

MAVC: UNA METROPOLITANA AUTOMATIZZATA PER L'AREA VASTA DI CAGLIARI

Giovanni Corona¹, Proto Tilocca, Massimiliano Pau, Manuela Cecere,
Fabio Lilliu, Sara Salis, Silvano Angius, Benedetto Barabino, Enrico Angius

1. Premessa

Il rapporto presenta una proposta di piano per la realizzazione del progetto Metropolitana del Consorzio Trasporti e Mobilità di Cagliari.

Dopo aver ricostruito la struttura della domanda di trasporto e le caratteristiche funzionali degli elementi della rete, sono state simulate le interazioni tra le prestazioni del sistema dei trasporti e i comportamenti degli utenti nelle diverse dimensioni di scelta della mobilità: frequenza e destinazione degli spostamenti, modo di trasporto ed itinerario seguito sulla rete.

La soluzione progettuale proposta ha come obiettivo la realizzazione di un intervento che si inquadri e si integri con i sistemi di trasporto esistenti, realizzando condizioni di connessione stradale e ferroviaria con altri servizi di trasporto presenti nell'area in esame (FS, CTM, FdS) in una logica di intermodalità.

Pertanto, sulla base delle indicazioni ora esposte, si inserisce la presente proposta, nel quadro programmatico degli interventi sulla viabilità dell'intera area vasta, dove oltre alla necessità di potenziare le infrastrutture di tipo stradale, una particolare importanza assume la realizzazione di una linea metropolitana, che garantirebbe l'inserimento dell'area vasta di Cagliari nel contesto nazionale delle grandi opere per il trasporto collettivo di massa.

2. Struttura di base del progetto (WBS)

In questa fase preliminare viene a delinearsi una Work Breakdown Structure (WBS) ossia una suddivisione in blocchi o sottosistemi della struttura complessiva del progetto.

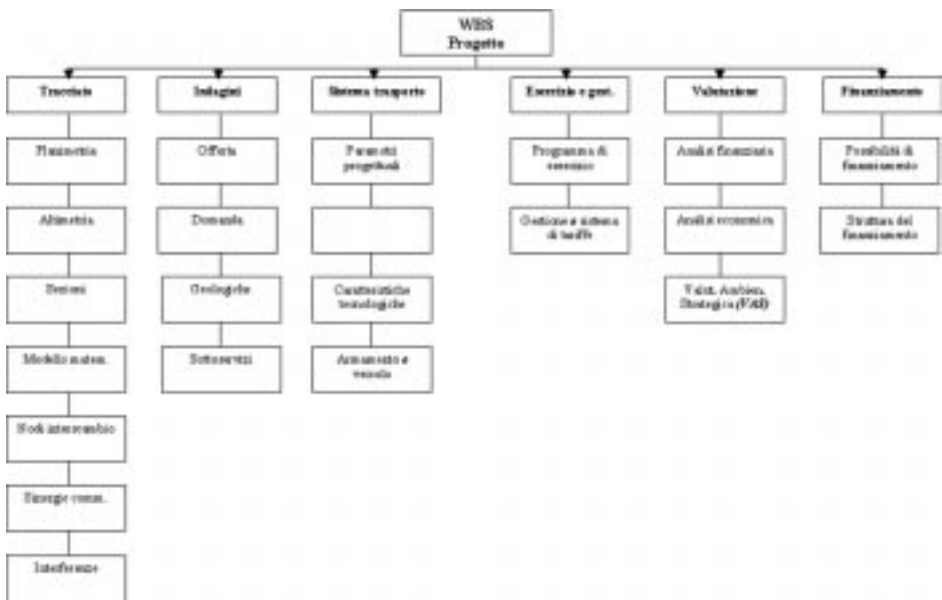
In pratica si viene a delineare una struttura ad albero di tipo gerarchico dove ogni livello via via discendente rappresenta porzioni sempre più piccole del progetto fino a giungere ad una disaggregazione sempre più spinta per meglio pianificare e cogliere quelli che sono gli obiettivi del progetto per arrivare quindi alla costituzione di *work package* (pacchetti elementari di lavoro) in modo da poter prevedere nel dettaglio le singole attività.

1) Coordinatore del gruppo di lavoro: Presidente C.T.M. S.p.A. Professore Ordinario di Tecnica ed economia dei trasporti presso il Dipartimento di Ingegneria del Territorio della Facoltà di Ingegneria di Cagliari.

Allo stato attuale delle cose è stata delineata una WBS “per processi di lavoro” di primo livello, dove sono stati individuati 6 macroprocessi principali che costituiranno i punti cardine del progetto: definizione del tracciato; indagini; sistema di trasporto; esercizio e gestione; scenari di valutazione; finanziamento

Per ogni macroattività sono stati delineati dei sotto sistemi che individuano una WBS di secondo livello come mostrato nella *figura 1*.

Figura 1 – WBS Progetto.



2. Definizione del tracciato

Le ipotesi di tracciato hanno come obiettivo comune quello di servire l'area compresa fra i Comuni di Cagliari, Monserrato, Selargius, Quartucciu e Quartu. Le soluzioni sono vincolate ai seguenti parametri che condizionano l'andamento planoaltimetrico del tracciato:

- raggio di curvatura minimo 50 m
- pendenza max 10 %
- larghezza sezione in scavo 7-8 m
- minimizzazione interferenza sottoservizi;
- minimizzazione dei tratti in scavo con foro cieco;
- massimizzazione dell'area servita.

Le sezioni tipo sono caratterizzate da due tipologie:

- tratti in scavo ricoperto (cut and cover);
- tratti in galleria (foro cieco).

Il tracciato della linea è stato studiato sulla base delle esigenze di mobilità dell'intera area vasta e delle integrazioni dell'infrastruttura con l'intero sistema dell'offerta.

Il tracciato (cfr. *figura 2*), mira a servire in maniera organica e funzionale la maggior parte dei poli di attrazione e generazione degli spostamenti che ricadono nell'area di progetto e in particolare realizza le connessioni dirette fra il centro di Cagliari e i comuni immediatamente legati al tessuto urbano del capoluogo.

La soluzione di tracciato prescelta attraversa l'area di progetto e garantisce il collegamento fra i centri di Cagliari, Pirri, Monserrato, Selargius, Quartucciu e Quartu.

In questa soluzione, il tracciato presenta esclusivamente tratti in scavo (cut and cover), e tratti in galleria. Il tracciato è stato studiato in base al sistema di metropolitana ipotizzata: in base all'analisi dei sistemi esistenti sul mercato si è ipotizzato di utilizzare un sistema tipo VAL (su gomma) o Ansaldo Breda (su ferro) che consente di limitare i raggi di curvatura e superare pendenze che possono arrivare al 10%. Lo sviluppo complessivo risulta di 15.500 metri con 20 stazioni e una lunghezza media delle tratte di 810 metri. Le stazioni sono state ubicate in modo da soddisfare le esigenze della domanda e ipotizzando un'area di influenza di ciascuna stazione di 400 m. Le stazioni di testa della linea sono localizzate in piazza S. Michele a Cagliari e a Pitz'e' Serra a Quartu.

Figura 2 – Tracciato.

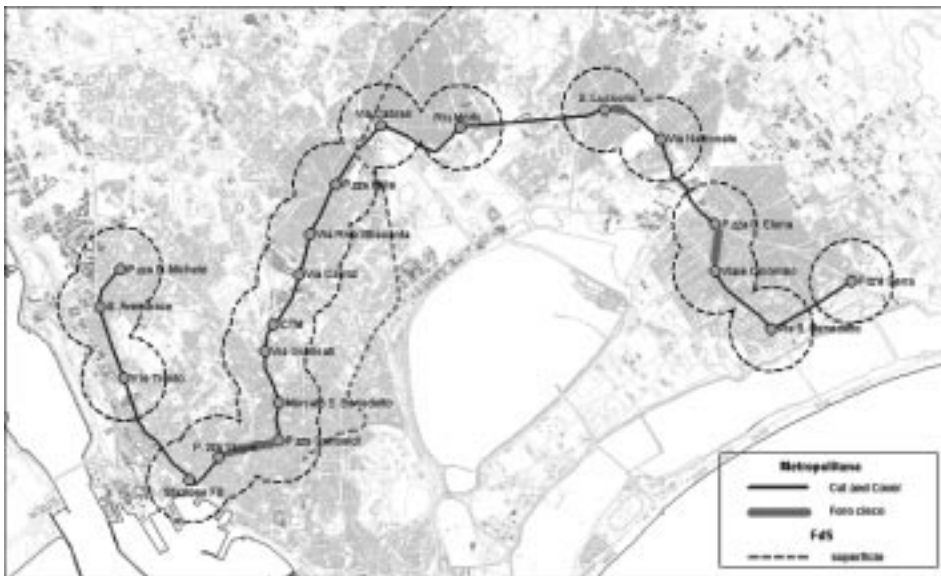


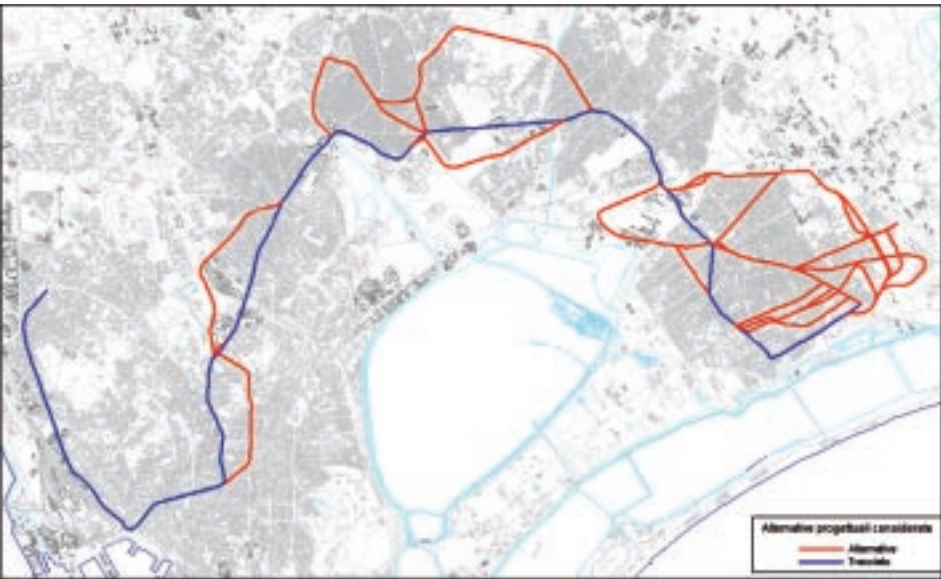
Tabella 1 – Scheda di sintesi. Dati caratteristici del tracciato.

Caratteristiche dell'Ipotesi di Tracciato	
Sviluppo tracciato in metri	15.500
Tipo sezione e relativa percentuale	Cut and cover = 82%
	Foro cieco = 12%
N° stazioni	20
Distanza media stazioni in metri	810
Velocità massima in km/h	80
Pendenza max superabile	10%
Raggio curvatura minimo teorico in metri	40
Lunghezza banchine in metri	52
Diametro massimo galleria in metri	6,6
Rotolamento in mm	gommate Ø 00
Velocità commerciale in km/h	36
Intertempo minimo in minuti secondi	60
Altezza piano calpestio in metri	0,95

Sul tracciato è stato costruito il profilo longitudinale per studiare l'alteimetria del percorso. Da questo si è visto l'andamento delle livellette le quali non superano il 4% di pendenza massima lungo tutto il tracciato. Le parti più critiche del tracciato sono la zona di Castello (più precisamente il largo Carlo Felice in direzione piazza Yenne) e via San Michele.

La figura 3 mostrato il tracciato con evidenziate le diverse alternative.

Figura 3 – Alternative di tracciato.

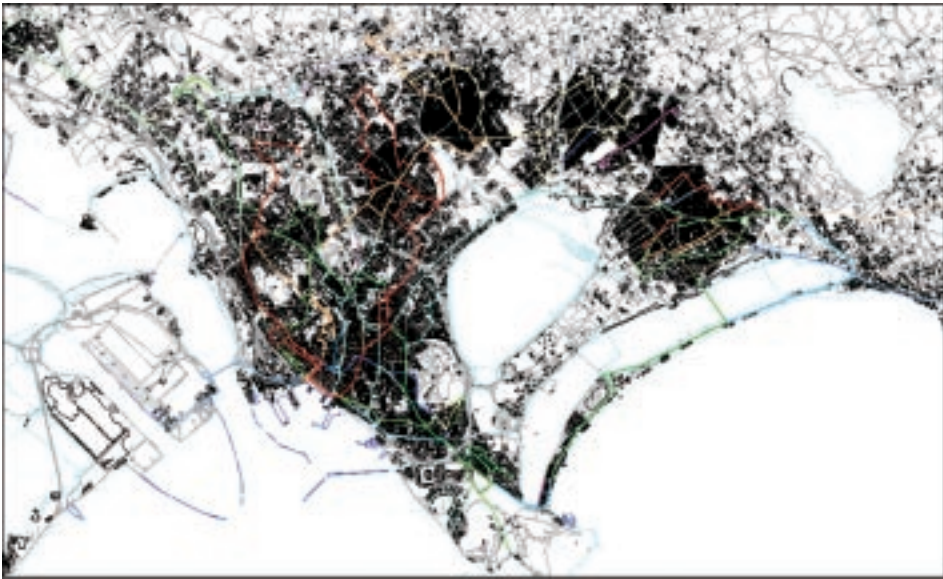


3. Indagini

Dall'analisi dell'attuale offerta di trasporto esistente in prossimità della zona di studio, che corrisponde alle aree in prossimità del tracciato della metropolitana, si evince come essa appaia abbastanza varia, con linee che hanno una lunga percorrenza, e altre che garantiscono collegamenti a minor raggio. L'analisi consente di distinguere tra linee forti come la linea 1, la 3, e la M ad un basso scarto temporale (5–6 minuti), e linee che hanno una più alta frequenza di intertemporale.

Nella figura 4, è riportata la copertura delle linee CTM urbane che attualmente servono l'area di studio.

Figura 4 – Offerta attuale.



L'analisi della domanda di trasporto scaturisce dall'azione congiunta dell'assetto del territorio (sistema di attività) con la distribuzione spaziale di abitazioni, servizi, attività industriali etc. e del particolare sistema di trasporto.

La domanda di trasporto viene definita come il numero di utenti, con determinate caratteristiche, che consuma il servizio offerto da un sistema di trasporto in un periodo di tempo prefissato.

La domanda viene quindi analizzata relativamente ad ambiti spaziali e temporali, bisogna cioè individuare gli spostamenti interzonali e intrazonali e precisamente si possono definire gli spostamenti di Origine che rappresentano la *generazione* e quelli di Destinazione che rappresentano la *attrazione*; da tale analisi,

compiuta per archi temporali di riferimento opportuni, scaturisce la matrice Origine/Destinazione.

Un'altra suddivisione della domanda è in funzione delle caratteristiche degli utenti rilevanti ai fini delle analisi; si suddividono gli utenti in base al motivo dello spostamento, al mezzo utilizzato, al tipo di percorso utilizzato, al tipo di tariffa pagata, etc.

Nel caso in esame si sono considerati gli spostamenti suddivisi in base al motivo dello spostamento (studio e lavoro), prescindendo dal mezzo utilizzato e successivamente suddividendoli in spostamenti che avvengono su mezzo pubblico e privato indipendentemente dal tempo necessario per effettuare lo spostamento stesso.

Al fine di descrivere le caratteristiche della mobilità e delle esigenze di collegamento si sono analizzate le matrici di mobilità derivanti dagli studi esistenti. In particolare, si è fatto riferimento alle matrici elaborate nel Piano Provinciale dei Trasporti della Provincia di Cagliari in cui le elaborazioni sono state fatte considerando come base numerica di partenza i dati relativi all'indagine eseguita sulla mobilità dell'area vasta, i dati derivanti dall'aggiornamento del PRT e i dati ISTAT relativi al censimento intermedio sia per quanto riguarda le unità locali, il numero di addetti per attività, le variazioni demografiche oltre alle valutazioni della mobilità condotte dallo stesso Istituto. Queste rappresentano il dato più recente ed esaustivo disponibile sulla mobilità dell'intera regione Sardegna. Infatti, tale censimento non è una semplice stima ma un conteggio esteso a tutta la popolazione degli spostamenti effettuati oltre che delle loro caratteristiche. Tali dati sono, tuttavia, parziali, in quanto non tengono conto della quota degli spostamenti che avvengono per motivi differenti dal lavoro e studio. È stata condotta nell'Aggiornamento del PRT, prima, e nello studio dell'area vasta, poi, un'indagine campionaria tesa a colmare tali lacune oltre ad estendere, disaggregare ed aggiornare le informazioni sulla mobilità nella provincia di Cagliari.

Nel Piano Provinciale dei Trasporti si proceduto, pertanto, all'aggiornamento delle informazioni integrando la base dati ISTAT, aggiornata al 1998, con quella del piano per l'area vasta della Provincia di Cagliari. È stato possibile, inoltre, sulla base delle variazioni nell'assetto dell'unità locali, degli addetti e delle modifiche demografiche, elaborare le matrici di partenza stimando quale possa essere la distribuzione in funzione del motivo dello spostamento: studio, lavoro, altro (svago, sanitario, pratiche, etc). Tali elaborazioni hanno permesso di ottenere la matrice Origine/Destinazione di tutta la provincia di Cagliari; per lo studio in oggetto è stata estratta una matrice ridotta in cui le zone individuate sono i comuni di Cagliari, Quartu S.Elena, Quartucciu, Selargius e Monserrato.

Tuttavia si riportano anche i dati complessivi degli spostamenti che avvengono nell'intera provincia di Cagliari. La matrice che si riporta nella *tabella2* è relativa a tutti i modi di trasporto.

Tabella 2 – Matrice O/D relativa a tutti i modi di trasporto, tutti i motivi.

Matrice Giornaliera							
1997	Cagliari	Monserato	Selargius	Quartucciu	Quartu Sant'Elena	Totali interzonali	Totali intra e interzonali
Cagliari	548.637	18.087	16.766	4.403	30.926	70.182	618.819
Monserato	18.081	24.927	3.134	518	1.860	23.593	48.520
Selargius	16.545	3.143	27.420	2.052	4.388	26.128	53.548
Quartucciu	4.592	415	2.022	10.570	2.669	9.698	20.268
Quartu Sant'Elena	30.652	1.904	4.381	2.845	115.579	39.782	155.361
Totali interzonali	69.870	23.549	26.303	9.818	39.843	169.383	
Totali intra e interzonali	618.507	48.476	53.723	20.388	155.422		896.516

I dati mostrano che gli spostamenti che avvengono tra Cagliari e gli altri comuni dell'hinterland sono circa 100.000 al giorno, in una direzione, quindi si arriva complessivamente a circa 200.000 spostamenti giornalieri. Questi rappresentano circa il 20% degli spostamenti complessivi che avvengono nell'intera area cagliaritano. Da questi sono esclusi quelli che avvengono tra Cagliari e Pirri che risultano invece computati tra gli spostamenti intrazonali di Cagliari che ammontano complessivamente a circa 320.000/giorno; si può ragionevolmente supporre che gli spostamenti tra Cagliari e Pirri ammontino a circa il 10% e cioè a circa 30.000/giorno per direzione e cioè circa 60.000 spostamenti/giorno complessivamente. Nella *tabella 3* si riportano invece i dati relativi al solo mezzo pubblico. Dall'analisi di questi si evince come il numero maggiore di spostamenti con mezzo pubblico avvenga all'interno del comune di Cagliari, mentre tra Cagliari e i comuni dell'hinterland si possono considerare circa 14.000 spostamenti giorno che avvengono con il mezzo pubblico. Si rileva uno scarso utilizzo del mezzo pubblico, infatti la percentuale di utilizzo per gli spostamenti interzonali (considerando i cinque comuni della matrice) risulta del 7%. Come si vede dalla *tabella 4* la tendenza all'utilizzo del mezzo pubblico per gli spostamenti interzonali è ancora più bassa di quella degli spostamenti complessivi che tengono conto anche degli spostamenti interni al comune e di quelli relativi all'intera provincia cagliaritano. Ciò è anche dovuto all'attuale sistema di offerta che risulta più diffuso e capillare all'interno del comune di Cagliari; lo scarso utilizzo

del mezzo pubblico è probabilmente legato al fatto che questo non risulta competitivo con il mezzo privato, in gran parte dei casi perché il mezzo pubblico utilizza la stessa sede di quello privato.

Tabella 3 – Matrice O/D relativa al mezzo pubblico, tutti i motivi.

Matrice Giornaliera Autobus							
1997	Cagliari	Monerrato	Selargius	Quartucciu	Quartu Sant'Elena	Totali interzonali	Totali intra e interzonali
Cagliari	41.557	2.355	1.778	449	3.017	7.599	49.156
Monerrato	2.425	282	233	31	217	2.906	3.188
Selargius	1.727	298	631	159	446	2.630	3.261
Quartucciu	530	31	176	81	61	798	879
Quartu Sant'Elena	3.022	258	472	65	3.557	3.817	7.374
Totali interzonali	7.704	2.942	2.659	704	3.741	17.750	
Totali intra e interzonali	49.261	3.224	3.290	785	7.298		63.858

Tabella 4 – Matrice O/D percentuale di utilizzo del mezzo pubblico.

Matrice % giornaliera Autobus / giornaliero tot							
1997	Cagliari	Monerrato	Quartu Sant'Elena	Quartucciu	Selargius	Totali interzonali	Totali intra e interzonali
Cagliari	7,6%	13,0%	10,6%	10,2%	9,8%	10,8%	7,9%
Monerrato	13,4%	1,1%	7,4%	6,0%	11,7%	12,3%	6,6%
Selargius	10,4%	9,5%	2,3%	7,7%	10,2%	10,1%	6,1%
Quartucciu	11,5%	7,5%	8,7%	0,8%	2,3%	8,2%	4,3%
Quartu Sant'Elena	9,9%	13,6%	10,8%	2,3%	3,1%	9,6%	4,7%
Totali interzonali	11,0%	12,5%	10,1%	7,2%	9,4%	10,5%	
Totali intra e interzonali	8,0%	6,7%	6,1%	3,9%	4,7%		7,1%

Ai 17.800 spostamenti che avvengono con il mezzo pubblico vanno comunque sommati circa il 10% di spostamenti interni al comune di Cagliari che sono circa 4.200/giorno. Per cui si può ragionevolmente affermare che complessivamente si arriva circa 22.000 spostamenti giorno che utilizzano il mezzo pubblico.

4. Sistema di trasporto

La soluzione tecnologica di primo tentativo scelta per la movimentazione dell'utenza nel contesto del progetto MAVC ricade nella categoria che viene definita "People Mover Automatizzati" (Automatic People Mover, APM)

Gli APM sono sostanzialmente sistemi caratterizzati da veicoli senza conducente, alimentati mediante energia elettrica secondo schemi che prevedono treni costituiti da una o più unità e che si muovono su vie di corsa realizzate in calcestruzzo od acciaio.

I sistemi APM, che usualmente possono spostarsi a velocità massime di 90 Km/h (commerciale tra i 30 e i 40 Km/h), possiedono una capacità di trasporto estremamente variabile (2.000-25-000 passeggeri ora per senso di marcia) con frequenze che possono giungere, grazie alla guida automatizzata, fino a 60 secondi e oltre.

Appare interessante anche la possibilità di gestire le fluttuazioni della domanda di trasporto mediante l'adozione di schemi di esercizio "on-demand" nelle ore di morbida, in modo tale da ridurre i consumi energetici e mantenere accettabili valori di frequenza senza innalzare a livelli eccessivi le spese di gestione.

Inoltre gli APM, già in servizio in diverse località del mondo da molti anni, hanno mostrato nel tempo di possedere eccellenti caratteristiche per ciò che concerne la sicurezza dei passeggeri trasportati e l'affidabilità del sistema in termini di guasti e manutenzione.

I primi automatismi nei sistemi di trasporto a guida vincolata erano indirizzati all'accrescimento dei livelli di sicurezza di viaggio; lo sviluppo tecnologico ed informativo ha reso disponibili strumenti sempre più avanzati al servizio delle funzioni di monitoraggio e controllo. Queste funzioni sono oggi raggruppate in tre categorie, richiamate usualmente attraverso le sigle ATS, ATO, ATP, esse includono rispettivamente le attività di:

- supervisione automatica del traffico, gestite da un computer situato in una sede centrale (Posto Centrale di Controllo); in particolare il controllo del movimento dei treni, degli apparati di alimentazione elettrica, delle operazioni di deposito, delle condizioni ambientali, del sistema informativo e l'esercizio dei comandi d'intervento;
- gestione automatica dei treni; le funzioni del guidatore a bordo sono svolte da un computer, con maggiore capacità e affidabilità; e ad esso sono inoltre assegnati ulteriori compiti quali l'ottimizzazione delle fasi di marcia per rispettare i programmi di orario e ridurre i consumi energetici, la raccolta di dati relativi all'esercizio;

- protezione automatica del treno, tendente a salvaguardare il treno da pericoli di collisioni o da altri incidenti per malfunzionamenti di impianti di bordo; il controllo è operato da almeno due computer di bordo o da almeno due programmi differenti di diagnostica secondo una logica di verifica simultanea di concordanza delle risposte, un'eventuale discordanza sollecita automaticamente dei meccanismi di protezione del veicolo.

5. Valutazione dell'investimento

L'obiettivo principale di questo macroprocesso è la verifica della fattibilità economico-finanziaria del progetto di realizzazione della linea metropolitana nell'area vasta di Cagliari.

A tal fine, per poter giungere alla redazione di uno schema ipotetico di piano economico e alla successiva valutazione degli indicatori di tipo decisionale è necessario disporre dei dati relativi alle entrate (ricavi) e alle uscite (costi), distinti in costi di investimento e costi di gestione, che derivano dalla realizzazione dell'intervento progettuale in oggetto.

5.1. Il metodo ABC

Un elemento di fondamentale importanza ai fini della valutazione comparativa del progetto sin dallo stadio di prefattibilità, si concretizza nell'Analisi Benefici Costi (ABC).

Tale processo prevede la caratterizzazione delle due soluzioni progettuali di progetto e non progetto, sulla base degli obiettivi generali e specifici del progetto. Attraverso una valutazione economica e di impatto si esplicitano sia i benefici di cui godrà la collettività a progetto eseguito e sia i costi che la stessa collettività dovrà sostenere per la realizzazione del progetto. Dal loro bilancio scaturirà un giudizio complessivo sulla bontà del progetto omogeneizzata secondo una parametrizzazione di tipo economico.

L'analisi viene articolata su quattro fasi:

- l'identificazione del progetto da mettere a confronto col *non - progetto*;
- la stima dei costi;
- la stima dei benefici;
- l'individuazione e la stima degli indicatori.

Nel caso particolare che viene trattato in questa sede il confronto fra i progetti scaturirà dalla definizione dettagliata delle soluzioni progettuali e dalla comparazione degli stessi progetti in merito alla loro incompatibilità, indipendenza o dipendenza.

Per la valutazione dei costi del progetto si dovranno considerare i costi di progettazione, i costi di realizzazione, i costi di manutenzione e i costi di gestione, stimati sull'intera durata di vita economica del progetto. Tutti i costi sono stimati a prezzi attuali e l'eventuale perdita monetaria andrà valutata con la

scelta del tasso di attualizzazione che tiene in conto fra l'altro proprio dalla perdita di valore di acquisto della moneta.

Tutti i costi sono stati altresì valutati e computati al costo dei fattori, eliminando l'extra profitto di cui le imprese beneficeranno nel realizzare l'opera. In analogia vanno eliminati tutti i trasferimenti tra settori della collettività presenti nei costi (tasse, imposte, interessi sui capitali).

I benefici da valutarsi per la comparazione dei progetti (e quindi l'indicazione di quello che possiede i migliori requisiti per la collettività) sono stati distinti in diretti e indiretti. Attraverso la valutazione dei benefici diretti si metterà in evidenza quali siano le ricadute che il nuovo progetto porta agli utenti che si servono del sistema di trasporto in esame o più in generale dell'integrazione di detto sistema con il complesso dei servizi dell'area.

I benefici indiretti sono stati valutati in quanto è possibile che anche i non utenti del sistema possano ottenere dei vantaggi attribuiti alla presenza e alla realizzazione della nuova configurazione di trasporto. In particolare per ciò che attiene gli aspetti ambientali ed economici, la scelta di un'alternativa piuttosto che un'altra, può condizionare gli effetti che il sistema o l'infrastruttura determina sul territorio e sulla popolazione dell'area di studio (riduzioni inquinamento acustico e/o inquinamento atmosferico, migliore utilizzo del territorio, etc).

Nella valutazione dei benefici ci si potrà trovare anche di fronte alla condizione di benefici negativi che in questo caso dovranno essere sommati ai costi dell'intervento e come tali concorreranno all'aumento dei costi stessi.

Ragionando in termini di surplus del consumatore la domanda di trasporto risulta condizionata dalla realizzazione di un intervento e l'incremento del surplus misura i benefici diretti prodotti dalla realizzazione del progetto in esame. Elementi essenziali per tale calcolo saranno i livelli di utenza del sistema di trasporti nonché i corrispondenti valori della disponibilità a pagare dell'utente marginale.

Per la valutazione della disponibilità a pagare dell'utenza occorre individuare i costi che l'utente marginale è disposto a sopportare per avvalersi dell'utilizzo dei servizi di trasporto nelle differenti configurazioni del sistema (progetto-non progetto). Fra i parametri che si possono assumere a titolo indicativo per l'impostazione dell'analisi, vi sono: valore economico del tempo impiegato per lo spostamento, costi di esercizio, costi di manutenzione, valore del comfort, costo dei pedaggi e tariffe, valore economico degli incidenti, etc. Tali costi andranno calcolati a prezzi di mercato.

I benefici indiretti in quanto interessano i non utenti del sistema andranno valutati in base a considerazioni e analisi riguardanti il miglioramento della qualità della vita e delle condizioni socioeconomiche di riferimento; essi riguardano i seguenti aspetti: inquinamento atmosferico, inquinamento acustico, equilibri ecologici, condizioni socio-antropologici del territorio. Sulla base delle

analisi condotte per la valutazione dei costi e dei benefici che la realizzazione dell'opera determina sul territorio di interesse occorre valutare attraverso indicatori sintetici la bontà o meno dell'investimento.

Gli indicatori che utilizzati sono il VAN e SRI e in base ai valori che tali parametri assumono si potrà esprimere un giudizio a favore o meno della realizzazione dell'opera.

Il processo di analisi, di tipo iterativo, potrebbe portare alla formulazione di nuove alternative di progetto che, privilegiando alcune delle soluzioni progettuali, portino alla formulazione della configurazione che presenta i migliori valori degli indicatori.

5.2. Individuazione dei Costi di progetto

Il costo del progetto è stimato in € 460.350.000,00 e comprende le seguenti voci:

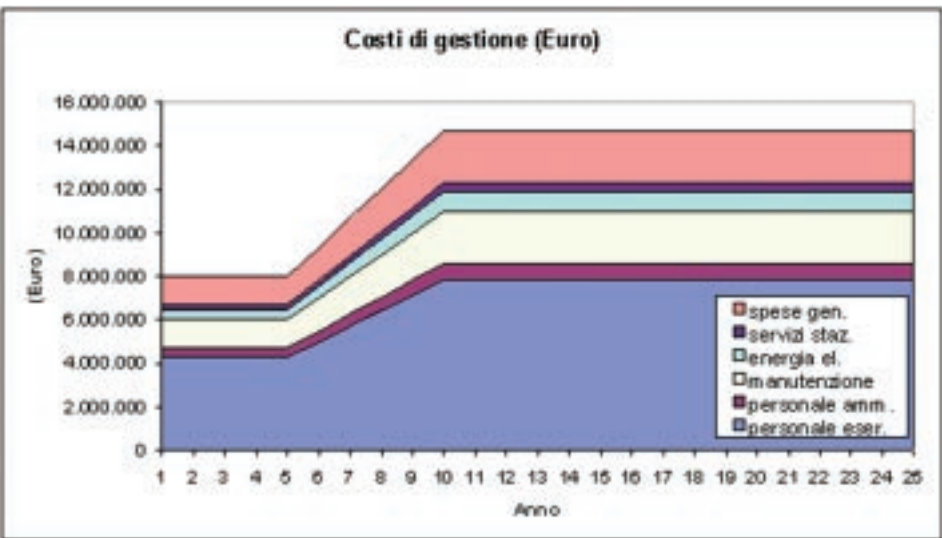
- progettazione e spese generali € 32.350.000,00
- realizzazione € 428.000.000,00

A queste devono essere affiancate quelle relative a

- gestione € 6.800.000,00
- manutenzione € 1.200.000,00

La vita utile del progetto è stata stimata in 50 anni, mentre per l'ammortamento si sono considerati 25 anni. Si è inoltre ipotizzato che i costi di gestione abbiano un andamento costante per i primi 5 anni per poi crescere linearmente sino a un valore pari a circa 14 milioni di euro il 10° anno, per rimanere costanti gli anni successivi.

Figura 5 – Costi di gestione.



5.3. Benefici diretti derivanti dall'attuazione del progetto

Il sistema di metropolitana leggera driverless per l'area vasta di Cagliari rappresenterà una alternativa di forte impatto sulle modalità di trasporto attualmente esistenti (trasporto privato e trasporto pubblico locale su gomma). Attraverso la sua realizzazione si prevede di ottenere i seguenti benefici diretti:

- aumento della velocità commerciale sulle tratte interessate dal tracciato;
- aumento della potenzialità di trasporto per l'azienda che gestisce il sistema TPL;
- adattamento dell'offerta alla domanda reale (flessibilità d'impiego dovuta alla totale automatizzazione del sistema).

5.4. Effetti sulla mobilità

La realizzazione del progetto comporta implicazioni dirette sulla mobilità pubblica e privata che possono essere così sintetizzate.

Relativamente al trasporto pubblico esistente (gestito interamente con mezzi gommati), la ristrutturazione della rete, soprattutto nelle porzioni interessate dal tracciato della metropolitana porterà ad una riduzione del numero di mezzi impiegati, e dunque ad una riduzione del traffico originato da trasporto pubblico.

Invece, per ciò che attiene alla mobilità privata, è ragionevole ipotizzare sia una riduzione del traffico privato (originato dal trasferimento di quota parte della mobilità privata sul trasporto pubblico metropolitano) e sia un complessivo effetto di fluidificazione nelle principali arterie afferenti alla zona d'influenza del tracciato del nuovo sistema, dovuto al minor numero di mezzi pubblici e privati circolanti.

In termini di sicurezza: la totale automatizzazione del sistema garantisce ridottissime probabilità di sinistri per mezzi e passeggeri trasportati (la probabilità che in un singolo viaggio si verifichi un evento lesivo è inferiore all'1% secondo stime internazionali).

5.5. Benefici derivanti da una nuova ripartizione modale

Allo stato attuale la ripartizione modale fra trasporto pubblico e trasporto privato in area urbana presenta forti squilibri a svantaggio del trasporto pubblico, per il quale si registra un numero di spostamenti/giorno che rappresenta soltanto il 10% del totale della domanda (pubblico+privato); tale valore si riduce addirittura fino al 7% se si considerano unicamente le coppie O/D interessate dal tracciato della nuova metropolitana. Con l'attuazione del progetto ci si prefigge di configurare la ripartizione modale, fino alla fase di regime, come da *tabella 5*:

Le ricadute in termini di benefici sono distinte fra:

- benefici che riguardano l'azienda TPL;
- benefici che riguardano gli utenti del trasporto pubblico;
- benefici per gli utenti del trasporto privato.

Tabella 5 – Ripartizione modale.

Periodo temporale	Scenario di ripartizione modale	Utenti/giorno del sistema APM	Utenti/anno del sistema APM (300 giorni/anno)
1° anno	Gli spostamenti del sistema di TPL passano dal 7% (quota attuale) al 10% del totale di spostamenti attribuibili alle coppie O/D presenti nella zona di influenza del sistema (pubblico + privato)	26.000	7.800.000
2°-10° anno	Gli spostamenti del sistema di TPL subiscono un incremento lineare in 9 anni fino a raggiungere il 30% del totale	26.000-78.000	7.800.000-23.400.000
Dal 10° anno in poi	Gli spostamenti del sistema di TPL restano costanti al 30% del totale (periodo di regime)	78.000	23.400.000

Tutti questi benefici hanno delle ricadute dirette sui soggetti direttamente interessati e indirette sull'intera collettività. In particolare, con l'attuazione di questo progetto la collettività trarrebbe benefici rilevanti derivati da una differente ripartizione modale fra TPL e trasporto privato. Come è noto, infatti, l'equilibrio della domanda su questi diversi modi di trasporto è l'obiettivo principale su cui si fonda l'intera pianificazione dei trasporti a livello generale e locale.

5.6. Trasporto Pubblico (Azienda)

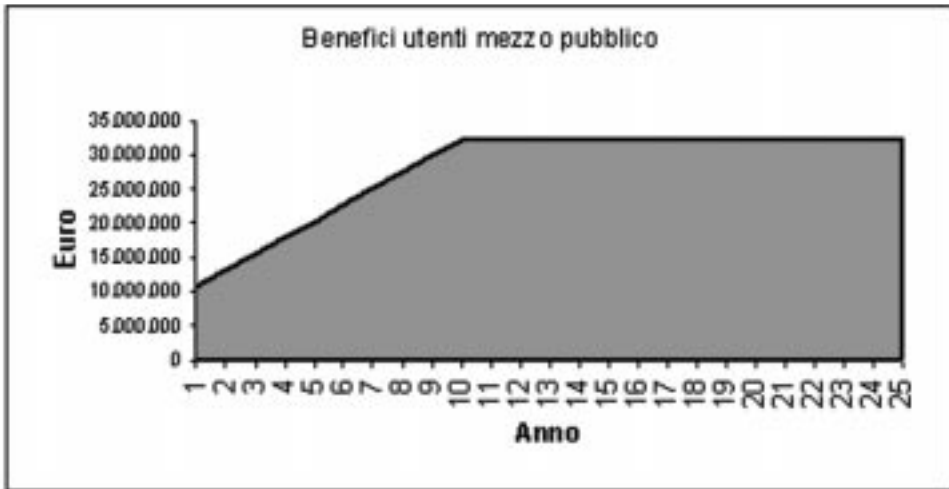
Il beneficio più immediato ed evidente che si realizza con l'adozione del sistema di metropolitana automatizzato in sede propria, e che si ripercuote anche sulla gestione aziendale riguarda l'aumento della velocità commerciale. Altri benefici, di non secondaria importanza, sono relativi alla ristrutturazione della rete del trasporto gommato, che sicuramente comporteranno una riduzione del parco mezzi circolante sulle linee appartenenti all'area di influenza del tracciato e dunque, conseguentemente, una riduzione dei costi per tutto ciò che attiene all'esercizio dei mezzi (si suppone che il personale viaggiante venga riqualificato ed assorbito da attività collaterali alla gestione della metropolitana). Si è dunque ipotizzato un risparmio di 8 autobus/giorno che al costo (costo senza personale viaggiante) di 154,94 euro per autobus al giorno comporta un risparmio totale per l'azienda, ipotizzando di considerare 300 giorni lavorativi all'anno, di 371.848,97 euro all'anno.

5.7. Trasporto Pubblico (Utente)

Lo stesso risparmio di tempo, analizzato questa volta dal punto di vista dell'utente del trasporto pubblico, conduce a risultati molto interessanti che contribuiscono a avvalorare l'ipotesi di realizzazione dell'intervento. Ragionando in termini di passeggeri trasportati annualmente e di risparmio del tempo di viaggio del singolo utente si è considerato che un utente del trasporto pubblico effettui in media un viaggio/giorno di circa 40', considerando come coppie O/D

sempre quelle tra Cagliari e i comuni dell'hinterland. Con il nuovo sistema di trasporto si è ipotizzato che questo tempo di viaggio possa essere dimezzato (risparmio del 50%) e complessivamente dunque questo tempo risparmiato sia attribuibile all'attuale utenza del trasporto pubblico per quelle stesse coppie O/D, incrementata di un 20% (circa 26.000 utenti/giorno).

Figura 6 – Benefici utenti mezzo pubblico.



Considerando un costo orario per l'utente del mezzo pubblico di 4,13 €/h e sempre 300 giorni lavorativi/anno si arriva a un risparmio iniziale per gli utenti del mezzo pubblico di 10.738.000 euro all'anno.

Questi benefici crescono in funzione della ripartizione modale tra trasporto pubblico e trasporto privato, tale ripartizione si è infatti ipotizzato che vari linearmente nel corso di 10 anni tra questi due estremi.

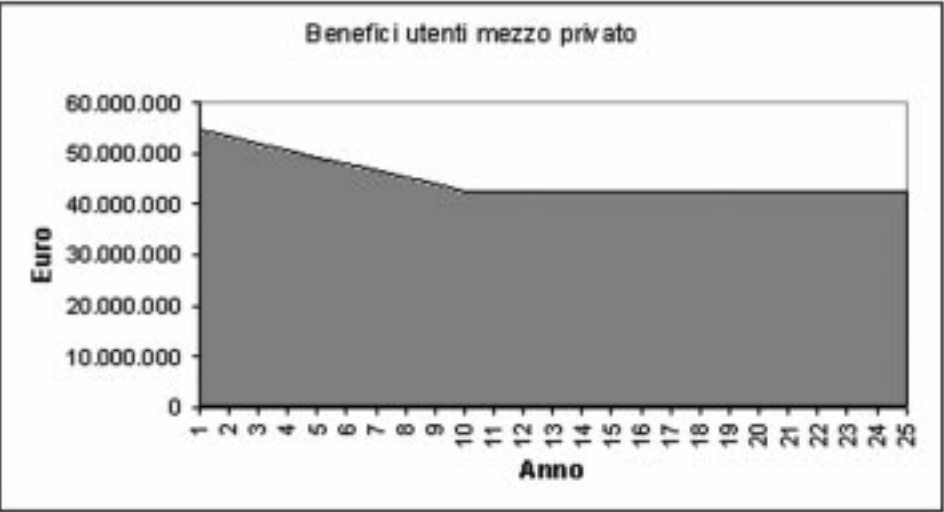
5.8. Trasporto Privato (Utente)

Il risparmio di tempo da parte dell'utente del trasporto privato è stato valutato nella misura del 20%.

Ragionando in termini di spostamenti effettuati durante l'arco della giornata (spostamenti sistematici e non sistematici) si può ipotizzare, e questo dato è confortato da studi esistenti, che a fronte di un tempo di spostamento giornaliero di 45' l'utente medio risparmi 9' al giorno.

Ancora una volta poiché si considera una differente ripartizione modale variabile negli anni si riporta il grafico che mostra la variazione dei benefici per l'utente del trasporto privato in funzione di tale ripartizione.

Figura 7 – Benefici utenti mezzo privato.

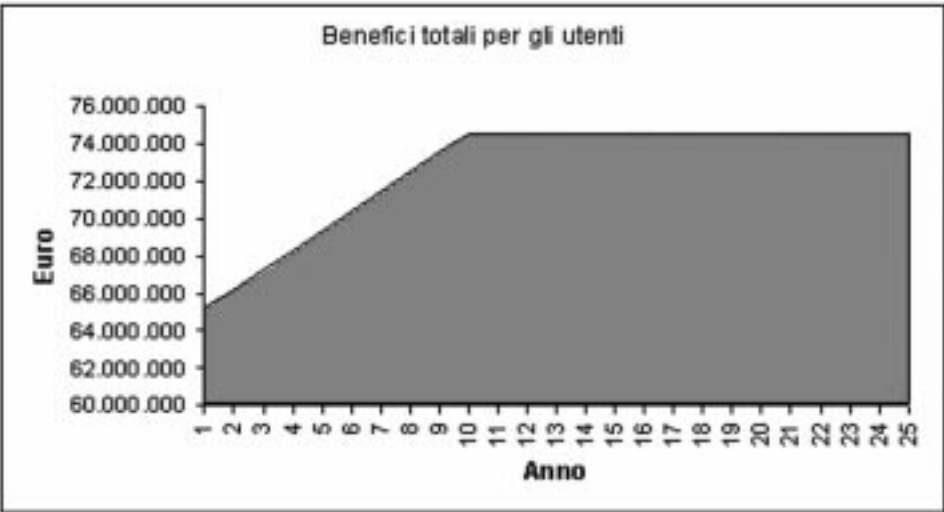


Il totale complessivo attribuito ai benefici, dopo la monetizzazione, risulta essere pari per il primo anno a € 65.072.800,00, valore variabile negli anni.

Si riporta nel grafico seguente come si distribuiscono negli anni i benefici per gli utenti delle due modalità di trasporto.

Complessivamente i benefici per gli utenti subiscono un incremento che viene riportato nel grafico seguente.

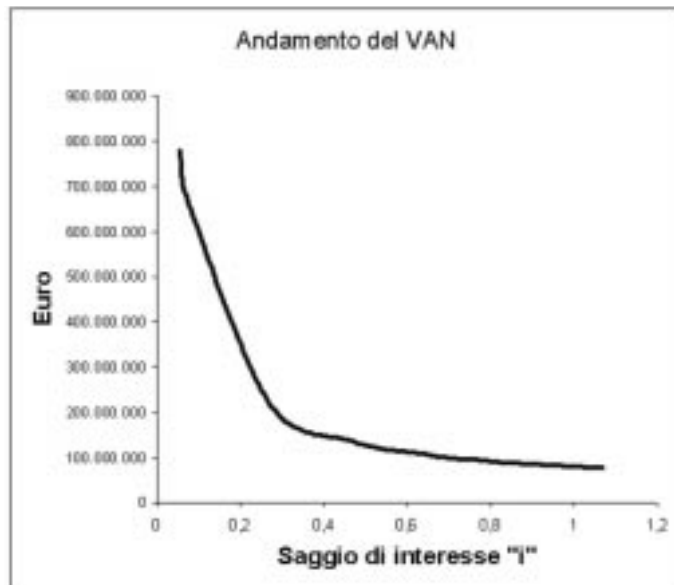
Figura 8 – Benefici totali per utenti.



5. 9. Risultati di sintesi: VAN e SRI

Come si evince dall'analisi dei risultati economici la realizzazione del progetto comporta benefici superiori ai costi sostenuti sin dal primo anno di vita utile in quanto i benefici annuali sono sempre superiori alla quota di ammortamento del capitale investito.

Figura 9 – Andamento del VAN.



L'investimento si ripaga ampiamente nell'arco della vita utile del progetto valutato in venti anni. Il VAN del progetto è stato calcolato con tassi di interesse variabili fra 5,5% e 7% ed esso assume valori sempre positivi variabili da 780.900.937,55 Euro (per $i=5,5\%$) a 678.377.046,55 Euro (per $i=7\%$).

Per quanto riguarda il Saggio di Rendimento Interno (SRI) del progetto si trova che per valori di tassi di interesse variabili fra 5,5% e 107% nell'arco della vita utile dell'intervento non si hanno mai valori nulli del VAN.

In sintesi quindi l'analisi mostra che la fattibilità dell'intervento produce benefici sia diretti che indiretti che superano i costi di realizzazione e gestione.

5.10. Valutazione possibilità di finanziamento

Allo stato attuale delle cose sono state individuate le seguenti fonti di finanziamento potenziali:

- Legge sui Trasporti Rapidi di Massa, max 10% di finanziamento; normati-

va di riferimento L.211/92 (D.M. del 7/8/1993, e D.M. del 22/12/1993) e L.166/2002.

- POR misura di riferimento 6.2;
- BEI (Banca Europea Investimenti) max 50%, max 70% in cofinanziamento;
- PRUSST (Programmi di Riqualificazione Urbana e Sviluppo Sostenibile nel Territorio) possibile nel caso almeno 1/3 dell'opera abbia un finanziamento privato;
- PUM (Piano Urbano della Mobilità), max 60% del finanziamento;
- Legge obiettivo n°443/2001 (General Contractor); riferimenti L.109/94, attuazione D.Lgs. 19072002;
- Possibilità di Project Financing;
- Indagine di mercato su Società o Enti che operano nel settore delle grandi infrastrutture.

6. Conclusioni

Nel presente studio di fattibilità, è stato sottolineato più volte come la realizzazione del sistema automatico di metropolitana leggera comporterebbe una significativa riduzione del traffico circolante, soprattutto con riferimento al numero di spostamenti effettuati con mezzo proprio ma anche, seppure in misura minore, a quelli attribuibili al servizio di TPL su gomma.

Tali riduzioni si traducono immediatamente in drastici decrementi dei costi esterni; dunque, sebbene lo studio non contenga al momento elementi analitici di valutazione monetaria a tale riguardo, appare evidente che l'opera racchiude in sé ulteriori aspetti chiave positivi che vanno ad accrescerne il già rilevante valore sociale. Di tali aspetti, il decisore politico deve essere informato in modo opportuno e dettagliato, in modo tale che la valutazione dell'intervento non venga ridotto a mere discussioni sulla sua validità economica in senso stretto ma, piuttosto, possa esserne analizzato l'impatto da un punto di vista più ampio.

Bibliografia

- AA.VV. (1988), *Driverless Metros*, Railway Gazette International.
- H. CHAINE, P. MULLER, D. PAILLAT, (1986), *The "Val" In Strasbourg*, Travaux.
- L. FABIAN, (2001), *Automated People Mover Ready For Urban Use*, Transport Planning.
- L. FABIAN, J. LAWRENCE, (1999), *The Exceptional Service Of Driverless Metros*, Journal of Advanced Transportation.
- L. FABIAN, J. LAWRENCE, (2002), *Truly Attractive Public Transport with Automated People Movers (APMs)*, ASCE.
- H. H. GEISSENHEIMER, (1992), *Paris New Light Rail System: Operation Strategy*, Transportation Research Board, Washington DC.
- R. KEHL, (2001), *Driverless Operation For Public Passenger Transport Systems*, Railway Technical Review.
- H. LINDSEY, D. LITTLE, (2001), *Driverless Rapid Transit Systems Take Hold*. APTA, Washington DC.
- G.J PASTOR, (1989), *Case For Automated-Guideway Transit*, Transportation Research Board, Washington DC.
- M. RANIERI, (2001), *Analisi Costi-Benefici Per La Scelta Di Sistemi Di Trasporto Innovativi*, Brescia.
- C. SOULAS, (1995), *Urban Automated Guideway Transit Systems: Technical Solutions And Development Possibilities*, INRETS.
- C. SOULAS, *Evolution Of Guided Transport Systems For Urban And Suburban Applications*, INRETS.
- R. M. STANGER, (1989), *An Evaluation Of Automated And Conventional Rail Technology For The Century Freeway Rail Line*, Transportation Research Board, Washington DC.
- WARREN R. KUNCZYNSKI Y. (2000), *Planning Criteria For Automated People Mover: Definition The Issue*, Journal of Urban Planning and Development.
- R. WARREN, (2001), *Automated People-Mover*, TRB.
- AA.VV. 1985. *Automated People Mover*. Engineering and Management in major Activity Centers. A.S.C.E., New York.
- AA.VV. (1988), *National Conferencce On Light Rail Transit*, T.R.B., Washington.
- AA.VV. (1990), *Light Transit Systems*, Telford, London.
- G E. CANTARELLA, *Introduzione Alla Tecnica Dei Trasporti E Del Traffico Con Elementi Di Economia Dei Trasporti*.
- R. CERESOLI, B. TROUILLEZ, (1991), *La Metropolitana Ad Automatismo Integrale: Il Sistema Val Ed I Progetti Maggaly E Meteor.. Atti delle Giornate di Studio su "Evoluzione del trasporto di massa verso l'automazione integrale". AEI, CIFI, Politecnico di Milano, Milano.*
- E. CERCHI, I. MELONI, (2002), *Gestione Della Mobilità Nelle Aree Urbane-Interventi Per La Riduzione Dell'inquinamento Da Traffico*, CRiMM-Università Di Cagliari.
- B. T. COLLINS, (1990), *Light Transit To Stimulate Development: The London Docklands Experience*, Light Transit Systems Telford, London.
- M. DE LUCA, *Tecnica Ed Economia Dei Trasporti*
- D. GATTUSO, (1992), *Per Una Analisi Dei Sistemi Di Trasporto A Guida Automatica In Area Urbana*. Università di Reggio Calabria.
- D. GATTUSO, (1992), *I Sistemi Di Trasporto A Guida Automatica (AGT)*. Università di Reggio Calabria.
- M. IGNACCOLO, *La Metropolitana Leggera*.
- I. MELONI, M. OLIVARI, (1997), *Studio Sulla Ristrutturazione Della Rete Dei Servizi Nell'area Vasta Di Cagliari*. Università degli Studi di Cagliari; CRiMM.
- E. STAGNI *Meccanica Della Locomozione*.
- N. VENTURA *Metropolitane*.
- G. VICUNA, *Organizzazione E Tecnica Ferroviaria*.
- V.R.VUCHIC, (1981), *Urban Public Transportation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- V.R.VUCHIC, *Metro Systems In Year 2000: Modernization, Diversification And Expansion*. In "UITP Revue".