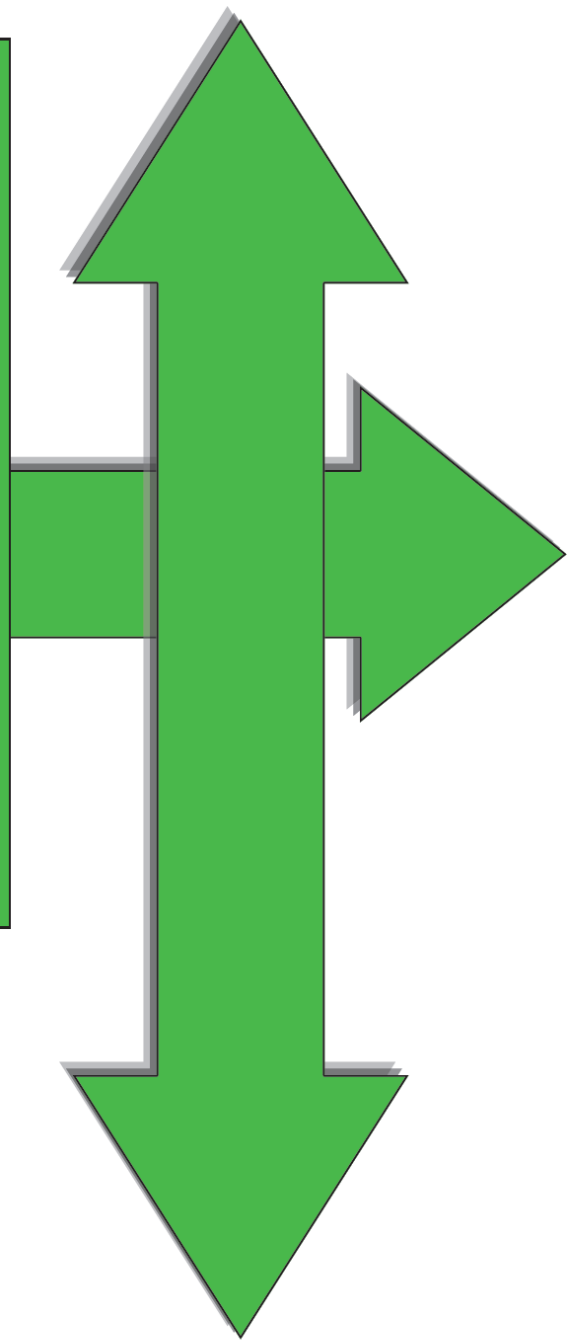


R.E.Po.T.
Rivista di
Economia e
Politica dei
Trasporti



Anno 2015, Numero 1

Rivista Scientifica della Società Italiana di
Economia dei Trasporti e della Logistica



ISSN 2282-6599



Domanda potenziale e rischio traffico/introiti nel Project Financing di un'infrastruttura viaria a pedaggio

Andrea Pompigna ^{1*}, Franco Righetti ², Pietro Brunetti ²

¹ *Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM – Università di Bologna*

² *Righetti&Monte Ingegneri e Architetti Associati – Bologna/Milano*

Abstract

Il Project Financing di un'infrastruttura viaria a pedaggio pone come elemento centrale di valutazione della convenienza e finanziabilità dell'opera la capacità di generare, come introiti da pedaggio, i flussi di cassa che costituiscono la garanzia primaria per i finanziatori privati. L'articolo pone in evidenza la centralità della previsione della domanda di traffico e degli introiti attesi sull'infrastruttura, esplorando gli strumenti e le tecniche modellistiche che consentono di stimarne i valori potenziali e, sulla base di questi, di formulare la decisione di investimento. La discussione chiarisce, tuttavia, come i tradizionali modelli di previsione della domanda potenziale di traffico siano inevitabilmente affetti da quote non eliminabili d'incertezza, legati essenzialmente alla variabilità degli input. Tutto ciò si traduce in elementi non trascurabili di rischio, che mal si coniugano con gli obiettivi di convenienza e redditività che l'investitore si pone nei confronti del progetto. L'articolo propone all'attenzione del lettore un approccio quantitativo all'analisi di rischio che consente di definire statisticamente, ossia individuandone la distribuzione di probabilità, la domanda e gli introiti potenziali, superando la percezione deterministica delle valutazioni, e riportandole nel contesto probabilistico che più propriamente la descrive. La discussione elaborata chiarisce l'operatività di questo approccio e ne evidenzia l'utilità nella valutazione della sostenibilità dell'iniziativa e nella formulazione della scelte di investimento. Essa risulta, altresì, utile a comprendere l'importanza di tale approccio, in termini di oggettivazione e trasparenza, nella strutturazione dei rapporti reciproci e nella definizione delle relative garanzie tra i soggetti pubblici e privati che intervengono.

Parole chiave: Project Financing, Autostrade, Studi di Traffico, Analisi di Rischio.

1. Introduzione

Negli ultimi anni i vincoli di bilancio e le crescenti limitazioni imposte alla spesa delle pubbliche amministrazioni hanno progressivamente portato a un blocco strutturale degli investimenti in opere infrastrutturali, lasciando emergere in maniera sempre più evidente un pesante deficit sull'intero territorio nazionale. L'impellente urgenza di riavviare il processo d'infrastrutturazione e di portare a soluzione il deficit di dotazioni, anche come contributo alla ripresa economica, ha accresciuto la necessità di ricorrere all'apporto di risorse private per la realizzazione e gestione di opere infrastrutturali.

* Autore a cui spedire la corrispondenza: Andrea Pompigna (andrea.pompigna3@unibo.it)

Ciò ha portato ad un crescente ricorso al Partenariato Pubblico-Privato (PPP), ossia a varie forme di cooperazione tra pubblico e privato finalizzate alla progettazione, costruzione, finanziamento, gestione e manutenzione di opere pubbliche o di pubblica utilità. Il ricorso alla Finanza di Progetto o Project Financing, con il conseguente apporto di capitale privato, è divenuto negli anni sempre crescente anche nella progettazione, realizzazione e gestione di infrastrutture stradali. L'attribuzione delle concessioni di costruzione ed esercizio ha aperto, infatti, alla possibilità di finanziamenti privati, legati alla gestione economica delle opere, consentendo di contenere l'impiego di risorse pubbliche.

Il Project Financing (PF), infatti, pone come elemento centrale di valutazione della finanziabilità di un progetto infrastrutturale la relativa valenza tecnico-economica. Il progetto infrastrutturale, quale può essere la realizzazione e gestione di una strada a pedaggio, è valutato principalmente per la sua capacità di generare quei flussi di cassa che costituiscono la garanzia primaria per i finanziatori privati, in termini di rimborso del debito e di remunerazione del capitale di rischio.

Nel caso di una strada a pedaggio, i flussi di cassa sono sostanzialmente legati alle attività di progettazione e costruzione (nel caso di una nuova infrastruttura), manutenzione e gestione operativa per quanto riguarda le uscite, mentre dipendono essenzialmente dagli introiti da pedaggio per quanto riguarda le entrate. La previsione della domanda di traffico attesa sull'infrastruttura, effettuata mediante strumenti e tecniche modellistiche nell'ambito di Studi di Traffico, costituisce, pertanto, un aspetto cruciale nell'iniziativa PPP e della sua attuazione in Project Financing. E' evidente, infatti, come siano i volumi di domanda attesi a influenzare sia i costi d'investimento e manutenzione che, dipendendo dal dimensionamento dell'infrastruttura, sono essenzialmente legati ai volumi di traffico, sia gli introiti attesi, prodotti dagli stessi volumi cui si applicano le tariffe di pedaggio.

Provvedere a un'accurata stima dei volumi e della composizione del traffico atteso è, pertanto, un obiettivo essenziale nelle varie fasi d'impostazione e attuazione di un'iniziativa di PF, al fine di poter assicurare il completamento e la gestione dell'opera nel rispetto degli interessi dei soggetti pubblici e privati coinvolti. Solo un'attenta valutazione della domanda potenziale può consentire, infatti, la predisposizione di un accurato piano previsionale dei flussi di cassa, necessario alla valutazione dell'investimento e alla pianificazione e progettazione, sia infrastrutturale sia finanziaria dell'opera.

Come avviene in ogni progetto d'investimento, la gestione del rischio è un aspetto sensibile per l'intera procedura di PF infrastrutturale e, pertanto, deve essere affrontato in maniera adeguata, al fine di contenere gli impatti futuri derivanti dall'esistenza di condizioni di incertezza, che possono determinare fonti di rischiosità tali da minare l'esito della procedura.

Tra le fonti di rischio più rilevanti per la realizzazione e gestione di un'infrastruttura viaria con ricorso al finanziamento privato si colloca sicuramente il rischio sui flussi di traffico, che si traduce sia sui ricavi derivanti dall'esazione del pedaggio sui transiti, sia sui costi attraverso le spese in conto capitale e quelle di manutenzione. Il rischio traffico esprime, in definitiva, il rischio di avere una domanda di traffico, e quindi flussi in transito sull'infrastruttura autostradale, incapace di coprire con i relativi ritorni da pedaggio i costi economici e finanziari del progetto e generare i ritorni attesi dagli investitori.

In accordo con la formulazione del concetto di rischio che vede combinarsi la probabilità che accada un evento rischioso e l'impatto che questo evento potrebbe avere, l'approccio fondamentale all'analisi del rischio traffico/introiti di un progetto infrastrutturale consiste nel considerare un'ampia gamma di scenari aventi un determinato livello di probabilità di occorrenza e un determinato impatto, e sulla base di questi individuare la relativa gamma di risultati in termini di traffico ed introiti potenziali. Caratterizzare la domanda di traffico anche in termini di rischiosità consente di definire livelli probabilistici di rischio, ossia di individuare un intervallo di confidenza tanto per la stessa domanda quanto per i conseguenti flussi di cassa connessi con la gestione economica del progetto.

Nelle note che seguono, dopo una breve introduzione alle procedure PPP, una carrellata sui soggetti ed i ruoli che si attivano nell'ambito di una iniziativa di partenariato in PF, l'attenzione viene indirizzata sul caso specifico di una nuova infrastruttura viaria a pedaggio, presentando in maniera più puntuale i contenuti degli Studi di Traffico. In particolar modo si prenderanno in esame le elaborazioni e le analisi concernenti la previsione della domanda di traffico attesa sull'infrastruttura e dei relativi flussi di cassa derivanti dall'imposizione della tariffa di pedaggio. A tal proposito sono presentati in maniera sintetica i principali aspetti e fasi della modellazione dei sistemi di trasporto e delle relative tecniche di previsione, arricchite dagli elementi che consentono di produrre un'analisi di rischio, utile a connotare dal punto di vista probabilistico le stime di domanda e di introiti attesi sull'infrastruttura, elementi fondamentali per la definizione della redditività (convenienza economica) e la bancabilità (sostenibilità finanziaria) dell'investimento.

2. Il partenariato Pubblico-Privato

2.2 PPP e Project Financing

Il Project Financing (PF) o Finanza di Progetto¹ è un modo di finanziamento strutturato che può essere utilizzato in alcune operazioni di PPP per finanziare, con apporti di capitale privato, progetti in grado di essere in tutto o in parte finanziariamente indipendenti. Si tratta, in generale, di progetti caratterizzati da elevati fabbisogni finanziari e in grado di generare, nella fase di gestione, flussi di cassa sufficienti a rimborsare il debito contratto per la loro realizzazione e a remunerare il capitale di rischio.

Il Project Financing pone come elemento centrale di valutazione della finanziabilità di un progetto la relativa valenza tecnico-economica. In maniera sintetica, un'operazione di Finanza di Progetto è, quindi, definibile come un'operazione intrapresa per il finanziamento di un'opera pubblica mediante la quale uno o più soggetti privati si

¹ In Italia è il cosiddetto Codice dei Contratti pubblici di lavori, servizi e forniture (d.lgs. 163/2006 e ss. mm. ii.) che definisce le principali figure di partenariato contrattuale e disciplina nei suoi aspetti principalmente procedurali il Project Financing o Finanza di Progetto, introdotta per la prima volta nell'ordinamento italiano con la legge 18.11.1998, n. 415 e richiamata dalla Legge del 21.12.2001 n. 443 (Legge Obiettivo) come opportunità per la realizzazione delle infrastrutture comprese nell'elenco delle opere strategiche.

propongono ad soggetto pubblico per finanziare, eseguire e gestire tale opera, facendosi carico dei relativi costi. Ciò può avvenire mediante ricorso a capitale proprio e a capitale di terzi, eventualmente affiancato da un contributo dello stesso soggetto pubblico, e ottenendo come ritorno gli utili generati dalla gestione dell'opera stessa nell'ambito di un dato intervallo di concessione. Durante tale intervallo, quindi, la gestione deve dimostrarsi efficiente e qualitativamente elevata, per consentire di generare i flussi di cassa necessari a rimborsare il debito e a remunerare gli azionisti.

2.3 Soggetti e ruoli

I principali player in un'iniziativa PPP sono essenzialmente il soggetto pubblico, uno o più soggetti privati e l'utenza finale. Un'operazione di PF produce, pertanto, una composizione bilanciata di interessi da parte del soggetto pubblico, dei soggetti privati e dell'utenza finale, riguardanti rispettivamente:

- l'efficienza, l'efficacia e l'economicità dell'azione amministrativa nell'allocazione delle risorse pubbliche;
- la remunerazione del capitale privato investito;
- un elevato grado di soddisfacimento dei bisogni dell'utenza, a fronte di un eventuale corrispettivo tariffario.

Nei modelli PPP il compito generale del soggetto pubblico è quello di attivare strategie e programmi per consentire, promuovere e facilitare efficienti e sostenibili investimenti nel settore infrastrutturale da parte dei privati. Il soggetto pubblico, inoltre, predispone tutte le azioni concrete che consentono di definire adeguatamente le operazioni suscettibili di PF, di scegliere i partner privati, di allocare i rischi e di identificare i temi e le clausole contrattuali, assicurando nello stesso tempo l'adeguata pianificazione e progettazione dell'opera, insieme alla relativa sostenibilità economica, accettabilità sociale e compatibilità ambientale.

In tal senso, per le opere per cui esiste una possibilità di ricorrere alla finanza di progetto, come può essere per un'infrastruttura viaria per cui sia possibile prevedere un pedaggiamento, il soggetto pubblico² provvede a valutare l'utilità del ricorso al PF come convenienza rispetto ad un appalto tradizionale. Sotto il profilo quantitativo questa convenienza viene valutata ricorrendo al Public Sector Comparator (PCS), strumento che consente di determinare se la scelta di eseguire un'opera in finanza di progetto rappresenta una soluzione più efficace ed efficiente rispetto all'alternativa interamente pubblica (Martiniello, 2005). Effettuate tali valutazioni è rilevata la convenienza di

² Nel caso delle infrastrutture viarie a pedaggio, il soggetto pubblico concedente è rappresentato in Italia principalmente dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, subentrato ad Anas S.p.A. ed operante attraverso la Struttura di Vigilanza sulle Concessionarie Autostradali (DM e n. 341 1 ottobre 2012). Dal 1 ottobre 2012 Anas S.p.A., società pubblica sottoposta alla vigilanza del Ministero delle Infrastrutture, opera come gestore di alcune tratte autostradali non pedaggiate, mentre per altre svolge il ruolo di concedente partecipando al 50% in società regionali, con tratte non ancora in esercizio. Oltre al Ministero e alle Società paritetiche Anas S.p.A. – Regioni, vi sono altre società regionali che svolgono il ruolo di concedente di infrastrutture poste esclusivamente nel territorio della Regione su tratte non ancora in esercizio. Nel caso di infrastrutture di carattere locale o urbano (bretelle e raccordi, tangenziali, ecc.) il concedente può essere rappresentato direttamente locale Amministrazione regionale o comunale.

avviare un PF, il soggetto pubblico può decidere di procedere affidando ad un soggetto privato una concessione³ per la progettazione, realizzazione e gestione dell'opera.

Il soggetto privato è in generale rappresentato da una pluralità di soggetti che a diverso titolo convengono nell'ambito di una procedura PPP (PPIAF, 2009):

- SVP, società concessionaria di progetto;
- Sponsor, investitori di capitale proprio;
- Contractors/constructors, appaltatori ed imprese di costruzione;
- Operators, società concessionarie di servizi autostradali;
- Lenders, banche di investimento;
- Multilateral Lending Agencies, istituzioni finanziarie internazionali;

Generalmente le iniziative di PF per la realizzazione e gestione di un'infrastruttura viaria a pedaggio prevedono l'assegnazione della concessione ad una società veicolo o Special Purpose Vehicle (SPV) nell'ambito della quale convergono un certo numero di investitori. Per gli investitori equity la creazione di una SPV consente di attuare l'investimento nell'iniziativa operando una separazione rispetto alle relative restanti attività imprenditoriali; in tal modo la società di scopo, nella veste di società concessionaria, ha la possibilità di raccogliere nell'ambito di un'unica compagine diversi soggetti investitori, limitando il rischio degli stessi al relativo contributo al capitale proprio della medesima società. Tali soggetti, a loro volta, possono appartenere a diverse categorie:

- Sponsor, ossia investitori privati direttamente coinvolti nella promozione dell'iniziativa, quali imprese appaltatrici, concessionarie autostradali, società di progettazione, consorzi di investitori locali;
- Investitori passivi, ossia investitori (fondi d'investimento o investitori locali) guidati esclusivamente da considerazioni di natura finanziaria che non partecipano a decisioni di natura operativa in merito al progetto, ma partecipano al capitale proprio della SPV in vista di un potenziale ROE che superi per profitto atteso un investimento alternativo.

In molti casi di operazioni PF nel campo delle infrastrutture autostradali, un ruolo importante viene rivestito dalle imprese di costruzione e dagli operatori già attivi nella gestione di infrastrutture autostradali. Costruzione/rifunzionalizzazione e manutenzione di un'infrastruttura viaria, infatti, necessitano di strutture e competenze efficienti e specializzate che possono essere in massima parte assicurate dalle imprese di costruzione, le quali d'altra parte partecipando direttamente alla costruzione dell'opera sono in grado di influenzarla enormemente in termini di controllo delle fasi realizzative, in termini di costi, durata ed efficienza. Inoltre, in virtù dell'estesa capacità finanziaria, i

3 In Italia la Concessione di Lavori Pubblici, definita dall'art. 3, comma 11 del Codice dei Contratti pubblici di Lavori, Servizi e Forniture (D.Lgs. 12 aprile 2006, n. 163 e ss. mm. ii. che definisce la disciplina degli istituti di PPP) come "contratto a titolo oneroso, concluso in forma scritta, avente ad oggetto l'esecuzione, ovvero la progettazione definitiva, la progettazione esecutiva e l'esecuzione, ovvero la progettazione esecutiva e l'esecuzione di lavori pubblici o di pubblica utilità e di lavori ad essi strutturalmente e direttamente collegati, nonché la loro gestione funzionale ed economica, che presenta le stesse caratteristiche di un appalto pubblico di lavori, ad eccezione del fatto che il corrispettivo dei lavori consiste unicamente nel diritto di gestire l'opera o in tale diritto accompagnato da un prezzo".

costruttori non di rado sono tra i pochi soggetti in grado di mobilitare ingenti risorse per la formazione del capitale proprio.

Altrettanto importante nell'ambito di un'operazione PF per la costruzione e gestione di una infrastruttura autostradale e nella formazione del capitale proprio della SPV è il ruolo assunto dagli operatori già presenti nel mercato delle concessioni autostradali, sia per la capacità finanziaria generalmente posseduta che si traduce nella possibilità di importanti apporti di equity, sia per la conoscenza e competenza nella gestione delle fasi operative di esercizio dell'infrastruttura (gestione del traffico, sicurezza, prevenzione e gestione degli eventi incidentali, esazione del pedaggio).

Per la realizzazione dell'opera, e quindi per la concretizzazione dell'operazione, oltre al capitale degli investitori equity, la concessionaria solitamente deve ricorrere a capitale di terzi, acquisito più nella forma di Project Lending (finanziamento del progetto in sé) che nella forma Corporate Lending (finanziamento dell'impresa sponsor in generale). Ciò determina l'ingresso nel sistema di relazioni di una nuova parte attiva, rappresentata dal lender, sia a capitale privato (banche commerciali e d'investimento) che pubblico (state lenders come, in Italia, CDP Cassa Depositi e Prestiti). In alcuni casi, inoltre, la procedura di PF può prevedere, come fonte di finanziamento, anche operazioni capital markets. Apporti finanziari possono, inoltre provenire da istituzioni finanziarie internazionali, dette anche Multilateral Lending Agencies (MLAs), quali ad esempio World Bank o European Investment Bank.

Dal punto di vista del finanziamento, stante il ruolo fondamentale che assumono i soggetti privati, rimane ferma, comunque, la possibilità da parte del soggetto pubblico di partecipare al finanziamento dell'iniziativa mediante erogazione di contribuzione pubblica, secondo varie competenze e nei modi previste dalle norme⁴.

Un ruolo sicuramente chiave è, infine, quello che rivestono utenza e collettività. Se da un lato gli utenti costituiscono la principale fonte di ricavo per gli investitori attraverso l'imposizione del pedaggio a fronte della disponibilità del collegamento, dall'altro è la collettività che sostiene i costi sociali ed ambientali legati all'infrastruttura a fronte dei benefici connessi all'incremento di accessibilità territoriale. Una valutazione superficiale di tali aspetti e una gestione non adeguata delle tematiche collegate potrebbe compromettere la fattibilità dell'opera ed il successo dell'intera operazione.

Come conseguenza del fatto che in tempi recenti l'opera pubblica non riesce più a riassumere in sé, automaticamente e palesemente, i valori della pubblica utilità e dell'interesse generale, tale esplicitazione si rende necessaria nei confronti della

4 In Italia l'art 143 comma 4 del Codice prevede, infatti, la possibilità da parte dell'Amministrazione di assegnare un contributo (prezzo), nel caso in cui "sia necessario assicurare l'equilibrio economico finanziario degli investimenti e della connessa gestione in relazione alla qualità del servizio da prestare", e che può eventualmente consistere nella cessione in proprietà o in diritto di godimento di beni immobili nella propria disponibilità, o allo scopo espropriati. A tal proposito, le Linee Guida CIPE di cui alla delibera n.1 del 18 febbraio 2013, pubblicate in Gazzetta Ufficiale n. 206 del 3 settembre 2013 (Direttiva in materia di attuazione delle misure di compensazione fiscale), hanno reso operativo quanto stabilito all'art. 18 della Legge di stabilità 2012 (legge n. 183/2011) in a favore della realizzazione di infrastrutture strategiche con il sistema della Finanza di Progetto. Le nuove disposizioni normative prevedono la possibilità che il contributo pubblico possa essere sostituito, in tutto o in parte, da agevolazioni fiscali utilizzabili dalle imprese affidatarie di una concessione di costruzione e gestione di opere infrastrutturali (cosiddetta defiscalizzazione). Gli sconti in oggetto sono rappresentati dalla compensazione del contributo con le imposte sui redditi, l'Irap o il credito IVA generati durante il periodo di concessione.

collettività, al fine di evitare o contenere il generarsi di vere e proprie barriere al consenso, con pressioni sociali ed azioni politiche e legali dirette ad ostacolarne/impedirne la realizzazione (sindrome NIMBY Not - In - My - Back - Yard e sue varianti, o comunque effetti consequenziali della sindrome DAD Decide - Announce - Defende) (Cascetta et al., 2013).

3. L'analisi della domanda di traffico e degli introiti

3.2 Piano Finanziario e Studi di Traffico

Il Piano Economico Finanziario (PEF) è lo strumento che esplicita i presupposti e le condizioni di base che determinano l'equilibrio economico-finanziario dell'investimento per la progettazione, costruzione e gestione per l'intero arco del periodo concessorio, consentendo di stimare la redditività del progetto, l'entità delle tariffe e canoni (se previsti) e l'eventuale consistenza di contributi pubblici a fronte della realizzazione dell'investimento.

Oltre agli schemi di Conto Economico e Stato Patrimoniale previsionali, elemento fondamentale del PEF è il piano previsionale dei flussi di cassa (cash flow - CF) generati dall'investimento, che riporta i flussi in entrata e in uscita previsti in relazione alla realizzazione e gestione del progetto. L'analisi dell'andamento del CF mette in evidenza la capacità o meno dell'iniziativa di assicurare l'equilibrio economico e finanziario dell'investimento, ossia rispettivamente (UTFP, 2010):

- il rispetto delle condizioni di convenienza economica, come capacità di creare valore e di generare un livello di redditività per il capitale investito adeguato rispetto alle aspettative dell'investitore privato (analisi di convenienza mediante calcolo del Tasso Interno di Rendimento, TIR, e del Valore Attuale Netto, VAN, del progetto e dell'azionista) nell'arco di durata della concessione;
- il rispetto delle condizioni di sostenibilità finanziaria, come capacità del progetto di generare flussi monetari sufficienti a garantire il rimborso dei finanziamenti e un'adeguata redditività per gli azionisti, valutando il margine di sicurezza su cui i soggetti finanziatori possono contare per essere garantiti sul puntuale pagamento del servizio del debito (analisi di bancabilità mediante calcolo del Debt Service Cover Ratio, DSCR, e Loan Life Cover Ratio, LLCR).

Le stime concernenti la domanda potenziale attesa e ai relativi introiti da pedaggio, che consentono di predisporre il piano previsionale dei flussi di cassa CF, sono definite nell'ambito di specifici Studi di Traffico⁵.

⁵ Indicazioni in merito alla modalità di redazione delle stime di traffico per la quantificazione della domanda di traffico e degli introiti da pedaggio, contenute negli Studi di Traffico, sono fornite dalla Direttiva in materia di regolazione economica del settore autostradale, approvata dal Comitato Interministeriale Programmazione Economica, Cipe, con Deliberazione n. 39 del 15 giugno 2007 (Gazzetta Ufficiale n. 197 del 25 agosto 2007). La Direttiva, le cui disposizioni si applicano sia alle nuove concessioni che alle concessioni in essere, contiene tra i vari indirizzi per la stesura e l'aggiornamento del Piano Economico Finanziario anche dei chiari riferimenti metodologici relativi alla formulazione della stima previsionale della domanda di traffico che "deve essere caratterizzata da robustezza analitica, trasparenza e riproducibilità. Deve, inoltre, consentire l'effettuazione di analisi di simulazione, di sensitività e di rischio da parte dei soggetti istituzionalmente legittimati".

Generalmente gli Studi di Traffico vengono redatti da consulenti indipendenti e supportano le diverse fasi della procedura, dalla redazione degli Studi di Fattibilità, alla definizione della gara, alla concretizzazione della proposta da parte dei proponenti, all'aggiudicazione della concessione. Portata a termine la gara e aggiudicata la concessione, nella definizione delle diverse fasi di negoziazione che portano al Financial Close, ossia la conclusione degli accordi con i finanziatori che consente l'inizio delle attività previste per la realizzazione del progetto, l'operazione di PF vede l'ingresso di altri soggetti, quali gli investitori passivi e lenders. Ciò comporta generalmente l'attivazione di procedure di Due Diligence, finalizzate alla valutazione dell'affidabilità degli Studi di Traffico predisposti e alla formulazione del giudizio finale degli investitori, in termini di condizioni per partecipazione all'operazione in maniera commisurata ai rischi identificati. Le attività di Due Diligence, affidate anche in questo caso a consulenti indipendenti, possono alternativamente limitarsi alla valutazione dell'affidabilità degli Studi di Traffico redatti, evidenziando fattori d'incertezza e di rischio e chiedendo eventuali approfondimenti, ovvero provvedere alla predisposizione di stime autonome da parte dei soggetti intervenuti da utilizzarsi per la formulazione del giudizio sull'investimento.

Pur avendo richiamato l'attenzione sulle fasi procedurali che riguardano l'attribuzione di una nuova concessione su una nuova infrastruttura (green field), occorre rilevare che Studi di Traffico vengono redatti anche per supportare le attività di aggiornamento dei Piani Finanziari di concessioni già in essere su opere già esistenti (brown field), in virtù delle norme contrattuali e di legge che regolano i rapporti tra il concedente ed il concessionario durante il periodo di concessione o al termine dello stesso.

3.3 I modelli di simulazione dei flussi di traffico

Nell'ambito degli Studi di Traffico predisposti nelle varie fasi procedurali che vanno dallo Studio di Fattibilità di una nuova infrastruttura alle attività di aggiornamento dei Piani Finanziari nelle concessioni in essere, le stime della domanda potenziale e dei ricavi da esazione del pedaggio sull'intero arco di durata della concessione, vengono elaborate mediante l'utilizzo delle tecniche di modellazione e degli strumenti di simulazione propri dell'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e del Traffico.

Gli Studi di Traffico, infatti, affrontano il problema della stima di traffico e introiti sull'infrastruttura mediante procedure di analisi e modellazione della domanda e dell'offerta di trasporto che partono dall'individuazione di una porzione di territorio e di rete di trasporto significativa per l'analisi, dall'acquisizione delle informazioni esistenti sulle relazioni di mobilità che interessano gli stessi, dalla raccolta di nuove informazioni utili agli scopi di analisi, per giungere alla definizione della struttura modellistica adeguata a rappresentare lo stato di fatto della mobilità, come riferimento per le previsioni negli scenari futuri.

In termini sintetici, un modello di simulazione dei flussi di traffico è strutturabile nei tre modelli di domanda, di offerta e di interazione domanda/offerta o di assegnazione (Cascetta, 2009).

L'implementazione delle diverse fasi di definizione del modello di domanda e di offerta, e di scelta del modello di assegnazione vengono solitamente effettuate con l'impiego di specifici software commerciali (es. Cube, Transcad, PTV Visum, Saturn,

Emme, ecc.) che consentono di strutturare nelle sue diverse componenti un modello di traffico. Tali strumenti, solitamente operanti in ambienti GIS (Geographic Information System), consentono di predisporre ed elaborare matrici origine/destinazione e grafi caratterizzati di offerta, e di codificare modelli di interazione al fine di produrre, attraverso specifiche risorse di sviluppo, algoritmi di soluzione e procedure computazionali, output relativi sia allo stato di fatto che agli scenari di progetto.

3.4 Il modello di domanda

Il modello di domanda propone una rappresentazione sintetica della domanda di trasporto espressa dal territorio oggetto di analisi, adeguatamente suddiviso in porzioni omogenee sulla base di un insieme di caratteri ritenuti rilevanti per l'analisi. La domanda si esprime sotto forma di un insieme di matrici Origine/Destinazione D^c in cui ogni elemento d_{ij}^c rappresenta l'entità degli spostamenti di una specifica categoria/classe c di veicoli/utenti tra una data zona di origine i ed una data zona di destinazione j , appartenenti all'insieme delle zone nelle quali è suddiviso il territorio.

La definizione del modello di domanda, ossia delle matrici Origine/Destinazione D^c che lo rappresentano, richiede l'acquisizione ed elaborazione di notevoli quantità d'informazioni relative alla mobilità che caratterizza un determinato territorio. La disponibilità di banche dati aggiornate, attendibili ed esaustive rappresenta una questione sicuramente delicata per la messa a punto di un modello adeguatamente rappresentativo. Il punto di partenza per la predisposizione di una prima approssimazione del modello di domanda è costituito generalmente dai risultati di indagini estensive sulla mobilità territoriale, desunte ad esempio dalle rilevazioni censuarie della mobilità dei pendolari (Censimenti Istat) ovvero da specifiche rilevazioni promosse a livello locale (es. indagini sulla mobilità regionale o provinciale a supporto della redazione di strumenti di analisi e pianificazione territoriale).

Altro elemento essenziale per la predisposizione del modello di domanda è rappresentato sicuramente dalle matrici Origine/Destinazione rilevate dai gestori dei servizi di trasporto eventualmente disponibili; nel caso specifico del traffico stradale, ad esempio, le stesse sono solitamente rappresentate dalle matrici della mobilità tra i caselli o barriere della rete gestita dalle Società Concessionarie.

Le basi dati sopra citate rappresentano sicuramente un utile punto di partenza per la strutturazione del modello, al quale vanno necessariamente ad aggiungersi apposite campagne di indagine origine/destinazione ad hoc. Tali indagini, realizzate mediante somministrazione di questionari d'intervista secondo diverse modalità (interviste ai conducenti o utenti, interviste frontali o telefoniche ai residenti, ecc.), vengono effettuate su aree più ristrette e direttamente connesse all'opera oggetto di valutazione, consentendo di integrare le informazioni disponibili aumentandone il grado di definizione e di rappresentatività ad una scala di maggior dettaglio.

Negli ultimi anni le tecniche di analisi della domanda di mobilità si sono ulteriormente arricchite grazie alla capillare diffusione di dispositivi di localizzazione portatili. La diffusione di telefoni cellulari dotati di dispositivi di localizzazione, così come la disponibilità dei localizzatori GPS sui veicoli in movimento ha reso disponibili grandi quantità di dati, per questo detti Big Data, utili per le analisi dei comportamenti di mobilità. Floating Car Data e Floating Cellular Data (FCD), raccolti da diversi

soggetti (operatori telefonici, operatori di servizi assicurativi, gestori di servizi di trasporto), possono oggi essere utilizzati per integrare le tradizionali fonti dati nella predisposizione delle matrici OD che definiscono il modello di domanda di mobilità.

L'eventuale diversa caratterizzazione delle basi dati sopra evidenziate per riferimento temporale, copertura e dettaglio territoriale e segmentazione della domanda, rende in generale necessarie varie operazioni di filtraggio e incrocio con dati socio-economici e territoriali che, attraverso l'impiego dei modelli e delle tecniche della Statistica, dell'Econometria e dell'Economia dei Trasporti, consentono di provvedere all'omogeneizzazione del dato e alla definizione della prima approssimazione delle matrici OD che costituiscono il modello di domanda.

3.5 Il modello di offerta

Il modello di offerta è costituito dalla presentazione sintetica della rete di trasporto attraverso un grafo G , definito da un insieme N di elementi detti nodi e da un insieme L di coppie di nodi appartenenti a N , detti archi. Gli archi hanno la proprietà di essere orientati, ossia di possedere una direzione di percorrenza. Uno spostamento che avviene sulla rete di trasporto è rappresentato da una successione di archi del grafo che collegano il nodo i identificativo dell'origine al nodo j identificativo della destinazione dello spostamento. Gli elementi del sottoinsieme dei nodi i e j , che rappresenta tutte le origini e tutte le destinazioni degli spostamenti corrispondenti alle zone già richiamate, sono detti centroidi.

A ciascun arco a della rete di trasporto sono associati diversi attributi prestazionali ap_a , a rappresentazione di diverse grandezze percepite dagli utenti nel percorrere il medesimo arco, che generalmente dipendono dalle caratteristiche geometriche e funzionali dell'arco e, che nel loro insieme, compongono il costo di trasporto generalizzato sullo stesso. In tali termini, gli attributi prestazionali ap_a , relativi a ciascun arco sono esprimibili come funzioni delle caratteristiche fisiche e funzionali cff_a dello stesso rispetto ad una serie di parametri e coefficienti γ_a la cui combinazione lineare definisce la funzione di costo dell'arco. A ciascun arco è, inoltre, associato il relativo flusso equivalente f_a , ossia il numero di unità di traffico che lo percorrono nell'unità di tempo, composto dalla sovrapposizione dei flussi f_a^c , relativi a ciascuna delle categorie/classi di veicoli/utenti ed in considerazione, per ciascuna di esse, di un opportuno coefficiente di equivalenza cev^c . Il flusso equivalente f_a che percorre l'arco, o in generale i flussi f che percorrono gli archi del grafo, possono influenzare gli attributi prestazionali dello stesso arco con l'insorgere, all'aumentare del flusso, di fenomeni di congestione che condizionano la funzione di costo dell'arco.

Il costo generalizzato cg_a , esprimibile come $cg_a(f, cff_a, \gamma_a)$ di percorrenza dell'arco a esprime la disutilità percepita dagli utenti nello spostamento sul medesimo arco come sovrapposizione di diverse componenti di costo che, essendo in generale espresse in unità non omogenee (ad esempio tempo di viaggio espresso in ore, il costo monetario per pedaggio, i costi operativi dei veicoli espressi in termini monetari), necessitano di una adeguata omogeneizzazione. Il costo generalizzato di percorrenza di un arco è solitamente espresso in termini di tempo, previa traduzione in termini temporali delle componenti di costo monetarie.

L'omogeneizzazione dei costi avviene in considerazione di specifici coefficienti di reciproca sostituzione che possono essere inclusi nell'ambito dei parametri γ_a che

caratterizzano le funzioni di costo. In particolare l'omogeneizzazione dei costi monetari in termini temporali non può prescindere dalla quantificazione del valore di sostituzione rappresentato dal Valore Economico del Tempo per ciascuna categoria/classe di veicoli/utenti, in breve VET^c , ossia la traduzione in termini monetari del valore attribuito dalla medesima categoria/classe ad un'ora impiegata nel compimento di una determinata attività. Legato alle dinamiche dei sistemi di trasporto, il VET misura il valore economico, in termini monetari, di un'ora impiegata per compiere uno spostamento e nello specifico rappresenta la disponibilità a pagare associata al risparmio di un'ora di tempo. Il valore del tempo è, per sua definizione, legato alle caratteristiche socio-economiche dell'area, al tipo di spostamento e all'utente che lo compie, e pertanto la relativa stima deve basarsi sull'analisi delle specificità economico-produttive dell'area e sull'utenza che percorre la rete di trasporto.

Per quanto detto, il modello di offerta è costituito dal grafo orientato G e dalle funzioni di costo sugli archi cg_a , espressi come combinazione lineare degli attributi di prestazione degli archi ap_a a loro volta funzioni delle caratteristiche fisiche e funzionali cff_a degli archi, di una serie di parametri e coefficienti di omogeneizzazione e sostituzione γ_a e dei flussi f , e può essere sintetizzato con l'insieme

$$R = \{G, (cg_a)_{a \in G}\}$$

La definizione del modello di offerta coinvolge l'acquisizione di notevoli quantità di informazioni relative alle reti infrastrutturali a servizio della mobilità che caratterizzano un determinato territorio. In tempi recenti la disponibilità d'informazioni sulla caratterizzazione delle reti a servizio della mobilità si è arricchita a dismisura, per effetto della capillare diffusione dei dispositivi di navigazione e localizzazione satellitare, che ha comportato una domanda crescente di dati territoriali. L'impiego di ingenti risorse nell'acquisizione di dati geografici e territoriali si è tradotto in una sempre più ampia disponibilità, copertura e qualità degli stessi.

Nel campo della modellazione del traffico in pochi anni si è passati, quindi, dalle onerose procedure digitalizzazione di cartografie di piccole porzioni di territorio, alla disponibilità immediata e a basso costo, se non addirittura open source (come nel caso dei dati Open Street Map) di estese basi dati geografiche. Attraverso l'analisi e l'elaborazione di tali basi dati in ambiente GIS possono essere rapidamente estratte informazioni dettagliate e aggiornate relativamente alla localizzazione, alla geometria ed alle caratteristiche geometriche e funzionali degli elementi delle reti a servizio della mobilità.

Anche nel caso del grafo di offerta alle basi dati sopra richiamate vengono affiancati rilievi ad hoc su aree più ristrette e direttamente connesse all'opera oggetto di valutazione. Queste informazioni aggiuntive consentono di integrare le informazioni già disponibili e di aumentarne il grado di definizione e di rappresentatività ad una scala di maggior dettaglio (es. geometria della sede stradale, segnaletica, gestione delle intersezioni, caratteristiche prestazionali e di deflusso, tariffe di pedaggio, velocità e tempi medi di percorrenza, transiti veicolari).

Come detto, la definizione delle funzioni di costo comporta la quantificazione di alcuni attributi prestazionali (es. Velocità di Flusso Libero, Curve di Deflusso, ecc) o di coefficienti di equivalenza ed omogeneizzazione, quali ad esempio il coefficiente di equivalenza veicolare per mezzi pesanti (CEV). Questi valori, o insiemi di valori, sono definiti mediante l'impiego di opportuni modelli derivati dalla Teoria dei Flussi di

Traffico ed opportunamente calibrati sulla base dei rilievi di flusso, velocità e tempo di percorrenza effettuati su specifici archi. Per quanto riguarda il valore economico del tempo (VET), necessario all'omogeneizzazione dei costi monetari in termini temporali, vengono impiegati opportuni modelli di tipo econometrico, eventualmente integrati da indagini effettuate con tecniche ad hoc (es. Indagini Stated Preferences).

3.6 Il modello di assegnazione

Il modello di assegnazione distribuisce la domanda sugli archi della rete in relazione al costo generalizzato associato alla percorrenza di ciascun arco, combinando le informazioni rappresentate dal modello di domanda e dal modello di offerta. Il modello di assegnazione, elemento centrale nella definizione di un modello di traffico, si caratterizza in funzione del tipo di approccio utilizzato per lo studio dell'interazione tra domanda ed offerta e per le ipotesi relative al comportamento di scelta dei percorsi da parte degli utenti. Le tipologie di modelli di assegnazione identificabili nella teoria dei sistemi di trasporto è estremamente variegata, per via dei diversi approcci e delle molteplici ipotesi che possono essere formulate in relazione alla modellazione dell'interazione tra la domanda e l'offerta. Pur nella vasta e complessa classificazione di modelli di assegnazione (Cascetta, 2009), i modelli di traffico generalmente utilizzati nelle valutazioni della domanda potenziale all'interno degli studi di traffico in oggetto sono tali da considerare un approccio di equilibrio tra la domanda di traffico e le condizioni/prestazioni di funzionamento della rete (equilibrio dell'utente), nell'ipotesi di dipendenza delle stesse prestazioni dal flusso di utenti (reti congestionate). Come già evidenziato a proposito del modello di domanda, anche per i modelli di assegnazione vengono utilizzati solitamente modelli in grado di trattare opportunamente la segmentazione della domanda e dell'offerta di trasporto rispetto alle c categorie/classi di utenti o veicoli (multi classe).

Generalmente si ricorre all'impiego di modelli di assegnazione a domanda costante, ossia caratterizzati da un'indipendenza del modello di domanda dal modello di offerta (domanda rigida). Tale assunzione è utilizzata sia nel caso di modelli mono modalali, che negli studi in oggetto possono riguardare il solo traffico privato sulla rete stradale ed autostradale, sia nel caso di modelli multi-modalali, che possono considerare la presenza di molteplici modalità di trasporto; in quest'ultimo caso la domanda è assunta costante sul totale delle alternative modalali, mentre risulta variabile rispetto a ciascuna di esse in relazione alle condizioni/prestazioni dei diversi sistemi di trasporto modellati (trasporto privato, trasporto pubblico stradale, trasporto pubblico ferroviario, ecc).

Un aspetto importante nella definizione del modello di assegnazione riguarda la modellazione dei comportamenti di scelta, sia in relazione al momento in cui la scelta viene effettuata (preventivamente all'inizio del viaggio, o adattivamente con variazioni di scelta durante il viaggio) sia all'esistenza o meno di componenti aleatorie nella formulazione della stessa scelta. In generale negli Studi di Traffico per la valutazione della domanda potenziale su un'infrastruttura a pedaggio vengono impiegati modelli di scelta preventiva, che a seconda dei casi possono essere di natura stocastica, ossia tali da considerare componenti aleatorie nella formulazione delle stesse scelte, sia di natura deterministica, in cui le componenti aleatorie vengono trascurate.

Occorre precisare che il comportamento di scelta cui si fa riferimento è quello che induce l'uso di un certo percorso da parte del singolo utente tra i diversi percorsi esistenti tra le zone i e j , tra le quali l'utente deve spostarsi. La scelta deriva dalla valutazione della disutilità riscontrata dall'utente sui diversi percorsi, e quindi dall'individuazione del percorso con il minimo costo generalizzato percepito dall'utente in esame per spostarsi tra i e j . Nei modelli stocastici la disutilità, e quindi il costo generalizzato, è una variabile aleatoria caratterizzata da una propria distribuzione di probabilità: ciò fa sì che non tutti gli utenti nella medesima situazione percepiscano il medesimo costo generalizzato e pertanto che la scelta che ne deriva sia aleatoria, ad esempio in dipendenza dall'aleatorietà delle funzioni di costo degli archi cg_a . Ciò non accade nei modelli non aleatori, per i quali l'assunzione deterministica comporta la formulazione della medesima scelta, ossia la percezione del medesimo costo di spostamento, per tutti gli utenti che si trovino in una data situazione.

Formulate le diverse ipotesi ip_i che riguardano gli aspetti sopra richiamati e che identificano, in accordo con la definizione del modello di domanda e di offerta, la tipologia di modello di assegnazione prescelto, lo stesso modello I risulta, pertanto, definito in funzione di dette ipotesi, ossia $I = I(\{ip_i\})$.

Occorre rilevare che, ai fini della definizione del modello di traffico e della valutazione dei risultati prodotti dal modello di assegnazione nell'interazione tra il modello di domanda ed il modello di offerta, è necessario individuare un intervallo temporale di riferimento per le analisi. Solitamente si assume un intervallo di riferimento orario (es. l'ora di punta) di un giorno tipo (es. giorno medio feriale o annuale), rispetto al quale viene definito il modello di domanda, ossia la matrice origine destinazione degli spostamenti che avvengono tra le zone del modello nel dato intervallo e alcuni degli attributi prestazionali del modello di offerta, e in corrispondenza del quale si ottengono gli output del modello di assegnazione.

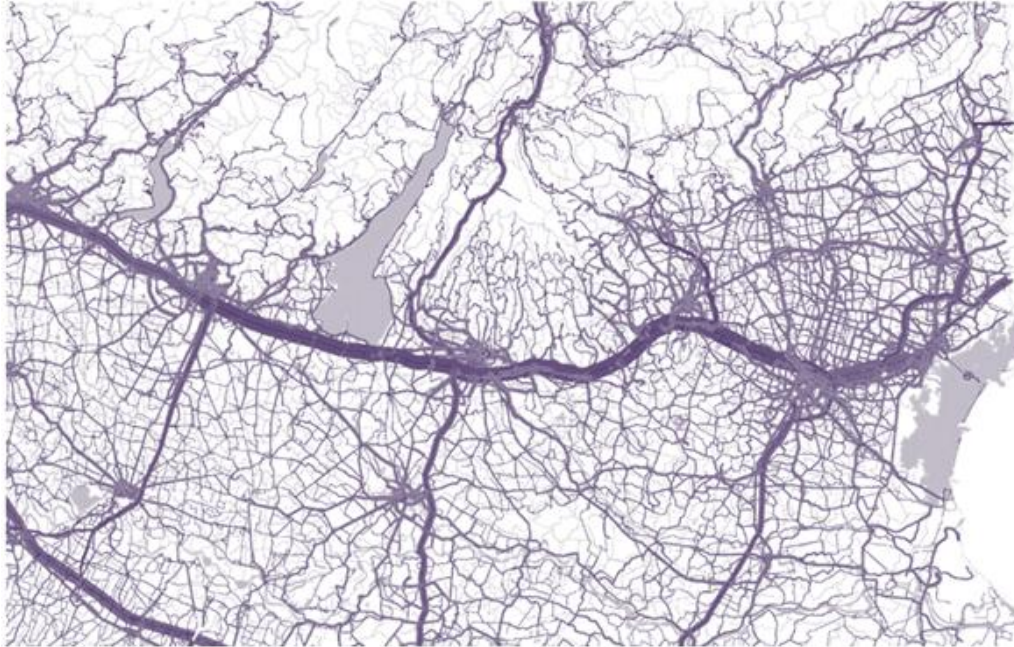
3.7 La modellazione dello stato di fatto

Il processo di costruzione del modello di traffico prevede la definizione dello stato attuale del sistema di trasporto, ossia dello stato di fatto all'orizzonte temporale t_0 assunto come riferimento per le stime di domanda potenziale in questione. Il modello di assegnazione $I(t_0)$, infatti, consente di ottenere a partire dal modello di domanda $D(t_0)$ e dal modello di offerta $R(t_0)$ una stima delle grandezze significative per la rappresentazione dello stato di fatto del sistema di trasporto (flussi, costi generalizzati, livelli di congestione, impatti, ecc.).

Nella fase di predisposizione dello stato di fatto, il modello di assegnazione viene usato per la stima del modello di domanda e per la calibrazione del modello di offerta. Dal punto di vista della domanda, tale procedimento consente di produrre un aggiornamento di ciascuna delle matrici $D(t_0)^c$ in coerenza con i flussi di traffico riscontrati su alcuni punti della rete modellata attraverso conteggi di flusso, ossia consente di ottenere un modello di domanda aggiornato rispetto a quello di partenza e capace di rappresentare al meglio le condizioni effettive del sistema. Dal punto di vista dell'offerta, il procedimento consente di calibrare grandezze e parametri che

caratterizzano la rete $R(t_0)$, consentendo anche in questo caso di ottenere un modello aggiornato e rappresentativo del sistema.

Figura 1: Modello di assegnazione - output con grafo stradale assegnato



La stima del modello di domanda e la calibrazione del modello di offerta vengono effettuate in considerazione di dati rilevati, che possono riguardare ad esempio flussi, velocità e tempi di percorrenza su specifici archi e itinerari, in corrispondenza di un determinato intervallo di rilevazione. Tali informazioni sono ottenute da specifiche campagne di misurazione, predisposte per le finalità degli Studi di Traffico.

Il livello di calibrazione del modello viene testato statisticamente mediante opportuni indici, quali ad esempio R^2 , GEH, NRMSE⁶, confrontando le grandezze rilevate con le analoghe ottenute dal modello di assegnazione. Un adeguato valore assunto da tali indici rispetto ai valori di soglia (es. $R^2 > 0,85$, $GEH < 5$, $NRMSE < 20\%$, ecc.) evidenzia un buon grado di calibrazione dello scenario di riferimento.

3.8 La modellazione dello scenario di progetto

Dalla definizione dello stato di fatto calibrato, si passa alla modellazione dello scenario di progetto, che prevede l'inserimento dell'infrastruttura oggetto di valutazione nel modello rappresentativo dell'offerta di trasporto.

Solitamente lo stato di fatto e lo scenario progettuale sono collocati su orizzonti temporali disallineati, ossia l'entrata in esercizio dell'infrastruttura è posticipata di n

⁶ L' R^2 , o coefficiente di determinazione, rappresenta una proporzione tra la variabilità dei dati rilevati e la correttezza del modello utilizzato, ossia dei risultati da esso prodotti ($R^2 = ESS/TSS$, con ESS devianza spiegata dal modello, ossia dai suoi risultati, e TSS è la devianza totale, ossia dei valori osservati). Il GEH (Geoffrey E. Havers, 1970) è un test basato sulla formula empirica $GEH = [2*(M - C)^2/(M + C)]^{1/2}$, con M valore ottenuto dal modello e C valore osservato. L'NRMSE, o Normalized Root-Mean-Square Error, è uguale al rapporto tra la radice quadrata dell'errore quadratico medio, RMSD, e il range di variabilità della variabilità oggetto di previsione, ossia la differenza tra il valore massimo e il valore minimo; è espresso in percentuale con valori bassi ad indicare variabilità residue basse.

anni rispetto allo scenario attuale, che come detto definisce il t_0 delle valutazioni. Tale sfalsamento comporta necessarie valutazioni sulle dinamiche evolutive, tanto della domanda di mobilità quanto dell'offerta di trasporto, tra l'istante t_0 , l'istante t_n in cui l'opera entrerà nella fase di esercizio e ognuno degli anni successivi fino al termine della concessione.

Le dinamiche evolutive della domanda di mobilità che interessa il territorio oggetto di studio sono affrontate con l'applicazione di modelli econometrici che legano la domanda di trasporto alle variabili macroeconomiche e demografiche, anche tenendo conto delle politiche di sviluppo territoriale previste sull'area d'interesse o comunque con effetti sulla stessa. In generale, definito il modello di domanda $D(t_0)^c$ all'istante t_0 e rappresentato da un insieme di matrici c Origine/Destinazione relative alle diverse classi di veicoli/utenti, viene identificato e calibrato nei parametri β_1, \dots, β_m un modello che lega l'andamento della domanda di mobilità ad un set di m variabili esplicative B_1, \dots, B_m . Il risultato ottenuto può essere rappresentato da un insieme di matrici $E(t_n)^c$ i cui elementi $e(t_n)_{ij}^c$ rappresentano il fattore di incremento della mobilità tra l'anno t_0 e l'anno t_n tra la zona i e la zona j per la data classe veicolare/di utenza c .

Sulla base di tali elementi, stante il modello di domanda per lo stato di fatto $D(t_0)$, le previsioni evolutive formulabili per le variabili esplicative, e il set di matrici dei coefficienti $E(t_n)$, all'anno t_n il modello di domanda è rappresentato dall'insieme delle matrici $D(t_0)^c$ i cui elementi, per ogni i, j appartenenti all'insieme delle zone e per ogni c appartenente all'insieme delle classe di veicoli/utenti, sono definiti da

$$d(t_n)_{ij}^c = e(t_n)_{ij}^c * d(t_0)_{ij}^c.$$

Le medesime considerazioni possono essere fatte per tutti gli anni di esercizio dell'infrastruttura, fino al termine della concessione.

L'evoluzione del sistema di offerta di mobilità a partire dall'istante t_0 ed il conseguente assetto previsto nel periodo a partire dall'anno t_n fino al termine della concessione vengono valutati sulla base di una attenta disamina delle politiche, dei piani, dei programmi e dei progetti messi in atto da vari soggetti ed aventi effetto sul territorio in esame. L'esame degli strumenti di pianificazione programmazione predisposti dai diversi soggetti pubblici e privati operanti sul territorio consente di identificare la natura degli interventi in grado di modificare negli anni futuri rispetto a t_0 l'assetto del sistema di offerta, e di identificare sulla base del relativo livello di definizione o di attuazione l'effettivo istante in cui ciascuno di essi interverrà in modifica dell'assetto dello stesso sistema. Sulla base di tali elementi, per ciascuno degli anni a partire dall'istante t_n fino al termine della concessione vengono predisposti scenari evolutivi per il sistema di offerta, tenendo conto delle modifiche che interverranno sullo stesso e della modellazione delle stesse in aggiornamento al modello rappresentativo dello stato di fatto. In particolare, nello scenario di progetto si provvede alla modellazione dell'infrastruttura oggetto di analisi, adeguandone gli archi ed i relativi attributi e funzioni di costo se si tratta di valutazioni su una infrastruttura autostradale brown field, ovvero inserendo nuovi archi caratterizzati dai relativi attributi e funzioni di costo nel caso di una infrastruttura green field.

In ogni caso, trattandosi di autostrada con transiti soggetti a tariffazione, il modello deve tenere conto del sistema tariffario previsto sull'infrastruttura attraverso un'opportuna caratterizzazione delle funzioni di costo. Mediante opportune soluzioni di

modellazione del grafo e delle funzioni di costo, secondo il sistema di tariffazione previsto (tariffazione chilometrica o forfetaria, con sistemi tradizionali o innovativi di tipo free flow), il modello consente a ciascuna classe c di veicoli/utenti di percepire la relativa imposizione tariffaria sugli archi dell'infrastruttura all'interno del costo generalizzato di percorrenza.

Stante il modello di offerta per lo stato di fatto $R(t_0)$, all'anno t_n il modello di offerta è dato da

$$R(t_n) = \{G(t_n), (cg(t_n)_a)_{a \in G(t_n)}\}$$

dove $G(t_n)$ rappresenta il grafo aggiornato all'anno t_n e $cg(t_n)_a$ rappresenta, per ciascun arco del grafo aggiornato, il relativo costo generalizzato, il tutto riferito all'anno t_n . Le medesime considerazioni possono essere fatte per tutti gli anni di esercizio dell'infrastruttura, fino al termine della concessione.

Anche in questo caso è il modello di assegnazione che simula l'interazione tra il modello di domanda $D(t)$ e modello di offerta $R(t)$. Nel caso del modello di assegnazione, tuttavia, la diversa collocazione temporale degli scenari futuri non produce una variazione delle ipotesi ip_i che identificano il modello di assegnazione $I(t)$. Tali ipotesi, infatti, devono essere assunte come costanti, poiché definiscono l'approccio stesso alla modellazione legato alle sole necessità delle analisi a prescindere dal fattore tempo.

Come già richiamato più volte, le valutazioni riguardanti il sistema di domanda e di offerta devono avere come riferimento temporale l'intera durata della concessione a partire dall'anno di entrata in esercizio, generalmente è posticipato di n anni rispetto al riferimento t_0 rappresentato dallo scenario attuale. Tale necessità, in via teorica, imporrebbe la predisposizione di uno scenario di progetto, caratterizzato da un proprio assetto evolutivo della domanda e dell'offerta, per ciascuno degli anni di esercizio dell'infrastruttura.

Operando in tal modo la procedura di valutazione sarebbe notevolmente appesantita, dal momento che la durata degli intervalli concessori può abbracciare diversi decenni. Al fine di contenere il numero di scenari di valutazione, in generale l'analisi modellistica è indirizzata verso un numero ristretto di scenari futuri di progetto, collocati ad esempio a intervalli regolari di 5-10 anni, ovvero in corrispondenza di orizzonti temporali singolari per l'evoluzione della domanda e dell'offerta. Per quanto riguarda gli anni intermedi, le valutazioni si ottengono utilizzando tecniche interpolative che consentono di coprire l'intera durata dell'arco concessorio.

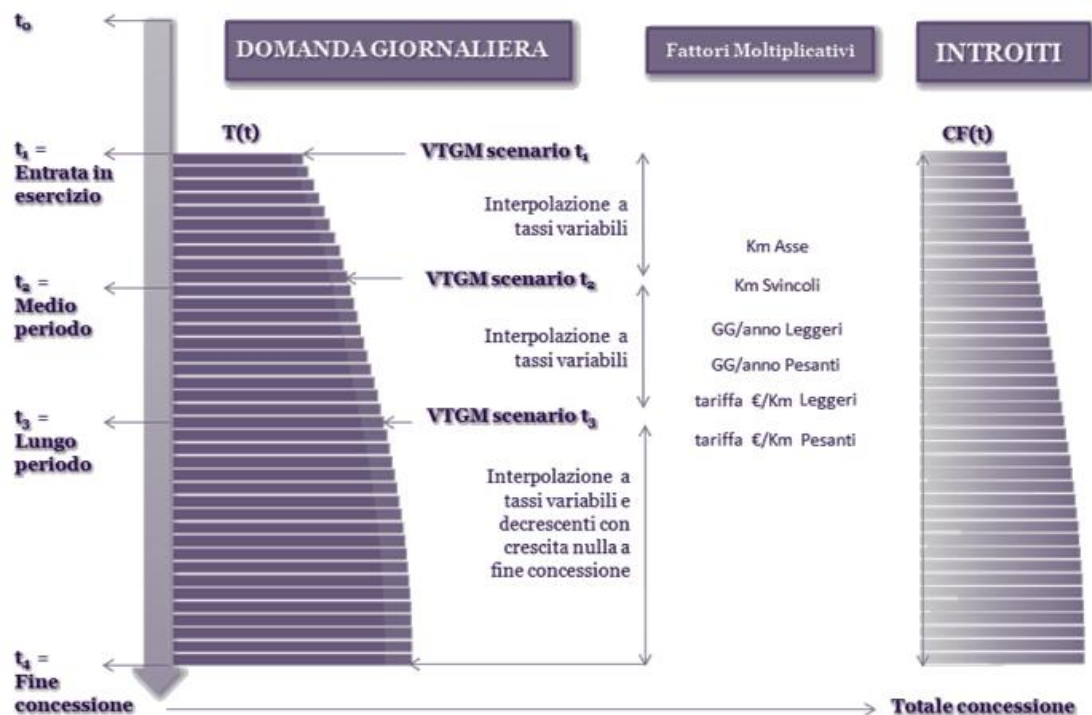
3.9 La quantificazione della domanda e degli introiti potenziali

Dall'istante t_n e per ciascuno degli anni in corrispondenza dei quali si sono definiti gli scenari futuri di simulazione, il modello di assegnazione consente di stimare i flussi sugli archi del grafo rappresentativo dell'assetto ipotizzato per il sistema di offerta $R(t)$ in dipendenza dall'ipotizzata evoluzione della domanda di mobilità $D(t)$.

Per la stima della domanda potenziale sull'infrastruttura oggetto di analisi, assumono rilevanza i valori dei flussi su ciascuno degli archi che modellano tale infrastruttura, e

che si ottengono mediante il modello di interazione domanda/offerta. Gli introiti da traffico sono calcolati in considerazione del sistema di pedaggiamento previsto, con tariffa rispettivamente chilometrica o forfetaria, per le diverse classi veicolari di esazione. Nel caso di tariffazione chilometrica, per ciascuna delle classi veicolari di esazione vengono valutate le percorrenze complessive in termini di *veicoli*km*, calcolate a partire dalla domanda potenziale $T(t)$ stimata sull'insieme delle tratte poste a pedaggio e della relativa estesa chilometrica, e quindi si ricavano i flussi di cassa in considerazione della tariffa di esazione imposta dalla concessionaria. Nel caso di tariffazione forfetaria, per ciascuna delle classi veicolari si valuta la domanda potenziale $T(t)$, ossia i transiti nei punti di esazione del pedaggio, e da essa si ricavano i flussi di cassa in considerazione delle tariffe di esazione imposte.

Figura 2: Domanda e introiti previsti



Per ciascuno degli orizzonti simulati la stima dei flussi di cassa annuali $CF(t)$ attesi dipende, quindi, dalla domanda potenziale $T(t)$ sull'infrastruttura, intesa come ammontare dei flussi di traffico distribuiti dal modello di assegnazione sugli archi nell'intervallo di simulazione (es. ora di punta del giorno medio feriale). A sua volta la domanda potenziale $T(t)$ è legata alla modellazione della domanda e dell'offerta all'orizzonte t , rispettivamente $D(t)$ ed $R(t)$, ed ai valori attribuiti a k fattori.

Si ottiene pertanto che:

$$CF(t) = f(T(t)) = g(D(t), R(t), A_1, \dots, A_k)$$

dove i k fattori A_1, \dots, A_k rappresentano gli opportuni fattori di espansione ed annualizzazione per giungere dal valore nell'intervallo di simulazione (es. l'ora di punta del giorno medio feriale) al valore totale annuale.

Come già detto, per gli orizzonti non simulati all'interno dell'intervallo di concessione la domanda di traffico $T(t)$ ed i relativi flussi di cassa $CF(t)$ possono essere ricavati usando opportune tecniche di interpolazione, consentendo in definitiva di disporre della stima dell'andamento degli introiti da pedaggio, ossia della successione $\{CF(t_y)\}$, con y che va dall'anno di entrata in esercizio dell'autostrada fino al termine della concessione.

L'andamento del CF annuale per introiti da pedaggio rappresenta, infatti, un elemento fondamentale per l'analisi della sostenibilità finanziaria dell'investimento e per la definizione degli elementi sostanziali dell'iniziativa di PF da parte di tutti i soggetti interessati, entrando a far parte del prospetto generale dei flussi che compone il Piano Economico Finanziario.

4. La quantificazione del rischio traffico ed introiti

4.2 Risk Management

Un'operazione di PF si configura come un sistema complesso di relazioni politiche, sociali, finanziarie, legali, contrattuali e tecniche tra soggetti pubblici e privati per progettare, realizzare e gestire un'opera infrastrutturale, che per loro natura presenta una rischiosità intrinseca legata alla volatilità dei risultati futuri. Le stime dei flussi di cassa relativi ai costi di costruzione e gestione ed agli introiti da pedaggio rappresentano sicuramente una di queste fonti di incertezza, traducendosi in componenti di rischio non trascurabili, che mal si coniugano con gli obiettivi di convenienza e redditività.

Se da un lato la certezza non è sicuramente un obiettivo completamente raggiungibile, l'adeguata analisi del livello d'incertezza è sicuramente un elemento indispensabile per una corretta identificazione, valutazione e gestione del rischio connesso all'operazione, consentendo da un lato ridurre l'aleatorietà dei flussi input/output derivati dalla realizzazione e gestione del progetto e dall'altro di stabilire per le parti in causa l'accettabilità del livello di rischio residuo. In altre parole, sulla base di un'adeguata procedura di Risk Management, gli investitori possono valutare l'entità del rischio e le possibilità di provvedere ad una sua mitigazione; nel caso in cui tale livello sia considerato accettabile, gli stessi provvederanno a finalizzare l'operazione, in quanto ritenuta potenzialmente conveniente ad un livello di rischio accettabile. Una solida procedura di PF deve prevedere, quindi, un adeguato processo di Risk Management che consenta l'identificazione, l'analisi/valutazione, l'allocazione e la mitigazione dei rischi nelle fasi di *Risk Identification - Risk Assessment - Risk Allocation - Risk Mitigation* (PPIAF, 2009).

La fase di *Risk Identification* consente di individuare tutti gli elementi che possono essere considerati come fonti di aleatorietà, e quindi come fattori di volatilità dei risultati futuri esaminati all'interno di un dato orizzonte temporale, sulla base di una attenta analisi delle specificità del progetto infrastrutturale analizzandone le diverse fasi del ciclo di vita (rischi generali, connessi con fattori di rischio che permangono in tutte le fasi del progetto; rischi pre – completion, connessi al periodo di realizzazione del progetto; rischi post- completion, connessi alla gestione economica dell'opera).

L'identificazione dei rischi consente di individuare anche i termini rispetto ai quali essi intervengono nei confronti dell'opera, distinguendo (PPIAF, 2009):

- i rischi di fondo, che possono essere a loro volta causati o comunque collegati a decisioni prese da enti pubblici, ovvero generati da fattori non direttamente controllati o controllabili dagli stessi (rischi politici, legislativi, regolatori, monetari, macroeconomici o legati a cause di forza maggiore);
- i rischi sui costi dell'opera, associati non solo alla fase realizzativa dell'opera ma anche alla fase di gestione operativa e di manutenzione,
- i rischi commerciali, riguardanti gli introiti direttamente o indirettamente generati dall'opera in dipendenza dalla sua gestione commerciale.

Alla fase di identificazione dei rischi segue la fase di *Risk Assessment* per l'analisi e valutazione dell'entità e dell'effetto di tali fattori di rischio sul valore del progetto. La quantificazione dei rischi rispetto ai diversi fattori che possono generare la volatilità del risultato, infatti, è un elemento essenziale sia per provvedere alla loro mitigazione ed ottimale allocazione, sia per determinare la scelta dei soggetti investitori nel finanziare o meno il progetto, stante il grado di rischiosità dello stesso e la propria soglia di accettabilità. In termini di effetti prodotti, il concetto di rischio combina la probabilità del verificarsi di un evento con l'impatto che questo evento potrebbe avere, ossia:

$$RK = p * I$$

dove:

RK = Effetti di rischio

p = Probabilità di occorrenza dell'evento di rischio

I = Impatto generato dall'evento di rischio

La promozione e l'avvio di un'iniziativa PPP comportano necessariamente una ripartizione dei rischi connessi con la stessa tra i diversi soggetti coinvolti, *Risk Allocation*, una volta che gli stessi rischi siano stati identificati e quantificati. I rischi vengono, infatti, ripartiti non solo tra il soggetto pubblico e il privato, ma anche tra i diversi partner privati attraverso la definizione di un quadro contrattuale. Occorre tenere presente che la mal posta allocazione dei rischi tra soggetto pubblico e soggetti privati, e reciprocamente tra gli stessi partner privati, può determinare l'insuccesso dell'intera iniziativa, con la fuoriuscita di soggetti per i quali il rischio allocato si presenta come non sostenibile/non accettabile, o con il palesarsi di una situazione di insostenibilità generale dell'operazione, legata ad un eccesso di redditività attesa a fronte di rischi allocati troppo elevati. Prima dell'avvio concreto del progetto, è necessario che tutti i rischi identificati siano adeguatamente valutati, con un grado di approfondimento crescente col progredire delle fasi attuative. Da questo punto di vista, quindi, se una valutazione qualitativa degli effetti di rischio (mediante matrici di rischio o checklist) può essere ritenuta sufficiente in un momento iniziale, le fasi più avanzate dell'iter di impongono approcci più strutturati e basati su tecniche quantitative, differenziate rispetto al tipo di rischio preso in esame (PPIAF, 2009).

4.3 Il rischio di domanda

Il rischio di domanda è il rischio che la domanda effettiva cui sono legati gli introiti generati si attesti, durante la gestione, su livelli difforni rispetto a quelli previsti in fase di progettazione dell'opera e di avvio della procedura di PF. Il rischio di domanda, detto

anche rischio di mercato, appartiene alla categoria dei rischi commerciali, sicuramente tra i più significativi dal punto di vista dei soggetti privati, ed è connaturato a tutte le categorie di investimenti, con particolare riguardo a quei progetti che basano le proiezioni dei ricavi su stime.

Occorre precisare che se in prima analisi il concetto di rischio di domanda si associa più naturalmente ad una sua sovrastima, in realtà anche effetti di sottostima sono da considerare altrettanto rischiosi. Se da un lato, infatti, la sovrastima, può generare errate aspettative nei confronti della convenienza prefigurando livelli di redditività troppo elevati rispetto a quelli effettivamente conseguibili, dall'altro una sottostima può rivelarsi ugualmente dannosa per il successo dell'iniziativa, con la possibilità di arrivare a prefigurare erroneamente la non convenienza economica o l'insostenibilità finanziaria dell'investimento.

Nei progetti autostradali il rischio di domanda identifica il cosiddetto rischio traffico, ossia il rischio che durante la fase operativa di esercizio dell'infrastruttura il traffico si attesti su valori differenti rispetto a quelli stimati, generando maggiori o minori introiti e compromettendo l'adeguatezza del profilo dei flussi di cassa previsionali nel valutare la profittabilità e la sostenibilità dell'operazione. In tali termini, si parla più propriamente di rischio traffico/introiti in quanto è la combinazione domanda-livello tariffario che definisce il montante annuale degli introiti. Occorre sottolineare come il rischio di domanda non si esaurisca solo in termini di rischiosità commerciale in relazione agli introiti direttamente o indirettamente generati dall'opera, ma abbia risvolti anche sui costi dell'opera in relazione al suo dimensionamento, e presenti elementi di rischiosità di fondo connessi con fattori non controllabili e difficilmente prevedibili.

Occorre rilevare, inoltre, che i soggetti coinvolti in un'iniziativa di PF sono molteplici ed estremamente variegati possono essere i loro livelli di propensione al rischio e di fiducia nel realizzarsi o meno di alcuni scenari previsionali. Da questo punto di vista, infatti, ricerche e studi internazionali (Bain, 2009) mettono in guardia da una tendenza alla sovrastima della domanda da parte dei soggetti promotori (si tratta del cosiddetto *optimism bias*, che spesso può essere legato anche a decisioni strategiche in merito all'investimento), rispetto a stime maggiormente conservative da parte di soggetti pubblici e investitori istituzionali che intervengono con i loro capitali. La definizione del livello di rischiosità, quindi, completa la caratterizzazione della domanda di traffico futura e con essa quella dei flussi di cassa previsionali, consentendo di valutare gli stessi anche in funzione dell'incertezza rispetto agli assetti che potranno caratterizzare gli scenari futuri.

Nella redazione degli Studi di Traffico emerge, pertanto, la necessità di provvedere ad una attenta analisi della domanda potenziale ed insieme di valutarne il livello di rischiosità, individuando le variabili più significative e valutando l'effetto di quelle più sensibili in quanto affette da un maggior grado di incertezza (CIPE, 2007).

Tra le valutazioni preliminari di rischiosità della domanda e degli introiti rientra l'introduzione del cosiddetto *ramp-up* nei primi anni di valutazione, e quindi di entrata in esercizio dell'infrastruttura, che dal punto di vista finanziario hanno un ruolo cruciale nella valutazione di convenienza e sostenibilità (Keiger & al., 2006). Alla domanda ed agli introiti stimati in corrispondenza dei primi anni (solitamente da 2 a 5), vengono operate delle riduzioni di traffico per tenere conto delle differenze tra domanda prevista

e domanda effettiva legate, ad esempio, a fenomeni di apprendimento progressivo e graduale dell'utenza nell'utilizzo della nuova infrastruttura e dei relativi benefici, o di riluttanza al pagamento della tariffa imposta per il transito. I profili di ramp-up possono assumere varie forme, con riduzioni al primo anno che possono andare dal 10% al 50% e che progressivamente si riducono a zero di prassi entro i primi 5 anni di esercizio.

4.4 Le Analisi di Sensitività su scenari alternativi

I risultati forniti, come sopra definito, da un modello tradizionale di stima della domanda di traffico $T(t)$ e dei relativi flussi di cassa $CF(t)$ derivanti dall'esazione dei pedaggi in corrispondenza di un determinato livello tariffario, pur eventualmente considerando un effetto di ramp-up nei primi anni di esercizio, non consentono una quantificazione effettiva del livello di rischio. E' evidente, come, senza altri approfondimenti e valutazioni, domanda di traffico e introiti siano trattate essenzialmente come variabili deterministiche in output dalle analisi simulate, rispetto ad un determinato scenario di riferimento.

Al fine di esplorare al meglio la consistenza e l'affidabilità di tali output, nell'ambito degli Studi di Traffico per la stima della domanda potenziale e degli introiti da pedaggio è diffuso l'approccio di considerare un certo numero di scenari alternativi in corrispondenza di assunzioni diverse per quanto riguarda le ipotesi alla base del modello di traffico (Keiger & al., 2006) (Lemp & al. 2009). Assumendo come riferimento lo scenario base, gli scenari alternativi possono considerare ipotesi diverse rispetto alla crescita della domanda di mobilità (modello di domanda) o all'evoluzione della rete di trasporto (modello di offerta), o a ulteriori parametri che definiscono lo scenario e il relativo modello di simulazione (VET, coefficienti di annualizzazione, tariffe, ecc.).

L'esplorazione e l'analisi comparata degli scenari alternativi consente di predisporre utili analisi di sensitività o stress test (Lemp & al. 2009) che producono, in output, un insieme di successioni della stima dell'andamento degli introiti da pedaggio $\{CF(t_y)\}$, mediante le quali è possibile valutare gli effetti determinati dal realizzarsi di specifiche variazioni rispetto allo scenario base futuro. La quantificazione della domanda e degli introiti del singolo scenario alternativo, pertanto, consente di valutare gli effetti connessi con il verificarsi delle ipotesi che lo definiscono, nei confronti dello scenario base o di un altro tra gli scenari alternativi.

Tra le analisi di sensitività che generalmente vengono prodotte per testare gli scenari alternativi, grande importanza rivestono le analisi di sensitività della domanda e degli introiti alla tariffa di pedaggio. Se da un lato la disponibilità a pagare degli utenti, in relazione alla tariffa di pedaggio prevista ed al livello di servizio assicurato dall'infrastruttura, può essere valutata mediante adeguati strumenti di indagine (es. Indagini Stated Preferences) l'effetto sulla domanda e sugli introiti potenziali deve essere valutato predisponendo vari scenari simulativi. Questi scenari consentono di simulare l'andamento della domanda e degli introiti al variare della tariffa e di stimare il livello tariffario ottimo per la redditività del progetto, ossia quello che consente di massimizzare gli introiti. L'esistenza di una dipendenza tra domanda potenziale e tariffa di pedaggio, e tra introiti e domanda potenziale si traduce, infatti, in una dipendenza degli introiti dal quadrato della tariffa di pedaggio. L'analisi di scenari di variazione della tariffa e delle conseguenti variazioni della domanda e degli introiti consente di

stimare la funzione di elasticità degli stessi rispetto alla tariffa e di individuarne il livello ottimo che consente di ottenere il massimo della redditività.

Altre analisi di sensitività possono essere predisposte per valutare gli effetti di variazioni della disponibilità a pagare dell'utenza (Keiger & al., 2006). Riguardo a quest'ultimo aspetto, ad esempio, una non corretta valutazione e modellazione VET, e quindi della disponibilità a pagare dell'utenza, si traduce in una sovrastima/sottostima dei flussi di traffico previsti in corrispondenza di un dato livello tariffario imposto per il pedaggio, e di conseguenza in uno scostamento tra flussi di cassa stimati (ex ante in previsione) ed effettivi (ex post in esercizio), che non consente un'adeguata valutazione economico-finanziaria dell'investimento.

4.5 L'analisi probabilistica

L'elaborazione di diversi scenari futuri di sensitività, ancorché utile a verificare la solidità dell'iniziativa in corrispondenza di ciascuno degli scenari analizzati e di individuare eventualmente i valori limite per la redditività, non permette di affrontare in maniera propriamente definita il concetto di rischio (Lewis, 1995). L'elaborazione di un numero contenuto di scenari discreti, infatti, non consente di indagare l'intero range di variabilità dei risultati, ma solo di distinguere, tra lo scenario base e gli scenari alternativi, le situazioni caratterizzate da risultati finanziari accettabili da quelle che non producono profili di introiti soddisfacenti (Lemp & al. 2009). In questo senso, tale tipo di analisi non può considerarsi propriamente un'analisi di rischio

L'obiettivo dell'analisi del rischio traffico/introiti è, infatti, quello di caratterizzare dal punto di vista probabilistico le stime annuali della domanda di traffico $T(t)$ e dei relativi flussi di cassa $CF(t)$ derivanti dall'esazione dei pedaggi, individuandone le relative distribuzioni di probabilità. La caratterizzazione probabilistica della domanda e degli introiti potenziali sull'infrastruttura di progetto consente di specificare la probabilità con cui possono essere raggiunti, nei singoli anni e sul totale della concessione, determinati livelli di traffico e di introiti, ovvero di determinare qual è il montante della domanda e degli introiti attesi rispetto ad una soglia di rischio prefissata.

La domanda di traffico $T(t)$ e i relativi flussi di cassa $CF(t)$ per ciascuno degli anni di esercizio dell'infrastruttura possono essere considerate, infatti, come variabili aleatorie. Essendo in definitiva tali variabili risultanti da elaborazioni condotte mediante un modello di simulazione del traffico, la loro aleatorietà è essenzialmente legata all'incertezza con cui necessariamente vengono definiti alcuni degli elementi che rappresentano gli input del modello stesso (ipotesi di base e valori associati ai parametri) (Rasouli, 2012).

Considerando che la stima dei flussi di cassa annuali $CF(t)$ attesi dipende dalla domanda potenziale $T(t)$ sull'infrastruttura, intesa come ammontare dei flussi di traffico distribuiti dal modello di assegnazione sugli archi della stessa nell'intervallo di simulazione, a sua legata alla modellazione della domanda e dell'offerta all'orizzonte t , rispettivamente $D(t)$ ed $R(t)$, ed ai valori attribuiti a k fattori, si è già considerate

$$CF(t) = f(T(t)) = g(D(t), R(t), A_1, \dots, A_k)$$

con i k fattori A_1, \dots, A_k che rappresentano i fattori di espansione ed annualizzazione delle percorrenze, per giungere dal valore nell'intervallo di simulazione al valore totale annuale. L'aleatorietà di $CF(t)$ è, in definitiva, legata alla aleatorietà della definizione del modello di domanda $D(t)$, del modello di offerta $R(t)$ e dei fattori A_1, \dots, A_k .

Il modello di domanda $D(t)$ all'anno t è rappresentato dall'insieme delle matrici $D(t)^c$ i cui elementi, per ogni i, j appartenenti all'insieme delle zone e per ogni c appartenente all'insieme delle classe di veicoli/utenti, sono definiti da

$$d(t)_{ij}^c = e(t)_{ij}^c * d(t_0)_{ij}^c.$$

con $e(t)_{ij}^c$ fattore di incremento della mobilità tra l'anno t_0 e l'anno t tra la zona i e la zona j per la data classe veicolare/di utenza c , rispetto al valore $d(t_0)_{ij}^c$ all'anno t_0 .

Posto che il modello di domanda $D(t_0)$ sia ben calibrato, e quindi rappresenti il valore reale degli spostamenti all'anno t_0 tra le zone i e j , l'aleatorietà del modello di domanda è legata all'aleatorietà dei fattori di espansione $e(t)_{ij}^c$. Tale fonte di variabilità è in definitiva legata all'incertezza con cui può essere considerata valida nel futuro la calibrazione dei parametri β_1, \dots, β_m fatta sui dati storici per il modello che lega l'andamento della domanda di mobilità al set di m variabili esplicative macroeconomiche, demografiche e territoriali B_1, \dots, B_m , e all'aleatorietà con cui sono definite le previsioni future per l'evoluzione delle stesse variabili a partire da t_0 .

In realtà, occorre considerare come anche per la modellazione dello stato di fatto possano intervenire incertezze nella definizione del modello, derivanti ad esempio dall'aleatorietà dei dati di domanda con cui è definita la matrice iniziale o dei valori di controllo (flussi di traffico ed altri parametri) che intervengono nel procedimento di stima della matrice $D(t_0)$. Ciò aggiunge nuove componenti aleatorie al modello di previsione. Il modello di offerta all'anno t è dato da

$$R(t_n) = \{G(t), (cg(t)_a)_{a \in G(t)}\}$$

dove $G(t)$ rappresenta il grafo aggiornato all'anno t e $cg(t)_a$ rappresenta, per ciascun arco del grafo aggiornato, il costo generalizzato. Come discusso in precedenza, il modello di offerta $R(t)$ nello scenario futuro rappresenta una evoluzione del modello di offerta $R(t_0)$ per lo scenario di riferimento all'anno t_0 . Supponendo che il modello di offerta $R(t_0)$ risulti ben calibrato e rappresentativo del reale assetto, delle caratteristiche e delle performances del sistema di trasporto all'anno t_0 , è possibile associare le componenti di aleatorietà del modello di offerta all'anno t alle ipotesi che ne determinano l'evoluzione a partire dallo scenario di riferimento all'anno t_0 .

Le ipotesi di evoluzione dell'assetto di rete formulate sulla base dell'esame degli strumenti di pianificazione e programmazione alle diverse scale territoriali non possono essere, infatti, considerate certe e pertanto possiedono un'evidente connotazione aleatoria. Se aleatoria è, in definitiva, la presenza o meno all'anno t di un insieme di infrastrutture nell'assetto di rete, posta la sua presenza nello scenario risulta aleatoria anche la modellazione dei relativi costi generalizzati. Tale aleatorietà, peraltro, vale anche per l'infrastruttura di progetto, per la quale gli attributi di prestazione e le caratteristiche fisiche e funzionali sono caratterizzate da aleatorietà, e pertanto possono essere descritte mediante una distribuzione di probabilità. Anche in questo caso occorre considerare che il modello di offerta può contenere alcuni fattori di incertezza nella

definizione dei parametri di modellazione degli archi, ovvero nei valori di controllo che intervengono nel processo di calibrazione del modello dello stato di fatto $R(t_0)$.

4.6 L'Analisi dell'elasticità e la simulazione Monte Carlo

Tra i diversi approcci quantitativi all'analisi del rischio traffico/introiti di un progetto autostradale il più diffuso consiste nel considerare un'ampia gamma di scenari alternativi rispetto allo scenario base, aventi un dato livello di probabilità di occorrenza e un relativo impatto e, sulla base di questi, definire la gamma di risultati in termini di traffico ed introiti potenziali utilizzando una simulazione di Monte Carlo (Lemp & al. 2009).

Una procedura strutturata di analisi probabilistica del rischio traffico/introiti con simulazione Monte Carlo, spesso effettuata con l'utilizzo di software commerciali (Vose ModelRisk, Palisade @Risk, ecc.), prevede l'individuazione di una serie di variabili chiave v_i ritenute sensibili per l'analisi e relative alla definizione del modello di domanda $D(t)$, del modello di offerta $R(t)$ e dei fattori A_1, \dots, A_k di espansione ed annualizzazione delle percorrenze. Le variabili v_i possono essere relative, ad esempio, alla definizione dell'evoluzione della domanda negli scenari futuri, alla quantificazione della disponibilità a pagare degli utenti, all'individuazione delle infrastrutture che definiscono l'assetto evolutivo della rete di trasporto, alla definizione dei costi generalizzati sugli archi comprese le tariffe di pedaggio, alla definizione dei coefficienti di espansione ed annualizzazione della domanda e degli introiti.

Per ciascuna delle variabili chiave v_i , vengono predisposti scenari di simulazione univariati che consentono di stimare gli effetti sulla domanda $T(t)$ e, di conseguenza, sui flussi di cassa $CF(t)$. Per ciascuna variabile v_i , pertanto, vengono valutati una serie di scenari che, "ceteris paribus", esplorano gli effetti, sulla base degli output del modello di simulazione, in corrispondenza di una serie di variazioni rispetto al valore di v_i^0 assunto dalla variabile nello scenario base (generalmente un valore centrale rispetto al range di variabilità della stessa).

Lo scenario base, quindi, rappresenta il riferimento per l'analisi di rischio consentendo di valutare l'elasticità della domanda rispetto a ciascuna variabile v_i considerata. Considerando per ciascuna variabile v_i , il relativo campo di variabilità, all'interno di questo vengono individuati un insieme di valori v_i^* , in corrispondenza dei quali, mediante il modello di simulazione, si ricavano i corrispondenti valori di elasticità $\varepsilon_{T-v^*_i}$ rispetto allo scenario di riferimento, ossia:

$$\varepsilon_{T-v^*_i} = \Delta T\% / \Delta v_i^* \% = (T_{v^*_i} - T_{v_0}) / T_{v_0} / (v_i^* - v_i^0) / v_i^0$$

La domanda potenziale all'anno t simulata assumendo il valore v_i^* può essere quindi espressa in funzione della domanda potenziale per lo scenario base:

$$T(t)_{v^*_i} = T(t)_{v_0} * (\varepsilon(t)_{T-v^*_i} * \Delta v_i^* \% + 1)$$

Mediante tali valori, per ciascuna variabile v_i potrà essere individuata una funzione $E(t, v_i)$ che ne associa il valore $(\varepsilon(t)_{T-v_i} * \Delta v_i \% + 1)$. La funzione $E(t, v_i)$ può essere definita in forma discreta sulla base dei vari v_i^* e dei relativi $\varepsilon(t)_{T-v^*_i}$, ovvero in forma

continua mediante interpolazione degli stessi valori.

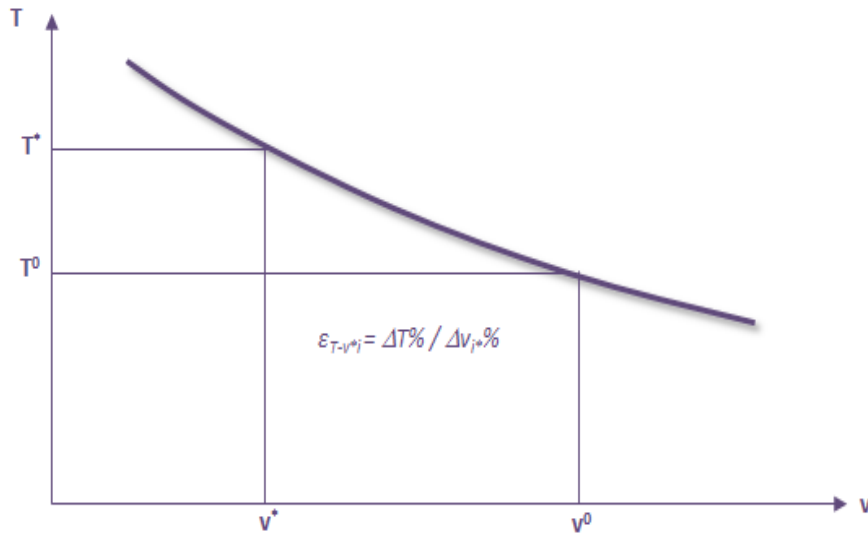
Per la variabile v_i , quindi, si possono esprimere gli effetti sulla domanda di traffico in considerazione di

$$T(t, v_i) = T(t)_{v_0i} E(t, v_i)$$

e sulla base di essi e delle tariffe di pedaggio, gli effetti sui flussi di cassa $CF(t, v_i)$

A ciascuna variabile v_i è associata una distribuzione di probabilità f_i , ossia una funzione matematica che, per ogni valore della variabile, fornisce la probabilità che venga osservato quel valore. Nel caso in cui le variabili non siano indipendenti, oltre alla distribuzione di probabilità f_i , a ciascuna coppia di variabili sarà associata anche la relativa covarianza, che fornisce una misura di quanto le due varino assieme, ovvero della loro dipendenza.

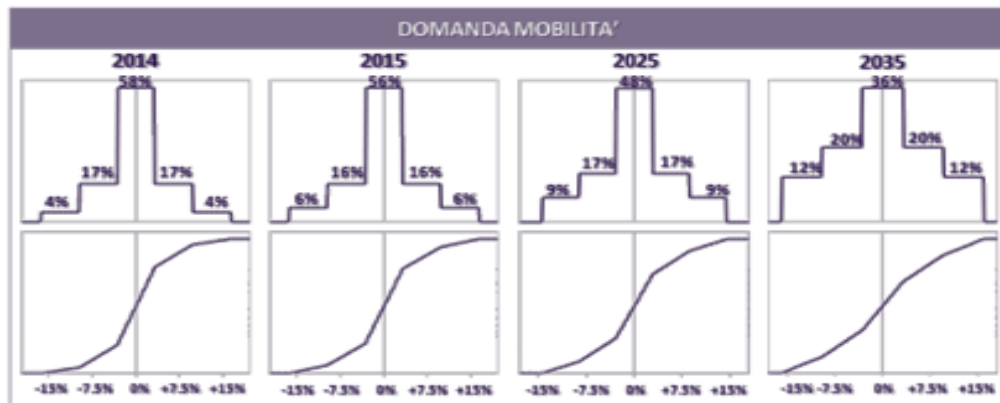
Figura 3: Elasticità della domanda alla variabile v



Le distribuzioni di probabilità sono definite sulla base di dati storici e di valutazioni sulla bontà di adattamento di specifiche funzioni di distribuzione, ovvero adottando distribuzioni empiriche. Generalmente sono utilizzate distribuzioni di probabilità simmetriche del tipo normale, triangolare, trapezoidale o rettangolare, ma nel caso in cui la loro individuazione si basi su procedure di fitting di dati reali, possono essere usate anche funzioni diverse (gamma, log-normale, Weibull, etc.). Nel caso in cui, ad esempio, la variabile in esame coincide con il considerare o meno la presenza di un'infrastruttura nell'assetto evolutivo futuro, la distribuzione sarà bernoulliana che assumerà, con una definita probabilità, rispettivamente i valori 1 o 0.

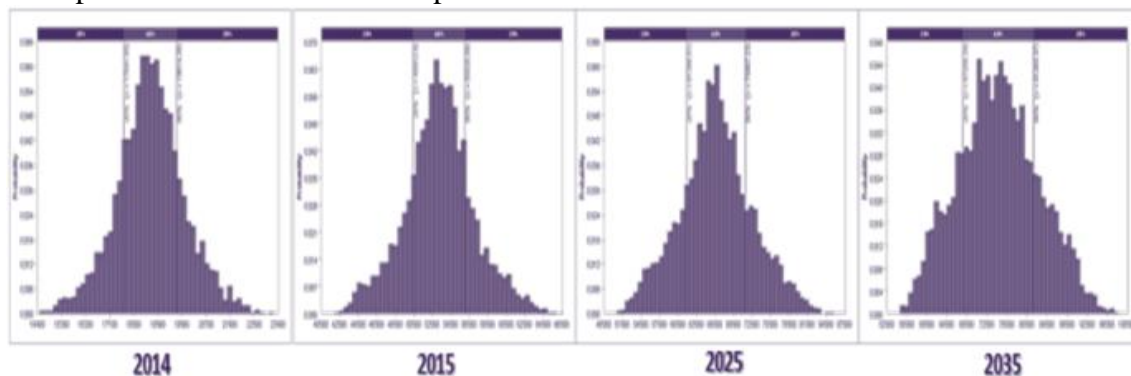
L'attribuzione delle distribuzioni di probabilità f_i per le variabili chiave v_i consente di definire come saranno probabilmente distribuiti i valori futuri delle stesse. Essendo ciascuno scenario univariato individuato da uno specifico v_i^* assunto dalla relativa variabile chiave indipendente, la distribuzione associata alla stessa variabile consentirà di identificare la probabilità $p(v_i^*)$ con cui si manifesterà v_i^* , coincidente con la probabilità con cui si potrà verificare "ceteris paribus" lo scenario in esame, e quindi anche i suoi effetti.

Figura 4: Esempi di distribuzioni di probabilità empiriche per alcune variabili del modello di traffico



Dato l'insieme delle variabili v_i ciascuna con distribuzione di probabilità f_i e nota la eventuale matrice di covarianza tra le stesse variabili nel caso in cui non siano indipendenti, la distribuzione di probabilità della domanda $T(t, v_i)$ e quindi dei flussi di cassa $CF(t, v_i)$ può essere individuata a partire dalla $T(t, v_i) = T(t)_{v_{0i}} E(t, v_i)$ mediante una simulazione Monte Carlo, che consente di calcolare i possibili valori di T in corrispondenza di un elevato campionamento casuale dei valori delle v_i . Il numero di campionamenti necessario, che solitamente va da 1'000 a 10'000 iterazioni, è individuato mediante alcuni test, che consentono di valutare la stabilità delle simulazioni. La valutazione degli effetti probabilistici complessivi tiene conto della sovrapposizione degli effetti legati a ciascuna variabile.

Figura 5: Distribuzioni di probabilità ottenute per la domanda potenziale T in corrispondenza di 4 orizzonti temporali



4.7 Intervalli di confidenza e percentili della domanda e degli introiti

I valori di $T(t)$ e di $CF(t)$ ottenuti in corrispondenza di ciascuna iterazione Monte Carlo attraverso i campionamenti delle variabili indipendenti v_i , operati secondo le funzioni di distribuzione di probabilità f_i individuate per ciascuna di esse, consentono di definire statisticamente le medesime variabili $T(t)$ e $CF(t)$, individuandone la distribuzione di probabilità.

Sulla base dei risultati delle simulazioni Monte Carlo possono essere valutate alcune statistiche significative di centralità, quali la media e la mediana, o di dispersione, quali la varianza. I risultati possono essere utilizzati, inoltre, per la determinazione degli intervalli di confidenza $(1-\alpha)$ del valore medio della domanda $T(t)$ e degli introiti $CF(t)$: individuato ad esempio un livello di confidenza del $(1-\alpha) = 95\%$, è possibile calcolare i valori limite della $T(t)$ e di $CF(t)$ tali che la probabilità che le stesse variabili abbiano una media fuori dall'intervallo definito sia di $\alpha = 5\%$.

Gli output delle simulazioni Monte Carlo consentono, inoltre, di stimare i valori della variabile caratterizzati da una determinata probabilità di essere superati: individuata una probabilità di superamento α è possibile individuare il valore della $T(t)$ e di $CF(t)$ che ha tale probabilità di essere superato dal campione attraverso la stima dell' $(1-\alpha)$ -esimo percentile.

L'analisi degli intervalli di confidenza e, soprattutto, dei percentili è uno degli elementi fondamentali nella valutazione del rischio da parte dei diversi soggetti che intervengono nelle varie fasi dell'iniziativa in PF. In particolare, nella predisposizione e valutazione della struttura finanziaria, l'analisi probabilistica della domanda e degli introiti consente di stimare gli input del Piano Economico Finanziario secondo un definito livello di rischio stabilito dai finanziatori. Se da un lato, infatti, i promotori tendono a considerare lo scenario base come riferimento, la stessa cosa non accade per i lenders che in generale tendono a considerare scenari alternativi diversi, in funzione di una soglia di probabilità prefissata e improntati ad una maggiore cautela.

Facendo riferimento a quanto sopra indicato a proposito della definizione delle variabili indipendenti sensibili alla valutazione di rischio, lo scenario base assunto come riferimento, infatti, considera generalmente i valori centrali di ciascuna variabile rispetto al suo intervallo di variabilità. In questi termini il valore assunto da ciascuna variabile nello scenario base rappresenta la mediana della relativa distribuzione, e pertanto lo scenario base può essere considerato come lo scenario mediano. I risultati ottenuti con le simulazioni Monte Carlo evidenziano valori mediani della domanda $T(t)$ e dei flussi di cassa $CF(t)$ che tendono ai valori dello scenario base per valori elevati del numero di iterazioni. Tali valori, pertanto, coincidono rispettivamente con il 50° percentile di $T(t)$ e di $CF(t)$, quindi con i valori che hanno una probabilità pari al 50% di essere superati (o ugualmente, di non esserlo).

Lo scenario base, che viene quindi a rappresentare il $p50$, o 50° percentile tra gli scenari univariati, è generalmente lo scenario cui fanno riferimento per le valutazioni relative al dimensionamento dell'opera e alla relativa analisi economico-finanziaria sia il soggetto concedente, sia i proponenti. Al fine di effettuare le valutazioni di convenienza economica e finanziaria sulla base di dati di previsione maggiormente conservativi rispetto a quelli dello scenario mediano, nelle fasi di definizione della struttura finanziaria dell'iniziativa l'attenzione tende a spostarsi su scenari caratterizzati da domanda di traffico ed introiti da pedaggio aventi una maggiore probabilità di essere superati durante la gestione economica dell'infrastruttura.

Investitori e lenders generalmente tendono a staccarsi da valutazioni mediane ($p50$) della domanda e dei flussi di cassa, e tendono a considerare al contrario l'intera distribuzione dei profili di domanda $T(t)$ e di introiti $CF(t)$ (Adler & al., 2014).

A tal proposito vengono effettuate valutazioni di convenienza economica e finanziaria sulla base di dati di $T(t)$ e $CF(t)$ con probabilità di essere superati generalmente compresa tra il 70% ed il 90%. Tali valori, generalmente indicati ad esempio con $p70$, $p80$, $p90$, rappresentano rispettivamente il 30°, il 20° o il 10° percentile della distribuzione dei dati ottenuti mediante la simulazione Monte Carlo. Essi identificano livelli di domanda e di introiti previsti che hanno livelli di rischio più bassi rispetto allo scenario mediano, dal momento che la probabilità di avere valori inferiori, è del 30%, 20% e 10% rispettivamente, contro il 50% dello scenario base.

Figura 6: Andamento dei percentili dei flussi di cassa $CF(t)$

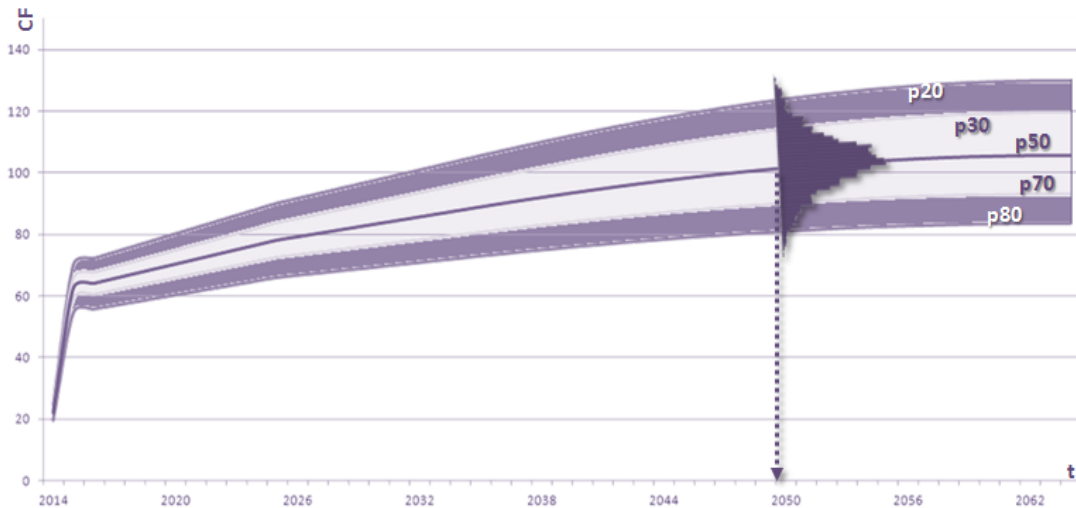
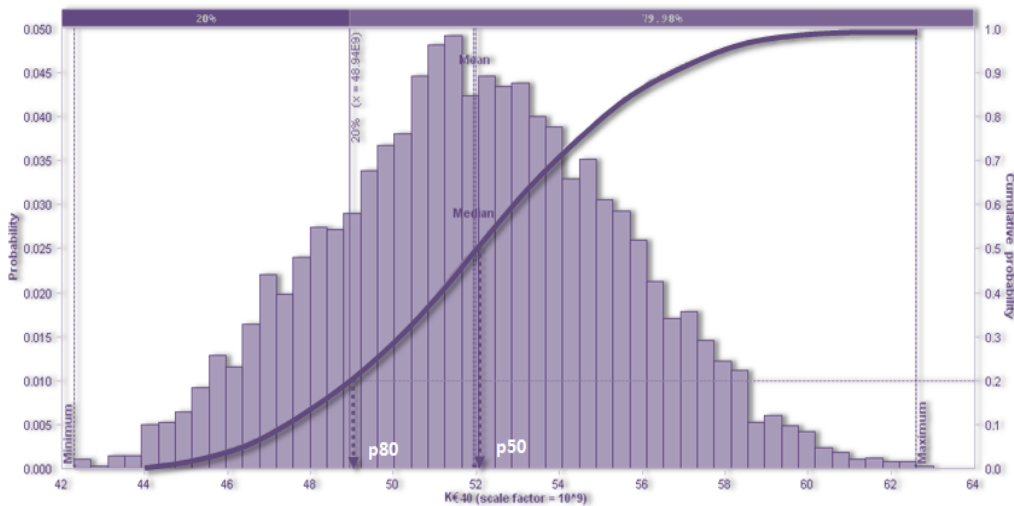


Figura 7: Distribuzione di probabilità e distribuzione cumulata degli introiti totali



5. Considerazioni conclusive

Il ricorso alla Finanza di Progetto o Project Financing ha avuto, negli ultimi anni, costante crescita anche nella progettazione, realizzazione e gestione di infrastrutture stradali a pedaggio, aprendo alla possibilità di apporti di capitale e di finanziamenti

privati legati alla gestione economica delle opere, e consentendo di contenere l'impiego delle sempre più esigue risorse pubbliche.

Nell'insieme delle relazioni che si stabiliscono tra i soggetti che intervengono nell'attuazione di un Project Financing, le note proposte prendono in esame il punto di vista di sponsor e investitori, che valutano la sostenibilità dell'iniziativa in rapporto alla capacità di generare quei flussi di cassa che costituiscono la garanzia primaria in termini di rimborso del debito e di remunerazione del capitale di rischio. L'articolo pone in evidenza la centralità della previsione della domanda di traffico e degli introiti attesi sull'infrastruttura, esplorando gli strumenti e le tecniche modellistiche che consentono di stimarne i valori potenziali e, sulla base di questi, di formulare la decisione di investimento. Tali stime sono, in effetti, gli elementi essenziali su cui si basano le valutazioni di sostenibilità economica e finanziaria dell'iniziativa.

Nella discussione si è chiarito come i tradizionali modelli di previsione della domanda potenziale di traffico siano inevitabilmente affetti da quote non eliminabili d'incertezza, legati alla variabilità degli input. Tutto ciò si traduce in elementi non trascurabili di rischio, che mal si coniugano con gli obiettivi di convenienza e redditività che l'investitore si pone nei confronti del progetto. Se da un lato, infatti, la certezza non è un elemento sulla base del quale poter formulare una decisione d'investimento, l'adeguata analisi del livello d'incertezza è sicuramente un elemento indispensabile per una corretta identificazione, valutazione e gestione del rischio connesso all'operazione, consentendo da un lato di ridurre l'aleatorietà dei flussi input/output derivati dalla realizzazione e gestione del progetto, e dall'altro di stabilire, per le parti in causa, l'accettabilità del rischio residuo. A tal proposito occorre rilevare che essendo molteplici i soggetti coinvolti in un'iniziativa di PF, estremamente variegati appaiono i loro livelli di propensione al rischio e di fiducia nel realizzarsi o meno di alcuni scenari previsionali.

Ciò considerato, appare manifesta, nell'ambito degli Studi di Traffico e dei Piani Finanziari che corredano l'iniziativa di finanziamento, la necessità di una più completa caratterizzazione della domanda di traffico e dei flussi di cassa previsionali derivanti dal pedaggio. Tale completezza comporta il superamento della stima di domanda come output apparentemente deterministico di un modello di traffico, per arrivare alla definizione di un vero o proprio profilo d'incertezza e di rischio delle stime. In altri termini, occorre che alle stesse stime sia associato, in maniera esplicita, il relativo grado di variabilità, in funzione dell'incertezza rispetto ai drivers e agli assetti che possono caratterizzare gli scenari futuri.

Le note proposte chiariscono come l'esplorazione e l'analisi comparata di una serie, anche numerosa, di scenari alternativi ottenuti mediante i diffusi modelli di simulazione del traffico, pur consentendo di vagliare alcuni aspetti della solidità dell'iniziativa e di individuare i valori limite per la redditività, non permette di affrontare in maniera propriamente definita il concetto di rischio. L'articolo propone, quindi, all'attenzione del lettore un approccio quantitativo all'analisi di rischio, che considera un'ampia gamma di scenari alternativi aventi un assegnato livello di probabilità di occorrenza e, in conformità a questi, definisce la gamma di risultati in termini di traffico ed introiti potenziali mediante simulazioni Monte Carlo. Negli ultimi anni questo tipo di approccio

è stato applicato nelle stime di traffico e introiti da pedaggio in diverse realtà internazionali, diventando una sorta di framework di procedure, metodi e modelli statistici che consentono un'analisi integrata di scenari e delle relative probabilità di accadimento. Ciò consente di definire statisticamente, ossia individuandone la distribuzione di probabilità, la domanda e gli introiti potenziali e di valutarne alcune statistiche di centralità o di dispersione. I risultati possono essere utilizzati per la determinazione degli intervalli di confidenza e per stimare i valori di soglia caratterizzati da una determinata probabilità di essere superati. L'analisi probabilistica della domanda e degli introiti consente, quindi, di stimare gli input del Piano Economico Finanziario secondo un definito livello di rischio, generalmente variabile secondo il soggetto (concedente, concessionario, lenders, ecc.), superando la percezione deterministica delle valutazioni, e riportandole nel contesto probabilistico che più propriamente e correttamente la descrive.

Un'analisi di rischio quantitativa, che consenta di esplorare probabilisticamente le stime chiarendo la confidenza con cui vengono identificati gli scenari futuri, rende la valutazione dell'iniziativa più resistente sia rispetto al potenziale *optimism bias*, ossia alla cosiddetta "tendenza all'ottimismo" che si riscontra a livello internazionale nei soggetti concedenti e nei concessionari/sponsor, sia rispetto al potenziale *pessimism bias*, ossia alla cosiddetta "tendenza al pessimismo" in cui potrebbero incorrere finanziatori e lenders. D'altra parte la caratterizzazione delle stime di domanda/introiti come sopra definita è di estremo interesse nella formulazione gli accordi tra i soggetti, pubblici e privati per l'allocazione del rischio e per la definizione delle relative coperture. Pur essendo il rischio di domanda (e quindi d'introiti) un rischio commerciale, nei progetti infrastrutturali tale rischio è considerato non totalmente controllabile dal soggetto privato, e quindi mitigato con un intervento di garanzia del soggetto pubblico. Nei progetti autostradali l'allocazione del rischio sulla domanda e sugli introiti da pedaggio è affrontato introducendo le cosiddette garanzie rischio traffico. Tali garanzie pubbliche ripartiscono il rischio tra concessionario e concedente in funzione di definite soglie di domanda, introducendo intervalli di condivisione dei ricavi (*revenue sharing bands*), variazione di durata della concessione o modifiche per il riequilibrio economico e finanziario. In questo contesto è evidente il contributo fornito da una analisi probabilistica del rischio, specialmente se condivisa tra i soggetti interessati, come elemento di trasparenza e di supporto nella scelta dei termini di garanzia e dei relativi livelli di domanda che li rendono attivi, soprattutto nei casi in cui, come in Italia, non esistono strumenti istituzionalizzati di garanzia pubblica per il Project Financing.

La discussione elaborata chiarisce la funzionalità di questo approccio quantitativo al rischio insito nelle stime di traffico e introiti di una strada a pedaggio, che ha visto recenti applicazioni anche in Italia⁷, evidenziandone l'utilità nella valutazione della sostenibilità dell'iniziativa e nella formulazione della scelte di investimento, e il contributo, in termini di oggettivazione e trasparenza, nella strutturazione dei rapporti reciproci e nella definizione delle relative garanzie tra i soggetti pubblici e privati che intervengono.

⁷Si possono citare, ad esempio, gli Studi di Traffico e i Piani Finanziari di Tangenziale Est Esterna di Milano – TEEM e di Autostrada Pedemontana Lombarda – APL.

Riferimenti bibliografici

- Adler, T., Doherty, M., Klodzinski, J., & Tillman, R. (2014). Methods for Quantitative Risk Analysis for Travel Demand Model Forecasts. In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (No. 14-1472).
- Bagui, S. K., & Ghosh, A. (2012). Traffic and revenue forecast at risk for a BOT road project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(6), 905-912.
- Bain, R. (2009), *Error and Optimism Bias in Toll Road Traffic Forecasts*, Transportation, Springer Science+Business Media.
- Bramazza, I. (2005), *I recenti interventi normativi per le infrastrutture: la Finanza di Progetto applicata ad un'autostrada*, 1^ conferenza della Finanza di Progetto nelle PA, Roma, 22 giugno 2005
- Cascetta, E., & Pagliara, F. (2013). Public engagement for planning and designing transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 87, 103-116.
- Cascetta, E. (2009). *Transportation System Analysis: Models and Applications*, Springer, New York
- Cipe - Deliberazione n. 39 del 15/06/2007, Direttiva in materia di regolazione economica del settore autostradale, G.U.R.I. n. 197 del 25/08/2007
- Cheung, K., & Polak, J. W. (2010). A Bayesian approach to modeling uncertainty in transport infrastructure project forecasts. In Transportation Research Board 89th Annual Meeting (No. 10-2959).
- Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (2013), *Linee guida per la redazione degli studi di fattibilità*
- Dipartimento per la Programmazione e il Coordinamento della Politica Economica, Finanza di Progetto (2009), *100 domande e risposte*
- Dipartimento per la Programmazione e il Coordinamento della Politica Economica, Unità Tecnica Finanza di Progetto (2010), *PROJECT FINANCE Elementi introduttivi*
- EPEC - Unità Tecnica Finanza di Progetto (2011), *Una Guida ai PPP Manuale di buone prassi*
- Hau, T. D. (2005). Economic fundamentals of road pricing: a diagrammatic analysis, *Transportmetrica*, 1(2)
- Khan, A. M. (2013). Risk factors in toll road life cycle analysis. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9(5), 408-428.
- Lam, W. H., & Tam, M. L. (1998). Risk analysis of traffic and revenue forecasts for road investment projects. *Journal of Infrastructure Systems*, 4(1), 19-27.
- Lemp, J. D., & Kockelman, K. M. (2009). Understanding and Accommodating Risk and Uncertainty in Toll Road Projects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2132(1), 106-112.
- Lewis, D. L., *The Future of Forecasting: Risk Analysis as a Philosophy of Transportation Planning*, TR News 177, March–April 1995.
- Luo, L. (2012). Risk Analysis of Highway Traffic Forecasts. In *ICLEM 2012@ sLogistics for Sustained Economic Development—Technology and Management for Efficiency* (pp. 541-545). ASCE.
- Martiniello, L. (2005). *Il calcolo del Public Sector Comparator nel settore dei trasporti stradali*. Rirea.

- Maricopa Association of Governments – MAG (2012), Toll Road Modeling Support: Final Report, Phoenix, AZ
- Keiger, D., Shiu, S., & Naylor, S. (2006). NCHRP Synthesis 364: Estimating Toll Road Demand and Revenue. Transportation Research Board. Washington, DC.
- Rasouli, S., & Timmermans, H. (2012). Uncertainty in travel demand forecasting models: literature review and research agenda. *Transportation Letters*, 4(1), 55-73.
- Reviglio E., (2012), Il finanziamento pubblico e privato delle infrastrutture, in Zanardi A. (a cura di) *La finanza pubblica italiana, Il Mulino - Studi e Ricerche*
- The World Bank Group – PPIAF (2009), *Toolkit for Public-Private Partnerships in Roads & Highways*
- Vose, D. (2008). *Risk analysis: a quantitative guide*. John Wiley & Sons.
- Yuwen, W. & Zhang Z. (2013). *Simulation of investment returns for toll projects*, Center for Transportation Research University of Texas at Austin