

<b>Codice Materia:</b>	
<b>Denominazione:</b>	<b>Ingegneria dei sistemi di trasporto</b>
<b>Docente:</b>	<b>Maria Nadia Postorino</b>
<b>Dipartimento:</b>	<b>DICEAM</b>
<b>Corso di laurea:</b>	<b>Ingegneria Civile-Ambientale</b>
<b>Classe:</b>	<b>LM-23</b>
<b>Tipo Attività formativa:</b>	<b>Caratterizzante</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>Ingegneria Civile</b>
<b>Settore Scientifico-Disciplinare:</b>	<b>ICAR 05</b>
<b>Propedeuticità obbligatoria:</b>	<b>Sono <u>raccomandate</u> conoscenze di Analisi I e II, Probabilità e Statistica, Elementi di Ricerca Operativa</b>
<b>Anno di corso:</b>	
<b>Semestre:</b>	<b>I</b>
<b>Modalità di erogazione:</b>	<b>Tradizionale</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ore:</b>	<b>48</b>

### **Obiettivi:**

Il corso di Ingegneria dei sistemi di trasporto ha per oggetto lo studio del sistema di trasporto e del suo funzionamento derivante dall'interazione fra i diversi elementi che lo costituiscono. I sistemi di trasporto sono composti da numerosi elementi che si influenzano in modo diretto ed indiretto, spesso non lineare, con numerose interazioni e retroazioni. Il corso si propone di fornire gli strumenti di base per la simulazione e la progettazione funzionale del sistema dei trasporti attraverso la modellazione della domanda e offerta di trasporto e delle loro interazioni.

### **Programma dettagliato del corso**

Il concetto di sistema di trasporto – Il sottosistema di offerta e il sottosistema di domanda - La rappresentazione topologica dell'offerta di trasporto – Grafi – proprietà principali dei grafi – Generalità sulle funzioni di costo d'arco e rete di trasporto

Il concetto di percorso – La matrice di incidenza archi-percorso – Forward star – Costi d'arco e di percorso - Funzioni di costo congestionate e non, separabili e non

La domanda di trasporto – Variabilità spaziale e temporale – Area di studio e zonizzazione Centroidi interni ed esterni - La relazione domanda-costi e l'elasticità della domanda – il modello di domanda a stadi - Il concetto di flusso d'arco e di percorso - Variabili di stato: flussi d'arco e di percorso, costi d'arco e di percorso

Teoria dell'utilità casuale – le ipotesi iniziali – utilità sistematica e residuo aleatorio – cause di errore – le variabili rilevanti – modelli deterministici e stocastici – la probabilità di scelta

Il modello Logit – le proprietà principali del modello Logit – la stabilità della variabile di Gumble rispetto alla massimizzazione - Effetti dell'ipotesi di indipendenza dei residui sul calcolo delle probabilità di scelta – la proprietà IIA - Il modello Nested-Logit – il raggruppamento delle alternative simili - struttura dell'albero di scelta e individuazione dei parametri caratteristici – matrice varianza/covarianza per un modello Nested-Logit - Il modello Probit – caratteristiche generali – la struttura della matrice varianza-covarianza – Stima delle probabilità di scelta Probit – Metodo Montecarlo – generazione dei residui aleatori per l'applicazione del metodo

Sottomodello di emissione degli spostamenti – La stima del coefficiente medio di emissione – Approccio deterministico e stocastico – Specificazione di un modello stocastico di frequenza degli spostamenti - Sottomodello di distribuzione degli spostamenti – Le variabili rilevanti – modelli di tipo gravitazionale – modelli di tipo stocastico: approccio per zona e per destinazione elementare

Sottomodello di scelta modale – le alternative di scelta – le variabili rilevanti – alternative indipendenti e dipendenti e identificazione del modello di scelta - variabili generiche e specifiche

dell'alternativa - Sottomodello di scelta del percorso – costruzione dell'insieme di scelta - criteri di generazione delle alternative di percorso – la sovrapposizione dei percorsi in ambito urbano

Modelli comportamentali di scelta del percorso – Modello logit e campo di applicazione - modello C-logit e Probit

Interazione domanda/offerta – formalizzazione del modello di assegnazione – le ipotesi sulle funzioni di costo e sul modello di scelta del percorso - Classificazione dei modelli di assegnazione – modelli a domanda elastica e costanti – modelli di carico della rete - modelli di equilibrio e di processo dinamico - La ricerca dei percorsi di costo minimo su una rete di trasporto – condizione di Belmann e algoritmo di Dijkstra - Assegnazione di carico della rete con modello di scelta del percorso deterministico - algoritmo AoN - Assegnazione di carico della rete con modello di scelta del percorso stocastico - enumerazione implicita o esplicita dei percorsi – Modello di scelta del percorso Probit e algoritmo Montecarlo - Il problema dell'assegnazione di equilibrio – modelli di punto fisso - formalizzazione del Deterministic User Equilibrium (DUE) - Diseguaglianza variazionale e problema di ottimo equivalente – le condizioni per l'esistenza e l'unicità della soluzione DUE - Algoritmo di Frank-Wolfe per la soluzione di un problema DUE - Verifica della congruenza tra soluzione dell'algoritmo e problema DUE - Esempio applicativo dell'algoritmo di Frank-Wolfe ad un caso test - Formalizzazione dello Stochastic User Equilibrium (SUE) – condizioni di esistenza e unicità del problema SUE - Formulazione di un problema di ottimo equivalente per la soluzione di un problema SUE - Algoritmo MSA per la soluzione di un problema SUE - Verifica della congruenza tra soluzione dell'algoritmo e problema SUE

Indagini campionarie di tipo RP e SP - I dati campionari – campionamento casuale semplice – schede di indagine e tipologia di indagine – dati di tipo RP e loro uso - Stima diretta della domanda - Stima campionaria della domanda – campionamento casuale semplice e stratificato – lo stimatore della domanda – limiti di confidenza - La calibrazione di un modello di domanda – la funzione di likelihood – il metodo della massima verosimiglianza per la stima dei parametri incogniti - l'algoritmo di gradiente - La validazione del modello di domanda – test formali e informali sui coefficienti – test di nullità dei parametri e statistiche di goodness-of-fit – La correzione della matrice da conteggi di flusso di traffico – Esplicitazione della matrice di assegnazione a partire dal modello di assegnazione - Formulazione del problema generale di correzione della domanda a partire da una domanda nota e dai conteggi di flusso di traffico - Stimatore GLS e algoritmo di gradiente proiettato per la soluzione del problema di correzione della matrice di domanda da conteggi di flussi di traffico - La scelta dei rami di conteggio – il criterio di copertura della matrice O/D - Indipendenza dei rami, flusso massimo e percentuale d'uso del ramo per una coppia O/D

#### Esercitazione/Laboratorio

Le fasi della pianificazione - l'individuazione del sistema territoriale e dell'area di studio - Individuazione delle zone di traffico utilizzando i dati delle particelle censuarie – i centroidi interni - Posizionamento dei centroidi esterni – Grafo del trasporto individuale e funzioni di costo per tipologia d'arco - Funzioni per archi stradali urbani ed extraurbani - la funzione di Doherty per intersezioni semaforizzate – esempi applicativi - Rappresentazione dell'offerta di trasporto collettivo – esempio applicativo - La matrice di domanda – Domanda interna, di scambio e di attraversamento - Esempi applicativi - Stima della domanda emessa da ogni zona di traffico - Stima delle percentuali di distribuzione – domanda origine/destinazione - Esempi applicativi di stima della domanda origine/destinazione per un caso test - Estrazione del grafo della rete di trasporto privato per un sistema reale – schema minimo di rete – costruzione della rete di trasporto collettivo - Esempi applicativi della costruzione del grafo dell'offerta di trasporto - Algoritmo di Dijkstra per la ricerca del percorso di costo minimo – applicazione ad un caso test - Applicazione del modello di scelta modale ad un caso test – Esempi di assegnazione AoN e SNL ad una rete test - Esempio di calcolo delle percentuali di scelta del percorso su una rete test utilizzando un modello C-Logit

### **Metodi di accertamento e Valutazione**

L'esame consiste in una prova scritta teorico-applicativa. Sono oggetto della prova scritta un congruo numero di quesiti inerenti i contenuti del corso, come indicato nel programma. L'obiettivo della prova è di valutare le conoscenze acquisite e la capacità di applicare tale conoscenza in ambito professionale utilizzando un approccio di sistema che permetta di unire alla progettazione funzionale del singolo elemento l'analisi della rete di trasporto e degli effetti prodotti.

### ***Dettaglio prova d'esame:***

La prova d'esame si articola in 3 quesiti ciascuno composto da 2-4 domande teoriche/pratiche del tutto analoghe a domande di un esame orale. Ai singoli quesiti non è assegnato alcun punteggio in particolare, perchè la valutazione dell'elaborato è complessiva.

### **Testi adottati**

Oltre gli appunti delle lezioni, autonomamente redatti dagli studenti, per lo studio è consigliata la consultazione dei seguenti testi:

Cascetta E. (2006) "Modelli per i Sistemi di Trasporto. Teoria ed applicazioni", UTET, Italia.

Di Gangi M., Postorino M.N. (2005) "Modelli e procedure per l'analisi dei sistemi di trasporto : esercizi ed applicazioni", FrancoAngeli, Italia.

*Da consultare per ulteriori approfondimenti*

Postorino M.N. (2009). "Introduzione alla pianificazione del sistema di trasporto aereo", FrancoAngeli.

Cascetta E. (2001) "Transportation systems engineering: theory and methods", Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands.

<b>Subject Code:</b>	
<b>Subject Name:</b>	<b>Transport systems Engineering</b>
<b>Professor:</b>	<b>Maria Nadia Postorino</b>
<b>Department:</b>	<b>DICEAM</b>
<b>Degree course:</b>	<b>Engineering/Civil and Environmental Engineering</b>
<b>Class:</b>	<b>LM-23</b>
<b>Type of educational activity:</b>	<b>Qualifying</b>
<b>Disciplinary Area:</b>	<b>Civil Engineering</b>
<b>Scientific-Disciplinary Sector:</b>	<b>ICAR 05</b>
<b>Compulsory preliminary exams:</b>	<b>Knowledge suggested in: Advanced Mathematical Analysis I and II, Probability and Statistics, Operational Research</b>
<b>Course Year:</b>	
<b>Semester:</b>	<b>I</b>
<b>Teaching modalities:</b>	<b>Traditional</b>
<b>ECTS:</b>	<b>6</b>
<b>Hours:</b>	<b>48</b>

### **Goal of the course:**

The course deals with the analysis of transport networks and their performances due to the interactions among the several transport elements. Transport systems are the results of the interactions among several elements that affect one another both in both direct and indirect ways. The course wants to provide students with specific knowledge on the simulation, analysis and planning of transport systems by modeling transport demand and transport supply.

### **Detailed course program**

The concept of transport system – The supply and demand - The topological representation of transport supply - graphs - basic properties of graphs - General information on link cost functions and transport networks

The concept of path - The link-path matrix - Forward star - link and path costs - congested and not, separable and not cost functions

The transport demand - spatial and temporal variability - Study area and zoning - internal and external centroids - Demand- cost relationship and demand elasticity - demand-stage models - concept of link and path traffic flow - state variables: link and path traffic flows, link and path travel costs

Random utility theory - initial hypotheses - systematic and random residual utilities - Common errors - the relevant variables - deterministic and stochastic models - choice probability

The logit model – main properties of the logit model - stability of the Gumble variable with respect to the maximization - Effects of the hypothesis of independence of the residuals on the calculation of the choice probabilities - the IIA property - Nested-Logit model - grouping of similar alternatives - structure of the choice tree and identification of characteristic parameters - the variance / covariance matrix for a Nested-Logit model - Probit model - General characteristics - the structure of the variance-covariance matrix - Estimated Probit choice probability - Monte Carlo Method and generation of random residuals

Trip generation sub-model – Estimation of the average emission coefficient - deterministic and stochastic approach - specification of a trip frequency stochastic model - trip distribution sub-model - The relevant variables - gravitational models - stochastic models: Approach by area and by elementary destination

Mode choice sub-model - choice alternatives - the relevant variables - independent and dependent alternatives and identification of the choice model - generic and specific variables - Path choice sub-model - choice set generation - alternative path generation criteria - path overlap problems in urban areas - behavioral route choice models - logit model and application effectiveness- C-logit and probit models

Supply / demand Interaction - formalization of the assignment model - assumptions for cost functions and path choice models - assignment model classification - models with elastic and constant demand - network load models - equilibrium and dynamic process models - least-cost path search - Belmann condition and Dijkstra's algorithm - network load assignment with deterministic path choice model - AoN algorithm - network load assignment with stochastic path choice model - implicit or explicit path enumeration - Probit path choice model and Monte Carlo algorithm – Equilibrium assignment problem - fixed-point models - formalization of the Deterministic User equilibrium (DUE) problem - Variational Inequality and equivalent optimization problem - existence and uniqueness conditions of DUE solutions - Frank-Wolfe algorithm to solve a DUE problem - Stochastic User Equilibrium (SUE) problem - existence and uniqueness conditions of SUE solutions - Formulation of an equivalent optimization problem to solve a SUE problem - MSA algorithm - congruence between algorithm solution and SUE problem

RP and SP sample surveys - simple-random sampling - survey cards and sampling type - RP data and their use - demand direct estimation - demand sample estimation - simple and stratified random sampling - demand estimator – confidence limits - calibration of demand models - likelihood function - maximum likelihood method for estimating unknown parameters - gradient algorithm - validation of demand models - formal and informal tests – t-Student test and goodness-of-fit –

~~demand estimation by traffic flow counts – assignment matrix estimation from the assignment model – general problem formulation of demand estimation from traffic flow counts – problem solution for known or unknown assignment matrix – bi-level problem for unknown assignment matrix – GLS Formulation – main steps of the solution algorithm~~

#### Laboratory

Planning steps - identification of the study system - Identification of traffic areas by using data from Census particles - internal centroids - positioning of external centroids - graph of individual transport and cost functions by link type - link cost functions for urban and suburban roads - Doherty function for signalized intersections - examples - Representation of transit supply – origin/destination trip matrix - inside, exchange and crossing demand - application examples – trip demand generation for each traffic zone - distribution percentage estimation - origin / destination demand - examples of origin / destination demand estimation for a test case - graph of the private transport network for a real system – minimum-layout network - transit network extraction from a real system - examples of transport supply graphs - Dijkstra algorithm for searching minimum cost paths - application to a test case - application of the mode choice model to a test case – examples of AoN and SNL assignment procedures

#### **Evaluation method:**

Written test made by theoretical and practical questions. Questions will concern the course contents, as described in the detailed program. The goal of the written test is to evaluate students' knowledge and their ability to apply such knowledge in a working environment by using a system approach able to link the functional design of a single transport element to the transport network analysis and the produced effects.

#### **Resources and main references**

Apart from lesson notes autonomously written by students, the following books are suggested:

Cascetta E. (2006) "Modelli per i Sistemi di Trasporto. Teoria ed applicazioni", UTET, Italia.  
Di Gangi M., Postorino M.N. (2005) "Modelli e procedure per l'analisi dei sistemi di trasporto : esercizi ed applicazioni", FrancoAngeli, Italia.

For more interested students:

Postorino M.N. (2009). "Introduzione alla pianificazione del sistema di trasporto aereo", FrancoAngeli.

Cascetta E. (2001) "Transportation systems engineering: theory and methods", Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands.