



Comunicato stampa

## **RETI URBANE DI TRASPORTO: LE LINEE GUIDA NELL'ULTIMO VOLUME DEL CENTRO STUDI DEL CNI**

*Il Centro Studi del Consiglio Nazionale degli Ingegneri ha lanciato una nuova collana di Quaderni, dedicata alle tematiche ingegneristiche di tipo tecnico. Il primo volume affronta il tema dell'analisi e la progettazione delle Reti urbane di trasporto. Ronsivalle: "La mobilità efficiente e sostenibile è una delle fondamentali esigenze da soddisfare nei contesti complessi come quelli delle città".*

**Il Centro Studi** del Consiglio Nazionale degli Ingegneri **ha lanciato una nuova collana** dei suoi tradizionali Quaderni, **interamente dedicata alle tematiche ingegneristiche più propriamente tecniche. Il primo volume affronta il tema delle Reti urbane di trasporto.**

*"Con questa nuova collana – ha spiegato Luigi Ronsivalle, Presidente del Centro Studi - vogliamo rispondere all'esigenza da parte degli ingegneri di poter disporre di volumi monografici, affidati ad esperti delle diverse materie che illustrano lo 'stato dell'arte' rispetto a specifici temi ed argomenti. Per il primo volume abbiamo scelto un tema ambizioso: l'analisi ed il progetto delle reti urbane di trasporto. La mobilità efficiente e sostenibile risulta una delle fondamentali esigenze da soddisfare in un contesto socio-economico particolarmente complesso come quello delle città".*

Il volume, il cui titolo completo è **"Reti urbane di trasporto: linee guida per l'analisi e il progetto"**, è stato realizzato grazie alla collaborazione del Centro Studi con i dipartimenti di ingegneria delle **Università di Benevento, Cagliari, Genova, Reggio Calabria, Salerno e Messina**. Raccoglie anche contributi di collaboratori esterni delle Università Federico II di Napoli e La Sapienza di Roma.

**La nuova iniziativa editoriale** nasce dalla necessità di fornire agli ingegneri strumenti operativi e normativi aggiornati alle ultime novità tecniche e legislative, sempre in rapida evoluzione. Nel caso specifico, questo Quaderno consentirà agli ingegneri di disporre di **una guida di facile e immediata consultazione, uno strumento in più per intervenire sui processi della mobilità urbana, riprogettandoli ed ottimizzandone il loro funzionamento, con l'obiettivo di governare al meglio i numerosi movimenti di persone e merci, rendendoli più efficienti ed efficaci.**

Il volume parte dal presupposto che un piano di trasporto è il prodotto di un processo di pianificazione e programmazione, caratterizzato da differenti dimensioni e interazioni tra i soggetti coinvolti. Su questa base propone una serie di metodi per mettere in atto cinque azioni principali: valutazione delle alternative; analisi dell'interazione domanda-offerta con domanda elastica; progetto della regolazione di intersezioni a livello locale; progetto della regolazione di intersezioni a livello di area; progetto della topologia.

Il Consiglio Nazionale degli ingegneri svolge un ruolo chiave nello sviluppo di iniziative come questa. *"Il ruolo assunto oggi dai trasporti – spiega Gianni Massa, Vicepresidente del CNI - è rilevante e influenza lo sviluppo sostenibile. Per avere*

*ricadute positive sulla collettività è necessario avere livelli di professionalità elevati per la pianificazione dei sistemi, in modo specifico nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione degli interventi. In questo contesto, così come in tutti gli altri, il CNI ha inteso avviare un'attività di collaborazione e supporto con il mondo universitario anche nel settore dell'ingegneria dei trasporti". E conclude: "Il CNI ha inteso pubblicare queste linee guida in quanto la ricerca presenta diversi elementi di immediata applicabilità in contesti reali. Si tratta di un valido supporto per tutti i professionisti che intendono operare nel settore urbano della mobilità mediante l'uso di metodi quantitativi: questi consentono di valutare e confrontare gli interventi, stimare gli effetti sulla rete di specifiche configurazioni di progetto, progettare singoli elementi o porzioni di rete".*

In allegato al presente comunicato viene fornita la versione in pdf del Quaderno.  
Roma 12 febbraio 2014

**QUADERNI DEL CENTRO STUDI**



**CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI**

n. 142/2014

---

**RETI URBANE DI TRASPORTO:  
LINEE GUIDA PER L'ANALISI  
E IL PROGETTO**

**Progetto di Rilevante Interesse Nazionale, 2009**  
**Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto**

Unità Operative:

Università degli Studi del Sannio di Benevento  
Responsabile: Mariano Gallo  
Giuseppina De Luca  
Fulvio Simonelli

Università degli Studi di Cagliari  
Responsabile: Gianfranco Fancello  
Paolo Fadda  
Michele Carta  
Barbara Uccheddu

Università degli Studi di Genova  
Responsabile: Angela Di Febraro  
Andrea Conca  
Nicola Sacco

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria (coordinamento)  
Responsabile: Antonino Vitetta  
Maria Luisa De Maio  
Antonio Polimeni

Università degli Studi di Salerno  
Responsabile: Giulio E. Cantarella  
Stefano de Luca  
Roberta Di Pace  
Giovanni Faruolo  
Massimo Di Gangi - Università degli Studi di Messina

Contributi esterni:

Gennaro Nicola Bifulco - Università degli Studi di Napoli "Federico II"  
Gaetano Fusco - Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Publicato con il contributo del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto (protocollo 2009EP3S42 Area 08 – Ingegneria Civile ed Architettura) e con il contributo di: Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Architettura; Università degli Studi di Genova, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti; Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, delle Infrastrutture e dell'Energia Sostenibile; Università degli Studi del Sannio di Benevento, Dipartimento di Ingegneria; Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile; Consiglio Nazionale degli Ingegneri.

# SOMMARIO

9	PREMESSA
17	1. INTRODUZIONE
21	2. ASPETTI GENERALI
21	2.1 Caratteristiche
23	2.2 Destinatari
25	2.3 Obiettivi e risultati
27	2.4 Condizioni di applicabilità
28	2.5 Strumenti
29	3. PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE
39	4. ITER AMMINISTRATIVO
42	4.1 Conferimento incarico
44	4.2 Redazione e adozione
47	4.3 Attuazione e strumenti
48	4.4 Applicazione
49	4.5 Gestione
50	5. DOCUMENTAZIONE
50	5.1 Relazioni
52	5.2 Attuazione e strumenti
53	5.3 Indagini sulla domanda e sull'offerta
54	5.4 Calcolo (simulazione)
55	5.5 Database
56	6. PROCEDURE DI CALCOLO
60	6.1 Indicatori per la valutazione
73	6.2 Interazione domanda-offerta
83	6.3 Regolazione delle intersezioni a livello locale
91	6.4 Regolazione delle intersezioni a livello area
121	7. INTERVENTI DELLA GESTIONE DELLA DOMANDA, DEL TRAFFICO E DELL'INFORMAZIONE
121	7.1 Gestione della domanda di mobilità
126	7.2 Gestione del traffico urbano e dell'informazione mediante sistemi di trasporto intelligenti



---

## PREMESSA

Il volume Reti urbane di trasporto: Linee guida per l'analisi e il progetto inaugura una nuova Collana editoriale, a cura del Centro Studi, dedicata alle tematiche ingegneristiche più propriamente tecniche.

Con la nascita di questa collana vogliamo rispondere, al meglio, all'esigenza da parte degli ingegneri di poter disporre di volumi monografici, affidati ad esperti delle diverse materie che illustrano lo "stato dell'arte" rispetto a specifici temi ed argomenti.

Il tema, ambizioso, scelto per questo primo volume, e che speriamo possa risultare interessante, riguarda l'analisi ed il progetto delle reti urbane di trasporto. La mobilità efficiente e sostenibile risulta una delle fondamentali esigenze da soddisfare in un contesto socio-economico particolarmente complesso come quello delle città.

Per questa ragione, si sente forte la necessità di fornire agli ingegneri strumenti operativi e normativi aggiornati alle ultime novità tecniche e legislative sempre in rapida evoluzione. Essi, potranno, così, disporre di una guida di facile e immediata consultazione che costituisce uno strumento in più per intervenire sui processi della mobilità urbana, riprogettandoli ed ottimizzandone il loro funzionamento, con l'obiettivo di governare al meglio i numerosi movimenti di persone e merci, rendendoli più efficienti ed efficaci.

Un sentito ringraziamento va a tutti i colleghi dei Dipartimenti di ingegneria delle Università di Benevento, Cagliari, Genova, Reggio Calabria, Salerno e Messina e ai collaboratori esterni delle Università Federico II di Napoli e "La Sapienza" di Roma, che prestando la loro opera nelle Unità Operative e nel Coordinamento nazionale del progetto hanno reso possibile trasferire ai professionisti le loro preziose competenze tecniche sul tema.

*Luigi Ronsivalle*  
*Presidente Centro Studi CNI*



## Il ruolo del Consiglio Nazionale degli Ingegneri

---

Costruire e attuare un progetto personale è importante nella vita quotidiana di ogni individuo, ma altrettanto importante è costruire e attuare un progetto comune ad una collettività. E la responsabilità di ciò è assegnata ad ognuno di noi, in primo luogo a chi rappresenta una collettività.

“Rappresentare” e “governare” una collettività, una categoria, significa costruire una visione di società, un progetto e un programma per realizzarla.

La consapevolezza di non essere il centro di un universo che ruota attorno a noi, né come categoria né tantomeno come singole parti di categoria, significa, però, anche essere consapevoli che molta parte della vita della nostra società passa attraverso l'ingegneria. Ed è per questo motivo che la professione si deve dotare della capacità di immaginare un futuro senza limitarsi alla difesa di un presunto “status”.

La sfida di oggi è talmente grande, talmente importante, che non può essere superata se non viene superato il problema della frammentazione, a volte artificiosamente costruita. Non esistono, non possono esistere, diverse “ingegnerie”, esiste l'Ingegneria, che si concretizza nelle molteplici discipline intercomunicanti e nella diversità della professione.

Perciò, è necessario superare la divisione in compartimenti stagni (l'ingegneria civile, l'ingegneria dell'informazione, l'ingegneria industriale, i giovani, i dipendenti, i liberi professionisti, etc), per ricercare un filo conduttore, un linguaggio comune che armonizzi le differenze e dia l'opportunità di diventare una forza sociale attiva e non solo un numero; per guardare con approccio sistemico il contributo dell'ingegneria e degli ingegneri al Paese.

Gli ordini professionali sono, potenzialmente, quei luoghi fantastici, reali e virtuali, in cui si possono sovrapporre le differenti discipline dell'ingegneria; in cui è possibile sovrapporre la scienza e l'esperienza sul campo, la tecnica e l'applicazione della tecnica.



Il ruolo assunto oggi dai trasporti è rilevante e influenza lo sviluppo sostenibile. Per avere ricadute positive sulla collettività è necessario avere livelli di professionalità elevati per la pianificazione dei sistemi, in modo specifico nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione degli interventi.

In questo contesto, così come in tutti gli altri, il CNI ha inteso avviare un'attività di collaborazione e supporto con il mondo universitario anche nel settore dell'ingegneria dei trasporti.

L'obiettivo del Consiglio Nazionale Ingegneri è di acquisire competenze specifiche dal settore della ricerca, acquisirne gli aspetti di immediata applicazione e trasferire questi al mondo della professione. Il CNI infatti, in coerenza con la propria visione, intende rafforzare la connessione tra mondo universitario, deputato alla ricerca e alla didattica, e mondo professionale. Da questa collaborazione i professionisti arricchiranno le loro conoscenze seguendo gli ultimi sviluppi della ricerca e, allo stesso tempo, i ricercatori e il mondo universitario avranno un confronto immediato con il mondo professionale per avere la misura della reale applicabilità dei metodi sviluppati.

Il CNI ha inteso pubblicare queste linee guida in quanto la ricerca presenta diversi elementi di immediata applicabilità in contesti reali. Le linee guida costituiscono un valido supporto per tutti i professionisti che intendono operare nel settore urbano della mobilità mediante l'uso di metodi quantitativi: questi consentono di valutare e confrontare gli interventi, stimare gli effetti sulla rete di specifiche configurazioni di progetto, progettare singoli elementi o porzioni di rete.

I metodi sono qui proposti attraverso procedure semplificate favorendo la divulgazione della disciplina dei trasporti al mondo professionale, arricchendo il livello formativo dei professionisti. Ulteriori approfondimenti specialistici si trovano nei due volumi specifici che accompagnano queste linee guida.

I metodi proposti consentono di progettare intersezioni semaforizzate, organizzare la configurazione della rete, valutare gli effetti degli interventi e forniscono i dati necessari per stimare i livelli prestazionali dei sistemi da progettare,



al fine di poterne governare le evoluzioni e stimare gli effetti. Possono infine essere utilizzati anche per la redazione di piani di trasporto e studi di fattibilità in ambito urbano, oltrechè estesi, con opportune modifiche, anche ad altre scale territoriali.

Occorre riportare al centro il valore e la cultura del progetto, la necessità di riferimenti normativi precisi e dinamici che guidino le scelte anche nel settore dei trasporti e della mobilità.

*Gianni Massa*

Vice Presidente Consiglio Nazionale Ingegneri



## Presentazione del progetto

---

*Un piano di trasporto è un prodotto di un processo di pianificazione e programmazione, caratterizzato da differenti dimensioni e interazioni tra i soggetti coinvolti ([1], p.11).*

*In generale, le linee guida dovrebbero esistere per ogni documento relativo ad uno specifico stato del processo di pianificazione. I contenuti delle linee guida comprendono informazioni su obiettivi, vincoli, strategie e metodologie, come aiuto alla definizione del piano ([1], p.11). Le metodologie comprendono modelli e procedure per simulare, valutare e quindi strutturare piani alternativi. Le stesse linee guida possono anche essere prodotte da una normativa (legge, ordinanza, regolamento, ecc.). Gli obiettivi ed i vincoli sono il risultato dell'interazione tra decisori e gruppi di interesse.*

Queste linee guida supportano il processo di pianificazione per l'analisi e il progetto delle reti stradali in ambito urbano fornendo indicazioni tecniche da implementare sui diversi livelli di pianificazione. Esse costituiscono uno strumento indispensabile per la redazione del piano.

La progettazione delle reti di trasporto stradali in ambito urbano ha subito nel corso degli ultimi anni notevoli evoluzioni tecniche. Queste ultime non sempre sono state accompagnate da indicazioni operative/normative che imponessero nella fase di progetto l'utilizzo di tecniche basate sulla cultura dell'ingegneria dei trasporti. *A tal fine un gruppo di Dipartimenti Universitari ha ritenuto necessario presentare al MIUR (Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca) un progetto di ricerca che avesse come obiettivo generale la proposizione di linee guida per l'analisi e il progetto di reti stradali di trasporto in ambito urbano a supporto della redazione di un piano. Il progetto proposto è stato approvato con protocollo 2009EP3542 ed è stato avviato nella seconda metà del 2011 ([1], p.11). Il risultato di questo progetto è contenuto nelle presenti linee guida, negli allegati metodologici e in numerose pubblicazioni scientifiche internazionali indicizzate.*

Il progetto di ricerca è suddiviso in cinque azioni principali, legate ai livelli della metodologia:

- 1) metodi per la valutazione delle alternative (Università di Cagliari);
- 2) metodi per l'analisi dell'interazione domanda-offerta con domanda elastica (Università di Salerno);
- 3) metodi per il progetto della regolazione di intersezioni a livello locale (Università di Genova);
- 4) metodi per il progetto della regolazione di intersezioni a livello di area (Università del Sannio);
- 5) metodi per il progetto della topologia (Università di Reggio Calabria).

Per ogni azione principale sono state svolte le seguenti attività:

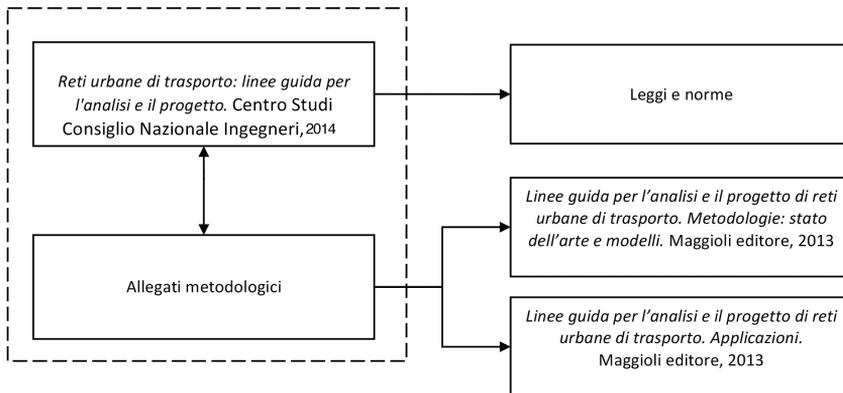
- I) analisi dello stato dell'arte sui metodi e sui principali software disponibili sul mercato più diffusi in letteratura per l'analisi e il progetto funzionale delle reti di trasporto stradali;
- II) sviluppo di metodologie applicabili in contesti reali;
- III) applicazioni su sistemi reali con lo scopo di effettuare analisi statistiche sulla precisione e l'affidabilità dei metodi e sulle prestazioni garantite dai metodi di progettazione;
- IV) stesura delle linee guida per l'analisi ed il progetto delle reti di trasporto stradali.

La Figura I riporta il legame tra i principali elaborati prodotti nel corso della ricerca ed evidenzia la relazione esistente tra questo volume di linee guida (*Reti urbane di trasporto: linee guida per l'analisi e il progetto*). Centro Studi Consiglio



Nazionale Ingegneri, 2014) e gli allegati metodologici che ne costituiscono parte integrante ed esplicativa.

**Fig. 1** Struttura generale delle linee guida



Ogni sezione di questo volume è stata redatta dagli autori di seguito riportati, che hanno sviluppato autonomamente l'argomento specifico nell'ambito del progetto di ricerca complessivo: 1, Giulio Erberto Cantarella e Antonino Vitetta; 2, Gianfranco Fancello; 3, Stefano de Luca; 4, Gianfranco Fancello; 5, Mariano Gallo; 6.1 componenti dell'Unità Operativa di Cagliari; 6.2 componenti dell'Unità Operativa di Salerno; 6.3 componenti dell'Unità Operativa di Genova; 6.4 componenti dell'Unità Operativa di Benevento; 6.5 componenti dell'Unità Operativa di Reggio Calabria; 7.1 Stefano de Luca; 7.2 Gennaro Nicola Bifulco e Gaetano Fusco.



# 1.

---

## INTRODUZIONE

---

Il sistema dei trasporti è a servizio della mobilità di persone e dello spostamento di merci, una delle fondamentali esigenze da soddisfare in un contesto socio-economico urbano. Le città si sono storicamente sviluppate per aumentare le possibilità di interazioni tra persone e lo scambio di merci. Lo spostamento di persone e merci consente di ottenere benefici disponibili in destinazione a fronte di costi di spostamento. Pertanto essendo la mobilità un'esigenza imprescindibile, un fondamentale obiettivo della gestione e pianificazione dei sistemi urbani è il contenimento dei costi di trasporto.

Un efficiente sistema di trasporti favorisce lo sviluppo socio-economico ed è una fase imprescindibile di una corretta pianificazione del territorio. Pertanto, sono necessarie decisioni consapevoli e sostenibili la cui definizione è possibile attraverso sistemi di supporto alle decisioni basati su metodi di analisi quantitativi.

Soltanto in anni recenti, in particolare negli ultimi decenni, si sono consolidati strumenti affidabili per la stima degli effetti delle decisioni. Queste conoscenze sono sufficientemente mature per essere trasferite dal mondo della ricerca scientifica a quella della pratica tecnica, e dagli sviluppatori al mondo degli utilizzatori.

Queste linee guida forniscono una metodologia operativa per l'analisi e il progetto funzionale delle reti urbane di trasporto. I metodi descritti sono di supporto per l'individuazione di possibili interventi sull'offerta di trasporto, allo scopo di migliorare il livello di servizio, e per la valutazione degli effetti. Gli interventi sul sistema di offerta sono di tipo prescrittivo, ovvero tutti gli utenti del sistema sono obbligati a rispettare i vincoli imposti dalla configurazione del



sistema. Gli interventi sull'offerta riguardano tra l'altro l'allocazione delle corsie nelle strade esistenti (o da realizzare) ai versi di percorrenza, la regolazione delle intersezioni, l'eventuale chiusura parziale o totale al traffico di strade esistenti ed eventuale loro utilizzo come aree di parcheggio. Sono anche riportati alcuni cenni sugli interventi così detti di gestione della domanda di mobilità, quali ad esempio le politiche di gestione della sosta, la tariffazione degli accessi ed i Sistemi Intelligenti di Trasporto (ITS).

Queste linee guida, e i relativi allegati metodologici, sono rivolte prevalentemente a tecnici che operano direttamente o indirettamente a supporto delle decisioni assunte da enti o aziende. Esse possono essere utilizzate a differenti livelli di approfondimento sia come supporto alla pratica tecnica e professionale che come stimolo alle attività di aggiornamento e formazione permanente. Esse pertanto sono rivolte a uffici tecnici (settore mobilità e trasporti, ove presenti) di Enti Locali, società di consulenza, studi professionali, centri studi di aziende, imprese. Queste linee guida possono essere utilizzate anche come materiale didattico nei corsi di laurea del settore dell'ingegneria dei sistemi di trasporto e dei sistemi territoriali. Pertanto è auspicio del gruppo di ricerca che esse siano sia di ausilio per lo sviluppo di progetti che possano favorire una mobilità sempre più sostenibile da un punto di vista economico, sociale e ambientale, sia di diffusione e applicazione della cultura dell'ingegneria dei trasporti.

In queste linee guida, dopo questa introduzione, segue il capitolo 2 di approfondimento degli aspetti generali. Il capitolo 3 delinea i passi fondamentali della programmazione e della pianificazione dei sistemi di trasporto in ambito urbano; il capitolo 4 delinea gli aspetti principali di un possibile iter amministrativo e il successivo capitolo 5 descrive la documentazione minima da produrre. Il capitolo 6 descrive gli aspetti principali delle procedure metodologiche di implementazione e il capitolo 7 introduce gli interventi di gestione della domanda, del traffico e dell'informazione mediante sistemi di trasporto intelligenti. Le linee guida terminano con le appendici, che contengono le principali normative di riferimento e una bibliografia essenziale.



### ***Premessa metodologica***

Nell'ambito dell'ingegneria dei sistemi di trasporto queste linee guida riguardano la progettazione delle reti stradali urbane. Esso è uno dei più rilevanti problemi di progetto delle reti, poiché la concentrazione di attività umane all'interno di aree urbane ha indotto un incremento nella domanda che non è stato e non può essere bilanciato da un corrispondente incremento dell'offerta infrastrutturale. L'unica possibilità è spesso quella di riorganizzare la configurazione attuale dell'offerta in modo da utilizzare in maniera efficiente le risorse esistenti, in particolare la topologia della rete e la regolazione delle intersezioni, ottimizzate mediante metodi di progetto. In questo contesto generale, molto spesso in Italia, non sono stati applicati metodi quantitativi per la progettazione delle reti di trasporto urbane; inoltre, i problemi di progetto della regolazione delle intersezioni e della topologia della rete sono considerati come problemi separati. In queste linee guida si forniscono indicazioni per superare almeno parzialmente alcune di queste limitazioni.

Considerando che le linee guida riguardano il progetto delle reti stradali in ambito urbano, ci si è concentrati maggiormente sul modo di trasporto mediante autovettura. Gli utenti di altri modi di trasporto e la collettività sono stati considerati in modo indiretto mediante valutazione di indicatori e nel calcolo della domanda. In ogni caso l'ottica riguarda la massimizzazione della soddisfazione per tutti gli utenti.

Si riportano di seguito, suddivise per categoria, le ipotesi principali alla base di queste linee guida.

- Scala temporale e spaziale:
  - pianificazione tattica, ossia di medio termine con investimenti di costo contenuto (si ipotizza che la scelta tra opzioni non è influenzata dai costi di realizzazione e/o manutenzione);
  - pianificazione urbana.

- Variabili di progetto:
  - caratteristiche funzionali dell'infrastruttura (ad esempio sensi di marcia, numero di corsie);
  - caratteristiche prestazionali (ad esempio parametri di regolazione semaforica, tariffazione della sosta e degli accessi).
  
- Ambito di applicazione:
  - condizioni ordinarie (non sono approfondite le condizioni non usuali derivanti da eventi eccezionali);
  - sistemi stradali individuali urbani.
  
- Strumenti matematici:
  - assegnazione di equilibrio;
  - progettazione con metodi di ottimizzazione.



## 2.

---

# ASPETTI GENERALI

### 2.1 Caratteristiche

---

Queste linee guida nascono con lo scopo di divulgare i principali concetti e strumenti di progetto e gestione delle reti di trasporto stradale nei confronti di una platea di tecnici ingegneri non specialisti in tematiche della mobilità e della pianificazione dei trasporti in genere.

L'obiettivo è consentire la corretta ed agevole applicazione degli elementi base per un corretto approccio nei confronti della progettazione e gestione delle reti stradali urbane, in modo da favorire un'ampia diffusione di procedure tecniche altamente specialistiche, fino ad ora di stretta competenza del mondo accademico o di tecnici esperti del settore.

Proprio per quanto scritto, si è voluto dare a queste linee guida una veste divulgativa, caratterizzata come di seguito.

- Linguaggio non tecnico: poiché le procedure e gli algoritmi richiedono competenze tecnico-scientifiche elevate, in questo volume volutamente si è limitato l'uso di formulazioni matematiche che, pur spiegando la natura analitica del fenomeno, avrebbero determinato una difficoltà di comprensione per utenti non esperti; ci si è pertanto orientati solo verso un'esplicitazione della funzionalità e del campo di applicabilità degli strumenti proposti; le procedure e gli algoritmi sono riportati nei volumi metodologici, che accompagnano queste linee guida.



- Modalità di utilizzo: la struttura delle procedure è stata volutamente semplificata in micro fasi, uguali per tutti i casi trattati. Tali micro fasi hanno riguardato:
  - l'obiettivo da raggiungere o il problema da risolvere, in modo da esplicitare bene l'accoppiamento fra esigenze-strumento-soluzione, al fine di evitare usi scorretti di algoritmi procedure poco note;
  - i dati di ingresso, strutturati e definiti puntualmente, anche attraverso una loro esemplificazione;
  - gli strumenti e le modalità di calcolo, riportati solo dal punto di vista funzionale e non come dettaglio analitico dell'algoritmo (per ciascuno si riporta anche il relativo flow-chart esplicativo);
  - i dati di uscita, intesi come risultati dell'applicazione del modello, al fine di comprendere l'utilità reale nell'applicazione di tali strumenti;
  - un esempio di calcolo, in un caso studio semplice, in modo da agevolare la comprensione dell'intera procedura di applicazione, dal problema alla soluzione.
- Applicabilità: si è scelto di individuare procedure di calcolo e gestione i cui dati di ingresso fossero semplici da reperire e disponibili, in modo da non creare una barriera di accessibilità all'uso di tali strumenti, ma anzi, di agevolarne il più possibile l'utilizzo.



## 2.2 Destinatari

---

Se fino a 20-25 anni fa le problematiche del traffico riguardavano prevalentemente i grandi centri urbani e le metropoli, l'aumento della propensione alla mobilità da parte della collettività, l'incremento dell'indice di motorizzazione, il sorgere di nuove esigenze di trasporto hanno fatto sì che anche i centri urbani medio piccoli iniziassero a percepire problemi legati alla gestione della mobilità e dei trasporti.

Per questo motivo, molti uffici tecnici comunali si sono trovati nella necessità di affrontare problematiche tecnico-ingegneristiche per le quali non avevano le competenze specifiche per una loro corretta risoluzione: dimensionamento di intersezioni, calcolo dei tempi di ciclo semaforici, struttura topologica delle reti di trasporto, ecc.

Queste linee guida tentano quindi di colmare tale deficit, rivolgendosi prevalentemente a tecnici sia collocati all'interno delle amministrazioni comunali, sia esterni con ruoli di consulenza o progettazione.

In particolare si rivolgono a:

- funzionari o responsabili degli uffici tecnici comunali: si tratta del personale tecnico in servizio presso gli assessorati dei lavori pubblici, della mobilità, oltreché del personale in forza ai comandi di polizia municipale (con funzione di gestione delle reti stradali);
- liberi professionisti e/o tecnici consulenti: accade sempre più spesso che, per via della rapida diffusione delle problematiche sulla mobilità anche in ambiti urbani più piccoli, anche tecnici non specialisti possano occuparsi, in qualità di ingegneri civili, di questioni legate alla gestione delle reti, sia direttamente come progettisti (ad esempio, nuovo progetto di un'intersezione), che in qualità di consulenti (nell'ambito, per esempio, di un Piano Urbanistico Comunale o di un Piano Particolareggiato di un'area comunale); queste linee guida consentono a queste figure di poter affrontare e risolvere problematiche semplici di gestione delle reti,

oltreché di contribuire a diffondere la cultura trasportistica specialistica nell'ingegneria civile;

- decisori e portatori di interessi pubblici: in particolare ci si rivolge a quei soggetti che, per motivi istituzionali o per ruolo, devono orientare scelte di amministrazione della cosa pubblica nel settore dei trasporti e della mobilità. In queste linee guida sono contenute delle procedure che supportano tali soggetti nel poter affrontare e valutare correttamente tali decisioni, attuando la scelta nella consapevolezza degli effetti e del tipo di ricadute che la stessa determina;
- docenti e studenti nei corsi di laurea del settore dell'ingegneria civile, dei sistemi di trasporto e dei sistemi territoriali che trovano nelle presenti linee guida e negli allegati metodologici gli adeguati approfondimenti tecnico-scientifici sulle tematiche inerenti l'analisi e il progetto delle reti urbane di trasporto.



## 2.3 Obiettivi e risultati

---

La complessità dei problemi legati al traffico richiede l'utilizzo di specifici strumenti, specificati e calibrati per tale scopo, che fino ad oggi sono stati ad esclusivo uso dei tecnici specialistici. Tali strumenti, quali algoritmi e modelli di simulazione, spesso risultano complessi nelle loro fasi di applicazione, in quanto necessitano di rilevanti livelli di conoscenza. A ciò si somma il fatto che le amministrazioni comunali non sempre hanno al proprio interno risorse umane e tecniche per poter affrontare correttamente tali problemi.

Non affrontando quindi il problema con le giuste competenze, il rischio è quello di non risolvere il problema o di individuare soluzioni non idonee o parziali che, al contrario, ne amplificano la portata e gli effetti.

Queste linee guida forniscono così alle amministrazioni strumenti e procedure in forma semplificata, facilmente applicabili per casi semplici, quali:

- simulazione dei carichi sulla rete (interazione domanda-offerta);
- individuazione di parametri di prestazione finalizzati ad individuare processi decisionali alternativi fra loro;
- dimensionamento di nodi;
- progettazione di parametri di regolazione semaforica;
- progettazione della topologia della rete.

Inoltre, le stesse linee guida hanno l'obiettivo di ampliare la consapevolezza che per affrontare correttamente le problematiche legate al traffico ed alla mobilità, devono essere utilizzate adeguate competenze tecniche ed analoghi strumenti specialistici propriamente calibrati. È importante ribadire la necessità di evitare approcci improvvisati, con assenza di competenze scientifiche, che, oltre a non risolvere il problema (anzi, forse a contribuire ad aumentarne l'impatto), generano la sensazione diffusa che il fenomeno sia aleatorio e quindi non governabile.

L'obiettivo principale di queste linee guida è fornire una metodologia per il progetto delle reti stradali in ambito urbano e proporre semplici esempi applicativi.

Obiettivo secondario è aumentare la consapevolezza, presso le amministrazioni pubbliche ed in generale la collettività, della necessità di affrontare temi delicati per una città quali quelli di traffico e della mobilità utilizzando tecniche e competenze specifiche di tipo ingegneristico, in grado di risolvere tali problemi con un approccio scientifico e tecnico condiviso.

Queste linee guida non hanno la presunzione di essere esaustive in materia di pianificazione dei trasporti, ma hanno l'obiettivo di fornire soluzioni concrete a specifici problemi (ad esempio il dimensionamento dei cicli semaforici), sia, più in generale, di indicare un processo metodologico da attuare ogniqualvolta ci si trovi ad affrontare problematiche legate al traffico ed alla mobilità.



## 2.4 Condizioni di applicabilità

---

Queste linee guida presentano delle condizioni di applicabilità che ne definiscono limiti e competenze, in modo tale che il loro utilizzo sia definito e chiaro rispetto agli obiettivi e risultati attesi.

Per quanto riguarda la collocazione spaziale l'ambito territoriale di applicabilità è quello della città: le analisi su contesti extraurbani, infatti, presuppongono condizioni di contesto e di uso dei modelli, che rendono tali strumenti non sempre direttamente applicabili.

Per quanto riguarda invece i tempi di applicazione è necessario specificare in dettaglio i singoli contributi:

- la parte relativa agli indicatori di performance, in particolare la valutazione delle prestazioni di una rete rispetto ad altre reti urbane simili, viene collocata nella fase preliminare di pianificazione, ovvero in quella nella quale un decisore si orienta verso quale assetto o ambito puntare per migliorare la rete (ad esempio la fluidità della rete, l'accessibilità, la sicurezza, il trasporto collettivo);
- la parte relativa alla simulazione dei carichi sulla rete per reti semplici (interazione domanda-offerta), al dimensionamento di nodi non complessi, alla progettazione di cicli semaforici per intersezioni isolate, al coordinamento di sistemi semaforici attuati, alla progettazione della topologia della rete, viene collocata a valle dei processi di pianificazione urbana del traffico, ovvero una volta definito ad esempio il PUT (Piano Urbano del Traffico) o il PGTU (Piano Generale del Traffico Urbano); si tratta di fasi di progettazione esecutiva di dettaglio, che quindi competono i piani particolareggiati o esecutivi.



## 2.5 Strumenti

---

In questo paragrafo sono sinteticamente definiti ed indicati gli strumenti analitici utilizzati per gli scopi indicati; ciò al fine di favorire la condivisione di strumenti ed algoritmi di calcolo.

Per poter applicare le presenti linee guida, è necessario poter disporre di alcuni algoritmi e modelli matematici in grado di poter gestire i metodi proposti:

- alcuni di questi sono algoritmi semplici, la cui implementazione può avvenire direttamente da parte dell'utilizzatore mediante un foglio di calcolo;
- in altri casi, viceversa, la complessità del modello impone la necessità di utilizzare software (sia di tipo commerciale che freeware) e modelli specifici elaborati allo scopo; le caratteristiche dei principali modelli, procedure e software sono riportati negli allegati metodologici:
  - "Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto. Metodologie: stato dell'arte e modelli", 2013, Maggioli Editore;
  - "Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto. Applicazioni", 2013, Maggioli Editore.



### 3.

## PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE

La pianificazione dei trasporti ipotizza e progetta strategie e politiche di intervento funzionali a favorire uno sviluppo equo e sostenibile del sistema di trasporto, a sostenere un migliore ed equo sviluppo del tessuto economico/ sociale del territorio e a garantire impatti accettabili sull'ecosistema.

La forte interazione tra il sistema territoriale (economico, sociale, produttivo) e il sistema di trasporto dovrebbe porre la pianificazione dei trasporti al centro delle attività politiche e tecniche di qualsiasi soggetto - pubblico o privato - con compiti di programmazione e/o di gestione delle componenti di un sistema di trasporto. Tuttavia, la pianificazione dei trasporti è, spesso, trascurata o portata avanti senza un'impostazione e metodologie adeguate e condivise. È, pertanto, utile definire una struttura metodologica in grado di indirizzare tecnici e amministratori verso una attività di pianificazione rigorosa, obiettiva ed efficace.

Il processo di pianificazione si articola su due livelli, strategico e tattico (si veda Figura 3.1). La pianificazione strategica si riferisce ad un orizzonte temporale di lungo termine, è tipicamente proporzionata rispetto a 10/15 anni ed ha l'obiettivo di ipotizzare interventi integrati su tutte le componenti di un sistema di trasporto, che richiedono tempi di attuazione e costi di investimenti elevati. La pianificazione tattica si riferisce ad un orizzonte temporale di breve termine, è tipicamente proporzionata rispetto ai 2/3 anni ed ha l'obiettivo di ipotizzare interventi sul sistema di trasporto realizzabili in tempi brevi e con impegni finanziari ridotti (disponibili nell'ambito dei finanziamenti ordinari). Se la pianificazione tattica ha il compito di gestire il sistema di trasporto, di risolvere criticità puntuali e/o transitorie e di supportare eventuali criticità in-

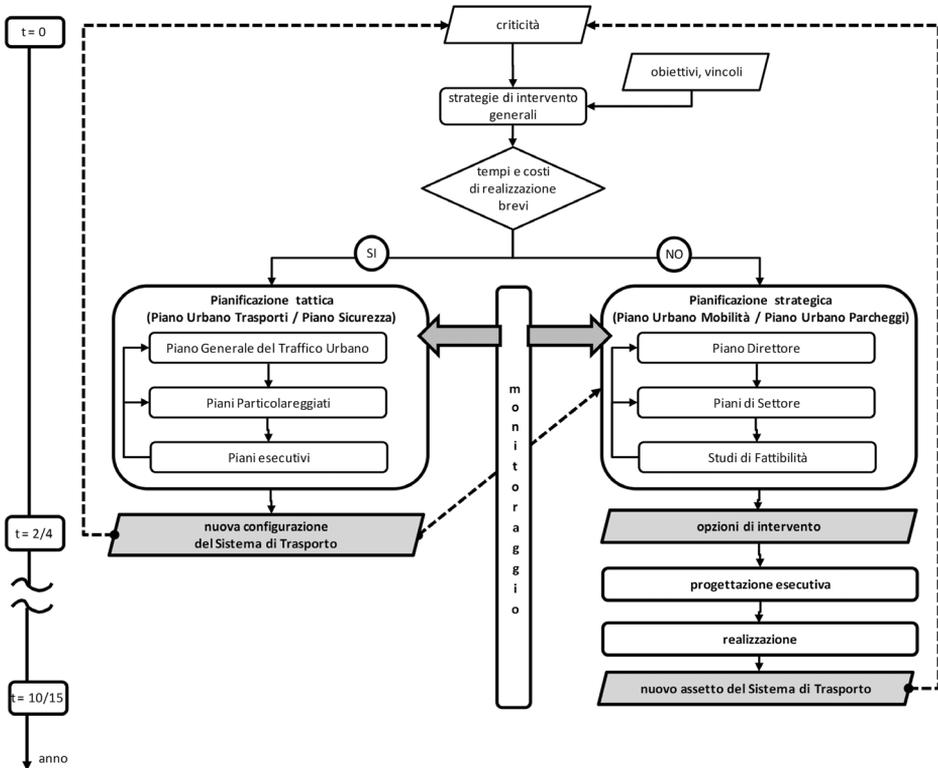
dotte dall'attuazione degli interventi di pianificazione strategica (ad esempio cantieri), la pianificazione strategica deve disegnare l'assetto del sistema di trasporto per la risoluzione duratura delle criticità, favorendo nel contempo lo sviluppo del tessuto economico e sociale dell'area di studio.

La pianificazione tattica può contare su un supporto normativo chiaro e consolidato (Art.36, D.L. 30 aprile 1992, n.285), mentre quella strategica non ha un supporto normativo chiaro che la renda obbligatoria o che ne definisca metodologie e strumenti standard per la sua attuazione. Attualmente i documenti previsti per i due livelli di pianificazione sono di seguito riportati.

- Il Piano Urbano del Traffico (PUT) costituisce uno strumento tecnico-amministrativo di breve periodo, finalizzato a conseguire il miglioramento delle condizioni della circolazione e della sicurezza stradale, la riduzione dell'inquinamento acustico ed atmosferico e il contenimento dei consumi energetici, nel rispetto dei valori ambientali. Esso deve essere coordinato, oltre che con i piani del traffico per la viabilità extraurbana, previsti dallo stesso articolo 36 del D.L. 30 aprile 1992, n.285, nuovo codice della strada, con i piani di risanamento e tutela ambientale e con i piani di trasporto. Essi costituiscono gli strumenti di valenza strategica per il governo del sistema della mobilità, dell'ambiente, dell'assetto urbanistico e della programmazione economica di un determinato ambito territoriale. La redazione del PUT è obbligatoria per tutti i comuni con più di 30.000 abitanti o per tutti i centri abitati di particolare valore ambientale (storico, artistico ed architettonico), con rilevanti carichi stagionali, o che presentino un intenso transito di mezzi pesanti, tale che ne derivino rilevanti ed estese problematiche di congestione della circolazione stradale. La normativa relativa ai PUT è corredata da un regolamento sull'articolazione del piano e sulle modalità di redazione dei documenti di pianificazione che lo compongono.



Fig. 3.1 Struttura concettuale della Pianificazione dei Trasporti



- Il Piano Urbano della Mobilità (PUM) è uno strumento non obbligatorio (a differenza del Piano Urbano del Traffico) a disposizione dei Comuni per definire adeguati progetti relativamente al sistema territorio-trasporti. Esso si pone generalmente su un periodo di riferimento di 10 anni, e contempla le ipotesi di investimenti in infrastrutture ed innovazioni gestionali da attuarsi nel medio periodo, sia su scala urbana che su scala metropolitana e sovra-comunale. La predisposizione dei PUM è stata codificata all'art. 22 della legge 24 novembre 2000, n. 340. Gli obiettivi dei PUM sono l'abbattimento dei livelli di inquinamento atmosferico ed acustico; la riduzione dei consumi energetici; l'aumento dei livelli di sicurezza del trasporto e della circolazione stradale; l'incremento della capacità di trasporto; l'aumento della percentuale di città-

dini trasportati dai sistemi collettivi anche con soluzioni di car pooling e car sharing; la riduzione dei fenomeni di congestione nelle aree urbane. Il PUM deve perseguire i suddetti obiettivi mediante un insieme organico di interventi nei seguenti settori: infrastrutture di trasporto pubblico e stradali; parcheggi di interscambio; tecnologie; parco veicoli; governo della domanda di trasporto attraverso la struttura dei mobility manager; sistemi di controllo e regolazione del traffico; informazione all'utenza; logistica e tecnologie destinate alla riorganizzazione della distribuzione delle merci nelle città.

- Il Programma Urbano Parcheggi (PUP) è stato introdotto dalla legge 122/1989 con lo scopo di migliorare l'organizzazione e la progettazione delle zone destinate ai parcheggi. Il PUP è redatto in stretta relazione con il PUT, da cui mutua alcune elaborazioni. Il PUP deve definire le strategie di gestione della sosta, sia in termini di localizzazione delle aree da destinare a parcheggio, che in termini di programmazione degli interventi. Il PUP integra e completa le scelte sulla sosta effettuate in fase di redazione del PUT e, soprattutto persegue i seguenti obiettivi: liberare alcune strade dai veicoli in sosta così da destinarle esclusivamente al loro transito; recuperare il carattere originario degli spazi storici compromesso dalla presenza disordinata di automobili in sosta; riprogettare alcuni elementi della mobilità urbana (marciapiedi, piazze, isole pedonali); facilitare la costruzione di parcheggi sotterranei.
- Il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS in inglese SUMP, Sustainable Urban Mobility Plan) è un documento di pianificazione non obbligatorio riconosciuto dalla Commissione Europea quale strumento strategico (con un orizzonte temporale di 10-15 anni) per il raggiungimento di risultati nel campo della mobilità sostenibile ed è condizione premiante per l'accesso ai finanziamenti comunitari. La Commissione Europea, nell'ambito del progetto ELTISplus, predisposto sotto il programma Intelligent Energy Europe, ha elaborato le linee guida per l'elaborazione dei PUMS. Le linee guida definiscono alcune strategie prioritarie strettamente legate fra loro (infrastrutturali, diffuse, gestionali della domanda e dell'offerta di trasporto); esse prevedono scenari scadenziati



nel tempo (piano-processo) e la misurazione periodica degli effetti prodotti dalla sua attuazione nel corso del periodo di validità (piano di monitoraggio).

Dalle precedenti considerazioni emerge come solamente la pianificazione tattica può contare su un quadro normativo che, oltre a definire l'obbligatorietà, delinea l'articolazione documentale e la struttura metodologica del documento di pianificazione. In tutti gli altri casi, non solo non esiste alcun obbligo di azione, ma la struttura concettuale e metodologica del piano è lasciata alla libera interpretazione dell'estensore del piano stesso. In un tale contesto, due sono le problematiche che emergono:

- l'impossibilità di avere documenti di pianificazione facilmente modificabili e/o aggiornabili;
- il rischio di una forte eterogeneità concettuale e metodologica dello stesso tipo di piano strategico ma appartenente a realtà territoriali differenti.

In assenza di un chiaro indirizzo normativo è, pertanto, necessario individuare un riferimento tecnico che definisca i requisiti che un documento di pianificazione dei trasporti deve avere e la relativa articolazione concettuale e metodologica. La pianificazione dei trasporti deve essere un'attività processuale dinamica, continua, rigorosa, condivisa e sempre pronta a modificare le proprie scelte in base all'evoluzione del contesto economico-sociale e degli effetti sul sistema di trasporto.

L'attività di pianificazione deve essere interpretata alla luce di un processo, ovvero come un insieme di attività correlate e/o interagenti tra loro, che trasformano elementi in entrata (input) in elementi in uscita (output) fornendo un valore aggiunto. L'insieme di suddette attività di un processo è sempre lo stesso, deve essere ripetibile e, a parità di input, deve fornire sempre gli stessi output. In questa ottica, è ragionevole che un documento di pianificazione si articoli in una successione di documenti prodotti in tempi differenti e con un livello di dettaglio/approfondimento crescente (Figura 3.1).

È opinione diffusa la necessità che si definisca un documento di indirizzo (piano direttore) che definisca obiettivi, vincoli e strategie generali di intervento. Il documento dovrebbe essere di competenza di una cabina di regia (decisore per quanto concerne obiettivi; decisore e strutture tecniche di supporto per quanto concerne i vincoli e le strategie). Il documento direttore non deve contenere soluzioni ma macro-indirizzi che vanno approfonditi e specificati in documenti successivi (piani attuativi per modalità di trasporto) e dettagliati in analisi di fattibilità tecnica, funzionale, economico-sociale, ambientale e finanziaria (studi di fattibilità).

Il documento direttore, a valle di attività di monitoraggio (trasportistiche, sociali, territoriali, economiche, ambientali) e con intervalli regolari, deve recepire le esigenze del sistema territoriale, economico e dei trasporti e, se necessario, intervenire sui macro-indirizzi e, pertanto, alimentare dinamicamente e continuamente i successivi documenti di pianificazione (uffici tecnici dedicati).

La pianificazione dei trasporti deve, inoltre, essere rigorosa, obiettiva e trasparente. Queste caratteristiche, oltre a rendere standardizzata l'attività di pianificazione, favoriscono l'aggiornamento e/o verifica dei piani, rendono comprensibili e accettabili le ipotesi di piano e favoriscono l'attuazione dell'attività di pianificazione stessa. Siffatte caratteristiche richiedono: il ricorso a metodologie ampiamente condivise nella letteratura scientifica, l'utilizzo di fonti di dati affidabili e condivise, la descrizione delle metodologie e delle fonti di dati utilizzate. Le metodologie garantiscono il rigore, l'obiettività e trasparenza. La qualità delle fonti di dati garantiscono realismo e robustezza dei risultati.

La pianificazione dei trasporti deve, infine, proporre scelte condivise. La condivisione è fondamentale per definire obiettivi, per favorire la definizione delle strategie e politiche di intervento, per rendere consapevoli degli interventi previsti gli utenti del sistema di trasporto e la collettività. Condivisione significa coinvolgimento degli share-holders, della collettività direttamente coinvolta (utenti) e di quella parte non direttamente coinvolta (collettività). Ciascuna componente andrebbe coinvolta nelle differenti fasi dell'attività di



pianificazione: nella definizione degli obiettivi e delle strategie generali, nella definizione delle politiche con cui attuare le strategie, nella definizione delle specifiche opzioni di intervento e/o nell'attuazione delle opzioni di intervento stesse. Anche in questo caso è opportuno che la condivisione avvenga con strumenti standard e, ove possibile, basati su metodologie consolidate. Ove è prevista una partecipazione attiva è consigliabile ricorrere a metodologie che indirettamente facciano emergere il peso (la preferenza) associata ad uno specifico obiettivo, strategia o politica (Delphi, Analytic Hierarchy Process, ecc.). Ove è utile condividere soluzioni per informare e per favorire l'attuazione delle soluzioni stesse è consigliabile ricorrere a tecniche di marketing territoriale, focus group, ecc.

Per potere rispondere ai citati requisiti, la redazione di ciascun documento (in cui si dovrebbe suddividere l'attività di pianificazione) dovrebbe, a seconda il dettaglio richiesto, articolarsi in specifiche fasi e ciascuna fase, a sua volta, in specifiche attività tecniche o politiche (Figura 3.2).

### **FASE 1 - Analisi della situazione attuale**

È una delle fasi più delicate dell'attività pianificazione, perché rappresenta le fondamenta dell'attività di pianificazione stessa. L'obiettivo è: (i) fornire un'analisi dell'assetto trasportistico, sociale, economico e territoriale dell'area di studio; (ii) fornire un'analisi rispetto all'orizzonte temporale di pianificazione. La finalità primaria è l'individuazione delle criticità esistenti, una previsione delle criticità future e la stima delle variabili di ingresso dei modelli di simulazione del funzionamento del sistema di trasporto.

### **FASE 2 - Specificazione e implementazione del modello di funzionamento del Sistema di Trasporto.**

È prevista la specificazione, calibrazione e implementazione del sistema di modelli funzionale alla simulazione del funzionamento del sistema di trasporto (interazione domanda-offerta) e/o funzionali alla progettazione di componenti del sistema stesso (sensi di marcia, intersezioni semaforizzate, ecc.). La prima tipologia di modelli (simulazione del funzionamento) consente la

simulazione degli effetti delle politiche di intervento sul sistema di trasporto (sezione 6.2): la stima dei flussi di utenti sulle infrastrutture o servizi, la stima degli impatti da traffico, la stima del livello di servizio offerto (tempi e costi di viaggio). La seconda tipologia di modelli (progettazione di componenti), utilizzando i modelli di interazione domanda-offerta, supportano la definizione dei sensi di marcia (sezione 6.5), la regolazione delle intersezioni (sezioni 6.3 e 6.4). Entrambe le tipologie di modelli sono oggetto di queste linee guida.

### **FASE 3 - Costruzione e simulazione degli scenari di intervento**

In questa fase le attività sono prevalentemente concettuali e consistono, a partire dalle strategie generali di intervento, nella definizione delle politiche più adatte a perseguire gli obiettivi prefissati nella Fase 1. In particolare, si procede alla costruzione dello scenario di non intervento (tendenziale senza interventi, a meno di quelli già previsti) e alla costruzione di differenti scenari di intervento. In caso di pianificazione strategica si investigano politiche appartenenti a strategie territoriali, infrastrutturali, normative, gestionali/organizzative. In caso di pianificazione tattica si investigano politiche appartenenti prevalentemente a strategie gestionali, organizzative e/o normative.

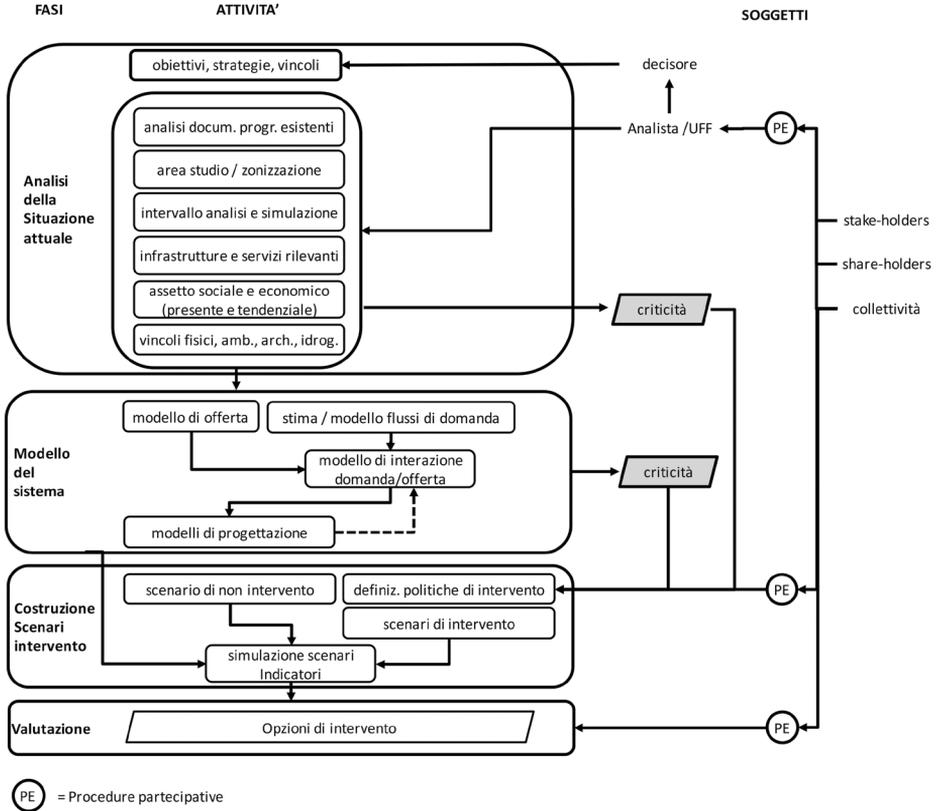
Per ciascuno scenario, mediante implementazione dei modelli specificati nella Fase 2, si procede alla simulazione del funzionamento del sistema di trasporto e alla stima di indicatori in grado di misurare il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

### **FASE 4 - Valutazione e scelta dello scenario di intervento**

In questa fase l'attività consiste nel confronto degli scenari di intervento (sezione 6.1) tra di loro e con lo scenario di non intervento. La valutazione si basa su tecniche di valutazione benefici-costi o multi-criteria ed è condotta a partire dagli indicatori stimati nella Fase 3. Il risultato di questa fase è l'individuazione del più efficace ed efficiente scenario di intervento o la definizione di una rosa di scenari di intervento all'interno della quale il decisore è chiamato scegliere.



Fig. 3.2 Fasi e attività del processo di pianificazione





## 4.

# ITER AMMINISTRATIVO

Progettare in modo sostenibile ed economicamente efficiente una rete stradale urbana, garantendo un contenimento delle spese per l'Amministrazione Pubblica, significa ottimizzare la funzionalità e le caratteristiche geometriche del sistema stradale, evitando di progettare nuove infrastrutture con conseguente dispendio di risorse economiche. Per quanto detto il progetto delle reti stradali in ambito urbano trova piena attuazione all'interno del PUT (Piano Urbano del Traffico). Questa sezione esamina un possibile iter amministrativo consolidato sulla base di alcune esperienze reali.

Il Nuovo Codice della Strada (art. 36, D. L. 30 aprile 1992 n° 285) prevede la redazione del PUT per i comuni che soddisfino ad una delle seguenti condizioni: popolazione superiore a 30.000 abitanti; presenze stagionali superiori a 10.000 unità; comuni in cui sussistono elevate esigenze di tutela ambientale. Nel giugno del 1995 il Ministero dei LL. PP. ha pubblicato le Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei Piani Urbani del Traffico (G.U. n. 146, 24 giugno 1995) che, oltre a definire nel dettaglio i contenuti della progettazione, definiscono anche i tre livelli del PUT "... rappresentativi anche del suo specifico iter di approvazione da parte degli organi istituzionali competenti ...":

- Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU): esso è inteso quale progetto preliminare o piano quadro del PUT ed è relativo all'intero centro abitato; indica la politica intermodale adottata, la qualificazione funzionale dei singoli elementi della viabilità principale e degli eventuali elementi della viabilità locale destinati esclusivamente ai pedoni (classifica funzionale della viabilità), il rispettivo regolamento viario, (anche delle occupazioni di suolo pubblico), il dimensionamento preliminare degli interventi pre-



visti in eventuale proposizione alternativa, il loro programma generale di esecuzione (priorità di intervento per l'esecuzione del PGU), ecc.;

- Piani Particolareggiati: intesi quali progetti di massima per l'attuazione del PGU, relativi ad ambiti territoriali più ristretti di quelli dell'intero centro abitato, quali - a seconda delle dimensioni del centro medesimo - le circoscrizioni, i settori urbani, i quartieri o le singole zone urbane e da elaborare secondo l'ordine previsto nell'anzidetto programma generale di esecuzione del PGU;
- Piani Esecutivi: intesi quali progetti esecutivi dei Piani Particolareggiati del traffico urbano; la progettazione esecutiva riguarda, di volta in volta, l'intero complesso degli interventi di un singolo piano particolareggiato, ovvero singoli lotti funzionali della viabilità principale e/o dell'intera rete viaria di specifiche zone urbane, facenti parte di uno stesso piano particolareggiato.

Le scadenze temporali per la redazione e la successiva attuazione dei tre livelli di definizione sono i seguenti:

1. per il PGU erano previsti 12 mesi dalla pubblicazione delle Direttive sulla G.U. comprensivi dei tempi tecnici necessari per l'adozione del Piano da parte dell'Amministrazione;
2. per i Piani Particolareggiati e per i Piani Esecutivi nel caso in cui vengano redatti contestualmente, e per la loro completa attuazione, sono previsti due anni dall'adozione del PGU;
3. in ciascuno dei bienni successivi l'Amministrazione dovrà provvedere all'aggiornamento del PUT con un anno di tempo dedicato all'adozione delle sue varianti e l'anno successivo per l'attuazione dei relativi interventi; il PUT viene redatto sulla base di indirizzi formulati dalla Giunta Comunale.

Nei comuni di dimensione più piccola o con problematiche di mobilità non

significative, si tende ad accorpare le tre fasi in una, parlando, genericamente, di Piano Urbano del Traffico.

Ai sensi della Direttiva 2001/42/CE, recepita in Italia con il D.Lgs 152/2006 nella Parte II, Norme in materia Ambientale, e s.m.i., prima dell'adozione, il PUT potrebbe essere sottoposto alla Valutazione Ambientale Strategica (VAS). In questo caso la VAS verrebbe allegata al PUT e permetterebbe di valutarne le conseguenze sul piano ambientale e di garantire che le considerazioni di ordine ambientale, economico e sociale siano valutate in modo adeguato fin dalle prime fasi del processo decisionale inerente l'adozione del piano.

Di seguito è riportato un possibile iter amministrativo per la redazione, l'adozione, l'approvazione e l'attuazione del PUT, e le linee generali per la sua gestione (le indicazioni relative al PUT valgono anche nel caso in cui l'Amministrazione comunale intenda dotarsi di solo PGTU). Il presente iter, pur non essendo strettamente vincolante, è stato desunto da diverse esperienze di pianificazione del settore e nel rispetto di quanto riportato nelle direttive per la redazione dei PUT.



## 4.1 Conferimento incarico

---

L'incarico di redazione del PUT è conferito dall'Amministrazione Comunale a tecnici specializzati appartenenti al proprio personale o/e ad esperti esterni in materia di pianificazione del traffico e della mobilità. La direttiva n°146 del 1995 proponeva di scegliere i tecnici da un costituendo albo degli esperti in materia di PUT: tale albo, a tutt'oggi, non è stato ancora realizzato, per cui la valutazione sul grado e livello di competenza viene effettuata sulla base del curriculum prodotto e comunque nel rispetto delle procedure stabilite dal D.Lgs. 163/2006.

Per la redazione del PUT l'Amministrazione Comunale può incaricare:

- il proprio ufficio tecnico di competenza o, se costituito, l'Ufficio del Traffico;
- soggetti privati o pubblici da selezionare mediante bando pubblico di gara: nel relativo bando dovranno essere indicati il livello di Piano da sviluppare, l'ambito territoriale d'intervento, gli eventuali contenuti collaterali da includere e la disponibilità economica; conseguentemente, la scelta del soggetto dovrà basarsi, oltre che sui titoli e sul curriculum, anche sugli aspetti di natura metodologica e sul ribasso relativo alla parcella ed ai tempi di esecuzione;
- soggetti pubblici mediante incarico diretto: attraverso la procedura di accordo fra le amministrazioni pubbliche, ai sensi dell'ex art.15 della L.N. 7 Agosto 1990 n°241 e ss.mm.ii.;
- soggetti privati mediante incarico diretto: qualora l'importo della prestazione professionale sia al di sotto della soglia stabilita per legge (ad oggi pari al massimo a 40.000 € o inferiore a seconda delle disposizioni delle singole Amministrazioni).

L'incarico può essere assegnato per la redazione di tutti e tre i livelli di progettazione oppure per uno solo o per due livelli di pianificazione (par-



tendo naturalmente dal più alto). Tuttavia per la continuità di progettazione è buona norma incaricare lo stesso soggetto per tutti i livelli.

Nella delibera di incarico dovranno anche essere indicati gli organi politici (sindaco, assessore al traffico, commissione consigliare, ecc.) e tecnici (dirigente e/o funzionario dell'Ufficio Traffico o dell'Ufficio Tecnico, comandante della Polizia Municipale o suo delegato, ecc.) di riferimento per la redazione del Piano e per l'acquisizione delle fonti e delle basi dati interne all'Amministrazione.



## 4.2 Redazione e adozione

---

Il PUT costituisce atto di programmazione ed è soggetto ad approvazione secondo le procedure previste dal D.Lgs. 267/2000. Questo stesso iter di adozione è opportuno sia utilizzato nel caso di varianti al PGTU, mentre varianti modeste al sistema di viabilità, possono essere direttamente oggetto di ordinanze.

Di seguito si riportano le fasi di redazione ed adozione del PGTU, o del PUT laddove in un'unica fase vengano sviluppati tutti e tre i livelli di progettazione. L'iter-amministrativo per l'adozione può essere il seguente:

1. il soggetto incaricato redige il Piano e lo consegna al Dirigente o responsabile del servizio che esprime parere favorevole. Successivamente il Piano viene portato in Giunta Comunale per la sua adozione preliminare: in caso di parere negativo, il piano ritorna agli uffici per le modifiche o integrazioni, mentre in caso di parere positivo, il Piano viene adottato in via preliminare tramite delibera di Giunta;
2. dopo la delibera di Giunta, il Piano passa anche in Consiglio Comunale per una sua adozione anche da parte del Consiglio;
3. il Piano viene poi assoggettato ad una fase di pubblicazione di almeno trenta giorni per consentire a cittadini e portatori d'interesse in genere di formulare eventuali osservazioni;
4. completato l'iter di acquisizione dall'esterno, il responsabile del servizio congiuntamente con l'incaricato alla redazione del PGTU verifica le osservazioni, stabilendo parere tecnico favorevole o sfavorevole;
5. il Piano, nella sua stesura originale, con le osservazioni ed i pareri degli uffici, ritorna in consiglio comunale (previo passaggio consultivo in Commissione Consigliare competente per un parere istruttorio non vincolante) che ne delibera l'adozione in via definitiva (approvazione finale). Se il consiglio non delibera l'adozione in via definitiva, la modifica compete alla Giunta Comunale e il Piano rientra all'incaricato della redazione del piano.

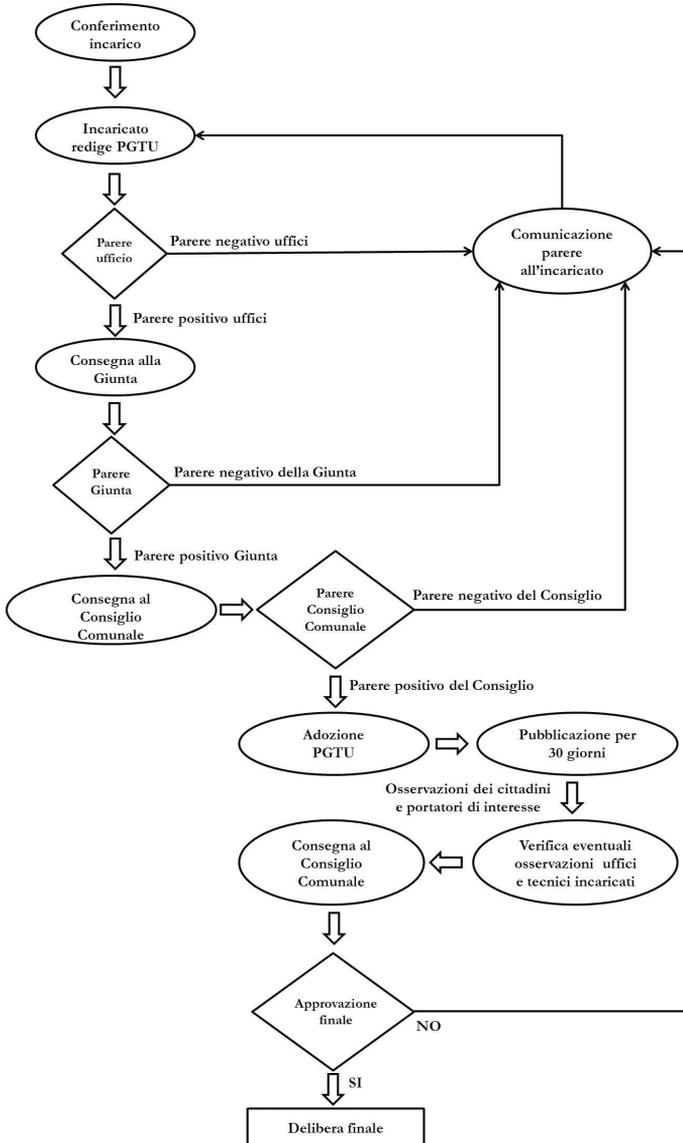


Il Piano è considerato vigente a decorrere dalla data indicata nella delibera di approvazione.

Nel caso in cui si parli di PUT questo diventa vigente, se si parla di PGTU si hanno successivamente i due livelli di progettazione di dettaglio.

La Figura 4.1 riporta le fasi di conferimento incarico, redazione e adozione del PGTU.

Fig. 4.1 Iter di approvazione del PGTU



### 4.3 Attuazione e strumenti

---

Il PGTU viene portato in attuazione mediante la redazione dei due livelli successivi:

- Piani Particolareggiati per settori di intervento o aree della città;
- Piani Esecutivi dei Piani Particolareggiati.

Per i piani particolareggiati ed esecutivi, ferme restando le procedure precedentemente indicate per quanto attiene l'incarico di redazione (salvo che per gli interventi dell'arredo urbano di aree pedonali, il cui progetto preliminare potrà anche essere oggetto di specifico concorso di idee), devono adottarsi procedure semplificate relativamente alle loro fasi di controllo e di approvazione, in modo da rispettare la loro qualificazione prettamente tecnica. Questi due livelli di progettazione vengono approvati esclusivamente dalla Giunta Comunale in quanto attuazione del PGTU e diviene qui essenziale la fase di presentazione pubblica attraverso le campagne informative, propedeutiche all'entrata in esercizio degli interventi di Piano.



## 4.4 Applicazione

---

Il Piano Urbano del Traffico, una volta approvati gli ultimi due livelli, si porta a compimento secondo le seguenti modalità:

- emissione di ordinanze di regolamentazione del traffico e della sosta da parte del dirigente della polizia municipale, conformemente alle previsioni del Piano del traffico e relativi piani particolareggiati e/o tematici.
- interventi diretti da parte del Settore Lavori Pubblici, nell'ambito delle proprie competenze, in accordo con le indicazioni di piano nel caso in cui siano richieste modifiche di tipo infrastrutturale e non sia stato predisposto l'Ufficio Traffico con relative competenze in materia.



## 4.5 Gestione

---

L'amministrazione comunale attraverso gli uffici tecnici, ciascuno per le competenze proprie assegnate, segue i seguenti processi di gestione:

- ordinario: garanzia del rispetto delle discipline adottate, informazione all'utenza e vigilanza, controllo dell'efficacia delle discipline stesse e del raggiungimento degli obiettivi prefissati, aggiornamento delle discipline in funzione dei risultati degli accertamenti svolti;
- dell'emergenza: provvedimenti straordinari di limitazione della circolazione veicolare per il contenimento degli inquinamenti atmosferico ed acustico, provvedimenti di potenziamento del trasporto collettivo, per sostituire in parte il trasporto privato.

Per l'aggiornamento del PUT si seguono procedure analoghe a quelle anzidette, sia nelle fasi di assegnazione degli incarichi di progettazione, sia in quelle di eventuale adozione del nuovo PGU e di attuazione dei nuovi interventi previsti. Alcuni Comuni seguono procedure diverse sulla base di ordinanze o circolari vigenti negli stessi.

## 5.

# DOCUMENTAZIONE

## 5.1 Relazioni

La progettazione delle reti stradali urbane, di reti semaforiche o di singole intersezioni è accompagnata da una relazione tecnica che contenga la descrizione di tutte le attività svolte per la progettazione, dei risultati ottenuti e degli allegati alla relazione stessa (tavole grafiche, planimetrie, foto, ecc.).

La relazione tecnica deve prevedere almeno i seguenti capitoli:

- descrizione e finalità della progettazione: questo capitolo riporta la descrizione del problema oggetto della progettazione, il suo inquadramento territoriale e, laddove utile, socio-economico, gli obiettivi e le finalità del progetto;
- analisi dell'offerta di trasporto: questo capitolo riporta un'accurata analisi della situazione attuale del sistema di offerta di trasporto, descrivendo i rilievi effettuati e/o le fonti utilizzate per la definizione di tutti gli elementi dell'offerta, precisando eventuali ipotesi semplificative utilizzate;
- analisi e/o stima della domanda di trasporto: questo capitolo riporta l'analisi e/o la stima della domanda di trasporto (flussi di spostamenti), descrivendo i metodi utilizzati per la stima della domanda e/o per i rilievi della stessa, o, laddove disponibili, i dati di domanda utilizzati, nonché i risultati ottenuti, evidenziandone i livelli di attendibilità e precisione;
- metodi e strumenti di calcolo: questo capitolo descrive i metodi e gli strumenti di calcolo adottati per la progettazione del sistema di trasporto, precisando le motivazioni di utilizzo degli stessi ed eventuali limiti di applicabilità;



- risultati: questo capitolo descrive, facendo riferimento laddove necessario a tavole e/o tabelle allegate, i risultati della progettazione, in termini di valori assunti dalle variabili di progetto e di risultati conseguiti (valori di indicatori di prestazione); è necessario riportare un confronto tra la situazione di progetto e la situazione di non progetto, evidenziando i miglioramenti ottenuti.

La relazione, a seconda della complessità del problema, può presentare ulteriori capitoli o appendici specifiche; si consiglia l'uso di appendici per una specificazione di alcuni aspetti di dettaglio di metodi e strumenti di progettazione. Gli allegati devono essere richiamati e descritti all'interno della relazione.

## 5.2 Attuazione e strumenti

---

Le cartografie sono uno strumento indispensabile per la progettazione di reti stradali urbane, reti semaforiche o semafori isolati. Le cartografie sono usualmente allegate alla relazione; un'immagine delle stesse può essere riportata all'interno della relazione con un fattore di scala differente. La scala della cartografia è consona all'oggetto della progettazione ed al livello di dettaglio necessario.

L'utilizzo di foto e filmati, da riportare in allegato alla relazione, è utile per le fasi di rilievo dell'offerta e della domanda di trasporto. Le foto ed i filmati sono accoppiati a cartografie che ne riportino i punti e le direzioni di ripresa. Eventuali targhe di auto parcheggiate o in transito sono oscurate per il rispetto della privacy.



### 5.3 Indagini sulla domanda e sull'offerta

---

La progettazione delle reti stradali urbane, di reti semaforiche o di singole intersezioni necessita di indagini sulla domanda e sull'offerta di trasporto. Le indagini sono sinteticamente descritte in specifici capitoli della relazione e riportate con maggiore dettaglio, se necessario, in allegati o appendici alla relazione stessa.

Le indagini sulla domanda di trasporto possono riguardare spostamenti origine-destinazione e/o flussi di traffico su alcuni o tutti gli elementi dell'offerta di trasporto. Le indagini sono di norma campionarie ed utilizzano metodi di campionamento casuale. Per i risultati delle indagini campionarie si fornisce il livello di precisione ed attendibilità delle stime.

Le indagini sull'offerta di trasporto possono riguardare le dimensioni (larghezza, lunghezza, ecc.), la topologia (sensi di marcia, manovre consentite, ecc.) e le prestazioni (velocità di flusso libero, flussi di saturazione, ecc.) di elementi della rete o dell'infrastruttura oggetto della progettazione. Alcune grandezze possono essere rilevate da cartografie quotate e georeferenziate, laddove disponibili.

## 5.4 Calcolo (simulazione)

---

I metodi e gli strumenti di calcolo da adoperare per la progettazione sono descritti in relazione. Nel caso in cui il metodo utilizzato necessiti di una descrizione ampia e complessa, non di interesse generale per la comprensione dei contenuti della relazione e dei risultati ottenuti, lo stesso può essere descritto accuratamente in un allegato o un'appendice alla relazione, riportando nel corpo della relazione solo una sua descrizione sintetica. La descrizione dei metodi e degli strumenti di calcolo utilizzati riporta le motivazioni della scelta.

Il calcolo, in generale, riguarda diverse fasce orarie di riferimento della giornata (ora di punta del mattino, ora di punta del pomeriggio, ora di morbida, ecc.) e può condurre a definire diversi valori delle variabili di progetto nelle diverse fasce orarie. Nel caso in cui la progettazione debba essere univoca, come per il progetto della topologia della rete urbana, la configurazione di progetto è verificata in corrispondenza delle diverse fasce orarie. La necessità di considerare diverse fasce orarie è presente anche nelle fasi di stima e/o di rilievo delle caratteristiche della domanda di trasporto.

Eventuali ipotesi semplificative alla base del calcolo sono evidenziate, opportunamente giustificate ed il loro possibile impatto sul risultato finale è stimato.



## 5.5 Database

---

I dati raccolti, sia sulla domanda che sull'offerta di trasporto, le caratteristiche topologiche, funzionali e prestazionali del sistema di offerta di trasporto, la domanda di trasporto stimata ed i risultati della progettazione sono organizzati in un database. Il database consente interrogazioni basate sulle variabili di progetto e sulle dimensioni temporali. L'utilizzo di database geografici (GIS) è particolarmente indicato per progetti riguardanti reti stradali o parti di esse.



## 6.

# PROCEDURE DI CALCOLO

Come riportato nell'introduzione, per progettare un sistema di trasporto devono essere individuati ed utilizzati metodi quantitativi. Questi metodi devono essere applicati per stimare gli effetti degli interventi prima della loro realizzazione. Ad ogni livello del processo di pianificazione si identificano opzioni coerenti di strategie e di interventi da adottare per raggiungere gli obiettivi rispettando i vincoli.

Nello svolgimento del progetto agiscono tre gruppi di soggetti, spesso secondo strategie in competizione:

- gli utenti, in genere considerati dal progettista decisori razionali ma con comportamenti di scelta non completamente e perfettamente prevedibili a priori;
- i gestori, che definiscono le strategie ottimali di funzionamento del sistema, noto il comportamento degli utenti;
- la collettività, che subisce gli effetti (esternalità) delle scelte e delle strategie attuate da utenti e gestori sul modo di trasporto stradale.

Ogni gruppo ha numerosi obiettivi in contrasto tra loro e in competizione con gli altri gruppi; pertanto l'obiettivo della progettazione è definire configurazioni dell'offerta che soddisfino differenti esigenze, a volte contrastanti.

Gli utenti hanno come obiettivi la sicurezza dello spostamento, la massimizzazione delle utilità ad esso connesse, l'affidabilità, la comodità, ecc.



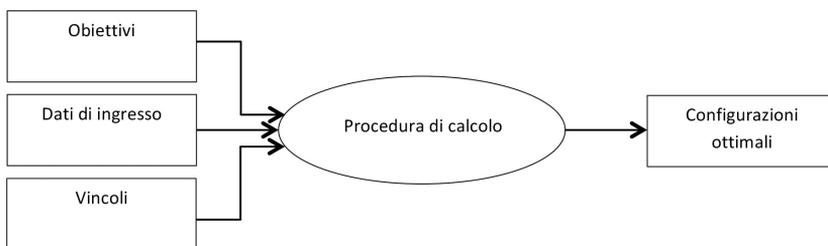
I gestori hanno come obiettivi / vincoli la massimizzazione dell'utilità sociale, la minimizzazione dei costi di gestione, la garanzia dell'accessibilità (anche sociale) dei territori, la minimizzazione degli impatti sociali e ambientali, più in generale i molteplici aspetti connessi alla sostenibilità economica, sociale e ambientale nonché equa per le future generazioni.

La collettività ha come obiettivo principale la minimizzazione degli impatti sociali e ambientali, quali inquinamento atmosferico ed acustico, consumi energetici, ecc.

La progettazione del sistema con l'ausilio di metodi quantitativi diventa pertanto un valido approccio efficiente ed efficace per individuare le configurazioni di rete congruenti con gli obiettivi dei diversi gruppi, considerando i comportamenti di utenti (vincoli comportamentali), le dotazioni infrastrutturali e di servizi esistenti nel territorio (vincoli tecnici) e il quadro legislativo e normativo di riferimento (vincoli normativi).

Pertanto, dal punto di vista del calcolo, il progetto può essere interpretato come un problema che, a partire da un insieme di obiettivi, vincoli e dati di ingresso, fornisce variabili di uscita che descrivono le configurazioni ottimali (Figura 6.1).

**Fig. 6.1 Schema di un problema di progetto delle reti**



L'analisi di possibili opzioni di intervento, preliminarmente definite, consiste nel confrontare e valutare le differenti configurazioni mediante (1) indicatori per individuare le caratteristiche e gli effetti susseguenti all'implementazione di ciascuna configurazione, o per fornire all'analista informazioni che posso-

no essere utilizzate per migliorare la configurazione attuale o tendenziale. I metodi quantitativi di progettazione consentono di generare le configurazioni ottimali dell'offerta mediante procedure automatiche o semi-automatiche (ottimizzazione); le procedure di individuazione delle configurazioni ottimali utilizzano alcuni degli indicatori di analisi.

L'interazione tra comportamento di scelta degli utenti e livello di servizio offerto dal sistema di trasporto è efficacemente descritto dal (2) modello di interazione domanda-offerta. I metodi quantitativi di progettazione possono includere al loro interno un'esplicita descrizione dell'interazione domanda-offerta mediante opportuni vincoli ulteriori (simulazione).

In ambito urbano in assenza di significative risorse economiche, o durante la fase di reperimento di tali risorse, è opportuno riorganizzare la configurazione attuale dell'offerta in modo da utilizzare in maniera efficiente le risorse disponibili. Pertanto la (3) regolazione delle intersezioni a livello locale e (4) di area e la (5) progettazione della topologia (allocazione delle corsie) della rete sono rilevanti strategie di intervento.

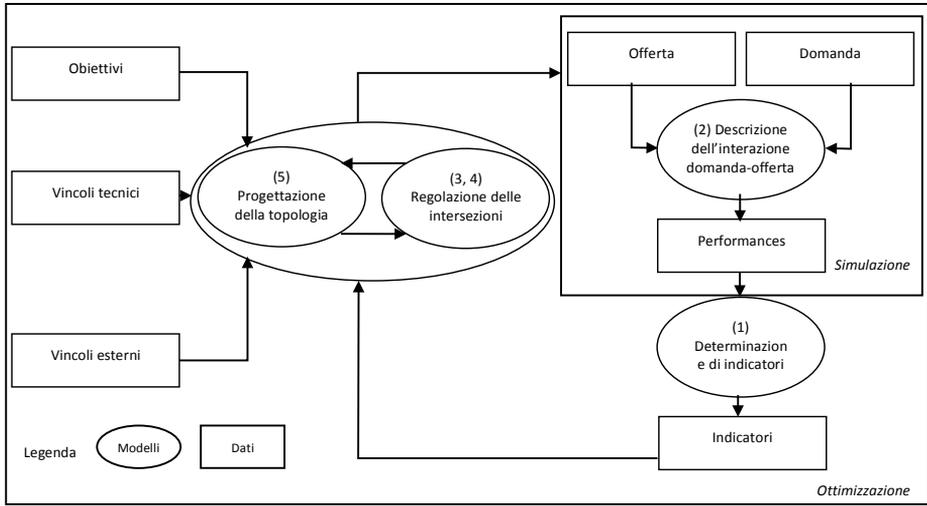
Pertanto, la metodologia complessiva di calcolo può essere suddivisa in cinque procedure principali:

- (1) determinazione di indicatori per la valutazione;
- (2) descrizione dell'interazione domanda-offerta con domanda elastica;
- (3) regolazione delle intersezioni a livello locale;
- (4) regolazione delle intersezioni a livello di area;
- (5) progettazione della topologia.

Nella Figura. 6.2 si riporta uno schema dei singoli processi e il legame esistente.



Fig. 6.2 Metodologia complessiva



## 6.1 Indicatori per la valutazione

---

La valutazione di una rete stradale urbana può essere effettuata attraverso indicatori rappresentativi della sua funzionalità; tali indicatori sono calcolati per ambiti tematici specifici quali deflusso, accessibilità, sicurezza stradale, sistemi di supporto alternativi, ecc., e visti attraverso prospettive differenti (utente, gestore, collettività). La valutazione di una rete può riguardare sia l'intera funzionalità della stessa rispetto ad altre realtà urbane similari (al fine di misurarne la performance), sia il funzionamento di tutta o parte di essa rispetto ad assetti organizzativi (quali sensi di marcia) alternativi fra loro.

### 6.1.1 Obiettivo o problema da risolvere

---

L'obiettivo, cuore della ricerca, consiste nel guidare il decisore politico e tecnico verso un chiaro indirizzo strategico, rispetto al quale orientare le scelte che consentano di ottenere la miglior funzionalità del sistema urbano o di una porzione di rete.

Lo scopo principale è elaborare un semplice sistema di supporto alle decisioni che orienti queste ultime verso gli ambiti che garantiscono la miglior performance di funzionalità della rete.

Per quanto riguarda gli ambiti tematici gli obiettivi riguardano:

- deflusso veicolare: individuare un assetto di rete che consenta di migliorare i parametri del deflusso, quali rapporto flusso/capacità, velocità a flusso libero e a rete carica, livello di servizio, ecc.;
- accessibilità: definire un assetto di rete che consenta di migliorare l'accessibilità ai territori e ai poli/attrattori ivi localizzati, misurato attraverso parametri quali tempi di percorrenza, modello di generazione, modello di attrazione, ecc.;
- sicurezza stradale: definire una struttura di rete ottimale in grado di minimizzare gli eventi ledenti sulla stessa, da misurare attraverso indicatori specifici quali diminuzione del numero di morti, riduzione dei punti di conflitto, riduzione del costo sociale, ecc.;



- sistemi di trasporto alternativi: individuare un assetto ottimale della rete stradale anche in funzione di sistemi di trasporto alternativi all'auto privata quali ad esempio, il sistema di trasporto collettivo urbano; tale assetto verrà misurato attraverso parametri specifici quali, le frequenze di linea, numero di autobus e passeggeri trasportati in un anno.

Tali ambiti tematici si riferiscono a tre differenti aree di meta quali:

1. utenti, il cui obiettivo è rappresentato dalla funzionalità della rete dal punto di vista delle specifiche performance di utilizzo, ovvero riduzione dei tempi di percorrenza, minore incidentalità, maggiore accessibilità al territorio, ecc.;
2. gestori, il cui obiettivo è quello di ottimizzare le risorse, in modo da mantenere un adeguato livello di funzionalità della rete minimizzando gli impegni finanziari;
3. collettività, il cui obiettivo è quello di minimizzare gli impatti esterni prodotti dal sistema di trasporto stradale e quindi ottimizzare le performance della rete sulla base dell'utilizzo della stessa attraverso altri modi di trasporto.

Poiché sono differenti le tecniche di confronto delle reti con reti simili da quelle di valutazione di porzioni della stessa con assetti diversi, per facilitare la lettura, le successive sezioni verranno divise in due sottosezioni.



## 6.1.2 Dati di ingresso

### CONFRONTO DI UNA RETE URBANA CON ALTRE RETI DI AMBITI URBANI SIMILARI

I dati si riferiscono ad un'intera rete urbana e sono stati scelti fra quelli più agevoli da reperire anche in assenza di un contatto diretto con l'amministrazione comunale di riferimento.

Nella Tabella 6.1a vengono riportati i dati suddivisi per ambito e tipologia indicatori (input, output).

Per la natura dell'analisi, alcuni indicatori si calcolano utilizzando il loro reciproco, al fine di mantenere coerenti i valori delle funzioni di produzione (massimizzazione o minimizzazione).

### CONFRONTO DI ASSETTI DIFFERENTI DI UNA STESSA RETE

I dati si riferiscono ad una porzione di rete urbana e sono stati scelti fra gli indicatori di performance più semplici da reperire.

**Tab. 6.1a Dati di input e output**

	Input	Output
Deflusso	▫ Veicoli immatricolati/lunghezza rete stradale urbana [vei/km]	▫ Livello di Servizio [flusso stradale/capacità stradale]
Accessibilità	▫ Numero di attrattori presenti nel raggio di 300 metri dal Palazzo Comunale [n°]	▫ Tempo di percorrenza del tratto collegante gli accessi principali al Comune/ n° accessi principali [tempo/numero accessi]
Sicurezza	▫ Euro spesi per viabilità e trasporti/lunghezza della rete stradale urbana [€/km]	▫ Numero di incidenti mortali/lunghezza della rete stradale urbana [fatalità/km]
Trasporto Pubblico	▫ Numero di autobus pubblici/lunghezza rete stradale urbana [bus/km]	▫ Passeggeri annui trasportati dal TPL/lunghezza della rete stradale urbana [pax/km]



In Tabella 6.1b sono riportati i dati di ingresso per ambiti tematici e aree di meta.

**Tab. 6.1b Dati di ingresso suddivisi per ambiti tematici (Fonte: [2], p. 45)**

	Utenti			gestori
	trasporto privato	trasporto pubblico	utenti deboli	
Deflusso	tempo di percorrenza rete [t]	km rete serviti [bus*km]	livello delle emissioni inquinanti [CO]	grado di saturazione della rete [ad]
Accessibilità	tempo percorrenza itinerari veicolari [t]	popolazione residente entro un raggio di 300 m dalle fermate [numero]	tempo di percorrenza itinerari pedonali [t]	grado di connettività della rete [ad]
Sicurezza	punti di conflitto veicolo-veicolo nelle intersezioni [n°]	numero fermate con pensilina [n°]	punti di conflitto veicolo-pedone nelle intersezioni [n°]	diminuzione numero di interazioni critiche nelle intersezioni [n°]

### 6.1.3 Strumenti e modalità di calcolo

#### CONFRONTO DI UNA RETE URBANA CON ALTRE RETI DI AMBITI URBANI SIMILARI

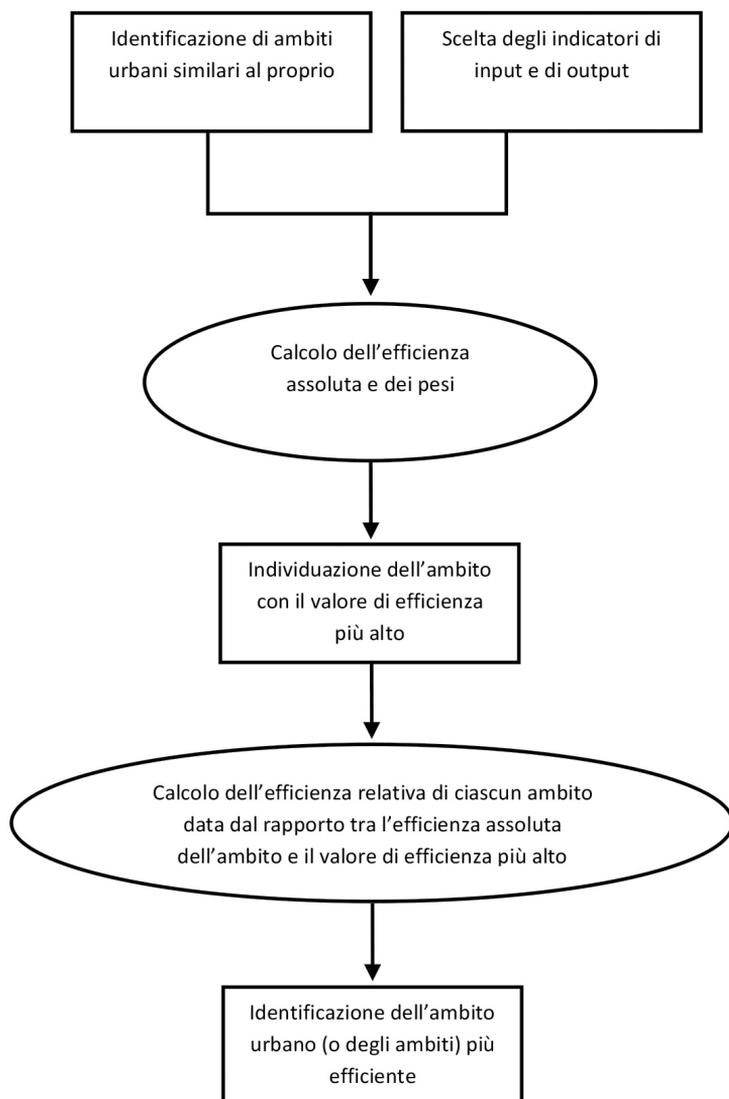
La funzionalità dell'intera rete urbana è studiata attraverso l'uso della tecnica DEA (Data Envelopment Analysis). Quest'ultima ha come obiettivo principale la stima di una frontiera di efficienza (costruita a partire da dati osservati di input e output) attraverso la quale vengono misurate le performance relative dei diversi ambiti urbani confrontati. Il modello consigliato dovrà essere input oriented, il livello di efficienza relativa è dunque la proporzione massima degli input che la rete deve garantire, se efficiente, per avere almeno il livello di output corrente. Le fasi di analisi sono sintetizzate in Figura 6.3.

La procedura di calcolo prevede la costruzione di una matrice gli ambiti urbani nelle righe e gli input e output assegnati nelle colonne:

	Input	Output
Ambito urbano 1	X1	Y1
Ambito urbano 2	X2	Y2

Utilizzando la programmazione lineare, vengono calcolati i pesi ottimali degli input e degli output, ossia quei pesi in grado di massimizzare il rapporto output/input per ciascun ambito.

Fig. 6.2 Fasi dell'analisi DEA



CONFRONTO DI ASSETTI DIFFERENTI DI UNA STESSA RETE

Poiché in questo caso si tratta di valutare assetti differenti di una rete rispetto a caratteristiche fra loro diverse, la tecnica dell'analisi multi-criteria è quella che si presta meglio per individuare gli assetti più idonei.

La tecnica scelta è quella dell'analisi concordante, basata su un confronto a coppie fra le diverse alternative e fondata sul calcolo degli indici di concordanza e discordanza.

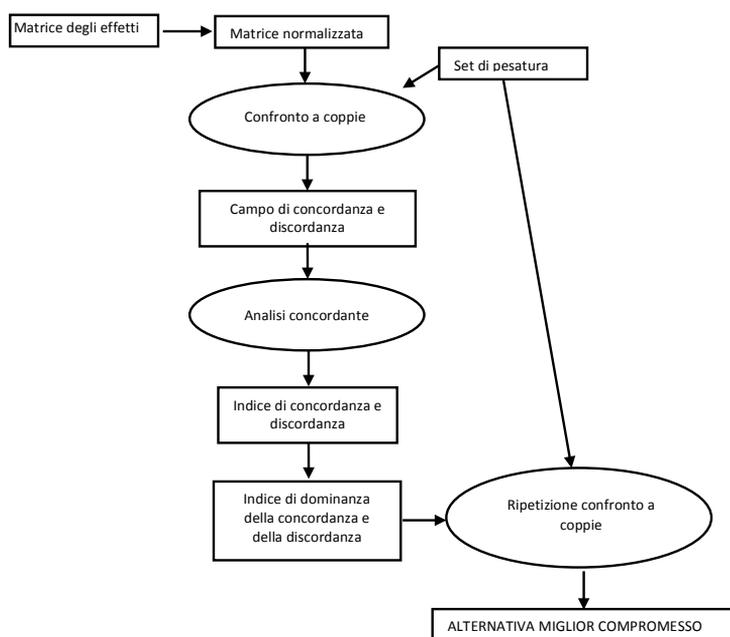
La procedura di applicazione prevede (Figura 6.4):

1. elaborazione della matrice degli effetti, nella quale nelle righe  $i$ -esime vengono inserite le funzioni obiettivo e nelle colonne  $j$ -esime le alternative da valutare; ogni elemento  $a_{ij}$  rappresenta l'effetto della funzione obiettivo  $i$ -esima rispetto all'alternativa  $j$ -esima;
2. normalizzazione della matrice degli effetti, in base alle funzioni obiettivo da massimizzare o da minimizzare; tutti gli elementi interni alla matrice saranno adimensionali e compresi tra zero e uno;
3. elaborazione set di pesatura, da assegnare per area di meta (aggregazioni di funzioni obiettivo). Tali set verranno individuati inizialmente secondo procedure standardizzate (inizialmente con ugual peso per ciascuna area di meta, successivamente con peso doppio per singola area rispetto alle altre); successivamente verranno individuate sulla base delle indicazioni fornite dai decisori;
4. individuazione del campo di concordanza e del campo di discordanza, attraverso il confronto a coppie fra le diverse alternative nel quale, per ogni alternativa, vengono definite le funzioni obiettivo dominanti e quelle dominate;
5. calcolo dell'indice di concordanza e dell'indice di dominanza, che consente di evidenziare, per ogni coppia e per ogni set di pesatura, quanto un'alternativa domina l'altra e quanto da questa è dominata;



6. calcolo dell'indice di dominanza della concordanza e dell'indice di dominanza della discordanza, che evidenzia, stavolta fra tutte le alternative disponibili, e per ogni set di pesatura, l'alternativa più dominante e quella più dominata;
7. ripetizione della procedura n. 3-4-5 per ogni set di pesatura;
8. valutazione, per ogni alternativa, della frequenza di dominanza;
9. individuazione della soluzione di miglior compromesso.

Fig. 6.4 Fasi dell'analisi multi-criteria



## 6.1.4 Dati in uscita

### CONFRONTO DI UNA RETE URBANA CON ALTRE RETI DI AMBITI URBANI SIMILARI

Con la DEA per ogni ambito urbano viene calcolato un valore di efficienza relativa:

- se pari a 1 indica che l'ambito urbano è efficiente;
- se il valore è invece inferiore a 1, allora l'ambito urbano non giace sulla frontiera di efficienza ed è, conseguentemente, inefficiente.

Si consiglia di adottare una metodologia di tipo input oriented, in cui il livello di efficienza relativa sarà dato dalla proporzione massima degli input che l'ambito urbano deve garantire, quando efficiente, per avere almeno il livello di output corrente. Quindi nel caso di inefficienza dovranno essere modificati i valori degli input per far sì che l'ambito urbano raggiunga un valore di efficienza pari a 1.

Nei casi di analisi complesse è possibile individuare, tra gli ambiti urbani efficienti, quelli che possono essere presi come punto di riferimento da quelli inefficienti in quanto hanno caratteristiche di input e output simili. Questo significa che gli ambiti urbani con valori di inefficienza, una volta individuato il riferimento, possono prendere spunto dalla sua combinazione di input e output al fine di avere un valore di efficienza pari a 1.

### CONFRONTO DI ASSETTI DIFFERENTI DI UNA STESSA RETE

Poiché l'analisi concordante è un tipico strumento di supporto alle decisioni, in uscita non vengono elaborati nuovi dati o informazioni, ma semplicemente viene individuata, fra tutte, la soluzione dominante.

Affinché possa essere considerata tale, la soluzione deve poter avere gli indici di dominanza della concordanza e della discordanza più elevati in valore assoluto, con il segno positivo nel primo caso, negativo nel secondo.



Le altre alternative verranno messe in ordine rispetto ai valori della dominanza della concordanza e della discordanza al fine, per ogni set di concordanza, di definire una graduatoria delle alternative.

Successivamente, tale graduatoria viene riproposta per tutti i set di pesatura per consentire di effettuare la graduatoria definitiva per la scelta della soluzione di miglior compromesso.

## 6.1.5 Esempi pratici

### CONFRONTO DI UNA RETE URBANA CON ALTRE RETI DI AMBITI URBANI SIMILARI

#### **Descrizione del problema**

Si vogliono confrontare due ambiti urbani (A e B), scelti sulla base dei seguenti valori:

- numero di abitanti compreso tra 60.000 e 65.000;
- perimetro dell'area urbana compresa tra 15 e 20 km.

Si vuole capire quale dei due ambiti urbani utilizza in modo performante la propria rete stradale urbana.

#### **Dati in ingresso**

Si scelgono come input e output gli indicatori caratterizzanti l'ambito accessibilità:

- input: numero di attrattori presenti nel raggio di 300 metri dal Palazzo Comunale, il cui dato di ingresso deve essere inserito calcolando il valore reciproco ( $1/\text{input}$ ) in quanto gli input devono essere minimizzati (Fonte: [1], p. 29);
- output: tempo medio di percorrenza per raggiungere il Palazzo Comunale



dagli accessi principali della città, il cui dato deve essere inserito calcolando il valore reciproco (1/output) in quanto gli output devono essere massimizzati (Fonte: [1], p. 29).

La Tabella 6.2 riporta i valori degli input e degli output degli ambiti urbani A e B

**Tab. 6.2 Valori degli input e degli output**

Ambiti/dati ingresso	Input	Output
A	0,33	0,10
B	0,50	0,14

### Dati di uscita

L'ambito urbano efficiente è A, il cui valore di efficienza è pari a 1 mentre l'ambito urbano B ha un valore di efficienza pari a 0,93.

### Calcoli e commenti

Si calcola prima l'efficienza di ogni ambito urbano, data dal rapporto tra output e input:

$$E_A = 0,10/0,33 = 0,30$$

$$E_B = 0,14/0,50 = 0,28$$

Essendo solo due gli ambiti urbani analizzati appare subito chiaro che B, avendo il valore più alto, è il più efficiente.

Si calcola l'efficienza relativa, data dal rapporto tra l'efficienza di ciascun ambito e l'efficienza dell'ambito con il valore più alto (0,30 di A):

$$E_{rA} = 0,30 / 0,30 = 1$$

$$E_{rB} = 0,28 / 0,30 = 0,93$$

Possiamo inoltre calcolare il valore che dovrebbe avere l'input di B per raggiungere l'efficienza, dato da:

$$\text{input} \times \text{efficienza relativa} = 0,50 \cdot 0,93 = 0,47$$

Quindi per poter essere efficiente l'ambito B deve avere un input pari a 0,45, infatti:

$$E_A = 0,14 / 0,47 = 0,30$$

### CONFRONTO DI ASSETTI DIFFERENTI DI UNA STESSA RETE

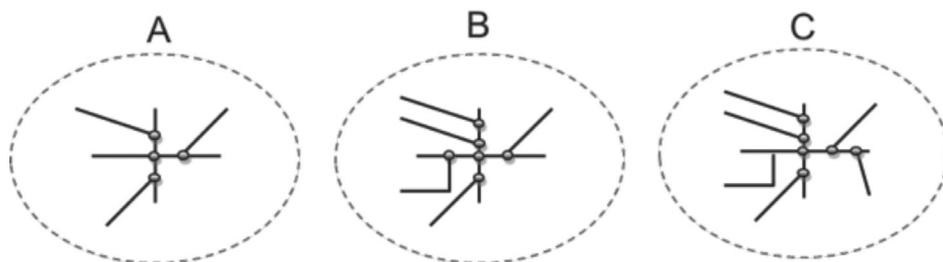
#### **Descrizione del problema**

Ci si riferisce ad una porzione di rete semplificata, in cui gli ambiti sono:

1. ambito 1: punti di conflitto tra gli archi della rete;
2. ambito 2: popolazione presente nel raggio di 300 metri;

e le cui alternative sono le seguenti:

- A = 4 punti di conflitto e 100 persone dentro il perimetro;
- B = 6 punti di conflitto e 80 persone dentro il perimetro;
- C = 7 punti di conflitto e 90 persone dentro il perimetro.



Poiché non emerge una soluzione vincente rispetto alle altre due, è necessario utilizzare la multi-criteria per individuare la soluzione di miglior compromesso.

### Dati in ingresso

Matrice di valutazione:

Ambiti	Alternative		
	A	B	C
1	4	6	7
2	100	80	90

Matrice dei pesi:

Ambiti	Pesi
1	0,70
2	0,30

Matrice normalizzata:

A	B	C
0,42	0,14	0,00
1,00	0,80	0,90

## Dati in uscita

Relativamente alle alternative si può dedurre quanto segue:

- Alternativa A: non conforme in quanto l'indice globale di concordanza è negativo e quello di dominanza positivo;
- Alternativa B: non conforme in quanto l'indice globale di concordanza è negativo e quello di dominanza positivo;
- Alternativa C: poiché l'indice di dominanza della concordanza è positivo e quello della discordanza è negativo, C è la soluzione di miglior compromesso.

## Calcoli e commenti

Campo di concordanza e di discordanza:

(A-B)		(A-C)		(B-A)		(B-C)		(C-A)		(C-B)	
C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
2	1	2	1	1	2		1-2	1	2	1-2	

Indice di concordanza:

$$C_{A-B}=0,3 \quad C_{A-C}=0,3 \quad C_{B-A}=0,2 \quad C_{B-C}=0 \quad C_{C-A}=0,7 \quad C_{C-B}=1$$

Indice di discordanza:

$$D_{A-B}=0,7 \quad D_{A-C}=0,7 \quad D_{B-A}=0,3 \quad D_{B-C}=1,82 \quad D_{C-A}=0,3 \quad D_{C-B}=0$$

Indice globale di concordanza:

$$C_A = (C_{A-B} + C_{A-C}) - (C_{B-A} + C_{C-A}) = (0,3+0,3) - (0,7+0,7) = 0,6 - 1,4 = -0,80$$

$$C_B = (C_{B-A} + C_{B-C}) - (C_{A-B} + C_{C-B}) = (0,7+0) - (0,3+1) = 0,7 - 1,3 = -0,6$$

$$C_C = (C_{C-A} + C_{C-B}) - (C_{A-C} + C_{B-C}) = (0,7+1) - (0,3+0) = 1,7 - 0,3 = 1,4$$

Indice globale di discordanza:

$$D_A = (D_{A-B} + D_{A-C}) - (D_{B-A} + D_{C-A}) = (0,7+0,7) - (0,3+0,3) = 1,4 - 0,6 = 0,8$$

$$D_B = (D_{B-A} + D_{B-C}) - (D_{A-B} + D_{C-B}) = (0,3+1,82) - (0,7+0) = 2,12 - 0,7 = 1,42$$

$$D_C = (D_{C-A} + D_{C-B}) - (D_{A-C} + D_{B-C}) = (0,3+0) - (0,7+1,82) = 0,3 - 2,52 = -2,22$$



## 6.2 Interazione domanda-offerta

---

Al fine di potere stimare gli effetti degli interventi su un sistema di trasporto, si adottano modelli di interazione tra la domanda di mobilità e l'offerta di trasporto ovvero i cosiddetti modelli di assegnazione.

### 6.2.1 Obiettivo o problema da risolvere

---

L'obiettivo di un modello di assegnazione è il calcolo dei flussi e dei costi per uno scenario dell'offerta di trasporto, definita da connessioni e funzioni di costo, e della domanda di mobilità, definita dal modello di scelta del percorso insieme con i flussi di domanda o una funzione di domanda. Una prima classificazione può essere effettuata in funzione della relazione fra costi e flussi; una seconda classificazione può essere fatta in funzione della domanda di mobilità. È possibile distinguere fra i seguenti casi:

- assegnazione a rete non congestionata, in cui si suppone che i costi non dipendano dai flussi;
- assegnazione di equilibrio a rete congestionata in cui si suppone che i costi dipendano dai flussi ed in tal caso è possibile ulteriormente distinguere:
  - assegnazione a domanda costante, in cui si assumono variabili le scelte di percorso (rispetto ai costi congestionati) e costanti le restanti scelte che, tipicamente, caratterizzano uno spostamento (la fascia oraria, la frequenza degli spostamenti, la destinazione, il modo di trasporto, ecc.);
  - assegnazione a domanda variabile, in cui si assumono variabili altre dimensioni di scelta dello spostamento, oltre a quella del percorso (ad esempio la scelta del modo).

## 6.2.2 Dati di ingresso

---

Nel caso di assegnazione a rete non congestionata sono dati di ingresso:

- per il modello di offerta: il grafo (ossia i nodi e gli archi della rete, che definiscono gli eventi significativi e le fasi rilevanti dello spostamento) e i costi, ossia i tempi di percorrenza calcolati note le lunghezze e le velocità di percorrenza degli archi;
- per il modello di domanda: i flussi di domanda ed i parametri del modello di scelta del percorso.

Nel caso di assegnazione a rete congestionata a domanda costante sono dati di ingresso:

- per il modello di offerta il grafo (ossia i nodi e gli archi della rete, che definiscono gli eventi significativi e le fasi rilevanti dello spostamento), i costi a flusso nullo, ossia i tempi di percorrenza a flusso nullo calcolati essendo note le lunghezze e le velocità di percorrenza e le capacità degli archi ed ulteriori altri parametri delle funzioni di costo, ad esempio i parametri di regolazione semaforica;
- per il modello di domanda: i flussi di domanda ed i parametri del modello di scelta del percorso.

Nel caso di assegnazione a rete congestionata a domanda variabile, sono dati di ingresso:

- per il modello di offerta il grafo (ossia i nodi e gli archi della rete, che definiscono gli eventi significativi e le fasi rilevanti dello spostamento), i costi a flusso nullo, ossia i tempi di percorrenza a flusso nullo calcolati essendo note le lunghezze, le velocità di percorrenza e le capacità degli archi ed ulteriori altri parametri delle funzioni di costo, ad esempio i parametri di regolazione semaforica;

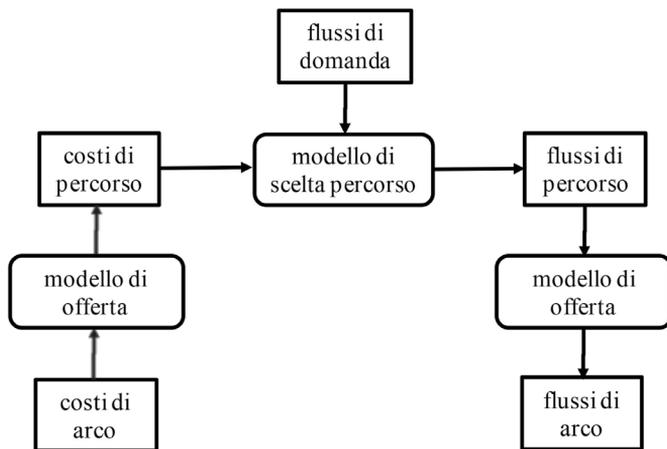


- per il modello di domanda: i parametri del modello dei flussi di domanda (avendo assunto variabili anche altre dimensioni di scelta dello spostamento).

### 6.2.3 Strumenti e modalità di calcolo

Nell'assegnazione a rete non congestionata (Figura 6.5) si possono adottare tecniche basate sull'enumerazione esplicita dei percorsi, che porta al calcolo dei flussi di percorso e di arco mediante l'applicazione della relazione di incidenza archi-percorsi, del modello di domanda e della relazione di congruenza fra flussi di arco e di percorso oppure tecniche senza enumerazione esplicita dei percorsi basate su algoritmi di teoria dei grafi.

**Fig. 6.5 Assegnazione a rete non congestionata (Fonte: [2], p. 51)**



Nel caso dell'assegnazione a rete congestionata, l'approccio consolidato è quello dell'equilibrio (in regime stazionario) ed in particolare si distinguono due casi:

- a domanda costante (Figura 6.6a), in cui si effettuano una successione di assegnazioni a rete non congestionata;

- a domanda variabile (Figura 6.6b), in cui si eseguono una serie di assegnazioni a rete non congestionata e di elaborazioni del modello dei flussi di domanda.

Fig. 6.6a Assegnazione a rete congestionata, domanda costante (Fonte: [2], p. 52)

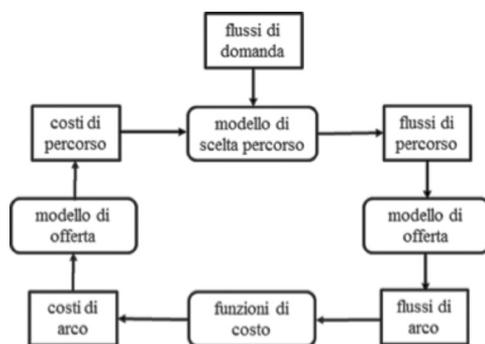
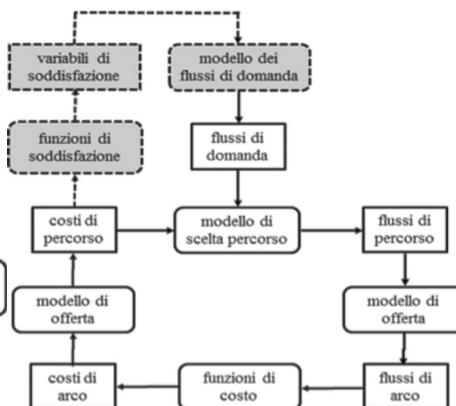


Fig. 6.6b – Assegnazione a rete congestionata, domanda variabile (Fonte: [2], p. 52)



## 6.2.4 Dati in uscita

Nel caso dell'assegnazione a rete non congestionata si ottengono come dati in uscita i flussi di arco.

Nel caso dell'assegnazione a rete congestionata si ottengono come dati in uscita:

- nel caso di domanda costante, i flussi e i costi di arco;
- nel caso di domanda variabile, i flussi, i costi di arco ed i flussi di domanda.

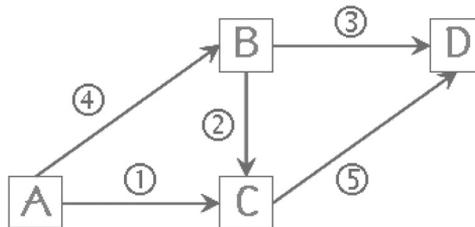
## 6.2.5 Esempi pratici

### Descrizione del problema

Il seguente esempio è relativo all'analisi di un caso di assegnazione a domanda variabile in cui la scelta del modo è la dimensione di variabilità della domanda. Le alternative di scelta sono auto e autobus. Per entrambi si considerano tempi e costi monetari come attributi di livello di servizio; tuttavia, solo nel caso della scelta del modo auto si tiene conto dell'effetto della congestione con riferimento al tempo di percorrenza. Ad ogni iterazione è possibile calcolare i costi di arco e di percorso, i flussi di domanda relativi alla scelta del modo auto, i flussi di percorso e di arco.

### Dati in ingresso

Nella seguente figura è riportata la rappresentazione della rete considerata ai fini



dell'esempio numerico.

Di seguito sono descritti i dati di ingresso del problema suddivisi in gruppi omogenei.

DATI DI INGRESSO 1: grafo

Il grafo contiene 4 nodi e 5 archi, come in figura; si considera una sola coppia origine destinazione che va dal nodo A al nodo D; vi sono 3 possibili percorsi e per ciascuno di essi indichiamo con  $h_j$  il relativo flusso, ossia:

$$h_1 = A-C-D \quad h_2 = A-B-C-D \quad h_3 = A-B-D$$

inoltre fra flussi di percorso,  $h_j$ , e domanda,  $d$ , vale la seguente relazione:

$$h_1 + h_2 + h_3 = d;$$

valgono le seguenti relazioni fra flussi di arco,  $f_a$ , e flussi di percorso:

$$f_1 = h_2 + h_3 \quad f_2 = h_2 \quad f_3 = h_3 \quad f_4 = h_1 \quad f_5 = h_1 + h_2$$

DATI DI INGRESSO 2: funzioni di costo

- 1) Funzioni di costo, si adotta per tutti gli archi quella di Davidson

$$t_{ra}(q) = t_{0a} \cdot (1 + \eta_a \cdot (q / (Q_a - q)))$$

in particolare

$$\begin{cases} c_a = t_{ra}(q) & \text{se } q \leq \mu \cdot Q_a \\ c_a = t_{ra}(\mu_a \cdot Q_a) + d t_{ra}(\mu_a \cdot Q_a) / dq \cdot (q - \mu_a \cdot Q_a) & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- 2) Tempi a flusso nullo,  $t_{0a}$ , parametri della funzione di costo,  $\eta_a$ , capacità,  $Q_a$ , punto di inizio della approssimazione tangente,  $\mu_a$ , per ciascun arco  $a$ , di cui si riportano i valori considerati nella seguente tabella:

a	$t_{0a}$	$\eta_a$	$Q_a$	$\mu_a$
1	25	0,24	3000	0,75
2	12	0,36	1200	0,75
3	10	0,30	2400	0,75
4	35	0,30	3600	0,75
5	15	0,30	2400	0,75



DATI DI INGRESSO 3: modello di scelta del percorso/del modo, funzione di domanda

- 1) Modello di scelta del percorso: si adotta il Modello Logit Multinomiale.

Per ciascun percorso  $j$  del modo auto si indica con  $v_j$  il relativo valore dell'utilità sistematica, dato dall'opposto del costo di percorso, e con  $\theta$  il parametro di dispersione/scala. Inoltre  $\mathbf{p} \geq \mathbf{0}$  è il vettore delle probabilità di scelta del percorso.

- 2) Modello di scelta del modo: si adotta il Modello Logit Binomiale.

$V_{\text{AUTO}}$  e  $V_{\text{BUS}}$  sono le utilità sistematiche rispettivamente del modo auto e del modo bus e sono specificate come di seguito:

$$V_{\text{AUTO}} = \beta_s \cdot s - \beta_{\text{cost}} \cdot \text{cm}_{\text{AUTO}}$$

$$V_{\text{BUS}} = -\beta_{\text{tempo}} \cdot t_{\text{bus}} - \beta_{\text{costo}} \cdot \text{cm}_{\text{BUS}}$$

dove

$s = \theta \cdot \ln(\sum_j \exp(v_j / \theta))$  è la soddisfazione relativa al modo auto;

$\text{cm}_{\text{AUTO}}$  è l'attributo costo monetario del modo auto;

$t_{\text{bus}}$ ,  $\text{cm}_{\text{BUS}}$  sono gli attributi tempo e costo monetario del modo bus;

$\beta > 0$  sono i coefficienti della funzione di utilità.

- 3) Funzione dei flussi di domanda

Nei fatti, il risultato del modello di scelta del modo dipende soltanto dalla differenza delle utilità sistematiche,  $V_{\text{BUS}} - V_{\text{AUTO}}$  :

$$V_{\text{BUS}} - V_{\text{AUTO}} = a \cdot s + b$$

dove i coefficienti  $a$  e  $b$  sono parametri di ingresso definiti da:

$$a = -\beta_s < 0$$

$$b = -\beta_{\text{tempo}} \cdot t_{\text{bus}} - \beta_{\text{costo}} \cdot cm_{\text{BUS}} + \beta_{\text{costo}} \cdot cm_{\text{AUTO}} < 0$$

Sia dato il massimo flusso di domanda  $d_{\text{max}}$ , il flusso di domanda relativo alla scelta del modo auto è definito da:

$$d_{\text{AUTO}} = d_{\text{max}} / (1 + \exp(V_{\text{BUS}} - V_{\text{AUTO}}))$$

ossia

$$d_{\text{AUTO}} = d_{\text{max}} / (1 + \exp(a \cdot s + b)).$$

Infine, è possibile ricavare il vettore dei flussi di percorso  $h = d_{\text{AUTO}} p$

### Dati di uscita

Dalla soluzione della assegnazione a domanda variabile si ottengono i seguenti dati di uscita:

- i flussi di arco;
- i costi di arco;
- i flussi di domanda relativi alla scelta del modo auto a ciascuna iterazione (e per differenza quelli del modo autobus).

### Calcoli e commenti

Si consideri  $d_{\text{max}} = 6000$ .

Nella seguente tabella sono riportati per ciascun arco i risultati relativi all'iterazione 5 dell'algoritmo risolutivo.



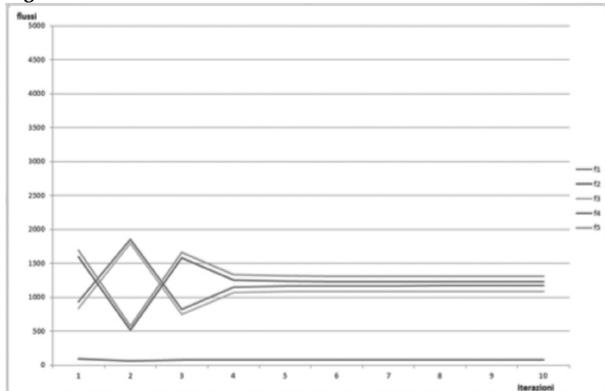
a	$f_a$	$c_a$
1	1191	39
2	78	12
3	1113	13
4	1238	30
5	1316	20

Nella seguente tabella sono riportati il flusso di domanda auto e quello di ciascun percorso con  $\theta = 7,797$ ,  $a = -0,010$ ,  $b = -0,050$ :

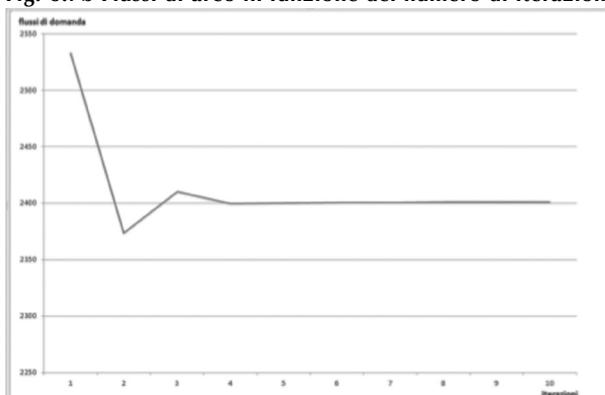
j	$v_j$	$\exp(v_j/\theta)$	s	$v_{BUS} - v_{AUTO}$	$d_{AUTO}$	$p_j$	$h_j$
1	51	0,0015				0,52	1235
2	72	0,0001	-46	0,41	2399	0,03	82
3	52	0,0013				0,45	1084

Nelle figure 6.7 (a, b, c) sono, infine, riportati gli andamenti dei flussi di arco, dei flussi di domanda e degli scarti dei flussi di arco e dei flussi di domanda in funzione del numero di iterazioni. In particolare si nota che in questo semplice caso la convergenza dell'algoritmo risolutivo è raggiunta dopo poche iterazioni.

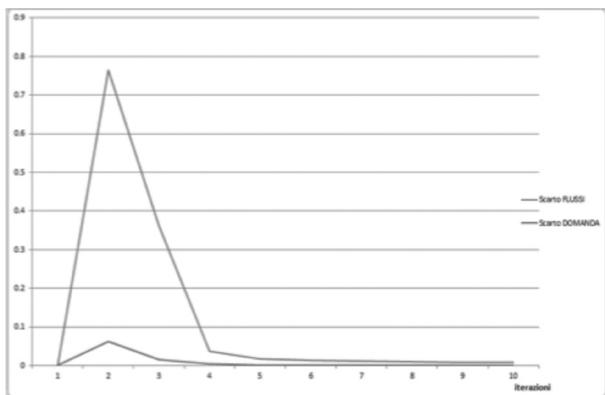
**Fig. 6.7a** Flussi di arco in funzione del numero di iterazioni



**Fig. 6.7b** Flussi di arco in funzione del numero di iterazioni



**Fig. 6.7c** Scarto dei flussi di arco e dei flussi di domanda in funzione del numero di iterazioni



## 6.3 Regolazione delle intersezioni a livello locale

Il progetto della semaforizzazione per le intersezioni isolate consiste nella determinazione della durata ottimale del ciclo semaforico e delle fasi di verde per tutte le manovre.

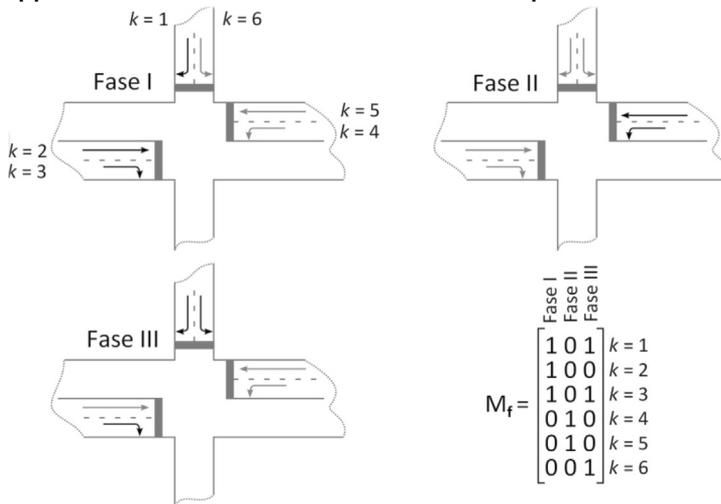
### 6.3.1 Obiettivo o problema da risolvere

L'obiettivo del progetto può essere quello di:

- massimizzare il fattore di capacità dell'incrocio (cioè il rapporto tra il numero di veicoli che attraversano l'incrocio durante il verde e il numero di veicoli che giungono agli accessi);
- oppure, la minimizzazione del tempo totale perso dagli utenti.

Il primo problema, sotto opportune condizioni, può essere risolto facilmente tramite il metodo di Webster per il quale si riporta la procedura dettagliata nel paragrafo 6.3.3. In Figura 6.8 è riportato un esempio di intersezione in cui sono evidenziate le manovre abilitate nelle differenti fasi del ciclo semaforico.

Fig. 6.8 Rappresentazione dell'intersezione di esempio e matrice delle fasi



## 6.3.2 Dati di ingresso

---

I dati di ingresso per il progetto della semaforizzazione delle intersezioni sono:

- la geometria dell'intersezione (larghezza, pendenza, numero di corsie) che permette di determinare i flussi di saturazione, i flussi di veicoli massimi che possono transitare dagli accessi, misurati in numero di veicoli per ora;
- i flussi in arrivo a tutti gli accessi, opportunamente misurati nel periodo di riferimento, espressi in numero di veicoli per ora;
- tempi persi per ciascun accesso, dovuti all'inerzia dei veicoli che partono da fermi all'inizio della fase di verde, e ai veicoli che non si fermano istantaneamente al giallo;
- la matrice di incompatibilità, che indica se due manovre possono essere abilitate durante la stessa fase oppure no;
- la matrice delle fasi, che indica quali manovre sono abilitate durante ogni fase del ciclo semaforico.

Tra i dati di ingresso è opportuno ancora indicare:

- i rapporti di flusso degli accessi, cioè il rapporto tra i flussi entranti e i flussi di saturazione;
- l'insieme degli accessi rappresentativi delle fasi, cioè l'insieme degli accessi che sono abilitati durante una sola fase del ciclo semaforico (per ogni fase si sceglie la manovra a maggior rapporto di flusso);
- il rapporto di flusso totale, definito come la somma dei rapporti di flusso degli accessi rappresentativi.

Se non esistono accessi rappresentativi per tutte le fasi, è necessario modificare la matrice delle fasi.



### 6.3.3 Strumenti e modalità di calcolo

---

I metodi di calcolo della semaforizzazione ottima si possono suddividere in due approcci:

1. un approccio diretto in cui, passo per passo, vengono calcolate grandezze che hanno una diretta corrispondenza con quelle fisiche che caratterizzano il traffico veicolare agli incroci;
2. un approccio indiretto basato sulla definizione di problemi di ottimizzazione matematica la cui soluzione utilizza metodi e algoritmi che non hanno una diretta corrispondenza con le grandezze fisiche che caratterizzano il traffico veicolare agli incroci.

La generalità degli approcci del secondo tipo permette di ottenere risultati migliori per gli indicatori di prestazione (capacità dell'incrocio e ritardo totale), sebbene siano di più difficile applicazione.

Tra i metodi del primo tipo è particolarmente importante il cosiddetto metodo di Webster che può essere applicato se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- I. è possibile determinare le manovre caratteristiche delle fasi, per ciascuna fase;
- II. l'intersezione è in condizioni di sotto-saturazione, cioè la somma dei rapporti di flusso degli ingressi rappresentativi è minore di 1.

In queste condizioni si può determinare il tempo di ciclo e, di conseguenza, determinare i verdi efficaci e i tempi di verde seguendo la procedura riportata in Figura 6.9.

### 6.3.4 Dati in uscita (risultati e loro interpretazione)

Il metodo di Webster fornisce i valori della capacità massima dell'intersezione e della durata ottimale delle fasi. Questo risultato deve essere poi rielaborato per tenere in considerazione le norme di sicurezza dell'intersezione, in particolare:

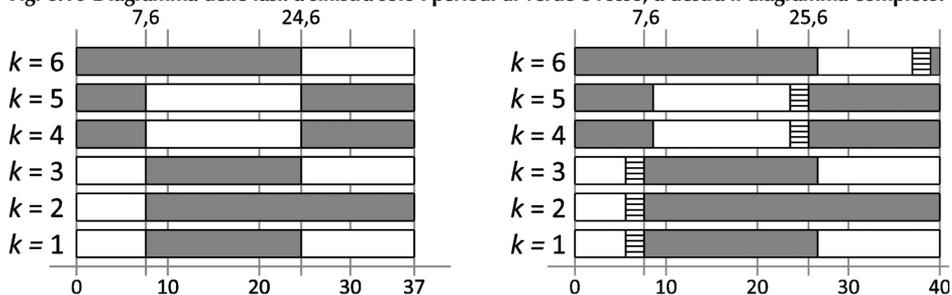
- definendo i periodi di giallo per ciascuna fase;
- definendo i cosiddetti periodi di tutto rosso.

I diagrammi in Figura 6.10 mostrano la temporizzazione ottima teorica delle fasi (figura a sinistra) e quella reale (a destra) ottenuta aggiungendo i periodi di giallo per ogni accesso e i tempi di tutto rosso. Questi ultimi sono determinati a valle dell'applicazione del metodo di Webster e sono calcolati sulla base di considerazioni sulla sicurezza.

**Fig. 6.9 Procedura per l'applicazione del metodo di Webster (si veda [1], pag. 148).**

Metodo di Webster	
Passo 1.	Determinare la durata del ciclo semaforico $t_c$ per mezzo della formula di Webster;
Passo 2.	Data la matrice delle incompatibilità $M_i$ , definire la matrice delle fasi $M_f$ ;
Passo 3.	Per la matrice delle fasi scelta determinare gli accessi caratteristici $k(j)$ , per ogni fase $j$ ;
Passo 4.	Se è possibile determinare gli accessi caratteristici, proseguire, altrimenti tornare al passo 2;
Passo 5.	Calcolare i rapporti di flusso $\rho_{k(j)}$ , per ogni $k$ e scegliere, per ogni fase $j$ , come ingressi caratteristici quelli con il rapporto di flusso massimo, cioè $\arg \max_k \rho_{k(j)}$ ;
Passo 6.	Calcolare i verdi efficaci $g_{EK(j)}$ sulla base dei rapporti di flusso e le durate dei verdi;
Passo 7.	Calcolare le durate dei verdi tramite la relazione $g_j = g_{EK(j)} + \tau_{k(j)}$ ;
Passo 8.	Determinare la durata dei periodi di giallo e di tutto rosso;
Passo 9.	FINE.

**Fig. 6.10 Diagramma delle fasi: a sinistra solo i periodi di verde e rosso; a destra il diagramma completo.**



### 6.3.5 Esempi pratici

#### Descrizione del problema

A titolo di esempio, nei prossimi paragrafi verrà applicato il metodo di Webster per il calcolo della durata delle fasi per l'intersezione di Figura 6.8.

#### Dati in ingresso

I dati di ingresso per l'intersezione considerata sono riportati in Tabella 6.3.

Tab. 6.3 Dati di ingresso per l'intersezione di Figura 6.8

	Accesso					
	k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5	k = 6
Flussi in ingresso $f_k$ (veicoli/ora)	200	100	200	300	150	250
Flussi di saturazione $s_k$ (veicoli/ora)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Tempo perso (secondi)	3	3	3	3	3	3
Rapporto di flusso $\rho_k$	0,167	0,083	0,167	0,250	0,125	0,167
Fase/i in cui l'accesso è abilitato	FASE I FASE III	FASE I	FASE I FASE III	FASE II	FASE II	FASE III
Fase di cui l'accesso è rappresentativo	-	FASE I	-	FASE II	-	FASE III

La matrice di incompatibilità risulta essere

$$\mathbf{M}_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

dalla quale si ricava la matrice delle fasi

$$\mathbf{M}_f = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

dove si osserva che gli accessi  $k = 1$  e  $k = 3$ , tra loro compatibili, sono abilitati nelle fasi I e III. Pertanto non possono essere scelti come accessi rappresentativi delle fasi. Di conseguenza la manovra  $k = 2$  è l'unico accesso che può essere rappresentativo della fase I, mentre la manovra  $k = 6$  è l'unico accesso che può essere rappresentativo della fase III. Per quanto riguarda la fase II, conviene scegliere come rappresentativo l'accesso  $k = 4$ , poiché esso è caratterizzato dal rapporto di flusso più elevato tra quelli degli accessi abilitati.

### Dati di uscita

Applicando la procedura di Figura 6.9 si determina:

- il rapporto di flusso totale  $\rho = 0,50$ ;
- il tempo di ciclo  $t_c = 37$  s, al quale va aggiunto 1 secondo per il periodo di tutto rosso per ogni fase, per un totale  $t_c = 40$  secondi;



- la durata delle fasi, comprensiva del tempo di giallo di 3 secondi e del periodo di tutto rosso di 1 secondo:  $g_I = 8,60$  s;  $g_{II} = 18,00$  s;  $g_{III} = 13,40$  s;
- la capacità massima  $\xi = 1,51$ .

I risultati derivanti dall'applicazione del metodo di Webster sono riportati in Figura 6.10 sia considerando i soli periodi di verde e rosso, sia considerando i periodi di giallo e tutto rosso.

### Calcoli e commenti

Sulla base dei dati riportati in Tabella 6.3, e con la scelta effettuata per gli accessi rappresentativi, si ricavano

$$\rho = \rho_{E2(I)} + \rho_{E4(II)} + \rho_{E6(III)} = 0,083 + 0,250 + 0,167 = 0,500$$

il tempo perso totale

$$T = \tau_{E2(I)} + \tau_{E4(II)} + \tau_{E6(III)} = 3 \text{ s} + 3 \text{ s} + 3 \text{ s} = 9 \text{ s}.$$

Il tempo di ciclo (determinato con la formula di Webster) risulta essere

$$t_c = \frac{(5 + 1,5T)}{\rho} = \frac{(5 + 1,5 \cdot 9 \text{ s})}{0,5} = 37 \text{ s}$$

Di conseguenza, la durata dei verdi efficaci per i tre accessi rappresentativi risultano essere:

$$g_{E2(I)} = \frac{\rho}{\rho} (t_c - T) = \frac{0,083}{0,500} 28 \text{ s} = 4,60 \text{ s}$$

$$g_{E4(II)} = \frac{\rho}{\rho} (t_c - T) = \frac{0,250}{0,500} 28 \text{ s} = 14,00 \text{ s}$$

$$g_{E6(III)} = \frac{\rho}{\rho} (t_c - T) = \frac{0,083}{0,167} 28 \text{ s} = 9,40 \text{ s}$$

Sommando i tempi persi pari a 3 secondi per ciascun accesso rappresentativo, si ricavano le durate delle fasi

$$g_I = g_{E2(I)} + 3s = 7,60 \text{ s}$$

$$g_{II} = g_{E4(II)} + 3s = 17,00 \text{ s}$$

$$g_{III} = g_{E6(III)} + 3s = 12,40 \text{ s}$$

i periodi di abilitazione dei singoli accessi (a cui viene sottratto il tempo di giallo pari a 2 secondi)

$$g_{v1} = g_I + g_{III} - 2s = 18,00 \text{ s}$$

$$g_{v2} = g_I - 2s = 5,60 \text{ s}$$

$$g_{v3} = g_I + g_{III} - 2s = 18,00 \text{ s}$$

$$g_{v4} = g_{II} - 2s = 15,00 \text{ s}$$

$$g_{v5} = g_{II} - 2s = 15,00 \text{ s}$$

$$g_{v6} = g_{III} - 2s = 10,40 \text{ s}$$

Va infine aggiunto 1 secondo di tutto rosso a ciascuna delle fasi. Si noti che tale aggiunta non si applica agli accessi  $k = 1$  e  $k = 3$  perché sono abilitati in due fasi consecutive (la terza di un ciclo e la prima del successivo). I relativi grafici sono riportati in Figura 6.10.



## 6.4 Regolazioni delle intersezioni a livello di area

---

In ambito urbano, in particolare nelle aree e nelle fasce orarie più congestionate, una parte prevalente del tempo di spostamento su rete stradale è data dai ritardi (tempi di attesa) alle intersezioni. Una corretta progettazione dei parametri di regolazione semaforica può ridurre significativamente i tempi complessivi di viaggio, l'inquinamento acustico ed atmosferico. In questo contesto, è utile operare una progettazione congiunta dei parametri di regolazione di più intersezioni semaforiche appartenenti alla stessa rete urbana con lo scopo di minimizzare i tempi totali di percorrenza sull'intera rete o su una o più arterie ritenute rilevanti. I problemi di questo tipo possono essere inquadrati come problemi di progetto di intersezioni semaforizzate a livello di area. Possono essere individuati due problemi di progettazione a livello di area [1, p. 79]: (1) la progettazione del coordinamento semaforico lungo un'arteria e (2) la progettazione congiunta dei parametri di regolazione semaforica di tutte le intersezioni di una rete di trasporto (progettazione dei parametri su rete).

### 6.4.1 Obiettivo o problema da risolvere

---

Il coordinamento semaforico ha per obiettivo la riduzione dei ritardi e degli arresti alle intersezioni per i veicoli che percorrono un'arteria principale della rete stradale, le cui intersezioni sono regolate da impianti semaforici. La progettazione congiunta ha per obiettivo la definizione dei parametri di regolazione semaforica di alcune o di tutte le intersezioni semaforizzate di una rete di trasporto, con l'obiettivo di minimizzare i tempi totali di percorrenza, tenendo conto degli effetti della regolazione sulle scelte del percorso degli utenti.

Nei paragrafi seguenti i due problemi saranno riportati in sub-sezioni separate.

### 6.4.2 Dati di ingresso

---

#### COORDINAMENTO SEMAFORICO LUNGO UN'ARTERIA:

- geometria di tutte le intersezioni da coordinare e dei relativi accessi (larghezza, pendenza, n. corsie);

- distanza tra le intersezioni da coordinare;
- flussi di traffico ad ogni accesso delle intersezioni da coordinare;
- velocità media di percorrenza di ogni tratta e per ogni verso di percorrenza dell'arteria da coordinare.

#### PROGETTAZIONE SU RETE DEI PARAMETRI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA:

- modello di rete di trasporto: grafo e funzioni di costo (tra cui funzioni di ritardo alle intersezioni);
- matrice(i) origine-destinazione;
- individuazione intersezioni semaforizzate su rete;
- eventuali vincoli sui parametri di regolazione semaforica.

### **6.4.3 Obiettivo o problema da risolvere**

---

#### COORDINAMENTO SEMAFORICO LUNGO UN'ARTERIA

Il coordinamento semaforico lungo un'arteria è efficace se la distanza tra le intersezioni è inferiore agli 800 m. La progettazione richiede il calcolo della durata del ciclo semaforico, comune per tutte le intersezioni coordinate, il calcolo del tempo di verde efficace per la fase coordinata e per la fase non coordinata ed il calcolo degli sfasamenti (inizio dei tempi di verde rispetto un istante 0 di riferimento). Il calcolo della durata del ciclo semaforico è ottenuta con le stesse procedure utilizzabili per il semaforo isolato (ad esempio metodo di Webster), assumendo come valori relativi agli indici di carico i massimi tra tutti gli accessi che condividono la stessa fase. Analogo approccio può essere usato per il calcolo dei verdi efficaci da attribuire alle varie fasi.

Per il calcolo degli sfasamenti bisogna distinguere i casi di arteria a senso unico e di arteria a doppio senso di percorrenza. Nel primo caso, il coordinamento è ottenuto calcolando gli sfasamenti in funzione del rapporto tra distan-



za tra le intersezioni e la velocità media di percorrenza, senza la necessità di strumenti software o metodi di ottimizzazione. Nel secondo caso, invece, non è possibile, se non in casi particolari molto rari nelle pratiche applicazioni, ottenere un coordinamento che sia ottimale per entrambi i sensi di marcia. Nel caso generale di arterie a doppio senso è possibile ottimizzare contemporaneamente le due direzioni con metodi analitici diretti solo nel caso del tutto ideale di intersezioni poste tutte alla stessa distanza, con durata dei verdi uguali tra loro ed assenza di manovre di entrata o di uscita lungo l'arteria. Molto spesso si tende a progettare il coordinamento per il verso più carico, non coordinando l'altro verso, ottenendo così il coordinamento ottimale solo per uno dei sensi di marcia. Un altro approccio, meno usato nelle pratiche applicazioni, che richiede l'utilizzo di metodi di ottimizzazione e software di microsimulazione, ottimizza gli sfasamenti in modo tale che il tempo totale di percorrenza, comprensivo dei ritardi alle intersezioni, sia minimo. Per la risoluzione del problema per arterie a doppio senso di marcia esistono anche software commerciali in grado di trovare i valori ottimali degli sfasamenti.

### PROGETTAZIONE SU RETE DEI PARAMETRI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA

La progettazione su rete dei parametri di regolazione semaforica può essere perseguita con due approcci diversi: un approccio locale ed un approccio globale [1, pp. 85-89].

L'approccio locale progetta i parametri di regolazione semaforica congruenti con i flussi di traffico in base ad una politica locale di controllo, quale ad esempio il metodo di Webster, che fornisce i valori dei parametri di regolazione semaforica ottimali per i flussi di traffico in arrivo all'intersezione. I risultati possono essere ottenuti implementando un codice di calcolo che aggiorni, ad ogni iterazione di una procedura di assegnazione, i parametri di regolazione semaforica in base alla politica locale di controllo. Un'altra procedura, utilizzabile con i software commerciali di simulazione delle reti di trasporto, prevede il calcolo dei flussi di traffico di equilibrio con un'ipotesi iniziale di pa-

rametri di regolazione, il ricalcolo degli stessi parametri in funzione dei flussi di traffico all'equilibrio, una nuova assegnazione con i nuovi parametri e così via fino a convergenza (valori dei parametri di regolazione in due iterazioni successive uguali o con uno scarto % inferiore a un prefissato valore), come riportato in Figura 6.11. Una valutazione del risultato si ottiene stimando la riduzione del tempo complessivo di viaggio sulla rete prima e dopo la progettazione dei parametri di regolazione semaforica con la procedura proposta. L'approccio locale è quello più utilizzato nelle pratiche applicazioni.

L'approccio globale, invece, progetta congiuntamente i parametri di regolazione semaforica di una rete stradale minimizzando il tempo complessivo di spostamento (o, meno comunemente, altre funzioni obiettivo) sulla rete. Tale approccio richiede l'implementazione di uno specifico codice di calcolo che ricerca la soluzione ottimale, usualmente con algoritmi di discesa, ricalcolando ad ogni iterazione i flussi di traffico all'equilibrio, come riportato in Figura 6.11. Tale approccio è in fase di ricerca e non è utilizzato nelle pratiche applicazioni, non potendo essere implementato con software commerciali.

#### 6.4.4 Dati in uscita

---

##### COORDINAMENTO SEMAFORICO LUNGO UN'ARTERIA:

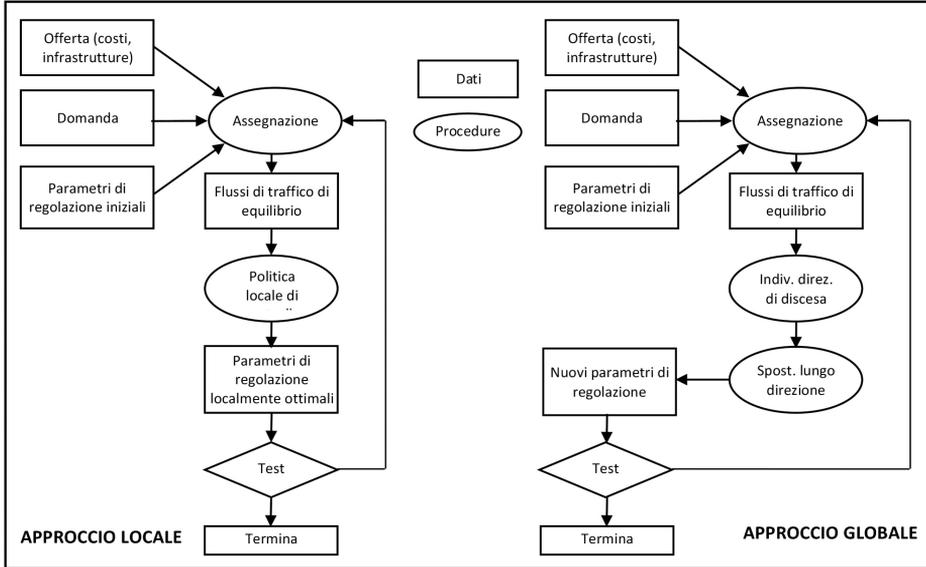
- ciclo semaforico delle intersezioni coordinate;
- tempi di verde efficace delle intersezioni coordinate;
- sfasamenti (inizi del tempo di verde rispetto ad un istante 0 di riferimento) di ciascuna intersezione.

##### PROGETTAZIONE SU RETE DEI PARAMETRI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA:

- parametri di regolazione semaforica di tutte le intersezioni semaforiche della rete;
- flussi di traffico sulla rete.



Fig. 6.11 Progettazione su rete dei parametri di regolazione semaforica



## 6.4.5 Esempi pratici

### COORDINAMENTO SEMAFORICO LUNGO UN'ARTERIA

#### Descrizione del problema

Si vuole progettare il coordinamento di un'arteria a senso unico interessata da 3 intersezioni semaforiche. La distanza tra le intersezioni è inferiore a 800 m, per cui il coordinamento semaforico si può ritenere efficace. Per ottenere il coordinamento semaforico sarà necessario calcolare una durata del ciclo semaforico uguale per tutte le intersezioni, le durate dei tempi di verde efficaci, anche esse uguali per tutte e tre le intersezioni, e gli sfasamenti assoluti, assunto pari a zero, come origine dei tempi, lo sfasamento della prima intersezione nel verso di marcia.

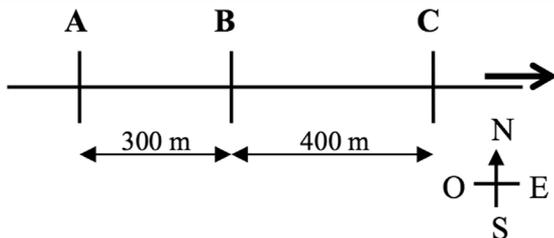
### Dati in ingresso

I dati in ingresso del problema sono:

- flussi di traffico agli accessi delle intersezioni (vedi tabella);
- flussi di saturazione degli accessi alle intersezioni (vedi tabella);
- distanza tra le intersezioni (vedi figura);
- velocità media di percorrenza (assunta pari a 40 km/h).

Si indicherà, inoltre, con 1 la fase degli accessi coordinati (accessi OVEST) e con 2 l'altra fase (accessi NORD e SUD).

Accesso	Flusso (veic/h)	Flusso di sat. (veic/h)
A <sup>OVEST</sup>	600	1500
A <sup>NORD</sup>	350	1400
A <sup>SUD</sup>	250	1400
B <sup>OVEST</sup>	700	1500
B <sup>NORD</sup>	400	1400
B <sup>SUD</sup>	300	1400
C <sup>OVEST</sup>	500	1500
C <sup>NORD</sup>	450	1400
C <sup>SUD</sup>	300	1400



### Dati in uscita

I dati in uscita del problema sono:

- durata del ciclo semaforico da utilizzare per tutte le intersezioni;
- durate dei tempi di verde efficace per la fase 1 e per la fase 2;
- durate degli sfasamenti.

### Calcoli e commenti

Si calcolano gli indici di carico, cioè i rapporti flusso (f) su flusso di saturazione (s) per tutti gli accessi, e si individuano i valori massimi tra tutti gli accessi che hanno il verde nella fase 1 e tutti gli accessi che hanno il verde nella fase 2:

$$IC_1 = \text{Max} \{f_A^{\text{OVEST}}/s_A^{\text{OVEST}}, f_B^{\text{OVEST}}/s_B^{\text{OVEST}}, f_C^{\text{OVEST}}/s_C^{\text{OVEST}}\} = \\ = \text{Max} \{600/1500; 700/1500; 500/1500\} = 0,467$$

$$IC_2 = \text{Max} \{f_A^{\text{NORD}}/s_A^{\text{NORD}}, f_A^{\text{SUD}}/s_A^{\text{SUD}}, f_B^{\text{NORD}}/s_B^{\text{NORD}}, f_B^{\text{SUD}}/s_B^{\text{SUD}}, f_C^{\text{NORD}}/s_C^{\text{NORD}}, f_C^{\text{SUD}}/s_C^{\text{SUD}}\} = \\ = \text{Max} \{350/1400; 250/1400; 400/1400; 300/1400; 450/1400; 300/1400\} = 0,321$$

Si calcola il ciclo semaforico con la formula proposta da Webster per il ciclo ottimale, assumendo il perditempo complessivo, L, pari a 4 secondi per ogni fase (8 s nel complesso):

$$C_0 = (1,5 \cdot L + 5)/(1 - (IC_1 + IC_2)) = (1,5 \cdot 8 + 5)/(1 - (0,467 + 0,321)) = 80 \text{ s}$$

Si calcolano le durate dei verdi efficaci delle due fasi,  $g_1$  e  $g_2$ , con il metodo di Webster:

$$g_1 = (IC_1 / (IC_1 + IC_2)) \cdot (C_0 - L) = (0,467 / (0,467 + 0,321)) \cdot (80 - 8) = 43 \text{ s}$$

$$g_2 = (IC_2 / (IC_1 + IC_2)) \cdot (C_0 - L) = (0,321 / (0,467 + 0,321)) \cdot (80 - 8) = 29 \text{ s}$$

Assunto  $q_A$  pari a 0,  $q_A = 0$ , e come origine dei tempi lo sfasamento dell'intersezione A, si calcolano gli sfasamenti delle intersezioni B e C,  $q_B$  e  $q_C$ , come rapporto tra le rispettive distanze (in metri) con l'intersezione A e la velocità media di percorrenza (in m/s):

$$q_A = 0$$

$$q_B = D_{B-A} / V = 300 / (40/3,6) = 27 \text{ s}$$

$$q_C = D_{C-A} / V = 700 / (40/3,6) = 63 \text{ s}$$

## PROGETTAZIONE SU RETE DEI PARAMETRI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA

### **Descrizione del problema**

Si vogliono progettare i parametri di regolazione semaforica su una rete di trasporto dove sono presenti due intersezioni semaforiche; la domanda di trasporto è costituita da due sole coppie OD e per ciascuna coppia OD siano disponibili due percorsi. Si assuma che il modello di scelta del percorso sia stocastico, basato su un modello Logit Multinomiale (valore del parametro  $\theta$  pari a 10), e che le funzioni di ritardo siano le formule di Webster in condizioni di sottosaturazione. Si utilizzi come politica locale di controllo il metodo di Webster e si calcoli anche la durata del ciclo semaforico con il metodo di Webster. Si assuma, inoltre, alla prima iterazione un ciclo efficace di 90 secondi per ciascuna intersezione ed una equa ripartizione tra le due fasi di 45 secondi.



## Dati in ingresso

I dati di ingresso del problema sono:

- le caratteristiche della rete di trasporto (grafo e funzioni di costo);
- la domanda di trasporto (matrice OD).

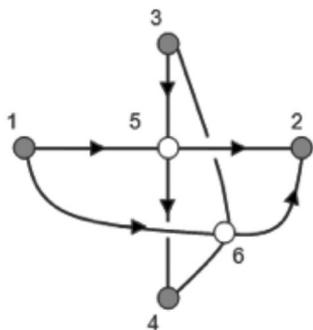
La matrice OD è costituita da solo 2 elementi:  $d_{1,2} = 1.100$  veic/h e  $d_{3,4} = 1.300$  veic/h.

Le caratteristiche che individuano le prestazioni di ciascun arco stradale sono le seguenti (vedi tabella):

- NA è il nodo iniziale dell'arco;
- NB è il nodo finale dell'arco;
- L è la lunghezza dell'arco (km);
- $V_0$  è la velocità a flusso nullo dell'arco;
- s è il flusso di saturazione dell'arco, se ha per nodo NB un nodo semaforizzato (veic/h);
- $C_E$  è il ciclo efficace del semaforo al nodo NB, se semaforizzato, (s);
- g è il verde efficace dell'accesso al nodo semaforico NB, se semaforizzato, (s).

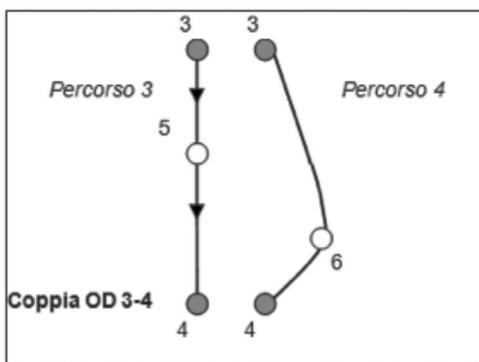
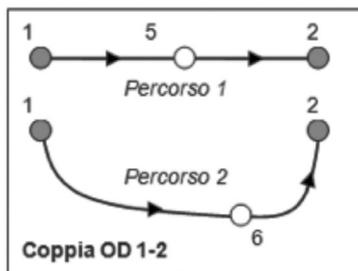
La topologia della rete di trasporto e le caratteristiche degli archi sono riportate di seguito.

**Rete stradale (topologia)**



● Nodo origine/destinazione  
○ Intersezione semaforizzata

**Percorsi per coppia OD**



NA	NB	L	$V_0$	s	$C_E =$	g
1	5	0,8	40	1800	90	45
1	6	1,0	40	1800	90	45
3	5	0,5	40	1800	90	45
3	6	0,7	40	1800	90	45
5	2	0,8	40	-	-	-
5	4	0,6	40	-	-	-
6	2	0,5	40	-	-	-
6	4	0,6	40	-	-	-



### Dati in uscita

I dati in uscita sono rappresentati dai valori dei parametri di regolazione semaforica:

- valore della durata del ciclo efficace per ciascuna intersezione;
- valore dei tempi di verde efficace per ciascuna fase di ciascuna intersezione;
- flussi di traffico su tutti gli archi della rete stradale.

### Calcoli e commenti

Il metodo di calcolo richiede le seguenti fasi:

- Fase 0 - inizializzazione:
  - si pone uguale a 90 s il ciclo efficace di ciascuna intersezione;
  - si pone uguale a 45 s il verde efficace a ciascun accesso;
  - si pongono uguali a 0 i flussi di traffico su tutti gli archi della rete,  $f_0 = 0$ ;
- si pone uguale ad 1 il contatore delle iterazioni:  $k = 1$ .
  - Fase 1 - calcolo costi sulla rete:
    - ▶ si calcolano i costi di arco in funzione dei flussi correnti e dei parametri di regolazione semaforica correnti;
    - ▶ si calcolano i costi di percorso come somma dei corrispondenti costi di arco.

- Fase 2 - carico flussi sulla rete:
  - ▶ si calcolano i flussi di percorso applicando il modello Logit multinomiale;
  - ▶ si calcolano i flussi di arco come somma dei flussi di percorso che condividono lo stesso arco,  $f^{SNLk}$ .
  - ▶ si calcolano i flussi sugli archi della rete secondo il metodo delle medie successive (MSA) come segue:
 
$$f_k = f_{k-1} + 1/k (f^{SNLk} - f_k);$$
  - ▶ se  $|f^{SNLk} - f_k|/f_k < \epsilon$ , termina, altrimenti vai alla Fase 3.
- Fase 3 - aggiornamento parametri di regolazione semaforica e costi:
  - ▶ si aggiornano i valori correnti dei parametri di regolazione semaforica (cicli efficaci e verdi efficaci) applicando una politica locale di controllo (esempio Webster);
  - ▶ aumenta il contatore delle iterazioni:  $k = k + 1$ ;
  - ▶ vai alla Fase 1.

Nell'esempio di calcolo che segue si assume un valore di  $\epsilon$  pari a 0,06 (6 % massimo di errore). Si assume che la fase 1 dell'intersezione 5 sia relativa all'accesso 1-5, la fase 2 dell'intersezione 5 all'accesso 3-5, la fase 1 dell'intersezione 6 sia relativa all'accesso 1-6 e la fase 2 dell'intersezione 6 all'accesso 3-6. Il tempo di running,  $tr(f)$ , di un arco è calcolato con la funzione BPR assumendo una capacità di 1.800 veic/h su ogni arco. Si assume un flusso di saturazione di ogni accesso pari a 1.800 veic/h. Il tempo di attesa (ritardo),  $tw(f)$ , all'accesso all'intersezione è calcolato con la formula di Webster. Il tempo totale su di un arco,  $tt(f)$ , è la somma del tempo di running e del tempo di attesa.



Iterazione 1

(Inizializzazione)

$$C_5 = 90 \text{ s}$$

$$C_6 = 90 \text{ s}$$

$$g_5(\text{fase1}) = 45 \text{ s} \quad g_5(\text{fase2}) = 45 \text{ s} \quad g_6(\text{fase1}) = 45 \text{ s} \quad g_6(\text{fase2}) = 45 \text{ s}$$

$$f_{(1-5)} = 0 \quad f_{(1-6)} = 0 \quad f_{(3-5)} = 0 \quad f_{(3-6)} = 0$$

$$f_{(5-2)} = 0 \quad f_{(5-4)} = 0 \quad f_{(6-2)} = 0 \quad f_{(6-4)} = 0$$

$$k = 1$$

(Calcolo costi sulla rete)

costi di arco:

$$tr_{(1-5)}(0) = 72 \text{ s} \quad tr_{(1-6)}(0) = 90 \text{ s} \quad tr_{(3-5)}(0) = 45 \text{ s} \quad tr_{(3-6)}(0) = 63 \text{ s}$$

$$tr_{(5-2)}(0) = 72 \text{ s} \quad tr_{(5-4)}(0) = 54 \text{ s} \quad tr_{(6-2)}(0) = 45 \text{ s} \quad tr_{(6-4)}(0) = 54 \text{ s}$$

$$tw_{(1-5)}(0) = 12,9 \text{ s} \quad tw_{(1-6)}(0) = 12,9 \text{ s} \quad tw_{(3-5)}(0) = 12,9 \text{ s} \quad tw_{(3-6)}(0) = 12,9 \text{ s}$$

$$tw_{(5-2)}(0) = 0 \quad tw_{(5-4)}(0) = 0 \quad tw_{(6-2)}(0) = 0 \quad tw_{(6-4)}(0) = 0$$

$$tt_{(1-5)}(0) = 84,9 \text{ s} \quad tt_{(1-6)}(0) = 102,9 \text{ s} \quad tt_{(3-5)}(0) = 57,9 \text{ s} \quad tt_{(3-6)}(0) = 75,9 \text{ s}$$

$$tt_{(5-2)}(0) = 72 \text{ s} \quad tt_{(5-4)}(0) = 54 \text{ s} \quad tt_{(6-2)}(0) = 45 \text{ s} \quad tt_{(6-4)}(0) = 54 \text{ s}$$

costi di percorso:

$$CP_{(1-5-2)} = 156,9$$

$$CP_{(1-6-2)} = 147,9$$

$$CP_{(3-5-4)} = 111,9$$

$$CP_{(3-6-4)} = 129,9$$



(Carico flussi sulla rete)

coppia OD 1-2:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-5-2) &= \exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) / [\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) + \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)] = \\ &= \exp(-15,69) / [\exp(-15,69) + \exp(-14,79)] = 0,289 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-6-2) &= \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta) / [\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) + \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)] = \\ &= \exp(-14,79) / [\exp(-15,69) + \exp(-14,79)] = 0,711 \end{aligned}$$

$$FP_{(1-5-2)} = \text{Prob}(1-5-2) \cdot d_{1-2} = 0,289 \cdot 1.100 = 318 \text{ veic/h}$$

$$FP_{(1-6-2)} = \text{Prob}(1-6-2) \cdot d_{1-2} = 0,711 \cdot 1.100 = 782 \text{ veic/h}$$

coppia OD 3-4:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(3-5-4) &= \exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) / [\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) + \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)] = \\ &= \exp(-11,19) / [\exp(-11,19) + \exp(-12,99)] = 0,858 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(3-6-4) &= \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta) / [\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) + \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)] = \\ &= \exp(-12,99) / [\exp(-11,19) + \exp(-12,99)] = 0,142 \end{aligned}$$

$$FP_{(3-5-4)} = \text{Prob}(3-5-4) \cdot d_{3-4} = 0,858 \cdot 1.300 = 1.116 \text{ veic/h}$$

$$FP_{(3-6-4)} = \text{Prob}(3-6-4) \cdot d_{3-4} = 0,142 \cdot 1.300 = 184 \text{ veic/h}$$



flussi di carico stocastico di rete iterazione 1:

$$f_{(1-5)}^{\text{SNL}} = 318 \quad f_{(1-6)}^{\text{SNL}} = 782 \quad f_{(3-5)}^{\text{SNL}} = 1.116 \quad f_{(3-6)}^{\text{SNL}} = 184$$

$$f_{(5-2)}^{\text{SNL}} = 318 \quad f_{(5-4)}^{\text{SNL}} = 1.116 \quad f_{(6-2)}^{\text{SNL}} = 782 \quad f_{(6-4)}^{\text{SNL}} = 184$$

flussi sugli archi iterazione 1:

Esempio di calcolo,  $f_k = f_{k-1} + 1/k (f_{k-1}^{\text{SNL}} - f_k)$ , per l'arco (1-5):

$$f_k = f_{k-1} + 1/k (f_{k-1}^{\text{SNL}} - f_k) = 0 + 1/1 (318 - 0) = 318 \text{ veic/h}$$

$$f_{(1-5)} = 318 \quad f_{(1-6)} = 782 \quad f_{(3-5)} = 1.116 \quad f_{(3-6)} = 184$$

$$f_{(5-2)} = 318 \quad f_{(5-4)} = 1.116 \quad f_{(6-2)} = 782 \quad f_{(6-4)} = 184$$

Test di arresto non rispettato, essendo i flussi all'iterazione precedente uguali a 0.

(Aggiornamento parametri di regolazione semaforica)

Intersezione 5:

$$C_{E5} = (1,5 L + 5)/(1 - (f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})) - 8 = (1,5 \cdot 8 + 5)/(1 - (318/1800 + 1116/1800)) - 8 = 76 \text{ s}$$

$$g_{(1-5)} = [(f_{(1-5)}/s_{(1-5)})/(f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})] \cdot C_{E5} = [(318/1800)/(318/1800 + 1116/1800)] \cdot 76 = 17 \text{ s}$$

$$g_{(3-5)} = [(f_{(3-5)}/s_{(1-5)})/(f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})] \cdot C_{E5} = [(1116/1800)/(318/1800 + 1116/1800)] \cdot 76 = 59 \text{ s}$$

Intersezione 6:

$$C_{E6} = (1,5 L + 5)/(1 - (f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})) - 8 = (1,5 \cdot 8 + 5)/(1 - (782/1800 + 184/1800)) - 8 = 29 \text{ s}$$

$$g_{(1-6)} = [(f_{(1-6)}/s_{(1-6)})/(f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})] \cdot CE 5 = [(782/1800)/(782/1800 + 184/1800)] \cdot 29 = 23 \text{ s}$$

$$g_{(3-6)} = [(f_{(3-6)}/s_{(3-6)})/(f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})] \cdot CE 5 = [(184/1800)/(782/1800 + 184/1800)] \cdot 29 = 6 \text{ s}$$

(Aggiornamento contatore iterazioni)

k = 2

Iterazione 2

(Calcolo costi sulla rete)

costi di arco:

$tr_{(1-5)}(318)=72 \text{ s}$	$tr_{(1-6)}(782)=90,5 \text{ s}$	$tr_{(3-5)}(1116)=46 \text{ s}$	$tr_{(3-6)}(184)=63 \text{ s}$
$tr_{(5-2)}(318)=72 \text{ s}$	$tr_{(5-4)}(1116)=55,5 \text{ s}$	$tr_{(6-2)}(782)=45,2 \text{ s}$	$tr_{(6-4)}(184)=54 \text{ s}$
$tw_{(1-5)}(318)=29,2 \text{ s}$	$tw_{(1-6)}(782)=3,9 \text{ s}$	$tw_{(3-5)}(1116)=8,7 \text{ s}$	$tw_{(3-6)}(184)=13,3 \text{ s}$
$tw_{(5-2)}(318)=0 \text{ s}$	$tw_{(5-4)}(1116)=0 \text{ s}$	$tw_{(6-2)}(782)=0 \text{ s}$	$tw_{(6-4)}(184)=0 \text{ s}$
$tt_{(1-5)}(318)=101,2 \text{ s}$	$tt_{(1-6)}(782)=94,4 \text{ s}$	$tt_{(3-5)}(1116)=54,7 \text{ s}$	$tt_{(3-6)}(184)=76,3 \text{ s}$



$$tt_{(5-2)}(318)=72 \text{ s} \quad tt_{(5-4)}(1116)=55,2 \text{ s} \quad tt_{(6-2)}(782)=45,2 \text{ s} \quad tt_{(6-4)}(184)=54 \text{ s}$$

costi di percorso:

$$CP_{(1-5-2)} = 144 \quad CP_{(1-6-2)} = 135,7 \quad CP_{(3-5-4)} = 101,2 \quad CP_{(3-6-4)} = 117$$

(Carico flussi sulla rete)

coppia OD 1-2:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-5-2) &= \frac{\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta)}{[\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta)+\exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)]} = \\ &= \frac{\exp(-14,4)}{[\exp(-14,4)+\exp(-13,57)]} = 0,304 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-6-2) &= \frac{\exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)}{[\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta)+\exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)]} = \\ &= \frac{\exp(-13,57)}{[\exp(-14,4)+\exp(-13,57)]} = 0,696 \end{aligned}$$

$$FP_{(1-5-2)} = \text{Prob}(1-5-2) \cdot d_{1-2} = 0,304 \cdot 1.100 = 334 \text{ veic/h}$$

$$FP_{(1-6-2)} = \text{Prob}(1-6-2) \cdot d_{1-2} = 0,696 \cdot 1.100 = 766 \text{ veic/h}$$

coppia OD 3-4:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(3-5-4) &= \frac{\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta)}{[\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta)+\exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)]} = \\ &= \frac{\exp(-10,12)}{[\exp(-10,12)+\exp(-11,7)]} = 0,829 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(3-6-4) &= \frac{\exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)}{[\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta)+\exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)]} = \\ &= \frac{\exp(-11,7)}{[\exp(-10,12)+\exp(-11,7)]} = 0,171 \end{aligned}$$

$$FP_{(3-5-4)} = \text{Prob}(3-5-4) \cdot d_{3-4} = 0,829 \cdot 1.300 = 1.078 \text{ veic/h}$$

$$FP_{(3-6-4)} = \text{Prob}(3-6-4) \cdot d_{3-4} = 0,171 \cdot 1.300 = 222 \text{ veic/h}$$

flussi di carico stocastico di rete iterazione 1:

$$\begin{aligned} f_{(1-5)}^{\text{SNL}} &= 334 & f_{(1-6)}^{\text{SNL}} &= 766 & f_{(3-5)}^{\text{SNL}} &= 1.078 & f_{(3-6)}^{\text{SNL}} &= 222 \\ f_{(5-2)}^{\text{SNL}} &= 334 & f_{(5-4)}^{\text{SNL}} &= 1.078 & f_{(6-2)}^{\text{SNL}} &= 766 & f_{(6-4)}^{\text{SNL}} &= 222 \end{aligned}$$

flussi sugli archi iterazione 1:

Esempio di calcolo,  $f_k = f_{k-1} + 1/k (f_k^{\text{SNL}} - f_k)$ , per l'arco (1-5):

$$f_k = f_{k-1} + 1/k (f_k^{\text{SNL}} - f_k) = 318 + 1/2 (334 - 318) = 326 \text{ veic/h}$$

$$f(1-5) = 326 \quad f(1-6) = 774 \quad f(3-5) = 1.097 \quad f(3-6) = 203$$

$$f(5-2) = 326 \quad f(5-4) = 1.097 \quad f(6-2) = 774 \quad f(6-4) = 203$$

Test di arresto non rispettato: massimo errore percentuale per gli archi (3-6) e (6-4) pari a 9,21%.

(Aggiornamento parametri di regolazione semaforica)

Intersezione 5:

$$C_{E5} = (1,5 L + 5) / (1 - (f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})) - 8 = (1,5 \cdot 8 + 5) / (1 - (326/1800 + 1097/1800)) - 8 = 73 \text{ s}$$

$$g_{(1-5)} = [(f_{(1-5)}/s_{(1-5)}) / (f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})] \cdot C_{E5} = [(326/1800) / (326/1800 + 1097/1800)] \cdot 73 = 17 \text{ s}$$



$$g_{(3-5)} = [(f_{(3-5)}/s_{(1-5)})/(f_{(1-5)}/s_{(1-5)} + f_{(3-5)}/s_{(3-5)})] \cdot C_{E5} = [(1097/1800)/(326/1800 + 1097/1800)] \cdot 73 = 56 \text{ s}$$

Intersezione 6:

$$C_{E6} = (1,5 L + 5)/(1 - (f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})) - 8 = (1,5 \cdot 8 + 5)/(1 - (774/1800 + 203/1800)) - 8 = 29 \text{ s}$$

$$g_{(1-6)} = [(f_{(1-6)}/s_{(1-6)})/(f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})] \cdot C_{E5} = [(774/1800)/(774/1800 + 203/1800)] \cdot 29 = 23 \text{ s}$$

$$g_{(3-6)} = [(f_{(3-6)}/s_{(3-6)})/(f_{(1-6)}/s_{(1-6)} + f_{(3-6)}/s_{(3-6)})] \cdot C_{E5} = [(203/1800)/(774/1800 + 203/1800)] \cdot 29 = 6 \text{ s}$$

(Aggiornamento contatore iterazioni)

$$k = 3$$

Iterazione 3

(Calcolo costi sulla rete)

costi di arco:

$$\begin{array}{llll} tr_{(1-5)}(326) = 72 \text{ s} & tr_{(1-6)}(774) = 90,5 \text{ s} & tr_{(3-5)}(1097) = 45,9 \text{ s} & tr_{(3-6)}(203) = 63 \text{ s} \\ tr_{(5-2)}(326) = 72 \text{ s} & tr_{(5-4)}(1097) = 55,1 \text{ s} & tr_{(6-2)}(774) = 45,2 \text{ s} & tr_{(6-4)}(203) = 54 \text{ s} \end{array}$$

$$tw_{(1-5)}(326) = 28,1 \text{ s} \quad tw_{(1-6)}(774) = 4,2 \text{ s} \quad tw_{(3-5)}(1097) = 8,7 \text{ s} \quad tw_{(3-6)}(203) = 13,2 \text{ s}$$

$$tw_{(5-2)}(326) = 0 \text{ s} \quad tw_{(5-4)}(1097) = 0 \text{ s} \quad tw_{(6-2)}(774) = 0 \text{ s} \quad tw_{(6-4)}(203) = 0 \text{ s}$$

$$tt_{(1-5)}(326) = 100,1 \text{ s} \quad tt_{(1-6)}(774) = 94,7 \text{ s} \quad tt_{(3-5)}(1097) = 54,6 \text{ s} \quad tt_{(3-6)}(203) = 76,2 \text{ s}$$

$$tt_{(5-2)}(326) = 72 \text{ s} \quad tt_{(5-4)}(1097) = 55,1 \text{ s} \quad tt_{(6-2)}(774) = 45,2 \text{ s} \quad tt_{(6-4)}(203) = 54 \text{ s}$$

costi di percorso:

$$CP_{(1-5-2)} = 144 \quad CP_{(1-6-2)} = 135,7 \quad CP_{(3-5-4)} = 101 \quad CP_{(3-6-4)} = 117$$

(Carico flussi sulla rete)

coppia OD 1-2:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-5-2) &= \exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) / [\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) + \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)] = \\ &= \exp(-14,4) / [\exp(-14,4) + \exp(-13,57)] = 0,303 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(1-6-2) &= \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta) / [\exp(-CP_{(1-5-2)}/\theta) + \exp(-CP_{(1-6-2)}/\theta)] = \\ &= \exp(-13,57) / [\exp(-14,4) + \exp(-13,57)] = 0,697 \end{aligned}$$

$$FP(1-5-2) = \text{Prob}(1-5-2) \cdot d_{1-2} = 0,303 \cdot 1.100 = 333 \text{ veic/h}$$

$$FP(1-6-2) = \text{Prob}(1-6-2) \cdot d_{1-2} = 0,697 \cdot 1.100 = 767 \text{ veic/h}$$

coppia OD 3-4:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(3-5-4) &= \exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) / [\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) + \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)] = \\ &= \exp(-10,1) / [\exp(-10,1) + \exp(-11,7)] = 0,831 \end{aligned}$$

$$\text{Prob}(3-6-4) = \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta) / [\exp(-CP_{(3-5-4)}/\theta) + \exp(-CP_{(3-6-4)}/\theta)] =$$



$$= \exp(-11,7)/[\exp(-10,1)+\exp(-11,7)] = 0,169$$

$$FP_{(3-5-4)} = \text{Prob}(3-5-4) \cdot d_{3-4} = 0,831 \cdot 1.300 = 1.081 \text{ veic/h}$$

$$FP_{(3-6-4)} = \text{Prob}(3-6-4) \cdot d_{3-4} = 0,169 \cdot 1.300 = 219 \text{ veic/h}$$

flussi di carico stocastico di rete iterazione 1:

$$f_{(1-5)}^{\text{SNL}} = 333 \quad f_{(1-6)}^{\text{SNL}} = 767 \quad f_{(3-5)}^{\text{SNL}} = 1.081 \quad f_{(3-6)}^{\text{SNL}} = 219$$

$$f_{(5-2)}^{\text{SNL}} = 333 \quad f_{(5-4)}^{\text{SNL}} = 1.081 \quad f_{(6-2)}^{\text{SNL}} = 767 \quad f_{(6-4)}^{\text{SNL}} = 219$$

flussi sugli archi iterazione 1:

Esempio di calcolo,  $f_k = f_{k-1} + 1/k (f_{k-1}^{\text{SNL}} - f_k)$ , per l'arco (1-5):

$$f_k = f_{k-1} + 1/k (f_{k-1}^{\text{SNL}} - f_k) = 326 + 1/3 (333 - 326) = 328 \text{ veic/h}$$

$$f_{(1-5)} = 328 \quad f_{(1-6)} = 772 \quad f_{(3-5)} = 1.092 \quad f_{(3-6)} = 208$$

$$f_{(5-2)} = 328 \quad f_{(5-4)} = 1.092 \quad f_{(6-2)} = 772 \quad f_{(6-4)} = 208$$

Test di arresto rispettato: massimo errore percentuale per gli archi (3-6) e (6-4) pari a 5,14%.

L'algoritmo termina ed i risultati sono:

$$C_{E5} = 73 \text{ s} \quad g_{(1-5)} = 17 \text{ s} \quad g_{(3-5)} = 56 \text{ s}$$

$$C_{E6} = 29 \text{ s} \quad g_{(1-6)} = 23 \text{ s} \quad g_{(3-6)} = 6 \text{ s}$$

$$f_{(1-5)} = 328 \quad f_{(1-6)} = 772 \quad f_{(3-5)} = 1.092 \quad f_{(3-6)} = 208$$

$$f_{(5-2)} = 328 \quad f_{(5-4)} = 1.092 \quad f_{(6-2)} = 772 \quad f_{(6-4)} = 208$$

## 6.5 Progetto della topologia

La procedura di ottimizzazione utilizzata considera due aspetti del problema di progetto delle reti: il progetto della topologia della rete, con l'allocazione delle corsie per ogni arco e con la definizione dei sensi di marcia; l'ottimizzazione al nodo in termini di durata delle fasi e del ciclo semaforico.

### 6.5.1 Obiettivo o problema da risolvere

Il progetto di una rete di trasporto coinvolge vari gruppi ciascuno con i propri obiettivi (Tabella 6.4):

- *gli utenti del sistema: vorrebbero ridurre il tempo complessivo di percorrenza, lo stress, la congestione, gli spazi percorsi a piedi, il numero di incidenti, più in generale la loro disutilità negli spostamenti ([1], p.185);*
- *il gestore del sistema: vorrebbe minimizzare i costi di costruzione e di gestione, massimizzare gli introiti, minimizzare il tempo totale di percorrenza per gli utenti ([1], p.185);*
- *la collettività influenzata dal sistema dei trasporti stradale: vorrebbe massimizzare le aree pedonalizzate, migliorare la qualità ambientale, minimizzare il numero di incidenti ([1], p.185).*

Gli obiettivi sono inseriti in una funzione, denominata funzione obiettivo, che può avere diverse specificazioni, secondo l'obiettivo che si vuole raggiungere (approccio monocriterio): ad esempio minimizzazione del tempo totale su rete, minimizzazione del ritardo, massimizzazione della soddisfazione o combinazione pesata di più obiettivi. In un approccio multi-criteria, l'ottimizzazione coinvolge più attori con obiettivi diversi.



**Tab. 6.4 Obiettivi**

<i>Utenti</i>	<i>Minimo</i> : tempo di percorrenza, stress, congestione, spazi percorsi a piedi, incidenti <i>Massimo</i> : utilità negli spostamenti
<i>Gestore</i>	<i>Minimo</i> : costi di costruzione e di gestione, tempo totale di percorrenza per gli utenti <i>Massimo</i> : introiti
<i>Collettività</i>	<i>Minimo</i> : numero di incidenti <i>Massimo</i> : aree pedonalizzate, qualità ambientale, accessibilità

### 6.5.2 Dati di ingresso

I dati di ingresso del problema sono la rete infrastrutturale composta dalle strade disponibili e dalle relative funzioni di costo, prestazione e impatto e la domanda di mobilità, eventualmente suddivisa per fasce temporali e categorie di utenti.

Gli elementi infrastrutturali sono individuati da una coppia di nodi e da un numero fissato di corsie che saranno allocate in fase di ottimizzazione. Il verso di percorrenza non è fissato a priori [1, p. 185].

Il progetto della regolazione semaforica si può sviluppare utilizzando metodi descritti nelle sezioni 6.3 e 6.4.

### 6.5.3 Strumenti e modalità di calcolo

Il problema di progetto della rete può essere formulato come un problema non lineare vincolato. Il problema è risolto minimizzando o massimizzando la funzione obiettivo precedentemente definita, nel rispetto di vincoli strutturali, di connessione della rete e regolazione alle intersezioni, di comportamento dell'utente.

I vincoli strutturali derivano da limitazioni fisiche imposte dall'infrastruttura esistente, questo vincolo si pone sul numero di corsie allocabili per ogni arco (la somma delle corsie allocate nelle due direzioni è un valore vincolato dal numero di corsie disponibili).

Il vincolo di connessione garantisce che esista almeno un percorso per ogni

coppia origine/destinazione, i vincoli alle intersezioni sono relativi alla durata dei periodi di regolazione e le relative incompatibilità.

Il vincolo sul comportamento dell'utente è legato alle ipotesi sulla scelta del percorso (deterministico o stocastico) come descritto nella sezione 6.2.

In Figura 6.12 è riportata una possibile procedura di soluzione per il progetto di una rete urbana di trasporto, nell'ipotesi che l'offerta infrastrutturale sia bloccata. Il problema viene risolto su due livelli:

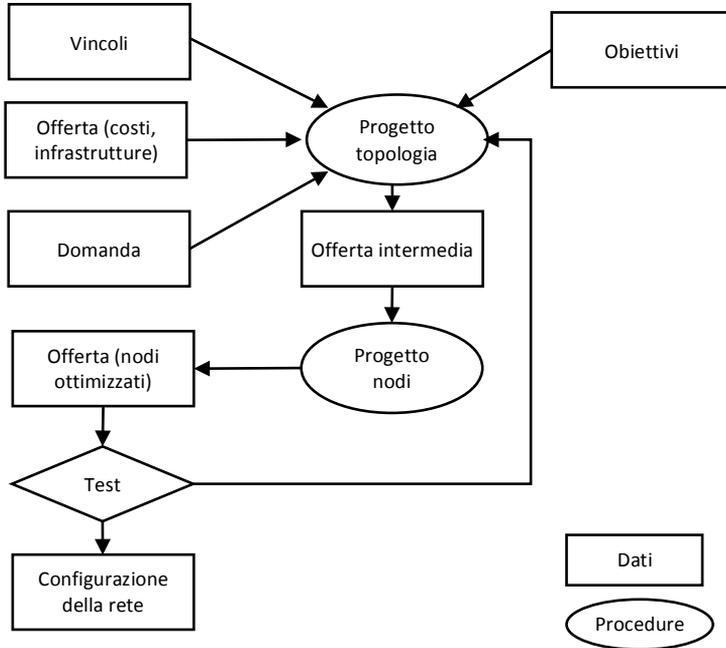
- (progetto topologia) in un primo livello si generano le configurazioni topologiche mediante apposite procedure;
- (progetto nodi) in un secondo livello, per ogni soluzione topologica generata, si procede con l'ottimizzazione dei nodi (processo che ad esempio può essere inserito all'interno della procedura di assegnazione), così come descritto nelle sezioni 6.3 e 6.4.

Il test di fine procedura completa la procedura (se la soluzione soddisfa certe caratteristiche) oppure rimanda alla generazione di una nuova configurazione topologica del sistema (primo livello) utilizzando le informazioni derivanti da tutte le soluzioni generate.

Relativamente alla prima fase, per reti di piccole dimensioni (come quella riportata nella sezione 5.5), si possono generare tutte le possibili configurazioni topologiche. Per reti di grandi dimensioni si generano solo parte delle soluzioni mediante idonee procedure euristiche, quali algoritmi genetici.



Fig. 6.12 Progetto della topologia e dei nodi di una rete di trasporto stradale urbana (Fonte: [2], p. 112)



### 6.5.4 Dati in uscita

L'output del problema è la rete di trasporto stradale in termini di:

- topologia (direzione degli archi);
- numero di corsie di ogni arco (in generale può essere possibile l'aggiunta di nuovi archi);
- regolazione alle intersezioni.

È possibile valutare la configurazione di progetto definendo degli indica-

tori di sostenibilità economica, ambientale e sociale. Si riportano di seguito alcuni possibili indicatori per il calcolo della sostenibilità. Tali indicatori non sono esaustivi di tutti gli indicatori possibili. Maggiori approfondimenti sono riportati nella sezione 6.1.

La sostenibilità economica può essere valutata in termini di aumento della soddisfazione per gli utenti e/o riduzione del tempo medio sulla rete o di costi sostenuti dagli utenti.

La sostenibilità ambientale può essere valutata in termini di riduzione di inquinamento acustico ed atmosferico.

La sostenibilità sociale può essere valutata in termini di riduzione della probabilità di incidenti stradali.

Si può osservare che gli indicatori di sostenibilità economica sono utilizzati anche come obiettivi da massimizzare o minimizzare nei problemi di progetto mentre gli indicatori di sostenibilità ambientale e sociale sono output, outcome o goal della metodologia.

### 6.5.5 Esempi pratici

---

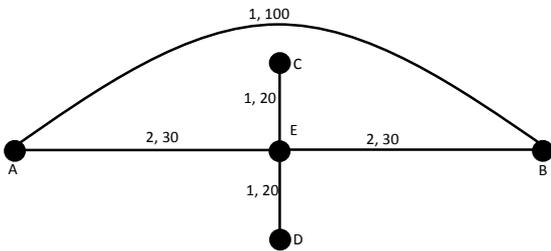
#### **Descrizione del problema**

In questo esempio pratico si vuole trovare la soluzione ottima in termini di configurazione topologica e regolazione semaforica della rete di trasporto, riportata nella figura seguente. Considerando la finalità dell'esempio pratico si considera: una sola intersezione semaforizzata (nodo E) e progettata con il metodo di Webster; un solo obiettivo, ovvero la minimizzazione del tempo totale di percorrenza per gli utenti sul sistema; la generazione delle configurazioni topologiche con il metodo ad enumerazione esplicita.

#### **Dati in ingresso**

I dati in ingresso sono riportati nella figura seguente.





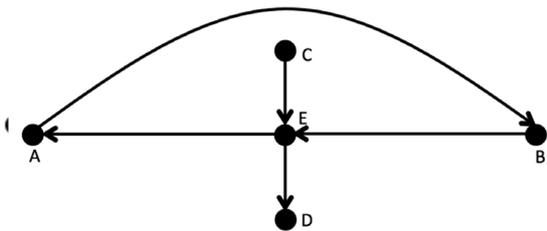
**Domanda**  
 $d_{AB} = 500$  veicoli/h  
 $d_{BA} = 550$  veicoli/h  
 $d_{CD} = 600$  veicoli/h  
 scelta del percorso Logit con disutilità tempo -0,05 (1/sec)

**Offerta**  
 Sui rami del grafo sono riportati: Numero corsie,  $t_0$  (sec)  
 Tempo\_di\_percorrenza =  $t_0 \cdot (1 + x^2)$   
 Tempo\_di\_attesa =  $0,45$  (ciclo  $(1 - \mu)^2 / (1 - x) + x / (c \cdot (1 - x))$ )  
 $x = \text{Flusso} / \text{Capacità}$   
 $c = \text{Capacità} = s \cdot \mu$   
 $s = \text{Flusso\_di\_saturazione} = 1800$  veicoli / (h corsia)  
 $\mu = \text{Verde\_efficace} / \text{ciclo}$   
 $cl = \text{Ciclo}$

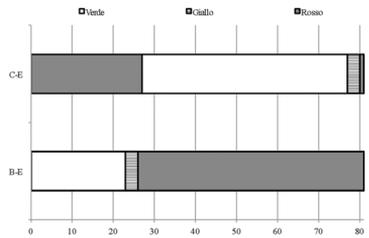
**Dati in uscita**

I dati di uscita del problema sono riportati nella figura seguente.

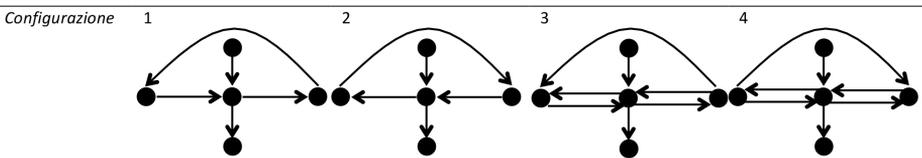
La configurazione topologica con il valore migliore di funzione obiettivo è la numero 2 con regolazione semaforica per l'intersezione E riportata in modo grafico nel piano di regolazione rappresentato nella stessa figura.



Topologia della configurazione ottimale



Piano di regolazione ottimale intersezione E



Configurazione	1	2	3	4				
Ramo (ini-fin)	Flusso (veic/h)	Verde-Giallo (sec-sec)						
A-E	500	21 - 3	---	---	500	45 - 3	308	51 - 3
E-A	---	---	550	---	318	---	550	---
B-E	---	---	550	23 - 3	318	45 - 3	550	51 - 3
E-B	500	---	---	---	500	---	308	---
A-B	---	---	500	---	---	---	192	---
B-A	1000	---	---	---	232	---	---	---
C-E	600	50 - 3	600	50 - 3	600	56 - 3	600	58 - 3
E-D	600	---	600	---	600	---	600	---
F. obiettivo (veic h/h)	57	40	46	49				

## Calcoli e commenti

Considerando che il sistema è di piccole dimensioni, per l'esempio si può applicare un algoritmo ad enumerazione esplicita di tutte le configurazioni topologiche fattibili (livello I) e successivamente, per ogni configurazione topologica generata, calcolare i parametri di regolazione ottimale nell'intersezione E, i flussi di equilibrio, i costi di equilibrio e la funzione obiettivo in termini di tempo totale di percorrenza (livello II). La soluzione migliore è quella con valore più basso di funzione obiettivo.

Per il vincolo di fattibilità, nelle configurazioni deve esistere almeno un percorso che unisca le coppie origine-destinazione con flusso di domanda maggiore di zero. Tra i nodi C e D il flusso di domanda è da C verso D; quindi, in tutte le configurazioni, il verso di percorrenza degli archi CE e ED è univocamente definito. Inoltre deve esistere almeno un percorso tra A-B e B-A. Pertanto sono fattibili 4 configurazioni topologiche riportate nella figura precedente.

Nelle configurazioni 1 e 2 i flussi sui rami sono univocamente definiti in quanto esiste un solo percorso tra ciascuna coppia origine destinazione. Pertanto tutto il flusso di domanda utilizza l'unico percorso esistente.

Considerando la configurazione topologia 1, i flussi sui rami sono:

$$f_{AE} = f_{EB} = 500 \text{ veicoli/h}; f_{CE} = f_{ED} = 600 \text{ veicoli/h}; f_{BA} = 550 \text{ veicoli/h}.$$

Partendo dai flussi, è possibile calcolare i parametri di regolazione ottimale all'intersezione E; si utilizza il metodo di Webster, descritto nella sezione 6.3. I valori dei parametri di regolazione semaforica sono (due fasi, tempo di tutto rosso 1 sec, tempo perso per ciascuna fase 3 sec, tempo di giallo 3 sec):

Ciclo=79 sec (compreso 2 sec di tutto rosso), Verde<sub>AE</sub>=21 sec, Verde<sub>CE</sub>=50 sec,



Giallo<sub>AE</sub>=Giallo<sub>CE</sub>=3 sec.

I tempi di percorrenza, comprensivi dell'attesa alle intersezioni, sono:

$t_{AE} = 76,3$  sec;  $t_{EB} = 30,2$  sec;  $t_{CE} = 34,6$  sec;  $t_{ED} = 21,2$  sec;  $t_{BA} = 118,2$  sec.

Il valore della funzione obiettivo si calcola come somma del prodotto tra il flusso su ciascun ramo e il tempo di percorrenza. Il valore della funzione obiettivo risulta: 204968 veic sec/h o 56,9 veic h/h.

In modo analogo si calcolano i valori dei flusso, i parametri di regolazione e il valore della funzione obiettivo per la configurazione 2, riportati in figura.

Per le configurazioni 3 e 4 da C verso D esiste un solo percorso (600 veicoli/ora sugli archi CE ed ED).

Per la configurazione 3:

- da A verso B esiste un solo percorso (500 veicoli/ora sugli archi AE ed EB);
- da B verso A esistono 2 percorsi, pertanto occorre calcolare il flusso di equilibrio, integrato con il progetto della regolazione dell'intersezione E (considerando anche il flusso sui rami CE ed ED) come descritto nella sezione 6.4; il valore dei flussi e dei parametri di regolazione semaforica sono riportati in tabella.

Per la configurazione 4:

- da B verso A esiste un solo percorso (550 veicoli/ora sugli archi BE ed EA);
- da A verso B esistono 2 percorsi, pertanto occorre calcolare il flusso di equilibrio, integrato con il progetto della regolazione dell'intersezione E (considerando anche il flusso sui rami CE ed ED) come descritto nella

sezione 6.4; il valore dei flussi e dei parametri di regolazione semaforica sono riportati in tabella.

Per ogni configurazione, noto il valore dei flussi e dei tempi su ogni arco si calcola il valore della funzione obiettivo, riportata in figura.



## 7.

---

# INTERVENTI DI GESTIONE DELLA DOMANDA, DEL TRAFFICO E DELL'INFORMAZIONE

---

Gli interventi consolidati nella pratica e progettati con gli strumenti di calcolo descritti nel capitolo 6 sono, nelle più recenti ed efficaci applicazioni, accompagnati da interventi di gestione della domanda di mobilità, del traffico urbano e dell'informazione all'utenza, molto spesso implementati tramite sistemi di trasporto intelligenti.

### 7.1 Gestione della domanda di mobilità

---

Tra le molteplici politiche attuabili esiste una famiglia di politiche di gestione della domanda di mobilità. Esse hanno la finalità diretta di modificare i comportamenti di mobilità e di spostamento degli utenti del sistema di trasporto e una finalità indiretta di limitare gli impatti della mobilità stessa sugli utenti del sistema di trasporto stesso e sulla collettività. Le strategie di gestione della domanda di mobilità hanno avuto e continuano ad avere una grande diffusione perché facilmente implementabili, finanziariamente sostenibili e efficaci nel perseguire una mobilità sostenibile.

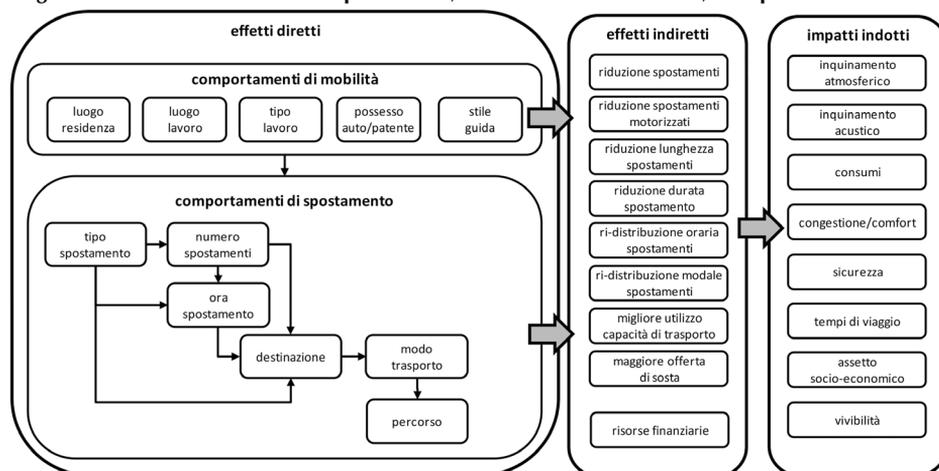
Le politiche di gestione della domanda di mobilità possono essere distinte in politiche finalizzate a modificare comportamenti di mobilità e politiche finalizzate a modificare comportamenti di spostamento (Figure 7.1).

I comportamenti di mobilità sono di ordine gerarchicamente superiore e sono presupposto dei comportamenti di spostamento. Tra questi rientrano i comportamenti di scelta della residenza, del luogo di lavoro (ove possibile), del tipo di lavoro, del possesso dell'auto (del numero di auto) e della patente. Sono scelte non sempre influenzate dal sistema di trasporto (per esempio il tipo di lavoro), presentano dei tempi di attuazione molto lunghi e, in generale, sono presi in considerazione solo in presenza di cambiamenti radicali dell'assetto del sistema di sociale, economico

e/o trasportistico dell'area di studio.

I comportamenti di spostamento riguardano le decisioni che ciascun utente è chiamato a prendere ogni volta che deve effettuare uno spostamento: la scelta di spostarsi, la scelta del numero di spostamenti, la scelta dell'orario di partenza o di ritorno, la scelta della destinazione, la scelta del modo di trasporto, la scelta preventiva del percorso, le scelte adattive durante il percorso, la scelta del luogo di sosta.

**Fig. 7.1 Effetti diretti primari, effetti indiretti, impatti indotti**



Le diverse politiche, a loro volta, possono essere classificate in politiche mono-modalità o politiche multi-modalità. Le prime sono finalizzate a modificare comportamenti all'interno di uno stesso modo di trasporto (numero spostamenti, orario, percorsi); le seconde sono finalizzate a modificare comportamenti di scelta modale e, a loro volta, classificabili in politiche di push o politiche di pull. Le prime funzionali ad allontanare l'utente da uno specifico modo di trasporto (tipicamente l'automobile); le seconde ad attrarlo verso una o più modalità di trasporto alternative a quella tipicamente utilizzata.

Di seguito si riportano alcune caratteristiche delle più diffuse politiche di gestione della domanda di mobilità.

*Politiche territoriali*


---

cosa	interventi sulle esigenze (primarie e secondarie) dello spostamento mediante la redistribuzione spaziale delle attività residenziali ed economiche
finalità	modifica della configurazione dei flussi di domanda origine-destinazione e modali
effetti diretti	modifica delle origini e delle destinazioni dello spostamento, variazione della configurazione della domanda di mobilità (lunghezza spostamenti, numero spostamenti, modalità di trasporto)
effetti indiretti	riduzione degli spostamenti sistematici, sviluppo aree depresse ed aumento del tempo da dedicare ad altre attività.
modalità	<ul style="list-style-type: none"> <li>- politiche di rigenerazione urbana concentrando le attività generatrici di spostamenti dove la dipendenza dall'auto è ridotta</li> <li>- concentrazione delle attività nelle aree centrali o in poli in modo da accorpare spostamenti in zone e corridoi particolari ove esistenti</li> <li>- incremento della densità abitativa (servono interventi complementari)</li> <li>- uso misto del suolo, ovvero differenti funzioni territoriali in modo da avere aree quasi autosufficienti dove potersi spostare facilmente con modi alternativi all'auto</li> <li>- tecnologie di sostituzione della partecipazione alle attività fuori casa (telelavoro, teleconferenza, acquisti elettronici)</li> </ul>

---

*Road pricing (Pull)*


---

cosa	tariffazione dell'attraversamento di strade, dell'ingresso in specifiche aree
finalità	dissuasione dell'uso dell'auto mediante internalizzazione dei costi sociali indotti dal traffico veicolare
effetti diretti	modifiche di comportamenti di mobilità e di comportamenti di spostamento, riduzione di spostamenti, shift modale verso il trasporto collettivo, forme di car-pooling, car-sharing, shift orario degli spostamenti, risorse finanziarie per politiche di incentivazione di modi alternativi
effetti indiretti	riduzione di congestione (tempi di viaggio), inquinamento, consumi, ecc.; maggiore utilizzo della capacità di trasporto esistente (TPL)
modalità	definizione dell'estensione dell'area, studio della tariffa e degli effetti, definizione della tecnologia (automatica o manuale; tessere prepagate o manuale)

---

*Tariffazione della sosta (Pull e Push)*


---

cosa	tariffazione degli stalli di sosta su suolo pubblico
finalità	dissuasione dell'uso dell'auto mediante internalizzazione dei costi sociali indotti dal traffico veicolare (risarcimento); garantire rotazione della sosta e la sosta ai residenti
effetti diretti	modifiche di comportamenti di spostamento: riduzione di spostamenti, shift modale verso il trasporto collettivo, forme di car-pooling, car-sharing, shift orario degli spostamenti; risorse finanziarie per politiche di incentivazione di modi alternativi
effetti indiretti	riduzione di congestione (tempi di viaggio), inquinamento, consumi, ecc.; maggiore utilizzo della capacità di trasporto esistente (TPL)
modalità	identificazione delle aree da tariffare, definire la struttura tariffaria, definire le tecnologie di esazione (tessere prepagate o manuale)

---



*Misure fiscali (Push)*

cosa	interventi fiscali sull'acquisto, possesso e uso dell'auto
finalità	dissuasione dell'uso dell'auto
effetti diretti	modifiche di comportamenti di mobilità (possesso auto e patente) e di spostamento: riduzione di spostamenti, shift modale verso il trasporto collettivo, forme di car-pooling, car-sharing, cambio di tipologia di veicolo, risorse finanziarie per politiche di incentivazione di modi alternativi
effetti indiretti	riduzione di congestione (tempi di viaggio), inquinamento, consumi, ecc., maggiore utilizzo della capacità di trasporto esistente (TPL)
modalità	definizione dell'entità delle misure

*Misure amministrative (Push)*

cosa	Zone a Traffico Limitato (ZTL), aree pedonali
finalità	dissuadere l'uso dell'auto, garantire migliore vivibilità, favorire mobilità pedonale o ciclistica
effetti diretti	maggiore vivibilità e riduzione dell'inquinamento nelle aree coinvolte, modifiche di comportamenti di spostamento, shift modale verso il trasporto collettivo, forme di car-pooling, car-sharing
effetti indiretti	riduzione di congestione (tempi di viaggio), consumi, ecc., maggiore utilizzo della capacità di trasporto esistente (TPL), modifiche dell'assetto socio-economico
modalità	definizione della estensione delle aree da coinvolgere e/o degli orari di ingresso/uscita

*Regolazione della Sosta (mono-modale)*

cosa	aree solo residenti, razionalizzazione posti auto, eliminazione lunga sosta, park and ride
finalità	favorire la sosta ai residenti (aree residenziali), favorire la rotazione della sosta (aree commerciali), favorire l'accesso alle aree centrali con TPL
effetti diretti	modifiche di comportamenti di spostamento: destinazione, shift modale verso il trasporto collettivo, modifiche della durata dello spostamento, dell'ora dello spostamento
effetti indiretti	riduzione di congestione (tempi di viaggio), consumi, ecc., maggiore utilizzo della capacità di trasporto esistente (TPL)
modalità	definizione della estensione delle aree da coinvolgere e/o degli orari

*Traffic calming (mono-modale)*

cosa	progetto degli spazi stradali e fuori strada in modo da favorire la coesistenza delle diverse componenti della mobilità (auto, pedoni, biciclette)
finalità	coesistenza delle componenti di mobilità per favorire una maggiore coscienza e rispetto reciproco
effetti diretti	modifica dello stile di guida: riduzione delle velocità di percorrenza, riduzione dei disturbi reciproci, ottimizzazione degli spazi disponibili; modifica dei comportamenti di spostamento: percorsi
effetti indiretti	riduzione di incidenti, riduzione inquinamento, fluidificazione del traffico
modalità	arredi urbani, rotonde, larghezza corsie e marciapiedi, dissuasori, pavimentazione, zone con velocità limite di 30 km/h



*Car-pooling (Pull)*


---

cosa	favorire mediante sistemi tecnologici e politiche specifiche l'utilizzo della stessa automobile da parte di più persone
finalità	aumentare il coefficiente di occupazione delle automobili
effetti diretti	riduzione del numero di automobili circolanti
effetti indiretti	riduzione di tutti gli effetti indotti dal traffico veicolare, benefici per quanto riguarda l'offerta di sosta
modalità	sistemi di formazione degli equipaggi (aziendali e non), incentivi: corsie preferenziali, parcheggi dedicati, accesso alle ZTL

---

*Car-sharing (Pull)*


---

cosa	utilizzo e/o condivisione di una automobile (o flotta di automobili) messa a disposizione da un soggetto privato
finalità	limitare il possesso dell'automobile, aumentare il loro coefficiente di occupazione, introdurre veicoli poco inquinanti
effetti diretti	riduzione del numero di automobili circolanti, riduzione dei costi fissi, riduzione distanze percorse, sviluppo della mobilità combinata
effetti indiretti	riduzione di tutti gli effetti indotti dal traffico veicolare, benefici per quanto riguarda l'offerta di sosta
modalità	sistemi di prenotazione, incentivi: corsie preferenziali, parcheggi dedicati, accesso alle ZTL

---

*Sistemi di informazione all'utenza (mono-modale)*


---

cosa	informazioni su percorsi in auto, orari, programmi di car-pooling, trasporto collettivo
finalità	rendere consapevoli gli utenti del livello di servizio offerto
effetti diretti	modifica delle scelte di percorso preventive, modifica percorso durante lo spostamento, modifica scelta del modo, aumento del comfort, utilizzo più efficiente dell'offerta di trasporto
effetti indiretti	riduzione congestione (tempi di viaggio), inquinamento
modalità	pannelli, radio, TV, internet, navigatori, smart phone

---



## 7.2 Gestione del traffico urbano e dell'informazione mediante sistemi di trasporto intelligenti

### 7.2.1 Inquadramento delle applicazioni ITS

I Sistemi di Trasporto Intelligenti o ITS (Intelligent Transportation Systems) sono l'integrazione delle conoscenze nel campo delle telecomunicazioni, elettronica, informatica (in breve, la telematica) con l'ingegneria dei trasporti, per la pianificazione, progettazione, esercizio, manutenzione e gestione dei sistemi di trasporto.

Gli ITS forniscono applicazioni avanzate alla gestione del traffico (Advanced Traffic Management Systems) e delle flotte veicolari (Advanced Fleet Management Systems), all'informazione agli utenti (Advanced Traveler Information Systems) e all'assistenza alla guida (Advanced Driver Assistance Systems), svolgendo molteplici funzioni, relative alle diverse fasi della mobilità (programmazione del viaggio, circolazione, sosta, scambio modale) ed alle diverse categorie di utenti (passeggeri, merci; utenti abituali, turisti, eccetera).

Nella Tabella 7.1 si riportano alcuni esempi di funzionalità e applicazioni ITS.

*Tabella 7.1 – Esempi di funzionalità e applicazioni ITS*

<i>Funzione</i>	<i>Applicazione</i>	<i>Funzione</i>	<i>Applicazione</i>
Gestione della rete semaforica	ATMS	Localizzazione e monitoraggio delle flotte private e del TPL	AFMS/ATMS/ATIS
Gestione e controllo della sosta	ATMS	Gestione dei dati di traffico	ATMS/ATIS
Gestione dei bus turistici	AFMS	Fornitura delle informazioni su traffico e mobilità agli utenti	ATIS
Road charging	ATMS**		

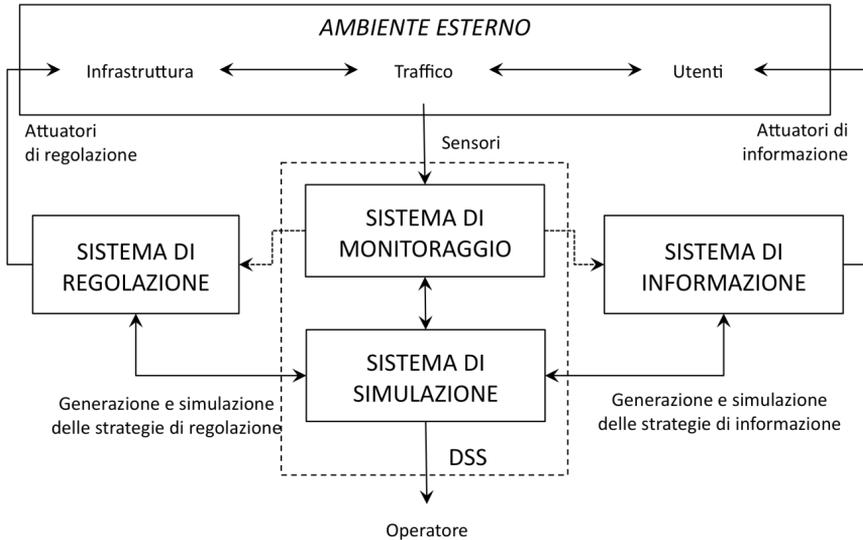
\* AFMS (Advanced Fleet Management System), ATMS (Advanced Traffic Management System) e ATIS (Advanced Traveller Information System)

\*\* Il road charging, spesso identificato in letteratura come Electronic Toll Collection, può essere considerato uno dei componenti dell'ATMS

Gli ITS sono caratterizzati da interazioni tra diverse componenti. In particolare, con riferimento ad un'applicazione integrata di tipo ATMS e ATIS, uno schema esemplificativo di tali interazioni è riportato nella Figura 7.2. Lo schema di interazione tra i sottosistemi di monitoraggio, regolazione, simulazione ed informazione, è adattabile ad altri ambiti funzionali degli ITS (Dalla Chiara et al., 2013).



Fig. 7.2 Interazioni tra le diverse componenti del sistema ITS [1]



## 7.2.2 Specifiche di qualificazione dei dati

Nell'implementazione di soluzioni ITS riveste particolare importanza la qualificazione del dato, intesa come la necessità di individuare con esattezza e secondo criteri predefiniti e comuni la natura, l'affidabilità e l'origine del dato. Diverse qualificazioni possono essere associate a dati di diversa natura, quali, ad esempio:

- dati infrastrutturali e di descrizione dei servizi di trasporto, con bassa frequenza di aggiornamento, dipendenti da decisioni/azioni pianificate dai gestori del sistema di trasporto; ad esempio, i parametri di regolazione semaforica appartengono a tale categoria ove non siano attuati dal traffico;
- dati di traffico e dati di offerta con alta frequenza di aggiornamento, che si aggiornano dinamicamente; si tratta, ad esempio, della velocità, dei flussi e delle occupazioni che si realizzano in una sezione stradale; i parametri di regolazioni semaforiche adattive ed attuate dal traffico appartengono a tale categoria.

Molti dei dati di traffico derivano dal monitoraggio del sistema, azione tipica di qualsiasi ITS. Nel caso delle reti è comunque da rilevare come i dati misurati dai gestori delle strade e/o dai gestori delle flotte veicolari forniscano comunque un quadro parziale del funzionamento del sistema:

- i dati di traffico rilevati da sensori fissi (spire induttive, radar, laser, ecc.) forniscono una misura continua del traffico in punti discreti della rete;
- i dati di velocità veicolari rilevati mediante coppie di sensori fissi di identificazione (quali Tutor e Telepass) forniscono un'informazione continua nel tempo ma relativa a singoli segmenti della rete stradale;
- i dati di velocità veicolari rilevati mediante GPS forniscono una misura continua nel tempo e nello spazio per un campione generalmente ridotto di veicoli, in maniera non contemporanea per diversi elementi del sistema.

Pertanto è necessaria una funzione di stima dello stato del traffico che viene effettuata mediante l'applicazione di opportune procedure basate su strumenti di simulazione e previsione dei dati (sezione 6.2).

In realtà il termine dati può risultare troppo generico e può essere utile distinguere tipologie di dati con diverse caratteristiche:

- i. descrizioni, che identificano le caratteristiche topologiche, strutturali e di erogazione di un servizio di trasporto;
- ii. misure, ottenute con un rilievo diretto; ad esempio, le caratteristiche di deflusso veicolare (flusso, velocità, occupazione/densità) rilevate in una sezione stradale o il tempo di percorrenza tra due coordinate spazio-temporali;
- iii. dati derivati (o elaborati), che hanno una natura simile a quella delle misure; essi non sono ottenuti per rilievo diretto ma per elaborazione di misure (ad esempio rapporto tra due misure);
- iv. informazioni, appositamente prodotte per un fruitore finale, erogate attraverso un apposito servizio e finalizzate a permettere l'adozione di decisioni.



Nell'ambito degli ITS un esempio tipico di informazione ai viaggiatori sono gli ATIS. Le informazioni fornite all'utente finale da parte delle applicazioni ATIS possono avere diversi livelli di qualificazione. Spesso sono di tipo statico; altre volte, soprattutto ultimamente, tendono ad essere di tipo dinamico, basate sulla conoscenza di dati di traffico (misure o dati derivati). Molto raramente, ad oggi, hanno carattere previsionale e quasi mai sono anticipatorie (considerano gli effetti che esse stesse possono indurre). Nei casi di informazioni statiche o, se dinamiche, non previsionali o anticipatorie, più che di informazioni vere e proprie si tratta del ribaltamento sul viaggiatore di descrizioni e misure. Tale evenienza porta a considerare che i sistemi informativi, ma più in generale tutte le applicazioni ITS, dovrebbero dichiarare esplicitamente le tipologie di dati su cui basano i propri servizi. La mancanza di sufficiente qualificazione rende spesso i dati difficilmente utilizzabili o, ancor peggio, nasconde problematiche di utilizzo. Ad esempio, un dato relativo ad un tempo di percorrenza può assumere un'utilità completamente diversa al variare delle circostanze. Non è indifferente (e dovrebbe essere noto al fruitore finale) se:

- sia una misura, un dato elaborato, oppure una informazione;
- si tratti di un tempo di tipo istantaneo, somma di tempi di percorrenza di singole tratte, valutati tutti nello stesso istante di tempo, oppure di un tempo effettivo che tiene conto del meccanismo di propagazione del flusso ottenuto tramite modello;
- sia valutato in maniera forward (tempo di spostamento verso la destinazione a partire dall'istante in cui l'informazione è fornita) o backward (tempo al quale ci si sarebbe dovuti muovere per giungere in destinazione quando l'indicazione viene fornita);
- l'eventuale modello di calcolo utilizzato sia di tipo implicito o esplicito, dove il secondo tipo si basa su ipotesi esplicite circa il funzionamento delle reti, dei servizi e, dove opportuno, su ipotesi comportamentali circa le scelte di mobilità, di viaggio e di guida degli utenti finali.

### 7.2.3 Applicazione dei sistemi ITS

---

L'applicazione di sistemi ITS, a seconda della tipologia di funzione da attivare, richiede la realizzazione di differenti sistemi tecnologici per il monitoraggio, la comunicazione, l'elaborazione e l'attuazione delle azioni di regolazione delle informazioni, in modo da realizzare un sistema di controllo che nella sua forma più generale assume la configurazione illustrata nella Figura 7.2. Rispetto a questo schema, mentre le funzioni di ATIS e ATMS non necessariamente devono essere presenti contemporaneamente, il sistema di monitoraggio è una funzione imprescindibile, in quanto fornisce la conoscenza della dinamica della rete.

A riguardo, il Codice della Strada prevede (art. 227) l'obbligo degli enti proprietari di strade di dotarsi di dispositivi di monitoraggio per il rilevamento della circolazione, ai fini dell'aggiornamento dell'archivio nazionale delle strade, e per l'individuazione dei punti di maggiore congestione del traffico.

L'importanza della raccolta e della fornitura di dati affidabili sul traffico stradale è riconosciuta dal Piano d'azione per lo sviluppo degli ITS, che stabilisce l'interesse pubblico per la fornitura gratuita agli utenti, ove possibile, di informazioni minime universali sul traffico connesse alla sicurezza stradale.

La crescente disponibilità di dati pubblici (cosiddetti open data), se da una parte consente l'applicazione di più ampie funzionalità, dall'altra rende necessaria l'applicazione di una solida metodologia per l'analisi, la fusione e l'applicazione dei dati. Nello schema generale di sistema integrato ATIS/ATMS questa metodologia è inclusa nel sistema di supporto alle decisioni di Figura 7.2; in casi di applicazioni parziali o più semplici, essa consiste in una procedura di fusione e proiezione dei dati che, con livelli di complessità e accuratezza crescenti, applica metodi statistico-matematico quali serie temporali, intelligenza artificiale e simulazione del sistema.



## 7.2.4 Benefici attesi dalle applicazioni ITS

I sistemi di trasporto intelligenti, essendo strettamente legati allo sviluppo delle tecnologie della telematica, che ne costituiscono l'elemento abilitante, sono essi stessi oggi ancora in una fase di continuo sviluppo, così che risulta difficile avere un quadro completo ed aggiornato dei benefici ottenibili dalla loro applicazione. Il Piano Europeo per lo sviluppo degli ITS, recepito di recente dalla legislazione italiana, ha previsto la costituzione di una base di dati sui benefici ottenibili dagli ITS. In questo paragrafo si riportano alcuni esempi benefici prodotti da sistemi ITS su reti stradali urbane.

I sistemi dinamici di regolazione semaforica sono un'applicazione consolidata di gestione del traffico, ben precedente rispetto all'introduzione del concetto di ITS, che rispetta i requisiti fondamentali per essere annoverata tra gli ATMS. Secondo recenti studi l'applicazione di questi sistemi ha prodotto incrementi delle velocità medie variabili dal 5% di Glasgow e Coventry (nel Regno Unito) al 25% di Chania (nell'isola di Creta in Grecia) e riduzioni delle emissioni di CO<sub>2</sub> variabili dal 3% nei casi di Glasgow e Coventry al 12% nel caso di Chania.

I sistemi di gestione della priorità del trasporto pubblico alle intersezioni semaforizzate, isolati o integrati con il sistema di controllo centralizzato del traffico, hanno una duplice valenza: migliorare le prestazioni del trasporto collettivo e incrementarne di conseguenza la quota modale. Osservazioni in varie città europee in cui sono stati applicati questi sistemi hanno evidenziato in media una riduzione dei tempi di percorrenza per gli utenti del trasporto pubblico pari al 15%.

I sistemi di pedaggio dinamico delle aree centrali urbane, applicati oggi in diverse città all'estero (come Singapore, Londra, Stoccolma) ed in Italia (Milano), hanno prodotto nelle aree controllate significative riduzioni delle percorrenze: 13% a Singapore, 14% a Milano, 30% a Londra.

I sistemi di rilevamento delle infrazioni (eccesso di velocità, sorpasso non consentito, attraversamento con il rosso) stanno avendo oggi una crescente applicazione. Ad esempio il sistema di rilevamento delle velocità Tutor, ha com-

portato una riduzione del 27% del numero di incidenti con feriti e una riduzione del tasso di mortalità del 51%.

I sistemi di informazione supportano gli utenti nella programmazione e nella esecuzione del viaggio. La stima dei benefici di questi sistemi è piuttosto difficile, poiché essi dipendono molto dal livello di congestione della rete e dalla variabilità dei tempi di percorrenza. I benefici maggiori, infatti, si verificano in caso di congestione non ricorrente, quando anche gli utenti sistematici non hanno informazioni sufficienti per effettuare scelte di percorso o di viaggio efficienti. Tra le indagini a posteriori, sono disponibili i risultati di alcune analisi effettuate sui sistemi integrati di informazione e controllo (ATIS/ATMS) di Roma e Torino, che riportano riduzioni dei tempi di percorrenza comprese tra il 10% (Roma) ed il 20% (Torino) ed una riduzione degli incidenti del 15% (Roma).

### 7.2.5 Raccomandazioni

---

I sistemi ITS rappresentano un'alternativa tecnologico-funzionale alla realizzazione di nuove infrastrutture con costi di almeno un ordine di grandezza inferiori, a parità di prestazioni. L'applicazione degli ITS accresce di efficacia quando si accompagna in maniera integrata ad interventi d'altro tipo: di gestione della domanda, di sensibilizzazione dell'opinione pubblica, di politiche tariffarie, di rinnovo della flotta di trasporto pubblico, di manutenzione generale del sistema, di verifica del rispetto delle regole di circolazione.

La progettazione dei sistemi ITS deve partire dal presupposto fondamentale di concepire le applicazioni tecnologiche all'interno ed in funzione del sistema di trasporto, seguendo cioè un approccio sistemico. In altre parole si richiede la definizione preliminare degli obiettivi dell'azione da esercitare sul sistema reale, l'individuazione delle funzioni delle singole componenti del sistema e delle interazioni tra queste componenti, la definizione delle specifiche prima funzionali e poi tecnologiche per il conseguimento degli obiettivi.

A causa delle interazioni tra le componenti del sistema veicoli-infrastruttura-utenti-ambiente, la progettazione dei sistemi ITS richiede la realizzazione di un modello di simulazione del sistema per la generazione, autonoma o assistita,



di strategie di informazione e regolazione che preveda gli effetti prodotti dall'azione di informazione o regolazione sul sistema stesso. Le previsioni, mediante modello di simulazione, consentono di realizzare un'informazione completa, perché estesa a tutti gli elementi della rete rappresentati dal modello, ed aggiornata, con dati rilevati in tempo reale. Consente quindi di prevedere la diffusione della congestione sulla rete stradale anche in presenza di incidenti o di altre anomalie, quando metodi statistici non sono adeguati, e di calcolare dinamicamente i percorsi ottimi degli utenti al variare delle condizioni della rete, evitando l'instaurarsi di eccessi di reazione del sistema di informazione che possono produrre addirittura effetti controproducenti.

In conclusione, la tecnologia rappresenta il necessario elemento abilitante degli ITS, che consente di eseguire le operazioni programmate in maniera rapida ed efficiente; è però la progettazione integrata con gli strumenti tipici dell'ingegneria dei trasporti quella che racchiude la vera intelligenza del sistema ITS e garantisce che le operazioni siano anche efficaci, cioè che conseguano gli obiettivi desiderati.



## APPENDICE A: NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

Si elencano di seguito alcune normative, circolari e direttive di riferimento per eventuali approfondimenti.

Normative:

- Nuovo Codice della Strada (Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n°285 e ss.mm.ii.) – art. 36 “Piani urbani del traffico e piani del traffico per la viabilità extraurbana”;
- L.N. n°340 del 24 Novembre 2000 “Legge di semplificazione 1999: delegificazione e sburocratizzazione” –art. 22 “Piani Urbani di Mobilità”;
- Decreto Ministeriale del 05.11.2001 (S.O. n. 5 alla G.U. n. 3 del 04.01.2002), “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” e successive modifiche;
- Decreto Ministeriale del 19.04.2006 (G.U. n. 170 del 24.07.2006), “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni Stradali”;
- Decreto Legislativo 02 maggio 2012 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Supplemento Ordinario alla G.U. n. 209 del 07.07.2012), “Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell’articolo 8 del, n. 35”.

Circolari e Direttive:

- Circolare 8 Agosto 1986, Ministero dei Lavori Pubblici, “Disciplina della circolazione stradale nelle zone urbane ad elevata congestione del traffico veicolare. Piani Urbani del Traffico” (Suppl. Ordin. Gazz. Uff. n°82 del 11/09/1986);
- Direttive del Ministero dei Lavori Pubblici per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico. (Art. 36 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285. Nuovo codice della strada)” e successive modifiche;



- Direttiva Ministeriale del 24 Giugno 1995 “Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico” (Suppl. Ordin. Gazz. Uff. n°146 del 24/06/1995);
- Nota del Ministero dei lavori pubblici, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, Prot. n. 3698 alle Amministrazioni Comunali con oggetto Linee guida per la redazione dei piani urbani della sicurezza stradale, del 08 giugno 2001;
- Direttiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto, del 7 luglio 2010.

Documenti di orientamento:

- C.N.I. Consiglio Nazionale degli Ingegneri – Circolare n. 258 del 26 Novembre 1998 “Direttiva tariffaria in materia di piani urbani del traffico (PUT)”;
- Ordine degli Ingegneri di Roma – Delibera approvata il 22 Giugno 1998 “Onorario e Spese per la redazione dei Piani Generali del Traffico Urbano”;
- Federazione Regionale degli Ordini degli architetti del Veneto – Atto di Indirizzo n° del 15/12/2000 “Direttiva Tariffaria per i Piani Urbani del Traffico”.



## **APPENDICE B: BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE DI RIFERIMENTO**

Si elencano di seguito alcuni testi di riferimento per eventuali approfondimenti.

Volumi che compongono queste linee guida:

[1] G. E. Cantarella, A. Di Febbraro, G. Fancello, M. Gallo, A. Vitetta. Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto. Metodologie: stato dell'arte e modelli. \*. Maggioli editore, 2013 (PRIN 2009);

[2] G. E. Cantarella, A. Di Febbraro, G. Fancello, M. Gallo, A. Vitetta. Linee guida per l'analisi e il progetto di reti urbane di trasporto. Applicazioni. \*\*. Maggioli editore, 2013 (PRIN 2009);

[3] Reti urbane di trasporto: linee guida per l'analisi e il progetto. \*\*\*. Centro Studi Consiglio Nazionale Ingegneri, 2014 (PRIN 2009).

Altre linee guida:

[4] F. Russo (a cura di), Linee guida per la programmazione dei servizi di Trasporto Pubblico Locale. Laruffa Editore, 2002 (PRIN 2000);

[5] A. Nuzzolo (a cura di), Sistemi di trasporto collettivo avanzati in aree urbane e metropolitane: classificazioni e applicazioni. Laruffa editore, 2005 (PRIN 2002).

[6] M. Di Gangi (a cura di), Linee guida per la redazione dei piani di evacuazione mediante la simulazione dei sistemi di trasporto in condizioni di emergenza. Laruffa Editore, 2005 (PRIN 2003);

[7] R. Camus, G. E. Cantarella, A. Vitetta, Progettazione e verifica funzionale delle intersezioni semaforizzate, 2010, Maggioli editore (PRIN 2007);

[8] M. Di Gangi, R. Mussone (2010), Progettazione e verifica funzionale delle intersezioni non semaforizzate, 2010, Maggioli editore (PRIN 2007).



## Riferimenti bibliografici:

[9] Politecnico di Milano (a cura di) (1992), I Piani Urbani del Traffico. Guida per le Amministrazioni Locali, ItalTel Telesis, pubblicato sotto Alto Patrocinio del Ministero per le Aree Urbane, presentato alla 48° Conferenza del Traffico e della Circolazione, Stresa, Ottobre 1992;

[10] De Luca M., Astarita V. (a cura di) (1998), I Piani Urbani del Traffico, FrancoAngeli, Milano;

[11] Villa M. (2000), Intersezioni a rotatoria. Conoscere il funzionamento e proporre il dimensionamento, Levrotto&Bella, Torino;

[12] Cascetta E. (2006), Modelli per i sistemi di trasporto: teoria e applicazioni. UTET;

[13] Cantarella G.E., Vitetta A. (2010), La regolazione di intersezioni stradali semaforizzate: metodi ed applicazioni. FrancoAngeli editore, Milano;

[14] Mauro R. (2007), Il calcolo delle rotatorie. Hevelius editore;

[15] Russo F., Quattrone A. (2010), ITS Sistemi di trasporto intelligenti. Elementi di base e applicazioni operative per il trasporto privato, per il trasporto pubblico, per il trasporto merci e la logistica, FrancoAngeli editore;

[16] Russo F., Rindone C. (2008), Dalla pianificazione alla progettazione dei sistemi di trasporto: processi e prodotti, FrancoAngeli editore;

[17] Dalla Chiara B., Bifulco G.N., Fusco G., Barabino, B., Corona G., Rossi R., Studer L. (2013), ITS nei trasporti stradali: tecnologie, metodi ed applicazioni, EGAF Edizioni.



- no. 1 / 1999 Piano di attività - Triennio 1999 - 2002
- no. 2 / 1999 La via dell'Etica Applicata, ossia delle politiche di prevenzione: una scelta cruciale per l'Ordine degli ingegneri
- no. 3 / 1999 Monitoraggio sull'applicazione della direttiva di tariffa relativa al D. Lgs. 494/96 in tema di sicurezza nei cantieri
- no. 4 / 2000 La dichiarazione di inizio attività - Il quadro normativo e giurisprudenziale
- no. 5 / 2000 L'Autorità per la vigilanza sui lavori pubblici - Organi, poteri e attività
- no. 6 / 2000 Le ipotesi di riforma delle professioni intellettuali
- no. 7 / 2000 Le strutture societarie per lo svolgimento delle attività di progettazione  
Il quadro normativo e giurisprudenziale
- no. 8 / 2000 Le tariffe professionali - Il quadro giurisprudenziale in Italia e in Europa
- no. 9 / 2000 Le assunzioni di diplomati e laureati in ingegneria in Italia
- no. 10/2000 Il ruolo degli ingegneri per la sicurezza
- no. 11/2000 Il nuovo regolamento generale dei lavori pubblici. Un confronto con il passato
- no. 12/2000 Il nuovo capitolato generale dei lavori pubblici
- no. 13/2000 Il responsabile del procedimento - Inquadramento, compiti e retribuzione
- no. 14/2000 Il mercato dei servizi di ingegneria. Analisi economica e comparativa del settore delle costruzioni -Parte prima
- no. 15/2000 Il mercato dei servizi di ingegneria. Indagine sugli ingegneri che svolgono attività professionale - Parte seconda
- no. 16/2000 La professione di ingegnere in Europa, Canada e Stati Uniti. I sistemi nazionali e la loro evoluzione nell'epoca della globalizzazione
- no. 17/2000 L'intervento delle Regioni in materia di dichiarazione di inizio attività
- no. 18/2000 Opportunità e strumenti di comunicazione pubblicitaria per i professionisti in Italia
- no. 19/2000 I profili di responsabilità giuridica dell'ingegnere - Sicurezza sul lavoro, sicurezza nei cantieri, appalti pubblici, dichiarazione di inizio attività
- no. 20/2001 Spazi e opportunità di intervento per le amministrazioni regionali in materia di lavori pubblici
- no. 21/2001 Imposte e contributi sociali a carico dei professionisti nei principali paesi europei
- no. 22/2001 Le tariffe relative al D.Lgs 494/96. Un'analisi provinciale
- no. 23/2001 Le nuove regole dei lavori pubblici. Dal contratto al collaudo: contestazioni, eccezioni, riserve e responsabilità
- no. 24/2001 L'evoluzione dell'ingegneria in Italia e in Europa
- no. 25/2001 La riforma dei percorsi universitari in ingegneria in Italia
- no. 26/2001 Formazione e accesso alla professione di ingegnere in Italia
- no. 27/2001 Le strutture societarie per lo svolgimento delle attività professionali in Europa



- no. 28/2001 La direzione dei lavori nell'appalto di opere pubbliche
- no. 29/2001 Analisi delle pronunce dell'Autorità per la vigilanza sui lavori pubblici.  
Febbraio 2000 -marzo 2001
- no. 30/2001 Osservazioni sul D.P.R. 328/2001
- no. 31/2001 La copertura assicurativa del progettista. Quadro normativo e caratteristiche dell'offerta
- no. 32/2001 Qualificazione e formazione continua degli ingegneri in Europa e Nord America
- no. 33/2001 Le verifiche sui progetti di opere pubbliche. Il quadro normativo in Europa
- no. 34/2001 L'ingegneria italiana tra nuove specializzazioni e antichi valori
- no. 35/2001 La domanda di competenze d'ingegneria in Italia. Anno 2001
- no. 36/2001 Il mercato dei servizi di ingegneria. Evoluzione e tendenze nel settore delle costruzioni
- no. 37/2002 Il riparto delle competenze normative in materia di professioni. Stato, Regioni, Ordini
- no. 38/2002 Note alla rassegna stampa 2001
- no. 39/2002 Ipotesi per la determinazione di un modello di stima basato sul costo minimo delle prestazioni professionali in ingegneria
- no. 40/2002 Tariffe professionali e disciplina della concorrenza
- no. 41/2002 Ipotesi per una revisione dei meccanismi elettorali per le rappresentanze dell'Ordine degli ingegneri
- no. 42/2002 Installare il Sistema Qualità negli studi di ingegneria.  
Un sussidiario per l'applicazione guidata di ISO 9000:2000 - Volume I
- no. 43/2002 Installare il Sistema Qualità negli studi di ingegneria.  
Un sussidiario per l'applicazione guidata di ISO 9000:2000 - Volume II
- no. 44/2002 La remunerazione delle prestazioni professionali di ingegneria in Europa. Analisi e confronti
- no. 45/2002 L'accesso all'Ordine degli ingegneri dopo il D.P.R. 328/2001
- no. 46/2002 La domanda di competenze d'ingegneria in Italia. Anno 2002
- no. 47/2003 Imposte e struttura organizzativa dell'attività professionale in Europa
- no. 48/2003 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anno 2002
- no. 49/2003 Le nuove regole in materia di progettazione delle opere pubbliche. Tariffe, prestazioni gratuite, consorzi stabili e appalto integrato
- no. 50/2003 La riforma del sistema universitario nel contesto delle Facoltà di Ingegneria
- no. 51/2003 Una cornice di riferimento per una tariffa professionale degli ingegneri dell'informazione
- no. 52/2003 La possibile " terza via" alla mobilità intersettoriale degli ingegneri in Italia



- no. 53/2003 Il Testo Unico in materia di espropriazioni per pubblica utilità.  
Analisi e commenti
- no. 54/2003 Il tortuoso cammino verso la qualità delle opere pubbliche in Italia
- no. 55/2003 La disciplina dei titoli abilitativi secondo il Testo Unico  
in materia di edilizia
- no. 56/2003 La sicurezza nei cantieri dopo il Decreto Legislativo 494/96
- no. 57/2003 Analisi delle pronunce dell'Autorità per la vigilanza sui lavori pubblici.  
Aprile 2001- dicembre 2002
- no. 58/2003 Le competenze professionali degli ingegneri secondo il D.P.R. 328/2001
- no. 59/2003 La domanda di competenze d'ingegneria in Italia. Anno 2003
- no. 60/2004 La riforma del sistema universitario nel contesto delle Facoltà di Ingegneria
- no. 61/2004 Identità e ruolo degli ingegneri dipendenti nella pubblica amministrazione  
che cambia
- no. 62/2004 Considerazioni e ipotesi su possibili strategie e azioni in materia di SPC  
(Sviluppo Professionale Continuo) degli iscritti all'Ordine degli ingegneri
- no. 63/2004 Le regole della professione di ingegnere in Italia: elementi per orientare  
il processo di riforma
- no. 64/2004 Guida alla professione di ingegnere -Volume I:  
Profili civilistici, fiscali e previdenziali
- no. 65/2004 Guida alla professione di ingegnere -Volume II:  
Urbanistica e pianificazione territoriale. Prima parte e seconda parte
- no. 66/2004 La normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica in Italia,  
Stati Uniti e Nuova Zelanda  
Parte prima: profili giuridici  
Parte seconda: applicazioni e confronti
- no. 67/2004 Ipotesi e prospettive per la riorganizzazione territoriale  
dell'Ordine degli ingegneri
- no. 68/2004 Le assunzioni degli ingegneri in Italia. Anno 2004
- no. 69/2004 La direttiva 2004/18/CE relativa al coordinamento delle procedure di  
aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, di forniture e di servizi
- no. 70/2004 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2004
- no. 71/2004 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2004
- no. 72/2005 La verifica del progetto. Primi commenti allo schema di regolamento predisposto dalla  
Commissione ministeriale istituita dal vice ministro on. Ugo Martinat
- no. 73/2005 Guida alla professione di ingegnere -Volume III: Formazione, mercato  
del lavoro ed accesso all'albo
- no. 74/2005 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anno 2004
- no. 75/2005 Le tariffe degli ingegneri ed i principi di libertà di stabilimento e di libera  
prestazione dei servizi
- no. 76/2005 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2005



- no. 77/2005 Le assunzioni di ingegneri in Italia. Anno 2005
- no. 78/2005 Analisi di sicurezza della Tangenziale Est-Ovest di Napoli
- no. 79/2005 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2005
- no. 80/2005 Le competenze in materia di indagini geologiche e geotecniche e loro remunerazione in Italia ed Europa
- no. 81/2005 Appalti sotto soglia e contratti a termine. Le recenti modifiche alla legge quadro sui lavori pubblici
- no. 82/2005 Gli ingegneri e la sfida dell'innovazione
- no. 83/2005 Responsabilità e copertura assicurativa del progettista dipendente
- no. 84/2005 Guida alla professione di ingegnere -Volume IV:  
Le tariffe professionali e la loro applicazione
- no. 85/2005 D.M. 14 settembre 2005 Norme tecniche per le costruzioni.  
Comparazioni, analisi e commenti
- no. 86/2005 Il contributo al reddito e all'occupazione dei servizi di ingegneria
- no. 87/2006 Guida alla professione di ingegnere -Volume V:  
Le norme in materia di edilizia
- no. 88/2006 Analisi di sicurezza della ex S.S. 511 "Anagnina"
- no. 89/2006 Le assunzioni di ingegneri in Italia. Anno 2006
- no. 90/2006 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2006
- no. 91/2006 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anno 2005
- no. 92/2006 Guida alla professione di ingegnere -Volume VI:  
La valutazione di impatto ambientale (VIA)  
e la valutazione ambientale strategica (VAS)
- no. 93/2006 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2006
- no. 94/2007 La Direttiva 2005/36/CE relativa al riconoscimento delle qualifiche professionali.
- no. 95/2007 Guida alla professione di ingegnere -Volume VII:  
La disciplina dei contratti pubblici
- no. 96/2007 Criticità della sicurezza nei cantieri. Norme a tutela della vita dei lavoratori
- no. 97/2007 Gli incentivi per la progettazione interna dei lavori pubblici
- no. 98/2007 Le assunzioni di ingegneri in Italia. Anno 2007
- no. 99/2007 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2007
- no.100/2007 Guida alla professione di ingegnere -Volume VIII:  
Il collaudo: nozione, adempimenti e responsabilità
- no.101/2008 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anno 2006
- no.102/2008 Energia e ambiente. Una nuova strategia per l'Italia
- no.103/2008 Le competenze professionali degli ingegneri juniores
- no.104/2008 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2007
- no.105/2008 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2008
- no.106/2008 Note e commenti al Decreto del Ministero  
dello Sviluppo economico del 22 gennaio 2008, n. 37



- no.107/2008 La sicurezza nel settore delle costruzioni.  
Analisi dei dati e confronti internazionali
- no.108/2008 Le assunzioni di ingegneri in Italia. Anno 2008
- no.109/2008 Monitoraggio sui bandi di progettazione. Luglio-dicembre 2008
- no.110/2009 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anni 2007-2008
- no.111/2009 L'abolizione del valore legale del titolo di studio.  
Inquadramento e possibili
- no.112/2009 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2008
- no.113/2009 L'attualità delle tariffe professionali per le prestazioni d'ingegneria.  
I contenuti del nuovo Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI
- no.114/2009 L'indagine conoscitiva riguardante il settore degli Ordini professionali (IC34)  
predisposta dall'Autorità garante della concorrenza e del mercato.  
Analisi e commenti
- no.115/2009 La sicurezza nel settore delle costruzioni.  
Analisi dei dati e confronti internazionali. Anno 2009
- no.116/2009 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2009
- no.117/2009 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2009
- no.118/2010 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anni 2008-2009
- no.119/2010 Monitoraggio sui bandi di progettazione. Anno 2009
- no.120/2010 La libera prestazione di servizi e l'attività professionale  
in regime di stabilimento a seguito del D.Lgs. 26 marzo 2010, n. 59
- no.121/2010 L'inattendibilità dell'indicatore di intensità della regolamentazione  
della professione di ingegnere elaborato dall'Ocse.  
La regolamentazione della professione di ingegnere  
negli Stati Uniti no.122/2010
- no.122/2010 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2010
- no.123/2011 Monitoraggio sui bandi di progettazione. Anno 2010
- no.124/2011 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anni 2009-2010
- no.125/2011 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2010
- no.126/2011 Il sistema di aggiudicazione dei bandi pubblici per i servizi d'ingegneria  
e architettura negli Stati Uniti
- no.127/2011 La sicurezza delle reti e dei sistemi informativi:  
il ruolo degli ingegneri dell'informazione
- no.128/2011 Ingegneri 2020: le nuove sfide professionali nelle energie rinnovabili,  
efficienza energetica, mobilità sostenibile
- no.129/2011 L'anomalia dei corsi di laurea in Ingegneria attivati dalle università  
telematiche
- no.130/2011 Professionisti e società nel comparto dell'engineering
- no.131/2011 Monitoraggio sui bandi di progettazione. Anno 2011
- no.132/2012 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2011



- no.133/2012 La formazione degli ingegneri in Italia. Anno 2011  
no.134/2012 L'Assicurazione professionale dell'ingegnere  
no.135/2012 Disciplinari-tipo e mansionari per le prestazioni professionali dell'ingegnere  
(Committenti pubblici e privati)  
no.136/2012 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anni 2009-2010  
no.137/2012 Monitoraggio sui bandi di progettazione. Anno 2012  
no.138/2013 La formazione degli ingegneri. Anno 2012  
no.139/2013 Per il rilancio del Paese: Sussidiarietà e semplificazione.  
Le opinioni degli ingegneri  
no.140/2013 Occupazione e remunerazione degli ingegneri in Italia. Anno 2012  
no.141/2013 Il mercato dei servizi di ingegneria. Anno 2011-2012



Finito di stampare nel Gennaio 2014  
presso Arti Grafiche Boccia Spa  
via Tiberio Claudio Felice, 7  
-Salerno-