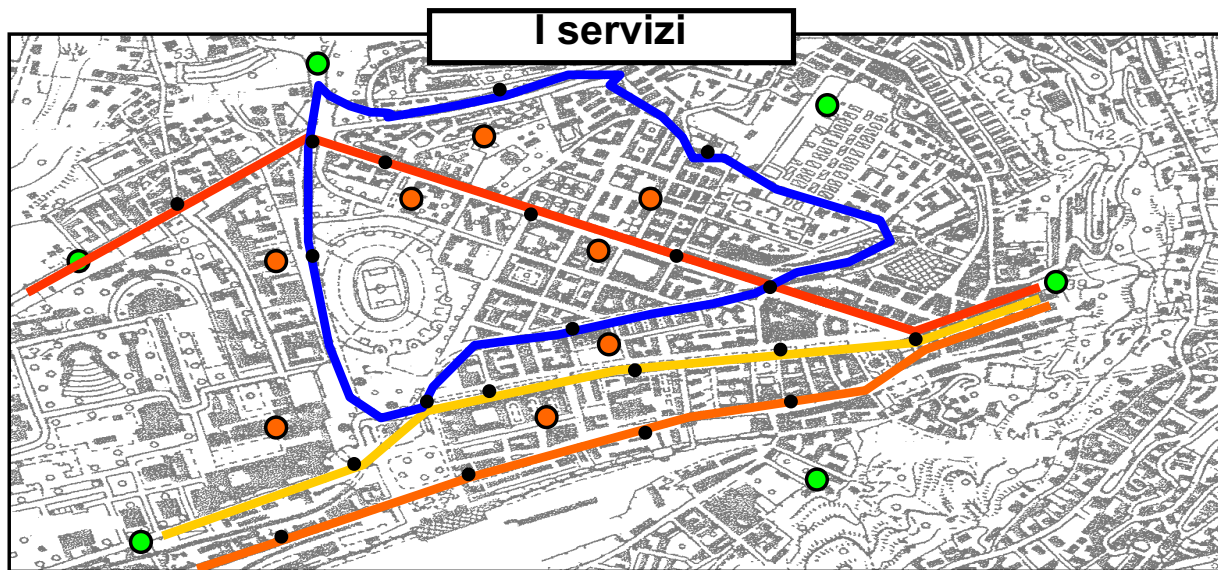
Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

La estrazione della rete di base



Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

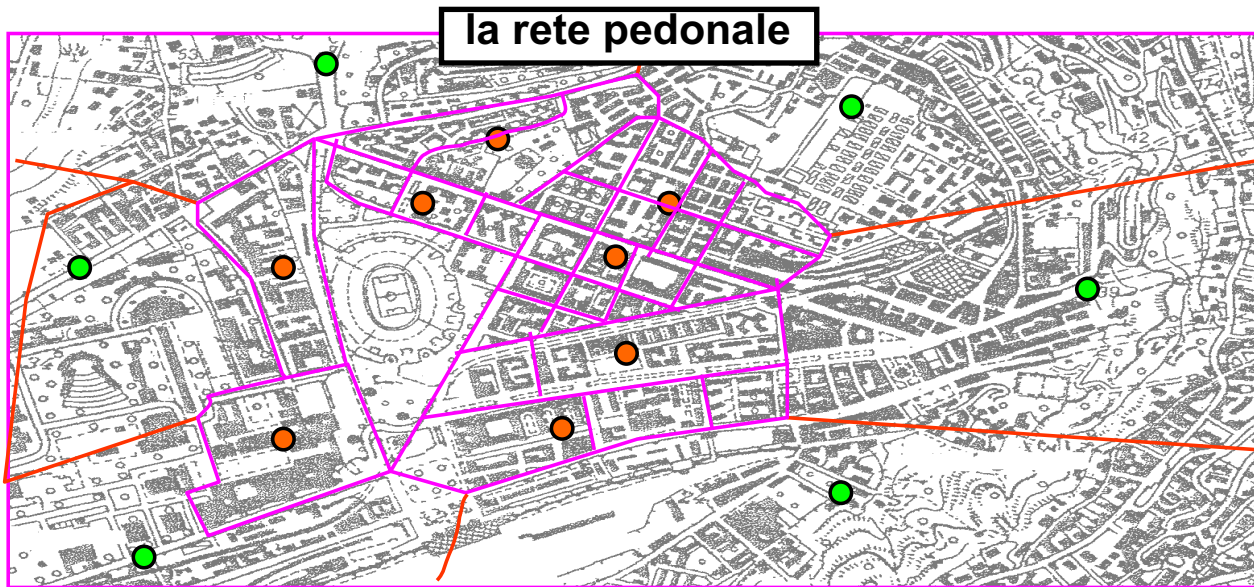
La estrazione della rete di base



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

Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

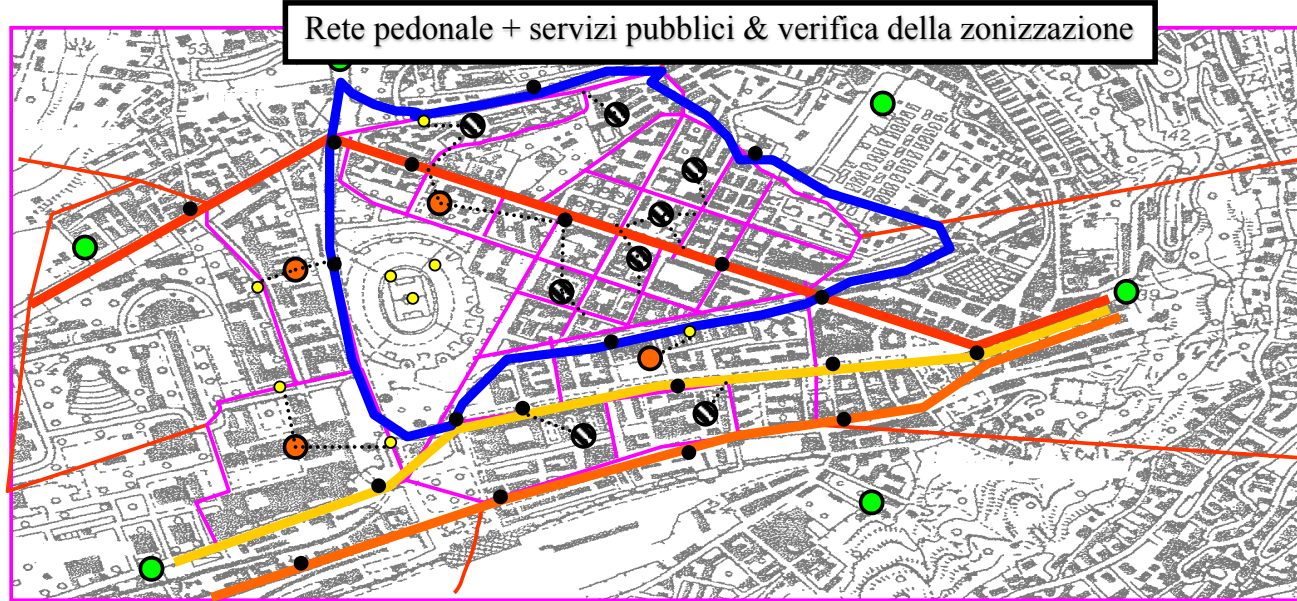
La estrazione della rete di base



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

Costruzione modello di offerta Trasporto collettivo

La estrazione della rete di base

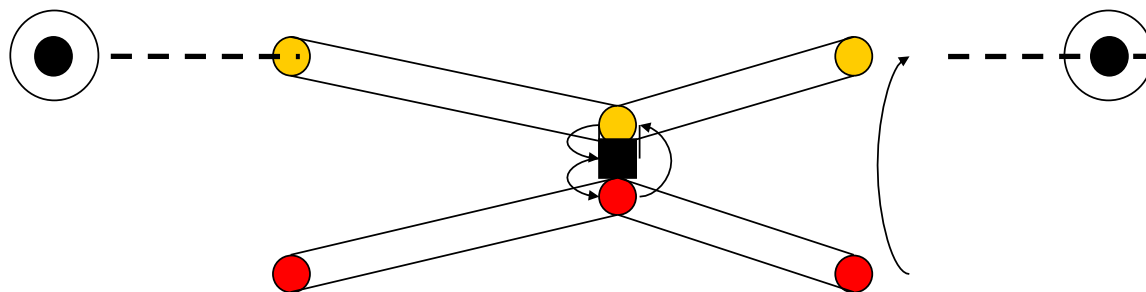


- Centroidi al cordone
- Centroidi di zona
- Nodi fittizi
- Nodi reali
- Nuovi Centroidi di zona

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

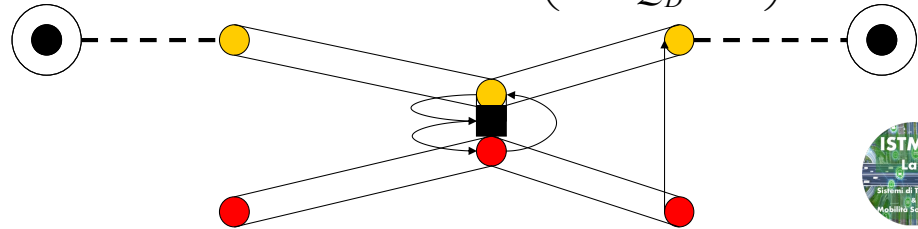
Tempo di accesso
Tempo di egresso
Velocità pedonale

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

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

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

Tempo di salita $\longrightarrow Td_l = \gamma_1 + \gamma_2 \left(\frac{f_{al(l)} + f_{br(l)}}{Q_D} \right) \gamma_3$



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

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

Quali approcci alla modellazione della domanda?

Modello di scelta modale

Modello di scelta destinazione

Modello di frequenza degli spostamenti

...approfondimento

**Modello di scelta
del percorso**

...apri



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL - «what IF»

L'implementazione ..a scenari

- area urbana di **medio-piccole dimensioni** con una rete di autolinee con un **unico livello gerarchico** atte a servire un insieme dato di poli attrattori
- area urbana di **medie dimensioni** con una rete di servizi costituita da una **rete portante** e da una **rete di adduzione** che utilizzano lo stesso sistema tecnologico (in genere autobus)
- area **metropolitana** con un **sistema integrato di trasporto** collettivo, costituito da sistemi tecnologici diversi (metropolitane, tranvie, autolinee ed eventuali sistemi intermedi), schematizzabili in una rete portante, una rete di adduzione ed i relativi terminali



La progettazione dell'offerta dei servizi di TPL

L'approccio
What to



What «to»

- **Transit Network Design (TND)**: definisce la struttura della rete in modo da soddisfare i requisiti di trasporto e le principali caratteristiche operative attraverso la minimizzazione dei costi. A 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 necessari per soddisfare la domanda nei diversi periodi di riferimento
- **Transit Network Timetabling (TNT)**: definisce gli istanti di arrivo e partenza 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 dei conducenti per soddisfare i viaggi previsti in modo da minimizzare i costi di personale
- **Driver Rostering Problem (DRP)**: definisce la specifica turnazione dei conducenti per soddisfare i viaggi previsti in uno specifico deposito per un certo periodo (mensile o bimestrale), nel rispetto dei vincoli sindacali ed in modo da minimizzare i costi di personale

What
«to»

What
«to»

What
«to»



What «to» e Transit Network Design

Il TND può essere studiato:

- attraverso un Modello Analitico
- come Problema di Ottimizzazione Discreta

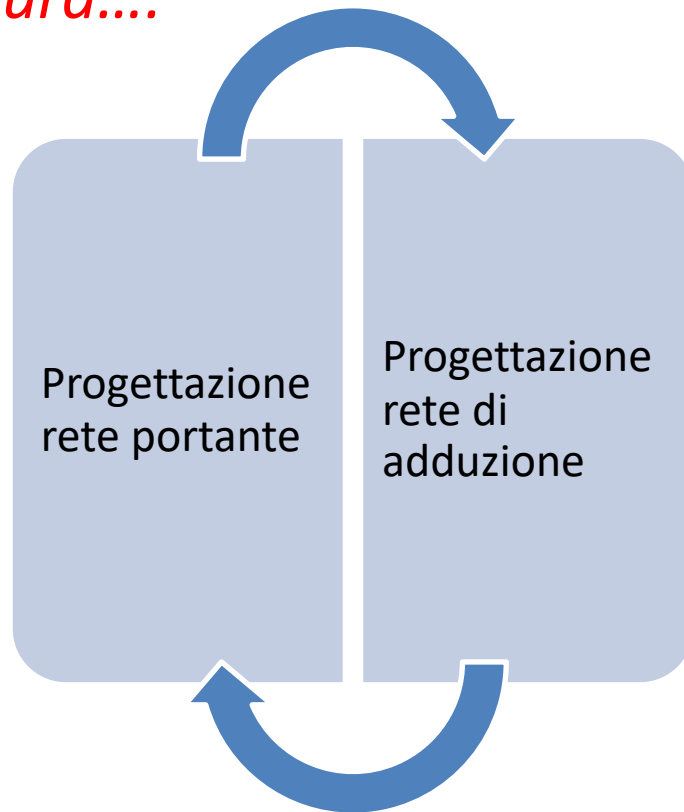
→ Il Modello Analitico adotta una **rappresentazione approssimata** della **domanda** (attraverso funzioni continue nello spazio; non matrici OD) e **idealizzata** della **rete** (attraverso strutture semplificate a griglia di tipo rettangolare, circolare, ..)

→ Il Problema di Ottimizzazione Discreta consiste nel determinare un insieme ottimale di linee per una data domanda di trasporto (in forma di matrice OD) ed una data rete



La progettazione della Rete

una possibile procedura....



Criteri e indicatori per la progettazione



* Utenti (per classe)

- Variazione di utilità netta (surplus) percepita dagli utenti dell'intero sistema di trasporto
- Variazione di costi non percepiti

* Amministrazioni e Aziende (per ciascun operatore coinvolto)

- Variazioni della quantità di risorse (mano d'opera, materiali, capitale) e dei costi necessari per la costruzione delle infrastrutture, l'acquisto dei veicoli e dei sistemi di controllo (investimenti)
- Variazioni delle risorse e dei costi per la manutenzione delle infrastrutture e delle tecnologie
- Variazioni delle risorse e dei costi per la gestione dei servizi di trasporto
- Variazioni di ricavi della vendita di servizio

* Non utenti del sistema di trasporto

Impatti Economici e Territoriali

- Variazioni degli impatti economici della incidentalità
- Variazioni dei valori immobiliari
- Variazioni di uso degli immobili e rilocalizzazione di residenze e attività economiche

Impatti Sociali

- Variazione di accessibilità alle attività sociali (scuola, centri sociali e religiosi, attività ricreative ecc.)

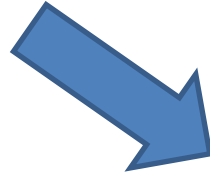
Impatti Ambientali

- Variazioni di inquinamento acustico e atmosferico

What «to» e Pianificazione Tattica

Pianificazione Tattica

- Nel medio periodo (mesi) il problema TNP prende il nome di problema di **Determinazione delle Frequenze** (Frequency Setting, FS) **e/o dell'Orario** (Transit Network Timetabling, TNT) delle Linee della Rete del TC
- Consiste nella determinazione ottimale di :
 - Frequenze e/o Orario delle Linee
- Struttura della rete, domanda e dimensione del parco veicolare (non loro distribuzione tra le linee): fissati



Problema FS

- Consiste nel determinare, in un periodo di riferimento, il **numero di viaggi** (distanziamento temporale tra i veicoli) **delle linee** in modo da garantire un buon livello di servizio
- Influenza le scelte della domanda, quindi dovrebbe avere delle **interazioni con l'assegnazione**
- Alcuni approcci considerano la variabilità:
 - della domanda
 - dei tempi di percorrenza
 - dei tempi di incarrozzamento

Problema TNT

- Consiste nel determinare gli **orari di arrivo e partenza** delle linee **alle fermate** lungo il percorso in modo da minimizzare una specifica FO in modo da:
 - soddisfare una precisa struttura della domanda
 - sincronizzare differenti linee
 - migliorare i trasbordi
 - considerando condizioni eterogenee nel corso della giornata

What «to» e Pianificazione Operativa

Pianificazione Operativa

- Nel breve periodo il problema TNP mira a minimizzare i costi relativi a:
 - Uso dei **veicoli**
 - Impegno degli **autisti**
- Si articola in:
 - **Problema di Programmazione dei Veicoli** (Vehicle Scheduling Problem, VSP)
 - **Problema di Programmazione degli Autisti** (Driver Scheduling Problem, VSP)
 - **Problema della Turnazione degli Autisti** (Driver Rostering Problem, DRP) (ad es. in uno specifico deposito in un mese)
- Decisioni strategiche e tattiche: fissate

