



Interazione tra progetto, accessibilità zonale e domanda generata

Interaction between project, zonal accessibility and generated demand

Prof. Ing. Roberto D'ARMINI^() – Dott. Ing. Pier Giorgio D'ARMINI^(**)*

Sommario - Il presente lavoro riguarda la messa a punto di un metodo di calcolo della “domanda generata o domanda indotta” determinata dalla realizzazione di un progetto infrastrutturale stradale.

Il concretizzarsi di una quota di domanda di trasporto generata dalla realizzazione di una nuova infrastruttura, che si aggiunge alla domanda di trasporto preesistente, è formalizzato sul piano teorico. Dal punto di vista operativo le difficoltà di calcolo dipendono dalla non conoscenza analitica della “Curva di Domanda” dell’utente del sistema di trasporto.

Il metodo proposto si basa sull’applicazione dell’Analisi Trasportistica estesa all’Area di Influenza del progetto, intesa sia come area territoriale, con le grandezze socio-economiche che la caratterizzano, sia come porzione del Sistema o Rete di Trasporto, con le sue variabili tecnico-funzionali.

Ne deriva che la Domanda di Trasporto, sia quella preesistente che quella generata, è rappresentata dall’insieme degli spostamenti che avvengono nell’Area di Influenza e quindi, di conseguenza, dal flusso veicolare totale su Sistema o Rete di Trasporto.

A questa Domanda o Flusso complessivi si rapporta il Prezzo di Domanda dell’Utente per la formulazione analitica della Curva di Domanda.

Ne consegue che la realizzazione del progetto determina la creazione di nuova domanda e quest’ultima, svolgendo nell’ambito dell’Area di Influenza del progetto, utilizza la porzione di Rete di Trasporto ivi operativa e non necessariamente solo la nuova infrastruttura che la ha generata.

1. Inquadramento

Il fatto che la realizzazione di un progetto infrastrut-

Summary - This work deals with the development of a calculation method for “generated or induced demand” resulting from the construction of a road infrastructure project.

The materialisation of a percentage of transport demand generated by the construction of a new infrastructure, which adds to existing transport demand, is formalised on the theoretical level. Operationally, the difficulties of calculation depend on the lack of analytical knowledge of the “Demand Curve” of the transport system user.

The proposed method is based on the application of Transportation Analysis extended to the Area of Influence of the project, understood both as territorial area, with socio-economic parameters that characterise it, and as a portion of the Transport Network System, with its technical and functional variables.

It follows that Transport Demand, both the existing and the generated one, is represented by the set of movements taking place in the Area of Influence and therefore, as a result, by the total vehicular flow on the System or on the Transport Network.

The User Demand Price for the analytic formulation of the Demand Curve is related to the overall Demand or Flow.

It follows that the implementation of the project determines the creation of new demand and the latter, being within the Area of Influence of the project, uses the portions of Transport Network operational therein and not necessarily just the new infrastructure that created it.

1. Overview

The fact that the implementation of a linear or nodal

^(*) Facoltà di Ingegneria – Università di Roma “La Sapienza”.

^(**) A.N.A.S. SpA – Direzione Centrale Progettazione.

^(*) Civil Engineering Department University of Rome “La Sapienza”.

^(**) A.N.A.S. SpA – Central Management planning.

SCIENZA E TECNICA

turale, lineare o nodale, una volta inserito nel Sistema di Trasporto pre-esistente determini un incremento di flusso di spostamenti di persone o cose, generalmente indicato come "domanda generata o domanda indotta", è individuato e formalizzato sul piano teorico.

Il problema residuale non risolto è la messa a punto di un metodo di calcolo che permetta di quantificare tale flusso incrementale partendo: dalle base dati trasportistiche e socio economiche disponibili e relative alla situazione ante-progetto; dai parametri tecnici e funzionali del progetto; dalla valutazione degli effetti del progetto sul territorio e sul Sistema di Trasporto pre-esistenti.

L'impeditimento individuato già in sede di formulazione teorica deriva dalla difficoltà di dare forma analitica alla curva di domanda e quindi quantizzare la risposta della domanda di trasporto a fronte di una riduzione del costo generalizzato di trasporto determinato dall'inserimento del progetto nel Sistema di Trasporto pre-esistente.

La forzata non considerazione della domanda generata ha effetto sulle analisi che si effettuano per valutare il progetto sia dal punto di vista economico che funzionale.

Pertanto nell'Analisi Costi Benefici si ha una sottostima o una sovrastima (a seconda dei casi) dei benefici. Nella Verifica di Funzionalità si ha invece sempre una stima ottimistica del Livello di servizio del progetto [1] [2].

Nelle due analisi viene infatti presa in considerazione soltanto la Domanda Trasferita, ovvero quella che modifica il percorso compiuto per effettuare lo spostamento Origine-Destinazione a causa dell'inserimento del Progetto nel Sistema di Trasporto. Tale modifica dei percorsi è l'innesto del procedimento di valutazione del Progetto, e non è individuata per via sperimentale, ma mediante la modellistica di simulazione utilizzata nell'Analisi Trasportistica.

Quest'ultima fa sempre riferimento all'Area di Influenza del Progetto e pertanto gli effetti di quest'ultimo sono sempre calcolati mediante variabili socioeconomiche e trasportistiche riferite al territorio ed al sistema di trasporto inclusi nell'Area di Influenza.

Ciò posto, anche la Domanda Generata è relativa alla medesima Area ed è quindi composta da spostamenti che utilizzano il Progetto, una volta realizzato, ma anche da spostamenti che avverranno nell'Area senza utilizzare il Progetto [3].

Il metodo di calcolo della Domanda Generata che qui si propone deriva dall'Analisi Trasportistica, e quindi utilizza variabili riferite all'Area di Influenza ed alla rete di infrastrutture che ne costituisce il Sistema di Trasporto, con o senza Progetto, e cioè:

- flusso totale di spostamenti sulla Rete (Φ_R);
- costo totale generalizzato di trasporto di Rete ($C_g R$);
- velocità media di Rete ($\bar{V}R$);
- accessibilità generalizzata di ogni zona nell'Area (AZ_G);

infrastructure project, once introduced in the pre-existing Transport System causes an increase in flow of movements of persons or things, generally referred to as "generated demand or induced demand", is identified and formalised on the theoretical level.

The remaining unsolved problem is the development of a computational method that allows quantifying the incremental flow starting from the transportation and socio-economic databases available and relating to the situation before the project; from technical and functional parameters of the project; from the assessment of the effects of the project on the territory and on the pre-existing Transport System.

The impediment identified already in the theoretical formulation derives from the difficulty in giving an analytical shape to the demand curve and therefore in quantifying the response of transport demand against a generalised cost reduction of transportation determined by the inclusion of the project in the pre-existing Transport System.

The forced non-consideration of the demand generated affects the analyses carried out to evaluate the project both from an economic and functional standpoint.

Therefore the Cost-benefit Analysis is an underestimation or overestimate of the benefits (depending on the cases). In the Functionality Test instead there is always an optimistic estimate of the project service Level [1] [2].

In fact, the two analyses only take into account the Transferred Demand — one that changes the path run from Origin to Destination due to the introduction of the Project in the Transport System. This paths change triggers the Project evaluation process, and is not found experimentally, but through simulation modelling used in Transportation Analysis.

The latter always refers to the Area of Influence of the Project and therefore the effects of the latter are always calculated using socio-economic and transportation variables related to the territory and to the transport system in the Area of Influence.

Given this, even the Generated Demand relates to the same Area and is therefore composed of movements that use the Project, once accomplished, but also of movements that will take place in the Area without using the Project [3].

The method of calculation of the Generated Demand proposed here derives from the Transportation Analysis, and hence uses variables related to the Area of Influence and to the infrastructure network that constitutes the Transport System, with or without the Project, and namely:

- total flow of movements on the Network (Φ_R);
- total general Network transport cost ($C_g R$);
- average Network speed ($\bar{V}R$);
- general accessibility of each zone in the Area (AZ_G);

SCIENZA E TECNICA

- flusso di saturazione di Rete o Capacità di Rete (Φ_R^a).

Queste variabili sono calcolate ed utilizzate nell'Analisi Trasportistica ad eccezione della Capacità di Rete (Φ_R^a).

Nel metodo che qui si propone la Capacità di Rete è una variabile chiave per il calcolo della Domanda Generata. Per tale motivo se ne propone a sua volta un procedimento di valutazione e calcolo basato essenzialmente sull'estensione della formulazione propria della Teoria del Deflusso di Arco [4].

2. Presupposti

- Sia data un'area A definita "area di influenza del progetto" suddivisa in ω zone, di ciascuna delle quali sia individuato un centroide di zona. Gli ω centroidi di zona risultanti sono altrettanti vertici sorgente di un grafo.
- Sia data anche una rete di trasporto R (monomodale o plurimodale) interna all'area A. La rete genera un Grafo che include gli ω centroidi di zona. La rete di trasporto interna all'area A è variabile in quanto oggetto di intervento di modifica e/o integrazione (progetto). Pertanto la rete R genera tanti Grafi quante sono le sue possibili mutazioni (progetti).
- Il Territorio Esterno all'area A è parimenti suddiviso in zone rappresentate da centroidi e contiene una rete di trasporto anch'essa simulata da un Grafo. La rete ed il Grafo del Territorio Esterno sono invariabili in quanto non sono previsti progetti; oppure sono anch'essi variabili in quanto è prevista la realizzazione di progetti; in questo ultimo caso però i progetti costituiscono "invarianti" rispetto agli interventi di modifica della rete dell'area A.
- Sia nota la matrice O/D degli spostamenti originati/attratti dalle ω zone dell'Area A a qualsiasi orizzonte temporale; la matrice M_{od}^A contiene gli spostamenti che hanno origine o destinazione o entrambe nelle ω zone dell'area A. La M_{od}^A è relativa alle 24 ore di un giorno feriale tipico ad un qualsiasi orizzonte temporale. La matrice M_{od}^A è altresì suddivisa in due sub-matrici in funzione dell'oggetto di trasporto individuato in due macro - categorie: passeggeri e merci. Le due sub-matrici $M_{od}^{A,p}$ e $M_{od}^{A,m}$ sono espresse in unità autovettura equivalente (passeggeri) ed autocarro equivalente (merci). La matrice M_{od}^A complessiva è espressa in unità autovetture equivalenti.
- L'applicazione di un modello di assegnazione ad equilibrio di rete o similare consente il calcolo dei costi e dei tempi di viaggio tra ogni zona ω_i dell'Area A e le restanti zone con cui la ω_i scambia spostamenti nel giorno feriale tipico all'orizzonte temporale scelto, considerato un dato assetto della rete quindi del relativo grafo.

L'introduzione di una modifica della rete e del grafo nell'Area A (progetto) genera una variazione di risultato del modello di assegnazione e quindi una possibi-

- Network saturation flow or Network Capacity (Φ_R^a).

These variables are calculated and used in Transportation Analysis except for Network Capacity (Φ_R^a).

In the method proposed here, the Network Capacity is a key variable in calculating Generated Demand. For this reason it is here proposed an evaluation and calculation procedure based essentially on the extension of the Arc Flow Theory formulation [4].

2. Assumptions

- Given an area A called "area of influence of the project" divided into ω zones, for each of which a zone centroid is identified. The resulting ω zone centroids are as many source vertices of a graph.
- Given also an R transport network (single-mode or multimodal) inside area A. The network generates a Graph that includes ω zone centroids. The transport network inside area A is variable as it is object of modification and/or integration (project). Therefore the R network generates as many Graphs as its possible mutations (projects).
- The Territory outside area A is equally divided in zones represented by centroids and contains a transport network that is also simulated by a Graph. The network and the Graph of the External Territory are invariable as there are no projects planned; or they are variable too as the realisation of projects is planned; in this last case, however, the projects represent "invariants" compared to modification interventions of the network of area A.
- Given the known O/D matrix of movements originated/ attracted by ω zones of Area A at any time horizon; the matrix M_{od}^A contains the movements originating or with destination or both in the ω zones of area A. M_{od}^A related to the 24 hours of a typical working day at any time horizon. The matrix M_{od}^A is also divided into two sub-matrices depending on the transport object identified in two macro-categories: passengers and freight. The two sub-matrices $M_{od}^{A,p}$ and $M_{od}^{A,m}$ are expressed in equivalent car units (passengers) and truck equivalent (freight). The overall matrix M_{od}^A is expressed in equivalent car units.
- The application of a network balance assignment model or similar model enables the calculation of costs and travel times between each ω_i zone of Area A and the remaining zones with which ω_i swaps movements in the typical working day at the chosen time horizon, considered a given configuration of the network and therefore of its graph.

The introduction of a network and graph change in Area A (project) generates a change in result of the assignment model and therefore a possible variation of costs and interzonal travel times compared to the pre-

SCIENZA E TECNICA

le variazioni dei costi e dei tempi di viaggio interzonalni rispetto ai valori calcolati in precedenza (e.). Poiché tutti gli altri valori in gioco nell'assegnazione sono costanti (matrice O/D, modello di assegnazione, etc.), la modifica di valore di uno o più costi e tempi interzonalni è da attribuire alla modifica di rete (progetto).

3. Velocità media in rete

- a. La Velocità Media in Rete \bar{V}_R è utilizzata come Indicatore di Funzionalità o di Qualità del Servizio della rete R dell'area A. La \bar{V}_R fa riferimento all'intera rete dell'Area A, considerata nell'arco di tempo delle 24 ore del giorno feriale tipo.

Definito T il periodo di 24 ore (a qualunque tempo storico τ) e L la lunghezza complessiva della rete R dell'area A, si ha un dominio (T, L) percorso da ciascuno degli spostamenti S_{ij} che compongono la Matrice M_{op}^A (fig. 1).

Lo spostamento generico s_n che impegna la rete R ne percorre una parte di lunghezza l_n in un tempo t_n ad una velocità $V_n = \frac{l_n}{t_n}$.

La \bar{V}_R è calcolata come media ponderata delle V_n , utilizzando come pesi i tempi t_n di impegno della rete R nel periodo T:

$$\bar{V}_R = \frac{\sum V_n t_n}{\sum t_n} = \frac{\sum l_n}{\sum t_n}$$

ove le Σ sono estese al totale di spostamenti contenuti nella matrice M_{op}^A .

Il modello di assegnazione all'equilibrio stocastico dell'utenza, basato sulla minimizzazione del costo generalizzato del trasporto, fornisce automaticamente il valore della \bar{V}_R come rapporto tra il totale delle percorrenze sulla rete R espresso in veic•km ed il totale del tempo di viaggio speso sulla rete R espresso in veic•ora: sempre all'orizzonte temporale τ , nel periodo di 24 ore del giorno feriale tipico e per l'assetto di rete R dell'area A.

- b. La Velocità Media di Rete \bar{V}_R è riconducibile per analogia alla Velocità Media di Arco \bar{V}_A ; il valore di quest'ultima è legato al flusso di arco F_a mediante funzioni di deflusso di arco $\bar{V}_A = \bar{V}_A(F_a)$ note ed utilizzate nella simulazione mediante modello di assegnazione.

L'analogia consente di ipotizzare l'esistenza di una funzione di deflusso di rete $\bar{V}_R = \bar{V}_R(\Phi_R)$, ove Φ_R è il totale di spostamenti che impegna la rete R, espresso in autovetture equivalenti.

Sempre in analogia al caso dell'arco è parimenti ammesso un valore "critico" di Φ_R per il quale la rete R va in saturazione ed a cui corrisponde un valore parimenti "critico" di \bar{V}_R .

viously calculated values (e.). Since all other values involved in the assignment are constant (O/D matrix, assignment model, etc.), changing value of one or more costs and interzonal times is to be attributed to the network change (project).

3. Average speed on the network

- a. The average speed on the Network \bar{V}_R is used as an Indicator of Service Quality or Functionality of the R network of area A. The \bar{V}_R refers to the entire network of Area A considered in the time span of 24 hours of a weekday type.

Having defined T as the period of 24 hours (at any historical time τ) and L the total length of network R of area A, there is a domain (T, L) travelled by each of the movements S_{ij} that compose the Matrix M_{op}^A (fig. 1).

The generic movement s_n which engages network R runs a line section of length l_n in a time t_n at a speed

$$V_n = \frac{l_n}{t_n}$$

The \bar{V}_R is calculated as weighted average of V_n , using as weights the t_n engagement times of network R during period T:

$$\bar{V}_R = \frac{\sum V_n t_n}{\sum t_n} = \frac{\sum l_n}{\sum t_n}$$

where Σ are extended to the total travel contained in the matrix M_{op}^A .

The assignment model to the user stochastic balance, based on the minimisation of generalised transport costs, automatically gives the value of \bar{V}_R as ratio between the total distance run on network R expressed in veic•km and the total travel time spent on network R expressed in veic•hour; always at the time horizon τ , over the period of 24 hours of a typical working day and for the R network configuration of area A.

- b. The Network Average Speed \bar{V}_R can be explained by analogy to the Arc Average Speed \bar{V}_A ; the value of the latter is related to the arc F_a flow by arc flow functions $\bar{V}_A = \bar{V}_A(F_a)$ known and used in the simulation through the assignment model.

The analogy allows postulating the existence of a network outflow function $\bar{V}_R = \bar{V}_R(\Phi_R)$, where Φ_R is the total movements that engage network R, expressed as equivalent cars.

Always in analogy to the case of the arc a "critical" value of Φ_R is also eligible for which network R goes into saturation and which corresponds to an equally critical "value of \bar{V}_R .

SCIENZA E TECNICA

4. Funzione di deflusso ed il flusso di saturazione di rete

a. La funzione di deflusso di rete, al contrario di quella di arco, non è individuabile per via sperimentale (misure di campo), ma soltanto mediante simulazione con modelistica di assegnazione.

Una applicazione nell'ambito dello "studio di un caso" ha individuato la funzione

$\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ indicata in fig. 2.

La funzione è ricavata considerando:

- la rete R dell'area A in un assetto qualsiasi, ma invariante;
- la matrice giornaliera M_{od}^A variabile nel tempo storico τ mediante fattori di incremento o di decremento (la M_{od}^A può essere integrata con gli spostamenti in attraversamento dell'Area A, se ritenuto significativo);

ed utilizzando un modello di assegnazione ad equilibrio di rete o assimilato, che individua il cammino ottimo in funzione del costo generalizzato di trasporto.

b. La funzione $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ di fig. 2 è ricavata per punti nell'ambito dello "studio di un caso". Va considerata in questa sede come un risultato di ordine qualitativo, poiché la sperimentazione applicativa deve essere estesa a più casi di studio per ottenere una validazio-

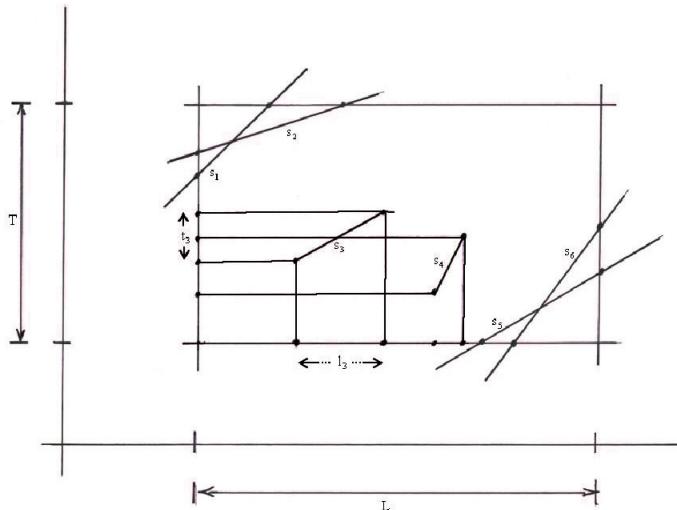


Fig. 1 – Dominio degli spostamenti della matrice di Area. *Movements domain of the Area matrix.*

4. Outflow function and network saturation flow

a. The network outflow function, as opposed to that of the arc, cannot be identified experimentally (field measurements), but only through simulation with assignment modelling.

An application in the "case study" has identified the function

$$\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$$

The function is obtained by considering:

- the R network of Area A in any configuration, but invariant;
- the daily matrix M_{od}^A varying in historical time τ through increment or decrement factors (M_{od}^A can be integrated with the movements crossing Area A, if deemed significant);

and using a network balance assignment model or assimilated model, that identifies the best route as a function of the generalised transportation cost.

b. The $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ function of fig. 2 is obtained for points under the "case study". Here it should be considered as a qualitative result, since the application testing should be extended to multiple

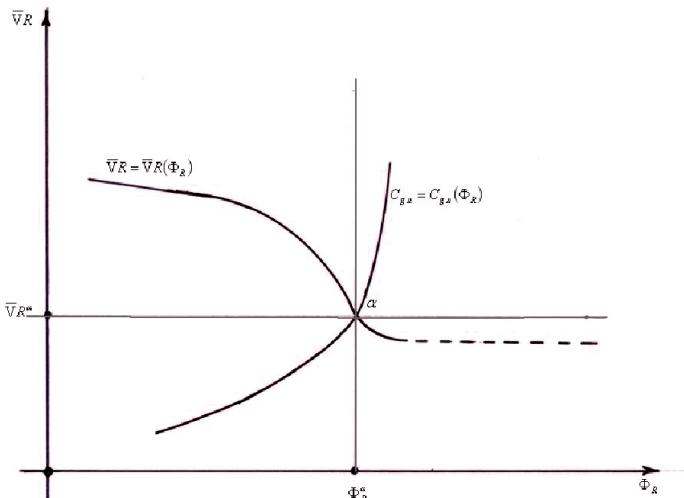


Fig. 2 – Funzione di deflusso e saturazione di rete. *Outflow function and Network saturation.*

SCIENZA E TECNICA

ne di ordine generale. Dal punto di vista operativo si ottiene facendo variare la matrice M_{on}^A da assegnare, e quindi variano il flusso Φ_R dato dal totale giornaliero di veicoli che impega la rete R dell'area A.

All'aumentare del flusso Φ_R la velocità media di rete $\bar{V}R$ diminuisce e si nota un punto α di variazione dell'elasticità della $\bar{V}R$ con il flusso Φ_R . Oltre il punto α la $\bar{V}R$ decresce più lentamente all'aumentare di Φ_R : il flusso Φ_R^α costituisce valore di innesco della saturazione della rete R. In condizione di saturazione gli spostamenti S_{ij} utilizzano tutti gli itinerari possibili per raggiungere la zona j di destinazione; "l'effetto rete" riduce l'elasticità della $\bar{V}R$ con il flusso Φ_R .

- c. La simulazione fornisce anche il costo generalizzato di trasporto di rete ($C_g R$) per ogni matrice M_{on}^A assegnata, dato dalla somma del costo generalizzato di arco C_{ga}

$$C_g R = \sum_{a=1}^n C_{ga}$$

$$C_{ga} = C_{ga}(F_a, p_a, t_a, l_p, l_v)$$

ove:

a = arco generico;

n = totale di archi della rete A;

F_a = flusso veicolare che percorre l'arco a;

p_a = lunghezza dell'arco a;

t_a = tempo di viaggio sull'arco a;

λ_p = costo unitario di percorrenza;

λ_v = valore monetario unitario del tempo di viaggio.

Il costo generalizzato di trasporto dello spostamento unitario

$$C_{gu} = \frac{C_g R}{\Phi_R}$$

varia con Φ_R secondo la funzione $C_{gu} = C_{gu}(\Phi_R)$ individuata nello "studio di un caso" mediante lo stesso procedimento descritto per la funzione di deflusso. L'andamento della funzione ottenuto è indicato in figura 2. Si nota sempre in relazione al flusso Φ_R^α una variazione dell'elasticità di C_{gu} con Φ_R .

Si può allora concludere che il flusso Φ_R^α rappresenta il valore "critico" della domanda di trasporto per l'assetto della rete R considerato; cioè rappresenta una stima della Capacità di Rete. A tale flusso Φ_R^α corrisponde il valore $\bar{V}R^\alpha$ della Velocità Media di Rete, anch'esso "critico" in quanto relativo ad una situazione di innesco di saturazione.

- d. La modifica dell'assetto di rete R (progetto) modifica la $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ e determina una stima diversa del flusso "critico" $\Phi_{R,CP}^{crit} \neq \Phi_R^{crit}$; cioè nella situazione "con progetto" si modifica la Capacità di Rete.

Poiché la determinazione della $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ e del flusso "critico" avviene per simulazione, si ha che ne è possibile la valutazione per diversi assetti di rete (progetti alternativi) e per diverse dinamiche della domanda (scenari socio-economici).

case studies to obtain a general type of validation. Operationally it is obtained by varying the matrix M_{on}^A to be allocated, and therefore varying the flow Φ_R given by the overall daily vehicles that engage the R network of Area A.

As the flow Φ_R increases the average network speed $\bar{V}R$ decreases and a point α of variation of the elasticity of $\bar{V}R$ with flow Φ_R can be noticed. Beyond point α $\bar{V}R$ decreases more slowly as Φ_R increases: flow Φ_R^α is a triggering value of the R network saturation. In saturation condition S_{ij} movements use all possible routes to reach the j destination area; "the network effect" reduces the elasticity of $\bar{V}R$ with flow Φ_R .

- c. Simulation also provides the generalised network transport cost ($C_g R$) for each M_{on}^A assigned matrix, given by the sum of the generalised cost of arc C_{ga}

$$C_g R = \sum_{a=1}^n C_{ga}$$

$$C_{ga} = C_{ga}(F_a, p_a, t_a, l_p, l_v)$$

where:

a = generic arc;

n = total number of arcs of network A;

F_a = vehicle flow that runs through arc a;

p_a = arc a length;

t_a = travel time on arc a;

λ_p = unit route cost;

λ_v = unit monetary value of travel time.

The generalised transport cost of unitary movement

$$C_{gu} = \frac{C_g R}{\Phi_R}$$

varies with Φ_R according to the function $C_{gu} = C_{gu}(\Phi_R)$ identified in the "case study" using the same procedure described for the outflow function. The function performance obtained is shown in figure 2. A variation of the elasticity of C_{gu} with Φ_R can still be noticed in relation to Φ_R^α flow.

We can then conclude that flow Φ_R^α is the "critical" value of the transport demand for the R network planning considered; that is to say it represents an estimate of the Network Capacity. This Φ_R^α flow is the value $\bar{V}R^\alpha$ of the Average Network Speed, which is also "critical" as it is related to a saturation trigger situation.

- d. Changing the R network configuration (project) amends $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ and determines a different estimate of the "critical" flow $\Phi_{R,CP}^{crit} \neq \Phi_R^{crit}$; that is in the situation "with project" the Network Capacity is modified.

Since the determination of $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ and of the "critical" flow is achieved by simulation, it results in the possibility to evaluate it for different network configurations (alternative projects) and for different demand dynamics (socio-economic scenarios).

SCIENZA E TECNICA

- e. L'analogia con il deflusso di arco consente di ipotizzare che nella situazione "con progetto" si ha $\Phi_{R^0}^{a,sp} > \Phi_R^{a,sp}$ a parità di valore "critico" della $\bar{V}R$; cioè quando il flusso Φ_R egualgia la Capacità di Rete si ha saturazione e per qualsiasi assetto di rete si ha sempre lo stesso valore "critico" $\bar{V}R^a$ della $\bar{V}R$.

Pertanto ed in conclusione il valore "critico" $\bar{V}R^a$ della Velocità di Rete rappresenta un indicatore della situazione di saturazione e tale valore è invariante con l'assetto (variabile) della rete.

Come risultato della simulazione applicata allo "studio di un caso" si è ottenuto $\bar{V}R^a = 15$ km/ora. Anche nel valutare questo risultato occorre tenere conto di quanto messo in evidenza in precedenza, e cioè che il valore di 15 km/h non può essere considerato di ordine generale poiché deriva da una sola applicazione strumentale.

5. Velocità di rete e curva di domanda

- a. Relativamente ad un tempo storico di riferimento τ^0 , convenzionalmente definito "attualità", conosciamo la matrice degli spostamenti M_{op}^A relativa all'area A nella quale è in esercizio una rete di trasporto di assetto R^0 , definita convenzionalmente "rete senza - progetto". La matrice M_{op}^A rappresenta la domanda di trasporto soddisfatta dalla rete R^0 nell'area A al tempo τ^0 ed il suo totale espresso in unità veicolari costituisce il flusso Φ_{R^0} che la rete sopporta. La modellistica di simulazione consente di calcolare il costo generalizzato totale di rete $C_g R^0$ ed il costo generalizzato dello spostamento unitario

$$C_{gu}^0 = \frac{C_g R^0}{\Phi_R}$$

Quest'ultimo fornisce una stima del Prezzo di Domanda di trasporto P_d^0 nell'area A al tempo τ^0 per l'assetto di rete R^0 . Nel piano P_d, Φ_R (fig. 3) per il punto B di coordinate $P_d^0 (= C_{gu}^0)$, Φ_R^0 passa la Curva di Domanda $P_d = P_d(\Phi_R)$.

- b. Lo studio delle funzioni $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ e $C_{gu} = C_{gu}(\Phi_R)$, di cui al punto precedente, hanno individuato un valore critico Φ_R^a , definito Capacità della Rete, in corrispondenza del quale le due funzioni presentano un punto singolare di cambio di elasticità e per il quale la Rete è definita in saturazione. Pertanto per la rete R^0 si ha un valore critico $\Phi_{R^0}^a$ di carico veicolare oltre il quale la rete R^0 non è in grado di soddisfare (o servire) ulteriori spostamenti S_n e pertanto a tale flusso $\Phi_{R^0}^a$ corrisponde un Prezzo di Domanda che si può tenere nullo. Quindi la $P_d = P_d(\Phi_R)$ intercetta l'asse delle ascisse nel punto $\Phi_{R^0}^a$ (figg. 3 e 4).

Per la Curva di Domanda $P_d = P_d(\Phi_R)$ si assume allora l'espressione (nel caso della Rete R^0)

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_{R^0}} - \frac{1}{\Phi_{R^0}^a} \right)$$

- e. The analogy with the arc outflow allows assuming that in the situation "with project" there is $\Phi_{R^0}^{a,sp} > \Phi_R^{a,sp}$ with equal "critical" value $\bar{V}R$; that is when the Φ_R flow equals the Network Capacity there is saturation and for any network configuration there is always the same "critical" value $\bar{V}R^a$ of $\bar{V}R$.

Therefore, and in the end, the "critical" value $\bar{V}R^a$ of Network Speed is an indicator of the saturation situation and that value is invariant with the (variable) network configuration.

As a result of the simulation applied to the "case study" $\bar{V}R^a = 15$ km/h was obtained. Also in assessing this result what was previously highlighted should be considered, namely that the value of 15 Km/h cannot be considered to be general because it derives from a single instrumental application.

5. Network speed and demand curve

- a. Regarding a reference historical time τ^0 , conventionally called "actuality", we know the matrix of movements M_{op}^A relating to Area A in which a regional transport network configuration R^0 is operating, conventionally defined "network without project". The M_{op}^A matrix represents the transport demand satisfied by network R^0 in area A at τ^0 time and its total expressed in vehicle units constitutes the Φ_{R^0} flow supported by the network. Simulation modelling calculates the total generalised network cost $C_g R^0$ and the generalised cost of travel per unit.

$$C_{gu}^0 = \frac{C_g R^0}{\Phi_R}$$

The latter provides an estimate of the transport Demand Price P_d^0 in area A at time τ^0 for network R^0 configuration. In the P_d, Φ_R plan, (fig. 3) the Demand Curve $P_d = P_d(\Phi_R)$ passes for point B of coordinates $P_d^0 (= C_{gu}^0), \Phi_{R^0}$.

- b. The study of $\bar{V}R = \bar{V}R(\Phi_R)$ e $C_{gu} = C_{gu}(\Phi_R)$ functions, referred to in the preceding paragraph, have identified a critical value Φ_R^a , defined Network Capacity, at which the two functions have a singular point of elasticity change and for which the Network is defined in saturation. Therefore network R^0 has a critical value of $\Phi_{R^0}^a$ of vehicle load beyond which network R^0 is unable to fulfil (or serve) more S_n movements and therefore this $\Phi_{R^0}^a$ flow corresponds to a Demand Price that can be considered void. Therefore $P_d = P_d(\Phi_R)$ intercepts the x-axis at point $\Phi_{R^0}^a$ (figures 3 and 4).

For the Demand Curve $P_d = P_d(\Phi_R)$ the expression is then used (in the case of Network R^0)

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_{R^0}} - \frac{1}{\Phi_{R^0}^a} \right)$$

where $\frac{1}{\Phi_{R^0}^a}$ is a characteristic of network R^0 and therefore is a constant with equal configuration, (fig. 4).

SCIENZA E TECNICA

in cui $\frac{1}{\Phi_R^a}$ è una caratteristica della rete R^0 e quindi, a parità di assetto, è una costante (fig. 4).

Per la rete generica R si ha ovviamente

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_R} - \frac{1}{\Phi_R^a} \right)$$

con $\frac{1}{\Phi_R}$ costante.

6. Curva di domanda e funzione di domanda

a. Nell'analisi trasportistica correlata alla Valutazione di Fattibilità Tecnico/Economica dei progetti vengono considerate due tipologie di Scenari di Variazione che riguardano rispettivamente:

- la domanda di trasporto, con l'applicazione di uno o più tassi di variazione della matrice M_{op}^A legati di consueto allo sviluppo economico dell'area A in cui è inserita la Rete R^0 e le sue modificazioni R^r ;
- l'offerta di trasporto con l'introduzione nell'analisi di uno o più Assetti R^r della Rete, diversi da quello di riferimento R^0 .

Tenendo conto di tali variazioni si hanno tre possibili situazioni che sono oggetto dell'Analisi Trasportistica.

For the generic network R we obviously have

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_R} - \frac{1}{\Phi_R^a} \right)$$

with $\frac{1}{\Phi_R}$ constant.

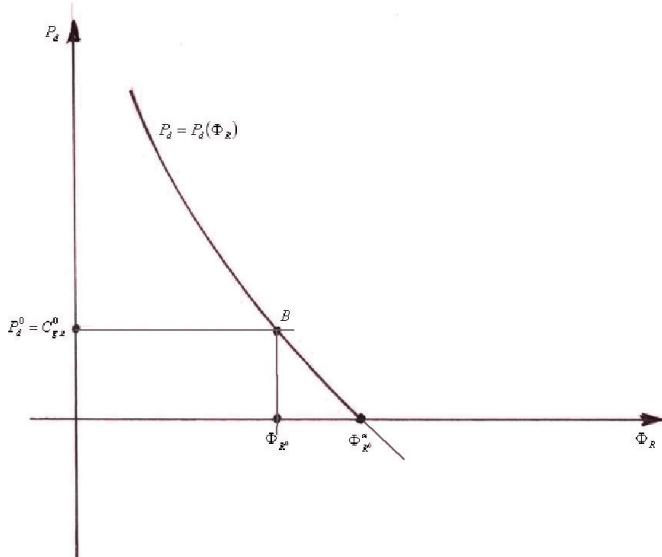


Fig. 3 – Curva del prezzo di domanda, flusso di rete e flusso critico di rete. *Demand Price Curve, network flow and critical network flow.*

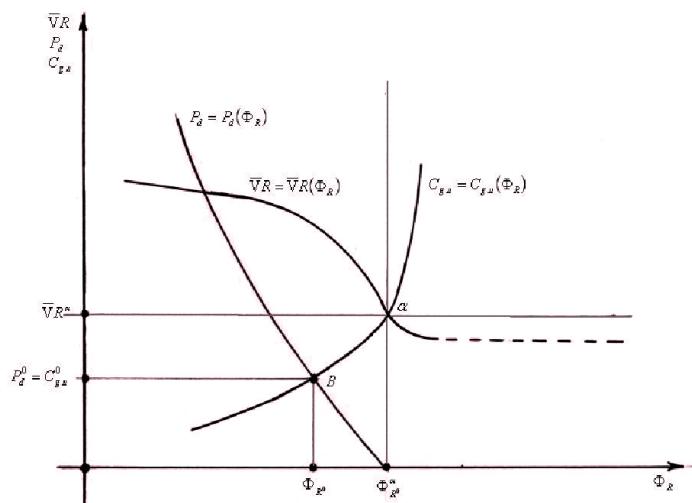


Fig. 4 – Curva del prezzo di domanda, flusso di rete, flusso critico di rete e velocità di saturazione. *Demand Price Curve, network flow, critical network flow and saturation speed.*

6. Demand curve and demand function

a. In the transportation analysis related to the Evaluation of Technical/Economical Feasibility of projects two types of Variation Scenarios are considered concerning respectively:

- the transport demand, with the application of one or more variation rates of the matrix M_{op}^A usually related to economic development of Area A in which the R^0 network and its modifications R^r are introduced;
- the transport offer with the introduction in the analyses of one or more Network R^r Configurations, other than the R^0 reference one.

SCIENZA E TECNICA

1. *Variazione della domanda in assenza di variazione dell'offerta.* È il caso della valutazione dell'ipotesi "senza progetto" (o di "fare nulla") necessaria per il confronto con l'ipotesi "con progetto" o per "testare" la capacità residua di una rete data R^0 in presenza di incremento di domanda.
2. *Variazione di offerta in assenza di variazione della domanda.* Situazione non usuale e casomai definibile "caso particolare" della successiva.
3. *Variazione della domanda e dell'offerta, contestualmente e contemporaneamente.* È il caso classico oggetto della Valutazione di Fattibilità, mediante Analisi Costi/Benefici, Multicriterio, altre.
- b. L'accettazione della dipendenza della variazione di domanda di trasporto dallo sviluppo economico, determina il fatto che la curva di domanda

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_R} - \frac{1}{\Phi_R^0} \right)$$

dipende dallo sviluppo economico e pertanto è variabile nel tempo.

Tale variazione è descritta in fig. 5 e nel testo seguente [5]: ... la forma e la posizione della curva (di domanda) probabilmente si modifichino col passare del tempo. In un certo istante, DD' è la specifica curva di domanda, ma in un altro istante la curva assume l'andamento EE' . Questa modificazione è detta spostamento della curva di domanda; che differisce dal movimento lungo una curva di domanda, supponiamo dal punto D_0 al punto D_1 .

Uno spostamento della curva di domanda è normalmente attribuito a una variazione del valore di qualche altra variabile che influenza sulla domanda. Per esempio un aumento del reddito del consumatore può portare ad uno spostamento verso l'alto della curva di domanda, da DD' a FF' . Questo significa che ad ogni qualsiasi prezzo come OP_0 , il consumatore (o i consumatori) domanderà una quantità maggiore di quella domandata prima dello spostamento.

Oltre al reddito, altre variabili possono influire sulla posizione della curva. Un cambiamento del volume della pubblicità, una variazione del prezzo o della qualità, o della incidenza pubblicitaria di un prodotto della concorrenza – persino un cambiamento delle condizioni meteorologiche – possono spostare una curva di domanda. Per riassumere, la domanda è una funzione di più variabili quali il prezzo, la pubblicità e le decisioni in merito ai prodotti concorrenti. La relazione che descrive tutte queste interdipendenze fra più variabili è detta funzione di domanda. Invece, la curva di domanda considera soltanto due di queste variabili, il prezzo e la quantità domandata, e trascura le altre. Sta di fatto che la distinzione tra un movimento lungo la curva e uno spostamento della curva di domanda può essere descritta in termini delle variabili implicate. Qualsiasi variazione della quantità domandata, che dipenda soltanto da una variazione del prezzo, darà luogo a un movimento lungo la curva, mentre una variazione del valore di una qualsiasi altra variabile della funzione di domanda probabilmente determinerà uno spostamento della curva di domanda.

Taking these variations into account there are three possible situations that are covered by the Transport Analysis.

1. *Demand variation without offer variation.* This is the case of the evaluation hypothesis "without project" (or to "do nothing") needed for comparison with the hypothesis "with project" or for "testing" the residual capacity of a given R^0 network in the presence of increased demand.
2. *Variation of the offer in the absence of variation in demand.* Unusual situation and if needs be defined "special case" of the following.
3. *Change in supply and demand, contextually and at the same time.* It is the typical case goal of the Feasibility Assessment, using Cost/Benefit analyses, Multi-criteria analyses or others.

- b. The acceptance of the dependence of the transport demand change from economic development, determines that the demand curve

$$P_d = H \left(\frac{1}{\Phi_R} - \frac{1}{\Phi_R^0} \right)$$

depends on economic development and therefore varies over time.

This change is described in fig. 5 and in the following text [5]: ... the shape and position of the (demand) curve will probably change over time. In a certain moment, DD' is the specific demand curve, but in another moment the curve takes the EE' trend. This modification is called a demand curve shift; that differs from the movement along a demand curve, say from point D_0 to point D_1 .

A shift from the demand curve is normally attributed to a value change of some other variable that affects demand. For example increase in consumer income may lead to an upward shift of the demand curve, from DD' to FF' . This means that at each and any price as OP_0 , the consumer (or consumers) will demand a greater quantity than that requested before the shift.

Besides income, other variables can affect the position of the curve. A change in the advertising volume, a price or quality change, or the advertising incidence of a competitor product – even a change in weather conditions – can shift a demand curve. To sum up, the demand is a function of a number of variables such as price, advertising and decisions relating to competing products. The relation describing all these interdependencies among multiple variables is called demand function. The demand curve instead, takes account of only two of these variables, the price and the demanded quantity, and disregards the others. In fact, the distinction between a shift along the curve and a shift of the demand curve can be described in terms of variables involved. Any variation of the demanded quantity depending only on a price change, will give rise to a shift along the curve while a value change of any other variable of the demand function will probably determine a shift of the demand curve.

SCIENZA E TECNICA

Nell'analisi trasportistica le previsioni di domanda di trasporto, interrelate al reddito od al PIL, si basano sulla registrazione statistica della correlazione "Reddito (o PIL) – Domanda" (valori osservati della relativa elasticità) e di fatto operano sull'effetto, la variazione di domanda, lasciando in "ombra" la causa, la funzione di domanda e cioè, lo spostamento della curva di domanda determinato dall'aumento del reddito, (il che può anche sottointendere l'ipotesi di non – spostamento della stessa).

7. Domanda generata

- a. Se la variazione di domanda è causata dallo sviluppo economico, e pertanto da una variazione del reddito del consumatore, ed avviene "ad offerta di trasporto costante", cioè ad assetto di rete invariata R^0 , si ha che la curva dei costi e la capacità di rete $\Phi_{R^0}^a$ sono costanti. La "funzione di domanda" genera una famiglia di curve di domanda tutte passanti per $\Phi_{R^0}^a$. Nel caso usuale di una previsione di aumento del reddito si ha uno spostamento verso l'alto della curva di domanda (fig. 6) e si ha equilibrio con la curva dei costi in un nuovo punto B' di coordinate $P_d' (=C_{gu})$, $\Phi_{R^0}^a$. La modellistica di simulazione individua il valore delle coordinate del nuovo punto di equilibrio B' e pertanto anche la nuova curva di domanda di equazione

$$P_d = H' \left[\frac{1}{\Phi_{R^0}^a} - \frac{1}{\Phi_{R^0}^a} \right]$$

in cui $H' > H$

In questa situazione l'aumento $\Phi_{R^0}^a > \Phi_{R^0}$ della domanda è dovuto al reddito; la rete R^0 è costante e pertanto non si ha domanda generata.

- b. Nel caso di variazione dell'offerta di trasporto sia con domanda costante, che con domanda variabile, si concretizza un Assetto di Rete R^r , definito nell'Analisi Trasportistica "con progetto", diverso da quello di riferimento R^0 definito "Senza Progetto". Nell'Assetto $R^r \neq R^0$ variano le quantità di parametri trasportistici che concorrono alla formazione del Costo Generalizzato di Trasporto: lunghezza e durata di viaggio; sicurezza; livello di inquinamento; altro. Ne deriva uno spostamento della $C_{g,u} = C_g u (\Phi_r)$ al variare dell'Assetto di Rete.

Se l'Assetto R^r determina una variazione "positiva" delle quantità dei parametri trasportistici e cioè

$C_{g,u}^{sp} < C_{g,u}^p$ (diminuzione di percorrenza e di tempo di viaggio, aumento della sicurezza e così via), si ha una riduzione (spostamento verso il basso della curva, fig. 7a e 7b) di costo del trasporto e cioè $C_{g,u}^{sp} < C_{g,u}^p$ (a parità dei prezzi unitari dei parametri trasportistici: ta-

In transportation analysis the transport demand forecasts, interrelated to income or to GDP, are based on statistic recording of the correlation between "Income (or GDP) – Demand" (values of related elasticity observed) and in fact act on the effect, demand variation, leaving the cause "in the background", the demand function and that is, the demand curve shift determined by increase in income, (that may also mean the assumption of non-shift of the same).

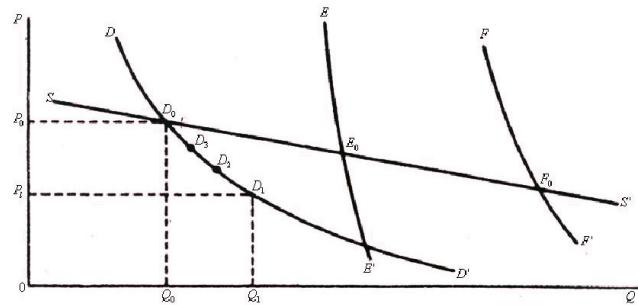


Fig. 5 – Funzione di domanda - Spostamento della curva di domanda. *Demand Function – Shift of the Demand Curve.*

7. Generated demand

- a. If the change in demand is caused by economic growth, and therefore a change in the income of the consumer, and takes place "at constant transport offer", i.e. at unchanged R^0 network configuration, the result is that the costs curve and network capacity $\Phi_{R^0}^a$ are constant. The "demand function" generates a family of demand curves all passing through $\Phi_{R^0}^a$. In the usual case of a forecast of increase in income there is an upward shift of the demand curve (fig. 6) and a balance with the costs curve in a new B' point of coordinates $P_d' (=C_{gu})$, $\Phi_{R^0}^a$. Simulation modelling identifies the value of the coordinates of the new B' balance point and therefore also the new equation demand curve

$$P_d = H' \left[\frac{1}{\Phi_{R^0}^a} - \frac{1}{\Phi_{R^0}^a} \right]$$

where $H' > H$

In this situation, the increase in $\Phi_{R^0}^a > \Phi_{R^0}$ demand is due to income; the R^0 network is constant and therefore there is no generated demand.

- b. In the case of variation of the transport offer both with constant demand and with variable demand, an R^r network configuration is created, defined "with project" in Transportation Analysis, different to the reference R^0 defined "Without project". In the $R^r \neq R^0$

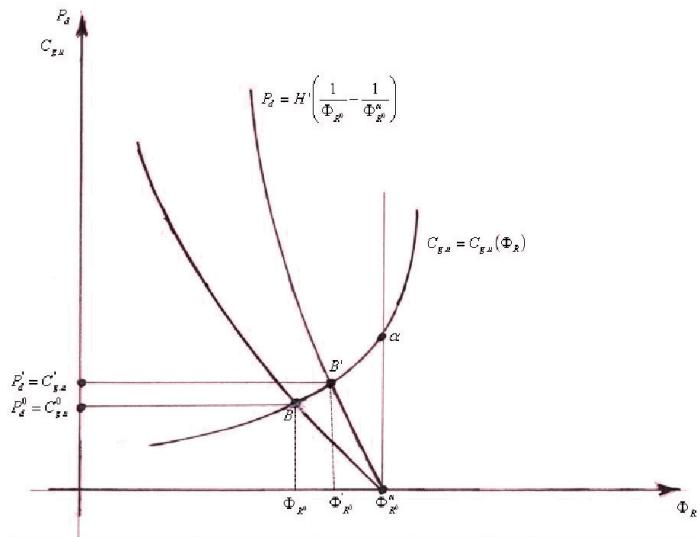


Fig. 6 – Variazione del flusso di rete ad offerta di trasporto costante. *Network variation flow at constant transport offer.*

riffazione kilometrica, prezzi dei consumi kilometrici, valore monetario del tempo, della sicurezza, dell'inquinamento, altro) ed un aumento della quantità domandata di trasporto "indotto o generato del progetto" che si ha per spostamento lungo la curva di domanda relativa all'assetto di rete R^r (punto B' di fig. 7a).

Ciò implica una ipotesi di invarianza della curva di domanda con la modifica dell'Assetto di Rete; ipotesi che va verificata valutando se il "progetto" inserito in rete modifica o meno la Capacità di Rete in quanto tutte e due le situazioni sono possibili.

È infatti realistica una tipologia di progetto che non modifica la Capacità di Rete: un allineamento di tracciato a parità di standard; un intervento che migliora la sicurezza o il livello di inquinamento.

Mentre è usuale un'altra tipologia di progetto che incrementa la Capacità di Rete: una elevazione di standard.

Nella prima tipologia la Capacità di Rete resta costante e cioè, $\Phi_{R^r}^a = \Phi_{R^0}^a$ ed il punto di equilibrio B' determina il valore del flusso in Φ_{R^r} rete e quindi la domanda generata dal "Progetto" $\Phi_{R^r} - \Phi_{R^0}$ (fig. 7a).

Nella seconda tipologia la Capacità di Rete aumenta e si ha un nuovo valore $\Phi_{R^r}^a > \Phi_{R^0}^a$ in cui l'asse delle ascisse è intercettato da una nuova curva di domanda e pertanto si ha una "funzione di domanda" anche nel caso di variazione dell'Offerta di Trasporto.

- c. Nel caso di "progetto" che incrementa la Capacità di Rete in assenza di variazione di domanda determinata da sviluppo economico, lo spostamento della curva di domanda è ipotizzabile come una traslazione di entità

configuration the quantity of transport parameters that contribute to the formation of the Generalised Cost of Transport vary: length and duration of travel; safety; level of pollution; other. A shift of $C_{g,u} = C_{g,u}(\Phi_R)$ occurs as the Network Configuration varies.

If the R^r Configuration determines a "positive" variation of quantities of transport $C_{g,u}^{cp} < C_{g,u}^{sp}$ parameters namely (reduction of distance and travel time, increased safety, and so on), there is a reduction (downward displacement of the curve, fig. 7a and 7b) of transport cost namely $C_{g,u}^{cp} < C_{g,u}^{sp}$ (unit prices of the transport parameters being equal: pricing per kilometre, kilometric charging, kilometric consumption prices, monetary value of time, of safety, of pollution, etc.) and an increase in the transport demand amount "induced or generated of the project" that there is moving along the demand curve relating to the R^r network (point B' of fig. 7a).

This implies an invariance hypothesis of the demand curve with the modification of the Network configuration; hypothesis that must be checked by assessing whether the "project" introduced in the network changes the Network Capacity or not, as both situations are possible.

A type of project that does not change the Network Capacity is indeed realistic: a route alignment with the same standard; an intervention that improves safety or the level of pollution.

While another type of project that increases Network Capacity is common: an elevation of standard.

In the first type the Network Capacity remains constant, that is $\Phi_{R^r}^a = \Phi_{R^0}^a$ and balance point B' determines the value of the network flow Φ_{R^r} and so the demand generated by "Project": $\Phi_{R^r} - \Phi_{R^0}$ (fig. 7a).

In the second type the Network Capacity increases and there is a new value $\Phi_{R^r}^a > \Phi_{R^0}^a$ where the x-axis is intercettato by a new demand curve and therefore there is a "demand function" even in case of variation of the Transport Offer.

- c. In the case of "a project" that increases the Network Capacity in the absence of change in demand due to economic development the shift of the demand curve is conceivable as a translation of entities $\Phi_{R^r}^a - \Phi_{R^0}^a$ in that the elasticity of the flow in the network Φ_R with the demand price P_d remains unchanged (fig. 7b).

Such hypothesis allows calculating the new demand curve

SCIENZA E TECNICA

$\Phi_{R^r}^\alpha - \Phi_{R^0}^\alpha$ in quanto l'elasticità del flusso in rete Φ_R con il prezzo di domanda P_d resta invariato (fig 7b).

Tale ipotesi consente di calcolare la nuova curva di domanda

$$P_d = H_r \left(\frac{1}{\Phi_{R^0}} - \frac{1}{\Phi_{R^r}^\alpha} \right)$$

in quanto si ha

$$\begin{aligned} \Phi_{R^r} &= \Phi_{R^0} + (\Phi_{R^r}^\alpha - \Phi_{R^0}^\alpha) \\ H_r &= H_0 \frac{\Phi_{R^r} \cdot \Phi_{R^r}^\alpha}{\Phi_{R^0} \cdot \Phi_{R^0}^\alpha} \end{aligned}$$

ove la capacità di Rete Φ_{R^0} relativa all'Assetto R^r , è calcolata mediante simulazione fino al raggiungimento del valore critico della Velocità Media di Rete $\bar{V}R^\alpha$.

Si ha quindi equilibrio con la curva di costo generalizzato nel punto B^{III} di fig. 7b e la domanda generata dal "progetto" vale $\Phi_{R^r} - \Phi_{R^0}$.

- d. Nel caso invece di "progetto" che incrementa la Capacità di Rete ma in presenza di variazione di domanda determinata dallo sviluppo economico si ha incremento del flusso in rete Φ_{R^r} per lo spostamento della curva di domanda per effetto dell'aumento di reddito (come nella situazione di fig. 6) ed inoltre anche per lo spostamento della curva di domanda per effetto dell'aumento della Capacità di Rete dovuta al "progetto" (come nella situazione di fig. 7b).

Si ha quindi un punto di equilibrio B^{IV} con la curva del costo generalizzato $C_{g,u}^{cp} = C_{g,u}^{cp}(\Phi_{R^r})$ che individua il flusso Φ_{R^r} in rete (fig. 8) calcolabile per "sovraposizione degli effetti": valore calcolato in a) sommato al valore calcolato in c).

8. Calcolo della matrice O-D della domanda generata

- a. In tutti i casi in cui si ha domanda generata, il procedimento illustrato fin qui la calcola come incremento del totale degli spostamenti nella Rete R; infatti con l'inserimento del Progetto nella rete iniziale l'insieme degli spostamenti diviene di $\Phi_{R^r} > \Phi_{R^0}$. Il sottoinsieme differenza è di fatto il totale generale della matrice O/D della Domanda Generata il cui calcolo rappresenta l'ultima fase del procedimento proposto.

L'insieme di spostamenti nella rete "senza progetto" Φ_{R^0} corrisponde al totale generale di una matrice di domanda M_{od}^A nota: relativa all'area A, al tempo τ ed ad un tasso di sviluppo pre-determinato.

Si tratta ora di distribuire nella matrice M_{od}^A l'insieme di spostamenti generati dal progetto in modo da ottenere la matrice di domanda complessiva $M_{od}^{A,cp}$. Come "fattore di distribuzione" è utilizzata l'Accessibilità Zonale sotto l'assunto che è l'incremento di Accessibilità (determinata dal progetto) che "produce" domanda generata. La matrice così ottenuta è $M_{od}^{A,cp} > M_{od}^A$.

$$P_d = H_r \left(\frac{1}{\Phi_{R^0}} - \frac{1}{\Phi_{R^r}^\alpha} \right)$$

since we have

$$\begin{aligned} \Phi_{R^r} &= \Phi_{R^0} + (\Phi_{R^r}^\alpha - \Phi_{R^0}^\alpha) \\ H_r &= H_0 \frac{\Phi_{R^r} \cdot \Phi_{R^r}^\alpha}{\Phi_{R^0} \cdot \Phi_{R^0}^\alpha} \end{aligned}$$

where the Network capacity $\Phi_{R^0}^\alpha$ relating to the R^r configuration, is calculated using the simulation until it reaches the critical value of Average Network Speed $\bar{V}R^\alpha$.

There is therefore a balance with the generalised cost curve in point B^{III} of Figure 7b and the demand generated by the "project" has a value of $\Phi_{R^r} - \Phi_{R^0}$.

- d. In the case of "a project" that increases Network Capacity but with variation in demand determined by the economic development, there is an increase of the network flow Φ_{R^r} for the shift of the demand curve due to the increase of income (as in the situation shown in fig. F) and also for the shift of the demand curve due to the increased Network Capacity due to the "project" (as in the situation shown in fig. 7b).

The result is a B^{IV} balance point with the generalised cost curve $C_{g,u}^{cp} = C_{g,u}^{cp}(\Phi_{R^r})$ that identifies the flow in the network (fig. 8) calculated for "overlapping effects": calculated value in a) plus the value calculated in c).

8. Computation of O-D matrix of the generated demand

- a. In all cases where there is a generated demand, the procedure described here calculates it as total displacement increase in Network R; in fact, with the inclusion of the Project in the initial network the shifts set becomes $\Phi_{R^r} > \Phi_{R^0}$. The subset difference is actually the grand total of the O/D matrix of the Generated Demand whose computation represents the last stage of the proposed procedure.

The set of movements in the network "without project" Φ_{R^0} is the grand total of a known demand matrix M_{od}^A ; relevant to an area A, a time and τ a pre-determined development rate.

It is now time to deploy the set of movements generated by the project in the matrix M_{od}^A in order to obtain the overall demand matrix $M_{od}^{A,cp}$. As "distribution factor" Zonal Accessibility is used under the assumption that the increase of accessibility (determined by the project) "produces" the generated demand. The resulting matrix is $M_{od}^{A,cp} > M_{od}^A$.

- b. Let us define "Generalized Zonal Accessibility" of the ω_i zone the sum of the travel times for all the movements that in the matrix M_{od}^A have destination in the ω_i zone. The result is:

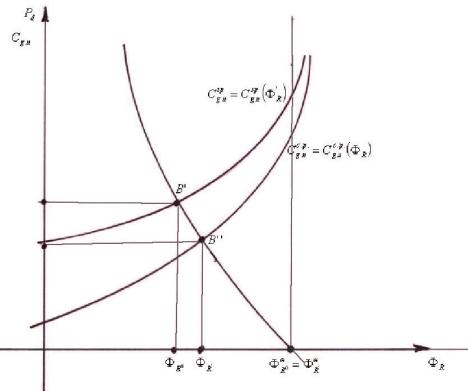


Fig. 7a – Variazione del flusso di rete al variare dell'offerta di trasporto – Curva di domanda fissa. *Network flow variation upon variation of the transport offer – fixed Demand Curve.*

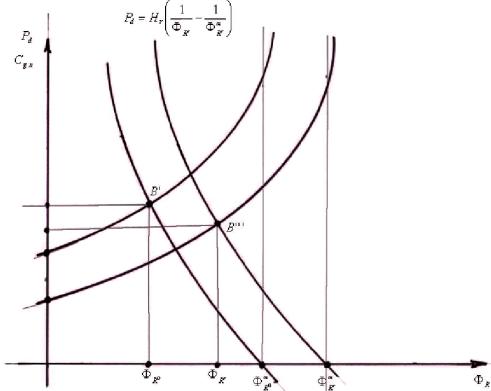


Fig. 7b – Variazione del flusso di rete al variare dell'offerta di trasporto – Curva di domanda modificata. *Network flow variation upon variation of the transport offer – modified Demand Curve.*

- b. Definiamo “Accessibilità Zonale Generalizzata” della zona ω_i la somma dei tempi di viaggio relativi a tutti gli spostamenti che nella matrice M_{od}^A hanno destinazione nella zona ω_i . Si ha:

$$AZ_{G,i} = \sum_j t_{j,i}$$

ove $t_{j,i}$ è il tempo di viaggio dello spostamento generico che ha origine nella zona ω_j e destinazione nella zona ω_i .

L’“Accessibilità Zonale Generalizzata” è sempre riferita ad un tempo storico τ (o ad un orizzonte temporale); inoltre è anche riferita ad un assetto della rete R nell’Area A.

Poiché abbiamo al tempo storico τ :

- un assetto della R “senza progetto”;
- un assetto della R “con progetto”,

derivano due valutazioni di Accessibilità Zonale Generalizzata:

- $AZ_{G,i}^{t,sp}$
- $AZ_{G,i}^{t,cp}$

La differenza $AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}$ calcola la variazione di accessibilità determinata dall’inserimento in rete del progetto al tempo storico τ .

$$\text{Il rapporto } 100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}}$$

calcola la variazione percentuale della $AZ_{G,i}$ per effetto del progetto.

- c. La “normalizzazione” della variazione percentuale della $AZ_{G,i}$ può essere effettuata considerando la Velocità Media in Rete VR al tempo storico e nell’assetto di rete considerati.

Con i medesimi indici si ha:

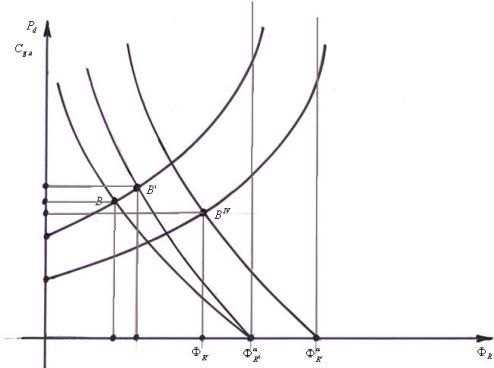


Fig. 8 – Flusso di rete al variare combinato della Curva di Domanda. *Network flow upon combined variation of the Demand Curve.*

$$AZ_{G,i} = \sum_j t_{j,i}$$

where $t_{j,i}$ is the travel time of generic shift that originates in the ω_j area and has destination in the ω_i area.

The “Generalized Zonal Accessibility” is always referred to a historical time τ (or time horizon); it is also referred to a network R configuration in Area A.

Since we have at historical time τ :

- a configuration of R “without project”;
- a configuration of R “with project”,

two Generalised Zonal Accessibility assessments derive:

- $AZ_{G,i}^{t,sp}$
- $AZ_{G,i}^{t,cp}$

The difference $AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}$ calculates the change in accessibility determined by the introduction of the project in the network at historical time τ .

SCIENZA E TECNICA

- $\bar{VR}^{t,sp}$
- $\bar{VR}^{t,cp}$

Il rapporto $100 \times \frac{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}{\bar{VR}^{t,sp}}$

calcola la variazione percentuale della \bar{VR} per effetto del progetto.

L'indice normalizzato della variazione delle $AZ_{G,i}$ è allora espresso dalla

$$\epsilon = 100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}} : 100 \times \frac{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}{\bar{VR}^{t,sp}}$$

da cui si ha:

$$\epsilon = 100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}} \times 100 \times \frac{\bar{VR}^{t,sp}}{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}$$

ove ϵ rappresenta l'"elasticità" della variazione della Accessibilità Zonale Generalizzata al variare della Velocità Media di Rete".

Il segno negativo introdotto serve soltanto a rendere l'indice ϵ positivo in presenza di due variabili che hanno comportamento opposto: quando la indipendente \bar{VR} aumenta la dipendente $AZ_{G,i}$ diminuisce.

Se per la zona ω_i il valore di ϵ è > 1 si ha che il progetto assicura alla ω_i una velocità di raggiungimento dalle altre $\omega - 1$ zone superiore alla velocità media di rete \bar{VR} .

Se invece $\epsilon < 1$ si ha la situazione opposta.

L'indice ϵ consente in tal modo di individuare una "classificazione normalizzata" dell'effetto del progetto sulla Accessibilità Zonale Generalizzata⁽¹⁾.

- d. Una volta determinata la variazione percentuale delle $AZ_{G,i}$ per effetto del progetto, la si utilizza come fattore di distribuzione dell'insieme di spostamenti generato dal progetto e si determina così la matrice O/D della domanda generata che si somma alla M_{od}^A per ottenere la $M_{od}^{A,sp}$ che viene assegnata alla rete "con progetto" $R^{c,p}$.

Ne deriva un valore diverso delle accessibilità zonali in quanto l'aumento dei flussi in rete ($M_{od}^{A,sp} > M_{od}^A$) determina una riduzione delle accessibilità.

Si è pertanto in presenza di circolo vizioso e quindi si procede per iterazione ripetendo il procedimento ed utilizzando come variabile indicatore dello sviluppo

The relationship

$$100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}}$$

calculates the percentage variation of $AZ_{G,i}$ as a result of the project.

- c. The "normalisation" of the percentage variation of $AZ_{G,i}$ can be performed considering the Average Speed in Network \bar{VR} at historical time and in the network configuration considered.

With the same indexes we have:

- $\bar{VR}^{t,sp}$
- $\bar{VR}^{t,cp}$

The relationship $100 \times \frac{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}{\bar{VR}^{t,sp}}$

calculates the percentage variation of \bar{VR} as a result of the project.

The normalised index of variation of the $AZ_{G,i}$ is then given by

$$\epsilon = 100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}} : 100 \times \frac{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}{\bar{VR}^{t,sp}}$$

from which we have:

$$\epsilon = 100 \times \frac{AZ_{G,i}^{t,sp} - AZ_{G,i}^{t,cp}}{AZ_{G,i}^{t,sp}} \times 100 \times \frac{\bar{VR}^{t,sp}}{-(\bar{VR}^{t,sp} - \bar{VR}^{t,cp})}$$

where ϵ represents the "elasticity" of variation of General Zonal Accessibility as the Average Network Speed varies".

The negative sign introduced serves only to make the index ϵ positive in the presence of two variables that have the opposite behaviour: when the independent \bar{VR} increases, the dependent $AZ_{G,i}$ decreases.

If for zone ω_i the value of ϵ is > 1 the result is that the project ensures ω_i with a reaching speed by the other $\omega - 1$ zones higher than the average network speed \bar{VR} .

If instead $\epsilon < 1$ there is an opposite situation.

The index ϵ allows identifying a "normalised classification" of the project's effect on Generalised Zonal Accessibility⁽¹⁾.

- d. Once the percentage variation of the $AZ_{G,i}$ is determined as a result of the project, it is used as a distribution factor of the movements set generated by the project and the O/D matrix of the generated demand is thus determined that is summed to M_{od}^A in order to obtain $M_{od}^{A,sp}$ that is assigned to the network "with project" $R^{c,p}$.

⁽¹⁾ Definiamo "Accessibilità Zonale Relazionata" della ω_i in rapporto alla zona ω_i il totale di tempo di viaggio relativo agli spostamenti che hanno origine j e destinazione i . Si ha

$$AZ_{Rji} = \sum S_{j,i} \bullet t_{j,i}$$

ove $S_{j,i}$ è lo spostamento generico da j a i e $t_{j,i}$ è il tempo di viaggio relativo.

Per la AZ_{Rji} si può ripetere la medesima procedura di calcolo descritta e calcolare così l'elasticità ϵ della Accessibilità Zonale Relazionata della zona i in rapporto alla zona j .

⁽¹⁾ Let us define "Relational Zonal Accessibility" of ω_i in relation to ω_j zone the total travel time for movements originating from j and with destination i . The result is

$$AZ_{Rji} = \sum S_{j,i} \bullet t_{j,i}$$

where $S_{j,i}$ is the generic shift from j to i and $t_{j,i}$ is the related travel time.

For AZ_{Rji} the same calculation procedure described can be repeated and therefore the elasticity of Relation Zonal Accessibility of zone i in relation to zone j .

del processo iterativo il Costo Generalizzato di rete $C_g R$ che ovviamente dipende dalla matrice assegnata. Quando il valore di $C_g R$ si stabilizza l'iterazione ha termine e la Matrice $M_{od}^{A,ep}$ è definitiva.

9 Conclusioni

- Nel metodo proposto gli strumenti operativi per il calcolo vengono messi a punto utilizzando la simulazione piuttosto che la rilevazione mediante indagini di campo.

Si può osservare correttamente che in questo modo i risultati ottenuti non sono verificati mediante misure sperimentali.

Di contro si può anche osservare che nella valutazione di fattibilità di un progetto il processo consolidato si basa sulla modellistica di simulazione, poiché le indagini di campo sono limitate alla misura della domanda di trasporto nella situazione esistente: conteggi veicolari ed indagini Origine/destinazione. Di più, con l'uso di modelli euristici si tende ad effettuare soltanto conteggi.

Di conseguenza il metodo di calcolo della Domanda Generata è coerente con la prassi utilizzata per il procedimento complessivo.

- Il metodo è basato sull'uso di variabili relative all'Area di Influenza del Progetto (vedi Inquadramento). Questo presupposto può costituire una limitazione all'utilizzazione del metodo qualora detta Area non sia collocabile entro un perimetro sia fisico sia socioeconomico a causa della tipologia del progetto e/o delle caratteristiche del territorio.
- Un passaggio cruciale per lo sviluppo del metodo è l'estensione della Teoria di Deflusso d'arco alla rete complessiva, con il riconoscimento di un "Flusso di Saturazione di Rete" e quindi di una "Capacità di Rete". Da un punto di vista astratto è valido il concetto che esista una quantità di domanda che satura una rete e che esista una velocità media di rete critica che ne segnali la saturazione. L'analogia con l'arco è evidente. La differenziazione sta nel fatto che nel caso dell'Arco sia il flusso di saturazione che la velocità critica sono misurabili; nel caso della Rete, e quindi dell'Area che la comprende, la misura è di difficile realizzazione (non impossibile) per motivi operativi. Da qui l'uso della simulazione per raggiungere lo scopo.
- Nello sviluppo del metodo è stata fatta una applicazione ad un caso reale, ottenendo così l'espressione numerica delle funzioni e delle variabili in gioco.

Implementando l'applicazione ad altri casi reali, a parità di tipologia di progetto e con l'uso della medesima modellistica, va verificata la "tenuta del risultato" per quanto riguarda funzioni e variabili; si pensi ad esempio al valore di velocità media di rete critica ottenuto nell'applicazione effettuata.

The result is a different value of zonal accessibility because the increase in the network flows ($M_{od}^{A,ep} > M_{od}^A$) results in a reduction of accessibility.

Therefore there is a vicious circle and thus one proceeds looping and repeating the procedure and using as variable indicator of the iterative process development the Generalised Network Cost $C_g R$ that obviously depends on the assigned matrix. When the value of $C_g R$ stabilizes, the iteration ends and the $M_{od}^{A,ep}$ Matrix is ultimate.

9. Conclusions

- In the proposed method, the operational tools for calculation are developed using simulation rather than the detection through field investigations.

We can see correctly that the results obtained this way are not verified by experimental measurements.

On the other hand, one can also observe that in evaluating the feasibility of a project, the consolidated process is based on simulation modelling, since field investigations are limited to the extent of the transport demand in the existing situation: vehicle counts and origin/destination surveys. In addition, with the use of heuristic models one tends to make calculations only.

Therefore the calculation method of the Generated Demand is consistent with the practices used for the overall process.

- The method is based on the use of variables relating to the Area of Influence of the Project (see Classification). This assumption may constitute a restriction on the use of the method if the Area cannot be placed within both a physical and socio-economic perimeter due to the type of project and/or the characteristics of the territory.
- A crucial step in the development of the method is an extension of the Arc Outflow Theory to the overall network, with the recognition of a "Network Saturation Flow" and therefore of a "Network Capacity". From an abstract point of view, the concept that there is a demand amount that saturates the network and that there is an average critical network speed which signals the saturation is valid. The analogy with the arc is evident. The distinction lies in the fact that in the case of the Arc, both the saturation flow and the critical speed are measurable; in the case of the Network, and therefore of the Area that includes it, measuring is difficult (not impossible) for operational reasons. Hence the use of the simulation to achieve the purpose.
- An application to a real case was made in the development of the method, thus obtaining the numerical expression of the functions and variables involved.

Implementing the application to other real cases, with the same type of project and with the use of the same modelling, "the stability of the result" must be checked with regard to functions and variables; just consider for example the value of average critical network speed obtained in the application made.

SCIENZA E TECNICA

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] F. NUTI, "L'analisi Costi – Benefici", Il Mulino 1987.
- [2] H.G. THUENSEN, W.G. FABRICKY, G.H. THUENSEN, "Economia per Ingegneri", Il Mulino 1974.
- [3] J. DE V. GRAAFF, "Teoria dell'economia del benessere", Franco Angeli Editore - Collana di economia 1966.
- [4] P. MASSÈ, "La scelta degli investimenti. Criteri e Metodi", ET/AS Kompass 1965.
- [5] J.W. BAUMOL, "Teoria economica ed analisi comparativa", Franco Angeli Editore - Collana di economia 1968.

Sommaire	Zusammenfassung
<p>INTERACTION ENTRE PROJET, ACCESSIBILITE DE ZONE ET DEMANDE GENEREE</p> <p>Cet article concerne la mise à point d'une méthode de calcul de la "demande générée ou demande enduite" déterminée par la réalisation d'un projet d'infrastructure routière. La concréétisation d'un quota part de demande de transport générée par la réalisation d'une nouvelle infrastructure, qui se rajoute à la demande de transport déjà existante, est formalisé ici sur le plan théorique. D'un point de vue opérationnel les difficultés de calcul dépendent de la non connaissance analytique de la "Courbe de Demande" de l'utilisateur du système de transport.</p> <p>La méthode proposée se base sur l'application de l'analyse du transport étendue au domaine d'influence du projet, entendue à la fois comme territoire, avec ses caractéristiques sociales et économiques, ainsi que comme portion du système du réseau de transport, avec ses variables techniques et fonctionnelles. Il en suit que la demande de transport déjà existante, ainsi que celle générée, est représentée par l'ensemble des déplacements qui ont lieu dans le domaine d'influence, et donc par le flux total de véhicules sur le système ou réseau de transport. A cette demande o flux globaux est lié le prix de demande de l'utilisateur pour la formulation analytique de la courbe de demande.</p> <p>Il en suit que la réalisation du projet déterminé la création d'une nouvelle demande et cette dernière, qui se déroule dans le contexte du domaine d'influence du projet, utilise des portions du réseau de transport opérationnelles dans ce contexte et pas seulement nécessairement la nouvelle infrastructure qui l'a générée.</p>	<p>WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN VERKEHRSNACHFRAGE-ENTWICKLUNG UND BENUTZUNG EINER NEUEN STRASSENINFRASTRUKTUR</p> <p>Vorstellung eines Berechnungsverfahrens der Änderungen von Verkehrs nachfrage im Folge dem Bau einer neuen Straße in Infrastruktur. Das Problem ist theoretisch bekannt und gelöst, aber die Berechnungsschwierigkeiten hängen von der Unwissenheit der Nachfrage der Benutzer ab.</p> <p>Mit diesem Verfahren werden die Schwierigkeiten aufgehoben. Es wird auch vorgestellt, dass der neue zusätzliche Verkehr auch von Teilen der alten Netz sich bedienen kann.</p>