



Un confronto in termini economici dei “metodi di priorità” per il trasporto collettivo urbano

Dott. Ingg. Benedetto BARABINO^(), Giovannantonio BARMINA^(*), Sara SALIS^(*)*

Parole chiave: Priorità per il bus, analisi benefici costi.

1. Introduzione

Il trasporto collettivo, quando viene sfruttata appieno la capacità del sistema, è riconosciuto come uno strumento efficace per migliorare la mobilità delle persone, soprattutto in termini di risparmio energetico, di riduzione della congestione e delle esternalità ad essa connesse, nonché di una migliore utilizzazione dello spazio urbano (SCHEIDEGGER ed al. 2001). La maggior appetibilità dell'auto privata rispetto al trasporto collettivo contribuisce in maniera preponderante ad uno scarso utilizzo di quest'ultimo.

Oggi giorno, infatti, a causa del continuo aumento di autovetture private e della contemporanea riduzione del tasso di occupazione (incremento fra il 1970 ed il 2001 del 142% della mobilità automobilistica nell'UE, espressa in passeggeri/km, CASCETTA, 2005) sta sempre più diminuendo l'operatività degli autobus e questo comporta perdita di passeggeri e congestione delle strade (in Italia si hanno oltre 60 auto ogni 100 abitanti, il più alto valore al mondo – ACI Eurispes, 2006). Conseguentemente si ha un aumento dei costi sia diretti, in quanto i mezzi viaggiano spesso con un numero di passeggeri ridotto rispetto alla capacità, sia indiretti in quanto uno scarso utilizzo di tale forma di trasporto porta alla produzione di maggiore inquinamento, incidenti, stress, ecc., causati proprio da un crescente aumento delle altre modalità di trasporto.

L'uso indiscriminato dell'auto comporta, inoltre, alcuni aspetti negativi direttamente legati all'utilizzo dello spazio urbano sempre più occupato dalle vetture e quindi sempre meno disponibile per tutti gli altri usi. In particolare, va ricordato (SCHEIDEGGER ed al. 2001) che per trasportare 50.000 persone all'ora in una direzione con la sola auto è necessario disporre di una strada larga 175 m per viaggiare con l'auto, 35 m con l'autobus e 9 m con la metropolitana. Inoltre, lo spazio urbano che viene impegnato per recarsi a lavoro in auto è 20 volte superiore rispetto a quello necessario quando per gli stessi spostamenti si utilizza l'autobus

(ad es. per trasportare 75 persone possono occorrere 60 auto o 1 solo bus - UITP, 1996). Altre rilevanti ragioni dello scarso utilizzo del mezzo pubblico devono essere ricercate sia a livello di pianificazione urbanistica e sia a livello delle caratteristiche intrinseche del sistema, nelle componenti di infrastruttura-ambiente, veicolo ed esercizio.

La nota descrive un quadro conoscitivo dei principali sistemi di priorità disponibili per il trasporto collettivo (par. 2), in modo da individuare le soluzioni che possono portare ad una maggiore appetibilità del trasporto pubblico collettivo e, in particolare, quelle che, a fronte di investimenti non troppo elevati rendono possibile la realizzazione di una qualche forma di avvantaggiamento, nella circolazione stradale, del mezzo pubblico rispetto a quello individuale motorizzato. Tali soluzioni vengono valutate attraverso l'Analisi Benefici Costi per una possibile applicazione ad una città italiana di medie dimensioni (par. 3). Infine, si riporta una sintesi dei principali risultati raggiunti e vengono individuate possibili estensioni dello studio (par. 4).

2. I sistemi di priorità per il trasporto collettivo: un quadro conoscitivo

I sistemi di priorità in ambito urbano rappresentano delle tecniche pratiche per favorire la marcia dei veicoli di trasporto collettivo rispetto a quelli di tipo individuale. Recenti studi (PRISCILLA, 2002; JOHNSTONE et al., 2004; TRL, 2004) classificano tali sistemi in tre categorie: sistemi di separazione, politiche di gestione della domanda e priorità ai segnali semaforici (fig. 1).

Tali approcci cercano di privilegiare la corsa dei mezzi pubblici rispetto a quelli privati, agendo sia direttamente sul sistema, nel primo e nel terzo caso, in modo da evitare la congestione incrociata e suoi effetti sull'abbassamento dei livelli di servizi del trasporto collettivo, oppure rallentandone ulteriormente la marcia, sia indirettamente attraverso una serie di accorgimenti mirati ad incentivarne l'uso. Inoltre, si possono applicare sia singolarmente e sia congiuntamente incrementando i benefici.

2.1. Sistemi di separazione

La separazione dei flussi di traffico consiste nell'attrezzare le infrastrutture stradali per dividere la marcia

^(*) Università di Cagliari.



Fig. 1 – Classificazione dei metodi di priorità per i mezzi di trasporto collettivo.

dei mezzi di trasporto collettivo da quella dei veicoli individuali. Ciò può avvenire o attraverso particolari segni sulla pavimentazione stradale o attraverso barriere fisiche in modo da realizzare delle corsie dedicate; essa rappresenta il sistema più semplice in grado di fornire al bus la possibilità di procedere lungo il tronco stradale in autonomia e senza contatto fisico con le altre correnti veicolari (PRISCILLA, 2002).

I sistemi di separazione sono spesso accompagnati da sistemi di controllo (ad es. telecamere) per evitare che altre categorie di veicoli non rispettino le prescrizioni. Gli spazi stradali utilizzati allo scopo possono essere classificati, secondo alcune caratteristiche quali tipologia, localizzazione, disposizione, larghezza, ecc., in: strade ad uso esclusivo dell'autobus, corridoi preferenziali (*Busway*), corsie preferenziali nello stesso senso di marcia degli altri veicoli (*With-flow Bus Lane*) e in senso opposto agli altri veicoli (*Contra-flow Bus Lane*).

Le strade ad uso esclusivo dell'autobus (JOHNSTONE et al., 2004) individuano spazi stradali destinati al transito dei soli mezzi di trasporto collettivo, impedendo la circolazione ai mezzi di trasporto individuale.

I corridoi preferenziali (*Busway*) sono degli spazi dedicati, costituiti da almeno due corsie, ad uso esclusivo dei bus e, di norma, vengono realizzate al centro di una strada. All'interno di essi, i bus possono transitare liberamente o possono essere guidati attraverso mezzi fisici o elettronici (ad es. dove la larghezza della corsia è limitata) ed, in questo caso, esse prendono il nome di *Guided Busway* (Schaller Consulting, 2002; LEVINSON, 2003). La pre-

senza dei corridoi preferenziali (*Busway*) in Europa è molto limitata (ad es. Essen in Germania, Leeds nel Regno Unito), mentre è più diffusa in alcuni paesi d'oltremare, specialmente nel Sud America e ciò si spiega con il fatto che in Europa si tende ad utilizzare sistemi a guida vincolata, che risultano troppo costosi per paesi con economia in via di sviluppo.

Le corsie preferenziali poste lateralmente alla carreggiata, dove i mezzi pubblici scorrono nello stesso senso di marcia dei veicoli di trasporto individuale (*With-flow Bus Lane*) vengono usate lungo quelle strade dove è sentito il fenomeno della congestione e soprattutto nei pressi delle intersezioni, che farebbero ritardare ulteriormente il mezzo di trasporto collettivo. Sono la forma più comune di priorità separata adottata in Europa. Le corsie preferenziali scorrono nel senso di marcia opposto a quello del trasporto individuale (*Contra-Flow Bus Lane*) vengono di solito usate per ridurre la lun-

ghezza del percorso seguito dall'autobus e per fornire un accesso privilegiato ai luoghi attrattori di traffico (negozi, uffici, ecc). Sia le corsie preferenziali nello stesso senso di marcia degli altri veicoli che quelle in senso opposto vengono ricavate o attraverso la realizzazione di cordoli fisici, o tramite apposite linee di demarcazione, oppure con un diverso colore della pavimentazione.

In genere, i benefici migliori in termini di minor tempo di percorrenza, si ottengono riuscendo ad utilizzare i primi due tipi di separazione delle correnti veicolari, in quanto si consente una netta separazione fra i flussi di traffico e si preclude il passaggio alle altre categorie di veicoli. Benefici leggermente inferiori si possono ricavare utilizzando le corsie preferenziali del tipo nello stesso senso di marcia degli altri veicoli o in senso opposto, in quanto la separazione delle correnti di traffico è "teorica" a meno della presenza di un cordolo fisico, giacché non sono infrequenti i casi di veicoli di trasporto individuale che utilizzano le corsie riservate alla marcia dei bus.

Tale propensione all'infrazione si spiega con il fatto che, nella maggior parte dei casi, il beneficio ottenuto mediante queste forme di separazione dei flussi non è controbilanciato dalla sanzione. Dal punto di vista della sicurezza, si ottengono benefici ancora maggiori soprattutto nella riduzione dei punti di conflitto frontale-laterale fra mezzi di trasporto collettivo ed individuale; in altre parole, nel caso dei primi due sistemi di separazione, l'interferenza con il deflusso del traffico automobilistico in attraversamento alle intersezioni è nulla o al più molto limitata. Invece, nel caso degli ultimi due sistemi di separazione analizzati, l'influenza del deflusso automobilistico è maggiormente sentita.

2.2. Politiche di gestione della domanda

Le politiche di gestione della domanda favoriscono la priorità al mezzo di trasporto pubblico in maniera indiretta con tecniche che indirizzano il traffico individuale, attraverso l'azione sui tre differenti campi: dell'informazione all'utenza, della regolamentazione della domanda e del pricing. Ad esempio, appartengono alla prima area le campagne di informazione all'utenza, i sistemi di infomobilità o ancora il *Mobility Management*; rientrano nella seconda categoria relativa alla regolamentazione della domanda di mobilità i sistemi per il controllo degli accessi, la gestione dei parcheggi, i dispositivi di moderazione del traffico, le *red routes*, ecc.; infine, tra i sistemi di pricing per la gestione della domanda si annoverano: le politiche di tariffazione (sia della sosta, sia delle strade), il *park and ride*, il *road pricing*, il *congestion pricing*, ecc.

Nell'ambito delle politiche di regolamentazione della domanda, i sistemi di controllo o limitazione degli accessi consistono in limitazioni selettive nell'uso delle strade, impedendo l'accesso in alcune aree della città a particolari classi di veicoli e permettendo invece il transito dei mezzi di trasporto collettivo. Appartengono a tali categorie le Zone Pedonali (ZP), nelle quali il transito è consentito solo ai pedoni e le Zone a Traffico limitato (ZTL). Rappresentano la misura di priorità più semplice e maggiormente diffusa in tutta Europa che abbisogna comunque di un potenziamento dell'offerta di trasporto collettivo.

Le *Red Routes* possono considerarsi una tecnica di gestione della domanda a metà strada tra la regolamentazione e l'informazione, in quanto sono rappresentate da itinerari evidenziati nel colore rosso per ridimensionare il fenomeno della sosta non autorizzata, costituita ad es. da auto in doppia fila. In generale, gli itinerari colorati hanno l'obiettivo di scoraggiare l'utenza a sostare lungo i tracciati ad uso promiscuo od esclusivo dei mezzi di trasporto pubblico. Anche tali metodi trovano un frequente utilizzo in Inghilterra.

Tra le politiche di pricing si inserisce il *Road Pricing*, il quale prevede l'applicazione di una tariffa da calibrare in base alla domanda per stabilire un prezzo proporzionale ai flussi di traffico nelle diverse ore della giornata (DEAKIN e HARVEY, 1995) per l'uso di alcune o di tutte le strade di una determinata zona urbana (LEVINSON, 2002).

Il *Park & Ride*, nato ad Oxford nel 1970, individua un'area opportunamente attrezzata per lasciare le autovetture in sosta ed accedere alla rete dei servizi di trasporto pubblico (FISHER, 2001; Cape Cod Commission, 2003). Per rendere il sistema più appetibile il costo della sosta è minore rispetto ad altre tipologie di parcheggio, o addirittura gratuito. Tale sistema è molto diffuso in Inghilterra.

In sintesi, le politiche di gestione della domanda sono rappresentate da quelle strategie che garantiscono la priorità al mezzo pubblico in maniera indiretta, senza agire sul veicolo o sull'infrastruttura. Infatti, il fine principale è

quello di ridurre il numero dei mezzi privati in circolazione ed aumentare conseguentemente il numero degli utilizzatori del trasporto collettivo.

2.3. Priorità ai segnali semaforici

Col termine priorità semaforica si intende la possibilità di favorire il passaggio del mezzo collettivo in prossimità di un incrocio regolato da semaforo, per ridurre il ritardo dovuto all'attesa, in modo da massimizzare il tempo di marcia (MORGAN, 2002). Le metodologie utilizzate per fornire la priorità al mezzo in avvicinamento ad un'intersezione regolamentata da semaforo sono essenzialmente tre:

- priorità passiva;
- priorità attiva;
- presegnalamento semaforico.

La priorità passiva consiste in quell'insieme di tecniche che favoriscono l'attraversamento del mezzo in prossimità dell'intersezione, senza la necessità della localizzazione del veicolo, mediante l'ottimizzazione del ciclo semaforico in favore del veicolo di trasporto collettivo (BAKER, 2002); ovvero la durata del segnale verde dei semafori viene stabilita a priori senza che il mezzo pubblico sia monitorato singolarmente, sulla base delle tabelle di marcia dei mezzi e dell'orario di passaggio agli incroci. Tale processo può avvenire *off-line* per piani semaforici fissi nel tempo, oppure *on-line*, ad es. col software *Bus-Transyt* (TOOMEY et al., 1998), ovvero mediante un programma che ottimizza i piani semaforici considerando le prestazioni del mezzo. Questo sistema presenta un grosso svantaggio legato all'aleatorietà del sistema traffico che spesso non permette l'arrivo del mezzo "durante la sua corsa", nel punto in cui il segnale semaforico è regolato al verde (OVA e SMADI, 2001).

A differenza della priorità passiva in quella attiva la temporizzazione dei segnali semaforici è variata secondo metodologie di tipo "dinamico" e soltanto quando questo è necessario, così da modificare la durata delle fasi del ciclo semaforico per minimizzare il ritardo del veicolo in avvicinamento al nodo. Per fare ciò è necessario conoscere la reale posizione del mezzo attraverso i sistemi di rilevamento selettivo dei veicoli (riconoscibile anche come *Selective Vehicle Detection*, SVD) oppure con il supporto della localizzazione automatica (*Automatic Vehicle Location/Automatic Vehicle Monitoring*). Attraverso sistemi SVD (FABER, 1988) il veicolo è localizzato mediante dispositivi presenti sulla pavimentazione o a bordo strada (infrastruttura) oppure, contemporaneamente sia nell'infrastruttura e sia al bordo. Il riconoscimento avviene quando il veicolo passa in un particolare punto della strada e, tramite tipicamente la modifica di un campo magnetico, l'interruzione di un raggio o una comunicazione a corto raggio (*short range*) tra l'auto-bus e l'impianto semaforico, è possibile adeguare, se necessario per garantire la priorità, il ciclo semaforico attraverso un allungamento della fase di verde oppure un troncamento della fase di rosso o anche con la strategia del salto di fase. Alcune delle principali tecnologie per localiz-

POLITICA E ECONOMIA

zare il mezzo sono mostrate nella tabella 1, nella quale sono evidenziati i principali vantaggi e svantaggi.

Il vantaggio delle tecniche SVD dipende dal fatto che con esse non è necessario un centro di coordinamento per monitorare il mezzo, mentre i principali svantaggi sono causati sia dall'utilizzo di sistemi di rilevazione che possono fallire in certe condizioni, sia dal fatto che non è semplice adattare il ciclo alla reale velocità del mezzo; infatti, è possibile agire solo tramite una richiesta diretta del mezzo che determina, comunicando col semaforo, l'allungamento di una fase positiva (verde) oppure il tronca-

mento di una negativa (rosso) oppure, ancora, il salto di fase, con le conseguenti ricadute negative per i veicoli di trasporto individuale.

L'AVL presuppone invece la localizzazione continua o su richiesta del veicolo. In questo caso, il mezzo possiede un dispositivo di bordo che individua la posizione del mezzo in termini di coordinate geografiche. Tali dati vengono inviati in tempo reale ad una centrale operativa di controllo o a seguito di una richiesta oppure a causa del verificarsi di un evento (JOHNSON e THOMAS, 2000; HOUNSELL e SHRESTHA, 2005).

TABELLA 1

ALCUNE TECNOLOGIE DI RILEVAMENTO SELETTIVO DEI VEICOLI (SVD – SELECTIVE VEHICLE DETECTION)

Tecnologia	Descrizione	Alcune realizzazioni	Vantaggi	Svantaggi
Spire induttive	Sono conduttori elettrici che, annegati nel terreno consentono la rilevazione di alcuni parametri legati al passaggio del mezzo.	Helsinki (Finlandia), Southampton (UK), Bucarest (Romania), Stoccarda (Germania), Sheffield (UK), Torino (I)	Costi di investimento contenuti. Facilità di installazione.	Possibile distorsione dei dati nella misurazione legati prevalentemente ad arresto e partenza ravvicinati. Rapporto Costi/Prestazione elevato. Necessità di tagli sulla pavimentazione.
Rilevazione mediante raggi infrarossi	Il trasmettitore installato sull'autobus invia verso la postazione semaforica i dati identificativi del veicolo ed il segnale di richiesta della priorità.	Aalborg (Danimarca), Duisburg (Germania), Tokio (Giappone)	Facilità di installazione. Buone prestazioni purché condizioni ambientali favorevoli ed il raggio non sia interrotto o la comunicazione troppo distante.	Eventuali alti costi di installazione e manutenzione. Oscuramento del segnale per la presenza di ostacoli (nebbia, neve, viali alberati, veicoli ingombranti). Basse prestazioni in condizioni atmosferiche avverse. E' necessario conoscere la direzionalità del mezzo.
Rilevazione a microonde	Il veicolo viene equipaggiato con un emettitore a microonde (normalmente installato in fiancata) che invia con continuità o in base alla posizione, se possibile, il proprio segnale che a sua volta è ricevuto da postazioni fisse a terra (boe); è possibile anche viceversa.	Helsinki (Finlandia)	Bassi costi per l'equipaggiamento del veicolo. Interferenze al segnale limitate. Buone prestazioni in condizioni atmosferiche favorevoli, comunque non ostacolate su conto e medio raggio da condizioni ambientali	Necessità di installare e collegare in rete boe o transponder. La localizzazione è assicurata solo quando il bus è a distanza inferiore alla copertura della boe o transponder. Possibili elevati costi di installazione del dispositivo lungo strada.
Rilevazione con spire e trasmettitore sui mezzi.	E' basato sulla comunicazione tra un trasmettitore posto sotto il mezzo e una spira annegata nel manto stradale.	Londra (UK), Adelaide (Australia), Italia per sistemi di telepedaggio e controllo transiti.	Tecnica di rilevazione comprovata in varie città europee. Affidabilità del sistema di circa il 98%. Possibilità di utilizzo delle spire già presenti nel manto stradale.	Medi costi di installazione. Necessità di tagli nella pavimentazione, evitabili con l'uso di infrarossi o sistemi di prossimità).

In seguito allo sviluppo del sistema, l'AVL è stato perfezionato con il sistema AVM che rappresenta una soluzione tecnologica più completa per il telecontrollo delle flotte pubbliche tanto da garantire il monitoraggio continuo dei mezzi di trasporto collettivo durante il percorso ed in grado di regolamentarne la marcia attraverso una comunicazione anche continua fra la centrale ed il veicolo. Pertanto, a differenza dell'SVD e dell'AVL, l'AVM consente di monitorare in tempo reale la corsa dei mezzi da una centrale operativa, di intervenire per la regolazione del servizio e, eventualmente, di dialogare direttamente con il semaforo per attivare, quando necessario, la priorità semaforica.

In questo caso il vantaggio è rappresentato dal fatto che, a dialogare col semaforo non è necessariamente il bus, ma direttamente la centrale che, conoscendo in tempo reale la

posizione del mezzo, ne comunica il tempo di arrivo al regolatore semaforico, il quale, nei limiti del possibile e garantendo le condizioni di sicurezza, agisce sulla durata del ciclo e, se necessario, attiva la priorità. Inoltre, a differenza dell'SVD, dove ogni mezzo può indistintamente chiedere la funzione di priorità semaforica, in questo caso, poiché il centro sovrintende alla gestione del sistema, quest'ultimo può verificare se i mezzi necessitano di priorità o meno. Si ha in sostanza una gestione più intelligente della funzione di priorità. Per una conoscenza più approfondita dei differenti sistemi AVL-AVM *based* sulla priorità semaforica si rimanda al lavoro di HOUNSELL e SHRESTHA, 2005.

Nella tabella 2 vengono indicate alcune tecnologie che rientrano nella categoria AVL-AVM. A differenza della tipologia precedente, i dispositivi di questa classe consen-

TABELLA 2

TECNOLOGIE AVL/AVM

Tecnologia	Descrizione	Alcune realizzazioni	Vantaggi	Svantaggi
GPS	A bordo del mezzo è presente un ricevitore satellitare in grado di localizzare il mezzo tramite analisi dei segnali ricevuti dai satelliti GPS e di trasmettere quindi i dati di posizione ad un centro di controllo.	Tolosa (Francia), Cardiff (UK), Aalborg (Danimarca), Cagliari (Italia), Torino (Italia)	Buona accuratezza nella determinazione della precisione (circa 10-20 m, al 95% dei casi). Copertura globale del segnale, ma mancanza di integrità e garanzia di continuità del segnale. Costi contenuti per l'equipaggiamento del veicolo. Possibilità di migliorare l'accuratezza mediante EGNOS (da settembre 2009).	Attenuazione o scomparsa del segnale per presenza di alberature, gallerie o strutture in elevazione. Non è soggetto ad accumulo di errori se viene mantenuto il controllo della posizione.
DGPS	Stazioni differenziali che si integrano ai segnali dei satelliti GPS e permettono una migliore localizzazione del veicolo. Si può arrivare a precisioni dell'ordine di 1m prevalentemente a seconda della distanza del mezzo dalla stazione differenziale.	Genova (Italia)	Estrema accuratezza nella localizzazione ma mancanza di integrità e garanzia di continuità del segnale, che dipende dal GPS. Bassi costi per l'equipaggiamento del veicolo. Non richiede manutenzione dell'infrastruttura da parte del gestore del TP ma occasionalmente sulla stazione differenziale.	Attenuazione o scomparsa del segnale per presenza di alberature, gallerie o strutture in elevazione. Necessità di restare all'interno della copertura del segnale differenziale (da alcune decine a qualche centinaio di km). Necessità di correzioni e aggiornamenti continui del sistema.
Rilevatori di prossimità (<i>marker</i> o <i>signpost</i>)	Attivo: un rilevatore di prossimità posizionato lungo strada, trasmette un segnale al mezzo, che invia la sua posizione al controllore locale. Passivo: il mezzo trasmette un unico segnale al rilevatore di prossimità che lo localizza.	Londra (UK)	Tecnologia consolidata. Bassi costi per l'equipaggiamento del mezzo. Nessuna interferenza al segnale se la comunicazione avviene a corto raggio. Determinazione accurata della posizione al trascorrere tempo.	Elevati costi per l'equipaggiamento lungo strada (necessità di una boa). Direzionalità obbligatoria del mezzo. Posizione è determinata solo al passaggio del mezzo nel <i>signpost</i> . Frequenza di aggiornamento dipende dalla densità del <i>signpost</i> .
Dead-Reckoning	Il mezzo viene localizzato tramite un odometro che misura la distanza percorsa e un giroscopio che ne individua la variazione di direzione.	Torino* (Italia) Milano (Italia) Cagliari (Italia) * E' una delle prime realizzazioni, ammodernata da inizio secolo.	Basso costo di installazione e manutenzione dell'apparecchio. Non richiede alti costi per dispositivi lungo strada.	Possibili errori per la distanza che possono cumularsi, ma azzerabili alle fermate, ad esempio con segnale di apertura porte. Richiede, necessariamente, il database con i percorsi dei mezzi e l'associazione ad un grafo o una cartografia elettronica. Possibili errori per mancanza di aderenza della nota su pavimentazione, irregolarità della pavimentazione, dossi, variazione raggio dei pneumatici.

tono una miglior accuratezza nella determinazione della posizione del mezzo.

Attraverso il presegnalamento semaforico è possibile garantire una migliore gestione del traffico in prossimità di un nodo semaforico. Infatti, essi consentono una ridistribuzione della coda a monte dell'intersezione per ridurre i ritardi dei veicoli di trasporto collettivo in prossimità del nodo (Wu ed al., 1996; TFL 2005).

Il sistema è costituito da un segnale semaforico posto a monte dell'intersezione che va al rosso bloccando il traffico individuale in avvicinamento e permettendo ai mezzi pubblici, che scorrono in una corsia adiacente, di avvicinarsi in prossimità dell'intersezione senza alcuna interferenza con altre tipologie veicolari. È possibile individuare tre classi di presegnali: quelli di tipo A, B e C.

I presegnali di categoria A sono costituiti da uno o più segnali semaforici a monte dell'intersezione che arrestano il traffico privato permettendo il passaggio dei mezzi pubblici. Quelli di categoria B sono costituiti da segnali semaforici posti sia nella corsia destinata ai mezzi privati e sia in quella riservata ai mezzi pubblici. Il verde del segnale è alternato per i due tipi di traffico. Infine, la categoria C è costituita dai presegnali che concedono il verde ai mezzi pubblici una volta localizzati tramite sensori precedentemente installati. Questo tipo è quello che meglio ottimizza il segnale, per il fatto che il traffico individuale viene arrestato per il periodo in cui è segnalata la presenza del mezzo di trasporto collettivo.

La priorità ai segnali semaforici ha come finalità quella di contribuire realmente a ridurre i perditempo caratterizzati dall'attraversamento delle intersezioni semaforiche, soprattutto lungo gli itinerari ad uso promiscuo.

3. L'applicazione dell'Analisi Benefici Costi ad un corridoio di una città di medie dimensioni

Per confrontare i metodi considerati in termini economici si può applicare l'Analisi Benefici-Costi. Relativamente alla stima dei benefici è possibile riferirsi all'albero indicato in fig. 2. Nella struttura proposta i benefici vengono raggruppati per tipologie di figure coinvolte individuando specificatamente 1) gli utenti, 2) l'azienda di trasporto e 3) la collettività. In particolare, gli utenti direttamente coinvolti nel progetto, possono esser sia quelli che utilizzano il trasporto collettivo, sia quelli che usano il trasporto

individuale e, per tali classi, può essere importante valutare sia gli effetti diretti (ad es. il risparmio di tempo) sia quelli indiretti (ad es. miglioramento dell'accessibilità).

Relativamente all'azienda di trasporto è significativo valutare direttamente la produttività e, soprattutto, l'incremento dei ricavi, a seguito di un incremento di produttività conseguente alla realizzazione dell'intervento. Infine, per la collettività, occorre valutare i benefici indiretti in quanto, oltre agli utenti, anche i non utenti del sistema possono ottenere dei vantaggi conseguenti alla realizzazione della nuova configurazione di trasporto. Trattasi delle cosiddette esternalità e, per rimanere nel campo economico, tra queste si hanno i "costi esterni", cioè le esternalità esprimibili in termini monetari per l'esistenza di un mercato. Per ciò che attiene gli aspetti ambientali ed economici, la scelta di un'alternativa rispetto ad un'altra può condizionare gli effetti che il sistema o l'infrastruttura determinano sul territorio e sulla popolazione dell'area di studio (ad es. riduzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico, migliore utilizzo del territorio, ecc).

Gli indicatori utilizzati per l'Analisi Benefici Costi sono il Valore Attuale Netto (VAN) e il Saggio di Rendimento Interno (SRI) e in base ai valori che tali parametri assumono si potrà esprimere, per gli aspetti economici, un giudizio preliminare a favore o meno della realizzazione di uno dei metodi esaminati.

L'obiettivo dello studio, infatti, è quello di svolgere

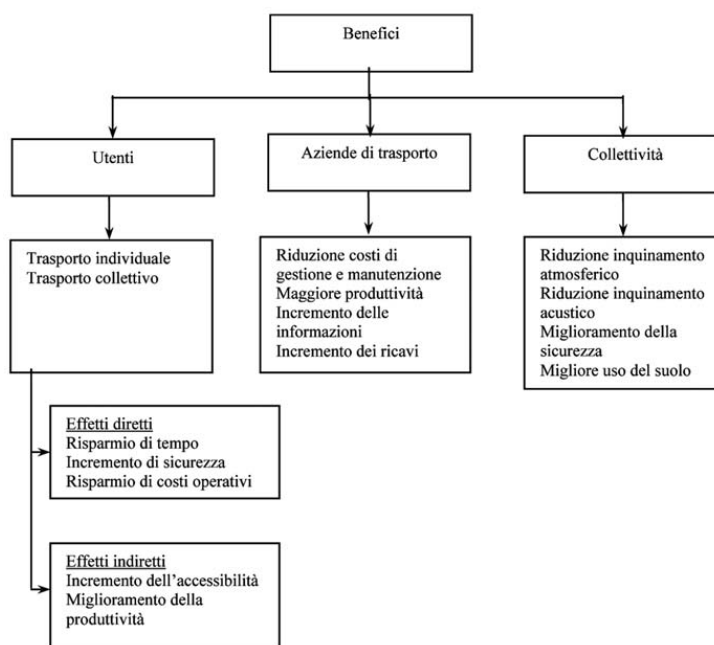


Fig. 2 - Albero dei benefici.

TABELLA 3

DATI CARATTERISTICI DEL CORRIDIO SCELTO

Caratteristiche del corridoio								
Lunghezza [km]	Park and ride [#]	Intersezioni interessate [#]	Bus interessati [#]	Capacità media dei bus [pass / bus]	Coefficiente di occupazione bus [pass/bus *bus/ pass]	Domanda TPL [pass / giorno]	Coefficiente di occupazione auto [pass/vei]	Domanda non TPL [pass/giorno]
5,2	10	8	120	111	0,1	7077	1,2	23891



Fig. 3 – Porzione del corridoio interessato (Elaborazione autori su immagini Google Earth).

una valutazione ed un confronto in termini di costi e benefici di alcune soluzioni progettuali per favorire la marcia dei veicoli di trasporto collettivo lungo un corridoio di una città italiana di medie dimensioni (Cagliari). Essa ed il suo hinterland constano di circa 367.000 abitanti distribuiti su 402 km² e la mobilità giornaliera è superiore ai 150.000 veicoli in ingresso verso il centro di Cagliari, dove sono concentrati la maggior parte dei poli attrattori della mobilità.

I servizi localizzati in varie aree della città danno origine a notevoli flussi di traffico automobilistico che interessano sia le zone centrali, sia quelle periferiche e, a conferma di ciò, è sufficiente notare come l'indice di motorizzazione sia pari a 0,626, uno dei più alti in Italia (Amici della terra, 2003).

Il corridoio scelto (fig. 3) si estende in una zona prossima al centro. Esso è stato preferito rispetto ad altri in base ai notevoli flussi di traffico che giornalmente lo attraversano. È caratterizzato (tabella 3) da otto intersezioni ed è lungo 5,2 km e, su porzioni di esso, transitano 13

linee della rete di trasporto pubblico cittadina che costituiscono il 44% del totale. Sul corridoio prescelto sono state comparate tre ipotesi di intervento, ognuna delle quali è ricompresa all'interno dei tre metodi precedentemente analizzati.

In sintesi, tali ipotesi riguardano: la realizzazione delle corsie preferenziali nello stesso senso di marcia del veicolo del trasporto privato per quanto riguarda i sistemi di separazione, la creazione di parcheggi di scambio relativamente alle politiche di gestione della domanda e la funzione di priorità semaforica alle intersezioni regolamentate in riferimento al terzo approccio. Sebbene tali metodi possano essere applicati congiuntamente creando un sistema maggiormente sinergico, si è preferito valutarne separatamente costi e benefici nell'ipotesi che l'Amministrazione disponga di risorse finanziarie limitate per realizzarne soltanto uno. Relativamente all'istituzione di corsie preferenziali si è ipotizzato di crearle ricavando nella sede stradale appositi spazi in entrambi i sensi di marcia, larghi 3,50 m, così da separare la corrente veicolare privata mediante cordoli.

COSTI PRESUNTI DI INVESTIMENTO E GESTIONE

	Costo di investimento		Costo di gestione e manutenzione		Vita utile [anni]
	Specifico [€/unità]	Complessivo[€]*	Specifico [€/unità]	Complessivo[€]	
Sistemi di separazione - Corsie preferenziali	273.780,13	1.788.058,02	16.426,81	107.283,48	25
Politiche di gestione della domanda - Park and Ride	62.165,14	621.651,45	23.809,95	238.099,55	25
Priorità ai segnali - Priorità attiva	13.555,48	1.602.657,77	808,96	97.075,27	25

* Indice rappresentativo anche del costo opportunità

Per quanto riguarda la creazione dei parcheggi di scambio si è ipotizzato di individuare degli appositi spazi da destinare alla sosta lungo il corridoio prescelto; sono stati individuati 10 parcheggi di scambio anche in ragione del fatto che, recenti studi (Department of Transport, 2004) indicano in 9+19 il numero consigliato dei *Park & Ride* da creare, essendo la distanza dal centro città compresa fra 0,8+2,4 km.

Infine, in riferimento alla priorità semaforica, si è ipotizzato di equipaggiare le 8 intersezioni semaforiche presenti nel corridoio e i mezzi delle linee in transito interessate, mediante dispositivi che possano consentire l'attivazione della priorità semaforica. I mezzi sono stati equipaggiati mediante ricevitori GPS per la loro localizzazione e mediante modem che consente di trasmettere via GSM/GPRS le informazioni sul posizionamento al centro di controllo del traffico, il quale provvede ad attivare la priorità semaforica colloquiando in via indiretta con il regolatore d'impianto.

È stata poi effettuata la stima dei costi di investimento e di gestione riferendosi ai prezzi attualmente in vigore e ad informazioni acquisite presso fornitori. I costi di investimento relativi alla realizzazione delle corsie preferenziali hanno considerato le operazioni di realizzazione del cordolo, rifacimento della segnaletica orizzontale e verticale, oltre alla bitumazione dello strato di usura della pavimentazione stradale. Il costo preventivato è risultato pari a € 1.788.058, mentre per la gestione è stato preventivato un importo di € 107.283. Riferendosi al costo unitario si ottiene un valore parametrico di 343.857 €/km.

Relativamente agli investimenti per attrezzare i parcheggi di scambio si è fatto riferimento alle opere necessarie per delimitare il parcheggio (recinzioni e postazione di controllo), al tracciamento della segnaletica orizzontale e verticale, nonché alla bitumazione del manto superficiale della pavimentazione stradale in quanto, lungo il tracciato, sono presenti notevoli spazi adibiti a parcheggio nelle vicinanze delle fermate dei mezzi pubblici. I valori preventivati dei costi ammontano a € 621.651 per gli investimenti e € 238.100 per la gestione: ne deriva un costo unitario a parcheggio pari a € 62.165.

Infine, l'applicazione della priorità semaforica alle 8 in-

tersezioni ed ai 120 mezzi, nonché la realizzazione di un centro di coordinamento oltre a lavori agli incroci comporta un costo complessivo di investimento pari a € 1.602.657 e € 97.075 per la gestione. Ne deriva un costo unitario di circa 13.000 €/veicolo. Infine, una voce di costo che appare importante evidenziare è quella relativa al "costo opportunità" degli investimenti. Infatti, in un contesto di risorse limitate quale quello italiano, dove più progetti seppur validi competono fra loro per fondi esigui, il costo di un progetto rappresenta un'opportunità persa nel non utilizzare le risorse nella maniera più remunerativa possibile.

I costi di investimento per le diverse soluzioni progettuali ipotizzate, potranno provenire da fondi resi disponibili da parte delle amministrazioni locali interessate e da finanziamenti nazionali o comunitari relativi a specifiche azioni di intervento.

In riferimento ai costi di gestione si specifica che questi vengono sostenuti principalmente dal gestore del sistema o in compartecipazione con l'ente territoriale di competenza.

In questo ambito, i costi opportunità possono essere assunti pari ai costi di investimento necessari per realizzare ogni progetto e saranno assegnati alla collettività che pagherà un costo per la realizzazione del progetto.

Per la definizione dei benefici ci si è riferiti alla struttura ad albero della (fig. 2) individuando quelli per gli utenti del sistema, per l'azienda e per la collettività. Relativamente a tali ipotesi di intervento sono stati stimati i seguenti benefici: il risparmio del tempo di viaggio per gli utenti del trasporto collettivo, lo stesso risparmio di tempo, quello energetico ed il miglioramento dell'accessibilità per gli utenti del trasporto individuale, e la riduzione dell'inquinamento acustico ed atmosferico, nonché il miglioramento delle condizioni di sicurezza, per la collettività.

I valori unitari e le relative fonti sono riportati nella tabella 5 e sono stati assunti con riferimento agli standard da letteratura, maggiormente utilizzati per questi scopi. Per la successiva analisi, i valori monetari sono stati aggiornati al 2009. I benefici in termini di risparmio di tempo sono maggiori ricorrendo ad un sistema che prevede la separazione fisica delle correnti veicolari, mentre si ottengono valori minimi attraverso la realizzazione dei

VALORI SPECIFICI PER IL CALCOLO DEI BENEFICI

		Sistemi di separazione	Fonte	Politiche di Gestione della Domanda (park and ride)	Fonte	Priorità ai Segnali Semaforici (priorità attiva)	Fonte
Trasporto collettivo	Risparmio del tempo di viaggio	22-23%	Department for transport (2004)	8 - 16%	Department for transport (2004)	10 -37 %	Li ed al. (2003)
Trasporto individuale	Risparmio del tempo di viaggio	1 - 3%	Department for transport (2004)	0%	Department for transport (2004)	0 / (-5)%	Department for transport (2004), Zhou ed al. (2007)
	Risparmio energetico	Costo medio benzina e gasolio 1,15€/l	Agip, Esso, Q8 (2005)	Costo medio benzina e gasolio 1,15€/l	Agip, Esso, Q8 (2005)	Costo medio benzina e gasolio 1,15€/l	Agip, Esso, Q8 (2005)
	Miglioramento accessibilità	Costo marginale dell'auto: 0,35 €/Km	Quattroruote (2007)	Costo marginale dell'auto: 0,35 €/Km	Quattroruote (2007)	Costo marginale dell'auto: 0,35 €/Km	Quattroruote (2007)
		Costo medio giornaliero auto in sosta 3 € - 7 €	CTM Service (2007)	Costo medio giornaliero auto in sosta 3€/g	CTM Service (2007)	Costo medio giornaliero auto in sosta 3€/g	CTM Service (2007)
Azienda	Incremento dei ricavi	9% -18%	Rye e al.(2004), McKaon (2005)	10% - 15%	TAS 2003	10%	Faber (1988)
Collettività	Riduzione esternalità	Costi esterni (gas serra, inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, congestione) 0,0823 €/passkm]	Amici della terra (2003)	Costi esterni (gas serra, inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, congestione) 0,0823[€/passkm]	Amici della terra (2003)	Costi esterni (gas serra, inquinamento atmosferico, rumore, incidenti, congestione) 0,0823[€/passim]	Amici della terra (2003)

Park & Ride. Relativamente al trasporto individuale è interessante notare come i benefici relativi al risparmio di tempo sono evidenti solo per i sistemi di separazione, mentre la realizzazione della sola priorità ai segnali non accompagnata da una centralizzazione semaforica può portare a ricadute negative. Nessun risparmio di tempo si verifica invece per le politiche del *Park & Ride*.

Relativamente ai benefici per l'azienda, tutte le politiche comportano aumenti valutabili attorno al 10% evidenziando pertanto ricadute positive. Per la stima complessiva dei benefici si è proceduto ad un'analisi della domanda potenziale a partire dai dati rilevati dal Piano Generale del Trasporto Urbano della città di Cagliari (2007), che consente la stima dei flussi di traffico per le sezioni ricadenti nel corridoio nella situazione attuale.

Tali valori sono stati utilizzati per il calcolo dei flussi nelle ipotesi di progetto utilizzando dei modelli di scelta modale. I flussi determinati, riferiti ad un'ora di punta del mattino, sono stati estesi per tutto l'arco della giornata al fine di procedere al calcolo del Traffico Giornaliero Medio. In altre parole, calcolato il flusso per ciascun tronco

suddiviso per senso di marcia, è stata determinata la media ponderale dei vari flussi:

$$V_i = \frac{\sum_t V_t * l_t}{\sum_t l_t} \quad [1]$$

dove:

- V_i = volume di traffico relativo al tronco i-esimo, nell' i-esima ora di punta;
- V_i = lunghezza del tronco i-esimo.

Noto il flusso totale della strada, si è calcolato il TGM attraverso la relazione che lo lega alla portata di progetto che può riassumersi variabile fra il 10% e il 20% del traffico giornaliero medio ed è stato assunto pari a:

$$TGM = \frac{V_i}{0,20} \quad [2]$$

Da tale valore è stato poi ricavato il numero di utenti attraverso il coefficiente di occupazione dell'auto ipotizzato pari a 1,2 (DFT, 2004).

STIMA DEI BENEFICI AL PRIMO ANNO

	Benefici utenti (1° anno)				Benefici azienda (1° anno)	Benefici collettività (1° anno)					
	Trasporto Collettivo	Trasporto Individuale				Incremento dei ricavi [€]	Riduzione gas serra [€]	Riduzione inquinamento atmosferico [€]	Riduzione rumore [€]	Riduzione incidenti [€]	Riduzione congestione [€]
		Risparmio di tempo [€]	Risparmio di tempo [€]	Risparmio energetico [€]							
Sistemi di separazione - Corsie preferenziali (P ₁)	102.663,96	3.516,79	74.650,14	244.208,70	258.022,58	3.492,43	10.603,53	2.188,03	13.422,73	4.965,15	
Politiche di gestione della domanda - Park and Ride (P ₂)	33.954,02	-	-	90.190,50	236.736,00	2.136,21	6.485,84	1.338,35	8.210,24	3.037,02	
Priorità ai segnali - Priorità attiva (P ₃)	30.139,77	- 141.769,08	75.470,47	217.074,40	229.353,41	3.104,39	9.425,36	1.944,92	11.931,31	4.413,46	

Il calcolo del numero di utenti dei mezzi pubblici in un giorno tipo è stato quantificato moltiplicando tra loro frequenza di passaggio e numero di posti a sedere dei mezzi eseguendo una media pesata tra le diverse tipologie di veicoli utilizzati. Infine, prudenzialmente è stato supposto un coefficiente di occupazione pari al 20% della capacità di trasporto dei bus, in modo da pervenire ad una stima attendibile del flusso di utenti.

Inoltre, nel corso degli anni si è stabilito un incremento prudenziale percentuale dell'1% per le due tipologie di utenti. In base a queste ipotesi è stato possibile calcolare i benefici per i 25 anni di vita utile ipotizzati che per il primo anno risultano pari a quanto indicato in tabella 6. La durata venticinquennale degli investimenti tecnologici potrebbe apparire eccessiva; ad ogni modo, si è preferito considerare tale intervallo temporale in quanto, nelle soluzioni proposte, si fa riferimento anche ad investimenti di tipo infrastrutturale (realizzazione di corsie preferenziali e dotazione di parcheggi) che presuppongono una vita utile decisamente maggiore.

3.1. Considerazioni sui risultati

L'analisi della tab. 6, relativa alla stima dei benefici al primo anno evidenzia che, in riferimento ai benefici per la collettività legati alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e degli incidenti, il risparmio maggiore si ha per le soluzioni P₁ – Sistemi di separazione-Corsie preferenziali e P₃ – Priorità ai segnali-priorità attiva, mentre l'ipotesi progettuale P₂ – Politiche di gestione della domanda-Park&Ride, risulta meno vantaggiosa; mentre gli altri benefici a van-

taggio della collettività sono caratterizzati da valori inferiori in termini di quantificazione monetaria, ed assumono valori non molto diversi tra loro per le tre soluzioni, anche se la soluzione P₂ è sempre quella caratterizzata da benefici sulla collettività inferiori. Il fatto che la stima dei benefici sulla collettività conduca a valori non troppo distanti tra loro si spiega con il fatto che, il corridoio scelto per l'analisi è abbastanza corto e, pertanto, sia il costo parametrico delle varie externalità che le variazioni di utenza a seguito dei diversi interventi, risultano per lo più di modesta entità.

Esaminando i benefici diretti che ricadono sull'utenza di trasporto pubblico, si evidenzia che il risparmio di tempo maggiore si ha per la soluzione P₁ relativa ai Sistemi di separazione – Corsie preferenziali, il quale valore supera di gran lunga quello relativo agli altri due interventi proposti P₂ e P₃.

Anche in riferimento ai benefici sugli utenti di trasporto privato, si verifica che il risparmio di tempo avvantaggia la sola ipotesi progettuale P₁ in quanto è un dato che risulta significativo solo per essa. P₁ è la soluzione migliore anche per il risparmio energetico, anche se ha un valore molto prossimo a quello di P₃, mentre per P₂ non ha senso una sua stima. Lo stesso discorso vale per la valutazione monetaria dell'incremento dell'accessibilità a seguito delle tre alternative proposte, per la quale P₁ e P₃ presentano lo stesso ordine di grandezza, mentre P₂ assume un valore nettamente inferiore. Infine, in relazione ai benefici aziendali stimati mediante l'incremento dei ricavi complessivi, sempre dalla tabella 6, si evince che l'ordine degli interventi di riferimento risulta P₁, P₂ e P₃, sebbene i tre valori abbiano lo stesso ordine di grandezza.

Per cui dall'analisi dei benefici complessivi, diretti e indiretti, in generale si può notare che la proposta d'intervento preferibile risulta sicuramente la P_1 .

Con riferimento ai costi di investimento e di gestione/manutenzione (tab. 4), si può rilevare che la soluzione P_1 è quella che risulta la più costosa, con riferimento all'entità dell'investimento, mentre i costi di gestione e manutenzione sono superiori rispetto alla soluzione P_3 ed inferiori rispetto alla soluzione P_2 .

Pertanto, dalla lettura comparata delle tabelle 6 e 4 che indicano i valori dei benefici e dei costi per le tre soluzioni progettuali di riferimento, non si riesce a determinare la proposta migliore in termini assoluti, ovvero che richieda costi minori ma che sia in grado di realizzare benefici maggiori, senza introdurre la variabile tempo e, quindi, la tecnica dell'attualizzazione. Si rivela necessario, quindi, ricorrere all'Analisi Benefici Costi, che consente, sulla base della stima dei costi e dei benefici, di calcolare degli indicatori sintetici per valutare e confrontare le alternative progettuali. La fig. 4 e la tab. 7 riportano l'andamento del VAN al variare del tasso di attualizzazione la cui scelta riflette valutazioni economiche e politiche che trascendono il solo settore dei trasporti. Si può notare l'andamento discendente delle curve dovute al fatto che l'incremento del tasso di attualizzazione penalizza i benefici lontani nel tempo ed esalta il peso delle spese di investimento che di solito vengono sostenute nei primi anni.

Dall'analisi del grafico si evince, comunque, che il VAN del progetto relativo alla realizzazione delle corsie preferenziali (P_1), è sempre maggiore rispetto agli altri due che, nell'ordine, rappresentano la priorità semaforica (P_3) e la costruzione dei parcheggi di scambio (P_2). Anche assumendo come indicatore il SRI, il progetto P_1 è quello che presenta il valore più elevato dell'indicatore (17,1%) e, pertanto, risulta economicamente più vantaggioso rispetto agli altri che nell'ordine risultano sempre P_3 (4,5%) e P_2 (15,3%); ad ogni modo l'analisi con il SRI è in grado di evidenziare che la soluzione P_3 è decisamente molto migliore della soluzione P_2 , in quanto presenta un SRI tre volte maggiore.

La conferma di tali deduzioni viene fuori anche da un'ulteriore elaborazione dell'Analisi Benefici-Costi che scaturisce dalla valutazione del VAN e del SRI per i tre progetti considerati escludendo dai calcoli i costi esterni. L'esclusione dai calcoli dalle externalità viene anche giustificata con il fatto che la quantificazione economica dei costi esterni risulta affetta da un certo grado di empirismo e da una notevole soggettività e, pertanto, è opportuno verificare le ripercussioni che si hanno nell'analisi non tenendo conto del loro contributo.

Il risultato di tale analisi viene illustrato mediante il grafico di fig.

5. Tale grafico evidenzia che, anche in questo caso, per qualunque valore del tasso di attualizzazione, il VAN del progetto P_1 è superiore al VAN del progetto P_3 che, a sua volta, risulta maggiore del progetto P_2 . Allo stesso risultato si perviene considerando come indicatore economico il SRI, che assume un valore pari a 16,1% per il progetto P_1 , 13,8% per il progetto P_3 e 1,8% per il progetto P_2 , mettendo in luce un divario ancora maggiore tra il SRI della soluzione P_3 e quello della proposta P_2 che risulta prossimo allo zero e, pertanto, la sua convenienza economica non risulta assolutamente significativa.

3.2. Considerazioni sul metodo utilizzato

Il metodo dell'ABC è stato utilizzato per confrontare fra loro tre scenari relativi alla priorità per il trasporto collettivo dei quali, due tipici di progetti tradizionali, quali la realizzazione di corsie riservate per la marcia dei bus o la creazione di apposite aree di sosta di interscambio, ed uno che prevede l'utilizzo delle nuove tecnologie ITS (*Intelligent Transport System*) per favorire la marcia del veicolo in prossimità delle intersezioni.

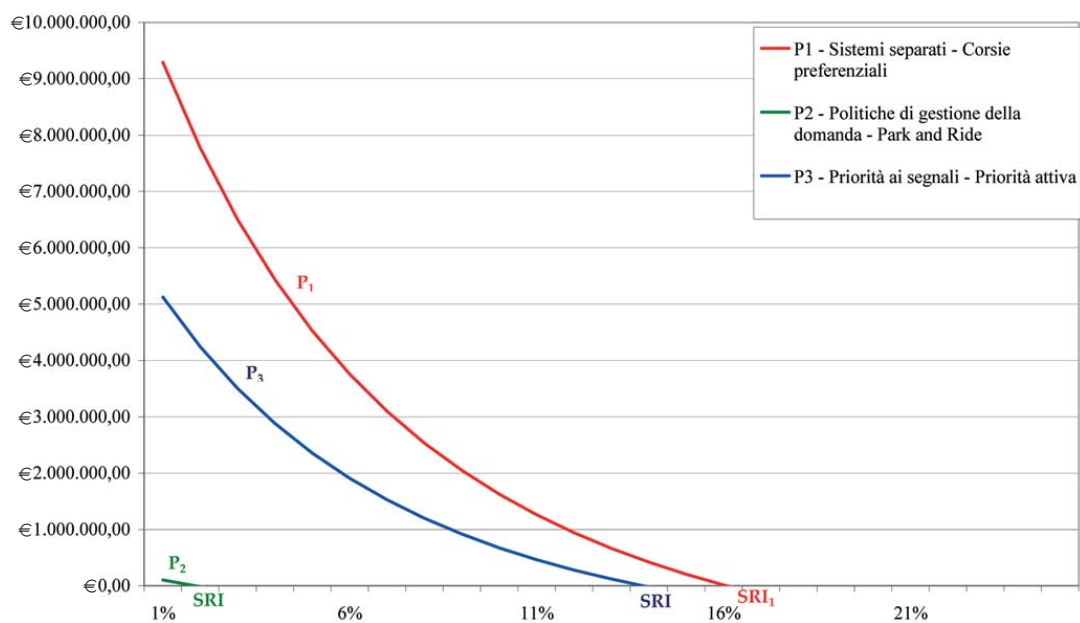
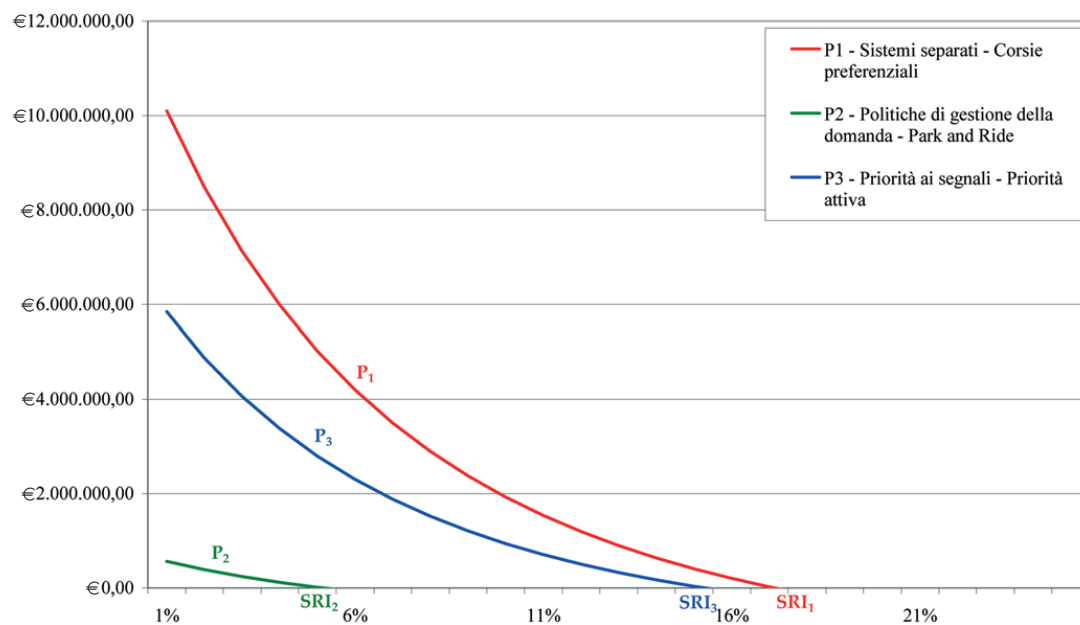
In generale, l'ABC è un metodo consolidato e diffuso per la valutazione economica di un progetto tradizionale nel settore dei trasporti con particolare riferimento al trasporto collettivo. Più limitata appare la sua applicazione al campo delle nuove tecnologie proprie degli ITS in quanto i decisori devono dedurre se le applicazioni ITS possono avere o meno un significato economico (PEARCE, 2000). Comunque, GILLEN ed al. (1999) hanno esaminato tale tecnica ed hanno concluso che essa può essere importante anche per la valutazione economica di una nuova tecnologia, in quanto argomentano sulla necessità di base di interpretare gli investimenti in tecnologie ITS al pari di altri progetti tradizionali di miglioramento che competono per le stesse risorse limitate.

Pertanto, gli autori concludono che i progetti sulle tecnologie ITS non differiscono sostanzialmente dai progetti tradizionali sul trasporto e quindi l'analisi economica è un valido strumento di supporto alle decisioni. Questa posizione è condivisa da BRAND (1993 & 1998); ZAVERGIU (1996); ZAVERGIU ed al. (1996); RAN ed al. (1997); STAMATIADIS ed al. (1998); LI ed al. (1999).

TABELLA 7

VALORI DEL VAN PER DIVERSI TASSI DI ATTUALIZZAZIONE i , CONSIDERANDO I COSTI ESTERNI

Progetti i	VAN				
	5%	10%	15%	20%	25%
Sistemi di separazione - Corsie preferenziali	€ 5.021.049,72	€ 1.927.532,91	€ 407.911,27	-€ 408.310,18	-€ 878.062,89
Politiche di gestione della domanda - Park and Ride	€ 15.415,36	-€ 318.388,81	-€ 481.523,01	-€ 567.457,59	-€ 614.318,94
Priorità ai segnali - Priorità attiva	€ 2.795.952,18	€ 942.459,92	€ 36.277,69	-€ 446.922,46	-€ 722.071,29



8. Conclusioni e ulteriori sviluppi

La nota ha proposto una valutazione comparata, in un corridoio di una città italiana di medie dimensioni (Cagliari), mediante l'ABC di 3 interventi per favorire l'utilizzo del trasporto collettivo rispetto al trasporto individuale. Essi appartengono ai tre metodi di priorità utilizzati per favorire la marcia dei veicoli di trasporto collettivo.

Applicata ad un ristretto corridoio di una città italiana, i risultati dell'analisi hanno evidenziato che tutti e tre gli interventi sono comunque realizzabili ed economicamente validi per la collettività, ma l'intervento relativo all'adozione di un sistema di separazione di correnti di traffico è quello che realizza, qualunque sia il tasso di attualizzazione utilizzato, il VAN e il SRI più elevato e, quindi, quello che, dal punto di vista economico, meglio si adatta alla città a fronte di un discreto investimento rispetto all'attivazione della priorità semaforica. Agli stessi risultati si è giunti eseguendo l'ABC senza considerare l'apporto dei costi esterni, la cui monetizzazione è affetta da empirismo e approssimazione.

Anche in questa seconda analisi i risultati forniti sia dal VAN sia dal SRI convergono e sono indipendenti dal valore attribuito al tasso di attualizzazione. Risultati meno incoraggianti sono stati ottenuti attraverso la valutazione della realizzazione dei *Park & Ride*, sebbene siano caratterizzati da investimenti ridotti del 65% e del 62% rispetto agli altri progetti.

Infine, occorre rimarcare che un confronto eseguito con l'ABC presenta un certo limite per la difficoltà di quantificare tutti i benefici coinvolti. Nella elaborazione svolta ne sono stati trascurati alcuni e, comunque, monetizzarli tutti richiede l'assegnazione di un valore economico anche a vantaggi o svantaggi che non hanno "un mercato"; il che apre le porte ad un ampio ambito di soggettività. Intendiamo riferirci a vantaggi e svantaggi che coinvolgono "giudizi di valore" (sulla loro distribuzione tra i membri della collettività, su ciò che è giusto o ingiusto, bene o male, bello o brutto, utile o superfluo) che possono soltanto essere rappresentati introducendo opportuni indicatori. Volendo poi portarli in conto è necessario un ulteriore approfondimento del fenomeno in esame e l'introduzione di un'analisi multicriteria: è ciò che ci si propone di fare nel prosieguo del lavoro.

APPENDICE

TABELLA 8

COSTI DI INVESTIMENTO PER L'ALTERNATIVA PROGETTUALE: SISTEMI DI SEPARAZIONE – CORSIE PREFERENZIALI

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
Segnal. Verticale	#	14	160	2.240,00
Segnal. Orizz (parte bianca)	m ²	1.128	11	12.408,90
Segnal. Orizz (parte gialla)	m	0	0,95	0,00
Cordoli	m	13.062	110	1.436.820,00
Bitumazione	m ²	45.717	5,50	251.443,50
Totale opere civili				1.702.912,40
Spese generali	%	5		85.145,62
Totale complessivo				1.788.058,02

TABELLA 9

COSTI DI INVESTIMENTO PER L'ALTERNATIVA PROGETTUALE: POLITICHE DI GESTIONE DELLA DOMANDA – PARK&RIDE

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
Segnal. Verticale	#	189	160	30.249,60
Segnal. Orizz (parte gialla)	m ²	822	11	9.042,00
Segnal. Orizz (parte bianca)	m	40.278	1	38.264,10
Recinzioni	m	3.127	5	15.633,50
Postazione prefabbricata	#	10	10.000	100.000,00
Allacci	#	10	2.000	20.000,00
Bitumazione	m ²	68.884	6	378.859,80
Totale opere civili				592.049,00
Spese generali	%	5		29.602,45
Totale complessivo				621.651,45

COSTI DI INVESTIMENTO PER L'ALTERNATIVA PROGETTUALE: PRIORITÀ AI SEGNALE - PRIORITÀ ATTIVA

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
Sistema AVM per priorità semaforica	Bus	120	9.516,89	1.142.026,29
Sistema di Controllo e regolazione del traffico (UTC) - Centro + periferia	Incroci	8	37.271,81	298.174,49
Lavori agli incroci	Incroci	8	10.767,49	86.139,95
Totale sistemi ITS+opere civili				1.526.340,73
Spese generali	%	5		76.317,04
Totale complessivo				1.602.657,77

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACI – Eurispes (2006), *Rapporto sulla qualità della mobilità nelle province italiane*.
- [2] Amici della Terra (2003), *Valutazione del vantaggio, in termini di minori costi ambientali e sociali di un forte sviluppo del trasporto collettivo in ambito urbano*. Enea.
- [3] R.J. BAKER (2002), *An Overview of Transit Signal Priority*. ITS America.
- [4] E. BORGIA (a cura di) (2002), *Studi di impatto ambientale nel settore dei trasporti*. Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio – Servizio Valutazione Impatto Ambientale. Roma.
- [5] D. BRAND (1993), *Intelligent Vehicle Highway System Benefits Assessment Framework*. Transportation Research Record, N. 1408.
- [6] D. BRAND (1998), *Applying Benefit/Cost Analysis to Identify and Measure the Benefits of Intelligent Transportation Systems*. Transportation Research Record, N. 1651.
- [7] Cape Cod Commission (2003), *Cape Cod, Park-Ride-Study Analysis of Barnstable and Sagamore Park-and-Ride Lots*. Barnstable MA.
- [8] E. CASCETTA (2005), *La mobilità delle persone in ambito urbano ed extraurbano: problemi e soluzioni*. Convegno Infrastruttura "L'innovazione nelle infrastrutture di trasporto". Torino.
- [9] A.P. DAVOL (1997), *Modelling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory*. Brown University, Providence, RI.
- [10] E. DEAKIN, G. HARVEY (1995), *Transportation Pricing Strategies for California: An Assessment of Congestion, Energy and Equity Impacts*. California Air Resources Board, Sacramento.
- [11] Department for Transport (2004), *Bus Priority- The Way ahead*. London.
- [12] D. GILLEN J. LI, J. DAHLGREN, E. CHANG (1999), *Assessing the Benefits and Costs of ITS Projects: Volume 1 Methodology*. California PATH. University of California, Institute of Transportation Studies, Berkeley, CA.
- [13] N.B. HOUNSELL, B.P. SHRESTHA (2005), *AVL based Bus Priority at Traffic Signals: A Review and Case Study of Architectures*. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 5, N. 1.
- [14] O. FABER (1988), *Selected Vehicle Priority in the UTM Environment (UTMC01)*. Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- [15] J. FISHER (2001), *Mount desert island park and ride study*. Ellsworth, Maine.
- [16] P. JOHNSTONE et al. (2004), *Bus Priority measures: Principles & design*. Public transport authority - Government of Western Australia.
- [17] C.M. JOHNSON, E.L. THOMAS (2000), *Automatic Vehicle Location Successful Transit Applications, A Cross-Cutting Study*.
- [18] S. JONES, M. HALLWORTH, K. FOX (1998), *UTMC 01 DELIVERABLE 1, State of the Art and User Needs for Selected Vehicle Priority*. Review of research and user needs.
- [19] D. LEVINSON (2002), *Road Pricing and Compensation for delay*. Transportation Research Board, Annual Meeting.
- [20] H.S. LEVINSON (2003), *Bus rapid transit on City Streets, How Does it work*. Second urban Street Symposium, Anaheim, CA.
- [21] J. LI, D. GILLEN, J. DAHLGREN (1999), *Benefit-Cost Evaluation of the Electronic Toll Collection System: A Comprehensive Framework and Application*. Transportation Research Record, N. 1659.
- [22] D.J. MORGAN (2002), *A Microscopic Simulation Labo-*

- ratory for Advanced Public Transportation System Evaluation. Sc. B. in Civil Engineering, University of Texas, Austin, TX.
- [23] K. OVA, A. SMADI (2006). Evaluation of Transit Signal Priority Strategies in Small-Medium Size Cities. Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, District of Columbia.
- [24] V. PEARCE (2000), *ITS, Money Well Spent?: A Taxpayer's Perspective*. Traffic Technology International.
- [25] PRISCILLA PROJECT (2002), *Public transport priority: state of the art review*. Deliverable 2, University of Southampton, UK.
- [26] B. RAN, K.Y.K. LEE, H. DONG (1997), *Cost-Benefit Analysis on Deployment of Auto-mated Highway Systems*. Transportation Research Record, N. 1588.
- [27] Schaller Consulting (2002), *Bus rapid transit for New York City*. Prepared for Transportation Alternatives NYPIRG Straphangers Campaign, Brooklyn, NY.
- [28] P. SCHEIDEGGER, L. MARCHAND, G. DELVA, M. QUIDORT, J. VIVIER, H. ALLEN (2001), *Better Mobility in urban Areas. Problems, Solutions, Best Practices*. UITP.
- [29] H.R. SMITH (2005), *Transit Signal Priority (TSP): A Planning and Implementation Handbook*. Funded by the United States Department of Transportation.
- [30] C. STAMATIADIS, N.H. GARTNER, J. WINN, R. BOND (1998), *Evaluation of the Massachusetts Motorist Assistance Program: Assessment of Congestion and Air Quality Impacts*. Transportation Research Record, N. 1634.
- [31] Transport for London (2005), *Bus pre-signal assessment and design guidance*. London
- [32] C.G. TOOMEY, B. FRIEDRICH, M. CLARK (1998), *BALANCE- A European field trial*. 9th International Conference on Road Transport Information and Control, Institution of Electrical Engineers, London UK Conference, Publication N. 454.
- [33] Transportation Research Board (1997), *AVL Systems for Bus Transit*. TCRP 25, Washington D.C.
- [34] Transportation Research Laboratory (2004), *Bus Priority: Monitoring and Evaluation*. TRL Annual Research Review, Crowthorne.
- [35] UITP (1996), *Liveable Cities*.
- [36] J. WU, N. HOUNSELL (1998), *Bus priority using pre-signals*. Transportation Research 32 A.
- [37] R. ZAVERGIU, W.F. JOHNSON, R.L. SABOUNGHI (1996), *Development of an ITS Benefit-Cost Framework*. Proceedings of 3rd Annual World Congress on Intelligent Transportation Systems, Orlando, Florida.
- [38] R. ZAVERGIU (1996), *Intelligent Transportation Systems: An Approach to Benefit-Cost Studies*. Working Paper, Montreal, Quebec: Transportation Development Centre.