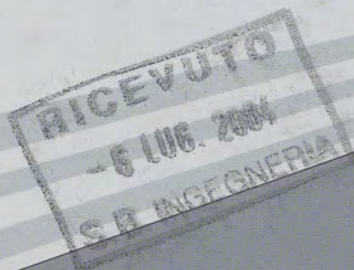


RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1837
A&RT



Innovazione nei Trasporti

**Sistemi a guida vincolata e servizi a chiamata
per il trasporto a breve e media distanza**

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

Anno 137

LVIII 1-2
NUOVA SERIE

GENNAIO-FEBBRAIO 2004

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO LVIII - Numero 1-2 - GENNAIO-FEBBRAIO 2004

SOMMARIO

Marco Masoero, *Editoriale* pag. 7

**I PARTE. PROSPETTIVE DEL TRASPORTO A GUIDA VINCOLATA
DI TIPO FERROTRANVIARIO** pag. 9

STATO DELL'ARTE DEL MERCATO E DELLA DOMANDA

Adelmo Crotti, *Sistemi di trasporto urbani ad impianto fisso: il mercato attuale e prevedibile a scala nazionale* pag. 10

Giancarlo Guiati, *La domanda di mobilità nell'area torinese e i sistemi innovativi adottati: VAL e Cityway* pag. 17

Luciano Filicetti, Ignazio Carbone, *Esperienze e requisiti moderni delle metrotramvie: la Linea 4 di Torino. Prima parte* pag. 20

Luciano Filicetti, *Esperienze e requisiti moderni delle metrotramvie: la Linea 4 di Torino. Seconda parte* pag. 23

Caratteristiche generali del sistema VAL pag. 26

Bruno Dalla Chiara, *L'evoluzione dei sistemi di trasporto a guida vincolata: campi d'impiego e nuove prestazioni richieste* pag. 28

LE NUOVE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'OFFERTA

Gianpietro Boniardi, *Ricerca e sviluppo di prodotti industriali: il caso SmarTrams* pag. 39

Magdi Alimerigo El Sawi, *L'impegno Alstom per il trasporto urbano su rotaia* pag. 42

Paolo Marino, *Sistemi innovativi di mobilità urbana. Il tram su gomma Bombardier* pag. 46

Guido Della Noce, Raul Romano, *Revamping innovativo per i trasporti urbani su ferro* pag. 49

Maurizio Migliorati, Mauro Quaglia, *Soluzioni avanzate per l'ambito metropolitano: sistemi innovativi di trasporto, tram Combino e sistemi ad accumulo dell'energia di frenatura* pag. 55

Angela Tortorella, *Il sistema di ausilio all'esercizio della nuova linea tranviaria di Messina* pag. 62

Direttore: Marco MASOERO

Segretario: Davide ROLFO

Tesoriere: Franco FUSARI

Art Director: Riccardo FRANZERO

Redattori: Oscar CADDIA, Beatrice CODA NEGOZIO, Alessandro DE MAGISTRIS, Luigi FALCO, Carlo OSTORERO, Alessandro MARTINI, Claudio PERINO, Andrea ROLANDO, Davide ROLFO, Chiara RONCHETTA, Valerio ROSA, Paolo Mauro SUDANO, Marco TRISCIUOGGIO

Sede: Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, Corso Massimo d'Azeglio 42, 10123 Torino, telefono 011 - 6508511

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.



II PARTE. PROSPETTIVE DEL TRASPORTO A GUIDA VINCOLATA CON TRAZIONE A FUNE.....

pag. 67

EVOLUZIONE DEL SETTORE: LE NORME, LA PROGETTAZIONE, I CONTROLLI IN ESERCIZIO

Adelmo Crotti, Dario Alberto, *L'evoluzione tecnologica e normativa dei sistemi di trasporto a fune* pag. 68

Sergio Palombi, Pierpaolo Siazzu, *Le nuove norme europee sugli impianti a fune* pag. 74

Santo Marazzita, *Le nuove norme europee sugli ascensori inclinati e relative applicazioni* pag. 79

Vittoriano Vitali, *La progettazione assistita degli impianti a fune: software S.I.F.* pag. 83

Fabio Degasperi, *I controlli non distruttivi sugli impianti: monitoraggio di sollecitazioni sulle strutture di una cabina di esercizio* pag. 89

Bruno Dalla Chiara, Alberto Vallan, *Proposte migliorative per l'analisi delle funi in esercizio* pag. 97

Gabriele Cappello, *Nuove applicazioni negli azionamenti e nel controllo automatico: diagnostica e controllo degli impianti* pag. 103

NUOVE PROPOSTE PROGETTUALI, COSTRUTTIVE E GESTIONE DEGLI IMPIANTI

Piergiorgio Graziano, *Impianto integrato orizzontale – verticale di trasporto a fune in servizio pubblico* pag. 115

Giorgio Pilotti, *Impianti a fune aerei in ambito urbano* pag. 122

Domenico Gattuso, Giandomenico Meduri, *Modelli prestazionali e campi di impiego di sistemi di trasporto a fune in aree urbane e metropolitane* ... pag. 124

Sandro Lazzari, *Sicurezza ed affidabilità dell'esercizio. Quadro normativo di riferimento* pag. 131

Mario Pedrotti, *La nuova funivia "Malcesine-Monte Baldo"* pag. 134

Ferruccio Levi, *Trasporto urbano a fune* pag. 138

Alberto Baudà, Maria Grazia Vignolo, Annalisa Nordio, *L'innovazione negli impianti a fune per lo sviluppo turistico di zone urbane collinari: il caso Genova* pag. 143

Elio Perotto, *Gli impianti a fune nel contesto dell'evento olimpico del 2006* . pag. 149

III PARTE. PROSPETTIVE DEL TRASPORTO A PERCORSO VARIABILE.....

pag. 155

METODI ED ALGORITMI

Francesco Paolo Deflorio, *I servizi di trasporto a chiamata: caratteristiche, tipologie e analisi di supporto* pag. 156

Marco Diana, *Il progetto dell'offerta di servizi di trasporto pubblico a chiamata: metodologie a confronto* pag. 162

Gaetano Galante, *Compatibilità dei servizi a domanda con la legge 422/1997* pag. 169

Alberto Colorni, Alessandro Luè, Valentina Morrocchi, *Modelli e Sistemi di Supporto alle Decisioni per il Dial a Ride* pag. 174

APPLICAZIONI AL TERRITORIO

Adelmo Crotti, Francesco Paolo Deflorio, *Fattibilità tecnico – economica dell'istituzione di servizi di trasporto a chiamata in aree a domanda debole* ... pag. 181

Claudia Binazzi, Piero Sassoli, *I servizi di trasporto a chiamata nell'area metropolitana di Firenze* pag. 188

Sabina Massa, *Il servizio a chiamata: applicazioni all'area metropolitana di Bologna* pag. 194

Alexio Picco, *Il servizio drinbus: applicazioni nell'area metropolitana di Genova* pag. 198

Marco Mauro, *Tendenze evolutive dei sistemi di trasporto a chiamata: l'analisi degli aspetti economici* pag. 202

Riferimenti degli Autori pag. 207

Curatore del numero: Bruno Dalla Chiara.

Questo numero esce con il contributo di:

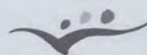


POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Idraulica, Trasporti
ed Infrastrutture Civili (DITIC)



**COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI**

Per quanto attiene al Politecnico di Torino, la stampa del volume beneficia della partecipazione del Programma TEMPUS, Progetto "ADVENTURES" (ADVANCED TRANSPORTS FOR UNIVERSITY EDUCATION IN SARAJEVO); CD_JEP-15045-2000, European Commission; TEMPUS PROGRAM, EDUCATION AND CULTURE, JOINT EUROPEAN PROJECT (JEP), 15.03.2001-14.03.2004



Education and Culture

e del

MIUR – Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

nell'ambito della legge 488/92 - Cluster 25 - progetto n° 8, "Controllo e gestione di flotte di veicoli e monitoraggio del traffico stradale", avente per soggetti attuatori i Dipartimenti DITIC e DAUIN dello stesso Politecnico

Editoriale

Nel corso della seconda metà del XX secolo, il parco circolante di autovetture nei paesi dell'Europa occidentale è andato crescendo in modo continuativo: con andamento moderatamente in aumento dalla seconda metà degli anni '40 alla prima metà degli anni '60 (circa 1.980.000 nel 1960), in maniera sensibilmente più rapida – in media – negli anni '70 ed '80 (circa 17.700.000 nel 1980) e, in misura asintotica, negli anni '90.

In Italia, per esempio, il parco circolante ha raggiunto oggi un andamento asintotico verso, indicativamente, 39 milioni di veicoli (autovetture, veicoli commerciali ed industriali, autobus e motocicli); oggi si contano quasi 33 milioni di autovetture, valore che può essere ricondotto orientativamente ai titolari di patente di guida del nostro Paese, nonché ai potenziali conducenti, tenendo conto della popolazione minorenni e delle persone non in grado di guidare, per anzianità, limiti fisici, economici o di altra natura.

Se ci si riferisce alla popolazione, il tasso di motorizzazione medio nelle città italiane è di circa 62 auto/100 abitanti, a Torino pari a 64,7/100 abitanti.

La mobilità dei singoli è peraltro andata sempre aumentando, non solo per motivi di lavoro, ma anche per svago e turismo.

Per contro, le infrastrutture stradali – cui è prevalentemente stata affidata la capacità di soddisfare la crescita della domanda di mobilità di breve e media distanza, associata ad un maggior uso diffuso dell'auto privata – hanno spesso raggiunto, con la fine degli anni Novanta e l'inizio del XXI secolo, il limite di saturazione in diverse fasce orarie giornaliere; questo è riscontrabile in molte tangenziali, in arterie ad alta percorrenza in ambito urbano, nei centri storici. L'aumento dell'offerta – di infrastrutture, stradali nella fattispecie – per fare fronte alla crescita della domanda di trasporto non può tuttavia oggi trovare ulteriore facile riscontro, sia perché le aree urbanizzate non lo consentono, sia perché una maggiore sensibilità nella protezione del territorio e dell'ambiente non permette più una facile realizzazione di nuove strade, tangenziali o strade a scorrimento veloce per la penetrazione urbana, come è invece accaduto negli anni '60 e '70, sia in Italia che in altre principali nazioni europee.

Riscontrato, dunque, che:

- *la domanda di mobilità è in continua crescita, come dimostrano le analisi e statistiche di varie fonti ufficiali (Piano Generale dei Trasporti e della Logistica del 2001, Conti Nazionali dei Trasporti, nella fattispecie);*
- *la domanda di mobilità e di trasporto satura in talune fasce orarie e/o in diverse aree urbane la capacità di offerta di trasporto;*
- *l'offerta di infrastrutture viarie non può più crescere senza limitazioni significative, se non con interventi specifici e mirati;*
- *la maggiore concentrazione, quindi densità, degli autoveicoli sulle nostre strade urbane aumenta la probabilità di incidenti, già da decenni consistenti e numericamente elevati;*
- *la protezione da emissioni inquinanti spinge ad utilizzare meglio le risorse energetiche e ad evitare una immissione diffusa nel territorio dei prodotti di combustione;*
- *la protezione da emissioni, la salvaguardia dei centri storici, la difesa del limite di saturazione delle infrastrutture stradali con particolari limitazioni spaziali, il miglioramento dell'impiego energetico, spinge ad un impiego migliore del veicolo, sia nel trasporto delle persone (servizi di trasporto a chiamata) sia delle merci (ottimizzazione dei carichi, limitazione dei viaggi a vuoto);*
- *il maggiore impiego delle telecomunicazioni e l'uso diffuso delle vetrine virtuali porta verso l'utilizzo di veicoli di servizio invece dei veicoli personali per l'approvvigionamento delle merci (commercio elettronico);*

la risposta che si intravede per i prossimi decenni risulta del tipo:

1. *maggiore ricorso a veicoli dotati di elevata automazione e di sistemi telematici, a fronte degli obiettivi sopra scritti;*
2. *miglioramento dell'impiego energetico, soprattutto mediante un maggiore ricorso a sistemi di trasporto ad utilizzo condiviso dell'energia, quindi ad impianto fisso: metropolitane a guida automatica, metrotranvie, sistemi di derivazione funiviaria per il trasporto urbano ed in aree limitrofe, automated people mover.*

Quanto all'impiego energetico, basti pensare che la potenza normalmente impiegata per spostare una persona a breve e media distanza mediante un'auto privata può variare tra circa 30 kW e 300 kW, a seconda della cilindrata, della potenza impiegata e del tasso di occupazione, quindi pari alla potenza stessa nel caso di trasporto del solo conducente (oppure da 30 a 100, circa, kW/t); tale potenza è contenuta in circa $1,5 \div 4$ kW/persona nei sistemi ferrotranviari ovvero tra 5 e 20 kW/t (per esempio, circa 11 kW/t in un sistema di derivazione metropolitana a guida automatica); quanto ai consumi, molti sistemi automatici di derivazione metropolitana presentano, ad esempio, valori indicativamente pari a $2 \div 4$ kWh/unità x km (per esempio, circa 1,63 kWh/vettura x km in un sistema di derivazione metropolitana a guida automatica), a pieno carico, quindi valori equivalenti a quelli di un'auto in movimento in città, salvo che nel primo caso si spostano mediamente fino a 10^2 persone in più, laddove possibile. Infine, il valore in g.e.p. (grammi equivalenti di petrolio)/passaggero x km per un'autovettura può variare tra 12 e 30, con un buon utilizzo, mentre scende a valori pari a circa $3 \div 5$ g.e.p./passaggero x km per metropolitane, sistemi automatici, tramvie.

Questo tipo di risposta trova riscontro nello sviluppo di sistemi ferrotranviari per applicazioni urbane e nei sistemi di trasporto pubblico urbano in generale, a guida automatica. Tale evoluzione ha portato a dedicare una particolare attenzione, in questo numero monografico, all'Innovazione nei Trasporti, per individuare, in particolare, come poter soddisfare la crescente domanda di mobilità mediante sistemi a guida vincolata di tipo ferrotranviario, sistemi con trazione a fune e con servizi a chiamata, quindi a percorso variabile.

Nei sistemi di trasporto moderni a guida vincolata, la direttrice di spostamento del veicolo nei sistemi terrestri può essere vincolata da una rotaia (ad esempio monorotaie), da due rotaie (tranvie, funicolari terrestri, ferrovie, metropolitane), da una o più funi portanti o portanti-traenti (impianti a fune aerei), da una sede edificata (metropolitane, people mover), una corsia, una guida ottica o magnetica, una pista.

Le tre parti in cui è suddiviso questo numero contemplano quindi, in sequenza, le metrotranvie, i sistemi di trasporto con trazione a fune, i servizi a chiamata, che nella loro flessibilità di percorso, mirano a conservare la capillarità del trasporto su strada, puntando al contempo ad una maggiore occupazione del veicolo.

Marco Masoero

I Parte

Prospettive del trasporto a guida vincolata di tipo ferrotranviario

In questa prima parte sono riportate alcune relazioni di aggiornamento delle memorie presentate nel corso del convegno “*Metrotramvie: stato dell'arte – prospettive del trasporto urbano a guida vincolata*”, tenutosi presso l'Unione Industriale di Torino il 3 giugno 2003; il convegno è stato organizzato dal Politecnico di Torino (Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili) e dal CIFI (Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, Area Nord - Sezione di Torino) con il patrocinio della Regione Piemonte (Assessorato ai Trasporti) e del Comune di Torino (Agenzia per i Servizi Pubblici Locali).

Il convegno è stato realizzato con il contributo del Programma TEMPUS – *Education*, progetto “ADVENTURES” (CD_JEP-15045-2000, Commissione Europea, 15.03.2001-14.03.2004).

È conclamata da tempo l'esigenza di adottare sistemi di trasporto pubblico capaci di soddisfare la mobilità in ambito metropolitano con elevata frequenza ed affidabilità: queste sono le principali reali motivazioni che possono portare a rinunciare all'utilizzo dell'automobile, allorquando la tipologia, il luogo di origine e la destinazione dello spostamento lo permettano.

Il contenimento della mobilità su mezzi individuali risulta una necessità conseguente, in molte aree urbane, alla saturazione ricorrente della capacità offerta dalle infrastrutture viarie esistenti – sovente non estendibili né ampliabili – ed a ragioni di carattere energetico, quindi ambientali. Sistemi di trasporto siffatti – frequenti ed affidabili – richiedono inevitabilmente un notevole ricorso all'automazione, migliori prestazioni di quelli tradizionali e, talvolta, la capacità di adattamento a percorsi tortuosi.

In tale contesto, per sistemi con potenzialità approssimativamente compresa tra quella dei mezzi di superficie su strada o in sede promiscua – autobus e tramvie tradizionali – e quella delle metropolitane classiche, si può ricorrere a sistemi innovativi di derivazione metropolitana o tranviaria, all'occorrenza con trazione su gomma. Le soluzioni proposte devono dunque essere caratterizzate da elevata automazione, devono adattarsi a servizi con cadenzamento variabile ed a percorsi con andamento planoaltimetrico talvolta irregolare. Le soluzioni devono altresì garantire costi d'esercizio contenuti.

I sistemi possono differenziarsi per tipologia, prestazioni, capienza dei veicoli (da poche decine di posti per vettura ad alcune centinaia per convoglio) ed interdistanza richiesta tra due veicoli successivi. Dalla combinazione di tali fattori deriva un'estesa gamma dell'offerta in termini di potenzialità.

Obiettivo di questa prima parte è presentare un quadro sintetico sull'attuale domanda di mobilità servibile dai sistemi metro-tranviari, lo stato dell'arte relativo all'offerta, con le corrispondenti caratteristiche tecnologiche, proporre alcuni rilevanti casi studio ed agevolare un confronto tra domanda ed offerta di mercato.

Sistemi di trasporto urbani ad impianto fisso: il mercato attuale e prevedibile a scala nazionale

ADELMO CROTTI

1. Sistemi di trasporto urbano ad impianto fisso

Scorrendo i dati statistici contenuti nel Conto Nazionale dei Trasporti (CNT), appare evidente che le autolinee costituiscono il settore portante del comparto del trasporto collettivo locale e che l'offerta e la domanda soddisfatte complessivamente dagli altri modi di trasporto sono percentualmente assai modeste.

Tale stato di fatto se da un lato dimostra che la dotazione di sistemi di trasporto urbano ad impianto fisso è in Italia ancora troppo modesta, dall'altro si può notare che alcuni indicatori del servizio testimoniano che le possibilità di sviluppo di tali sistemi sono, in prospettiva, molto buone.

I modi di trasporto alternativi all'autobus sono tradizionalmente suddivisi in ferrovie locali, metropolitane, tranvie, filovie, funicolari e funivie.

Pur limitandosi a considerare le caratteristiche salienti dei sistemi ad impianto fisso tipo tranvie e metropolitane, si constata però che, all'interno di tali categorie, esiste una notevole varietà di sistemi "intermedi", diversi per potenzialità di trasporto, velocità commerciale, grado di automazione come illustrato in Tabella 1.1.

	Ambito	Servizio svolto	Capacità max (passenger/ora/di reazione)	Via di corsa	Sostentazione	Sede riservata	Alimentazione	Automatismi
Ferrovia	Urbano/ Suburbano/ Extraurbano	Con fermate intermedie	10.000- 15.000	Rotaia	Ruota ferroviaria	Si	Terza rotaia/linea aerea	Parziale
Metropolitana	Urbano/ Suburbano	Con fermate intermedie	45.000	Rotaia/ profilati	Ruota ferroviaria/ pneumatici	Si	Terza rotaia/linea aerea	Integrale/ parziale
Tranvia	Urbano/ Suburbano	Con fermate intermedie	2.500-3.500	Rotaia	Ruota tranviaria/ pneumatici	No (parziale)	Linea aerea	Parziale
Filovia	Urbano/ Suburbano	Con fermate intermedie	2.500	Strada	Pneumatici	No (parziale)	Linea aerea/ interrata	-
Funicolare	Urbano	Punto/punto		Rotaia	Ruota ferroviaria	Si	-	Integrale/ parziale
Funivia	Urbano/ Extraurbano	Punto/punto		Fune	Ruota	Si	-	Parziale
APM	Urbano/ Suburbano	Punto/punto	2.000-10.000	Rotaia/ profilati	Ruota/ cuscino d'aria	Si	Varie	Integrale
Ascensore	Urbano	Punto/punto		Guida metallica	-	Si	-	Integrale
Scala mobile	Urbano	Punto/punto		Guida metallica	-	Si	-	Integrale
Tapis roulant	Urbano	Punto/punto		Guida metallica	-	Si	-	Integrale

Tabella 1.1. Confronto delle principali caratteristiche dei sistemi ad impianto fisso.

Il panorama dei sistemi di trasporto ad impianto fisso, come si può vedere, si sta arricchendo di giorno in giorno di numerose tipologie d'impianti, ciascuna finalizzata a rispondere a specifiche esigenze di trasporto.

2. I sistemi in esercizio nelle città italiane

Nel 1998 solo cinque città italiane disponevano ancora di una rete tranviaria in esercizio: Torino, Milano, Trieste, Roma e Napoli; trenta anni fa erano quattordici le città dotate di tram.

Il servizio svolto, prevalentemente urbano, è andato progressivamente diminuendo nel corso degli ultimi decenni e l'estensione della rete si è sostanzialmente stabilizzata a partire dagli anni '80 su un'offerta di servizio di circa 40 milioni di vetture-km che negli ultimi anni si è andata ulteriormente riducendo.

Il mercato delle tranvie, in Italia, si è peraltro recentemente rivitalizzato con la progettazione e l'avvio della costruzione di un certo numero di metropolitane leggere di superficie di cui si tratta oltre.

Sul finire degli anni '60, reti metropolitane erano presenti solamente a Milano ed a Roma.

Nel 1980 è stato aperto all'esercizio il primo tratto della seconda linea (Linea A) della metropolitana di Roma e nel 1990 è stata attivata la prima tratta di circa 2 km della metropolitana di Genova, poi prolungata nel '92 di ulteriori 800 m.

Un'ulteriore estensione della rete milanese entrò in esercizio nel corso del 1991 quando furono completati i segmenti Sondrio – Stazione Centrale e Porta Romana – San Donato di km 6.

Il 1993 vide l'apertura della prima linea di metropolitana a Napoli fra le stazioni di Piazza Vanvitelli e Colli Aminei; dopo circa due anni la linea è stata prolungata verso il capolinea di Secondigliano.

A Catania l'apertura del primo tratto della metropolitana risale al 1999. Il tracciato della linea ricalca il percorso della ferrovia a scartamento ridotto Catania - Riposto (3,8 km).

Nel 2000 è stato ultimato il prolungamento della Linea A della metropolitana di Roma fra le fermate "Ottaviano" e "Battistini" di 5 km.

L'estensione complessiva della rete al 2000 era pari a 114 km.

In Tabella 2.1 sono riepilogati i dati relativi all'estensione della rete ed alla dotazione di materiale rotabile per tranvie e metropolitane dal 1970 al 1999.

	Tranvie		Metropolitane	
	Lunghezza esercizio (km)	Materiale rotabile (n.)	Lunghezza esercizio (km)	Materiale rotabile (n.)
1970	665	1.993	31	267
1975	687	1.770	37	367
1980	581	1.573	56	580
1985	467	1.260	78	640
1986	433	1.154	81	679
1987	430	1.191	81	727
1988	439	1.243	81	740
1989	442	1.225	81	801
1990	449	1.210	96	854
1991	437	1.067	102	954
1992	428	1.042	104	1.035
1993	405	989	109	1.091
1994	405	954	109	1.114
1995	424	957	113	1.099
1996	429	976	113	1.100
1997	419	881	113	1.126
1998	407	822	113	1.132
1999	390	875	121	1.009

Tabella 2.1. Tranvie e metropolitane: estensione della rete e materiale rotabile dal 1970 al 1999 (Fonte: CNIT, 2001).

2.1. La quota di traffico soddisfatta ed il trend evolutivo

Nel corso degli ultimi trenta anni, i diversi sistemi ad impianto fisso in ambito urbano e suburbano hanno conosciuto un'evoluzione alquanto diversificata.

L'offerta complessiva, espressa in termini di posti-km, è aumentata fra il 1970 ed il 1999 del 95% mentre la domanda soddisfatta – passeggeri-km – è cresciuta del 65%.

Per quanto riguarda i singoli sistemi si registra un'espansione dell'offerta per metropolitane (+356%, vedi Figura 2.2 ed una contrazione delle tramvie (-34%, vedi Figura 2.1). Dal lato dell'utenza, si rileva una forte riduzione del numero di passeggeri-km su tramvia quasi interamente riconducibile al periodo 1990-1999 mentre fanno registrare una netta crescita le metropolitane (+423%) con un +61% nell'ultimo decennio.

Nel 1999 le metropolitane rappresentavano il 77,5% dell'offerta in termini di posti-Km ed il 79,5% della domanda soddisfatta (passeggeri-km)¹, le tramvie il 22,5 dell'offerta ed il 20,5% della domanda, limitatamente agli impianti fissi (vedi Figura 2.3).

La domanda soddisfatta dalle reti di metropolitana era pari nel 1999 a 576 milioni di passeggeri ed a 4,1 miliardi di passeggeri-km; il rapporto ricavi/costi operativi si attestava al 68%². L'utenza delle tramvie urbane era di poco inferiore ai 300 milioni di passeggeri ed il grado di copertura dei costi tramite ricavi

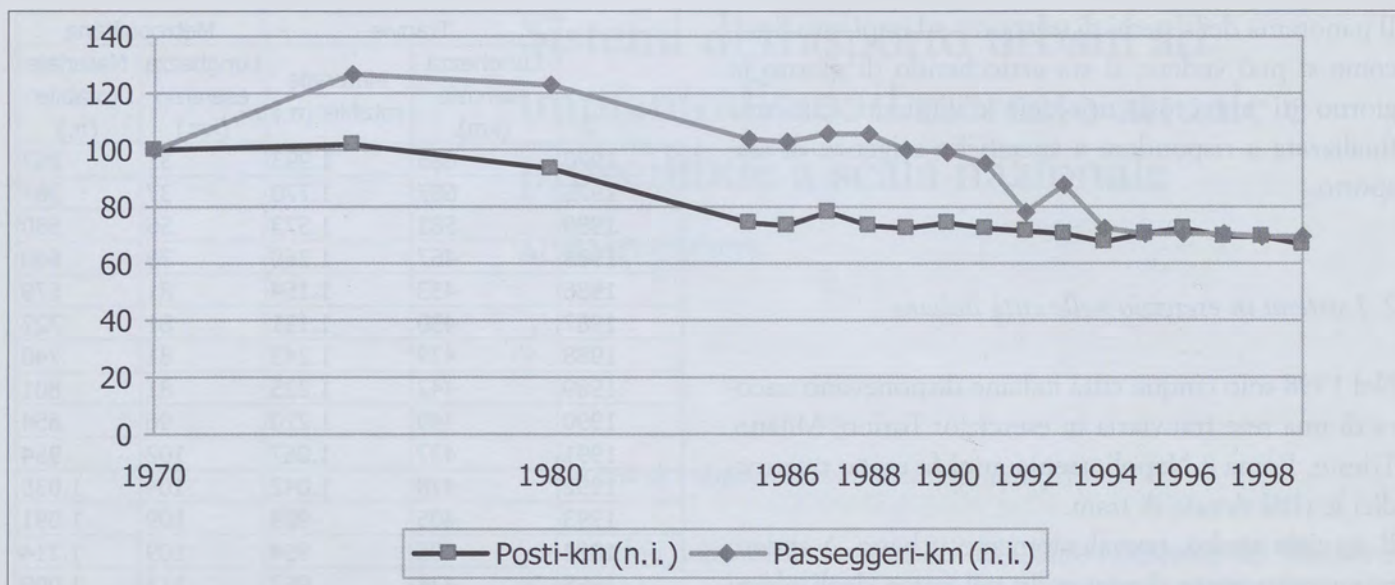


Figura 2.1. Tranvie: evoluzione dell'offerta e della domanda dal 1970 al 1999 (Fonte: elaborazione su dati CNIT, 2001).

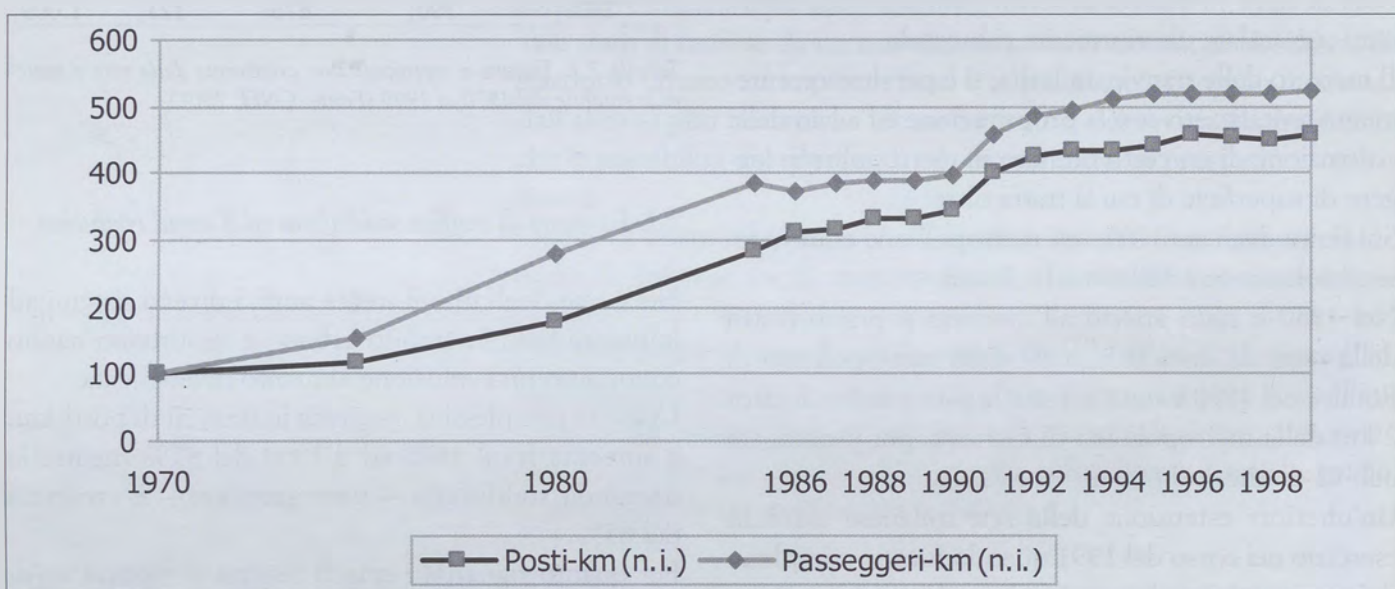


Figura 2.2. Metropolitane: evoluzione dell'offerta e della domanda dal 1970 al 1999 (Fonte: elaborazione su dati CNIT, 2001).

tariffari era pari al 36% (a fronte del 20% registrato nel 1975).

A termine di paragone si cita il dato relativo alle auto-linee urbane caratterizzato da un rapporto ricavi/costi pari a 34,6 (23% nel 1990) (Figura 2.4).

Nell'ultimo decennio l'utenza complessiva del trasporto collettivo locale in ambito urbano è rimasta sostanzialmente invariata (+1%); l'incremento dell'utenza delle metropolitane (+61%) ha infatti compensato la riduzione del numero di passeggeri-km delle traMvie (-34%) e degli autobus (-6%), come illustrato dalla Figura 2.5; la quota parte degli spostamenti su mezzo collettivo soddisfatta dalle metropolitane è quindi passata dal 16 al 26% (Figura 2.6).

3. La dotazione infrastrutturale delle città europee

Nel capitolo precedente si è delineata l'evoluzione storica della dotazione di impianti fissi nel nostro Paese. Tale situazione viene di seguito posta a confronto con quella che si registra negli altri Paesi europei. Viene in particolare illustrata la dotazione di infrastrutture di trasporto rapido di massa nelle aree metropolitane europee con più di 400.000 abitanti³. Si fa riferimento alle linee di metropolitana ed alle tramvie veloci (o metropolitane leggere) mentre non sono prese in considerazione le reti ferroviarie regionali.

L'estensione complessiva delle reti europee di trasporto

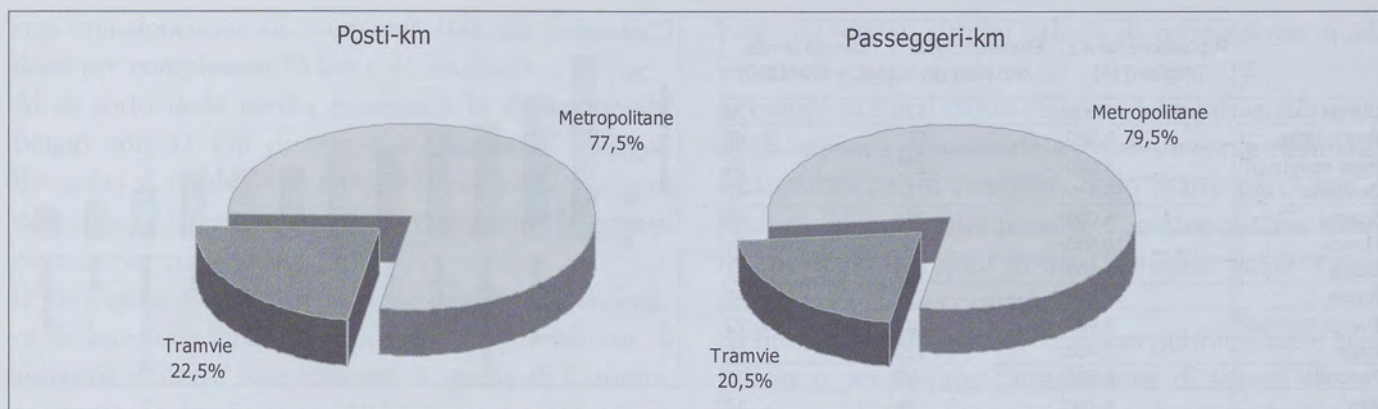


Figura 2.3. Impianti fissi: ripartizione dell'offerta (posti-km) e della domanda (passeggeri-km) per modo di trasporto - 1999 (Fonte: elaborazione su dati CNIT, 2001).

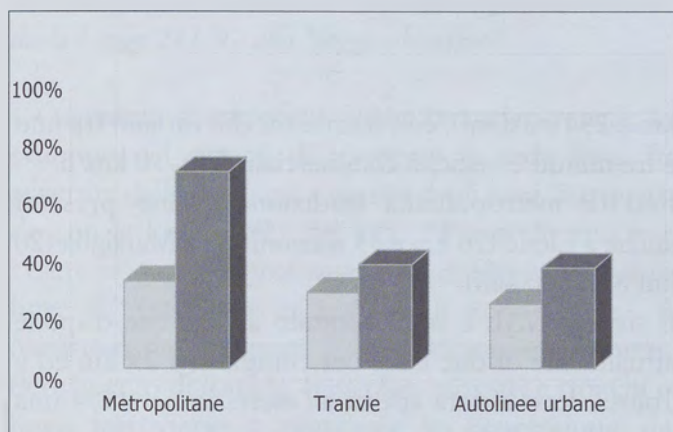


Figura 2.4. Rapporto percentuale proventi /costi operativi (Fonte: elaborazione su dati CNIT, 2001).

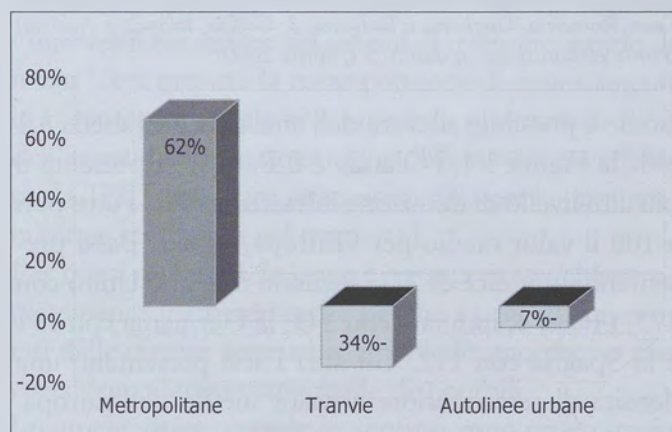


Figura 2.5. Evoluzione della domanda soddisfatta dai diversi sistemi di trasporto dal 1990 al 1999 (ambito urbano) (Fonte: elaborazione su dati CNIT, 2001).

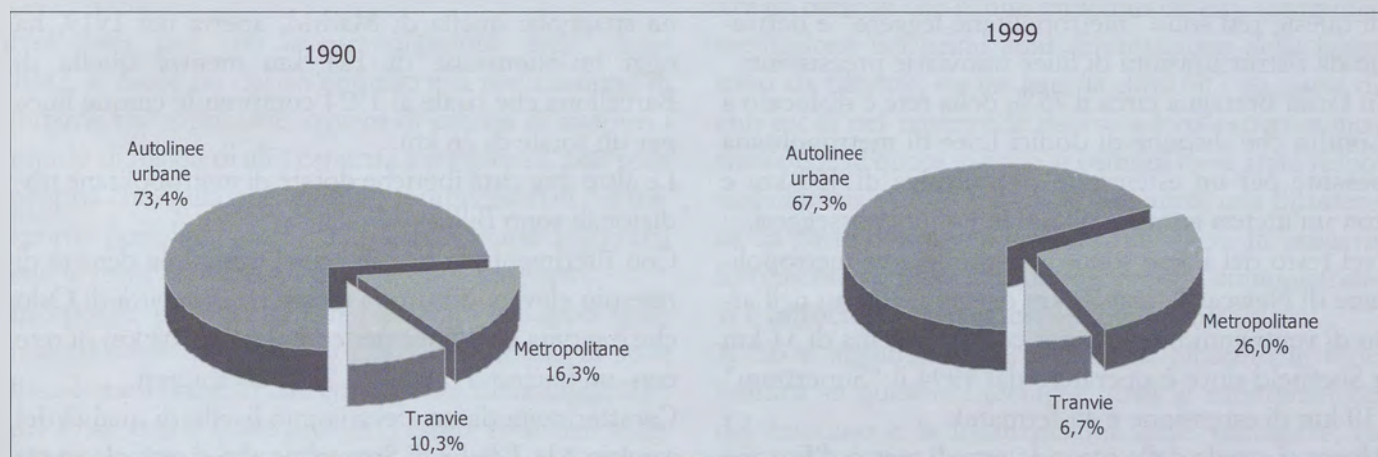


Figura 2.6. Domanda soddisfatta dai diversi sistemi di trasporto nel 1990 e nel 1999 (ambito urbano).

rapido di massa è dell'ordine di 3.000 Km, con un numero di stazioni pari a circa 3.200.

La popolazione servita da tali infrastrutture somma ad 85 milioni di unità e la domanda complessiva soddisfatta si attesta intorno agli 11 miliardi di spostamenti.

Il primato della rete di metropolitana più estesa è detenuto dalla città di Londra (412 km), seguono

Mosca (262 km) e Parigi (201 km); superano i 100 km le reti di Berlino, Madrid, Stoccolma, Oslo, Amburgo ed Hannover.

Ai fini della comparazione del livello di dotazione infrastrutturale dei diversi Paesi, più significativo dell'estensione complessiva è il rapporto fra lunghezza delle reti e popolazione servita⁴ ossia la cosiddetta "densità di rete"⁵.

	Popolazione servita [migliaia] (A)	Estensione della rete [km] (B)	Densità di rete (C = B/A*1000)
Olanda	1.600	126	79
Regno Unito	8.500	531	62
Paesi scandinavi ¹	4.600	235	51
Germania	15.300	717	47
Spagna	6.000	241	40
Francia	10.500	330	31
Belgio	1.600	49	31
Russia	12.000	356	30
Europa orientale ²	8.400	183	22
Italia	7.400	122	16
Portogallo	1.800	27	15
Altri ³	6.300	76	12
Totale	84.000	2.993	36

Tabella 3.1. Dotazione di reti di metropolitana nei Paesi europei (1: Svezia, Norvegia, Finlandia e Danimarca; 2: Polonia, Repubblica Ceca, Romania, Ungheria e Bulgaria; 3: Grecia, Irlanda e Austria) (Fonte elaborazione su dati M&T, aprile 2000).

Come è possibile rilevare dall'analisi della Tabella 3.1 e della Figura 3.1, l'Olanda è il Paese che presenta il più alto livello di dotazione infrastrutturale. Fatto pari a 100 il valor medio per l'Europa, i Paesi Bassi presentano un indice di 221; seguono il Regno Unito con 175, i Paesi scandinavi con 143, la Germania con 131 e la Spagna con 112. Gli altri Paesi presentano una densità di rete inferiore al valor medio dell'Europa. Italia e Portogallo sono caratterizzati da una densità inferiore alla metà della media europea.

In termini assoluti è la Germania a disporre della rete più estesa di trasporti rapidi di massa (717 km). Molte di queste reti sono "metropolitane leggere" e derivano da ristrutturazioni di linee tranviarie preesistenti. In Gran Bretagna circa il 75% della rete è dislocato a Londra che dispone di dodici linee di metropolitana pesante per un'estensione complessiva di 400 km e con un'utenza annuale di 800 milioni di passeggeri. Nel resto del Paese sono da citare le aree metropolitane di Newcastle con 59 km di rete realizzati nell'arco di venti anni, Manchester con un sistema di 31 km e Sheffield dove è operativo dal 1994 il "Supertram" (30 km di estensione e 45 fermate).

Mosca si avvale della seconda rete di metrò d'Europa per estensione (11 linee, 262 km e 160 stazioni): il sistema è caratterizzato da un'elevata velocità commerciale grazie agli ampi raggi di curvatura. Sono quattro le linee di metropolitana tradizionale a San Pietroburgo con un'estensione complessiva di 94 km. Anche grazie alla disponibilità "in casa" della tecnologia della trazione automatica integrale (VAL), la Francia ha conosciuto nello scorso decennio un potenziamento delle reti di assoluto rilievo. La rete di Parigi è tra le più avanzate d'Europa (14 linee per 210

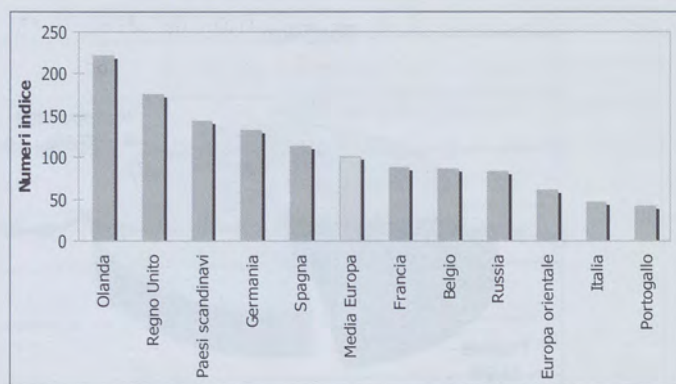


Figura 3.1. Densità delle reti di metropolitana nei Paesi europei [estensione linee / popolazione servita] - numeri indice (Fonte: elaborazione su dati M&T, aprile 2000).

km e 294 stazioni), con frequenze che variano fra uno e tre minuti e velocità commerciali di 28-30 km/h.

Reti di metropolitana tradizionale sono presenti anche a Lione (26 km e 33 stazioni) ed a Marsiglia (20 km e 24 stazioni).

Il sistema VAL è stato adottato a Lille che dispone attualmente di due linee per complessivi 29 km ed a Tolosa dove è stata aperta all'esercizio nel 1994 una prima linea di 10 km. Hanno invece fatto affidamento su sistemi di metropolitana leggera i centri di Grenoble, Strasburgo e Nantes.

Risalgono all'inizio del '900 le due reti di metropolitana spagnola: quella di Madrid, aperta nel 1919, ha oggi un'estensione di 121 km mentre quella di Barcellona che risale al 1924 comprende cinque linee per un totale di 76 km.

Le altre due città iberiche dotate di metropolitane tradizionali sono Bilbao e Valencia.

Con riferimento ai singoli centri urbani, la densità di rete più elevata d'Europa caratterizza la città di Oslo che è servita da 5 linee per complessivi 108 km di rete con un bacino d'utenza di 700.000 abitanti.

Caratterizzata da un elevatissimo livello di qualità del servizio è la *T-Bahn* di Stoccolma che si articola su tre linee e presenta un'estensione complessiva di 110 km. Più contenuta è la rete di Helsinki che si estende per 17 km e serve un bacino di circa 500.000 abitanti.

Come detto in precedenza, a livello di Paese, è l'Olanda a disporre della più elevata densità di rete con oltre 60 km di linea per milione di abitanti. Amsterdam si avvale di un sistema composto da tre linee di metropolitana e "Sneltram" per complessivi 51 km e 49 stazioni, quasi tutti in superficie. Ancora più imponente è il sistema di Rotterdam dove si regi-

stra una dotazione di 9 km per 100mila abitanti (5 linee per complessivi 75 km e 41 stazioni).

Al di sotto della media europea è la dotazione del Belgio con 31 km di rete per milione di abitanti. Bruxelles si avvale di tre linee (33 km con 51 stazioni) mentre ad Anversa la rete di metropolitana leggera si estende per complessivi 15 km.

Il Portogallo è il Paese che presenta il più basso indice di dotazione infrastrutturale (15 km per milione di abitanti). L'unica rete esistente è quella di Lisbona, costituita da due linee per 26 km.

4. I progetti in cantiere e le fonti di finanziamento: dalla Legge 211/92 alla "legge obiettivo"

La necessità di sostenere, anche finanziariamente, lo sviluppo dei sistemi di trasporto in sede fissa, fu avvertita dallo Stato già a partire dagli anni '50, quando con la Legge 1221 del 1952 "Provvedimenti per l'esercizio e per il potenziamento di ferrovie ed altre linee di trasporto in regime di concessione" il Ministero dei Trasporti intese promuovere l'ammmodernamento di funivie, funicolari terrestri e tronchi o linee ferroviarie o tranviarie in concessione sia mediante corresponsione di finanziamenti per l'esecuzione dei lavori, sia mediante l'adeguamento delle sovvenzioni d'esercizio, delle tariffe e/o proroga della concessione.

Nel 1969, poi, con la promulgazione della Legge 1042, si diede un deciso impulso alla realizzazione di ferrovie metropolitane, ovvero di sistemi di trasporto rapido di massa di alta capacità e frequenza, con sede propria che, sulla base di piani comprensoriali del trasporto pubblico, potessero efficacemente integrarsi con le ferrovie e con gli altri modi di trasporto.

In epoche più recenti, un rinnovato sviluppo della realizzazione di sistemi di trasporto urbano in sede fissa è stato favorito dall'emanazione della Legge 211 del 1992, con la quale potevano essere finanziati sistemi di trasporto rapido di massa a guida vincolata in sede propria e tramvie veloci, anche a contenuto tecnologico innovativo.

Vengono altresì compresi fra le opere finanziabili i sistemi ferroviari passanti ed i collegamenti ferroviari con le aree aeroportuali, espositive e universitarie, utilizzando precedenti accantonamenti iscritti a bilancio dello Stato per interventi nel settore dei trasporti rapidi di massa, del traffico e per il risanamento urbano. Le disposizioni di cui sopra sono applicabili, inoltre, ai sistemi di trasporto pubblico urbano con trazione a

fune, nonché ai sistemi urbani di connessione, quali ascensori e tapis-roulant.

Si completa in tal modo l'elenco delle infrastrutture e degli impianti di trasporto urbano (lineari e puntuali) finanziabili con il concorso dello Stato; parcheggi e nodi di interscambio, ferrovie e metropolitane, sistemi di trasporto rapidi di massa, *people mover* e percorsi pedonali meccanizzati.

Al fine dello sviluppo del trasporto pubblico nelle aree urbane e per favorire l'installazione di sistemi di trasporto rapido di massa a guida vincolata in sede propria e di tramvie veloci, a contenuto tecnologico innovativo atti a migliorare in tali aree la mobilità e le condizioni ambientali, nella già citata legge n. 211, riguardante "Interventi nel settore dei sistemi di trasporto rapido di massa", era prevista la corresponsione di finanziamenti di competenza statale in misura non superiore al 50% dell'investimento; la ripartizione delle risorse era affidata al CIPET (comitato interministeriale per la programmazione economica nel trasporto).

Per quasi otto anni, la legge è rimasta pressoché completamente inattuata anche perché i progetti presentati dalle diverse aree urbane richiedevano risorse che eccedevano largamente quelle disponibili.

Le uniche opere entrate in servizio sono una tramvia a Roma che serve i quartieri Gianicolense e Trastevere ed il primo lotto della Linea 1 della metropolitana di Napoli, da piazza Vanvitelli a Colli Aminei.

Tra gli ostacoli che hanno impedito un'efficace implementazione nei primi anni di attuazione della legge sono da rilevare, da un lato, la difficoltà da parte di enti locali nel reperire le risorse a loro carico, nonostante che la quota in capo ai comuni fosse stata ridotta dall'iniziale 50% al 40% e, dall'altro, una diffidenza da parte dei privati a farsi coinvolgere in progetti fortemente condizionati da meccanismi amministrativi e burocratici farraginosi ed inefficienti.

A ciò si aggiunga il perdurare del dibattito in sede politica su questioni tecniche quali le caratteristiche del tracciato e la localizzazione delle fermate e, in alcune città, il cambiamento degli indirizzi di pianificazione generale a seguito del cambio delle maggioranze delle giunte comunali.

Da ultimo, in molte città storiche si è registrata un'oggettiva difficoltà nel fare rispettare le prescrizioni delle commissioni ministeriali e delle sovrintendenze e nell'eseguire tutte le procedure previste.

Sono stati individuati complessivamente 40 progetti, diciannove tramvie e 21 nuove (tratte di) metropolitane. Per quanto riguarda le tramvie si tratta in larga misura di nuovi progetti mentre per le metropolitane

prevalgono i prolungamenti di infrastrutture esistenti. L'estensione complessiva delle nuove tratte di metropolitana assomma a circa 130 km; la realizzazione di tali linee comporterebbe dunque una crescita di oltre il 100% della dotazione del nostro Paese e consentirebbe di raggiungere una densità di rete analoga alla attuale media europea. Per quanto concerne le linee tranviarie, l'estensione complessiva è di 140 km, all'incirca equivalente alla contrazione delle linee registratesi negli ultimi trenta anni.

Le opere aperte all'esercizio sono i prolungamenti della linea A di Roma (5 km nel 2000) e della linea 1 di Napoli (9 km nel 1995 e 4,5 km nel 2002), la tramvia 8 nella capitale (5,8 km nel 2000, il prolungamento della linea tranviaria 4 a Torino (nel novembre 2001), la tramvia "Gazzi - Annunziata" a Messina (2002).

Diciotto sono le opere in fase di costruzione: 8 tramvie ed 10 linee (tratte) di metropolitana. Perlopiù i lavori sono iniziati nel corso del 2000/2001 ed avranno una durata compresa fra i tre ed i cinque anni. Tra le prime infrastrutture ad essere completate vi dovrebbero essere le tramvie in corso di esecuzione a Milano e Sassari ed i prolungamenti delle linee M2 ed M3 della metropolitana milanese. Per le infrastrutture in fase di progetto/appalto si può ipotizzare indicativamente l'entrata in esercizio nella seconda metà del decennio.

La legge 211 è stata sostanzialmente "superata" dalla cosiddetta "legge obiettivo" che si propone di regolare organicamente e sulla base di principi innovativi la realizzazione delle opere pubbliche maggiori, definite "strategiche e di preminente interesse nazionale".

In dettaglio si prevede:

- 1) L'individuazione delle opere strategiche attraverso un Programma aggiornato annualmente da inserire nel DPEF. Il Programma è approvato dal CIPE in base alle proposte dei Ministri o delle Regioni interessate, sentita la Conferenza Unificata Stato-Regioni-Autonomie locali; la legge finanziaria indica annualmente le risorse disponibili per l'attuazione progressiva del Programma integrando le risorse già assicurate da fondi nazionali ed europei e quelle reperibili tramite *project financing*.
- 2) La riforma dei procedimenti di approvazione dei progetti, mediante concentrazione di tutte le competenze nel CIPE allargato alle Regioni competenti. Sono peraltro conservate le specifiche competenze del Ministero dell'Ambiente in materia di VIA (Valutazione Impatto Ambientale) ed è assicurata, mediante conferenza di servizi, la partecipazione al procedimento degli enti territoriali e pubblici interessati. La conferenza di servizi dovrà

chiudersi entro sei mesi con voto a maggioranza. Al progetto preliminare verrà anticipata la VIA e la localizzazione urbanistica per consentire di procedere all'affidamento delle opere ed alle successive attività di autorizzazione, sulla base di un progetto consolidato nei connotati essenziali. Tutti elementi che consentiranno di accelerare l'avvio dei lavori.

- 3) La riforma delle modalità di esecuzione delle opere attuata con la valorizzazione del *project financing*, per il quale sono attenuati i vincoli posti dalla legge Merloni (pagamento del prezzo dopo il collaudo, limite del 50% per il contributo pubblico e di 30 anni della concessione) nonché con l'introduzione in Italia del *General Contractor*. Il *General Contractor* ha la piena responsabilità della buona esecuzione delle opere con tempi e costi certi; a differenza dell'appaltatore deve redigere il progetto definitivo ed esecutivo e può eseguire le opere mediante appalto ad imprese terze, scelte sotto la propria responsabilità tecnica ed economica.
- 4) Una procedura eccezionale, limitata ai primi due anni di attuazione del Programma, che consente di approvare mediante decreto legislativo le opere più importanti ed urgenti, per le quali, malgrado la disponibilità dei fondi necessari, non si possa pervenire per via ordinaria al sollecito avvio delle opere.

Il 21 dicembre 2001 il CIPE ha approvato la delibera relativa al I Programma nazionale delle infrastrutture strategiche. Tra le opere di preminente interesse nazionale sono indicati i seguenti interventi in ambito urbano:
a) il sistema integrato di trasporto del nodo di Roma;
b) il sistema integrato di trasporto del nodo di Napoli;
c) il sistema integrato di trasporto del nodo di Bari.
La previsione di cassa per i sistemi urbani nel triennio 2002-2004 è indicata pari a oltre 7.000 miliardi.

Adelmo Crotti, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino.

NOTE

¹ Non è peraltro nota la metodologia utilizzata per il calcolo di questo parametro.

² Esclusi gli investimenti.

³ I dati sono ripresi dall'articolo *Nelle città europee 11 miliardi di passeggeri l'anno su 3.000 chilometri di metrò*, in "M&T", n. 4, aprile 2000.

⁴ Si tratta, presumibilmente, della popolazione che risiede nei comuni sul cui territorio si sviluppa l'infrastruttura.

⁵ Tale parametro non consente peraltro di tenere in considerazione il fatto che le reti possono essere più o meno "concentrate" sul territorio nazionale.

La domanda di mobilità nell'area torinese e i sistemi innovativi adottati: VAL e Cityway

GIANCARLO GUIATI

Premessa

Pur tratteggiando gli aspetti di fondo dei sistemi VAL della Metropolitana di Torino e del tram Cityway, vengono di seguito inquadrare le azioni di governo del cambiamento nel campo dei trasporti pubblici che sono di competenza delle Amministrazioni e delle aziende da esse dipendenti.

Dall'analisi degli insediamenti abitativi, industriali e commerciali di Torino e del suo *hinterland* e da quella dell'evoluzione della mobilità delle persone, derivano i progetti di ammodernamento ed ampliamento della rete di trasporto pubblico sulla base di linee operative che possano concretizzare questi obiettivi: efficienza e rapidità del servizio, multimodalità nei sistemi di utilizzo, economicità nella gestione delle aziende preposte, migliore vivibilità dei grossi centri urbani, e così via. Rinnovando i trasporti, cambia la dimensione del movimento e quindi la concezione del viaggiare nelle città moderne.

In questo quadro i piani di modernizzazione dei trasporti sono i primi atti concreti su cui si basano le trasformazioni e le riqualificazioni urbane: essi si inseriscono alla grande scala e condizionano le azioni urbanistiche.

La città di oggi vede il suo sviluppo costante in ogni sua parte, centrale o periferica, indistintamente. Il centro e le aree periferiche costituiscono ormai un insieme non gerarchizzato, composto di "poli" con diverse caratteristiche in costante relazione e alla ricerca di nuove identità.

Condizione necessaria per il cambiamento nella gestione del trasporto pubblico di persone è la presenza di aziende moderne che sappiano pensare ed esprimere chiare direttrici di marcia nell'innovazione.

Il Gruppo Trasporti Torinese e le nuove realizzazioni

La Linea 1 della Metropolitana di Torino e l'estensione della Linea tranviaria 4 sono senza dubbio i due elementi fondamentali dello sviluppo della rete di trasporto nell'area torinese.

Questi progetti fanno parte delle priorità del Piano Strategico della Città di Torino che ha come obiettivo la realizzazione delle grandi opere che consentono di giungere all'appuntamento delle Olimpiadi Invernali 2006 con una città efficiente e di livello internazionale in tutti i suoi settori.



Un convoglio in linea del VAL 208, privo di conducente e con trazione su gomma.



Esempio di veicolo della linea tranviaria 4 di Torino, denominato "Cityway", a pianale interamente ribassato.

La Metropolitana e la Linea 4 si collegano poi ai grandi lavori del Passante Ferroviario di Torino con il quale, a regime, saranno integrati rappresentando complessivamente una ristrutturazione di fondo del sistema di trasporto pubblico nell'area torinese.

Lo sviluppo del sistema a impianto fisso prevede anche un ampio rinnovo del parco rotabile con l'immissione in servizio di 55 nuovi tram *Cityway*, per gran parte impegnati sulla nuova linea 4.

Per guidare e gestire questo sviluppo è stato costituito, dal 1° gennaio 2003, il Gruppo Torinese Trasporti (GTT) attraverso la fusione delle due storiche aziende ATM e SATTI che si ripartivano da decenni la competenza del trasporto pubblico rispettivamente nell'area urbana e suburbana ed in quella intercomunale nella provincia di Torino ed anche in parte in quelle di Asti, Alessandria e Cuneo.

L'integrazione tra le due aziende ha avuto ed ha lo scopo di creare un gruppo che si qualifichi come operatore "forte" in grado di erogare servizi di trasporto collettivo competitivi per qualità ed economicità, con una gamma di sistemi differenziati ed integrati: metropolitana, linee tranviarie, trasporto su gomma e ferroviario. L'integrazione può consentire di operare meglio in un'ottica di "area vasta". Nel prossimo futuro infatti il GTT dovrà essere in grado di competere sul mercato e per fare ciò, sono già stati stipulati accordi e partecipazioni con altre aziende del settore.

Il GTT ha un fatturato (2003) di 356 miliardi di Euro, 5240 dipendenti, serve un'area che comprende Torino e 225 comuni e opera con 1400 autobus, 200 tram e 60 veicoli ferroviari.

La Linea 1 della Metropolitana di Torino

Si estende con 21 stazioni da Collegno fino al Lingotto di Torino, con un tragitto di 14,1 km com-

piuto in 24 minuti, trasportando nei due sensi di marcia 30mila passeggeri all'ora con una frequenza di 2 minuti nei passaggi dei convogli. L'attivazione del primo tratto (2005) riguarda Collegno-Porta Susa con 12 stazioni, già in stato di avanzata costruzione nel 2003.

La Metropolitana Automatica di Torino utilizza il sistema VAL (Veicolo Automatico Leggero, Figura 1) già adottato a Lille, Parigi, Tolosa, Rennes, Chicago e Taipei.

Un treno VAL 208 (4 vetture - composizione doppia) è lungo 52 m e largo 2,08 m; trasporta fino a 440 passeggeri, con le seguenti caratteristiche:

- automazione completa del servizio, senza personale fisso sui treni e in stazione;
- frequenza massima effettiva di un treno ogni due minuti;
- capacità di circa 15.000 passeggeri/ora per senso di marcia, aumentabile ad oltre 20.000 in altre condizioni di esercizio;
- treni dotati di ruote di gomma, con maggiori prestazioni e minori vibrazioni rispetto al contatto tradizionale acciaio-acciaio;
- porte automatiche di banchina nelle stazioni.

La tecnologia VAL offre minime attese ed elevate frequenze dei passaggi. In tal modo è possibile utilizzare treni più piccoli rispetto alla metropolitana tradizionale, con notevoli riduzioni dei costi, dei tempi di realizzazione e degli impatti nell'opera.

La Linea tranviaria 4

Con i lavori di prolungamento, è stata prevista ed attuata la trasformazione della Linea 4 nella principale dorsale nord-sud del trasporto pubblico a Torino. La linea, che passa così dai precedenti 10 km a circa 18 km, viene rinnovata in modo radicale: il trasporto

avviene quasi completamente in sede riservata, con collocazione dei binari in centro strada, caratteristiche che consentono di elevare la velocità dai precedenti 14 km/h a 17,5 km/h, con un risparmio di tempo che rende più vantaggioso l'interscambio auto-mezzo pubblico nei parcheggi progettati ed in via di realizzazione alle porte della città, nelle aree "Caio Mario" e "Stura". Le vetture, lunghe 34 metri, bidirezionali (eccetto le prime sei della dotazione), dispongono di 6 porte per lato, raggiungono la velocità di 70 km/h e possono trasportare 200 passeggeri. Sono dotate di pavimento interamente basso e senza scalini all'interno, di impianto di climatizzazione e consentono facilitazione di accesso in entrata ed uscita assicurata dall'incarrozzamento "a raso", con identica altezza tra piano banchina di fermata e piano pavimento tram (29 cm). Ciò permette un facile accesso alle carrozzelle delle persone in difficoltà, ai passeggini, alle persone con difficoltà motorie, ecc. All'interno del veicolo sono attrezzati due appositi spazi per ospitare le carrozzelle o i passeggini. In caso di necessità di accesso da marciapiedi bassi, entrata e uscita sono facilitate da una pedana di raccordo.

Giancarlo Guiati, Presidente del Gruppo Torinese Trasporti, Torino.



Esempi di rendering di stazione del VAL: la linea è separata dalla banchina da porte di protezione, con apertura possibile ed automatica solo in presenza del convoglio di fronte alla fermata.

Esperienze e requisiti moderni delle metrotramvie: la Linea 4 di Torino.

Prima parte

LUCIANO FILICETTI, IGNAZIO CARBONE

Principali caratteristiche della linea

1. Generalità

La linea si sviluppa in ambito urbano, in superficie, con gran parte delle tratte in sede riservata al solo mezzo tranviario, salvo che nell'ambito del Lotto 3B, in corrispondenza al sottopasso dell'esistente sedime F.S. nei pressi della stazione ferroviaria di Torino Stura ed agli esistenti corsi Vercelli e Romania, nel quale percorre un breve tratto in sotterraneo di circa 1000 m.

La linea è lunga complessivamente circa 18 km con 44 fermate di cui una in sotterraneo.

Le fermate sono costituite da banchine lunghe m 35,00 utili, fornite di pensiline e rampe di accesso per disabili, in accordo con la normativa vigente.

Solo la fermata Stura, del Lotto 3B, presenta caratteristiche completamente differenti, trattandosi dell'unica fermata in sotterraneo dell'intera linea tranviaria.

2. Sistemi di controllo dell'esercizio e sicurezza

La Linea tranviaria 4 è una linea avente caratteristiche e potenzialità superiori rispetto ad una tramvia di tipo tradizionale, tali che la possono fare rientrare per gran parte del suo sviluppo nella categoria delle Metrotramvie come definite nella norma UNI 8379 del 2000.

La Linea 4 è equipaggiata di:

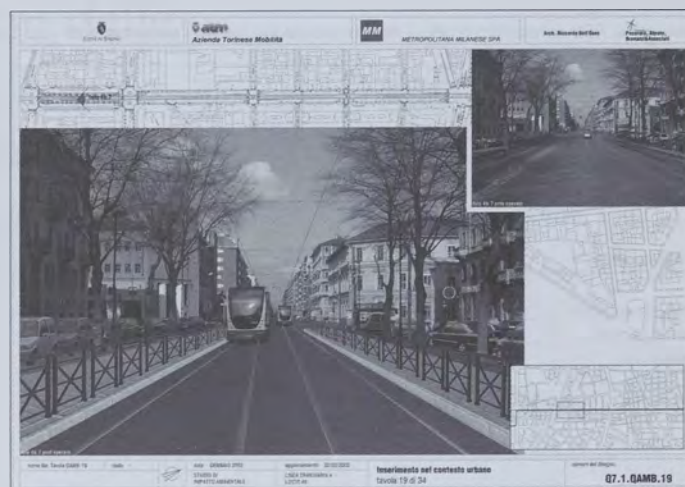
- sistema di localizzazione, monitoraggio del veicolo e controllo delle prestazioni della linea (SIS);
- sistema di priorità semaforica (in connessione con il Sistema 5T);
- sistema di comando e di controllo degli scambi;

Dato che il tracciato della linea non si sviluppa interamente in sede riservata, il tipo di esercizio previsto è con “marcia a vista”, con l'integrazione di alcune informazioni di ausilio al manovratore, in generale lungo tutta la corsa, in particolare in corrispondenza degli scambi e degli incroci.

Il controllo della Linea 4 sarà fatto afferire alla Centrale Operativa SIS (in funzione dal 1994) che effettua il monitoraggio e la regolazione dell'intero sistema di trasporto pubblico attraverso uno specifico sistema di telecomunicazione “bordo-centro”.



Esempio di tracciato della metropolitana Falchera-Mirafiori Sud.



Esempio di tracciato della metropolitana Falchera-Mirafiori Sud.

3. Caratteristiche dei principali impianti

Premesso che le tipologie impiantistiche adottate nei vari lotti sono improntate all'omogeneità ed alla continuità con quanto impiegato per il resto della linea, si evidenzia che gli impianti previsti per la fermata sotterranea Stura, e per le gallerie ad essa adiacenti, sono necessariamente di nuova tipologia rispetto al resto della linea, in ragione delle problematiche legate all'ambiente sotterraneo a alle conseguenti misure di sicurezza.

Armamento

La tipologia di armamento è costituita da rotaie a gola su traversine in legno e ballast.

La parte in sede propria protetta (anche nella galleria di linea e nelle trincee di risalita del lotto 3B) è asfaltata e quindi carrabile, in modo da consentire il passaggio di veicoli in caso di emergenza e per le ordinarie attività manutentive.

Linea aerea di contatto

Le tipologia costruttiva della linea di contatto sull'intera tratta è una "catenaria", montata su sospensioni longitudinali, che all'esterno sono sostenute da pali ed in trincea ed in galleria sono installate sulle strutture murarie.

La catenaria è costituita da corde portanti fisse e fili di contatto regolati, sostenuti dalle portanti per mezzo di pendini, con una sezione totale di 440 mm₂ per ciascun binario.

Impianti di galleria e complementari

In considerazione delle particolarità della tratta in galleria è necessario prevedere la realizzazione di ulterio-

ri impianti indispensabili per consentire un esercizio efficace e sicuro della linea all'interno della galleria stessa, nonché un adeguato livello di sicurezza e di confort agli utenti della linea.

Impianto TVCC

L'impianto di Televisione a Circuito Chiuso (TVCC) ha come scopo principale il controllo dalla stazione Stura, mediante una distribuzione di telecamere a colori installate in modo da riprendere le zone più significative: banchine, atri, ascensori, punti di ingresso ed uscita e punti singolari in genere.

Impianto di diffusione sonora

Impianto citofonico (SOS)

Sono previsti quattro citofoni SOS (due per direzione di marcia), installati in banchina e due citofoni per gli ascensori (uno in ogni cabina).

Impianto semaforico tranviario

L'impianto ha lo scopo di impedire l'ingresso di un tram in galleria se il tram che lo precede è ancora in quel tratto o se è ancora fermo alla fermata Stura. Inoltre la partenza dalla fermata Stura è autorizzata solo se la successiva tratta di galleria è già stata liberata dal tram precedente.

Impianto di illuminazione

Impianto di distribuzione F.M.

Impianto di messa a terra di stazione

Portoni motorizzati di galleria

I due portoni motorizzati previsti alle due estremità della galleria hanno lo scopo di permettere la chiusura notturna (o comunque in periodi di sospensione del servizio) della galleria stessa, per evitare transiti o permanenze non consentite e per prevenire vandalismi.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLA METROTRANVIA FALCHERA – MIRAFIORI SUD			
Lunghezza opera		18 km	
Lunghezza tratta in fase di realizzazione		Lotto 3B lungh. m. 2225 - 5 fermate - 1 stazione	
		Lotto 4A lungh. m. 1100 - 5 fermate	
		Lotto 4B lungh. m. 1100 - 6 fermate	
		Lotto 5 lungh. m. 4500 - 21 fermate	
		Lotto 6 lungh. m. 1550 - 7 fermate	
		Lunghezza	N. Stazioni
Tratte in galleria	superficiale	m. 1037	stazioni n. 1
Tratte a raso		m. 9438	fermate n.44
Lunghezza stazioni		Stazioni L = m. 50 Fermate L = m. 35	
Pendenza max.		4%	
Raggio min.		m. 20.50	
N. intersezioni a raso		33	
Composizione materiale rotabile e numero di rotabili		Il materiale si compone di 1 motrice articolata. Sono necessarie 55 unità di trazione a capacità unitaria standard di 200 posti (a 4 posti in piedi/mq)	

Principali caratteristiche della metrotramvia Falchera-Mirafiori Sud.

Sistema di disalimentazione della Linea di Contatto
Al fine di consentire l’uso degli idranti da parte dei Vigili del Fuoco, è previsto un sistema d’emergenza locale, a comando manuale.

Impianto rivelazione incendi
L’impianto rivelazione incendi di galleria è realizzato con rivelatori di fumo di tipo lineare per tutta la zona che comprende la galleria.

Tutte le altre zone, sono realizzate con rivelatori puntiformi.

L’impianto è interfacciato con impianto sprinkler, impianto ascensori, impianto di ventilazione, impianto di aspirazione locali tecnologici, impianto semaforico tranviario.

Impianto ascensori

Impianto di ventilazione

Nella stazione Stura sono previste due “camere di ventilazione”.

Impianto di condizionamento dei locali tecnologici

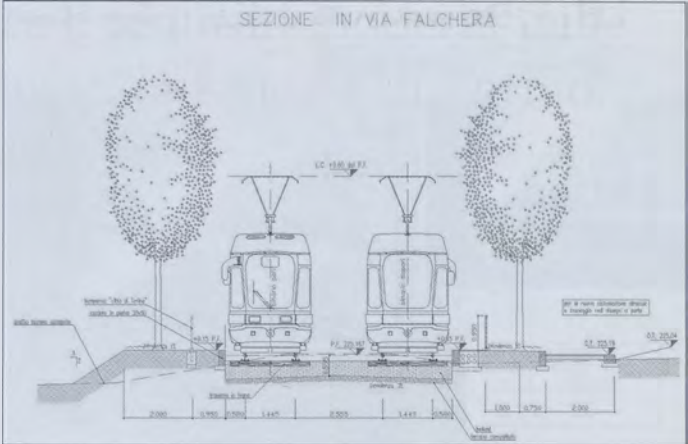
Impianti idrico-sanitari ed antincendio

4. Materiale rotabile

Il tram è a pavimento totalmente ribassato, monodirezionale, e si compone di due casse d’estremità, una con cabina di guida, l’altra adibita a comparto passeggeri, due carrozzini intermedi e tre casse a ponte (due d’estremità e una centrale).

Il materiale rotabile risponde ad elevati standard in termini di sicurezza, comfort, prestazioni di marcia, facilità di guida, ecc.

Per i passeggeri portatori di handicap motori, inoltre, sono previste due apposite postazioni di stazionamen-



Esempio di sezione della metrotramvia Falchera-Mirafiori Sud.

to con aggancio ed una pedana per facilitarne l’incarozzamento. La presenza di strapuntini consente di aumentare il numero di posti a sedere quando il traffico passeggeri non è eccessivamente elevato.

Appendice. Definizioni

- *Metropolitana*: “Sistema di trasporto rapido di massa, di elevata portata e frequenza nell’ambito delle conurbazioni, a guida vincolata, con circolazione regolata da segnali e completamente autonoma da qualsiasi altro tipo di traffico (sede propria isolata)”.
- *Metropolitana leggera*: “Sistema di trasporto rapido di massa che mantiene le caratteristiche della metropolitana ad eccezione della portata oraria che risulta ridotta a causa della limitata capacità dei convogli per ridotte dimensioni dei veicoli e/o per ridotta composizione”
- *Tramvia*: “Sistema di trasporto per persone negli agglomerati urbani, a guida vincolata, in genere su strade ordinarie e quindi soggetto al Codice della Strada, con circolazione a vista”.
- *Tramvia veloce (metrotramvia)*: “Sistema di trasporto che mantiene le caratteristiche della tramvia con possibili realizzazioni anche in tratte suburbane, ma che consente velocità commerciali e portate superiori grazie ad adeguati provvedimenti atti a ridurre le interferenze del sistema con il restante traffico veicolare e pedonale”.

Luciano Filicetti, ingegnere, condirettore generale Divisione Infrastrutture e Ingegneria del Gruppo Torinese Trasporti, Torino.
Ignazio Carbone, ingegnere, Metropolitana Milanese, Milano.

Esperienze e requisiti moderni delle metrotramvie: la Linea 4 di Torino.

Seconda parte

LUCIANO FILICETTI

Premessa

La Linea 4 rappresenta un importante asse tranviario nella direzione nord-sud e si inserisce nella rete tranviaria della Città di Torino, una delle più estese d'Italia.

La nostra rete infatti è estesa per circa 200 km, più i raccordi e i binari dei pettini dei depositi. Nell'ultimo decennio ha avuto estensioni significative in particolare relative alla realizzazione della Linea 4.

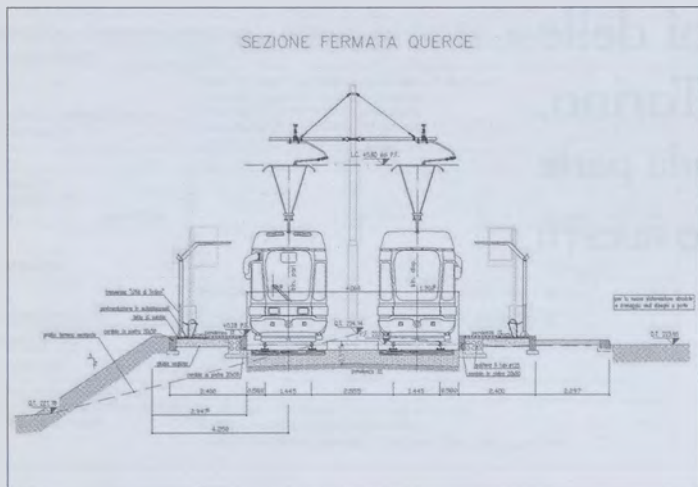
La Linea 4 nasce da un progetto funzionale della Divisione Infrastrutture e Mobilità del Comune di Torino denominato "Progetto integrato dell'asse della linea 4" (deliberazione del Consiglio Comunale del 1998). Tale deliberazione approvava il percorso dell'intera linea e incaricava l'allora ATM, oggi GTT, di procedere alla progettazione per lotti della linea nonché alla sua realizzazione e gestione. La divisione in lotti decisa dal Comune di Torino perseguiva essenzialmente lo scopo di mantenere, sin dall'inizio dei lavori e fino all'ultimazione dell'intera linea, la stessa in esercizio, sfruttando alcune tratte della rete quali percorsi provvisori.

Inoltre la divisione in lotti ha consentito un minore impatto sulla viabilità generale della Città e permesso al progetto di tenere conto delle peculiarità dei tratti della Città attraversati in relazione ai servizi sociali, agli uffici pubblici, alle attività commerciali e all'interscambio con le altre linee.

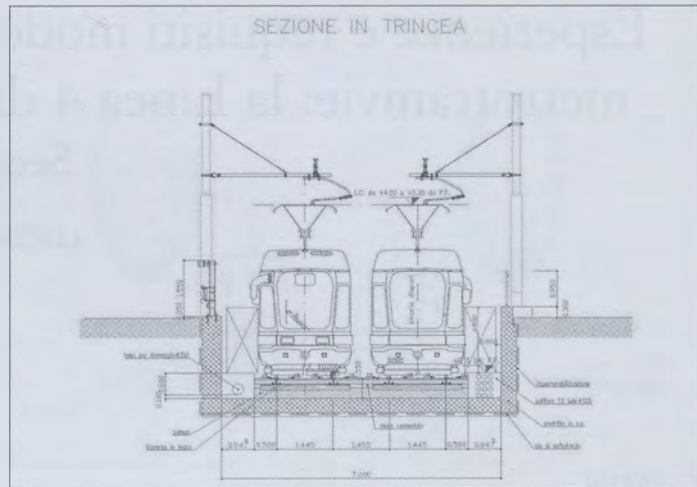
La realizzazione della linea ha comportato il posizionamento delle due linee di corsa al centro strada, rimuovendo i binari finora posati accanto ai marciapiedi con gravi disagi per la sicurezza e la regolarità dell'esercizio.

I lavori hanno interessato praticamente l'intera sezione stradale, per la sistemazione dei sottoservizi, per il rifacimento dei marciapiedi e dell'illuminazione pubblica e per la sistemazione delle aree destinate a verde. La realizzazione di una linea tranviaria in ambito urbano presuppone, quindi, interventi di arredo urbano e nuove misure di viabilità, oltre alla realizzazione dell'armamento, delle fermate, degli impianti di linea aerea necessari all'esercizio della tramvia.

La redazione di un progetto di interventi totalmente in superficie risulta infatti molto complessa perché deve prevedere la ricostruzione di una porzione del sottosuolo che va dai 70 cm per la posa dei binari a oltre un metro quando è necessario spostare i sottoservizi non compatibili con l'esercizio della linea tranviaria.



Esempio di sezione della metrotramvia Falchera-Mirafiori Sud.



Esempio di sezione della metrotramvia Falchera-Mirafiori Sud.

Tali attività presuppongono quindi la stesura di un progetto integrato che richiede la partecipazione del Comune, delle Società dei sottoservizi, l'accoglimento delle richieste delle Circoscrizioni, la redazione di un attento programma di esecuzione dei lavori per arrecare il minimo disturbo alla viabilità e alla vita dei cittadini nonché l'adozione di idonee misure a protezione dei lavoratori durante l'esecuzione dei lavori.

Finanziamento delle opere

L'opera è stata finanziata per il 60% dalla legge 211/92 e per il restante 40% con mutui del Comune di Torino e contributi della Regione Piemonte.

Le tratte che hanno ottenuto i finanziamenti sono:

- la tratta di corso Giulio Cesare dal Ponte Mosca a via Gottardo;
- la tratta a nord verso il quartiere Falchera che comprende la galleria artificiale con spingitubo sotto la ferrovia;
- la tratta centrale lungo via Sacchi adiacente alla stazione di Porta Nuova.

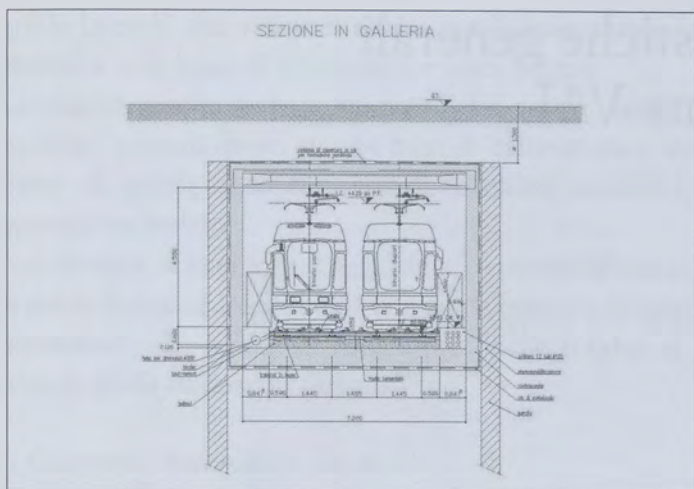
Aspetti realizzativi

Un'opera come la Linea tranviaria 4 comporta un rilevante impegno organizzativo, sia per la conduzione dei cantieri e il loro inserimento nel contesto sia dal punto di vista progettuale, sia dal punto di vista della realizzazione delle opere in un tessuto costruito e fortemente urbanizzato. L'avanzamento dei cantieri è pertanto fortemente condizionato dalla realtà attra-

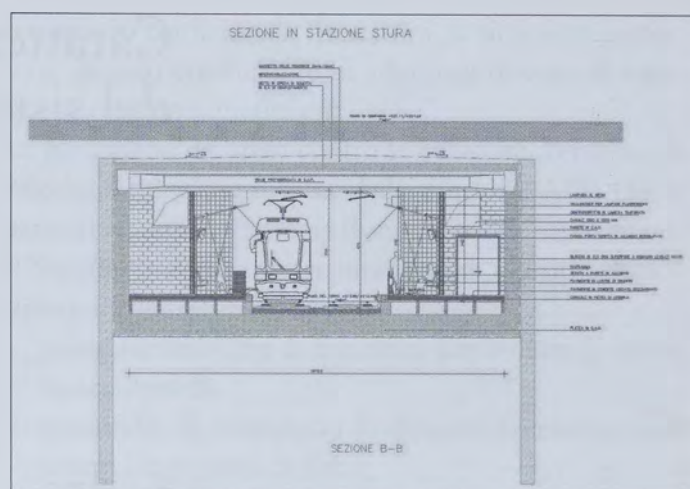
versata e dalle problematiche di traffico, degli esercizi commerciali, dell'esercizio del traffico pubblico, che non deve essere penalizzato eccessivamente, nonché dalla necessità di mantenere gli accessi e negozi edifici privati e pubblici: queste problematiche condizionano fortemente l'organizzazione dei cantieri ed il loro avanzamento.

Un altro aspetto che condiziona fortemente le tempistiche di lavoro e addirittura la concezione del progetto è quello della presenza dei sottoservizi, che nelle zone attraversate costituiscono una fitta rete di collegamenti sotterranei: questi impianti devono essere tutti regolarizzati per evidenti ragioni di sicurezza, di rispetto della normativa e di possibilità future di accessibilità e manutenzione.

Un altro aspetto importante da valutare è quello dell'impatto dei cantieri sulla viabilità esistente e l'attento coordinamento che si richiede per minimizzare tale impatto verso la cittadinanza: occorre per questo un grosso lavoro di analisi e coordinamento tra gli attori interessati, cioè gli Uffici Tecnici della Viabilità del Comune, i Vigili Urbani che operano sul territorio ed hanno la sensibilità operativa, gli uffici della Direzione Esercizio del servizio pubblico che devono curare il mantenimento dell'esercizio ed hanno a cuore la regolarità dei passaggi e come obiettivo anche quello di aumentare od almeno non ridurre la velocità commerciale. Tutte queste figure si devono ovviamente confrontare con le direzioni lavori e le imprese che hanno un obiettivo loro proprio, che è quello del rispetto dei tempi contrattuali e ovviamente e legittimamente anche quello della ottimizzazione economica dei cantieri.



Esempio di sezione in galleria della linea metrotranviaria 4.



Esempio di stazione della linea metrotranviaria 4.

Progetto comunicazione

Per tener conto di quanto detto e per tenere informata la cittadinanza delle opere in corso di realizzazione e di quanto si sta programmando è stata prevista una campagna informativa sia a livello cittadino sia a livello locale nelle zone interessate dai cantieri: a livello cittadino per informare mediante i quotidiani e le emittenti locali sulle limitazioni alla transitabilità e le più significative presenze dei cantieri e deviazioni dei servizi pubblici; a livello locale mediante la distribuzione di volantini nelle buche dei condomini e presso gli esercizi commerciali; questo per informare in maniera puntuale le persone più direttamente interessate agli eventi e sulle quali i provvedimenti incidono maggiormente (divieti di sosta, introduzione o modifiche dei sensi unici ecc.).

Studi e provvedimenti relativi all'impatto ambientale

Un altro aspetto infine da sottolineare è l'attenzione che è stata posta dal punto di vista ambientale predisponendo, come previsto dalla vigente normativa, uno

studio di impatto ambientale che ha preso in considerazione sia l'aspetto paesaggistico sia l'aspetto di inquinamento da rumore, vibrazioni, polveri e particelle disperse nell'ambiente. Per questi aspetti sono state condotte simulazioni che hanno portato ad analizzare la situazione *ante operam* da confrontarsi con la prevista situazione *post operam*, che tiene conto delle previsioni in fatto di modifica della giacitura dei binari e/o la loro introduzione nonché della prevedibile variazione del regime di traffico sia pubblico che privato: tutto questo per le diverse tratte interessate dall'opera.

La messa in esercizio della Linea 4, unita all'uso dei parcheggi di interscambio posti alle estremità della linea, dovrebbe contribuire a ridurre l'utilizzo delle auto private, collaborando quindi alla riduzione dell'inquinamento e consegnando alla Città un'infrastruttura destinata al trasporto pubblico ma con evidenti vantaggi per la vivibilità della Città stessa.

Luciano Filicetti, ingegnere, condirettore generale Divisione Infrastrutture e Ingegneria del Gruppo Torinese Trasporti, Torino.

Caratteristiche generali del sistema VAL

Il Sistema

Le caratteristiche tecniche dei principali sottosistemi, il veicolo, la via di corsa, l'alimentazione elettrica, il sistema di controllo automatico, le comunicazioni, il Posto di Controllo e Comando, il Deposito - officina, le porte di banchina, ecc. formano un insieme unitario e fortemente connesso.

Le opere civili e le tecnologie costruttive saranno ottimizzate in funzione delle prestazioni del Sistema.

Il materiale rotabile

Il materiale rotabile è del tipo VAL 208.

I treni sono lunghi 52 m e sono composti da 2 veicoli da 26 m.

Ciascun veicolo è bidirezionale ed è composto da due vetture agganciate in modo permanente.

Ciascuna vettura possiede una cassa realizzata in lega leggera, montata su carrelli di rotolamento dotati di ruote pneumatiche. Ogni carrello è guidato da quattro ruote orizzontali di guida (di diametro di circa 0,30 m), anch'esse dotate di pneumatici, che rotolano su barre di guida laterali.

Le caratteristiche principali del materiale rotabile sono le seguenti:

- velocità massima: 80 km/h;
- tre serie di porte su ogni fiancata di ciascuna vettura;
- posti a sedere n. 62 e posti in piedi n. 66 con strapuntini aperti;
- posti a sedere n. 38 e posti in piedi n. 122 con strapuntini chiusi;
- sospensione con smorzatori verticali e laterali;
- bassi livelli di rumore e vibrazione in relazione alla qualità dell'interfaccia via/pneumatici,
- ventilazione e illuminazione di grande comfort;
- cassa in lega leggera con estremità in materiale composito;
- trazione elettrica a corrente continua 750 Volt;
- trazione e frenatura recupero su tutti gli assi;
- dimensioni:
 - lunghezza di un veicolo = 26,14 m
 - larghezza = 2,08 m

La Via di Corsa

La linea è realizzata integralmente in sede riservata per consentire l'esercizio automatico ed è composta da due vie di corsa, ognuna delle quali destinata ad una direzione di marcia.

Ogni via di corsa è dotata di due piste di rotolamento, due barre di

guida laterali, che servono anche per l'alimentazione elettrica, e di linee di trasmissione terra-veicoli. Le piste di rotolamento sono metalliche e costituite da profilati speciali fissati su una base di calcestruzzo; le barre di guida sono formate da profilati standard montati su isolatori. Nei deviatori ai capilinea e nella zona Deposito-officina, la guida laterale è sostituita da una guida centrale di tipo ferroviario, che agisce su rotelle metalliche solidali ai telai di guida di ciascun veicolo.

Il Controllo Automatico dei treni

Il sistema di Controllo Automatico dei Treni del VAL è stato progettato specificatamente per l'esercizio completamente automatico, senza conducente o altro personale a bordo e beneficia delle caratteristiche più avanzate in questo campo.

Alcune di queste caratteristiche sono:

- esercizio ad automazione integrale, senza personale fisso sui treni ed in stazione;
- progettazione in sicurezza intrinseca di tutte le funzioni di sicurezza;
- ridondanza degli equipaggiamenti critici dal punto di vista della disponibilità;
- intervallo minimo in linea teorico dei treni che può raggiungere i 60 secondi, compreso il tempo di fermata in stazione (15 secondi nominali);
- telesorveglianza del servizio offerto dalle funzioni disponibili al Posto di Controllo e Comando (PCC), compresi inserimento e ritiro di treni in/dalla linea su richiesta, senza preavviso, con semplice comando dell'operatore in servizio;
- elevata capacità di gestione dei guasti;
- gestione automatica del deposito, dell'inserimento e del ritiro dei treni in/dalla linea.

Il Controllo Automatico dei Treni è progettato sulla base di una struttura che prevede la scomposizione funzionale nei sottoindicati sottosistemi:

- ATP (Automatic Train Protection).
- ATO (Automatic Train Operation).
- ATS (Automatic Train Supervision).

La Sicurezza del Sistema

Il sistema VAL è stato progettato fin dall'inizio in modo da garantire la massima sicurezza agli utenti. Il veicolo è stato progettato e provato in conformità alle regolamentazioni di sicurezza esistenti in Francia (es. resistenza al fuoco) e possiede caratteristiche di sicurezza dinamica migliorative rispetto al materiale

ferroviario tradizionale: frenatura in sicurezza intrinseca, elevato coefficiente di aderenza dovuto al rotolamento su pneumatici etc.

La protezione dei treni contro le collisioni, l'eccesso di velocità, ecc. viene fornita dalla funzione ATP, che è parte integrante del sistema di automazione sopra citato. Il Sistema prevede inoltre una serie di ulteriori disposizioni di sicurezza, quali:

- porte automatiche di banchina per evitare le cadute accidentali;
- passerella di emergenza facilmente accessibile agli utenti lungo tutta la linea;
- sistema di video-sorveglianza per permettere il controllo dal PCC delle zone critiche;
- dispositivi di rilevamento dei fumi e protezione incendi sui treni e nelle Stazioni.

Standard della Metropolitana

Di seguito si riportano le caratteristiche generali della linea suddivise per tracciato e Stazioni.

Standard della linea

- Caratteristiche generali del tracciato
 - Pendenza massima ammissibile 6%
 - in punti singolari (p.es. salti di montone ecc.) 7%
- Minimo raggio di curvatura per raccordi verticali in linea m 1.500
- Minimo raggio di curvatura per raccordi verticali in deposito m 1.200
- Minimo raggio di curvatura planimetrico
 - in linea m 150
 - p.ti singolari m 90
 - nei raccordi di servizio m 40
- Sopraelevazione massima in curva 12%
- Accelerazione centrifuga massima ammissibile non compensata dalla sopraelevazione della sede 0,9 m/s²
- Coefficiente d'urto massimo 0,4 m/s³
- Velocità di sollevamento 0,5 m/s

Standard delle stazioni

- Linea di tornellerie sì
- Stazione in rettilineo sì
- Pendenza di stazione 0%
- Lunghezza banchina di stazione m 52
- Altezza banchina di Stazione dal piano di rotolamento m 0,93
- Larghezza normale della banchina di Stazione m 3,00

L'evoluzione dei sistemi di trasporto a guida vincolata: campi d'impiego e nuove prestazioni richieste

BRUNO DALLA CHIARA

1. Come l'offerta può rispondere alla domanda attuale di mobilità con sistemi ad impianto fisso

La domanda attuale di mobilità richiede servizi comodi ed affidabili: la *comodità* implica, dal punto di vista dell'utenza, l'abbattimento dei vincoli spaziali e temporali di molti tradizionali sistemi di trasporto pubblico, quindi la vicinanza al punto di accesso al servizio e la minima attesa dello stesso; l'*affidabilità* coinvolge la progettazione del sistema e del veicolo, il rispetto delle prestazioni, della frequenza o puntualità del servizio dichiarate.

La risposta a tale tipologia di domanda dell'utenza – abituata oramai su larga scala ad usufruire di un trasporto sotto casa o ufficio e nel momento desiderato dalla diffusione dell'auto privata – può essere attuata solo o con sistemi a percorso variabile oppure con sistemi ad elevato cadenzamento, eventualmente in funzione della distribuzione temporale della domanda nel corso della giornata. Il primo obiettivo non può evidentemente essere soddisfatto dai sistemi ad impianto fisso, il secondo sì. Tuttavia un'elevata frequenza del servizio e, ancor più, l'adattamento alla domanda, implicherebbe un'altrettanto elevata disponibilità di personale.

Quindi, l'unica risposta attuale ed attuabile, con contenuti costi d'esercizio, alla domanda odierna di mobilità urbana *su direttrici forti* (tra alcune migliaia di passeggeri/ora per direzione a circa 20-25 mila), sono sistemi in sede *completamente protetta*, ad *elevata automazione*, quindi senza conducente a bordo. Allo stesso tempo, le elevate densità abitative che si sono venute a creare in molti contesti metropolitani ed una distribuzione della fascia di densità più elevata di utenza spesso non coincidente con percorsi lineari o a bassissima tortuosità, comportano l'impiego di sistemi non necessariamente basati sul contatto acciaio-acciaio, bensì con ruote in gomma o con trazione a fune, per soddisfare un andamento planoaltimetrico irregolare.

Ne consegue che una risposta dell'offerta pienamente congruente con la domanda attuale di mobilità urbana è data da sistemi:

- 1) in sede completamente protetta;
- 2) ad elevata automazione e senza conducente a bordo;
- 3) eventualmente a percorso flessibile, quindi con ruote in gomma (appoggiate o su motorotaia).

Questa terza condizione può evidentemente trovare riscontro nei sistemi con domanda più elevata, tipicamente sopra 9.000-10.000 pas-

seggeri /ora per direzione di marcia, peraltro non raggiungibili dai sistemi di tipo monorotaia, APM, sistemi funiviari.

Un'importante categoria di tali sistemi, definibili in generale innovativi o non convenzionali, è quella utilizzabile per linee d'adduzione o di completamento di reti di forza già esistenti o per linee di distribuzione di reti di metropolitane. I livelli di potenzialità oggi tendenzialmente richiesti in molte aree urbane (2.000÷20.000 pass./ora/dir.), non avevano, prima dello sviluppo dei sistemi innovativi, che la possibilità di essere prevalentemente soddisfatti da moderni tram in sede protetta; questi, comunque, non permettono di esaudire domande superiori a 3.000-3.500 pass./ora/dir. (con conducente) e possono essere previsti solo se è possibile l'inserimento nell'esistente (a raso). I sistemi non convenzionali, completamente automatici, richiedono una sede separata e opportunamente protetta. Il loro sviluppo è praticamente iniziato nel periodo 1975-80 ed è andato consolidandosi in questi ultimi anni. La progettazione e messa in esercizio di sistemi di trasporto urbano è andata quindi dirigendosi verso impianti che uniscano prestazioni simili a quelle delle metropolitane tradizionali – velocità ed accelerazione – con dimensioni che molto si avvicinano a quelle dei tram oppure sistemi che derivano dagli impianti a fune.

2. Aspetti progettuali e di esercizio che influenzano le prestazioni

La definizione dell'offerta del servizio è particolarmente complessa, essendo svariate le dimensioni che la individuano; per ognuna di queste è però possibile introdurre indicatori quantitativi o qualitativi in grado di descrivere il servizio di trasporto e, soprattutto, di rendere raffrontabili le prestazioni dei diversi approcci tecnologici atti a soddisfare la domanda di mobilità. Di seguito saranno discussi gli indicatori descrittivi delle caratteristiche prestazionali dei sistemi di trasporto collettivo metropolitano ad impianto fisso; il termine *Sistema di Trasporto* verrà utilizzato nella sua accezione di mezzi (veicoli) e tecnologie che realizzano la produzione del servizio di trasporto.

L'analisi di differenti sistemi di trasporto collettivo in sede propria richiede la valutazione degli attributi – quantitativi e qualitativi – che caratterizzano il servizio. Tali attributi, o indicatori, possono essere raggruppati in categorie, ognuna delle quali individua una diversa dimensione descrittiva dell'offerta di tra-

sporto; esistono almeno tre categorie di attributi:

1. le *Prestazioni*: esplicitano la produttività del servizio attraverso le caratteristiche del sistema di trasporto, le caratteristiche spazio-temporali del servizio, le correlazioni con la struttura dell'insediamento e la distribuzione della domanda;
2. i *Costi*: descrivono le caratteristiche economico-finanziarie del sistema; quantificano il capitale necessario alla messa in funzione dell'impianto ed i costi di esercizio;
3. gli *Effetti indotti*: la categoria racchiude gli elementi descrittivi dell'impatto dell'infrastruttura di trasporto sul *sistema dei trasporti* e, più in generale, sul *sistema urbano* oggetto di intervento; ogni intervento produce effetti nel breve periodo dovuti all'implementazione del cantiere, nel medio periodo derivanti dalla messa in funzione del sistema, ed anche nel lungo periodo provocando mutazioni nell'uso del suolo e nello sviluppo territoriale ed economico dell'area urbana.

Ognuna di queste classi deve fornire gli elementi adeguati per valutare la soddisfazione delle diverse esigenze, proprie di ciascuna delle parti interessate da un intervento sul *sistema dei trasporti*: gli Utenti, gli Esercenti, la Comunità locale; nella Tabella 1 viene proposta una classificazione degli elementi fondamentali da considerare, raggruppati in relazione alla classe di indicatori e soggetti coinvolti. La misura globale delle caratteristiche del servizio che riguardano gli utenti è denominata Livello di Servizio; gli indicatori che la descrivono interpretano le prestazioni percepite dall'utente, quindi le connessioni fra le prestazioni proprie del sistema (capacità dei veicoli, velocità, comfort, ecc.) ed i parametri del servizio (frequenza, tariffe, ecc.).

Prescindendo dalle specificità organizzative e socioeconomiche della mobilità e del territorio caratterizzanti il particolare sistema urbano, si procede di seguito all'analisi degli elementi connessi alle peculiarità impiantistiche del sistema di trasporto. Per ogni sistema di trasporto, sia esso continuo o discontinuo, a impianto fisso o a guida libera, è possibile esprimere le relazioni che legano fra loro le principali grandezze che ne caratterizzano le prestazioni.

2.1 Il tempo di viaggio

Per **tempo di viaggio** T_v s'intende il tempo complessivo necessario ad un utente per compiere il tragitto origine-destinazione; questo tempo può essere suddiviso in una fase di spostamento all'esterno del sistema

ATTORI COINVOLTI	INDICATORI		
	Prestazioni	Costi	Effetti indotti
Utenti	Comfort Puntualità Velocità Accelerazione	Tariffe	Impatto ambientale Aumento/Riduzione della mobilità Rumore
Esercenti	Disponibilità Affidabilità Portata Sicurezza	Costi di gestione Efficienza economica	Attrattività
Comunità locale	Area di influenza	Costi di impianto Efficacia economica	Emissioni inquinanti Riequilibrio territoriale Riequilibrio mobilità

Tabella 1. Classificazione degli indicatori di valutazione delle esigenze dei vari attori coinvolti.

(accesso), ed una durante la quale l’utente viene trasportato. Per una linea di lunghezza L , il T_v può essere valutato come somma di due componenti:

$$T_v = T_{\text{accesso}} + T_{\text{percorrenza}}$$

- 1) il **tempo di percorrenza**, valutato come tempo trascorso a bordo veicolo, include il perditempo alle fermate dovuto all’incarozzamento; tale valore incide in maniera sensibile nei sistemi urbani (con distanziamenti modesti fra le fermate), ma è significativo anche nei sistemi metropolitani o suburbani; questo aspetto del problema viene affrontato con il miglioramento dell’accessibilità dei veicoli, mediante l’adozione di *pianali ribassati* e mediante l’aumento del numero e della *dimensione delle porte*¹;
- 2) il **tempo di accesso**, viene computato come somma del tempo di avvicinamento e di abbandono del sistema (decrecente con il crescere del numero di stazioni in linea, ovvero con il diminuire della distanza media di avvicinamento a piedi) più il tempo di attesa ai terminali:

$$T_{\text{accesso}} = T_{\text{avvicinamento}} + T_{\text{attesa}}$$

dove:

il $T_{\text{avvicinamento}}$ rappresenta il tempo necessario all’utente per compiere il tragitto *luogo d’origine - stazione* più il tragitto *stazione - destinazione*; esso è funzione della velocità di marcia del pedone² e della distanza fra il luogo di origine (destinazione) e la stazione di accesso al sistema di trasporto³;

il T_{attesa} è il tempo trascorso in attesa del mezzo di trasporto; per sistemi in sede propria, ad alta regolarità di servizio, e per intervalli di passaggio dei veicoli inferiori a 10’ - 12’, il tempo medio di attesa è pari alla metà dell’intervallo fra il passaggio di due convogli successivi⁴. Tale tempo di attesa è una componente mal sopportata dall’utente del sistema e quindi assume un maggiore peso rela-

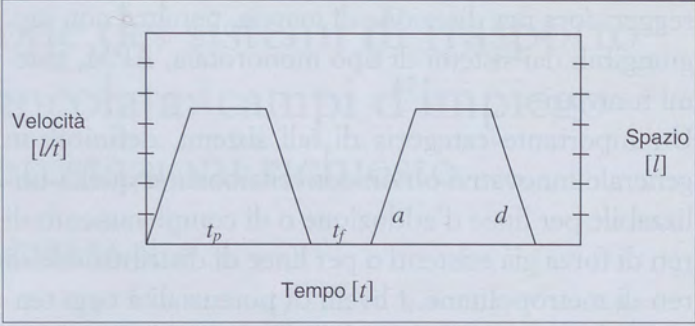


Figura 1. Diagramma del moto.

tivo nella valutazione del livello di servizio oltre che nella scelta modale. Quanto affermato ha avuto una quantificazione in uno studio [Lgoru, 1998] ove detto tempo viene ad assumere un peso 2.84 volte maggiore al valore del tempo reale.

2.2 Il diagramma del moto

I valori di esercizio – velocità (V_{max}), accelerazione (a) e decelerazione (d) – rappresentano le proprietà del sistema e ne descrivono le prestazioni cinematiche; tali valori sono riferiti al moto dei veicoli, sono funzione della tecnologia usata e del comfort di marcia, quindi della tollerabilità da parte degli utenti; V_{max} , a e d definiscono i rapporti fra le dimensioni fisiche spazio e tempo durante il moto; nella [Fig. 1 è riportato il diagramma teorico del moto di un veicolo che si muove tra stazioni consecutive. L’inclinazione della curva velocità/tempo individua i valori d’accelerazione e decelerazione del veicolo. Il tempo di percorrenza t_p dello spazio l , distanza fra due fermate successive, è dato da:

$$t_p = \frac{V}{a} + \frac{l - \frac{V^2}{2a} - \frac{V^2}{2d}}{V} + \frac{V}{d}$$

In merito alle prestazioni dei veicoli in fase di *accelerazione* e *frenatura*, si constata che, per i sistemi su gomma, i limiti superiori sono legati alla *sicurezza* (e *comfort*) dei viaggiatori, anche perché in tali sistemi i passeggeri solitamente possono viaggiare in piedi; nei sistemi su ferro il problema è solitamente di tipo meccanico, in quanto legato ai limiti di *aderenza* dell’accoppiamento ruota-rotaia.

La velocità massima raggiungibile dai mezzi risulta quindi significativa ai fini della minimizzazione del tempo ciclo nei sistemi di trasporto a guida vincolata e con *distanza fra le fermate* superiore ai 200-300 m; normalmente nei sistemi tradizionali di tipo urbano il

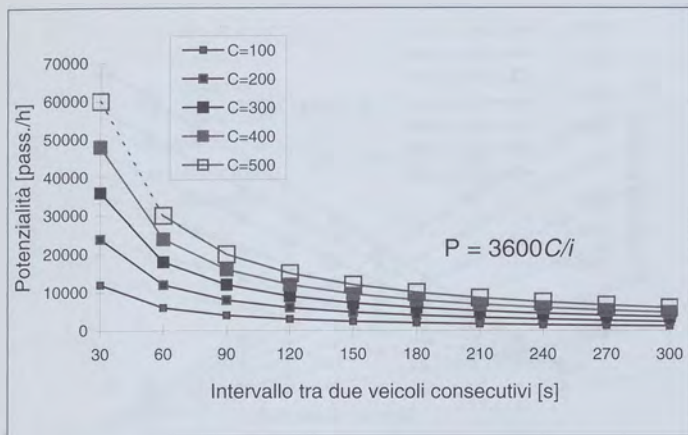


Figura 2. Potenzialità in funzione dell'intervallo fra i veicoli al variare della capacità degli stessi (il grafico riportato è esclusivamente di tipo illustrativo poiché risulta evidente che sistemi con $C=500$ non sono in grado di garantire un intervallo tra due passaggi consecutivi $i = 30$ s).

diagramma del moto risulta in sostanza triangolare, potendosi mantenere la velocità di regime solo per brevi periodi.

2.3 La potenzialità del sistema di trasporto

Per un sistema di trasporto cadenzato, la potenzialità di trasporto P , può essere espressa come:

$$P = 3600 \cdot \frac{C}{i} \left[\frac{\text{pass.}}{h} \right]$$

essendo:

C = capacità del singolo veicolo [passeggeri];

i = intervallo intercorrente fra due passaggi consecutivi [s].

Dalla rappresentazione dell'andamento di P in funzione di i [Crotti, 1994] per diversi valori di C (Figura 2), si evidenzia come la medesima potenzialità di trasporto possa essere ottenuta con *veicoli di ridotte dimensioni ad elevato cadenzamento* oppure con *convogli di elevata capienza a più bassa frequenza nei passaggi*. Questo implica – a parità di potenzialità, data la proporzionalità inversa tra le dimensioni dei veicoli e la loro frequenza di passaggio nonché l'esigenza di offrire servizi come indicato nel § 1 – la necessità di avere un'elevata automazione.

Nel grafico di Figura 3, la potenzialità di trasporto viene espressa in funzione della capacità del singolo veicolo o convoglio al variare dell'intervallo fra i passaggi.

Se si volgono evidenziare le prestazioni del sistema in relazione alle risorse occorrenti per l'esercizio del medesimo:

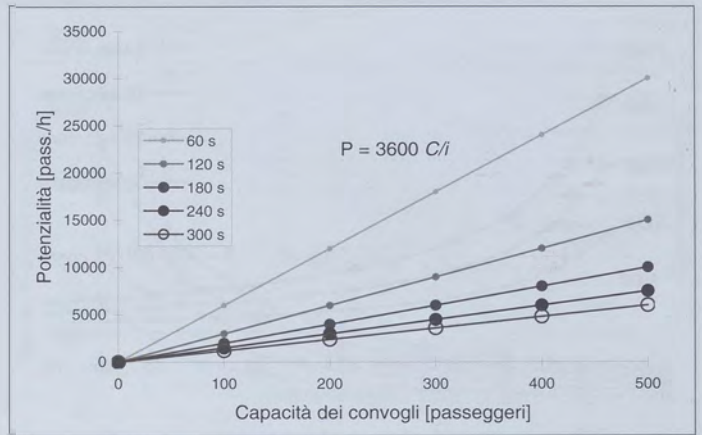


Figura 3. Potenzialità in funzione della capacità dei veicoli e dell'intervallo tra gli stessi.

$$P = 3600 \cdot \frac{C \cdot N}{T_c} \left[\frac{\text{pass.}}{h} \right]$$

con:

N = numero di veicoli, o convogli, posti in linea

T_c = tempo occorrente al mezzo per effettuare un ciclo d'andata e ritorno fra i capilinea [s].

Definita la capienza del veicolo o convoglio, la rappresentazione della potenzialità in funzione del tempo di ciclo fornisce il fabbisogno di mezzi occorrenti per l'espletamento del servizio (Figura 4).

Analogamente, si può rappresentare l'andamento di P in funzione del numero di veicoli, per assegnati valori di C/T_c , corrispondenti, a meno di un fattore di scala, al coefficiente angolare delle rette (Figura 5).

La semiretta più bassa ($C/T_c = 0.014$), può riferirsi ad un servizio con veicoli aventi capienza di 100 viaggiatori su di una linea con tempo di ciclo pari a 2 ore, così come ad un servizio su di una linea con tempo di percorrenza dimezzato, con veicoli di capienza doppia.

Nel caso di un servizio di linea con tempo di percorrenza uguale nei due sensi di marcia, esplicitando il T_c [s] in funzione del tempo di percorrenza della linea T_p (inclusi i tempi di sosta alle fermate) e del tempo di sosta al capolinea T_s , si ha:

$$T_c = 2 \cdot (T_s + T_p)$$

quindi la potenzialità del servizio può essere espressa come:

$$P = 3600 \cdot \frac{C \cdot N}{2 \cdot (T_p + T_s)} = 1800 \cdot \frac{C \cdot N}{T_p + T_s} \left[\frac{\text{pass.}}{h} \right]$$

Richiamando il concetto di velocità commerciale come rapporto fra lunghezza della linea L [m], per

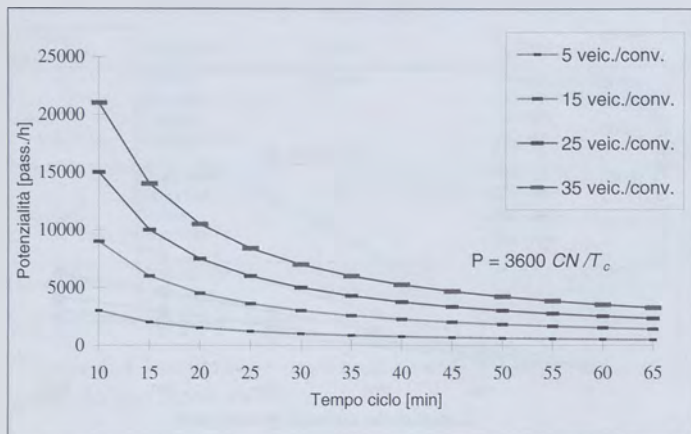


Figura 4. Potenzialità del sistema in funzione del tempo ciclo, al variare del numero dei veicoli in linea, con prefissata capacità dei veicoli ($C=100$).

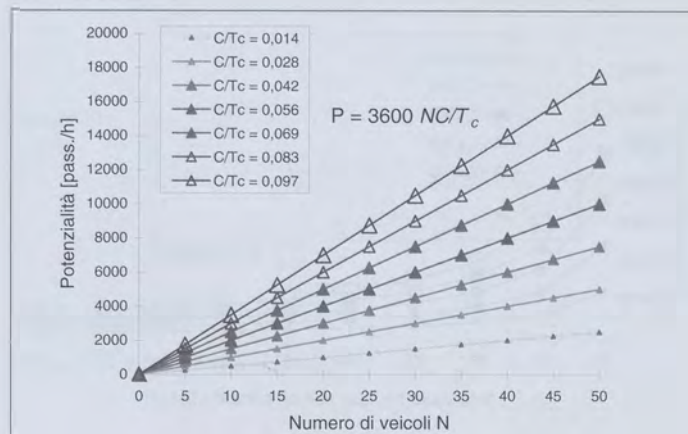


Figura 5. Potenzialità in funzione del numero dei veicoli al variare del rapporto C/T_c .

ipotesi uguale nei due sensi di marcia, e tempo di percorrenza T_p [s]:

$$V_c = \frac{L}{T_p} = \frac{2L}{2T_p} = \frac{2L}{T_c - 2T_s} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

si può esprimere la potenzialità di trasporto in funzione di V_c e T_s ; infatti, esplicitando T_c si ha:

$$T_c = \frac{2L + 2V_c \cdot T_s}{V_c} = \frac{2L}{V_c} + 2T_s \quad [s],$$

$$\text{quindi } P = 1800 \cdot \frac{C \cdot N}{\frac{L}{V_c} + T_s} \quad (1)$$

Si evidenzia come V_c , a parità di risorse impiegate (capacità del singolo veicolo, numero di veicoli, lunghezza della linea, tempo di sosta alle fermate), condizioni i costi ed il livello del servizio offerto, in quanto all'aumentare della V_c aumenta anche la potenzialità di trasporto del servizio stesso.

Nel caso di un sistema di *trasporto continuo*, con veicoli con equidistanza pari ad e [m] che si muovono con una velocità costante ed uniforme V :

$$P = 3600 \cdot \frac{C \cdot V}{e} = 3600 \cdot \frac{C}{i} \quad \left[\frac{\text{pass.}}{h} \right]$$

Tale espressione può essere considerata, con buona approssimazione, analoga alla (1) nel momento in cui T_s sia trascurabile rispetto a T_p ($T_p \gg T_s$), il che equivale a considerare:

$$V_c = V_{\text{media}} = \frac{2L}{T_c} \approx \frac{L}{T_p} \approx \frac{e}{i}$$

Utilizzando la relazione:

$$P = 1000 \cdot \frac{C \cdot V_{\text{media}}}{e} \quad \left[\frac{\text{pass.}}{h} \right]$$

dove la velocità media è espressa in Km/h, l'equidistanza in m, possono essere ricavati i grafici che esprimono la potenzialità in funzione della V_{media} , dell'equidistanza e della capacità dei veicoli. La Figura 6 mostra la relazione tra la potenzialità e la capacità dei veicoli al variare della velocità media: l'equidistanza è stata posta, a titolo esemplificativo, uguale a 1.000 m, tuttavia un'equidistanza minore, in particolare per i sistemi di derivazione funiviaria, apparirebbe più veritiera e mostrerebbe, quindi, immediatamente il campo di applicabilità del sistema.

Ad esempio, supponendo una distanza tra le fermate (e) pari a 500 m e, conoscendo la velocità media (esempio, 20 km/h) e la capienza dei veicoli ($C = 100$ pass.), si può vedere come la potenzialità espressa in tali condizioni sia circa pari a 4.000 pass./h, tipica di un sistema di derivazione funiviaria.

La formula indicata può essere utilizzata per impianti fissi con trazione a fune, dove l'equidistanza fra i veicoli viene mantenuta costante lungo tutta la linea: nei sistemi automotori, dove ciò non necessariamente avviene, è preferibile utilizzare le formule proposte all'inizio del paragrafo e rappresentate nei grafici precedenti.

La ricerca della *distanza ottimale* fra le fermate di una linea di trasporto è sempre stata un problema di ricerca di ottimo, dovendosi da un lato correlare il costo di trasporto con la velocità commerciale e, dall'altro, sti-

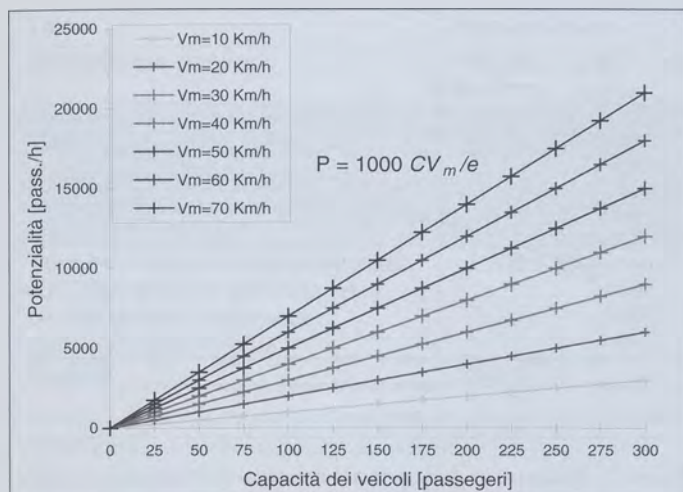


Figura 6. Potenzialità in funzione della capacità dei veicoli al variare della velocità media di percorrenza della linea e per equidistanza fra i veicoli costante ($e = 1000 \text{ m}$).

mare il livello di utenza che accede al sistema al variare della lunghezza media della tratta, quindi del percorso a piedi richiesto per raggiungere la fermata.

2.4 I parametri fondamentali per la progettazione e l'esercizio

In sintesi, tra i parametri che condizionano la velocità commerciale dei sistemi di trasporto, si evidenziano:

- i tempi per l'incarozzamento dei passeggeri alle fermate;
- le prestazioni in accelerazione e frenatura;
- la velocità massima del sistema;
- la distanza media tra le fermate.

L'aumento della *velocità commerciale* è l'obiettivo che perseguono sia il vettore che l'utente in quanto entrambi ne traggono benefici:

- a) a parità di servizio offerto, l'aumento della velocità commerciale consente un risparmio di personale e veicoli al vettore, infatti:

$$N = \frac{T_c}{i} = \frac{2T_s + \frac{2L}{V_c}}{i} \quad (\text{se } V_c \uparrow \Rightarrow T_c \downarrow \text{ e } N \downarrow);$$

tale fattore assume importanza soprattutto quando ci troviamo di fronte a sistemi *non completamente automatici*, ove quindi è necessaria la presenza di personale per ogni veicolo: in tal caso un aumento della velocità commerciale comporterebbe sostanziali risparmi nei costi d'esercizio;

- b) una maggior velocità commerciale, a parità di risorse impiegate, consente al vettore di offrire un servizio a maggior frequenza e tempo di percorrenza minore:

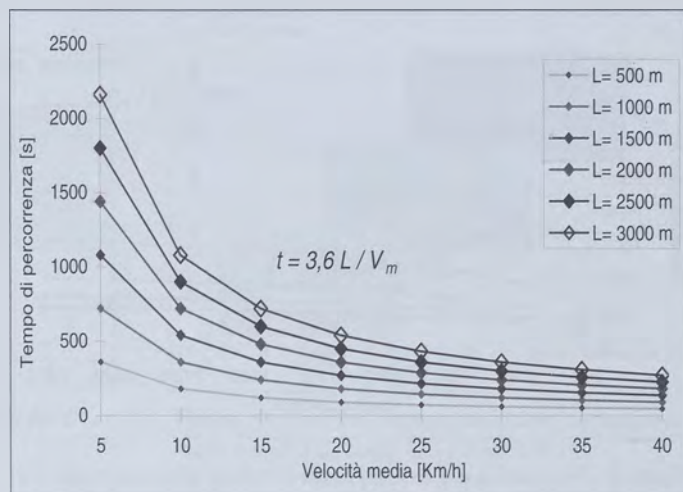


Figura 7. Tempi di percorrenza della linea per un sistema a navetta semplice.

$$i = \frac{T_c}{N} = \frac{2T_s + \frac{2L}{V_c}}{N} \quad (\text{se } V_c \uparrow \Rightarrow T_c \downarrow \text{ e } i \downarrow);$$

si ha quindi, un sistema maggiormente attrattivo per l'utente e più remunerativo per il gestore.

Per un sistema a navetta semplice (a va e vieni: un solo veicolo con due fermate sulle estremità) si può evidenziare il tempo di percorrenza della linea al variare della velocità media (Figura 7).

Indicando con:

tf_i = tempo di sosta alla fermata i -esima;

n = numero delle tratte di cui è composta la linea;

l = lunghezza media delle tratte;

T_{fl} = valore medio del tempo di sosta alla fermata;

il tempo di percorrenza T_p della linea si può esprimere come sommatoria dei tempi elementari tp occorrenti per percorrere la singola tratta:

$$T_p = \sum_{i=1}^n tp_i + \sum_{i=1}^{n-1} tf_i$$

Il ciclo T_c si può esprimere come segue:

$$\begin{aligned} T_c &= 2 \cdot (T_p + T_{inversione} + T_{f.capolinea}) = \\ &= 2 \cdot [n \cdot (T_{accelerazione} + T_{regime} + T_{decelerazione}) + \\ &\quad + (n-1) \cdot T_{fl} + T_{inversione} + T_{fc}] \end{aligned}$$

essendo:

$$T_p = n \cdot (T_{accelerazione} + T_{regime} + T_{decelerazione}) + (n-1) \cdot T_{fl}$$

Supponendo $T_{fc} = T_{fl}$ risulta:

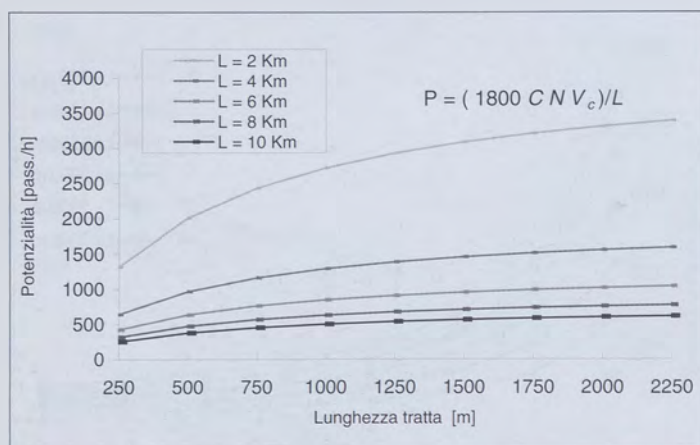


Figura 8. Potenzialità del sistema al variare della distanza media fra le fermate, una volta prefissata la lunghezza della linea.

$$T_c = 2 \cdot [n \cdot (T_{acc.} + T_{regime} + T_{dec.} + T_{f^*}) + T_{inversione}]$$

dove: $T_{f^*} = T_{fc} = T_{fl}$

Indicando il tempo ciclo T_c in funzione della velocità massima di regime V , dell'accelerazione media in avviamento a , della decelerazione media in frenatura d e della lunghezza media della tratta l , si ottiene:

$$T_c = 2 \cdot \left[n \cdot \left(\frac{V}{a} + \frac{l - S_a - S_f}{V} + \frac{V}{d} + T_{f^*} \right) + T_{inv.} \right]$$

Esprimendo lo spazio di accelerazione S_a e lo spazio di frenatura S_f in funzione della velocità massima di regime V :

$$S_a = \frac{V^2}{2a} \quad \text{e} \quad S_f = \frac{V^2}{2d}$$

risulta:

$$T_c = 2 \cdot \left[n \cdot \left(\frac{l}{V} + V \frac{a+d}{2ad} + T_{f^*} \right) + T_{inv} \right]$$

L'espressione di T_c per valori di $T_{f^*} = 20$ s, $T_{inv} = 60$ s e $a=d=1$ m/s², diviene:

$$T_c = 2 \cdot \left[n \cdot \left[\left(\frac{l}{V} + V \right) + 20 \right] + 60 \right]$$

L'incidenza della distanza media fra le fermate sulla velocità commerciale, quindi sulla potenzialità del servizio, assegnate le prestazioni dei veicoli e per diversi valori della lunghezza di linea, è rappresentata in Figura 8; la potenzialità è espressa come:

$$P = 1800 \cdot \frac{(C \cdot N \cdot V_c)}{L} \quad [\text{pass./h/dir.}]$$

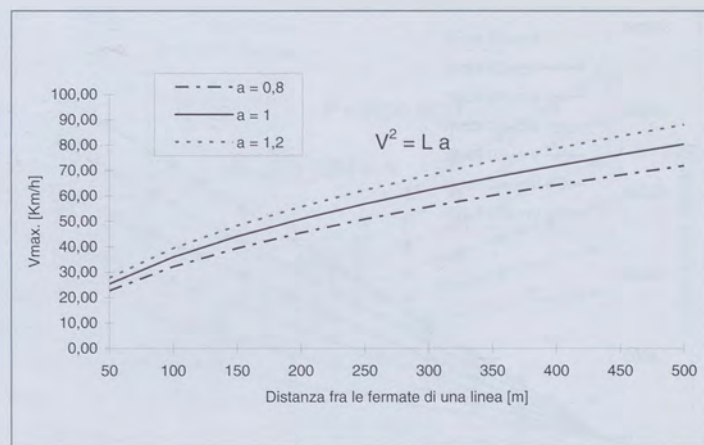


Figura 9. Andamento della velocità massima raggiungibile in linea al variare dello spazio di percorrenza.

Nell'ipotesi di: C (capacità del veicolo) pari a 290 pass.; N (numero di veicoli in linea) pari a 1; V_c (velocità commerciale) pari a L/T_p , con L lunghezza della linea e T_p (tempo di percorrenza linea) pari a $n \cdot (T_a + T_r + T_d) + nf \cdot T_s$; T_a è il tempo di accelerazione (con $a = 1$ m/s²); T_r è il tempo di moto a regime (con $V_{max} = 50$ Km/h); T_d è il tempo di decelerazione (con $d = 1$ m/s²); n è il numero di tratte; nf è il numero di fermate in linea; T_s (tempo di sosta alle fermate) pari a 20 s. Si può esprimere la velocità di regime che rende minimo il tempo di percorrenza tra due fermate.

$$L \cdot a = V^2$$

con:

a = accelerazione e decelerazione media.

L = distanza fra le fermate;

Se l'accelerazione è costante e pari a 1 m/s²,

Sostituendo tale legame nell'espressione del T_c , si ottiene:

$$T_c = 2 \cdot [n \cdot (2\sqrt{L} + 20) + T_{inv}]$$

In questo modo si riesce a legare T_c a meno di una costante T_{inv} con le variabili indipendenti L ed n :

$$T_c = f(n, L) + K$$

Il tempo minimo di percorrenza di una tratta L si ottiene quando il diagramma di moto (V, T) ha andamento di tipo triangolare. È possibile rappresentare graficamente l'andamento della velocità in funzione della distanza fra le fermate per differenti valori di a (Figura 9); in questo modo è possibile individuare per ogni sistema di trasporto la distanza ottimale fra le fermate che garantisce il minimo tempo di percorrenza: una distanza inferiore impedisce al mezzo di raggiungere la propria velocità massima; una distanza superio-

Tipo	Pass./ora/direz.
Metropolitana classica	~ 20.000 ÷ 45.000 o oltre (es. sistemi tipo ferrov., RER)
Sistemi di derivazione metropolitana	~ 8.000 ÷ 21.000
APM (Automatic People Mover), sistemi di derivazione funiviaria	~ 2.000 ÷ 10.000
Monorotaie, tram automatizzati (sede interamente protetta)	~ 1.000 ÷ 8.000
Tram innovativi (massime potenzialità con i tram di nuova generazione, a pianale ribassato ed in sede completamente protetta)	~ 2.000 ÷ 3500
Autobus	< 2.000

Tabella 2. Potenzialità orarie di massima dei sistemi convenzionali e non per il trasporto pubblico (valori indicativi di massima).

re presenta tratti di moto a $V=V_{max}=cost.$ (vedi Figura 1) con conseguente abbassamento della velocità media di percorrenza della tratta. Entrando, quindi, nel grafico con il valore di velocità massima tipica del sistema e, considerate le proprie caratteristiche d’accelerazione e decelerazione, è possibile determinare facilmente la distanza ottimale di ciascun sistema.

Possiamo quindi notare come i sistemi automotori necessitino, per sfruttare appieno le loro caratteristiche, di distanze fra le fermate decisamente superiori a quelle idonee per un sistema a fune, i quali, invece, anche per le loro caratteristiche di flessibilità sono più consoni ad aree ad alta densità di funzioni urbane con distanze tra le fermate di appena 120-150 m.

3. Differenti ipotesi di classificazione

Come risposta alle esigenze attuali della domanda di trasporto pubblico e come emerso dai paragrafi precedenti, i sistemi di trasporto non convenzionali risultano alquanto differenziabili per tipologia: ne esistono sia di derivazione metropolitana sia con caratteristiche in parte simili a quelli funiviari; tale versatilità è riconoscibile soprattutto nella capienza variabile dei veicoli (da pochi posti per vettura ad alcune centinaia per convoglio) e nella variabilità del cadenzamento del servizio o dell’interdistanza tra due veicoli successivi. Dalla combinazione di tali fattori deriva un’offerta estesa in termini di potenzialità (Tabella 2, Figura 10); la potenzialità oraria non esaurisce tuttavia i differenti tipi di classificazioni operabili sui sistemi non convenzionali (Tabella 3).

Si può notare dunque il vasto campo delle applicazioni utilizzabili: sistemi con trazione a fune, su gomma diversamente guidati ed appoggiati, su ferro con motori lineari, a sostentamento magnetico, scale e

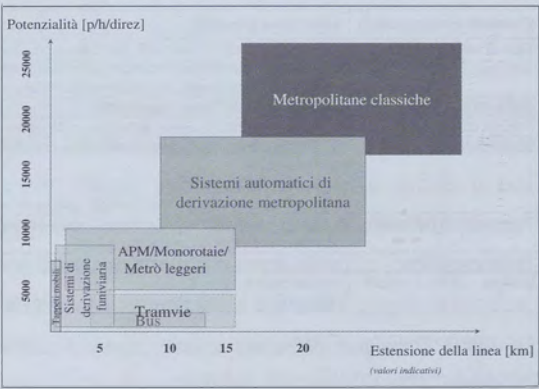


Figura 10. Campo d’impiego dei sistemi di trasporto e breve e media distanza (valori indicativi).

tappeti mobili a velocità variabile. Tra tutte, non vengono qui menzionate quelle relative a scale e tappeti mobili, né quelle che utilizzano per la propulsione il motore ad induzione lineare (sincrono o asincrono) e, come modalità di sostentazione, quella magnetica. Tali applicazioni sono in genere utilizzate per linee ad elevatissima domanda di tipo extraurbano (UTDC in Canada, Transrapid in Germania, Maglev in Gran Bretagna, ecc.): sperimentazioni in ambito urbano sono state attuate con veicoli azionati da un motore lineare sincrono a statore lungo e loro sostentamento mediante magneti permanenti, ma l’esercizio è stato sospeso per gli eccessivi costi.

4. Prestazioni dei sistemi non convenzionali per la mobilità urbana

In merito ai vantaggi dei sistemi non convenzionali e dell’automazione completa in generale, si possono ricordare:

- miglioramento dell’esercizio e della sicurezza, quindi maggiore attrattività;
- minori costi di costruzione rispetto alle metropolitane classiche;
- contenuti costi d’esercizio (soprattutto per mancanza di personale a bordo);
- elevata adattabilità al percorso;
- contenuto impatto ambientale (rumori, vibrazioni, emissioni).

Il miglioramento dell’esercizio dipende essenzialmente dall’automazione globale e, in particolare, dall’eliminazione del macchinista: a parità d’offerta, il costo non aumenta apprezzabilmente se si fa circolare, ad esempio, un veicolo ogni minuto o un treno di quattro veicoli ogni quattro minuti; si deve inoltre tenere conto che questa possibilità (poiché nelle ore serali i

Elementi caratterizzanti	Alternative possibili
Tipo di servizio	collegamenti diretti (con fermate facoltative), con freq. fissa o variabile collegamento punto - punto (navetta), con frequenza fissa o variabile corse circolari (ad anello), con movimento unidirezionale continuo
Grado di libertà	percorso guidato, libero o bimodale
Principi d'appoggio	sospensione sotto la sede; appoggio sulla sede; a cavallo della sede
Sostentazione	ruote o rulli, in acciaio; pneumatici; ruote con bordino cuscino d'aria sospensione magnetica funi metallica e relativa via di corsa; catene e relativa via di corsa
Trasmissione del moto	mediante ruote (acciaio o gomma), fune o catena con reazione magnetica (motori lineari)
Tipo di propulsione	motore elettrico rotativo, a combust. interna o a induzione lineare
Dimens. cabine e veicoli	piccole cabine; grandi cabine unità singole, unità di convoglio, unità senza fine (nastri)

Tabella 3. Principali elementi caratterizzanti i sistemi non convenzionali per una loro classificazione.

programmi d'esercizio sono determinati più dallo standard del servizio che dai passeggeri da servire), può ridurre anche le vetture-chilometro, oltre a migliorare lo standard. È perciò possibile aumentare la frequenza ed adeguare rapidamente il servizio offerto alla reale domanda. La frequenza elevata garantita con sistemi completamente automatici, ne aumenta anche l'attrattività.

Il contenimento dei *costi di costruzione* è relativo al costo globale di opere civili, veicoli ed attrezzature. Le vetture dei veicoli innovativi sono generalmente più piccole di quelle delle metropolitane classiche; a fronte di un minor costo del veicolo, aumenterà quello derivante dalle ridondanze dell'azionamento ed il numero dei veicoli. Pur avendo veicoli più leggeri, non si possono attendere risparmi sensibili sul materiale rotabile così come sulle attrezzature. Infatti, l'automazione comporta maggiori oneri, rispetto alle metropolitane, sia per gli impianti sia per i veicoli (equipaggiamenti duplicati, telemisure, telecomandi, protezioni); a questi si aggiungono maggiori costi per studi e maggiori tempi per prove sul sistema. Rispetto alle metropolitane, alcuni risparmi si possono realizzare eliminando i segnali luminosi a terra e per l'assenza delle cabine di guida, con relativo banco di manovra. Il vero risparmio si ha invece nelle opere civili (gallerie e stazioni), essendo i veicoli dei sistemi non convenzionali di dimensioni più piccole di quelli tradizionali (2÷2,5 m di larghezza, contro 2,4÷3). Se si tiene presente che il costo delle opere civili rappresenta circa il 50-60% del valore dell'opera, i costi di costruzione del sistema dovrebbero risultare comunque inferiori, se ricondotti a potenzialità equivalenti, rispetto alla metropolitana.

Il contenimento dei *costi d'esercizio* consegue essenzialmente alla riduzione del personale dell'azienda esercente. L'entità di tali risparmi dipende da numerosi fattori tecnici, dalle condizioni locali e dalla potenzialità di trasporto offerta ed è quindi difficilmente quantificabile se non con opportune analisi di bilancio. La maggior *adattabilità al percorso* consegue princi-

palmente all'adozione di ruote in gomma, con aumento dell'aderenza sulla via di corsa; è così possibile superare pendenze più elevate, generalmente intorno al 10%, contro il 3,5% per le ferrovie. Anche i raggi di curvatura possono essere minori, poiché l'interperno tra i carrelli è inferiore rispetto a quello previsto nei veicoli tradizionali.

Il contenuto *impatto ambientale* (oltre che visivo, nelle zone in viadotto) è dovuto all'abbattimento delle vibrazioni negli edifici, alla minore rumorosità interna ed esterna ai veicoli. Sulle vecchie metropolitane, si misuravano all'esterno da 90 a 100 dB(A), ridotti con il materiale moderno a circa 78 dB(A). I veicoli su pneumatici consentono di mantenere i rumori sotto i 75 dB. I sistemi non convenzionali ammettono [Vuchic, 1986] il raggiungimento di valori inferiori, valutabili intorno ai 70 dB(A). Una metropolitana può definirsi leggera allorché ammetta livelli di rumorosità contenuti, non superiori ai 72 dB(A), ingombri ridotti dei veicoli (solitamente sui 12 m di lunghezza e ~2 m di larghezza), manovre su tracciati tortuosi per seguire la viabilità esistente.

5. *Considerazioni conclusive*

L'analisi condotta fornisce indicazioni sui campi d'applicazione dei diversi sistemi di trasporto pubblico innovativi. I sistemi considerati a titolo esemplificativo coprono una gamma tipologica assai vasta e soddisfano differenti funzioni di domanda; considerando le caratteristiche d'esercizio del servizio, si hanno:

- sistemi di linea (tramvie, metropolitane a guida automatica, sistemi di derivazione funiviaria tipo funicolari).
- sistemi a navetta semplice;
- sistemi a navetta con fermate intermedie;

Tali sistemi possono soddisfare in generale una domanda di città di medie dimensioni con portate variabili fra i 1.000 pass./h (tipo funiviario, a va e vieni) ed i 20-25.000 pass./h (metropolitane a guida

automatica), passando attraverso ai sistemi ferrotranviari ad elevata automazione ed in sede protetta.

Come illustrato, la disponibilità delle curve prestazionali del sistema di trasporto è di notevole ausilio per una ricerca immediata dei parametri considerati; per un sistema di tipo funicolare, ad esempio, che rappresenta un tipico sistema "a va e vieni", i diagrammi consentono l'individuazione della potenzialità di trasporto massima ottenibile per una determinata lunghezza della linea e per il numero di fermate intermedie presenti (sistema a navetta semplice con stazioni intermedie).

Per i sistemi di trasporto ad impianto fisso, eventualmente con veicoli automatici (tipo tramvie, *people-mover* o metrò leggeri), i grafici evidenziano l'incidenza della distanza media fra le fermate sulla velocità commerciale ottenibile, ovvero la potenzialità di trasporto del sistema in funzione dei tempi di percorrenza e delle caratteristiche del sistema. Tali parametri, correlati con i costi di impianto e di esercizio del sistema, possono orientare la scelta del mezzo più idoneo a soddisfare la domanda di trasporto su determinate direttrici, evidenziando le prestazioni che concorrono alla determinazione dei costi di esercizio da un lato e quelle che determinano il livello di servizio offerto dall'altro e quindi, in ultima analisi, l'utenza potenziale ovvero il livello dei ricavi.

Le odierne metropolitane leggere sono in grado di assicurare, in termini di assoluta regolarità, e cioè in sede totalmente riservata, la mobilità di alcune migliaia di viaggiatori per ora e per direzione, contro i 20-50.000 (o oltre, per sistemi di tipo ferroviario) del Full-Metro, e una velocità commerciale compresa tra 25 e 50 km orari, cioè simile a quella del Full-Metro. Caratteristiche tipiche di questi sistemi sono i più bassi costi d'investimento, i percorsi prevalentemente a cielo aperto, i bassi costi d'esercizio conseguibili, oltre che con una notevole semplificazione tecnologica del materiale rotabile, anche con la completa automazione ed infine, l'elevata flessibilità della capacità di trasporto.

La preferenza espressa dagli esercenti per il sistema leggero è determinata fondamentalmente dalle più ridotte dimensioni dei volumi di traffico passeggeri servibili (le città che potenzialmente potranno in futuro realizzare nuovi sistemi di trasporto sono, infatti, prevalentemente di medie dimensioni), dalla maggiore elasticità nel coprire differenti livelli di domanda di trasporto e dalla maggiore elasticità sia in termini di investimenti infrastrutturali che di consumi di energia rispetto al Full-Metro.

Nel quadro della possibile offerta dell'industria ferrotranviaria per il trasporto urbano occorre includere i sistemi non convenzionali che, pur classificati come

metropolitane leggere, si differenziano da queste per alcune caratteristiche peculiari: tipicamente dimensioni più contenute (vetture con capacità anche al di sotto dei dieci passeggeri), tecnologie di alimentazione e sostentazione innovative, totale automazione nella guida e nel controllo, raggi di azione limitati e spesso chiusi in determinate aree (collegamenti all'interno di fiere o università, collegamenti città-aeroporti ecc.). Queste caratteristiche, comunque, non sono presenti contemporaneamente in ciascun sistema. Attualmente nel mondo ve ne sono in servizio alcune decine [Jane's, 2001] costruiti, principalmente, in Europa (Francia, Germania e Gran Bretagna), in America (Usa e Canada) ed in Giappone.

La maggior adattabilità al percorso è dovuta principalmente al fatto che nei sistemi non convenzionali vengono superati i problemi dell'aderenza ruota/rotaia; infatti, nei sistemi con ruote di gomma, essa aumenta notevolmente con il contatto gomma-pista di rotolamento, mentre nei sistemi con motore lineare gli sforzi sono trasmessi tra induttore e indotto posti sul veicolo o sulla sede. È così possibile *superare pendenze più elevate* che, generalmente, si aggirano intorno al 10% contro il 3,5% consigliato dalle ferrovie. Anche i raggi di curvatura in linea possono essere più piccoli poiché nei veicoli non convenzionali l'interperno tra i carrelli è sempre più piccolo rispetto a quello dei veicoli tradizionali: è, quindi, evidente la maggiore adattabilità dei sistemi non convenzionali rispetto a quelli classici. In alcune situazioni planoaltimetriche irregolari (ad esempio aree urbane in zone collinari), i sistemi non convenzionali, in particolare quelli con trazione a fune, costituiscono l'unica soluzione possibile in alternativa agli autobus urbani.

Per potenzialità di trasporto di poche migliaia di pass./ora/dir. si ripresenta la competizione tra i sistemi tradizionali e quelli non convenzionali, rappresentati questa volta dal tram a pianale ribassato dell'ultima generazione, ad elevata automazione. Il tram tradizionale, in definitiva, presenta l'unico pregio di offrire contenuti costi d'investimento: un'attenta analisi, tuttavia, come più volte ribadito, porta ad evidenziare anche i maggiori costi di gestione dovuti essenzialmente al personale di guida, nonché alla risoluzione dei prevedibili problemi causati dall'intersezione con la viabilità ordinaria.

I sistemi non convenzionali in genere, data l'elevata automazione, garantiscono un livello di prestazioni ed efficienza in passato non conseguibile. Le realizzazioni fino ad oggi esistenti hanno attirato, all'entrata in esercizio, una quantità di utenti decisamente superiore a quella prevista. Quanto ottenuto dovrebbe convincere che, anche in ristrettezze economiche, la rea-

lizzazione del sistema a minor costo non risolve il problema della mobilità, bensì si limita ad attenuarne gli effetti e a rimandarli nel tempo; una corretta politica della mobilità dovrebbe, invece, puntare di più sulle nuove tecnologie disponibili.

6. Riferimenti bibliografici

- [1]. A. CROTTI, *Caratteristiche e prestazioni dei sistemi di trasporto*, in "Trasporti e Trazione", n. 2, 1994, pp. 73-80.
- [2]. A. CROTTI A., B. DALLA CHIARA, *Sistemi di trasporto pubblico locale non convenzionali (APM): criteri per l'adottabilità e metodologie di valutazione comparativa*, Atti del Convegno SIDT 1999 "Metodi e modelli per l'analisi e la progettazione di sistemi di trasporto pubblico locale", Politecnico di Milano (26-27 ottobre 1999), in C. PODESTÀ E R. MAJA (a cura di), *Metodi e Modelli per il trasporto pubblico locale*, Franco Angeli, Milano 2000, pp. 247-263.
- [3]. G. FANDEL, J. SPRONK, *Multiple Criteria Decision Methods and Applications*, Springer Verlag, Berlin 1983.
- [4]. E.M. HOLROYD, D.A. SCRAGGS, *Waiting time for buses in central London*, in "Traffic Engineering Control", July 1986.
- [5]. JANE'S INFORMATION GROUP, *Jane's Urban Transport Systems 2001-02*, Coulsdon, Surrey, 2001.
- [6]. F. KÜHN, C. SOULAS, *Between bus and light rail - Emergence of intermediate urban systems*, *Proceedings of the WCTR*, World Congress on Transport Research, Seoul, July 2001.
- [7]. M. LIBERATORE, *Sistemi di trasporto di massa e tecnologie innovative*, Masson, Milano 1994.
- [8]. G. PIROLLO, *Caratteristiche progettuali, esercizio ed attrattività dei sistemi non convenzionali di trasporto pubblico*, Tesi di laurea in ingegneria civile, relatori A. Crotti, B. Dalla Chiara, 1998.
- [9]. UITP, *Une meilleure qualité de service au moindre cout: Les métros sans conducteurs*, Groupe de travail sur l'automatisation intégrale, Janvier 1997

- [10]. V.R. VUCHIC, *Urban public transportation - Systems and Technology*, Prentice - Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [11]. V.R. VUCHIC, *Tecnologia dei trasporti urbani di massa*, in "Ingegneria Ferroviaria", Novembre 1986, pp. 767-775.

Bruno Dalla Chiara, dottore di ricerca in ingegneria, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino.

NOTE

¹ Per la risoluzione del problema e quando lo spazio è contenuto si può tenere conto in taluni casi della soluzione a "porta spagnola": tale proposta ha un marciapiede centrale e due laterali. Attraverso una prima apertura delle porte su un lato, i passeggeri usciranno da una parte mentre gli altri entreranno dall'altra.

² Tale velocità, supposta mediamente uguale a 1,25 m/s, è stata analizzata e rilevata sia in relazione a fattori individuali propri del pedone, sia in relazione alle caratteristiche geometriche della via pedonale. I valori caratteristici variano, in condizione di flusso libero, da 0,8 m/s, rilevato per percorso in salita su scale, fino a 1 m/s per percorso in discesa su scale o 1,6 m/s per percorsi in piano in sotterranea (rilievi sulla metropolitana di Londra); per quanto riguarda i valori limite imposti dalle caratteristiche fisiologiche degli utenti, si hanno valori medi pari a 1,4 m/s per le persone adulte, circa 1,0 m/s per persone anziane e 1,6 m/s per i ragazzi.

³ La distanza che un utente percorre per raggiungere la stazione d'accesso al sistema di trasporto dipende principalmente dalla rete di trasporto alla quale intende accedere (durata dell'intero viaggio), e varia in funzione della modalità d'avvicinamento (a piedi, in bicicletta, in auto, ecc.) e del modo di trasporto (prestazioni del sistema di trasporto, qualità del servizio).

⁴ Tale ipotesi è valida nelle condizioni di: arrivo regolare dei veicoli alla fermata; possibilità per il passeggero di accedere al primo veicolo che sopraggiunge; arrivo *poissoniano* dei passeggeri alla fermata. L'ultima condizione perde validità quando l'intervallo fra due veicoli successivi supera i 10'-12', poiché oltre tale intervallo l'utenza adegua il proprio comportamento in funzione degli orari di passaggio [Holroyd, Scraggs, 1986].

Ricerca e sviluppo di prodotti industriali: il caso SmarTrams

GIANPIETRO BONIARDI

Premessa

Il settore del Trasporto Pubblico nei prossimi anni avrà come obiettivi principali:

- il conseguimento di elevati standard operativi;
- la crescita della qualità di servizio offerto;
- il rispetto del controllo di gestione.

Questi temi incideranno in modo diretto ed immediato sui risultati economici conseguibili dal Gestore, soprattutto in un nuovo scenario ispirato a criteri di bilancio privati, che esigono un conto profitti e perdite compatibili con le leggi di mercato e della concorrenza.

Attraverso l'utilizzo delle nuove tecnologie e la realizzazione di applicazioni informatiche di supporto, l'Esercizio e la Manutenzione dei Sistemi di Trasporto potranno centrare i tre obiettivi.

L'identificazione ed il tracciamento automatico del veicolo, all'interno ed all'esterno delle strutture aziendali, la raccolta e la trasmissione automatica dei dati di efficienza, da bordo a terra, costituiscono le basi di un sistema di supporto efficiente, garante di puntualità e regolarità del Servizio.

La dotazione telematica finalizzata a garantire la sicurezza dell'impianto ed informazioni aggiornate per il gestore e per l'utentem sia all'interno che nei pressi delle infrastrutture della rete di trasporto, è presupposto necessario per una percezione diffusa di elevato standard di qualità del servizio.

La progettazione dei sistemi di manutenzione si traduce in alta disponibilità di mezzi ed infrastrutture per l'Esercizio, in un quadro di attenzione al controllo dei costi di produzione.

L'approccio di Project Automation

In relazione al nuovo scenario socio-economico l'approccio di Project Automation si è ispirato a criteri tipicamente industriali dove è rilevante avere una piattaforma che garantisca modularità e scalabilità, adottare soluzioni tecnologicamente avanzate anche nel settore elettromeccanico, sfruttare la tecnologie delle comunicazioni e trattare in modo sofisticato tutte le informazioni ed i dati disponibili.

Per garantirsi un percorso di sviluppo coerente ai criteri sopracitati, la Società è partita dalla definizione di cosa sia una Tramvia (Requisiti

Utente) consultando la letteratura in materia, intervistando alcuni Operatori di riferimento, in campo nazionale ed internazionale, per capire la loro interpretazione pratica della normativa, con particolare riferimento alla UNIFER UNI8379, alla normativa tedesca BOStrab ed alla normativa inglese.

L'attuale attenzione ai problemi connessi alla mobilità fanno della Tramvia un sicuro strumento da adottare, insieme ad altri, per la realizzazione della mobilità sostenibile.

Attualmente il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, con riferimento alle linee guida dell'*Intelligent Transport System* della Comunità Europea sta proponendo le proprie linee guida per l'identificazione e la realizzazione integrata di sistemi per il governo della mobilità.

Project Automation, condividendone l'approccio, ha adottato tali linee consentendo alla propria proposta di essere adeguata ed integrata all'insieme dei sistemi che governeranno la mobilità.

Uno dei principali eventi che attualmente interessano il mondo del Trasporto Pubblico è il "ritorno" del tram nelle città. Questo fenomeno ha risonanza internazionale e sta producendo una notevole attività di ricerca e progettazione industriale rivolta allo sviluppo di sistemi di elevato standard di prestazione.

Una moderna metro-tramvia è la naturale evoluzione tecnologica del sistema tranviario tradizionale cui sono stati affidati nuovi obiettivi di operatività, qualità e controllo dei costi di gestione.

Il termine Metropolitana Leggera ed il suo equivalente inglese *Light Rail Transport* (LRT) descrivono un simile sistema di trasporto su rotaia la cui sede è prevalentemente protetta o, spesso, separata dal traffico veicolare. Il regolamento di esercizio di una metro-tramvia di superficie prevede la condotta "a vista" sotto piena responsabilità del conduttore. Tuttavia, particolari caratteristiche tecniche di sistemi e veicoli consigliano di adeguare l'esercizio ad un regime di "guida assistita elettronicamente".

Attraverso il supporto elettronico, che consiste sinteticamente nel comando in sicurezza da bordo degli scambi e nel trasferimento di informazioni di marcia e circolazione tra un centro ed i veicoli in linea, si aumentano effettivamente la sicurezza e la regolarità di esercizio.

Il sistema SmartTrams

SmartTrams definisce la piattaforma di gestione tecnologica di una metro-tramvia.

Il concetto copre completamente aspetti di:

- automazione degli impianti locali;
- segnalamento e marcia dei veicoli;
- controllo centralizzato della circolazione;
- rimessaggio e manutenzione del parco rotabili;
- informazione e teleassistenza ai passeggeri nelle fermate ed a bordo.

Gli apparati tecnologici hanno caratteristiche di affidabilità operativa estrema, senza per questo rientrare nel campo "*fail-safe*", che non è richiesto in caso di guida a vista assistita.

La condivisione di dati fra le diverse realtà aziendali, ovvero Esercizio, Manutenzione, Impianti, Rotabili, prevista dal concetto *SmartTrams* facilita la gestione dei processi.

Particolare rilievo si è dato alla regolarità di esercizio, quindi alle soluzioni di comunicazione tra centro e veicoli, basate su una combinazione di rete in fibra ottica e trasmissioni terra-treno locali a corto raggio, ed alla integrazione con i sistemi di priorità semaforica. Inoltre grande enfasi è posta sulla procedura di manutenzione del parco veicoli con un controllo diretto del costo nel ciclo di vita.

Descrizione del sistema

Il sistema è composto da moduli componibili secondo le esigenze di realizzazione.

Trainviewer

Sovrintende alla funzionalità di tutte le unità tecnologiche che concorrono alla funzionalità generale del sistema. In particolare telecomunicazioni, segnalamento, diagnostica, *scheduling* della manutenzione, movimentazione, rimessaggio e vestizione della flotta nei depositi.

Trainguardian

Consente la trasmissione e ricezione di segnali audio/video finalizzati alla video-sorveglianza delle stazioni o di siti sensibili sia lungo la linea che in deposito.

Trainpower

Raccoglie analizza e presenta tutti i segnali di campo e tele-controlla sia la rete di alimentazione che le sottostazioni di trazione elettrica.

Trainmanager

Il modulo offre in sala controllo varie rappresentazio-

ni schematiche della circolazione dei veicoli ad uso degli operatori che curano la regolarizzazione del servizio e le necessarie comunicazioni con i veicoli. In particolare sviluppa le previsioni di movimento e tempi di arrivo di ogni singolo mezzo.

Trainpriority

Realizza l'asservimento intelligente della semaforizzazione urbana alle esigenze di puntualità e regolarità della metro-tramvia. Il modulo può operare a sé stante con capacità di adeguare localmente gli incroci semaforizzati per il minimo disturbo al traffico privato. All'occorrenza esso si integra come satellite di un sistema di regolazione semaforica centralizzata di tipo evoluto in grado di ricevere le previsioni di tempo d'arrivo del mezzo e predisporre adeguatamente le fasi di incrocio.

Trainswitch

È l'insieme dei dispositivi elettronici, elettromeccanici e meccanici che consentono l'automazione dei deviatori con la garanzia dei livelli di sicurezza voluti e predisposti.

Traincontroller

Racchiude l'unità di controllo a bordo. La sua costituzione può nel tempo crescere per ospitare numerose funzioni oltre a quella basilare di radiocomando degli scambi. È inoltre aperta ad interfacciare altre unità intelligenti presenti a bordo e a convogliare le comunicazioni *half duplex* terra-bordo nelle due modalità di trasmissione:

- corto raggio (segnalamento, comando scambi);
- radiocollegamento in fonia e dati.

Smartrams: casi applicativi

Elenchiamo di seguito alcuni progetti significativi nei quali Project Automation ha avuto modo di sviluppare e verificare la validità dei propri sistemi.

Progetto LRT di Dublino

- Denominazione progetto: LUAS, Dublin;
- Cliente Finale: CIE Dublin (Còras Iompair Eirean) - Compagnia Nazionale dei Trasporti;
- Consorzio assegnatario opera: Ansaldo Trasporti (tecnologie) e MVM Australia (armamento con

subappalto delle opere civili a Ballast Nedam, Olanda);

- Tracciato: linea A-C, lunghezza 14 Km, 21 fermate, 2 capolinea, 43 incroci, 1 deposito, 18 punti di scambio, 8 sottostazioni elettriche; linea B, lunghezza 9 km, 11 fermate, 2 capolinea, 11 incroci, 1 deposito, 35 punti di scambio, 5 sottostazioni elettriche;
- Veicoli bidirezionali: linea A-C, n. 24; linea B, n. 16; fornitore: Alstom, Francia (con altro contratto); tipo veicolo: "Citadis".

Progetto LRT di Verona

- Cliente Finale: Comune di Verona, Settore Traffico e Circolazione;
- Consorzio assegnatario opera: Siemens Germania (veicoli, sottostazioni elettriche), Siemens Italia (tecnologie), Mazzi (opere civili);
- Tracciato: Linea 1 lunghezza 10,6 Km + Linea 2 lunghezza 7,8 Km, 30 fermate, 4 capolinea, 1 deposito, 46 punti di scambio, 8 TVCC, 4 sottostazioni elettriche;
- Veicoli bidirezionali: n. 24; fornitore: Siemens Germania; tipo veicolo: "Combino".

Progetto LRT di Messina

- Cliente Finale: Comune di Messina;
- Consorzio assegnatario opera: Gepco (opere civili), Ventura (armamento), Efacec (sottostazioni elettriche e tecnologie);
- Tracciato: lunghezza 7,7 Km, 17 fermate, 2 capolinea, 1 deposito, 40 punti di scambio, 26 intersezioni semaforiche;
- Veicoli bidirezionali: n. 15; fornitore: Alstom; tipo veicolo: "Cityway".

Progetto LRT di Birmingham

- Cliente Finale: Midland Metro;
- Consorzio assegnatario opera: Altram costituito da Ansaldo Trasporti (tecnologie), John Laing Plc (opere civili), Travel West Midland (bus operator);
- Tracciato: lunghezza 20,4 Km, 23 fermate, 2 capolinea, 1 deposito, 55 punti di scambio, 10 intersezioni;
- Veicoli bidirezionali: n. 17; fornitore: Ansaldo-Breda.

Gianpietro Boniardi, ingegnere, direttore tecnico Project Automation, Monza (MI).

L'impegno Alstom per il trasporto urbano su rotaia

MAGDI ALIMERIGO EL SAWI

La crescita degli agglomerati urbani, la sempre più crescente necessità di rendere disponibili mezzi e sistemi di trasporto in grado di garantire il movimento dei passeggeri in modo efficiente, affidabile e sicuro, portano ad una radicale rivisitazione del modello di trasporto.

Oggi il modello corrente vede l'auto come principale mezzo di trasporto che comporta, oltre al congestionamento delle vie di comunicazione stradali, un crescente livello d'inquinamento, che sempre più spesso comporta drastiche limitazioni della mobilità delle persone a seguito dei blocchi programmati della circolazione.

La sfida che ogni azienda deve cogliere, sia essa fornitrice di un servizio o di sistemi e mezzi di trasporto, è quella di riorganizzare il modello di trasporto urbano ed extra-urbano così da soddisfare le nuove esigenze del mercato.

Migliorare il servizio comporta rendere appetibile e conveniente lo stesso; il nuovo sistema di trasporto deve quindi incontrare le esigenze presenti dei cittadini e deve essere proiettato verso quelle future. Le proposte del servizio devono essere attraenti al pubblico in termini di: economicità e velocità, affidabilità e disponibilità; non ultimo, devono fornire una immagine legata al miglioramento del servizio ma non ad un aumento dei costi.

Le soluzioni di trasporto quindi, pur mantenendo gli obiettivi di affidabilità e di sicurezza, devono comportare minimi investimenti e minimi impatti ambientali.

A questa sfida Alstom risponde con i suoi prodotti: Tram Cityway e Citadis, Tram-Treno Regio Citadis, APS, Metropolis.

Cityway, Citadis

In questo scenario estremamente complesso, che vede la necessità di coniugare diversi aspetti che spesso risultano essere tra loro contrapposti, quali quelli economici, tecnologici e sociali, Alstom da oltre un secolo opera con soluzioni all'avanguardia. L'azienda, a partire dai tram a benzina del primo '900 fino ai modernissimi Cityway e Citadis e con i suoi quasi 5000 tram in servizio (a piano basso e non), oltre che alle metropolitane della gamma Metropolis, è in grado di mettere a disposizione prodotti estremamente affidabili e modulari che consentono flessibilità di soluzioni a fronte delle più disparate esigenze di servizio.



Tram Citiway - Torino

Design

Molto importante e apprezzata dai clienti, essendo i sistemi di trasporto urbani intimamente legati oltre che alla morfologia del territorio cittadino anche alla visione ed all'immagine che ogni città vuole proporre di sé, l'estetica viene particolarmente curata, fornendo soluzioni *ad hoc* che assecondino il gusto e le esigenze architettoniche di ogni cliente.

Modularità

Tutte le soluzioni di Tram Alstom, sia Cityway che Citadis, presentano un elevato grado di modularità, tale da garantire l'adattabilità dei mezzi a qualunque necessità di servizio.

La soluzione tecnica adottata nella composizione del rotabile prevede l'adozione di moduli standard che opportunamente selezionati consentono la realizzazione di prodotti in diverse configurazioni.

Tra le varie configurazioni sono infatti possibili realizzazioni di tram monodirezionali o bidirezionali.

I moduli si presentano con lunghezze variabili e possono essere equipaggiati con una o due porte per fiancata, consentendo così la possibilità di configurare il prodotto a fronte delle esigenze del servizio.

Le caratteristiche sopra indicate consentono di ottenere configurazioni con lunghezze che vanno dai 20 ai 50 metri con la semplice aggiunta di moduli opportunamente selezionati.

Inoltre, grazie alla particolare caratteristica costruttiva dei singoli moduli, i tram possono configurarsi con larghezze che possono variare dai 2,3 metri ai 2,65 metri.



Tram Citadis - Lione

Servizio Commerciale

La particolare morfologia dei centri storici cittadini vede la necessità di introdurre mezzi di trasporto di superficie poco inquinanti, ad elevata capacità di trasporto ma che al tempo stesso siano in grado di insinuarsi per le vie cittadine senza deturpare con operazioni invasive il centro storico.

Oltre alle caratteristiche modulari per dimensionare correttamente i mezzi, occorre che gli stessi siano in grado di percorrere ed affrontare percorsi tortuosi con raggi di curvatura estremamente contenuti, anche inferiori ai 17 metri. La particolare soluzione tecnica adottata in questo caso consente ai rotabili di affrontare percorsi con raggi di curva fino a 15 metri.

Al contrario, nei percorsi periferici, ove la frequenza delle fermate si riduce a favore della velocità occorrono mezzi in grado di garantire velocità elevate (70-80 km/h) oltre a buoni livelli di accelerazione e decelerazione. I tram Alstom garantiscono queste velocità e sebbene le accelerazioni e decelerazioni siano elevate il grado di comfort viene mantenuto a standard elevati.

I moderni sistemi tranviari prediligono oggi incarrozzamenti a raso così da facilitare l'accessibilità dei mezzi anche a chi presenta problemi deambulatori. Incarrozzamenti da 290 mm a 350 mm possono essere facilmente ottenuti grazie all'architettura dei rotabili.

Regio Citadis

L'esigenza sempre più frequente di collegare le aree suburbane con il centro città, fornendo soluzioni in grado di garantire soluzioni in assenza di discontinuità, quali ad esempio quelle adottate in alcune città tedesche, è stata raccolta e sviluppata nel prodotto tram treno.

Pur mantenendo le caratteristiche peculiari di un mezzo tranviario, ovvero capacità di insinuarsi nei



Moduli dei tram Alstom.

percorsi cittadini, il tram-treno consente, con una velocità massima di 100 km/h e la possibilità di essere equipaggiato con sistemi di trazione plurimodali, di essere la valida soluzione a tutti quei problemi di collegamento tra il centro cittadino e le aree suburbane. Anch'esso concepito con soluzioni modulari, consente di essere configurato con lunghezze tra 29 ed i 37 metri e con larghezze dei veicoli tra 2,4 e 2,65 metri per adattarsi alle esigenze del servizio.

Come tram presenta l'incarrozzamento a raso (350 mm) ed una percentuale di piano basso pari a circa il 75% della superficie totale calpestabile.

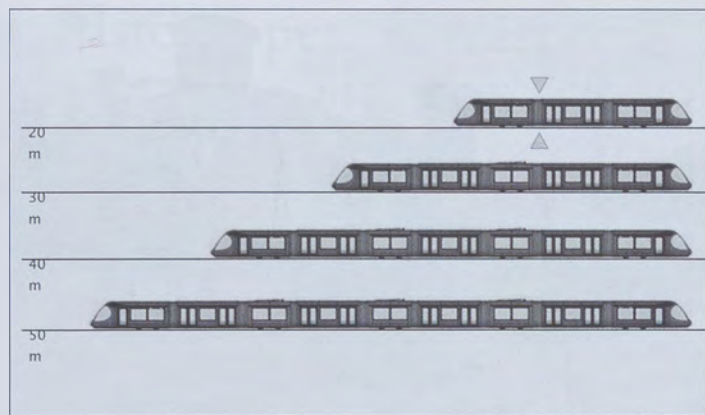
Il suo equipaggiamento di trazione può essere configurato, a seconda delle esigenze con sistemi Diesel-elettrici o per tensioni di catenaria continua od alternata. Queste possibilità gli consentono di operare facilmente sia su linee ferroviarie elettrificate e non, sia sui percorsi cittadini con catenaria alimentata in corrente continua.

Sistema A.P.S. Alimentazione dal suolo

Lo sforzo Alstom per raggiungere l'obiettivo di minimizzare l'impatto ambientale e non deturpare i centri storici cittadini ha portato alla realizzazione di un sistema di captazione di energia dal suolo e la conseguente eliminazione di tutte le strutture esterne al supporto della catenaria.

La prospettiva del tram in città risulta essere quindi radicalmente cambiata. Il veicolo grazie ad un sistema di rilevamento attiva al suo passaggio una sezione di linea che viene opportunamente alimentata.

Tratti neutri opportunamente distribuiti lungo la linea garantiscono che al passaggio del tram solo la sezione in prossimità del captatore sia alimentata mentre le



Possibili composizioni e lunghezze dei tram Alstom.

restanti porzioni, ove presente la normale circolazione stradale, risultano essere disattivate. Un sistema di sorveglianza e sicurezza garantisce che anche in caso di guasto le sezioni interessate vengano immediatamente disattivate.

Metropolitane Metropolis

L'efficienza del sistema di trasporto di superficie spesso viene integrato con efficienti reti metropolitane in tutte quelle megalopoli che necessitano di grandi volumi di passeggeri trasportati.

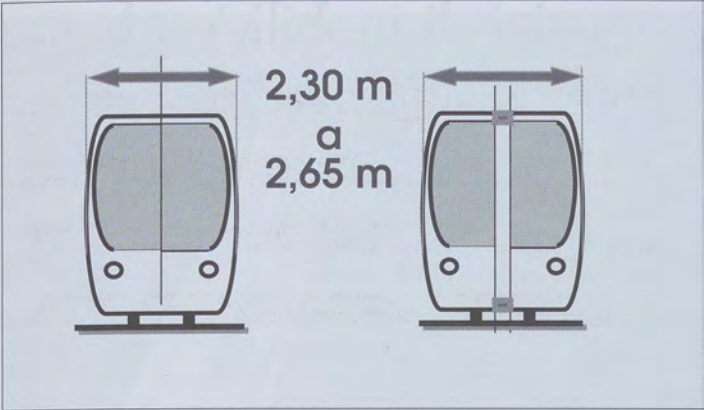
In questo caso, l'obiettivo è quello di poter offrire sistemi modulari a costi contenuti, tali che consentano di soddisfare le più disparate esigenze.

Alstom, con oltre 25.000 carrozze vendute in oltre 70 anni di attività nel settore, a fianco dei sistemi tradizionali ha realizzato il progetto Metropolis che integra il concetto di modularità e standardizzazione a quello di adattamento alle esigenze del mercato e quindi del cliente.

Conclusioni

Oggi la realtà dei trasporti di massa richiede un notevole impegno delle aziende, siano esse costruttrici o esercenti, nel trovare soluzioni atte a garantire un nuovo modo di concepire la mobilità. I sistemi di trasporto devono e dovranno sempre più essere tra loro integrati, efficienti, veloci e di minimo impatto ambientale.

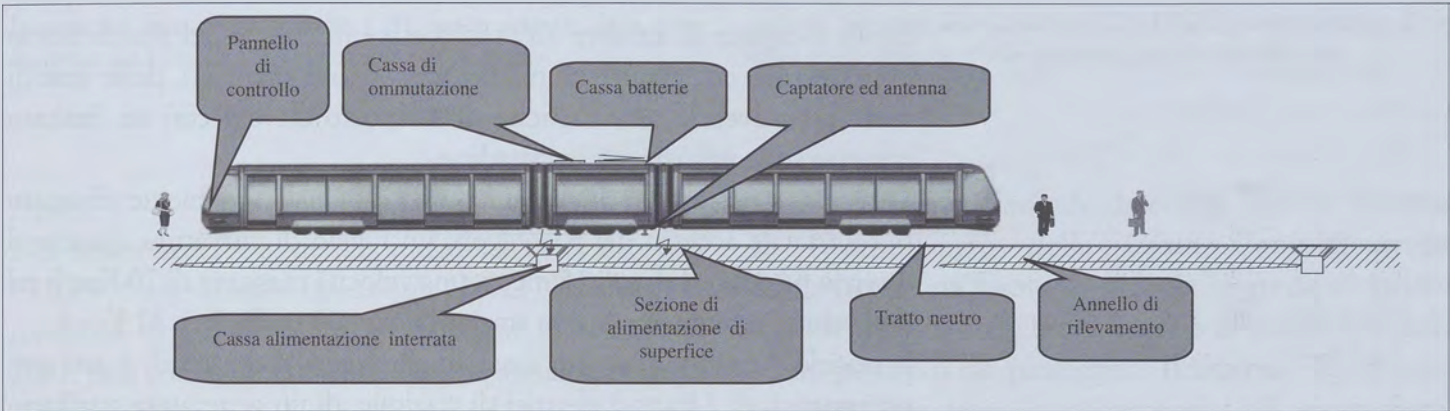
Magdi Alimerigo El Sawi, ingegnere, Alstom Ferroviaria, Savigliano (CN).



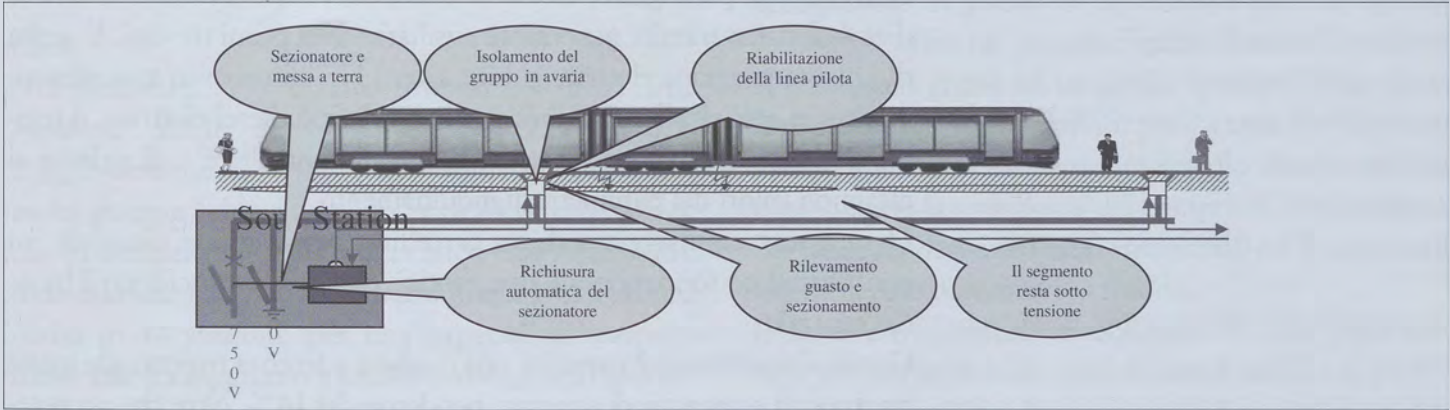
Possibili larghezze dei tram Alstom.



Eliminazione della catenaria grazie al sistema APS.



Componenti del sistema APS.



Schema del sistema APS.



Tram Bordeaux con sistema APS.

Shanghai L3 Cassa larga, 168 carrozze		Singapore NEL Cassa larga, 150 carrozze	
Buenos-Aires Cassa standard, 80 carrozze		Warsaw L1 Cassa standard, 108 carrozze	
Sao Paulo Line G Cassa standard, 48 carrozze		Shanghai XinMin Cassa standard, 152 carrozze	
Singapore CCL Cassa larga, 120 carrozze		Santiago de Chile L4 Cassa standard, 180 carrozze	

Alcuni esempi di Metropolis nel mondo.

Sistemi innovativi di mobilità urbana. Il tram su gomma Bombardier

PAOLO MARINO

Il tram su gomma Bombardier rappresenta un sistema intermedio tra autobus/filobus e la tramvia tradizionale. Moderno, confortevole, affidabile e capace di attrarre un'utenza esigente, nasce per soddisfare le esigenze dei centri urbani medio piccoli o i quartieri delle grandi metropoli, avendo una capacità di trasporto elevata con un limitato impatto sulle infrastrutture cittadine.

Tra le caratteristiche tecniche emergono il pianale totalmente ribassato per un facile accesso dei passeggeri, un raggio di curvatura durante il servizio passeggeri di soli 15 metri, una velocità massima di 70 Km/h ed una velocità commerciale con stazioni ogni 400 m di circa 22 Km/h.

Il veicolo è costituito da tre casse in alluminio, è dotato di 4 assi con pneumatici, di 2 motori elettrici di trazione, di un generatore ausiliario e, al pari di un tram tradizionale, di equipaggiamenti elettrici alloggiati sul tetto. Le modalità previste per la fornitura di energia sono quattro: catenaria con pantografo, catenaria con trolley (tipo filobus), batteria o diesel-elettrico tramite generatore ausiliario. Nei primi tre casi, la scelta di un'alimentazione elettrica riduce a zero l'inquinamento atmosferico, mentre in caso di alimentazione ausiliaria di tipo diesel-elettrico, il regime costante del motore diesel permette di controllare e di ridurre al minimo i valori dei parametri di inquinamento.

Ogni asse è equipaggiato di un carrellino per la guida vincolata; su ogni carrellino sono montate due ruotine di guida che incidono il binario centrale.

Grazie ai pneumatici è garantita una migliore aderenza rispetto alle rotaie tradizionali e capacità di superare pendenze del 14%, oltre che un notevole comfort di marcia per i passeggeri in assenza di rumore e vibrazioni. La cabina di guida è identica a quella di un bus o di un filobus e pertanto non è richiesta una particolare istruzione al personale conducente.

La possibilità di agganciare e sganciare il veicolo dal binario di guida consente al conducente di operare sia in marcia automatica che in modo tradizionale a guida manuale.

Inoltre proprio grazie a questa caratteristica, la manutenzione dei veicoli può essere effettuata in una deposito per autobus/filobus già esistente, senza richiedere di portare all'interno del deposito stesso l'infrastruttura elettrica e meccanica.

La costruzione modulare, inoltre consente una facile pianificazione della manutenzione e la riduzione dei relativi tempi e costi.

Due sono le città Europee che adottano già il Tram su Gomma Bombardier:



Interno del treno metropolitano C20: parete laterale della cassa compresa tra i 106 ed i 154 mm.



Interno del treno metropolitano C20 FICAS: parete laterale della cassa estremamente sottile compresa tra i 34 ed i 40 mm.

Nancy

Nel settembre 1998 viene stipulato il contratto con CUGN, *Communauté Urbaine du Grand Nancy*, per la fornitura di 25 veicoli. Il sistema, in esercizio dal 2001, può contare su una linea bidirezionale con doppio binario lunga 11 Km suddivisa in 15 stazioni, per una capacità di trasporto totale di 30.000 passeggeri al giorno.

Caen

Nel dicembre 1999 è stato firmato con SMTCCAC, *Syndicat Mixte des Transport en Commun de l'Agglomération Caennaise*, il contratto per la fornitura del sistema "chiavi in mano" e di 24 veicoli. Il sistema, in esercizio dal 2002, conta anch'esso su una linea bidirezionale con doppio binario lunga 15,5 Km suddivisa in 34 stazioni, per una capacità di trasporto totale che ha raggiunto i 49.000 passeggeri al giorno.

Più spazio ai passeggeri. Il Sistema FICAS Bombardier

Quali sono i problemi nel trasporto urbano percepiti al giorno d'oggi dagli utenti? Scarso comfort dei mezzi pubblici e sovraffollamento nelle ore di punta con il rischio di dover attendere un veicolo meno pieno e con uno spazio a disposizione comunque sempre limitato. Contemporaneamente gli Operatori di trasporto hanno l'esigenza di ridurre i consumi di energia ed il peso dei veicoli, incrementare la capacità di trasporto e massimizzare il profitto derivante dall'esercizio; il tutto senza aumentare le dimensioni esterne dei veicoli. Il sistema FICAS Bombardier

(*Fully Integrated Carbody Assembly System*, Sistema di Assemblaggio della Cassa Completamente Integrato) è una nuova tecnologia in grado di incontrare le necessità degli operatori e di risolvere i problemi percepiti dai passeggeri. Il sistema FICAS rappresenta una tecnologia innovativa di costruzione delle casse per il materiale rotabile, che sfrutta la soluzione modulare a sandwich già impiegata nel settore aerospaziale. A parità di dimensioni esterne, questa tecnologia offre un maggior spazio interno destinato ai passeggeri grazie ad un sottile spessore della struttura della cassa e ad un minor peso a tara. Per la prima volta nel settore ferroviario un veicolo viene costruito combinando la tecnologia dei compositi, la tecnologia dei fissaggi adesivi (collanti strutturali) ed il sistema di assemblaggio meccanico a freddo.

Il sistema tradizionale di costruzione della cassa utilizza sezioni in acciaio preformato e saldato o profili estrusi di alluminio. Inoltre i moduli che compongono la struttura sono assemblati prima dell'applicazione dell'isolamento termico ed acustico e delle finiture interne. Con il sistema FICAS, invece i moduli sono costituiti da un sandwich con un cuore rigido di materiale isolante ricoperto da uno strato di acciaio inossidabile, in questo modo l'isolamento termico e acustico diventa parte integrante dei moduli, che vengono fissati tra loro per comporre la struttura della cassa. Da notare come non siano impiegate saldature, ma giunzioni meccaniche a freddo. Il sistema FICAS è stato progettato e collaudato riferendo agli stessi test di fatica, carico, crash e reazioni al fuoco effettuati per le casse convenzionali, ed è rispondente a tutte le normative vigenti in quanto a sicurezza. Il minor utilizzo



GLT: il Tram su Gomma Bombardier.



Facile manutenzione grazie alla possibilità di utilizzare impianti esistenti destinati ai bus o ai filobus tradizionali.



Cabina di guida identica ad un bus o filobus tradizionale: non è necessario istruire il personale conducente come per il tram.

di carpenteria (e di conseguenza di risorse minerali), i minori consumi energetici conseguenti alla riduzione di peso del veicolo, e la riduzione dei costi di manutenzione, riducono notevolmente l'impatto ambientale di questo sistema rispetto alle casse convenzionali e garantiscono un grado di riciclabilità pari al 94%.

La cassa costruita con il sistema FICAS incorpora in un'unica sezione la struttura portante, gli elementi di isolamento termico ed acustico e le finiture interne. A parità di dimensioni esterne, aumenta lo spazio interno e la larghezza dei corridoi, incrementando la capacità di trasporto, migliorando la mobilità dei passeggeri all'interno dei veicoli e il livello di comfort. Tra i molti vantaggi apportati dall'utilizzo di questa tecnologia, non si può non citare l'utilizzo di materiali dalle ottime prestazioni in termini di finiture esterne, isolamento termico ed acustico, resistenza agli urti e riciclabilità. Per quanto riguarda la produzione non si può dimenticare la semplificazione del processo por-

tata dall'assenza di saldature, così come la flessibilità di costruzione del veicolo grazie alla possibilità di assemblare localmente moduli preassemblati.

Metro Stoccolma è uno dei progetti che utilizza il sistema FICAS di Bombardier. La rete si snoda su 110 Km per un totale di 100 fermate passeggeri. Il treno utilizzato è il modello C20. L'applicazione della tecnologia FICAS ha permesso un aumento del 33% della larghezza del corridoio grazie alla riduzione dello spessore delle fiancate, con un incremento della capacità di trasporto dell'8% (35 passeggeri/treno). Tale incremento è messo bene in evidenza dalle foto che mettono a confronto il treno C20 tradizionale con il treno C20 FICAS.

Paolo Marino, ingegnere, country co-ordinator Light Rail Vehicles Italia, Bombardier Transportation Italy, Vado Ligure (SV).

Revamping innovativo per i trasporti urbani su ferro

GUIDO DELLA NOCE, RAUL ROMANO

Il ricorso, da parte degli esercenti, al *revamping* di vecchi rotabili come alternativa all'acquisto di rotabili nuovi è sicuramente una via per risolvere i problemi con minimo costo, anche se, ovviamente, tale soluzione è caratterizzata da una durata del mezzo revisionato sicuramente inferiore a quella prevedibile per un mezzo nuovo.

In molti casi però la possibilità di effettuare un investimento ridotto, e per di più definibile come un intervento manutentivo, anche se un po' particolare, costituisce un fattore determinante nella scelta.

Gli interventi di *revamping* possono poi essere divisi in due classi distinte:

- interventi volti a risolvere un particolare problema, per esempio la difficoltà nel reperire ricambi di una determinata apparecchiatura;
- interventi più profondi, che in generale coinvolgono sia le apparecchiature, di trazione ed ausiliarie, sia l'allestimento del rotabile, per migliorare il comfort offerto.

Ci si propone di presentare due esempi, uno per tipo.

Un intervento del primo tipo è stato effettuato da FIREMA su 76 equipaggiamenti chopper, in origine realizzati con tiristori immersi in contenitori a freon, montati su 38 "rames" adibite al servizio urbano nella città di Grenoble.

I rotabili sopra detti hanno già da un anno completato il *revamping* e sono in regolare servizio passeggeri con soddisfazione della Società SEMITAG incaricata della gestione dei trasporti urbani di Grenoble.

La ragione principale che ha indotto il cliente ad intraprendere questa attività di *revamping* dei tram è derivata dalle difficoltà riscontrate nella sostituzione, in caso di guasto, dei componenti elettrici ed elettronici immersi nel freon, sia per la necessità di disporre di un ambiente particolare per l'apertura e la chiusura dei contenitori, il tutto aggravato dalle prescrizioni relative alla manipolazione di fluidi considerati nocivi, sia per le difficoltà che si presentano oggi nel reperimento della componentistica atta a funzionare immersa nel freon.

Il Cliente ha quindi richiesto la sostituzione dei contenitori a freon con un'altra apparecchiatura a chopper, più moderna, mantenendo inalterato il resto dell'equipaggiamento, sia di potenza che di controllo.

In pratica, occorre adattarsi alla sistemistica ed ai circuiti di controllo esistenti, che il Cliente ha giudicato sufficientemente affidabili, e quindi, nell'ottica di un intervento al minimo costo, da non sostituire.

Il ricorso ad un equipaggiamento ad inverter è stato scartato perché avrebbe imposto anche la sostituzione dei motori.

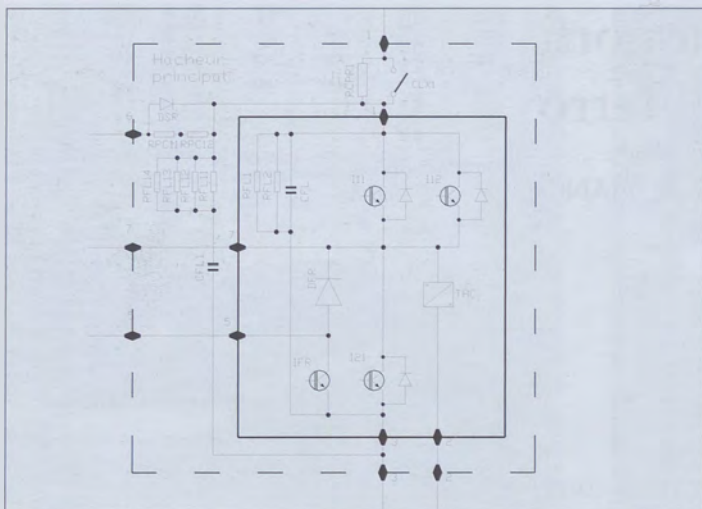


Figura 1. Chopper ad IGBT.

Il principale problema che FIREMA ha dovuto risolvere è stato quello di dover progettare una parte di potenza pilotata da un controllo costruito da altri, e del quale quindi era possibile conoscere solamente le caratteristiche principali, non potendo evidentemente rivolgersi per informazioni dettagliate al costruttore di tale controllo, che oltre a tutto è stato uno dei concorrenti alla gara.

Proprio per risolvere nel modo migliore tale problema, è stato deciso di ricorrere ad un piccolo controllo a microprocessori per l'elaborazione dei segnali inviati dal vecchio controllo per l'accensione dei tiristori, con lo scopo di creare altri segnali equivalenti, ma atti a pilotare le valvole autocommutanti, previste per il nuovo convertitore.

Il fatto di disporre di un microprocessore ha poi permesso la realizzazione di una diagnostica residente che, pur essendo limitata per i pochi segnali previsti in entrata, è comunque in grado di verificare se l'origine del problema è nel controllo oppure nel circuito di potenza.

La presenza di un microprocessore consente inoltre di intervenire con modifiche software, e quindi di minimo impatto temporale, per l'eliminazione di quegli inconvenienti che normalmente insorgono durante la prima messa in servizio, ancor più significativi quando non si dispongono in fase di progetto sufficienti conoscenze del controllo elettronico di origine.

Per quanto concerne la parte di potenza, è stata scelta la configurazione rappresentata in Figura 1, mentre la Figura 2 mostra l'inserzione della nuova parte di potenza nel sistema preesistente.

Il convertitore modificato è inserito tra due contattori CL collegati sul positivo e sul negativo della alimentazione a 750V.

Si è dovuto mantenere tali contattori nella configura-

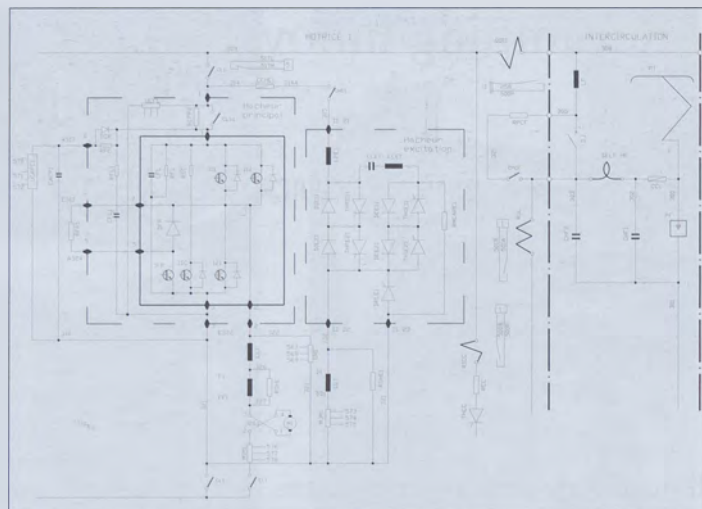


Figura 2. Inserzione del chopper ad IGBT nel sistema.

zione originale per esplicita richiesta del cliente. Infatti adottando tale accorgimento, che garantisce il sezionamento completo di un complesso Chopper/Motore in caso di guasto, non è stato necessario ripetere l'omologazione del mezzo dal punto di vista della sicurezza, in quanto il criterio della presenza di una separazione galvanica del circuito di trazione dalla linea in situazione di allarme del veicolo veniva mantenuta senza alcuna modifica al circuito del progetto iniziale.

Poiché il chopper è stato realizzato con IGBT, è stato necessario inserire un condensatore di filtro molto vicino ai semiconduttori, e collegato ad essi tramite bus bar.

Il fatto che i contattori sopra citati vengono aperti e richiusi in occasione del cambio del banco, mentre l'interruttore generale rimane chiuso, e di conseguenza il condensatore del filtro di linea della macchina rimane carico, ha imposto l'inserzione di un contatto carica filtro tra il condensatore del filtro di linea ed il condensatore del filtro di convertitore.

Il circuito di Figura 1 è molto semplice e lineare. I transistor dei due IGBT in parallelo I11 ed I12 portano corrente in trazione, mentre il diodo in antiparallelo al IGBT I21 agisce come diodo di scarica.

In frenatura, la tensione motorica non viene invertita, essendo il motore ad eccitazione separata. Il chopper diventa in configurazione recupero semplicemente facendo commutare il transistor di I21 ed utilizzando come diodi di blocco i diodi in antiparallelo a I11 ed I12. L'accensione di TFR, e di conseguenza l'inserzione della resistenza di frenatura, avviene quando la linea non è più in grado di ricevere energia.

Vengono quindi ripetute tutte le funzioni previste nel circuito originario, realizzandole però con meno componenti, e con valvole più moderne.

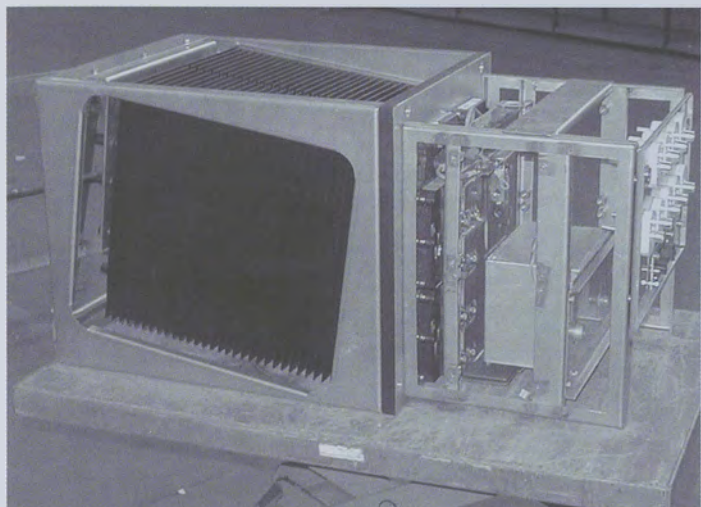


Figura 3. Cassetto chopper.

In merito alla soluzione meccanica adottata, i due contenitori a freon (il primo con i tiristori ed il secondo con i reattori di commutazione) sono stati sostituiti da un unico cassetto, con connessioni a connettore di potenza. In esso i semiconduttori ad IGBT sono montati su un unico radiatore realizzato con tubi di calore (*heat pipes*), che viene connesso a massa e che viene raffreddato nello stesso circuito dell'aria che raffreddava i due contenitori a freon.

Particolare cura è stata dedicata nella realizzazione della carpenteria di contenimento di tale cassetto, costruita in modo da utilizzare gli stessi attacchi già presenti nella versione precedente, con le uscite di potenza e di segnale realizzate in modo da agevolare l'intervento di sostituzione, senza richiedere modifiche ai cavi del cablaggio di macchina, in modo da ridurre al minimo i tempi di fermo per l'applicazione del nuovo convertitore.

Dopo le inevitabili messe a punto effettuate sulle prime apparecchiature, a regime la sostituzione del vecchio convertitore con il nuovo, sulle due motrici di un'unità di trazione, non ha richiesto più di due/tre giornate di lavoro, prove e messa in servizio comprese.

La Figura 3 mostra il cassetto ad *heat pipes*, mentre la Figura 4 mostra il complesso assemblato.

Un esempio di interventi del secondo tipo è quello messo in atto per la revisione delle unità di trazione della Linea 1 della Metropolitana di Milano.

Per un totale di 56 unità di trazione, che comprendono 112 motrici, sono stati definiti una serie di interventi qui di seguito elencati:

- la sostituzione del sistema di avviamento a resistenze e contattori con un equipaggiamento a chopper, mantenendo quindi gli stessi motori in c.c.;
- la sostituzione del convertitore preesistente per l'alimentazione degli ausiliari con uno di nuovo tipo, con uscita in c.a.;



Figura 4. Chopper completo.

- l'applicazione di un sistema di condizionamento aria per l'ambiente passeggeri;
- la modifica della struttura meccanica delle casse per l'inserimento di un intercomunicante tra le vetture componenti l'unità di trazione;
- l'utilizzazione di un bus di treno TCN/MVB per la trasmissione dei segnali tra le varie vetture;
- la creazione di una logica e di una diagnostica dell'unità di trazione, in modo da presentare al manovratore lo stato e la funzionalità di ogni elemento.

È quindi evidente che si tratta di un intervento veramente radicale, che oltre a tutto è percepibile in modo evidente anche da parte dei passeggeri.

Per quanto concerne l'equipaggiamento, ci si è avvalsi dell'esperienza acquisita con la realizzazione di una unità di trazione equipaggiata con chopper a GTO, messa in servizio passeggeri nel 1993, che ha ormai percorso parecchi milioni di chilometri, con risultati decisamente soddisfacenti.

Una particolarità di tale realizzazione è il raffreddamento dei semiconduttori realizzato con *heat pipes* in aria naturale, che sfrutta la velocità del mezzo, e che quindi non necessita di parti in movimento, come ventilatori. L'assenza di ventilatori, ed il fatto che il cassone conteneva le parti in tensione è stato realizzato a tenuta, fa sì che l'equipaggiamento sia in pratica esente da manutenzione periodica. Anche i contattori che effettuano il cambio da configurazione trazione a configurazione frenatura, poiché lavorano a corrente zero, non richiedono né manutenzione né verifiche periodiche.

La Figura 5 mostra la parte disperdente delle *heat pipes*: essendo le alette di raffreddamento sufficientemente distanziate, il normale lavaggio delle vetture è sufficiente a garantire la pulizia necessaria.

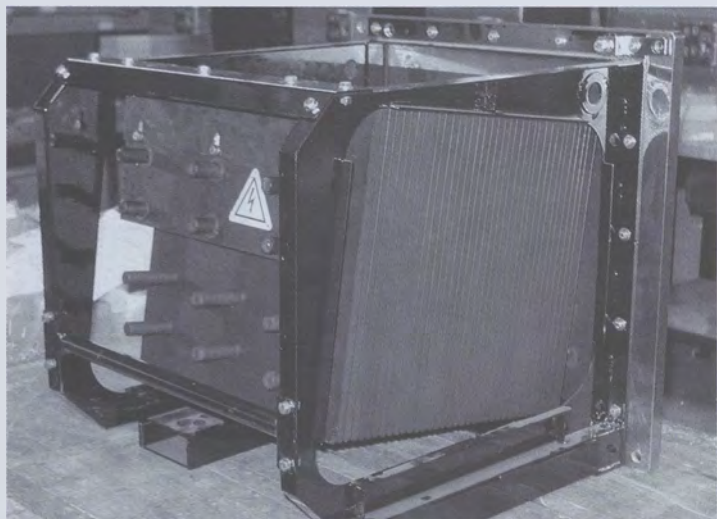


Figura 5. Dissipatore heat pipes montato nel cassetto.

Nei nuovi equipaggiamenti, molte di queste caratteristiche sono state conservate.

Ovviamente ci si è avvalsi delle innovazioni tecnologiche intervenute nel frattempo.

Per i semiconduttori sono stati utilizzati IGBT, che ormai hanno decisamente soppiantato i GTO per queste applicazioni e per queste tensioni di linea.

Essendo gli IGBT caratterizzati da un isolamento tra le parti attive e la superficie che disperde il calore dissipato, il complesso radiatori ne risulta semplificato, poiché non richiede un ulteriore isolamento (come invece è necessario per i GTO) e quindi può essere direttamente collegato a massa.

La Figura 6 mostra lo schema funzionale del circuito di potenza.

La necessità di riutilizzare i motori in corrente continua ad eccitazione serie ha imposto l'uso di apparecchi elettromeccanici (combinatore) per realizzare l'inversione di marcia ai capolinea, mentre per il cambio di configurazione trazione/frenatura, data la particolare connessione dei quattro motori di una motrice, è stato sufficiente l'impiego di due contattori, che naturalmente commutano a corrente zero.

L'impiego poi di IGBT per realizzare lo shuntaggio continuo e per variare con continuità il valore ohmico equivalente delle resistenze da inserire in serie ai motori (in caso di frenature da effettuare con tensione di linea a bassi valori) ha poi permesso di ottimizzare la quantità di energia recuperata.

La Figura 7 rappresenta un modulo estraibile assemblato, mentre la Figura 8 mostra un cassone completo in sala prove.

Per quanto concerne la parte di controllo, l'hardware prevede l'impiego di microprocessori più moderni, e quindi più efficienti di quelli impiegati sul prototipo. La presenza di un bus di treno e di un bus di veicolo

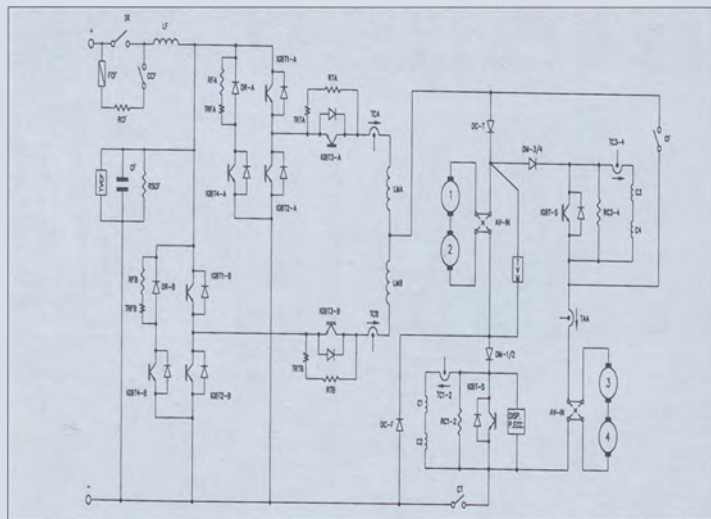


Figura 6. Chopper MM1 - schema funzionale circuito di potenza.

standard permette la realizzazione di una diagnostica molto approfondita, che portata a conoscenza del manovratore mediante video sul banco di comando, lo aiuta quando il verificarsi di anomalie impone l'effettuazione delle azioni necessarie per continuare il servizio in piena sicurezza.

Quest'ultimo dispositivo è stato particolarmente sottolineato nel capitolato di gara dell'esercente in quanto il fatto di rendere più agevole la condotta dei mezzi deve essere senz'altro uno dei risultati da raggiungere in questo tipo di intervento.

Scopo principale della diagnostica è quello di presentare al personale di condotta del treno le informazioni relative allo stato di tutte le funzioni presenti in modo semplice ed efficace, ottimizzandone la presentazione in modo da facilitare la comprensione dei dati e quindi ridurre al minimo il tempo sottratto alle normali attività richieste dalla guida del convoglio.

Occorre tener presente che l'aggiunta delle nuove apparecchiature, quali la trazione a chopper, il condizionamento del comparto passeggeri ed il nuovo gruppo statico per l'alimentazione degli ausiliari, impongono la presenza di nuovi segnali diagnostici, difficilmente gestibili con il vecchio sistema dei fili treno. Questi ultimi, infatti, possono evidentemente trasmettere segnali logici uno o zero, per di più in numero solitamente limitato, data la necessità di non appesantire troppo il cablaggio dei rotabili. Tali segnali, inoltre, possono essere presentati al personale solo mediante segnali luminosi che, se in numero troppo elevato, rendono più difficoltoso l'identificazione dell'allarme.

L'adozione di un sistema "seriale" quale il TCN abbinato all'MVB ha consentito di aumentare drasticamente la potenzialità del mezzo di trasmissione ren-

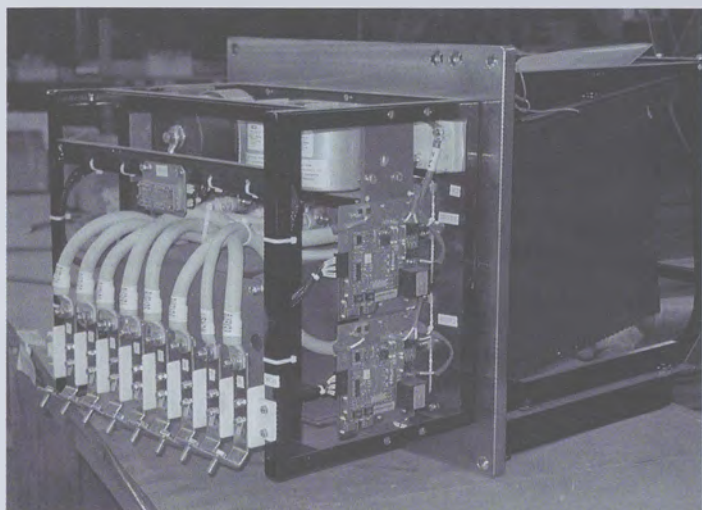


Figura 7. Modulo estraibile assemblato.

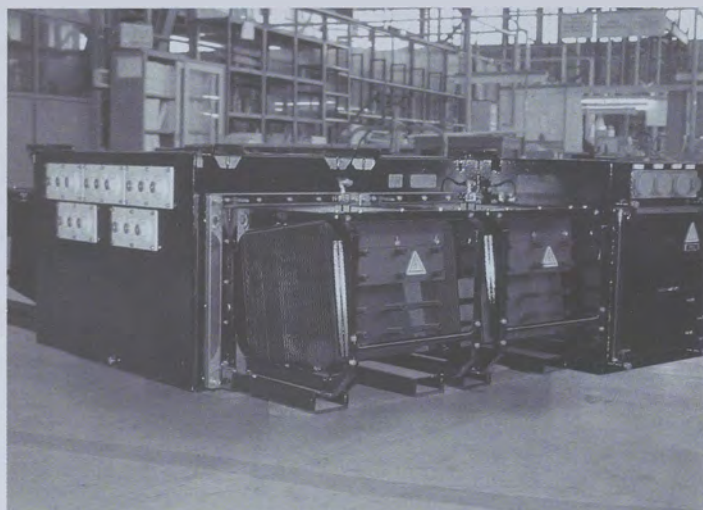


Figura 8. Cassone chopper completo.

dendolo adeguato alle nuove esigenze che richiedono di disporre di informazioni diagnostiche più dettagliate ed al tempo stesso di disporre di comandi mirati alle singole apparecchiature delle vetture in composizione nel treno.

I comandi sopra detti vengono attuati tramite tasti funzione presenti sul video, attivi solamente nella cabina di guida presidiata.

Il software applicativo del sistema TCN/Diagnostica è stato sviluppato insieme alla società ALSTOM che ha altresì sviluppato e fornito gli impianti di condizionamento ed i gruppi statici per l'alimentazione degli ausiliari, adeguatamente maggiorati rispetto a quelli di origine per fare fronte alle maggiori necessità di potenza richiesta dal condizionamento dell'aria per i comparti passeggeri.

Gli impianti di condizionamento, realizzati in versione monoblocco, hanno trovato sistemazione sugli imperiali delle vetture.

In proposito si vuole qui ricordare che una delle difficoltà più significative nello sviluppo del progetto è stata quella di dover conciliare l'altezza del soffitto delle vetture con la presenza sull'imperiale dei gruppi di condizionamento, nel rispetto delle altezze imposte dalla sagoma limite.

Altre novità significative di questa tipologia di *revamping*, da noi definito come più approfondito, è stata l'inserzione dell'intercomunicante aperto tra le vetture della stessa unità di trazione e l'applicazione di porte a comando elettrico in luogo di quelle tradizionali a comando elettropneumatico.

Per questi due importanti componenti Firema ha sviluppato il progetto di inserzione fisica (con rispetto di dimensioni/accessibilità ecc.) e funzionale nell'ambito del treno completo, partendo da specifiche di prodotto messe a punto direttamente dal cliente, ATM Milano.

Da ultimo, ma non ultimo per importanza, si rammenta il piccolo ma significativo intervento di *restyling* delle vetture ottenuto agendo sulle forme degli arredi interni e giocando su nuove coloriture più attuali per rendere l'aspetto del treno (sia all'esterno sia all'interno) più piacevole e accattivante all'occhio del passeggero.

Per lo sviluppo di questa attività ci si è avvalsi della "matita" di un noto e affermato designer: lo studio Giugiaro.

Anche tale aspetto è stato fortemente voluto dal cliente ATM, che, giustamente, in questa operazione di *revamping*, ha ritenuto di potere "servire" al proprio cliente, oltre alla sostanza del rinnovamento dei treni, anche una nuova immagine tale da far immediatamente percepire al passeggero il fatto di trovarsi su di un treno nuovo, o quasi nuovo.

A questo fatto contribuiscono anche alcuni significativi benefici derivanti dalle innovazioni che risultano evidenti per i passeggeri in quanto assicurano loro:

- migliore vivibilità dell'ambiente passeggeri per la presenza dell'impianto di condizionamento dell'aria;
- miglior comfort nel movimento del convoglio per la presenza di un avviatore elettronico: il chopper, che notoriamente è in grado di togliere i classici strappi in fase di avviamento e frenatura degli avviatori elettromeccanici.

Da non dimenticare infine l'installazione di un impianto TV a circuito chiuso con telecamere che inquadrano sia il salone passeggeri sia la fiancata del treno e rinviano le immagini ad un apposito monitor. Il macchinista viene così messo in condizione di esercitare una migliore sorveglianza sul convoglio nelle fasi di avviamento, sia all'interno sia all'esterno.

Nell'aspettativa di ATM tali apparecchiature contri-

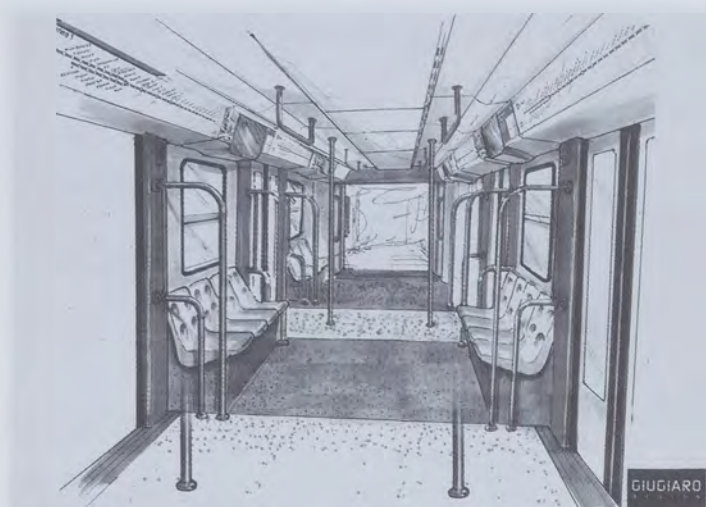


Figura 9. Bozzetto degli interni delle vetture modificate.

buiranno a dare un maggior senso di sicurezza ai passeggeri, specie nelle ore notturne, quando i convogli viaggiano con scarsa frequentazione di pubblico, ed a disincentivare la pessima abitudine di “lordare” i convogli con i graffiti.

Nelle Figure 9 e 10 si possono osservare uno studio dell'interno e la nuova coloritura esterna, sviluppati su design di Giugiaro.

In conclusione, possiamo affermare che questo tipo di *revamping*, che coinvolge le parti più significative del rotabile, lo trasforma radicalmente e, di conseguenza, gli fa fare un importante salto di qualità rispetto alla

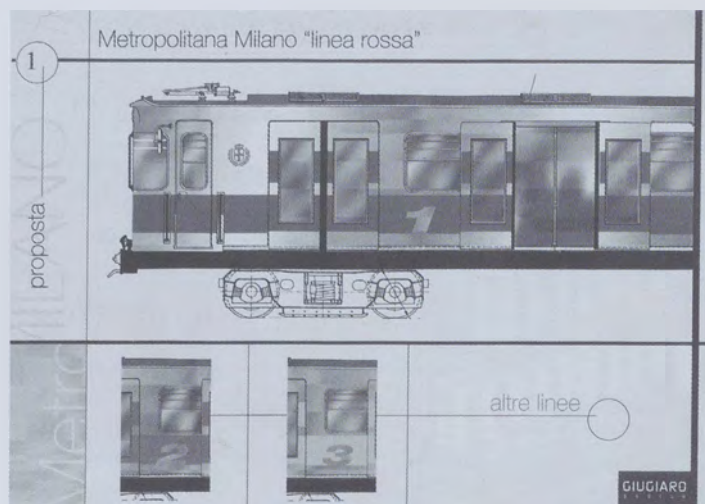


Figura 10. Aspetto esterno del rotabile.

configurazione d'origine, che nel nostro caso è stata definita tra i venti e i trenta anni fa.

Un simile intervento consente quindi di eliminare la maggiore parte delle obsolescenze derivanti dagli anni e permette di presentare ai passeggeri un treno “quasi” nuovo.

Guido Della Noce, ingegnere, direttore di progettazione veicoli, FIREMA Trasporti, Milano.

Raul Romano, ingegnere, FIREMA Trasporti, Milano.

Soluzioni avanzate per l'ambito metropolitano: sistemi innovativi di trasporto, tram Combino e sistemi ad accumulo dell'energia di frenatura

MAURIZIO MIGLIORATI, MAURO QUAGLIA

Sistemi di trasporto innovativi

L'articolo riguarda i sistemi innovativi di trasporto ferroviario e tranviario in ambito metropolitano legati alla produzione della Siemens; questa riguarda i prodotti e i sistemi dei suoi diversi settori di *Automation & Power*, *Rolling Stock*, *Turnkey Systems* e *Integrated Services*. Esempi di sistemi innovativi nell'ambito ferrotranviario per il trasporto di massa in area urbana ed extraurbana attuati o in corso di realizzazione da parte di Siemens sono:

1. il sistema di guida ottica virtuale applicato nei sistemi "Civis";
2. i treni a levitazione magnetica "Transrapid";
3. il nuovo concetto di trasporto tram-treno "Avanto" e soluzioni cargo-tram per il trasporto di merci in aree urbane;
4. le locomotive multitemperatura c.c./c.a. tipo "ES 64 F4";
5. la metropolitana leggera di superficie con il tram "Combino".

Nell'ambito dei sistemi *people mover*, spesso denominati "*Automatic Guided Transit System*", si annoverano i sistemi di derivazione metropolitana a guida automatica tipo:

6. la metropolitana leggera automatica VAL 208 con percorso prevalentemente in sotterranea nei centri storici ed in superficie verso le periferie;
7. i sistemi *people mover* tipo "The Sky Train";
8. i sistemi ettometrici a fune, realizzati in partnership, tipo il sistema *Cable-Line* "Mandalay Bay Tram in Las Vegas";
9. oppure il sistema su cuscino d'aria in servizio a Serfaus in Austria;
10. il sistema "Sitrans Ses" per l'accumulo dell'energia di frenatura dei veicoli.

Sistema tranviario tipo Combino

Con particolare riferimento alla mobilità urbana, la progettazione del Combino è basata sul concetto di modularità, che ne ispira anche la denominazione, ovvero sulla possibilità di soddisfare gli specifici



Sistema di guida ottica virtuale applicato nei sistemi "Civis".



Treni a levitazione magnetica "Transrapid".



Nuovo concetto di trasporto tram-treno con "l'Avanto" e soluzioni cargo-tram per il trasporto di merci in aree urbane.

requisiti tecnici dei diversi clienti mediante la *combinazione* di moduli standard, che non devono essere specificatamente sviluppati e messi a punto per una determinata applicazione, quindi garantiscono affidabilità e semplice manutenzione.

La modularità si sviluppa principalmente sulle seguenti caratteristiche:

- composizione del rotabile da 3 a 7 casse per una lunghezza da 20,05 m a 42,9 m;
- larghezza delle casse di 2300 mm, 2400 mm oppure 2650 mm;
- scartamento normale (1435 mm) oppure metrico;
- esercizio unidirezionale oppure bidirezionale;
- tensione di alimentazione 600 V c.c. oppure 750 V c.c. oppure ibrido (ovvero diesel-elettrico: primi esemplari consegnati nel 2004 all'Azienda di Trasporto di Nordhausen, per l'esercizio sulla tratta extraurbana non elettrificata verso Illfeld);
- possibilità di personalizzare il veicolo con la scelta di numerosi accessori quali l'impianto di climatizzazione, l'impianto di TVCC per il controllo interno e/o esterno, le rampe per agevolare l'incaricamento ad azionamento manuale oppure elettrico, i dispositivi di conteggio dei passeggeri, i diversi rivestimenti e disposizioni dei sedili.

La progettazione del Combino inizia nel giugno del 1994 e continua con il *roll out* del veicolo di pre-serie (luglio 1996) che permette di raccogliere dati sperimentali, presso alcune aziende esercenti, per verificare ed ottimizzare le scelte progettuali.

Il *roll out* del primo veicolo della serie iniziale a Potsdam è dell'ottobre del 1998 ed il *roll out* del primo veicolo della nuova serie è dell'ottobre del 2001 ad Amsterdam.

Con la nuova serie, oltre ad un aggiornamento del design della sezione frontale, più spaziosa e dalle

forme più arrotondate, sono stati introdotti alcuni miglioramenti tecnici, quali la riduzione delle dimensioni, del peso del convertitore di trazione ed un incremento delle prestazioni dell'impianto di climatizzazione, ed è stato ottenuto un maggior comfort per i passeggeri, grazie alla maggior altezza (più 100 mm) di porte e cristalli, che migliora l'accessibilità e la visibilità dall'interno del rotabile.

Le caratteristiche di base rimangono comunque le stesse che hanno già accumulato circa 30 milioni di km di esercizio, come di seguito illustrate.

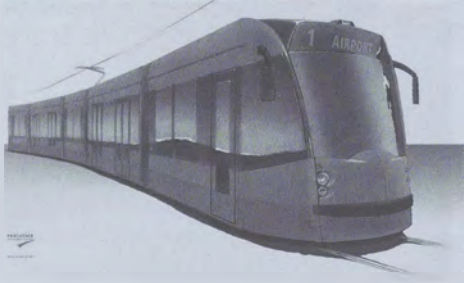
Le casse costituenti il Combino sono essenzialmente di 4 diversi tipi:

- cassa di testa composta da un modulo carrello a 4 ruote e da un modulo di cabina di guida con una porta di larghezza 650 mm oppure 1300 mm, sul lato destro, per i passeggeri;
- cassa sospesa con una o due porte da 1300 mm, su uno o entrambi i lati;
- cassa con modulo carrello a 4 ruote, motorizzato o portante, collegato tramite un raccordo articolato alla cassa sospesa oppure direttamente alla cassa di testa o di coda;
- cassa di coda composta come la cassa di testa, nel caso di esercizio bidirezionale, oppure, nel caso di esercizio unidirezionale, da un modulo carrello a 4 ruote e da un modulo con banco di guida ausiliario e comparto passeggeri con porta da 650 mm, sul lato destro. Esternamente le casse di testa e di coda nel caso di esercizio bidirezionale si differenziano solo per particolari minori, quali una diversa configurazione dei dispositivi luminosi e degli specchi retrovisori; rimuovendo la parte inferiore della carenatura frontale delle casse di testa e di coda è possibile orientare verso l'esterno l'accoppiamento da traino di tipo Albert.

Per limitare il peso del rotabile, contenuto in circa



Locomotive multitensione c.c./c.a. tipo "ES 64 F4".



Metropolitana leggera di superficie con il tram "Combino".



Metropolitana leggera automatica VAL 208 con percorso prevalentemente in sotterranea nei centri storici ed in superficie verso le periferie.

1100 kg/m, la struttura delle casse è realizzata in estrusi in lega d'alluminio. Per semplificare le operazioni di manutenzione i sistemi di collegamento sono realizzati senza saldature, ma con bulloni, rivetti, collanti; in particolare le strutture in elevazione sono connesse mediante i giunti "Alugrip", sviluppati dalla società svizzera Alusuisse, per i quali è stato verificato, a seguito di un test dinamico da un milione di cicli, che l'effetto di bloccaggio aumenta nel tempo.

Il tetto della cassa sospesa è realizzato con una struttura a sandwich costituita da due membrane di alluminio con un'anima di schiuma rigida; sul lato superiore del tetto vengono posizionati l'impianto di climatizzazione, le canaline di posa cavi, i terminali di connessione con le articolazioni; al lato inferiore del tetto vengono posizionate le condutture per l'aria, gli apparati di illuminazione e gli altoparlanti interni.

Il tetto della cassa con modulo carrello motorizzato è costituito dal container dell'equipaggiamento di trazione che comprende i convertitori di trazione e dei servizi ausiliari, le batterie, i reostati di frenatura, l'unità di controllo della trazione, il filtro di rete ed il ventilatore.

Il tetto della cassa con modulo carrello portante è costituito dal container del pantografo; nel caso che il rotabile sia equipaggiato con carrelli tutti motorizzati, allora il container del pantografo viene montato sul tetto di una cassa sospesa.

Le strutture frontali dei moduli di testa e di coda sono realizzate da un telaio di alluminio saldato e da un rivestimento a sandwich con membrane in plastica rinforzata con fibra di vetro.

Il telaio dei carrelli, fabbricati nello stabilimento SGP di Graz, è realizzato in acciaio con una struttura a "falsa sala" di collegamento delle coppie di ruote in modo da permettere la realizzazione del pianale completamente ribassato a 300 mm dal piano del ferro. Ogni carrello motore monta due gruppi motore-

riduttore longitudinali che accoppiando le due ruote di un lato del carrello garantiscono l'autocentratura, una minore tendenza all'oscillazione trasversale e, nella marcia in curva, la possibilità di differenti velocità angolari delle ruote riducendo così lo stridio. I motori sono asincroni trifase autoventilati. La sospensione primaria di ogni ruota è costituita da una coppia di molle in gomma-metallo. La sospensione secondaria è realizzata da quattro combinazioni di molle elicoidali in metallo ed in gomma. Le oscillazioni verticali e trasversali vengono smorzate idraulicamente da due ammortizzatori verticali paralleli alle sospensioni secondarie e da un ammortizzatore trasversale in posizione centrale sotto il carrello.

La frenatura di esercizio è elettrodinamica fino al completo arresto, eliminando così l'usura degli organi frenanti; l'energia di frenatura viene utilizzata principalmente per l'alimentazione dei servizi di bordo (impianto di riscaldamento, servizi ausiliari) oppure viene reintrodotta nella linea di alimentazione, se sono presenti altri utilizzatori, o ancora viene dissipata nei reostati di frenatura posizionati nel container di trazione. Il carrello motore è equipaggiato con due freni idraulici passivi a molla i cui dischi sono montati sugli alberi motori. Nel carrello portante invece ogni ruota è dotata di un freno a disco idraulico attivo con controllo antislittamento a microprocessore. Sui carrelli motore sono presenti inoltre due freni elettromagnetici a pattino ed i dispositivi spargisabbia, per aumentare l'aderenza in caso di necessità.

Tutti i componenti principali di trazione e di frenatura possono essere raggiunti lateralmente; anche l'intero blocco di trazione può essere sostituito senza smontare il carrello. In corrispondenza della cabina di guida può essere montato l'impianto di lubrificazione del bordinio per ridurre l'usura e diminuire il rumore prodotto dal contatto ruota rotaia.



Sistemi People Mover tipo "The Sky Train".



Sistemi ettometrici a fune, realizzati in partnership, tipo il sistema Cable-Line "Mandalay Bay Tram in Las Vegas".



Sistema su cuscino d'aria in servizio a Serfaus in Austria.

Combino: servizi ausiliari

Il sistema di controllo a microprocessori è realizzato dal SIBAS 32 che coordina, mediante una modalità di collegamento a bus che riduce il numero dei cablaggi, le periferiche ad intelligenza distribuita per la realizzazione delle funzioni di controllo di trazione (quali la regolazione dei motori, l'antislittamento, l'antipattinamento, il dispositivo di uomo morto), la gestione dei consensi di apertura e chiusura delle porte (tutte dotate di avvisatori ottici ed acustici, di un dispositivo antincastro a controllo di assorbimento di corrente autoadattativo in aggiunta ad una barriera di fotocellule a luce infrarossa insensibile alla luce esterna), di diagnostica. Le informazioni ai passeggeri vengono fornite mediante indicatori, ottico-acustici interni ed esterni al rotabile, che interfacciano con gli utenti il supervisore al posto centrale di controllo, il conducente del rotabile ed il sistema digitale di annuncio automatico di fermata.

Il sistema di climatizzazione è differenziato per il comparto passeggeri e per la cabina di guida in modo da permetterne una regolazione ottimale.

Sistema di accumulo dell'energia di frenatura nei sistemi di trasporti urbani di massa

L'energia di frenatura dei veicoli viene oggi ancora in gran parte dissipata in calore, dato che normalmente può avvenire solo un incompleto scambio di energia con altri veicoli, in dipendenza dalle condizioni del sistema. Gli accumulatori di energia elettrica sono in grado di accumulare energia e di renderla nuovamente disponibile come potenza per l'avviamento di veicoli in accelerazione. In questo modo l'energia finora inutilmente dissipata viene riutilizzata in maniera ottimale all'interno del sistema.

Pur con l'impiego di veicoli moderni, in grado, durante il processo di frenatura, di restituire l'energia cinetica in forma d'energia elettrica, si assiste ad un bisogno costantemente crescente di energia.

Modelli e misure hanno mostrato che oggi giorno i veicoli sono in grado di restituire alla rete ferroviaria fino al 40% dell'energia consumata nel processo di frenatura assumendo che tale energia possa essere utilizzata simultaneamente da altri carichi.

Una frenatura a recupero ottimale presuppone d'altra parte l'esatta simultaneità dei processi di frenatura ed avviamento, cosa che nella pratica, soprattutto per le tratte di diramazione, non è verificabile.

Anche in condizioni di servizio ottimali una gran parte dell'energia cinetica dei veicoli viene trasformata in calore nei reostati di frenatura ed è perciò persa da un punto di vista sia ecologico che economico.

Vantaggi degli accumulatori di energia

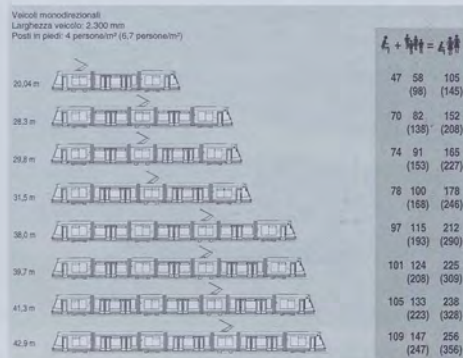
Applicazioni stazionarie degli accumulatori di energia nei sistemi di trazione elettrica possono accumulare una notevole parte dell'energia cinetica finora convertita in calore durante la frenatura facendone uso ottimale per i successivi processi di avviamento.

In un sistema dotato di accumulatore, l'energia di frenatura in surplus fluisce attraverso la linea di contatto nell'accumulatore e da quest'ultimo ad un veicolo in avviamento, di nuovo attraverso la linea di contatto. L'energia restituita dall'accumulatore non deve quindi essere fornita dalla sottostazione in parallelo all'accumulatore, e ciò determina una riduzione della richiesta di energia dalla rete.

L'impiego di sistemi accumulatori di energia nell'alimentazione ferroviaria permette, oltre alla riduzione del consumo di energia, ulteriori vantaggi per l'esercizio operativo ed il dimensionamento progettuale del sistema di alimentazione elettrica:



Accumulo dell'energia di frenatura dei veicoli mediante il sistema "Sitrax Ses".



Possibili combinazioni delle casse, con una possibile distribuzione dei posti.

- recupero ottimizzato dell'energia di frenatura dei veicoli;
- consumo di potenza ben bilanciato attraverso la riduzione dei picchi di potenza;
- stabilizzazione della tensione della linea di contatto;
- incremento della potenza di picco disponibile nel sistema DC.

Tutto ciò porta alla riduzione dei costi per l'energia, all'incremento della disponibilità di potenza sui tratti interessati e alla stabilizzazione della tensione d'alimentazione. Gli accumulatori di energia possono essere installati all'interno delle sottostazioni elettriche o collocati lungo linea.

Dimensionamento di un accumulatore di energia

Il contenuto di energia è determinato dall'energia cinetica dei veicoli, cioè massa del veicolo e sua velocità, in accordo alla seguente: $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Per un comune veicolo per il trasporto urbano con una massa di 50 t ed una velocità massima di 80 km/h, l'energia cinetica risultante è: $W = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ t} \cdot (80 \text{ km/h})^2 = 12,3 \text{ MJ} = 3,4 \text{ kWh}$

Considerato che una parte dell'energia di frenatura viene utilizzata nel diretto scambio di energia tra un veicolo frenante ed un veicolo accelerante, può essere effettuato il dimensionamento economicamente ottimale dell'accumulatore. Il contenuto energetico deve essere scelto in modo tale che possa essere accumulata la massima energia finora non utilizzabile, con il minimo di capacità di accumulazione installata in servizio continuativo.

Sulla base di queste riflessioni è stato sviluppato un concetto modulare, il quale permette, in dipendenza dalle condizioni d'impiego, di calibrare sia il contenuto energetico che la potenza dell'accumulatore di energia in maniera scalare.

Identificazione del sito ottimale

La determinazione di un sito adeguato per l'accumulatore di energia è determinante per la redditività di un sistema accumulatore di energia. Vari fattori di influenza sono rilevanti per lo scambio dell'energia resasi libera in frenatura con altri veicoli:

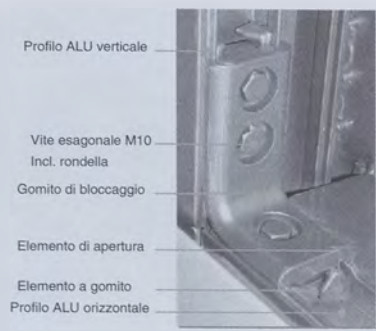
- massa e velocità del veicolo;
- numero di processi di frenatura ed avviamento nella zona d'intervento dell'accumulatore;
- distanza tra le fermate;
- frequenza di passaggio dei veicoli;
- topologia della linea;
- differenza di tensione tra tensione nominale in sottostazione e tensione massima di frenatura dei veicoli.

Grazie a software avanzati, anche con pochi dati di input può essere predeterminato il sito ottimale ed il corrispondente potenziale di risparmio raggiungibile in modo da poter effettuare valutazioni sulla sua economicità. Inoltre i risultati dell'analisi di sistema sono verificabili da misure sul posto, il che permette di riconoscere in maniera sicura qualsiasi eventuale influenza locale sul possibile risparmio energetico. Tool di simulazione più raffinati per la dinamica di rete e di veicolo offrono la possibilità di calcolare ed ottimizzare l'intero sistema di trasporto urbano tenendo in conto tutte le possibili influenze reciproche tra le singole componenti.

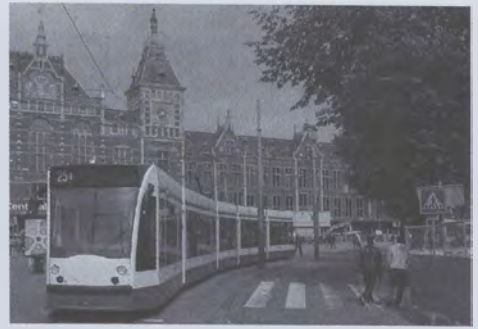
Un unico accumulatore di energia in una sottostazione per il trasporto urbano può ridurre la richiesta annuale di energia elettrica fino a 340.000 kWh. Per la generazione di tale quantità di energia con una moderna centrale a carbone si dovrebbero bruciare circa 100t di carbone ed essere emesse circa 370t di CO₂!



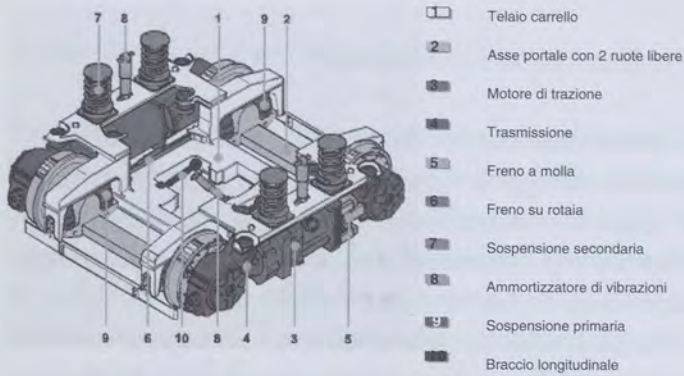
Combino di Potsdam.



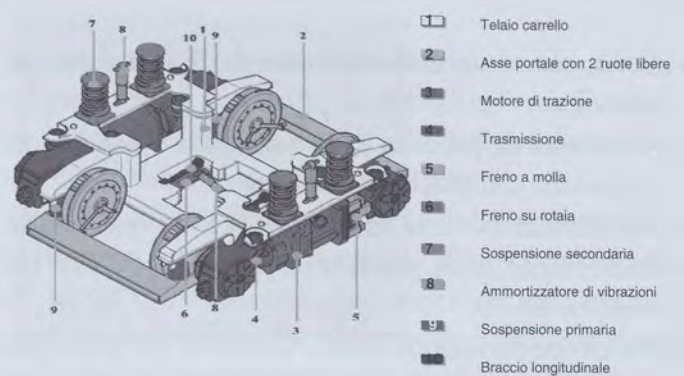
Vista di un giunto Alugrip.



Combino di Amsterdam.



Struttura dei carrelli motore per scartamento normale.



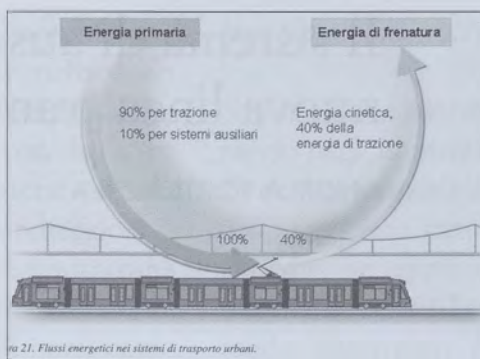
Struttura dei carrelli motore per scartamento metrico.

Dati generali	
Raggio di iscrizione in curva	15 m
Altezza di lavoro del pantografo	minimo 3.700 mm, massimo 6.300 mm
Freni	
- decelerazione media da 70 km/ora con 2/3 di carico	1,2 m/s ²
- freno d'emergenza	2,73 m/s ²
- freno elettrico d'esercizio	fino a 3/3 di portata
Velocità massima	70 km/ora
Accelerazione massima da fermo in piano	1,3 m/s ²
Pendenza superabile	max 7 %
Marcia di lavaggio, a velocità regolata	Da 2 a 6 km/ora
Altezza pavimento nei moduli centrali	300 mm (sul piano del ferro)
Altezza pav. nei moduli carrello (scartamento normale)	330 mm (sul piano del ferro)
Altezza pav. nei moduli carrello (scartamento metrico)	360 mm (sul piano del ferro)
Diametro delle ruote nuove	600 mm
Interasse	1.800 mm
Larghezza luce porte passeggeri	
- porta doppia	1.300 mm
- porta singola	650 mm
Altezza luce porte	2.100 mm
Tipo porta	ad espulsione, scorrevole

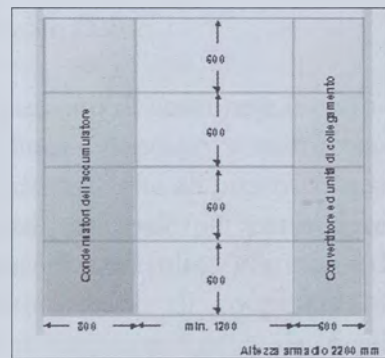
Dati generali del sistema tranviario tipo Combino.



Vista interna di un Combino: indicatori per il pubblico.



Flussi energetici nei sistemi di trasporto urbani.



Vista dall'alto di un sistema accumulatore di energia.

Caratteristica della regolazione nella rete di alimentazione

Il sistema di controllo di un accumulatore d'energia deve riconoscere tali condizioni in modo da non accumulare inutilmente energia altrimenti utilizzabile mettendola a disposizione successivamente con perdite di conversione. D'altra parte l'accumulatore deve rispondere rapidamente alle variazioni di carico, in modo tale che venga dissipata sulle resistenze di frenatura la minor energia possibile. Inoltre occorre garantire che l'accumulatore di energia sia costantemente pronto ad accumulare l'energia di frenatura.

Stabilizzazione di tensione tramite un accumulatore di energia

Un accumulatore di energia è in determinate condizioni perfino in grado di sostituire una sottostazione a raddrizzatori. È stato possibile dimostrare ciò sulla base del sistema accumulatore di energia a Colonia-Ensen.

La sottostazione Ensen alimenta la linea nelle due direzioni. Nel caso concreto di prova una direzione è stata alimentata solo dalla sottostazione Ensen in modo da simulare le condizioni di caso peggiore.

Progetto degli accumulatori di energia con condensatori a doppio strato

Basandosi sulle positive esperienze con il prototipo di un accumulatore di energia a Colonia-Ensen, Siemens ha portato avanti lo sviluppo ulteriore della tecnologia impiegando come mezzo di accumulo dell'energia condensatori a doppio strato (DLC, Double Layer Condensator). Questi sono una componente innovati-

va per l'immagazzinamento elettrostatico dell'energia. La bassa tensione d'esercizio dei singoli moduli condensatori viene, in tale sistema accumulatore, adattata in maniera ottimale alla tensione di qualunque sistema di alimentazione ferroviaria attraverso il collegamento serie e parallelo dei condensatori.

L'accumulatore d'energia è progettato per essere montato in armadio e comprende i principali componenti pre-testati, banco di condensatori e sistema di connessione. I componenti dell'accumulatore d'energia possono essere forniti come unità montate in armadio per l'utilizzo in sottostazioni già esistenti o da costruire ex novo.

Per una realizzazione rapida è anche disponibile la soluzione in container in versione *Plug and Play*.

Conclusione

Risorse energetiche limitate, domanda energetica e costi energetici crescenti richiedono sempre più una migliore utilizzazione possibile dell'energia.

Gli accumulatori di energia rappresentano una soluzione innovativa ed ottimale per ridurre il consumo di potenza. La propagazione crescente degli accumulatori di energia non solo riduce i costi energetici, ma riduce le emissioni di anidride carbonica in maniera drastica.

Riferimenti:

<http://www.siemens.com/>
<http://www.siemens.it/ts/>

Maurizio Migliorati, ingegnere, Siemens, Milano.
 Mauro Quaglia, ingegnere, Siemens, Milano.

Il sistema di ausilio all'esercizio della nuova linea tranviaria di Messina

ANGELA TORTORELLA

Il ritorno del tram

Diverse motivazioni spingono oggi verso un trasporto pubblico in superficie, da attivare in sedi protette usufruendo di nuove tecnologie costruttive ed adottando mezzi di telecontrollo e segnalamento della circolazione, nonché tecnologie di radioazionamento degli scambi che ne agevolino l'impiego, garantendo sicurezza di marcia e regolarità del servizio.

Il successo delle iniziative di reintroduzione del tram, che sono in corso o già attuate in numerose città italiane ed europee, dipende da fattori quali l'accessibilità, la puntualità, la sicurezza ed il comfort di viaggio, requisiti che trovano riscontro nella realizzazione di infrastrutture moderne e ben inserite nel panorama urbano (fermate, depositi, servizi di fermata, ecc.) e nella messa in servizio di vetture dalle particolari caratteristiche costruttive (pavimento ribassato, climatizzazione a bordo, silenziosità di marcia, ecc.).

Oggi l'opinione pubblica ritorna a considerare il tram quale mezzo più idoneo per il trasporto pubblico urbano, con caratteristiche tali da ridare vivibilità al centro: le vetture tranviarie infatti non inquinano, grazie alla trazione elettrica che le rende alleate nell'attualissimo impegno di difesa dell'ambiente e della salute pubblica, e non infastidiscono acusticamente grazie ai progressi realizzati con le nuove tecnologie applicate sia alle vetture stesse che all'armamento.

Il progetto di Messina

Un più consistente ruolo del trasporto pubblico è quindi uno dei più efficaci strumenti in grado di avviare a soluzione i problemi della mobilità urbana, riportando le città a livelli di maggiore vivibilità.

La realizzazione della nuova linea tranviaria di Messina ha perseguito decisamente questo obiettivo e contribuirà a rendere più competitiva ed appetibile per l'utenza l'offerta pubblica di trasporto, senza porsi in concorrenza con il servizio preesistente ma sviluppando, invece, un'efficace complementarità in modo che il sistema pubblico complessivo (tram + autobus) possa acquisire un'elevata quota di utenza, riducendo quella che in atto si indirizza in modo esclusivo verso il mezzo privato.

Il ricorso a realizzazioni di questo tipo ha dato esiti positivi ove si pensi che, ad esempio, le nuove linee di Grenoble hanno prodotto il rad-

doppio della quota di utenza del trasporto pubblico. Naturalmente obiettivi così ambiziosi richiedono un'accurata politica della mobilità complessiva, volta all'organizzazione dell'interscambio con le altre modalità di trasporto, alla predisposizione ed alla regolamentazione delle aree di sosta e parcheggio.

Il progetto della tramvia di Messina¹ si è posto come obiettivo sia quello di rivalutare in maniera moderna il problema della mobilità, sia quello di porsi come progetto a scala urbana con l'intento di coinvolgere l'intorno spaziale del tracciato.

Si tratta di una linea tranviaria di circa 7,4 km di doppio binario, su sede protetta, con 17 fermate compresi i due capolinea, ed un deposito per officina e rimessaggio vetture.

Si è cercato di evidenziare il passaggio del tram e della sua sede protetta rendendolo un asse identificabile attraverso una bordura di verde progettata e puntualizzata da una serie di alberi ad alto fusto e, dove la situazione del traffico veicolare lo ha consentito, si è cercato di dare più peso al rapporto pedone-tramvia. In alcuni casi infatti la geometria delle stazioni di fermata è stata relazionata all'intorno, inserita lungo i marciapiedi esistenti consentendo una facile fruizione da parte dei cittadini, mantenendo sempre gli elementi progettuali di riconoscibilità: pensiline e corpi illuminanti.

Il successo comunque dell'intera opera è legato, oltre che ai suddetti interventi di riqualificazione, soprattutto al buon funzionamento ed all'esercizio della linea, per il quale è stato previsto un sistema di ausilio (S.A.E.).

Tecnologie degli impianti fissi e sicurezza di circolazione

Uno degli elementi di fondamentale importanza presi in considerazione nelle scelte di progetto, pur essendo di fatto poco visibile al passeggero, è quello della sicurezza di circolazione dei tram, specialmente in punti d'incrocio o sugli scambi. I requisiti tecnici, assunti nelle specifiche tecniche di progetto e verificati nelle successive forniture dei sistemi di comando scambi e di segnalamento, sono i più recenti e stringenti (ad esempio, apparato di comando scambi con doppio processore di controllo e con sequenze di programma diversificate). La tramvia è ovviamente esercita in regime di "marcia a vista", ciononostante, ed in conseguenza delle dimensioni e delle elevate prestazioni dei veicoli, è indispensabile introdurre negli apparati di attuazione e negli impianti fissi standard di prestazioni in sicurezza altrettanto elevati.

Il sistema ausilio all'esercizio (S.A.E.)

Si tratta di un sistema integrato di gestione e monitoraggio degli impianti di linea e deposito, semaforizzazione preferenziale ed informazione all'utenza, che si propone come strumento principale per permettere alle diverse applicazioni di controllo, gestione ed informazione nell'ambito urbano di cooperare in modo strutturato per il raggiungimento sia degli obiettivi specifici di ciascuna applicazione, sia degli obiettivi strategici cittadini.

L'architettura organizzativa, funzionale e sistemistica, rispetta da un lato l'autonomia di ogni singolo componente e, dall'altro, massimizza sinergie ed efficienze attraverso la cooperazione.

La soluzione integrata S.A.E., come d'altronde gli apparati di comando e segnalamento tranviario, sono stati forniti dalla società Project Automation.

Tale sistema prevede la realizzazione di un posto centrale di controllo, all'interno dell'area del deposito, costituito dal centro di controllo della rete di Trazione Elettrica, dal centro di controllo del Traffico e dal centro di controllo del Deposito; il centro di controllo del Traffico comprende i sottosistemi relativi alla Semaforizzazione Preferenziale, Localizzazione vetture e Regolizzazione del servizio tranviario, Informazione all'utenza, Segnalamento, nonché la possibilità di interfacciamento a sistemi di controllo visivo delle principali intersezioni viarie e a sistemi di controllo di parametri ambientali e pannelli informativi per il traffico automobilistico.

Lo scambio di informazioni tra periferiche e Posto Centrale di Controllo, in particolare dei dati di localizzazione vetture, diagnostica e supervisione apparati, avverrà mediante sistema di comunicazione su Fibra Ottica e concentratori di trasmissione dati.

Un sistema radiomobile, che nella fase attuale, secondo le normative di legge, si è previsto monocanale, garantirà invece le comunicazioni in fonìa con le vetture tranviarie in esercizio di linea e la trasmissione di allarmi e comandi pre-codificati nelle due direzioni. In particolare tramite comandi pre-codificati automatici/manuali dal Posto Centrale alla vettura e/o al sistema di priorità semaforica, sarà realizzata la regolizzazione delle corse.

In una fase successiva di sviluppo del piano di trasporto messinese sarà possibile, previa acquisizione di un secondo canale radio² destinato alla radiolocalizzazione della flotta su gomma, gestire dal Posto Centrale della Metrotramvia – in modo funzionalmente unificato – sia autobus che tram.

Semaforizzazione preferenziale

Tale sistema è atto a conseguire l'obiettivo generale di ridurre i tempi di percorrenza della linea tranviaria, in modo da rendere più competitivo il trasporto pubblico e modificare la ripartizione modale del sistema di trasporto. Risponde peraltro pienamente alle più recenti raccomandazioni e studi per le ATT (*Advanced Transport Telematics*) previsti nei programmi di ricerca europei di DRIVE II.

Il sistema di semaforizzazione coordinata è costituito da un'architettura gerarchica su due livelli con intelligenza distribuita che garantisce il massimo dell'affidabilità grazie all'interconnessione fra i nodi periferici (regolatori semaforici) oltre che con il livello centrale. Le soluzioni adottate sono in linea con le più recenti prescrizioni di legge in materia di controllo dell'inquinamento ambientale.

Il sistema di priorità semaforica previsto nell'appalto della tramvia consente funzionalità del tipo "adattativo a generazione di piano": in pratica il sistema consentirebbe di adeguare in tempo reale le fasi semaforiche alla domanda sia di traffico pubblico (priorità semaforica per i tram) che di traffico privato, con evidenti vantaggi sia di incremento della velocità commerciale dei tram, sia di riduzione dei valori di inquinamento ambientale (qualità dell'aria ed inquinamento acustico), sia di risparmio energetico complessivo. Per ciascun incrocio automatizzato è stata installata una unità intelligente multifunzionale (MFU), costituita da un personal computer industriale, ospitata nell'armadio nominato "armadio secondario". Nello stesso è stato lasciato a suo tempo lo spazio necessario per installare un regolatore semaforico.

Il software applicativo della unità MFU realizza un controllo della intersezione minimizzando i ritardi, gli stop dei veicoli tranviari e gli eccessi di capacità sui sensi entranti ed uscenti, del piano di area suggerito dal centro di controllo.

Il regolatore semaforico riceve ed attua il ciclo desiderato dalla MFU e restituisce le misure di traffico rilevate attraverso i *loop* ad esso collegati.

Il modello di controllo attuato è in grado di effettuare le previsioni di arrivo agli incroci successivi al fine di modificare in tempo utile la fase semaforica per non rallentare la velocità del veicolo in prossimità dell'incrocio.

La metodologia di regolazione prevede l'adattamento a breve termine alle variazioni rapide del traffico. Il sistema fornirà le informazioni sullo stato della viabilità (congestioni, ecc.).

Le informazioni sullo stato del traffico, campionate

direttamente agli incroci, si potranno rivelare di enorme importanza per la valutazione fisica delle concentrazioni di inquinanti aerodispersi misurate dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria che potranno essere presenti nell'area dell'intervento.

Tenendo conto che generalmente, tranne che alle intersezioni, i tram non condividono la sede stradale con il traffico privato e che la rete semaforica controllata copre l'intero percorso tranviario, il sistema di controllo del traffico si pone come obiettivi.

- livello di priorità al mezzo pubblico (tram) maggiore dell'80%;
- 40 % di riduzione del tempo di attesa per i mezzi tranviari in priorità;
- >5% di riduzione delle emissioni inquinanti da traffico autoveicolare.

La soluzione realizzata ha previsto l'impiego di transponder attivi a bordo dei tram e di rivelatori di presenza tram (antenne) interrati sotto la sede tranviaria a partire da almeno 100 metri a monte dell'intersezione semaforica. Lo scambio informativo tra vettura tranviaria ed installazione di terra avviene per trasmissione induttiva, codificata in digitale e protetta da interferenze elettromagnetiche. Il recettore del segnale è una spira posta entro il binario. La stessa spira funge anche da trasmettitore per convogliare un segnale di conferma, accettazione di un comando, o altro, al sistema di bordo. Grazie a questo modo operativo gli scambi possono essere comandati da bordo, così come da bordo può essere emessa una richiesta di priorità semaforica.

Queste funzioni, che sono poste sotto il controllo diretto del conducente, sono eseguibili anche in modo completamente automatico, sulla base della sola emissione dei codici di linea e turno. Questa caratteristica permette un notevole incremento di prestazione e di velocità commerciale.

I dispositivi ricettori di terra (spire) permettono di rilevare con precisione assoluta il tram, oltre che alle intersezioni, anche in altre posizioni notevoli (per esempio all'ingresso ed all'uscita delle fermate, nei capolinea, in ingresso o uscita deposito).

È importante osservare che la presenza del tram viene rilevata in qualunque punto del tracciato, senza alcun problema di interferenza nel caso che sulle spire induttive transitino altri tipi di veicoli. Il dispositivo prescelto, in virtù della codifica caratteristica adottata³, offre un'elevatissima certezza di corretto riconoscimento delle vetture tranviarie.

Allo stato attuale sono stati installati nuovi regolatori semaforici negli incroci "tranviari", ma non è ancora

stato eseguito il collegamento seriale tra la MFU ed il regolatore in ciascun incrocio. In assenza di tale collegamento la MFU non è in grado di comunicare al regolatore l'arrivo del tram.

Le richieste di priorità – in normali condizioni di esercizio – serviranno a finalizzare il processo di stima dei tempi di arrivo/tempi di transito, che è eseguito in modo centralizzato al PCO su base di successivi avvistamenti dati dal passaggio del tram sulle spire induttive. Le Unità Multifunzionali in periferia riceveranno dal PCO le indicazioni per aggiornare gradualmente e progressivamente i *timing* semaforici, fino alla coincidenza ottimale con l'arrivo del tram. Il processo di propagazione su tutte le unità Multifunzione, creerà un *coordinamento semaforico dinamico* tra i successivi incroci rispetto agli arrivi dei tram, limitando così le perturbazioni al traffico privato, introducibili per esempio da sistemi del tipo a priorità assoluta o a chiamata di fase semaforica. In caso di caduta di applicazioni centrali di previsione d'arrivo o delle linee di comunicazione tra PCO e nodo periferico di trasmissione FDDI⁴, la concessione della priorità sarà comunque risolta a *livello di singolo incrocio* basandosi sui segnali di presenza del tram che, ricevuti attraverso le spire induttive, saranno trasferiti all'unità Multifunzione dell'incrocio per essere processati. Questa importante caratteristica garantirà un degrado morbido di sistema.

In sostanza la soluzione proposta per la gestione della priorità con transponder a bordo si caratterizza per la capacità di:

- privilegiare il transito di mezzi pubblici (tram);
- regolarizzare il servizio pubblico;
- ottimizzare il traffico privato.

Tale sistema permette di ottenere così due effetti importanti per la fluidità del traffico e per la credibilità della regolazione semaforica, cioè:

- evitare eventuali brusche perturbazioni sul traffico privato derivate dal classico approccio "a chiamata di fase", in cui la priorità viene richiesta al momento di presentazione del mezzo e servita dal regolatore senza mediazione;
- consentire che la scelta della durata delle fasi sia sempre adeguata al volume di traffico privato che attraversa l'incrocio nelle varie direzioni.

Localizzazione vetture

Per il monitoraggio dell'intera linea tranviaria sono stati installati sui veicoli le fondamentali funzioni di autolocalizzazione, raccolta dei dati di esercizio, relazione interattiva con il centro di controllo operativo

della linea, relazione interattiva almeno locale con le aree semaforiche interessate, onde garantire la massima diffusione del sistema ed ottenere il miglioramento della velocità commerciale e conseguente ottimizzazione nell'utilizzo del parco vetture.

Il sistema di monitoraggio dei veicoli tranviari, al PCO, *riceve via connessione FDDI* e in tempo reale i dati di identità e posizione generati dal passaggio dei tram sopra le spire induttive.

I dati di posizione e le variazioni sulle tabelle orarie sono elaborati nel posto centrale, per diversi scopi tra cui l'attivazione della priorità semaforica per il tram, dal sottosistema di localizzazione che consentirà così anche la regolarizzazione del servizio.

Il sistema informatico centrale include le seguenti elaborazioni e funzioni di sistema:

Elaborazioni:

- messaggistica fra applicazioni;
- database server;
- gestione sistema;
- raccolta e distribuzione dati;
- localizzazione/identificazione automatica dei veicoli.

Funzioni:

- monitoraggio automatico dei veicoli, regolarizzazione dell'esercizio;
- statistiche;
- collegamento con il sistema di controllo della semaforizzazione e priorità.

Una vista dinamica del successivo posizionamento dei tram viene visualizzata al PCO, su monitor del terminale Operatore dedicato e riportata su una cartina geografica dell'area interessata.

È stato previsto anche un collegamento radiomobile in fonia tra PCO e vetture, in modo da supplire ad eventuali guasti tecnologici o degradi del servizio. La regolarizzazione dell'esercizio si avvarrà della vista sinottica dei posizionamenti in linea e di specifiche applicazioni software di supporto S.A.E. Gli opportuni comandi correttivi saranno emessi dal PCO utilizzando lo spazio radio riservato ai messaggi pre-codificati e indirizzati ai singoli tram interessati.

Il sistema di bordo installato sui tram include le seguenti elaborazioni e funzioni di sistema:

Elaborazioni:

- autolocalizzazione;
- database: tabelle orarie, linee e turni;
- gestione sistema di bordo;
- controllo dei dispositivi di conta dei passeggeri e del sistema di annunci mediante il bus di bordo per trasmissione dati, IBIS.

Funzioni:

- puntualità (anticipo/ritardo rispetto alle tabelle orarie caricate);
- monitoraggio degli allarmi dai veicoli;
- monitoraggio dell'identificazione conducente;
- sistema di controllo automatico degli annunci grazie alla funzione di autolocalizzazione;
- conta dei passeggeri.

Un database contiene i parametri di sistema, le tabelle orarie e la descrizione della linea.

Le tabelle orarie della linea e dei turni di servizio sono trasferiti ai veicoli quotidianamente, durante l'uscita mattutina, tramite la stazione automatica di carico/scarico dati installata nella zona ingresso/uscita del deposito.

Informazione all'utenza

Il sistema di monitoraggio, consentendo la raccolta in tempo reale di tutti i dati relativi ai tempi di percorrenza dei veicoli, garantisce non solo le usuali funzioni di regolazione della rete, localizzazione delle vetture, gestione dell'esercizio, preferenziamento semaforico locale e gestione anticipo/ritardo, ma anche la massima visibilità e la "fruibilità" in tempo reale da parte dell'utenza servita.

Sono state installate paline intelligenti alle fermate, attraverso le quali vengono fornite all'utenza informazioni *real time* relative al servizio (attese previste, transiti, ecc.).

Controllo del deposito

Per il centro di gestione deposito è stato installato un software di supervisione globale, con compiti di indirizzamento automatico ai binari zona rimessaggio, analisi on-line della situazione nei vari punti e per ogni apparato.

L'apparato centralizzato di controllo del deposito permette all'operatore di formare gli itinerari di entrata ed uscita di smistamento, sotto condizioni di totale supervisione degli scambi, dei comandi di blocco e delle segnalazioni in linea, oltre che, naturalmente, di quelle interne al deposito.

Il personale presente in sala di controllo opera con criteri di supervisione e gestione delle eventuali non conformità e nella funzione di gestore dei messaggi destinati ai conducenti.

Conclusioni

I lavori di realizzazione della tramvia sono stati ultimati il 30 aprile 2002 e l'intera linea è entrata in eser-

cizio, dopo le necessarie fasi di collaudo. Le quindici vetture previste, di fornitura Alstom, sono state consegnate. È stato previsto il funzionamento del sistema a pieno regime dal 2004.

L'attesa è quella di una maggiore fluidità di viaggio nell'area urbana, conseguenza della funzione della tramvia che raccoglierà i passeggeri sulla linea di forza della rete urbana (linea sud-nord) per ridistribuirli nei punti di interscambio con il servizio su gomma.

La rete di diffusione su gomma acquisirà una funzione specifica, che determinerà un ridisegno delle linee per meglio servire lo scopo.

L'effetto generale sulla circolazione è pertanto ritenuto altamente positivo, anche in ragione degli interventi, connessi alla tramvia, che riguardano la revisione degli impianti e dei piani semaforici, lo studio dei nuovi piani di traffico adeguati alle mutate condizioni, la possibilità di intervenire sui tempi di viaggio, la realizzazione di nuovi parcheggi d'interscambio.

Ringraziamenti

Si ringrazia la società Project Automation S.p.A. di Monza per la collaborazione prestata nella revisione della nota.

Angela Tortorella, ingegnere, direzione lavori della tramvia del Comune di Messina.

NOTE

¹ Redatto da Systra, Sofretu, Sofrerail S.A., Prof. Ing. Cesare Fulci, Ing. Santi Caminiti, Prof. Ing. Antonino D'Andrea, Ing. Maurizio Falzea, Arch. Sebastiano Fulci, Ing. Orazio Pellegrino, Ing. Fabio Porcino, Ing. Angela Tortorella e realizzato dall'associazione temporanea di imprese GEPCO-SALC, VENTURA ed EFACEC Engenharia S.A.

² Per le disposizioni del Ministero delle Comunicazioni la progressiva assegnazione di canali per radiolocalizzazione è subordinata ad ogni incremento di almeno cento unità nella consistenza della flotta.

³ Codifica a rivelazione d'errore, quindi in grado di riconoscere e scartare trasmissioni eventualmente disturbate da errori.

⁴ Quantunque l'anello FDDI sia - per ragioni di affidabilità - doppio ed ammetta il *re-routing* dei messaggi in caso di *break-down* sull'anello di riserva.

II Parte

Prospettive del trasporto a guida vincolata con trazione a fune

In questa seconda parte sono riportate le relazioni di aggiornamento di una selezione delle memorie presentate nel corso del convegno “*L’innovazione nei sistemi di trasporto a fune*”, tenutosi il 23 ottobre 2003 presso il Politecnico di Torino; il convegno è stato organizzato dal Politecnico stesso (Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili) con il patrocinio del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Direzione Generale dei Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi). Il convegno è stato realizzato con il contributo del Programma TEMPUS - *Education*, progetto “ADVENTURES” (CD_JEP-15045-2000, Commissione Europea, 15.03.2001-14.03.2004), nel quale sono state coinvolte: l’Università di Sarajevo – Facoltà di Trasporti, Traffico e Comunicazioni (Bosnia - Erzegovina); l’Università di Southampton – *Transportation Research Group* (Gran Bretagna); la sede ospitante, quale contraente del progetto.

L’utilizzo dei sistemi di trasporto con trazione a fune nelle aree urbane o in zone limitrofe, specie se collinari o impervie, è riscontrabile da decenni, talvolta da oltre cent’anni, negli impianti di tipo funicolare e nelle cremagliere. Mentre alcune tipologie di impianti a fune, molto applicate in aree sciistiche, non hanno né possono avere riscontro in contesti metropolitani per il trasporto di persone – in particolare le sciovie, le seggiovie, le teleferiche e, generalmente, le funivie aeree – altre hanno fatto la loro comparsa in tempi recenti per il trasporto pubblico in città o in aree ad elevata frequentazione (centri congressi, aeroporti ecc.). L’interesse per tali tipologie di impianti discende dalla possibilità di rinunciare al manovratore o conducente a bordo veicolo, assenza derivante dall’utilizzo di una sede vincolata e dalla trazione con una o più funi. L’assenza di personale a bordo soddisfa i medesimi obiettivi emersi nella prima parte del volume: un servizio di trasporto in sede completamente protetta ad elevata frequenza – vale a dire con possibilità per i passeggeri di salire a bordo veicolo indicativamente ogni 1-2’ o entro un periodo massimo di 5-6’ – senza la necessità di disporre continuamente di personale per l’avvio e conduzione dei veicoli in linea.

In tale ottica sono stati installati impianti simili alle cabinovie o, da un punto di vista progettuale, da esse derivanti, ed impianti tipo le funicolari, ad elevata automazione e con centrale di controllo; tali tipologie di sistemi di trasporto sono spesso classificate come Automated People Mover o APM. Mentre sistemi simili alle cabinovie, con veicoli frequenti e cadenzati, sono adatti a superare anche distanze dell’ordine di alcuni chilometri, quelli del tipo funicolare “a va e vieni” si prestano meglio per coprire brevi distanze, a meno che non siano disposti in serie; essendo infatti la loro potenzialità direttamente proporzionale alla velocità (al massimo, di 10-12 m/s) ma inversamente proporzionale alla distanza tra gli estremi del percorso, tali impianti sono penalizzati per distanze superiori ad uno-due chilometri; impianti simili, più semplici, adatti per distanze brevi (decine di metri o ettometriche) sono gli ascensori inclinati.

In generale, l’utilizzo di sistemi di trasporto con trazione a fune nelle aree urbane e metropolitane ben si presta a percorsi ad elevata tortuosità o elevata pendenza, caratteristiche non accettabili per impianti di derivazione metropolitana a causa degli ampi raggi di curvatura e delle ridotte pendenze richieste, nel caso ferroviario limitate al trentacinque per mille. Da un punto di vista ambientale, la concentrazione dei motori, elettrici, in stazione e l’utilizzo di funi per la trazione, evita le emissioni gassose e di rumore in linea. Da un punto di vista economico, i maggiori oneri per la realizzazione dell’impianto rispetto ai sistemi tradizionali su gomma, con incidenze non marginali dell’automazione, sono normalmente compensati nell’arco di pochi anni d’esercizio dalla possibilità di mantenere l’impianto in funzione, ad esempio, con solo sei persone complessivamente in un anno, su tre turni.

Per concludere, i sistemi di derivazione funiviaria si pongono come valide alternative ai sistemi tradizionali su gomma o su rotaia per potenzialità di alcune o diverse migliaia di persone/ora per direzione di marcia e percorsi eventualmente tortuosi. Essi non possono tuttavia arrivare a competere con sistemi di derivazione metropolitana, quali gli impianti con convogli su gomma, per potenzialità comprese indicativamente tra novemila e ventimila persone/ora per direzione di marcia.

L'evoluzione tecnologica e normativa dei sistemi di trasporto a fune

ADELMO CROTTI, DARIO ALBERTO

Premessa

Gli impianti a fune più noti sono quelli di risalita normalmente presenti nelle stazioni sciistiche, ma anche altri impianti classificabili come tali (teleferiche, piani inclinati, funicolari terrestri in ambito urbano) sono in esercizio da oltre un secolo in varie parti del mondo; l'evoluzione tecnologica che ha interessato ogni comparto dei trasporti ha prodotto, anche in questo settore, profonde trasformazioni di cui si vogliono qui illustrare e dibattere gli aspetti più importanti.

Il mercato mondiale

Purtroppo non è noto quanti impianti a fune siano attualmente in esercizio a scala mondiale; nei principali Paesi occidentali, limitatamente al comparto del trasporto di persone vengono mediamente costruiti circa 250 impianti all'anno.

I principali mercati cui sono destinati tali impianti sono costituiti dai Paesi alpini europei (Austria, Francia, Svizzera e Italia) e dal Nord America; l'assoluta maggioranza della produzione mondiale è appannaggio di pochi costruttori, anch'essi concentrati nei citati Paesi dell'arco alpino.

Nelle figure sono visualizzati i più recenti dati pubblicati relativamente agli impianti di nuova costruzione (2002), con l'avvertenza che per disporre di un quadro esaustivo del mercato mondiale occorrerebbe disporre dei dati del Giappone, unico importante Paese non compreso nelle statistiche citate.

La ripartizione percentuale dei nuovi impianti entrati in servizio può essere letta con diversi criteri: il numero degli impianti, il dislivello o la lunghezza degli stessi, la potenzialità di trasporto oraria o la cosiddetta potenza (potenzialità di trasporto/h x dislivello).

È agevole notare come i Paesi europei costituiscano di fatto il più importante mercato di produzione e vendita di tale comparto e come i tre più importanti costruttori (o meglio i due principali gruppi) rappresentino oltre il 90% della produzione mondiale (Giappone escluso).

Per quanto riguarda la tipologia degli impianti di nuova costruzione, oltre il 50% della potenzialità di trasporto installata è costituito da seggiovie ad ammortamento temporaneo (impianto base delle moderne stazioni invernali). Per quanto riguarda la capienza dei veicoli si nota un'as-

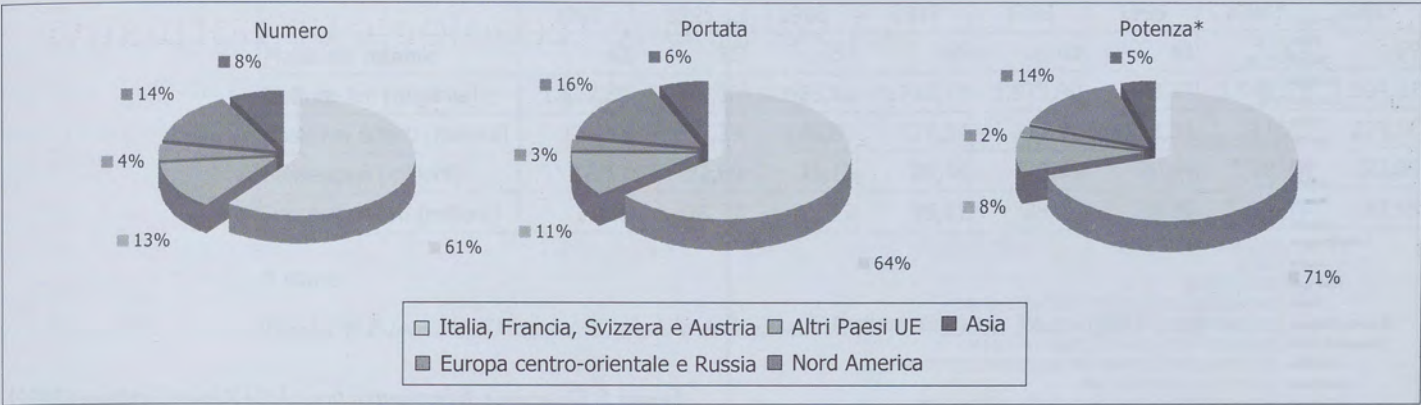


Figura 1. Impianti a fune realizzati nel mondo nel 2002: ripartizione per area geografica.

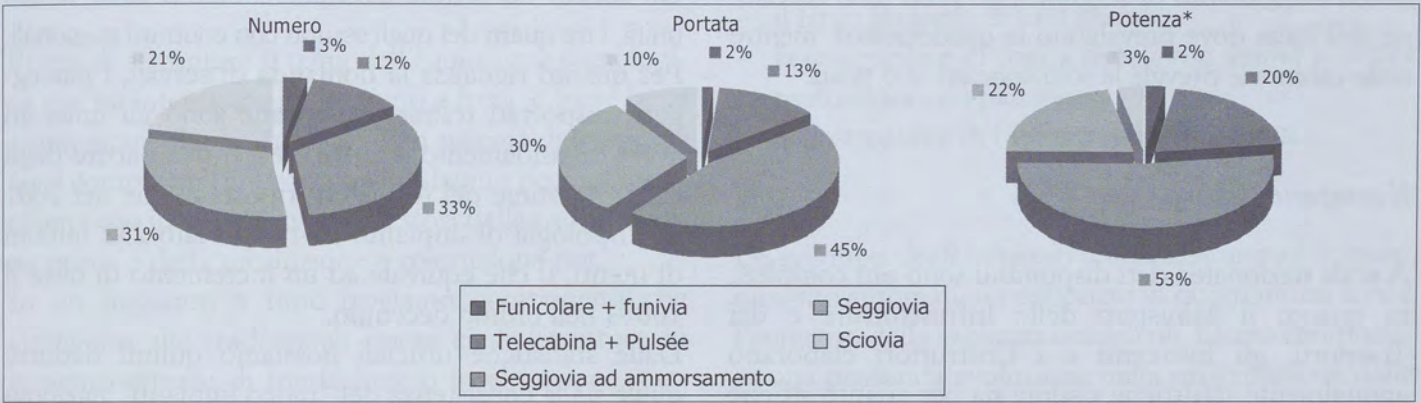


Figura 2. Impianti a fune realizzati nel mondo nel 2002: ripartizione per tipo.

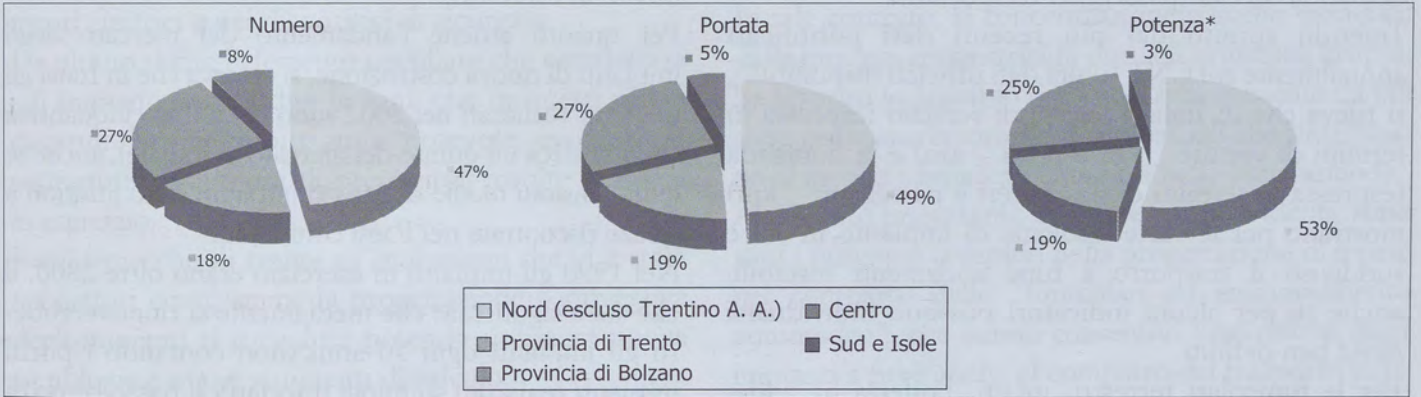


Figura 3. Impianti a fune realizzati in Italia nel 2002: ripartizione per area geografica.

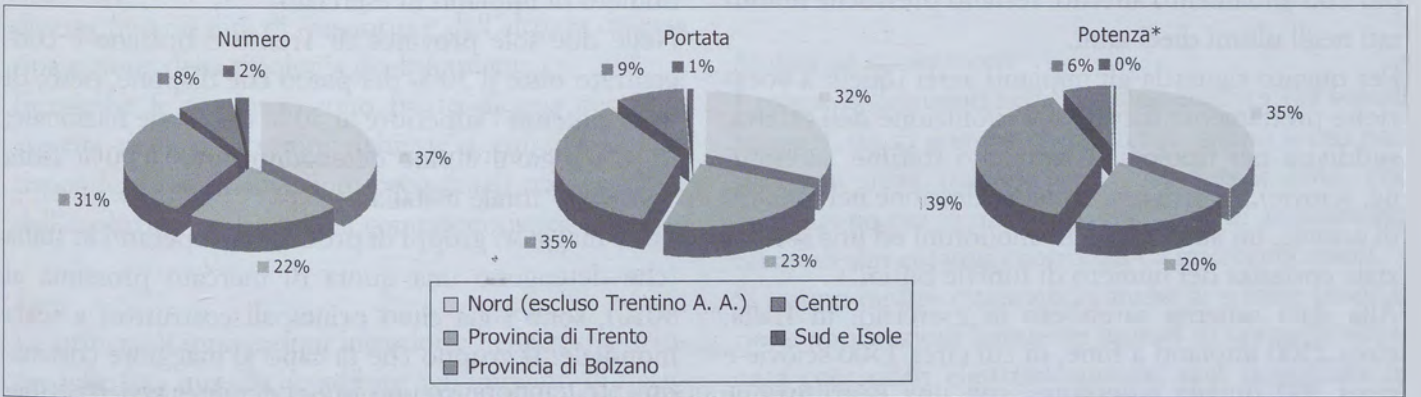


Figura 4. Impianti a fune realizzati in Italia nel 2002: ripartizione per area geografica. Fonte: elaborazione su dati "Quota Neve".

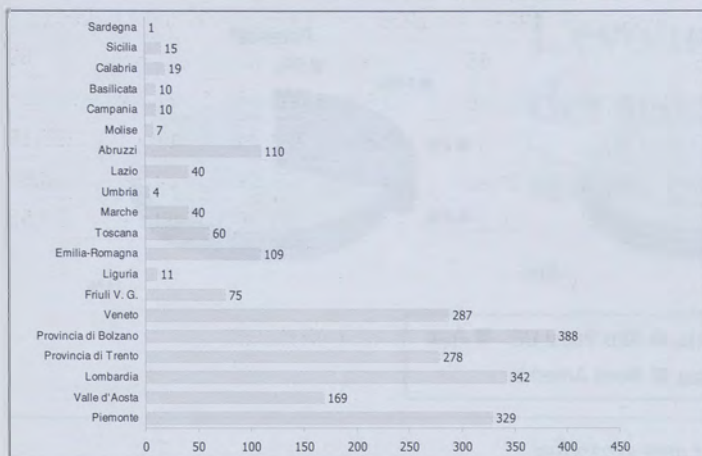


Figura 5. Dotazione di impianti a fune delle Regioni italiane (2002).
Fonte: elaborazione su dati "Quota Neve".

solata maggioranza di seggiole a sei posti (con eccezione dell'Italia dove prevalgono le quadriposte), mentre nelle cabinovie prevale la soluzione ad otto posti.

Il comparto italiano

A scala nazionale i dati disponibili sono più completi, in quanto il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, gli Esercenti e i Costruttori elaborano annualmente statistiche e stime sia per quanto attiene l'offerta di trasporto (impianti esistenti e nuovi impianti costruiti annualmente), sia riguardo la domanda servita (passeggeri trasportati).

Traendo spunto dai più recenti dati pubblicati annualmente sul CNT (unici dati ufficiali disponibili), si rileva che in Italia l'offerta di servizio (espressa in termini di vetture _ km e posti _ km) e la domanda (espressa in termini di passeggeri e passeggeri _ km) mostrano per le varie tipologie di impianto in cui è suddiviso il trasporto a fune andamenti instabili, anche se per alcuni indicatori possono individuarsi *trend* ben definiti.

Per le funicolari terrestri, infatti, l'offerta ha andamento decrescente fino al 1995 per poi risalire costantemente sino ad oggi, mentre i passeggeri trasportati, pur con andamento alterno, restano pressoché immutati negli ultimi dieci anni.

Per quanto riguarda gli impianti aerei (quelli a vocazione prettamente turistica), l'evoluzione dell'offerta, suddivisa per tipologia d'impianto (bifune, monofune, sciovie), mostra una costante flessione nel numero di sciovie, un aumento delle monofuni ed una sostanziale costanza del numero di funivie bifuni.

Alla data odierna sarebbero in esercizio, in Italia, circa 2500 impianti a fune, di cui circa 1500 sciovie e circa 900 funivie monofune, con una distribuzione geografica alquanto disomogenea.

Gli addetti del settore assommerebbero a circa 12.000 unità, i tre quarti dei quali assunti con contratti stagionali. Per quanto riguarda la domanda di servizi, i passeggeri trasportati tramite monofune sono gli unici ad avere un andamento sempre crescente a partire dagli anni '90: stime del Ministero riportano che nel 2001 tale tipologia di impianto ha trasportato 232 milioni di utenti, il che equivale ad un incremento di oltre il 100% nell'ultimo decennio.

Dalle statistiche ufficiali possiamo quindi dedurre quale sia la consistenza del "parco impianti" nazionale, anche se, inevitabilmente, esistono scartamenti fra il numero degli impianti realizzati e quelli effettivamente in esercizio.

Per quanto attiene l'andamento del mercato degli impianti di nuova costruzione, si osserva che in Italia gli impianti realizzati nel 2002 sono circa una cinquantina (quindi circa un quinto del mercato mondiale), anche se le dimensioni medie dei nostri impianti sono inferiori a quelle riscontrate nei Paesi confinanti.

Nel 1990 gli impianti in esercizio erano oltre 2800, il che sta a significare che mediamente si rinnoverebbero gli impianti ogni 50 anni (non contando i pochi impianti realizzati su nuovi tracciati); il basso ritmo di rinnovo, accompagnato dalla dismissione di alcuni impianti, porta ad una costante diminuzione del numero di impianti in esercizio.

Nelle due sole province di Trento e Bolzano è concentrato oltre il 30% del parco che dispone, però, di una "potenza" superiore al 50% del totale nazionale; le sole regioni alpine detengono oltre il 90% della "potenza" totale installata.

I due maggiori gruppi di produzione operanti in Italia (che detengono una quota di mercato prossima al 90%), sono i già citati principali costruttori a scala mondiale. Il gruppo che fa capo al maggiore costruttore nazionale copre una quota di mercato dell'ordine del 50%.

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*
Materiale rotabile	42	55	57	65	61	61	67	69
Vetture-km [migliaia]	1.557,89	1.442,33	1.585,60	1.710,19	1.973,90	2.043,17	1.941,53	1.994,97
Posti-km offerti [milioni]	124,63	115,39	126,85	177,54	217,81	222,34	211,72	223,16
Passeggeri [milioni]	18,11	22,66	21,16	24,44	20,64	20,64	22,72	23,06
Passeggeri-km [milioni]	19,45	26,27	26,10	35,21	28,39	28,39	32,34	33,55

* stime

Tabella 1. Funivie: indicatori dell'offerta e della domanda (1990 – 2001). Fonte: CNIT 2001.

La tecnologia funiviaria

Prima di affrontare il tema dell'evoluzione tecnologica che ha interessato gli impianti a fune, è forse bene rammentare che la "funivia" è un sistema di trasporto assai complesso i cui componenti hanno peculiari specificità che investono svariati settori della progettazione prima e della produzione e costruzione poi.

In un impianto a fune troviamo componenti che attengono alle tradizionali opere civili (strutture in cemento armato di fondazione o in elevazione, carpenteria metallica nei piloni di linea e nelle stazioni), organi meccanici, elettromeccanici ed infine dispositivi elettronici di automazione e controllo negli azionamenti elettrici e nei dispositivi di sicurezza.

Da ultimo si cita l'elemento peculiare che caratterizza tali impianti, vale a dire le funi, che in questi ultimi decenni hanno subito una notevole evoluzione, soprattutto in termini di prestazioni fornite e durata in esercizio.

È evidente che di fronte all'evoluzione che vi è stata nei settori citati, anche la progettazione complessiva degli impianti si è evoluta potendo utilizzare nuove tecnologie e nuovi strumenti di calcolo.

Confrontando le principali caratteristiche degli impianti costruiti nel primo dopoguerra con quelle degli impianti attuali, balza all'occhio da un lato la diversa potenzialità di trasporto e dall'altro la diversa ripartizione della tipologia degli impianti.

Entrambe le tendenze sono frutto di una continua crescita delle prestazioni richieste a cui si è potuto rispondere con innovazioni progettuali rese possibili dall'evoluzione subita dalla componentistica.

Funì

Le principali innovazioni introdotte nella realizzazione delle funi metalliche adibite agli impianti di risalita sono state sviluppate sia in ambito nazionale che

europeo; si citano a titolo esemplificativo:

- il largo impiego di funi zincate;
- la costruzione di funi a trefoli con anima sintetica preformata compattata;
- la costruzione di funi a trefoli compattati.

Morse

Lo sviluppo degli impianti mono e bifune ad ammorsamento automatico verificatosi in questi ultimi anni e l'aumento della capienza dei veicoli, hanno comportato una profonda evoluzione nella progettazione delle morse, al fine di aumentarne le prestazioni e l'affidabilità, ma anche di semplificarne la costruzione e la manutenzione in esercizio.

In tale contesto, la concentrazione a livello mondiale delle imprese costruttrici in due soli principali gruppi, ha favorito lo scambio del *know-how* esistente da cui sono poi scaturite proposte progettuali che sintetizzano al meglio i progressi compiuti nelle varie aziende. Altrettanto importanti, anche se meno evidenti, sono stati i progressi compiuti nella progettazione di morse nel comparto delle "funicolari ad ammorsamento automatico", che hanno consentito l'estensione degli impianti a fune anche al comparto del trasporto pubblico urbano di massa con la realizzazione dei primi sistemi di "metropolitana leggera" con trazione a fune.

Motori ed azionamenti

I progressi compiuti nella trazione elettrica dei veicoli terrestri, sia su gomma che su ferro, hanno avuto pari riscontro nella trazione degli impianti a fune, che dispongono ora in modo generalizzato di azionamenti dotati di alimentatori controllati da microprocessori.

Si stanno inoltre estendendo anche al settore funiviario le applicazioni basate su motori in corrente alternata controllati elettronicamente, con possibilità di regolazione continua della velocità.

Impianti in servizio								
	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*
Bifuni	102	96	97	97	96	92	93	92
Monofuni	674	745	750	772	803	825	854	868
Sciovie	2.086	1.735	1.693	1.694	1.627	1.572	1.559	1.501
Totale	2.862	2.576	2.540	2.563	2.526	2.489	2.506	2.461

Passeggeri [milioni]								
	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*
Bifuni	21	15	17	17	17	16	17	17
Monofuni	101	193	210	214	215	221	229	232
Sciovie	273	205	209	212	207	200	198	192
Totale	394	413	436	443	439	437	444	440

* stime

Tabella 1. Funicolari: indicatori dell'offerta e della domanda (1990 – 2001). Fonte: CNIT 2001

Diagnostica e controllo

Riguardo ai sistemi di automazione, tutti gli impianti moderni sono ormai equipaggiati con un sistema di sorveglianza a tre canali, due a logica statica con sottosistemi a microprocessore ed uno a logica cablata con relè elettromeccanici.

L'adozione di logiche programmabili su due dei tre canali si è estesa negli anni recenti anche alle seggiovie ad attacchi fissi, le quali sono state così dotate di supervisore ed in generale delle stesse versatilità già normalmente offerte per gli impianti ad ammortamento automatico.

Per gli impianti monofune sono attualmente disponibili cercaguasti digitali in grado di rivelare guasti anche fugaci in modalità *on line*.

Le moderne funivie a va e vieni possono essere equipaggiate con programmatori di percorso, che consentono di adeguare alle specifiche esigenze di ogni campagna le lunghezze dei tratti di avanzamento lento, le velocità dei tratti di moto uniforme, le accelerazioni delle rampe di avviamento, rallentamento e ripresa, nonché le intensità delle curve fisiologiche che raccordano i tratti a moto uniforme con le rampe, consentendo in tal modo di armonizzare in maniera ottimale il comfort di marcia con i tempi di percorrenza richiesti.

Particolarmente importanti sono le innovazioni introdotte negli APM (*Automated People Mover*); il movimento di accelerazione, decelerazione e sincronizzazione dei veicoli alla fune nelle stazioni è basato su rampe motorizzate.

Il sistema di automazione prevede un ATO (*Automatic Train Operation system*), un ATS (*Automatic Train Supervision system*) di tipo funiviario con presentazione dei dati concentrata su PC e, infine, un ATP (*Automatic Train Protection system*), analogo al sistema di sorveglianza funiviario, realizzato con hardware dotato di componentistica a sicurez-

za intrinseca e configurazione globale ad alta disponibilità (*fault tolerant*).

Il quadro normativo

In Italia il trasporto pubblico di persone esercito mediante sistemi di trasporto ad impianto fisso è di esclusiva competenza dello Stato, il quale, a seguito del progressivo decentramento amministrativo, assieme a Comuni, Province, Regioni ed altri Enti territoriali minori, può costruire ed esercire direttamente tali impianti oppure concederli all'industria privata.

Gli impianti a fune, rientranti a pieno titolo fra i sistemi di trasporto ad impianto fisso, sono stati da sempre equiparati alla ferrovia, "sorella maggiore" da cui si è attinto a piene mani per la formazione del quadro legislativo di settore: tutta la legislazione funiviaria discende infatti dal testo unico delle disposizioni di legge per le ferrovie ed altri sistemi di trasporto con impianto fisso concesse all'industria privata (Regio Decreto 09/05/1912 n. 1447) e dalla successiva Legge 23/06/1927 n. 1110 sui provvedimenti per la concessione all'industria privata dell'impianto e dell'esercizio di funicolari aeree e di ascensori in servizio pubblico.

Ancora oggi questa stretta parentela con il mondo ferroviario permea la normativa tecnica del settore funiviario: si pensi ad esempio alle problematiche dell'esercizio, della sicurezza e della regolarità dell'esercizio degli impianti a fune, regolamentati dal DPR 11/07/1980 n. 753, che fissa le norme in materia di edilizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto.

A seguito del decentramento operato dal D.P.R. 28/06/1955 n. 771, il quadro legislativo si è sdoppiato con la formazione di norme tecniche, riguardanti la costruzione e la sicurezza degli impianti, di competenza ministeriale, e di norme di tipo amministrativo,

inerenti le modalità di rilascio della concessione e di successivo esercizio degli impianti a fune, demandate dopo il 1970 alle singole amministrazioni regionali.

La normativa tecnica ha sempre seguito l'evoluzione tecnologica degli impianti a fune: dal primo regolamento per le funivie in servizio pubblico destinate al trasporto di persone (D.M. 03/09/1926) si è passati al nuovo regolamento del 1937 (D.M. 31/08/1937 n. 2672), sostituito poi dal *Regolamento Generale per le funicolari aeree in servizio pubblico destinate al trasporto di persone* (D.P.R. 18/10/1957 n. 1367) ed infine dal recente D.M. 04/08/1998 n. 400, *Regolamento Generale recante norme per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinate al trasporto di persone*, che aggiorna all'evoluzione tecnica del settore ed alle nuove tecnologie applicate ai sistemi di trasporto le norme generali di costruzione ed esercizio delle funicolari aeree e terrestri (funivie e funicolari, con esclusione delle sciovie).

Ciascuna tipologia di impianto viene poi trattata con maggior dettaglio in apposite disposizioni tecniche particolari di costruzione ed esercizio, denominate correntemente PTS, Prescrizioni Tecniche Speciali. Per seguire l'evoluzione del settore sono state recentemente emanate le Prescrizioni Tecniche Speciali per gli impianti elettrici delle funicolari aeree e terrestri (D.M. 15/04/2002).

Per quanto concerne il settore amministrativo, ciascuna Regione ha proceduto all'emanazione di proprie norme, con successive evoluzioni legate alle specificità della realtà locale (si pensi al recente trasferimento di competenze dal livello regionale a quello delle comu-

nità montane attuato in Piemonte): in questo modo si è venuto formando un quadro piuttosto variegato, con modalità di approvazione dei progetti di nuovi impianti e procedure di rilascio delle concessioni di costruzione e di esercizio differenti da zona a zona, che possono in alcuni casi disorientare gli operatori del settore, i progettisti ed i costruttori.

A fronte di questa devoluzione si registra all'opposto la necessità di armonizzare le diverse normative tecniche nazionali in un unico corpo normativo comunitario che consenta l'effettiva apertura del mercato interno dell'Unione Europea anche al settore degli impianti a fune. In tale ottica va visto il recente D. Lgs. 12/06/2003, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 184 del 9 agosto scorso, *Attuazione della direttiva 2000/9/CE in materia di impianti a fune adibiti al trasporto di persone e relativo sistema sanzionatorio*, che introduce per la prima volta l'innovativo concetto di "analisi di sicurezza" dell'impianto e la certificazione di tutti i sottosistemi e componenti di sicurezza. Mancano ancora al momento le norme armonizzate CEN (norme tecniche), per cui non è ben chiaro come si procederà nell'applicazione della direttiva europea. Quello che appare evidente, invece, è che le nuove procedure di certificazione dei sottosistemi e componenti di sicurezza comporteranno un probabile incremento dei costi degli impianti.

Adelmo Crotti, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino.

Dario Alberto, ingegnere, libero professionista, Torino.

Le nuove norme europee sugli impianti a fune

SERGIO PALOMBI, PIERPAOLO SIAZZU

1. Normativa Europea: concetto di nuovo approccio ed approccio globale

L'istituzione della Comunità Economica Europea comprende fra i suoi obiettivi la libera circolazione delle merci all'interno della comunità stessa.

I meccanismi messi a punto per realizzare tale obiettivo tendono ad eliminare gli ostacoli al libero scambio delle merci e si basano sul riconoscimento reciproco e sull'armonizzazione tecnica delle norme.

La creazione del Mercato Unico non avrebbe quindi potuto realizzarsi senza una tecnica di regolamentazione che fissasse solo i requisiti essenziali generali, che riducesse il controllo delle autorità pubbliche prima dell'immissione sul mercato di un prodotto e che integrasse la garanzia di qualità ed altre moderne tecniche di valutazione della conformità.

L'Unione Europea ha concepito vari strumenti originali ed innovativi per eliminare gli ostacoli alla libera circolazione delle merci: tra essi principalmente vi sono il *"nuovo approccio"* alla regolamentazione dei prodotti e l'*"approccio globale"* alla valutazione di conformità.

Con la risoluzione del Consiglio Europeo relativa ad una nuova strategia, ovvero al *"nuovo approccio"* in materia di armonizzazione tecnica e normalizzazione è stata istituita una nuova tecnica regolamentare che ha fissato i seguenti principi:

- l'armonizzazione legislativa si limita a stabilire i requisiti essenziali che i prodotti immessi sul mercato devono rispettare per poter circolare liberamente all'interno della Comunità;
- le specifiche tecniche dei prodotti che rispondono ai requisiti essenziali fissati nelle direttive vengono definite in norme armonizzate (in base al nuovo approccio le norme devono fornire un livello di protezione garantito rispetto ai requisiti essenziali fissati nelle direttive);
- l'applicazione di norme armonizzate o di altre norme nazionali rimane volontaria ed il fabbricante può sempre applicare altre specifiche tecniche nazionali esistenti per soddisfare i requisiti previsti;
- i prodotti fabbricati nel rispetto delle norme armonizzate sono ritenuti conformi ai corrispondenti requisiti essenziali.

L'*"approccio globale"* ha introdotto un approccio modulare, suddividendo le procedure di valutazione della conformità in una serie di operazioni, i cosiddetti *"moduli"*, che differiscono fra loro in base alla fase di sviluppo del prodotto (ad esempio progettazione, prototipo,

produzione piena), al tipo di valutazione effettuata (quale controllo della documentazione, approvazione del tipo, garanzia di qualità) ed alla persona responsabile della valutazione (fabbricante o terzi).

La valutazione della conformità si basa pertanto su quanto segue:

- attività interne di controllo della progettazione e della fabbricazione da parte del costruttore;
- esame del tipo, svolto da terzi, più attività di controllo della produzione da parte del costruttore;
- esame del tipo o della progettazione da parte di terzi, più approvazione da parte di terzi del prodotto o dei sistemi di garanzia di qualità della fabbricazione o verifica sul prodotto da parte di terzi;
- verifica di un unico prodotto da parte di terzi per le fasi di progettazione e costruzione;
- approvazione da parte di terzi dei sistemi di garanzia di qualità.

2. Direttive, normativa, certificazione

Dalla Comunità Europea sono state adottate varie direttive per consentire la circolazione dei prodotti.

Tali direttive si possono riassumere in:

- a. *direttive settoriali*;
- b. *normative europee*;
- c. *certificazione*.

a. Le “*direttive di nuovo approccio*” definiscono per tutta la Comunità i requisiti essenziali di sicurezza e di salute delle persone, di protezione dell’ambiente e di protezione dei consumatori, applicabili agli impianti, ai sottosistemi ed ai componenti di sicurezza.

Pertanto:

- il rispetto dei requisiti essenziali di sicurezza e sanitari viene reputato inderogabile per garantire la sicurezza degli impianti;
- i requisiti essenziali fissati negli allegati delle direttive comprendono tutti gli elementi necessari per conseguire l’obiettivo stabilito dalle direttive stesse;
- i prodotti possono essere immessi sul mercato e messi in servizio solo se sono conformi ai requisiti essenziali.

b. Per poter più facilmente provare il rispetto dei requisiti essenziali sono utili le “*norme europee armonizzate*” dalla cui osservanza deriva la presunzione che il prodotto soddisfi i suddetti requisiti essenziali. L’elaborazione delle norme produce specifiche tecniche, che contengono tutte le caratteristiche principali

del prodotto: materiali, caratteristiche fisiche, dimensionali, tecnologiche, prestazionali, ecc., già consolidate dall’esperienza e che possono essere prese come riferimento, fra le parti, in un rapporto consensuale fra produzione ed utenza.

L’attività è espletata a livello europeo dal CEN (*Comité Européen de Normalisation*), che opera attraverso “*Comitati Tecnici*” (T.C.).

c. La “*certificazione tecnica*” costituisce il punto fondamentale perché tutti i prodotti possano liberamente circolare nell’ambito della Comunità.

Mentre quindi le “*direttive comunitarie*” stabiliscono i requisiti essenziali di sicurezza e la “*normativa*” rappresenta l’elemento tecnico a cui rifarsi per le caratteristiche del prodotto, processo lavorativo e requisiti specifici, la “*certificazione tecnica*” è l’istruttoria che, elaborata secondo schemi ben precisi riconosciuti dalla CE, assicura che il prodotto viene costruito secondo le prescrizioni europee.

3. La direttiva 2000/9/CE del Parlamento e del Consiglio europeo del 20 marzo 2000 relativa agli impianti a fune adibiti al trasporto di persone

Si premette che la direttiva 2000/9/CE è volta a promuovere il libero scambio dei sottosistemi e dei componenti facenti parte degli impianti a fune, armonizzando i differenti regolamenti tecnici nazionali.

La direttiva:

- definisce i requisiti e le esigenze essenziali ai quali devono soddisfare gli impianti a fune, le loro infrastrutture, i componenti di sicurezza ed i sottosistemi;
- prevede una procedura di valutazione o di esami di conformità a queste esigenze essenziali per i componenti di sicurezza e per i sottosistemi;
- prevede che questa procedura sia affidata a degli organismi autorizzati dagli Stati membri e notificati alla Commissione europea;
- sarà corredata da un corpo di norme tecniche armonizzate destinate ad evitare differenti interpretazioni dei requisiti essenziali da parte degli organismi notificati.

Il campo di applicazione di questa direttiva lascia agli Stati membri tutte le procedure di rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza e di approvazione dei progetti, nonché le procedure di autorizzazione alla costruzione, al rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza per l’apertura all’esercizio ed il mantenimento in esercizio degli impianti.

4. Il Decreto Lgs. del 12 giugno 2003 n. 210 di recepimento della direttiva 2000/9/CE

Il provvedimento è stato predisposto in base alla delega concessa dalla Legge 1° marzo 2002 n. 39 (Legge comunitaria 2001), e, in particolare, in base all'articolo 1, comma 1, che prevede la delega ad emanare i decreti legislativi recanti le norme occorrenti per dare attuazione alle direttive comprese nell'allegato A, nel quale è compresa, per l'appunto, la direttiva 2000/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 20 marzo 2000, relativa agli impianti a fune adibiti al trasporto di persone.

Il testo è stato coordinato a seguito di riunioni svoltesi presso il Dipartimento per le politiche comunitarie, nell'ambito della Commissione istituita ai sensi dell'articolo 19 della legge 16 aprile 1987 n. 183, sulla base della proposta del Ministro per le politiche comunitarie e del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti di concerto con i Ministri degli esteri, della giustizia, dell'economia e delle finanze, delle attività produttive e per gli affari regionali, e con successive riunioni, per l'esame ed approvazione del testo, in seno alla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome.

Nel decreto legislativo le norme contenenti le sanzioni per la violazione degli obblighi derivanti dalla direttiva dallo stesso recepita sono contenute nei primi due articoli, in quanto la previsione delle sanzioni rientra nelle materie riservate alla competenza esclusiva dello Stato a norma degli articoli 117 e 120 della Costituzione. Pertanto i predetti articoli non avranno la caratteristica di cedevolezza di fronte agli interventi legislativi delle Regioni e delle Province autonome a norma dell'art. 1, comma 5, della legge 1° marzo 2002 n. 39, (legge comunitaria 2001), come le rimanenti norme del presente decreto, laddove attengano a materie di competenza regionale esclusiva o concorrente.

Il provvedimento si compone di ventitré articoli e dieci allegati.

L'articolo 1 contempla l'apparato sanzionatorio penale per la violazione delle norme contenute nel decreto.

L'articolo 2 individua le fattispecie oggetto di sanzione amministrativa.

L'articolo 3 definisce il campo di applicazione. Più precisamente, esso evidenzia le finalità perseguite ed individua le tipologie degli impianti, e dei loro elementi costruttivi, sottoposti alla nuova disciplina ed elenca quelli che ne sono esclusi.

L'articolo 4, dedicato alle definizioni, fornisce il signi-

ficato dei termini e delle locuzioni utilizzate nel provvedimento.

L'articolo 5 sancisce l'obbligo, in relazione agli impianti ed ai loro elementi costruttivi, di rispondenza ai requisiti essenziali riportati nell'allegato II al provvedimento, ed al quale si fa espresso rinvio. Lo stesso articolo contempla poi la libera circolazione dei componenti costruttivi conformi alle prescrizioni del decreto, facendo comunque salva la possibilità di prevedere eventuali ulteriori prescrizioni qualora ritenute necessarie per la protezione delle persone, ed in particolare dei lavoratori durante l'uso degli impianti. L'articolo 6 stabilisce che il progetto dell'impianto deve essere sottoposto all'analisi di sicurezza, il cui contenuto è riportato nell'allegato III, al quale si fa espresso rinvio. Del progetto dell'impianto fa parte l'analisi di sicurezza con la relativa relazione sulla sicurezza ove sono indicate le misure idonee ad affrontare i rischi nonché l'elenco dei componenti di sicurezza e dei sottosistemi utilizzati.

L'articolo 7 sancisce la presunzione di conformità ai requisiti essenziali previsti dall'articolo 5 degli impianti, e dei loro elementi costruttivi, se realizzati ai sensi di una norma nazionale che recepisce una norma europea armonizzata conforme ai requisiti previsti nell'allegato II e pubblicata nella Gazzetta ufficiale delle Comunità europee. In assenza di norme europee armonizzate è prevista, a richiesta dell'interessato, la comunicazione dell'amministrazione competente, delle norme nazionali e delle specifiche tecniche rilevanti per la rispondenza ai predetti requisiti essenziali di cui al citato articolo 5.

L'articolo 8 subordina l'immissione sul mercato dei componenti di sicurezza alla condizione che rispondano ai requisiti previsti dall'articolo 5 e consentano la realizzazione di impianti a loro volta rispondenti ai requisiti di cui al medesimo articolo. È previsto inoltre che l'immissione in servizio di tali elementi costruttivi, correttamente installati e sottoposti a manutenzione, sia comunque subordinata all'assenza di rischi per la salute e sicurezza delle persone e per i beni.

L'articolo 9 sancisce la presunzione di conformità ai requisiti essenziali previsti dall'articolo 5 di componenti di sicurezza muniti di marcatura e di dichiarazione "CE" ed individua i soggetti responsabili ed il procedimento da osservare.

L'articolo 10, analogamente a quanto previsto dall'articolo 8, subordina l'immissione sul mercato dei sottosistemi dell'impianto alla condizione che rispondano ai requisiti previsti dall'articolo 5 e consentano la

realizzazione di impianti a loro volta rispondenti ai requisiti di cui al medesimo articolo.

L'articolo 11, analogamente a quanto previsto dall'articolo 9, sancisce la presunzione di conformità ai requisiti essenziali previsti dall'articolo 5 dei sottosistemi dell'impianto muniti di dichiarazione "CE" di conformità e della documentazione tecnica indicata al comma 3 dell'articolo. Vengono inoltre individuati i soggetti responsabili ed il procedimento da osservare. L'articolo 12 conferma le disposizioni vigenti per le procedure di rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza; inoltre per gli aspetti della vigilanza per quanto concerne la sicurezza, la messa a disposizione dell'organo di vigilanza dell'amministrazione competente, a sua richiesta, della relativa documentazione indicata al comma 5. Nel caso di utilizzazione di componenti di sicurezza o di sottosistemi che presentano caratteristiche innovative, l'articolo prevede, inoltre, che possono essere stabilite particolari condizioni per la costruzione, l'esercizio e il mantenimento in servizio dell'impianto in cui tali componenti o sottosistemi devono essere impiegati. Tali particolari condizioni sono stabilite dall'amministrazione competente sentita la Commissione per le funicolari aeree e terrestri istituita presso il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti e devono essere comunicate alla Commissione europea da parte dello stesso Ministero.

L'articolo 13 prevede misure di salvaguardia adottabili, in caso di pericolo per le persone e per i beni, nei confronti di componenti di sicurezza e di sottosistemi, pur se muniti di marcatura "CE" o di dichiarazione "CE" di conformità e utilizzati conformemente alla loro destinazione. L'amministrazione competente adotta provvedimenti provvisori di limitazione dell'immissione sul mercato o di uso di detti componenti o sottosistemi e provvedimenti definitivi conformemente alle decisioni che nei casi in questione verranno adottate a livello comunitario.

L'articolo 14 prevede l'adozione di misure cautelative che limitino o vietino l'esercizio di impianti che, sebbene autorizzati e correttamente utilizzati, possano mettere in pericolo le persone o i beni.

L'articolo 15 disciplina l'autorizzazione agli "organismi notificati" ad espletare le procedure di valutazione e di esame previste dal decreto. Gli organismi autorizzati e i loro compiti specifici devono essere comunicati alla Commissione europea e agli altri Stati membri.

L'articolo 16 prevede l'attività di vigilanza del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti sul rispetto dei requisiti e sull'attività dei predetti organismi notificati.

L'articolo 17 prevede gli adempimenti che devono essere osservati da parte dell'organismo notificato.

L'articolo 18 disciplina i casi di sospensione o revoca dell'autorizzazione agli organismi notificati.

L'articolo 19 stabilisce la durata triennale dell'autorizzazione rilasciata agli organismi notificati e rinvia, per il rinnovo, alle disposizioni che regolano il primo rilascio.

L'articolo 20 regola l'apposizione della marcatura "CE" e le sue caratteristiche.

L'articolo 21 prevede, per il caso di indebita apposizione della marcatura "CE", l'obbligo di conformare l'elemento costruttivo interessato alle prescrizioni dell'amministrazione competente e, nel caso di persistenza dell'infrazione, il divieto di immissione sul mercato o il ritiro dallo stesso.

Con l'articolo 22 si fa riferimento all'articolo 47 della legge n. 52/1996, per quanto concerne le spese inerenti alle procedure di valutazione della conformità e dell'esame "CE", ai controlli sui prodotti e alle procedure di autorizzazione degli organismi notificati e alla loro vigilanza, rimandando ad un apposito decreto, da emanarsi dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti di concerto con i Ministri delle economie e finanze e delle attività produttive, la determinazione delle tariffe.

L'articolo 23 reca le disposizioni transitorie e finali.

5. Le norme CEN

Il Comitato Tecnico 242 del CEN è competente per l'elaborazione delle norme europee per gli impianti a fune. Le norme previste sono 13, la cui lista viene riportata di seguito.

Indice delle norme (la sigla "pr" indica infatti come esse siano ancora a livello di "progetto di norma"):

- prEN 1907 Terminologia;
- prEN 12929-1 Disposizioni generali - Parte 1. Prescrizioni applicabili a tutte le tipologie di impianti;
- prEN 12929-2 Disposizioni generali - Parte 2. Prescrizioni complementari per le funivie a va e vieni con vetture senza freni sul carrello;
- prEN 12930 Calcoli;
- prEN 12927-1 Funi - Parte 1. Criteri di selezione delle funi e loro attacchi di estremità;
- prEN 12927-2 Funi - Parte 2. Coefficienti di sicurezza;
- prEN 12927-3 Funi - Parte 3. Specifiche per le impalmature su funi traenti e portanti-traenti;

- prEN 12927-4 Funi - Parte 4. Attacchi di estremità;
- prEN 12927-5 Funi - Parte 5. Specifiche per l'immagazzinamento, trasporto messa in opera e messa in tensione;
- prEN 12927-6 Funi - Parte 6. Criteri di deposizione;
- prEN 12927-7 Funi - Parte 7. Controllo, riparazione e manutenzione;
- prEN 12927-8 Funi - Parte 8. Controlli non distruttivi;
- prEN 1908 Dispositivi di tensione;
- prEN 13223 Argani ed altri dispositivi meccanici;
- prEN 13796-1 Veicoli - Parte 1. Attacchi, carrelli, freni di vettura, cabine, seggiole, veicoli, veicoli di manutenzione, traini;
- prEN 13796-2 Veicoli - Parte 2. Prove di resistenza allo scorrimento degli attacchi;
- prEN 13796-3 Veicoli - Parte 3. prove di fatica;
- prEN 13243 Apparecchiature elettriche;
- prEN 13107 Opere civili;
- prEN 1709 Prove, manutenzione, controlli in esercizio;
- prEN 1909 Recupero e salvataggio;
- prEN 12397 Esercizio;
- prEN 12408 Assicurazione di qualità.

A queste ora sono state aggiunti o sono in via di elaborazione ulteriori cosiddetti "documenti ad hoc", che riguardano in particolare:

- Sicurezza del lavoro;
- Prevenzione e lotta contro gli incendi - Parte 1. Funicolari in galleria;
- Registratore d'eventi.

ed ai quali dovrebbe seguire un altro documento riguardante la Prevenzione e lotta contro gli incendi - Parte 2. Altri impianti.

Per completare il quadro, sebbene sommario, della situazione e per fornire alte informazioni agli esercenti ed ai direttori d'esercizio, sono da citare le bozze di norme maggiormente interessanti per l'esercizio:

- prEN 1709 Prove, manutenzione, controlli;
- prEN 1909 Recupero e salvataggio;
- prEN 12397 Esercizio;
- prEN 12408 Assicurazione di qualità;

ed il documento:

- Sicurezza del lavoro.

I testi delle norme diventano definitivi allorquando sono stati esaminati ed approvati in seno al TC stesso ovvero ricevere l'approvazione, o eventuali osservazioni, dagli Enti di unificazione dei vari Stati membri o dello stesso CEN.

Sergio Palombi, ingegnere, già dirigente presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, membro della Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri.

Pierpaolo Siazzu, ingegnere, dirigente Unità Operativa Impianti a Fune presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Le nuove norme europee sugli ascensori inclinati e relative applicazioni

SANTO MARAZZITA

Il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ha, tra le sue competenze, anche il controllo della sicurezza sui sistemi di trasporto ad impianti fissi in servizio pubblico.

Il servizio pubblico presenta la peculiarità consistente nel regime amministrativo che prevede il rilascio di un atto di concessione (aspetto peraltro valido anche per la costruzione dell'impianto, vedi art. 12 della Legge 23.06.1927, n. 1110) e che, nel caso particolare degli ascensori, lo assimila ai servizi di linea, precisando che la concessione, in quanto provvedimento autonomo, non è richiesta nei casi in cui gli stessi ascensori siano al servizio, facendone parte integrante, di altri sistemi di trasporto assoggettati al medesimo regime.

Nel 1995 è stata redatta in Italia da un apposito comitato una specifica normativa relativa agli ascensori inclinati.

“Si definiscono ascensori inclinati tutte quelle installazioni che presentano un'inclinazione delle guide sulla verticale compresa tra 15° e 75°.”

Il progetto di norma è stato realizzato adattando per quanto possibile la norma EN 81-1: ed. 1985 al caso specifico ed è stato sottoposto al parere della Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri, massimo organo consultivo del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale dei Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi, nel campo degli impianti a fune, che ha espresso parere favorevole con verbale n. 921 nell'adunanza del 26.09.1995.

Tale progetto di norma è stata adottato dall'Amministrazione con lettera ministeriale come *Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori inclinati*.

In ambito comunitario è stato creato all'interno del “Comitato tecnico” TC 10, relativo alla normazione della costruzione degli ascensori, un gruppo di lavoro WG9 con l'incarico di adattare la norma armonizzata sugli ascensori elettrici verticali EN 81-1: ed. 1998 agli ascensori inclinati.

Il gruppo di lavoro è composto da rappresentanti degli organismi nazionali di normalizzazione dell'industria degli ascensori e degli elevatori meccanici e da rappresentanti degli organismi di controllo.

Il progetto di norma è stato elaborato a seguito della direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori ed è stato redatto sotto forma di completamento della norma EN 81-1: ed. 1998.

Nella formulazione della norma sono stati considerati le funzionalità specifiche dovute all'inclinazione ed al rischio proprio di questo tipo di installazione.

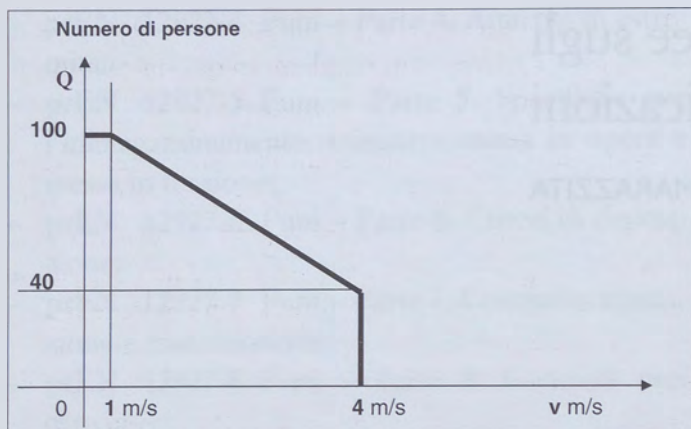


Grafico 1. Relazione tra velocità e capacità massima della cabina.

Attualmente l'attività del gruppo di lavoro volge al termine ed è stato licenziato un progetto di norma che valutato dal "Comitato Tecnico" TC 10 dovrà essere sottoposto ad inchiesta pubblica.

Pertanto il quadro normativo progressivamente introdotto in Italia nell'ultimo decennio presenta una specifica normativa, peraltro non ancora né completata né formalmente emanata, derivante dalla normativa relativa agli ascensori verticali e dal DPR 30.04.1999 n. 162 (Regolamento di attuazione della direttiva comunitaria n. 95/16/CE sugli ascensori) e, per quanto attiene gli ascensori elettrici, dalla norma EN 81-1: ed. 1998, recepita in Italia come UNI EN 81-1: ed. 1998 (costituente la revisione della precedente norma EN 81-1: ed. 1985). Per quanto concerne gli ascensori inclinati, la disciplina di tali impianti, basata sulla tecnica ascensoristica, è stata introdotta in Italia nel 1995 mediante l'approvazione da parte della Commissione F.A.T. (adunanza del 26.09.1995; verbale n. 921) di specifiche *Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori inclinati*, le quali rappresentano l'estensione al caso degli ascensori inclinati della norma relativa agli ascensori verticali EN 81-1: ed. 1985 allora vigente; le *Regole* anzidette risultano pertanto, alla data odierna, formalmente superate a seguito dell'aggiornamento, successivamente intervenuto con la emanazione della UNI EN 81-1: ed. 1998, della norma europea di riferimento.

In tale situazione, poiché non esiste una specifica norma, i progettisti fanno riferimento a tutti i suddetti atti normativi emanati per impianti simili, con particolare riguardo quindi, per quanto attiene l'aspetto squisitamente tecnico: alle *Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori inclinati* – CFAT 1995; al progetto di norma EN 81-22; ed alla norma relativa agli ascensori verticali EN 81-1: ed. 1998, mentre per quanto riguarda il mancato presenziamento del personale addetto all'impianto

(impianto automatico) richiesto dalle norme relative all'esercizio (norme del 1931!) si fa riferimento alla UNI 10218 – Gestione automatica dei sistemi di trasporto metropolitano – stazioni impresenziate (che per la parte gestione ascensori rimanda alla UNI 774) ed alla UNI 7744 – Metropolitane, corridoi, scale fisse, scale mobili ed ascensori nelle stazioni – direttive di progettazione.

Si analizza di seguito quali sono, in ambito CEN, gli aspetti importanti introdotti dal progetto di norma.

Tale tipologia di installazione può presentare:

- una sola variazione di pendenza lungo la linea;
- corsa massima senza limitazione;
- capacità massima della cabina: 100 passeggeri (75.000 kg) con compartimentazione della cabina fino a 20 passeggeri;
- velocità massima: 4 m/s;

queste due ultime caratteristiche sono legate dalla relazione illustrata nel Grafico 1.

Tuttavia nel caso di installazioni aventi caratteristiche superiori rispetto a quelle elencate, dovrà essere dimostrata attraverso un'analisi dei rischi il soddisfacimento dei requisiti minimi di sicurezza fissati dalla norma.

È stata introdotta la componente massima di decelerazione orizzontale limitandola a 0,5g nelle peggiori condizioni (intervento del freno paracadute e veicolo vuoto) mentre la componente lungo la traiettoria deve risultare compresa tra 0,1g ed un valore massimo tale che il valore medio della componente verticale sia pari a 1g.

Poiché tali impianti possono essere realizzati anche all'aperto e in qualsiasi zona del territorio, sono stati introdotti inoltre dei nuovi concetti relativi alle caratteristiche dei materiali in funzione delle condizioni ambientali.

Infatti il costruttore deve indicare nel libretto di istruzione e manutenzione le condizioni limite di utilizzo

in relazione alle temperature, alla neve, al ghiaccio, al vento, ecc.; inoltre dovrà essere redatta una apposita analisi dei rischi che prenda in considerazione il rischio di impedimento della via di corsa.

Per le temperature estreme – al di sotto di 0° C e al di sopra di 40 °C – dovrà essere posta una particolare attenzione alla scelta dei materiali e dei componenti che devono conservare le loro caratteristiche, ad esempio: resilienza per l'acciaio, rigidità per le plastiche, viscosità dell'olio e funzionamento dei componenti elettronici.

Inoltre dovrà essere posta particolare attenzione nei riguardi delle problematiche antincendio avendo cura di:

- usare equipaggiamenti elettrici, cavi e cavidotti del tipo non propaganti l'incendio e a bassa emissione di fumo;
- adozione di installazioni idrauliche utilizzanti una bassa quantità di olio con caratteristica di alto punto di infiammabilità;
- separazione dei circuiti idraulici dai circuiti elettrici e dalle batterie che dovranno possedere dei fusibili di sicurezza per evitare il corto circuito;
- interdizione di utilizzo a bordo di batterie contenenti acido liquido.

Una particolare innovazione rispetto agli ascensori verticali è costituita dalla possibilità di realizzare impianti con fune unica avendo cura di effettuare dei controlli magnetoinduttivi con periodicità proposta dall'installatore con un massimo di cinque anni in funzione dello stato della fune.

A differenza degli impianti privati per gli impianti in servizio pubblico, con il D.M. 2 gennaio 1985 n. 23, è stato introdotto il concetto di “vita tecnica”, di “revisioni speciali” e “revisioni generali”.

La *vita tecnica* si definisce come vita “complessiva massima di ogni impianto, intesa come la durata dell'intervallo continuativo di tempo nel corso del quale la sicurezza e la regolarità dell'esercizio possono ritenersi garantite rispettando le medesime condizioni realizzate all'atto della prima apertura al pubblico esercizio”.

La vita tecnica varia a seconda della categoria dell'impianto (per gli ascensori la vita tecnica è 30 anni).

Le *revisioni speciali* e le *revisioni generali* sono delle revisioni periodiche che garantiscono “la sicurezza e la regolarità del servizio rispettando le medesime condizioni realizzate all'atto della prima apertura al pubblico esercizio”.

Le *revisioni speciali* vengono effettuate ogni cinque anni, indipendentemente dalla categoria degli impianti, mentre le *revisioni generali* vengono effettuate al

10° ed al 20° anno dalla prima apertura al pubblico esercizio per gli impianti ricadenti in questa categoria. Lo stesso D.M. prevede al comma 4.7:

gli elementi costruttivi, gli organi meccanici e le relative giunzioni saldate contro la cui rottura non esistono, nell'impianto, efficaci accorgimenti tecnici atti a tutelare la sicurezza dei viaggiatori o del personale e non soggetti a sostituzione, o soggette a sostituzioni con scadenze multiple di 5 anni, ovvero con scadenze diverse, devono, in occasione di ogni revisione speciale, essere sottoposti, a cura di personale qualificato, a controlli non distruttivi atti ad individuare l'insorgenza di lesioni o di altre manifestazioni di degrado che possano compromettere la stabilità dell'elemento costruttivo, dell'organo meccanico o della relativa giunzione saldata. I metodi di controllo sono indicati dalla casa costruttrice che fisserà altresì la difficoltà ammissibile; metodi di controllo complementari possono essere scelti dal direttore di esercizio o dal responsabile dell'esercizio (o dall'assistente tecnico – ove previsto) in relazione al particolare elemento da verificare, sia al tipo di manifestazione che può essere temuta.

Inoltre il D.P.R. 11 luglio 1980 n. 753, agli artt. 3 e 4 stabilisce che tutti gli impianti in concessione (“servizio pubblico”) possono essere realizzati a seguito di rilascio di autorizzazione da parte degli organi del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, per gli impianti di competenza statale, o dagli enti locali competenti; in quest'ultimo caso “le autorizzazioni sono subordinate al rilascio del nulla osta tecnico ai fini della sicurezza da parte del competente ufficio” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Il successivo art. 5 stabilisce che “l'apertura al pubblico esercizio è subordinata al superamento delle verifiche e prove funzionali rivolte ad accertare che sussistano le necessarie condizioni affinché il servizio possa svolgersi con sicurezza e regolarità”.

Inoltre al Titolo VIII – art. 89 – è prescritto che gli impianti in concessione debbano avere un direttore di esercizio o un responsabile dell'esercizio; tale incarico è subordinato all'assenso da parte degli uffici periferici territorialmente competenti (USTIF) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti previo accertamento dell'idoneità tecnico-professionale, fisica e morale. Le applicazioni di ascensori inclinati ad oggi in servizio pubblico in Italia sono:

1. Provincia Autonoma di Bolzano

Denominazione dell'impianto: Ferata Gran Risa
Apertura al pubblico esercizio: 12/12/1997

Esercente: Grandi Funivie Alta Badia s.p.a. – Corvara
 Quota massima di ubicazione impinato 1400 m. s.l.m.
 Lunghezza sviluppata 66,70 m
 Lunghezza orizzontale 63,08 m
 Dislivello 21,77 m
 Pendenza massima 34,5 %
 Velocità massima 2,5 m/s
 Potenzialità 800 persone/h
 Capacità veicolo 32 persone

Pendenza massima 34,5 %
 Velocità massima 1,5 m/s
 Capacità veicolo 13 persone

b. Comune di Todi (Perugia)

Esercente: SIPA s.p.a.
 Lunghezza corsa 134 m
 Pendenza massima 23,5 %
 Velocità massima 2 m/s
 Capacità veicolo 27 persone

2. Regione Umbria

a. Comune di Narni (Terni)

Esercente: A.T.C. di Terni
 Lunghezza sviluppata 24,20 m
 Lunghezza orizzontale 18,53 m
 Dislivello 15,60 m

c. Comune di Arrone

Santo Marazzita, ingegnere, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, funzionario presso la Direzione Generale dei Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi – Unità Operativa Impianti a Fune.

La progettazione assistita degli impianti a fune: software S.I.F.

VITTORIANO VITALI

Premessa

L'utilizzo dei sistemi di trasporto materiale e persone tramite funi sospese ha una lunga storia, documentata nei secoli da numerose realizzazioni e progetti nei più svariati campi d'applicazione, dal civile al militare, in ogni modo sempre con l'obiettivo di svincolare il movimento di masse dagli ostacoli ambientali.

L'evoluzione del trasporto funiviario ha necessariamente enfatizzato il problema della progettazione degli impianti, essenzialmente in relazione alla loro sicurezza ed affidabilità, ma anche per l'ottimizzazione dei costi di realizzazione e di gestione. A tale riguardo, è da rilevare che la progettazione di questa tipologia di impianti presenta essenzialmente due aspetti: quello specialistico, relativo alla definizione del sistema di sospensione e trazione (complesso delle funi in linea) e quello più tradizionale, relativo al dimensionamento di strutture di tipo civile e meccanico (elementi portanti ed organi motore). Al primo aspetto è dedicata questa breve relazione, con lo scopo dare una panoramica sulle problematiche della progettazione funiviaria e sulla possibilità offerta dalle nuove tecnologie informatiche per l'adozione di strumenti di calcolo automatico.

La progettazione

L'aspetto teorico che investe la progettazione funiviaria è ben definito; nota la configurazione geometrica dei punti fissi della linea (sostegni d'appoggio delle funi nonché le posizioni delle stazioni terminali) e le caratteristiche fisiche delle masse da trasportare, si tratta di determinare le seguenti incognite:

- configurazione geometrica assunta, per effetto dei carichi trasportati, dalle funi nelle campate ed in prossimità dei sostegni, quindi i valori delle tensioni, frecce ed angoli d'imbocco assunti dalle funi in campata;
- azioni delle funi sui sostegni espresse dal valore dell'intensità e direzione della loro pressione esercitata sulle scarpe o rulliere;
- andamento temporale della potenza richiesta ai motori di trazione, in funzione delle varie condizioni di carico in linea ipotizzate.

Il calcolo assume una complessità crescente con il grado d'approssimazione ritenuta sufficiente: ad esempio, si può partire da un livello di

difficoltà bassa assumendo i carichi in linea uniformemente distribuiti sulle funi contrappesate fino ad arrivare a difficoltà elevate, nell'ipotesi di distribuzione concentrata delle masse in movimento su funi ancorate che si dispongono secondo curve descritte dall'equazione della catenaria.

In ogni caso, è da sottolineare che le procedure per il calcolo di verifica delle linee funiviarie presentano le caratteristiche tipiche del calcolo automatico; infatti, esse sono:

- modulari (il processo di calcolo può essere suddiviso in più moduli);
- iterative (si utilizzano funzioni di convergenza numerica);
- complesse (si utilizzano funzioni matematiche complesse, ad esempio iperboliche);
- parametriche (le *routine* di calcolo sono indipendenti dai dati trasferiti in input).

È quindi ovvia la convenienza di ricorrere ad uno specifico software applicativo che svolga, in automatico, tutte le operazioni di calcolo numerico, lasciando all'operatore il compito di gestione dei dati in ingresso e controllo dei dati elaborati in relazione alla loro compatibilità con le buone regole dell'ingegneria e le prescrizioni imposte dalla normativa di settore.

Evoluzione della progettazione

Anteriormente alla diffusione dei personal computer, il calcolo di linea era necessariamente eseguito mediante procedure semplificate ed approssimazioni ammissibili giacché dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza dei valori dei parametri presi alla base del calcolo (peso funi, valore dei contrappesi, ecc.). L'elaborazione delle varie campate richiedeva in ogni caso tempi importanti (da alcune settimane a qualche mese), tali da limitare fortemente la possibilità di ripetizione dei calcoli stessi per ottimizzare il risultato finale.

Nel caso d'impianti importanti, ove ad esempio l'effetto di concentrazione dei carichi era ed è determinante per il corretto calcolo della configurazione delle campate (classico esempio è quello delle funivie) si ricorreva a modelli che riproducevano in scala le condizioni fisiche e geometriche delle campate: resta famoso il modello realizzato dall'ing. Mang, realmente utilizzato per parecchi anni da studi tecnici di primarie ditte costruttrici.

È ancora vivo nello scrivente il ricordo, all'inizio della propria carriera di progettista nel 1972, dell'impegno

necessario per la verifica d'impianti funiviari anche relativamente semplici, quali sciovie e seggiovie. La strumentazione di calcolo era allora costituita da calcolatrici elettromeccaniche, utilizzabili solo per le quattro operazioni fondamentali, da tavole trigonometriche, per risolvere funzioni tipo seno e coseno, da tavole logaritmiche, per realizzare radici e semplici espressioni esponenziali! A tutto questo si aggiungeva la preparazione manuale dei tabulati di calcolo, da far poi battere a macchina, quindi riesaminare per la correzione degli inevitabili errori di trascrizione! La diffusione su larga scala del personal computer (circa dal 1982) ha finalmente consentito di affrontare con efficacia l'automazione del calcolo di linea per gli impianti a fune, mediante la realizzazione di software applicativi. Furono così realizzate diverse procedure software dedicate al calcolo degli impianti a fune, destinate tuttavia ad un uso strettamente personale, assemblate ed utilizzate per lo più all'interno degli uffici tecnici dagli stessi progettisti. Mancava, però, un applicativo software in grado di affrontare lo studio di tutte le tipologie degli impianti, sufficientemente documentato e supportato in modo da garantirne l'aggiornamento nel tempo, dotato di un'interfaccia utente professionale ed "amichevole", svincolato da particolari configurazioni o sistemi operativi dei computer utilizzati.

Per questo, nel periodo 1988-1992, l'autore realizzò un primo pacchetto software denominato "S.I.F." (Software Impianti a Fune) che, utilizzando un'interfaccia utente del tipo *user friendly*, affrontava e risolveva il calcolo di linea di quasi tutte le tipologie degli impianti funiviari aerei. Il sistema operativo utilizzato fu MS-DOS con piattaforma di sviluppo ad oggetti Visual-Basic per DOS. Questo pacchetto, realizzato "sul campo" con il prezioso contributo dei progettisti di una nota ditta costruttrice, fu distribuito in diverse decine di unità e risulta ancora ampiamente utilizzato. Seguendo la rapida evoluzione dell'informatica di questi anni, soprattutto nel settore dei personal computer, questo primo applicativo software ha recentemente subito una profonda operazione di *restyling* che ha comportato in pratica la completa riscrittura del suo codice ed una nuova impostazione del *lay-out* generale. Così, alla fine dell'anno 2003 è diventata operativa la nuova versione denominata "SIF per Windows" che trasferisce e migliora le caratteristiche operative del precedente software, aggiornandole sulla base delle nuove possibilità offerte dai recenti sistemi operativi. Questo lavoro è stato possibile anche grazie all'importante collaborazione e supporto

Figura 1. Schema organizzativo del programma



forniti, nell'ambito del programma Tempus (progetto ADVENTURES, 2001-2004), dal Dipartimento I.T.I.C. (Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili) del Politecnico di Torino, in particolare dall'ing. Bruno Dalla Chiara.

Preso atto che, nel campo dei personal computer, si è ormai imposto a livello mondiale il sistema operativo e gli applicativi software della Microsoft, inevitabile è stata la decisione adottare come piattaforma per lo sviluppo dei nuovi programmi "SIF" il sistema operativo Windows e l'ambiente di sviluppo Excel, utilizzando il suo linguaggio di programmazione *Visual Basic for Application* (VBA). Notevoli sono i vantaggi che questa scelta comporta:

- ambiente di sviluppo integrato con tutti gli applicativi della linea Office Microsoft e quindi sicuramente supportato anche in futuro;
- semplice e completa gestione delle stampanti, comprese quelle di rete, secondo le modalità tipiche dei prodotti Office;
- piattaforma di sviluppo completa di strumenti per l'immissione dei dati (celle, fogli, ecc.) e per l'elaborazione matematica delle variabili numeriche (funzioni Excel veramente estese e potenti, funzioni di "ricerca obiettivo" per le *routine* di convergenza, funzioni trigonometriche avanzate e così via);
- disponibilità di un linguaggio di programmazione veramente semplice, flessibile, ben strutturato e largamente conosciuto; questo significa facilità di manutenzione, nel tempo, anche da parte di altri sviluppatori;
- assenza di licenze software supplementari per il suo funzionamento e manutenzione; è sufficiente disporre della licenza relativa al possesso di Excel e delle procedure SIF distribuite;
- il codice di calcolo, i dati forniti in input e quelli elaborati (relazioni, tabulati, ecc.) sono contenuti

in un unico file Excel. Diventa quindi semplice eseguire versioni di calcolo diverse per lo stesso progetto. Inoltre, anche distanza di anni, è mantenuta traccia del codice originale utilizzato per il calcolo, anche se nel frattempo questo è stato aggiornato;

- possibilità di richiamare ed eseguire un qualsiasi programma esterno alla procedura Excel; ad esempio, si utilizzerà questa tecnica per particolari procedure di grafica sviluppate in ambiente diverso da Excel.

Il programma di calcolo

Il programma affronta e risolve le verifiche di linea relative alle tipologie degli impianti aerei a fune per trasporto di persone e materiali attualmente conosciuti, quindi:

- sciovie;
- impianti monofune o monofuni;
- funivie bifune;
- teleferiche.

La categoria "monofuni" comprende gli impianti a morsa fissa, quelli ad agganciamento automatico e quelli a funzionamento intermittente (*pulsè*). I veicoli in linea possono essere seggiole oppure cabine.

La categoria "funivie" comprende, oltre ai tradizionali impianti a "va e vieni" con una cabina per ramo, anche gli impianti con più cabine in linea ed ammorzamento automatico alle stazioni.

La categoria "teleferiche" comprende unicamente gli impianti a singola fune portante e fune traente di tonneggio.

L'applicativo software è strutturato con due archivi, quattro moduli Excel ed alcuni programmi per l'elaborazione grafica, compilati in formato eseguibile:

- archivio "catalogo funi";



Figura 2. Pannello di avvio del programma di calcolo.

- archivio “help in linea”;
- modulo (Excel) per il calcolo degli impianti monofune;
- modulo per il calcolo degli impianti scioviari;
- modulo per il calcolo delle funivie;
- modulo per il calcolo delle teleferiche;
- moduli “.EXE” per l’elaborazione grafica.

Ogni modulo contiene il codice di calcolo (Figura 1), le maschere per l’input dei parametri noti dell’impianto e le maschere per le tabelle dei dati elaborati. Per l’esecuzione delle verifiche è sufficiente richiamare il relativo modulo di riferimento (attraverso il menù generale sopra illustrato), immettere i parametri caratteristici dell’impianto ed avviare il codice d’elaborazione.

Al termine dell’esecuzione del calcolo, il modulo potrà essere salvato, con un proprio nome, nell’archivio degli impianti. Il file conterrà così l’intero calcolo di verifica dell’impianto e potrà essere, in qualsiasi momento, richiamato per ulteriori elaborazioni.

Alcune caratteristiche salienti del programma

L’accesso alle varie funzioni del programma è immediato, tramite menù grafico, intuitivo (Figura 2).

I quattro moduli di riferimento per il calcolo delle varie tipologie di impianto hanno la medesima struttura organizzativa; ciascuno è composto da una serie di fogli di lavoro, posti nella stessa sequenza. Anche l’aspetto dei fogli di lavoro si mantiene simile nei quattro diversi moduli di calcolo, salvo piccole modifiche derivanti dalle diverse voci che compongono i parametri in input, dalle diverse modalità d’esecuzione del calcolo di verifica e dalle diverse caratteristiche delle tabelle riassuntive dei dati forniti in uscita.

I moduli di verifica presentano una sezione (foglio di lavoro) dedicata all’input dei parametri noti, una

VALORI MASSIMI E MINIMI DELLE TENSIONI, FRECCE, ANGOLI DI IMBOCCO E PRESSIONI SUI SOSTEGNI

		FUNE PORTANTE					FUNE TRAENTE-ZAVORRA				
Campata	Sostegno	Tensione Campata	Freccia Campata	Angolo valle	Angolo monte	Pressione Sostegno	Tensione Campata	Freccia Campata	Angolo valle	Angolo monte	Pressione Sostegno
		Max Min (N)	Max Min (m)	Max Min (gradi)	Max Min (gradi)	Max Min (N)	Max Min (N)	Max Min (m)	Max Min (gradi)	Max Min (gradi)	Max Min (N)
SMV	S1	1.847.003	2,16	19,45	24,19	138.930	0,75	18,99	24,19		
	S1	1.422.900	0,36	15,76	20,59	533.647	0,55	15,74	21,02		
S1	SRM	1.971.264	52,46	5,42	23,48	400.486	150.001	9,52	4,45	23,49	47.036
		1.493.939	41,72	0,69	20,21		96.895	9,52	0,88	21,63	30.152

Corsa massima del tenditore = m 1,18
 Corsa minima del tenditore = m 0,43
 - Tensione di posa ramo portante (N a 0 gradi) 1550000
 - Tensione di posa ramo zavorra/traente (N a 0 gradi) 150000,00
 - Peso fune portante - carico aggiuntivo (N/m) 332,76 0,00
 - Peso fune zavorra - traente (N/m) 43,07 43,07
 - Salto termico (gradi) 40,00
 - Peso vettura salita - discesa (N) 101600,00 51000,00

Figura 3. Tabella dei valori massimi e minimi ottenuti dal calcolo automatico di linea, per funivia bifune a “va e vieni”: esempio.

sezione dedicata all’input descrittivo del profilo del terreno e della linea, una sezione di avvio del calcolo di linea ed, infine, la serie di tabulati riassuntivi dei risultati che descrivono il comportamento della linea. Tra le particolari possibilità di calcolo, vi è quella dello spostamento automatico dei carichi lungo la linea, riassumendo poi in un’unica tabella l’involuppo dei singoli risultati per quanto riguarda le grandezze più significative. Si riporta, ad esempio, la tabella dei valori massimi e minimi ottenuti dal calcolo automatico di linea, per funivia bifune a “va e vieni”, con vetture scorrevoli sulla linea e fune portante ancorata, alla temperatura di +40°C (Figura 3).

È stata sviluppata anche una sezione di controllo visivo (anteprima) della linea, che comprende la possibilità di interfaccia con Autocad per la generazione, in automatico, del disegno che rappresenta, in scala, l’andamento del terreno e delle funi dell’impianto soggetto ai carichi in linea. Si riportano due tipici esempi:

- controllo visivo dinamico del comportamento della linea (Figura 4);
- disegno della linea automaticamente generato in Autocad (Figura 5).

Le ampie possibilità di gestione della grafica offerte da Excel sono state sfruttate per facilitare la lettura dei risultati del calcolo: ad esempio, alla tabella dell’andamento della potenza in funzione della posizione delle cabina in linea (Figura 6), è associato un relativo diagramma (Figura 7).

Considerazioni conclusive

Si desidera concludere riassumendo i vantaggi e le possibilità offerte dalla progettazione assistita degli impianti funiviari, dal software SIF nella fattispecie, seppure forse talvolta evidenti:

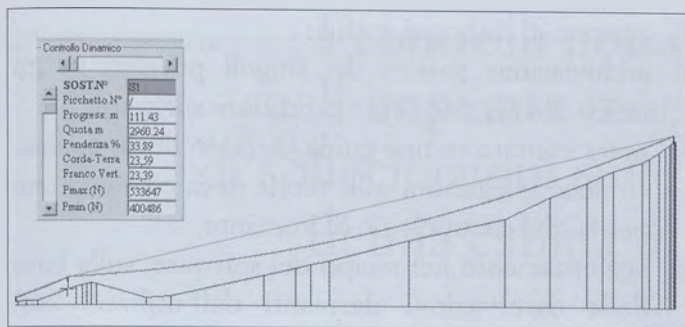


Figura 4. Controllo visivo del comportamento della linea: esempio.

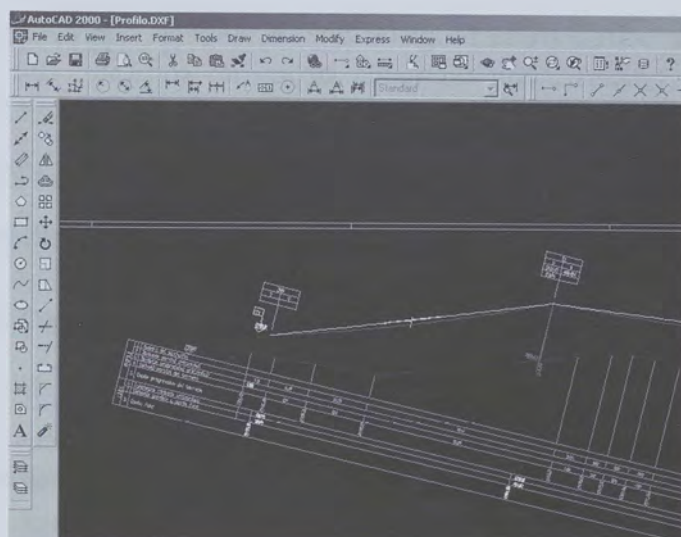


Figura 5. Disegno della linea generato automaticamente in Autocad: esempio.

TABELLA DELLE TENSIONI E DEGLI SFORZI ALLA PULEGGIA MOTRICE

RAMO IN SALITA					RAMO IN DISCESA					Argano Motore	
Campata		Progress.	Posizione	Tensione	Campata		Progress.	Posizione	Tensione	Sforzo	Potenza
		assoluta	relativa	ramo			assoluta	relativa	ramo	motore	assorbita
		vettura	vettura	salita			vettura	vettura	discesa		o generata
		(m)	(m)	(N)			(m)	(m)	(N)	(N)	(kW)
SMV	S1	2,00	2,00	101.095	S1	SRM	1.338,66	1.230,31	117.336	16.240	229
SMV	S1	27,09	27,09	98.967	S1	SRM	1.313,57	1.205,22	117.625	18.659	263
SMV	S1	54,18	54,18	96.923	S1	SRM	1.286,49	1.178,14	117.937	21.014	297
SMV	S1	81,26	81,26	94.905	S1	SRM	1.259,40	1.151,05	118.243	23.339	329
SMV	S1	106,35	106,35	92.797	S1	SRM	1.234,31	1.125,96	118.529	25.733	363
S1	SRM	110,35	2,00	127.521	S1	SRM	1.230,31	1.121,96	118.574	-8.946	-126
S1	SRM	416,43	308,08	116.286	S1	SRM	924,23	815,88	121.973	5.686	80
S1	SRM	724,51	616,16	109.292	S1	SRM	616,16	507,81	125.414	16.122	228
S1	SRM	1.032,58	924,23	102.478	S1	SRM	308,08	199,73	129.214	26.735	377
S1	SRM	1.338,66	1.230,31	94.280	SMV	S1	2,00	2,00	119.554	25.274	357

- Tensione di posa ramo portante (N a 0°C) = 1550000

- Tensione di posa ramo zavorra/traente (N a 0°C)

- Peso fune portante - carico aggiuntivo (N/m)

- Peso fune zavorra - traente (N/m)

- Salto termico (gradi)

- Peso vettura salita - discesa (N)

150.000,00

332,76 0,00

43,07 43,07

40,00

101.600,00 51.000

Figura 6. Andamento della potenza in funzione della posizione delle cabina in linea: esempio.



Figura 7. Rappresentazione grafica della potenza richiesta in funzione della posizione dei veicoli lungo la linea: esempio.

- a. affrontare la progettazione di tipologie funiviarie diverse, con un unico strumento software, che opera sfruttando strumenti di produttività Microsoft Office, ormai standard de facto per i personal computer;
- b. possibilità di ottimizzare la progettazione modificando i parametri di input, lasciando quindi al programma il compito di rieseguire velocemente le elaborazioni numeriche del calcolo;
- c. possibilità di impostare in modo rigoroso le verifiche, ad esempio tenendo conto dell'effetto della posizione e concentrazione dei carichi in linea, della variazione di temperatura ed influenza reciproca di azioni concomitanti;
- d. collegamento dei risultati del calcolo con altri programmi di uso corrente, ad esempio per la realizzazione di elaborati grafici;
- e. archiviazione storica dei singoli progetti in un unico dossier per dati e procedure software;
- f. poter contare su una guida (*help*) in linea, incluso delle spiegazioni sulle teorie di calcolo adottate per le diverse tipologie di impianto;
- g. aggiornamento nel tempo del software, sulla base delle osservazioni derivanti dall'utilizzo "sul campo" del programma da parte di più utilizzatori, inclusi gli studenti dei corsi di laurea. Questo, tra l'altro, è il modo più efficace per realizzare il test continuo di validazione del programma.

Vittoriano Vitali, ingegnere, Provincia Autonoma di Trento, LA.T.I.F. (Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune), Ravina di Trento (TN).

I controlli non distruttivi sugli impianti: monitoraggio di sollecitazioni sulle strutture di una cabina di esercizio

FABIO DEGASPERI

Generalità sui controlli non distruttivi eseguiti sugli impianti a fune destinati al trasporto pubblico di persone

I controlli non distruttivi sui componenti meccanici di funivie svolgono un ruolo fondamentale. Per controllo non distruttivo (CND) si intende la possibilità di verifica dell'integrità di un elemento, nei riguardi della presenza di fessurazioni o difetti in generale, sia interni che esterni, oppure l'effettuazione di indagini sulle caratteristiche o prestazioni del materiale, in ogni caso senza alterarne le dimensioni e le caratteristiche chimiche o fisiche. Aspetto peculiare di un CND è la ripetibilità nel tempo.

Si procede ad una breve panoramica su metodi ed applicazione nel settore, illustrandone unicamente il principio di funzionamento.

Le metodologie abitualmente applicate nel settore degli impianti a fune sono le seguenti:

- a. Esame *a vista* (EV);
- b. Esame con *liquidi penetranti* (PT): si sfrutta la capacità di una sostanza di penetrare nelle fessurazioni superficiali presenti sul pezzo in esame. La sostanza colorata viene evidenziata con apposita vernice di contrasto; vale solo per difetti in superficie. Indicato per leghe leggere in pezzi articolati;
- c. Esame *radiografico* (RT): si utilizzano raggi X e raggi gamma, in funzione del materiale in esame e del contrasto necessario da ottenere. I raggi attraversano il pezzo in esame e vanno ad impressionare una lastra fotografica sul lato opposto: vengono quindi evidenziate le discontinuità, difetti, inclusioni;
- d. Esame *magnetoscopico* (MT): il pezzo, in materiale ferromagnetico, viene magnetizzato localmente avvolto da bobina attraversata da corrente, o da gioghi magnetici dedicati, e spruzzato con ossidi di ferro, in polvere o veicolati in gasolio. La polvere si dispone secondo le linee di flusso magnetico: eventuali discontinuità nelle linee di flusso indicano la presenza di difetti superficiali o sottopelle. Indicato per il controllo di saldature;
- e. Esame ad *ultrasuoni* (UT): sul pezzo viene applicata e fatta scorrere una sonda che emette ultrasuoni, di potenza e frequenza idonea al materiale in esame. La stessa sonda è dotata di parte ricevente, che legge le onde di ritorno: discontinuità o perdite di potenza nel segnale di ritorno indicano presenza di difetti, inclusioni singolari o diffuse, cricche;

- f. Esame *magnetoinduttivo* (MI): applicato alle funi. La fune viene magnetizzata longitudinalmente tramite solenoide coassiale percorso da corrente o magneti permanenti: in situazione di fune integra le linee di flusso sono parallele all'asse. In caso di rotture di fili, le linee di flusso deviano dall'asse e fuoriescono dalla fune: queste vengono intercettate da una bobina di rilevazione, dove viene indotto un picco di tensione. È necessario movimento relativo tra apparecchio e fune. Il controllo fornisce solo indicazioni qualitative e non quantitative: è necessario associare un immediato controllo a vista delle rotture. Vale per difetti sia esterni che interni, presenza di corrosione, fulminazioni, traumi, anomalie in genere.

Nei sistemi indicati, è fondamentale disporre della documentazione del controllo iniziale, a pezzo considerato integro ed accettato, per i successivi controlli periodici in esercizio, dove i difetti possono insorgere principalmente per effetti di fatica. Sono controlli che richiedono, oltre alla correttezza d'esecuzione e mantenimento nel tempo dei parametri di prova, anche interpretazione dei risultati da parte dell'operatore, specialmente quando l'esame non produce documentazione permanente (vedi MT).

Sugli impianti a fune si eseguono CND sulle seguenti parti:

- *componenti soggetti al tiro delle funi*: si intendono pulegge, alberi di trasmissione della coppia di trazione, perni portanti pulegge folli, comprendendo anche le relative saldature, tiranti di ancoraggio, ecc.;
- *strutture metalliche portanti delle stazioni, sempre soggette al tiro delle funi*;
- *veicoli*: morse di attacco alla fune (tutti i loro elementi), sospensioni, elementi intermedi di collegamento, strutture di forza di cabine o seggiole;
- *materiale di linea*: sostegni, rulliere, rulli;
- *funi*: unico elemento ove applicabile il metodo magnetoinduttivo.

Effettuazione dei CND nel tempo:

- all'atto della fornitura del materiale grezzo per la costruzione dei pezzi;
- dopo le lavorazioni meccaniche, prima dell'assemblaggio;
- in esercizio, a scadenze temporali fissate.

Modalità di effettuazione dei CND

Le norme stabiliscono la periodicità di effettuazione dei CND, demandando al costruttore criteri e limiti di accettazione dei difetti. Solo nel caso del controllo d'in-

tegrità delle funi, le norme stabiliscono i limiti massimi di difettosità ammissibile, in rapporto all'età della fune. Il costruttore, con l'ausilio di un consulente abilitato, determina per ogni componente il metodo di controllo più idoneo e l'entità dei difetti massimi che consentono ancora il mantenimento in opera del componente stesso. In questa fase devono essere presi in considerazione:

- importanza dell'elemento;
- difficoltà di realizzazione dello stesso e della sua sostituzione;
- tipologia degli sforzi cui lo stesso è sottoposto (effetti di fatica, incertezza sui carichi applicati, effetti ambientali, vibrazioni, ecc.);
- difficoltà di controllo in opera;
- conseguenze di un cedimento.

Caso del controllo delle funi

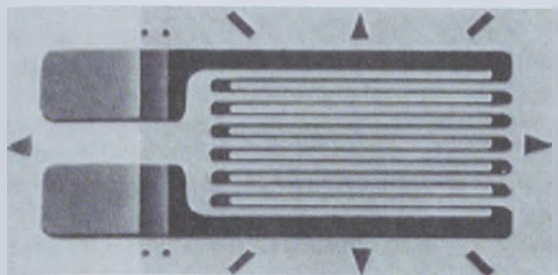
Le funi vengono controllate con metodo magnetoinduttivo. Esistono criteri diversi sulla certificazione delle apparecchiature e degli operatori. In alcuni Paesi la responsabilità dell'idoneità delle apparecchiature utilizzate, procedure di prova e capacità degli operatori sono totalmente a carico dell'azienda che esegue il controllo, azienda che viene riconosciuta come esperta dall'Autorità di Sorveglianza e che risponde della efficacia del CND. In Italia le apparecchiature devono essere riconosciute valide ed omologate, secondo uno schema di prove comparative con apparecchiatura di riferimento, prima di autorizzarne l'impiego, con ben definiti limiti di sezione metallica e diametro funi controllabili.

Situazione normativa

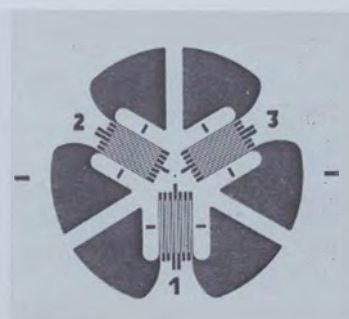
Per la tipologia dei CND di tipo radiografico, liquidi penetranti, ultrasuono, magnetoscopico, già ampiamente applicate in settori non funiviari, esistono normative consolidate e corrispondenti abilitazioni di operatori (vedi EN 473). Per il controllo magnetoinduttivo è in corso una procedura per l'abilitazione nazionale del personale addetto all'esame.

Analisi delle sollecitazioni con metodo estensimetrico

Caso particolare di CND, non inteso come verifica d'integrità, ma come indagine sul comportamento



Estensimetro singolo



Rosetta a 120°

della struttura agli sforzi, è il rilievo diretto e continuo delle sollecitazioni.

La tecnica utilizzata è quella estensimetrica, con impiego di estensimetri elettrici a variazione di resistenza, tecnica sostanzialmente semplice ma versatile, efficace ed affidabile.

Con questo metodo, viene misurata, in maniera continua e dinamica, la variazione di resistenza di un estensimetro incollato alla struttura sotto sforzo. Tale variazione di resistenza è conseguente alla deformazione dell'elemento, cui corrisponde una sollecitazione, in campo elastico.

Si utilizzano estensimetri a griglia di tipo singolo (griglia da 3-6 mm, resistenza 120 Ω *gage factor* 2.0), dove è noto l'andamento della sollecitazione, o rosette estensimetriche composte da tre estensimetri a 120°, dove non è nota la direzione delle sollecitazioni principali. Nel caso di griglia singola è applicabile la semplice proporzionalità tra deformazione misurata e corrispondente sollecitazione nella direzione di applicazione; nel caso delle rosette, si risale alle direzioni e sollecitazioni principali tramite elaborazione, utilizzando le relazioni di Ros-Eichinger.

L'apparecchiatura consiste in una parte di alimentazione del punto di misura (un lato di un ponte di Weathstone), e di un sistema di registrazione del segnale attivo (sbilanciamento del ponte).

L'estensimetro di misura viene sempre affiancato da un estensimetro, applicato su una piastrina metallica scarica, che viene collegato ad un ramo del ponte di misura, per la compensazione degli effetti della temperatura.

Mantenendo sempre il concetto di ponte, le strumentazioni si sono evolute in termini di numero dei canali di misura, frequenze di campionamento, registrazione digitale e compattezza. L'apparecchiatura può essere integrata con telemetria.

Monitoraggio delle sollecitazioni sul veicolo in esercizio della telecabina "Piz La Villa" (Val Badia - BZ) durante la stagione invernale 2002-2003

Il LATIF esegue da anni le prove estensimetriche sui veicoli, per il rilievo diretto delle sollecitazioni:

1. in laboratorio, staticamente;
2. sugli impianti in condizioni di veicolo vuoto, con metà carico eccentrico su lato interno ed esterno linea, a pieno carico, tutte alla velocità massima di esercizio e con sbandamento trasversale determinato unicamente dalla condizione di carico;
3. come 2, con rilievo in ingresso della stazione e con sbandamento laterale imposto.

Si dispone delle registrazioni su centinaia di impianti. Le prove di fatica sui veicoli vengono eseguite in maniera convenzionale, imponendo una variazione di sollecitazione pari al + e - 100% rispetto alla sollecitazione statica, per una durata di cinque milioni di cicli. Non si conosce però in realtà l'effettivo spettro di carico su un veicolo durante l'esercizio, ed in particolare per tutta una stagione.

Nel corso delle discussioni in sede di gruppo CEN - Veicoli, è emersa la difficoltà ad individuare i parametri per una prova di fatica su veicolo per impianto ad ammorsamento automatico di tipo "bifune" dell'ultima generazione, in considerazione del limitato numero di esemplari costruiti nell'arco alpino.

Si è scelto di avviare l'indagine sulla telecabina "Piz La Villa" (Val Badia, BZ), di tipo ad ammorsamento automatico bifune, con veicoli CWA da 15 posti, costruita dalla ditta Leitner a fine 2002, che presenta le seguenti caratteristiche:

Dislivello	m	647
Lunghezza	m	1.837
Portata	p/h	2.400
Velocità massima	m/s	6,0
Veicoli	n.	34



Attrezzamento della cabina per l'effettuazione delle prove.



Cabina attrezzata con strumentazione completa.

Potenza	kW	2x410
Potenza motore recupero	KW	150
Diametro fune portante	Mm	56
Diametro fune traente	Mm	41
Sostegni in linea	n.	3
Tensione fune traente	kN	200

Il progetto è condiviso con l'Università degli Studi di Trento, Facoltà di Ingegneria, il cui intervento è stato previsto nella fase di elaborazione dei dati, come studio teorico degli spettri di carico, statistica, ecc.

La prima fase di registrazione ed acquisizione dei dati, realizzata nel corso dell'intero mese di marzo 2003, è stata caratterizzata da significativo esercizio a pieno carico. Si presentano solo le caratteristiche tecniche dell'indagine e lo stato di avanzamento del progetto, con una breve indicazione sui risultati raggiunti.

Aspetti tecnici

Apparecchiatura di registrazione

La registrazione è stata effettuata con apparecchiatura LEANE tipo MCDR-M-128 ad 8 canali, abitualmente utilizzata nelle prove estensimetriche standard, modificata per aumentare la capacità di memorizzazione dei dati.

Alimentazione

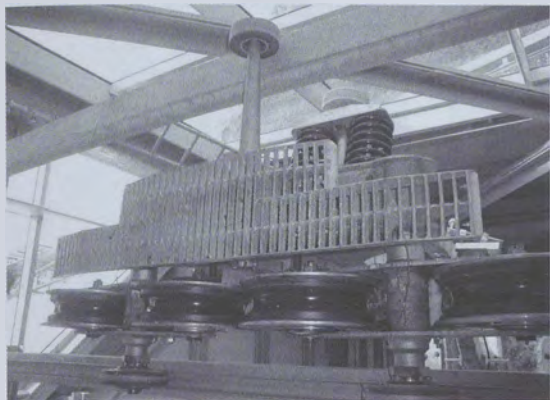
L'alimentazione è stata realizzata con batteria esterna, mantenuta in carica tramite due celle fotovoltaiche di dimensione circa 1 x 0,40 m ciascuna, posizionate sul tetto della cabina, con modulo di gestione dello stato di carica. Non è stato necessario alcun intervento esterno di ricarica o sostituzione: per risparmio di energia e memoria dati, la centralina è stata programmata per accendersi ed acquisire dalle 8,30 alle 17,30 di ogni giorno.

Punti di misura

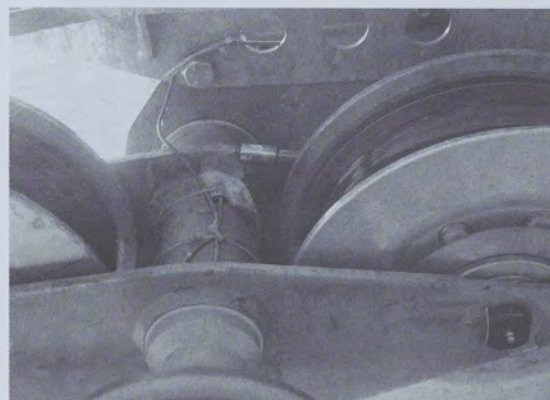
Sono stati applicati diversi punti di misura (estensimetri elettrici a resistenza) e altri trasduttori, in modo da avere un monitoraggio significativo dei diversi elementi. Si è posta attenzione a carrello e morsa, particolarmente sollecitati al passaggio sui sostegni, causa il sollevamento della traente dai rulli di appoggio.

Disposizione:

- n. 1 estensimetro sul perno della terza ruota della morsa (di stabilizzazione), a misurare gli urti del veicolo all'ingresso della stazione ed anche con valore di preciso riferimento all'ingresso ed uscita dalle stazioni; in effetti, l'elemento viene caricato sempre all'appoggio della vettura sul binario di stazione, all'inizio del contatto della ruota di apertura della morsa con le guide di stazione;
- n. 2 estensimetri sul carrello, posizionati sui bilancieri a due ruote con disposizione simmetrica (riferimento: davanti e dietro rispetto al senso di marcia della cabina), indicanti l'effettivo carico del carrello in tutto il tragitto, con particolare riguardo al passaggio dei sostegni;
- n. 2 estensimetri, sul supporto della morsa con disposizione simmetrica (riferimento: davanti e dietro rispetto al senso di marcia della cabina), interessati dal carico trasmesso dalle ganasce della morsa al carrello;
- n. 2 estensimetri sulla ganascia superiore della morsa;
- n. 1 estensimetro scarico: è stato posizionato un estensimetro, identico agli altri, con funzione di riferimento nei riguardi dei disturbi che possono essere raccolti dal sistema: avendo infatti segnale nullo, per assenza di sollecitazioni, i suoi segnali diversi dallo zero sono da intendersi come disturbi o derive, dei quali si deve tenere conto in fase di esame della risposta degli altri punti di



Vista generale del carrello (terza ruota a destra).



Vista dei bilancieri.

misura;

- n. 2 estensimetri sulla sospensione del veicolo, uno alto ed uno basso, sopra la curvatura principale: con veicolo in stazione, forniscono indicazione sullo stato del carico di viaggiatori ed in linea le sollecitazioni in generale
- n. 1 inclinometro, installato sulla sospensione (a sinistra nella foto), a misurare gli sbandamenti trasversali del veicolo;
- n. 1 accelerometro, installato sulla sospensione (a destra nella foto), a misurare le accelerazioni longitudinali del veicolo, in fase di avvio ed arresto.

Il segnale di velocità del veicolo doveva essere individuato tramite la lettura del segnale in frequenza fornita da un *proximity* affacciato ai bulloni di chiusura delle flangie di un rullo. Il dispositivo non è stato predisposto in tempo utile, ma la velocità di esercizio è facilmente determinabile tramite le informazioni provenienti dai sensori applicati, le caratteristiche geometriche note della linea, l'andamento dei grafici e la progressiva temporale del sistema.

Non si è ritenuto significativo monitorare le sollecitazioni sulla cabina, in quanto gli effetti dinamici erano ben assorbiti dagli elementi ammortizzati tra cabina e telaio intermedio, e la situazione di carico passeggeri era comunque ben definita dagli estensimetri sulla sospensione. Non si è ritenuto di monitorare la temperatura di esercizio esterna.

Quantità di dati acquisiti, memorizzazione, scarico periodico

Sono stati sempre collegati 8 canali (punti di misura), con orario di attività 8,30 - 17,30, ciascuno con frequenza di campionamento di 100Hz: 100 (campionamenti) x 3600 (orario) x 9 (ore) x 8 canali = 26.000.000 dati acquisiti/giorno, più informazione di

giorno ed ora.

I dati provenienti dai punti di misura venivano memorizzati in memoria transitoria, con scarico periodico sulla Memory Card di alta capacità. Ogni venerdì, a fine esercizio, la Memory Card veniva estratta dall'apparecchiatura e scaricata su PC portatile.

Si dispone, alla data di redazione, di almeno 30 giorni di registrazione continua. Si è provveduto quindi al riordino dei dati ed alla loro trasformazione in formato gestibile per l'elaborazione.

Grafici forniti dai punti di misura

A titolo indicativo, si allegano estratti dei grafici forniti dai punti di misura:

1. nell'arco di una giornata di esercizio (9 marzo 2003), con ascissa i tempi in secondi dall'inizio registrazione giornaliera, dove si individuano 25 viaggi completi di andata, ritorno e giro nelle stazioni;
2. nell'arco di un giro completo (espanso dal precedente). Si esamina di seguito quanto riportato nei grafici giornalieri.
 - can. 1 (inclinometro): i picchi corrispondono agli ingressi ed uscite in stazione, dove il veicolo leggermente sbandato trasversalmente viene ricondotto alla posizione verticale dai binari e meccanismi di stazione. Si nota assenza di vento in esercizio;
 - can. 2 (accelerometro): poco significativo;
 - can. 3 (estensimetro sulla terza ruota): cadenze degli ingressi ed uscite dalla stazione ed assenza di segnale in linea;
 - can. 4 (estensimetro sul carrello) la differenza tra il livello dei segnali nei tratti orizzontali rappresenta l'effetto del carico dei passeggeri: in effetti nella prima parte non vi è differenza (primi giri a scarico), segue fasi di trasporto a pieno carico (ascissa 1,0 - 17,0 x 1000 s), poi fase finale della giornata a



*Estensimetri sul supporto della morsa (sopra i perni).
Estensimetri sulla ganascia della morsa (sotto i perni).*



Particolare degli estensimetri.

scarico. I pacchetti di n. 3 picchi sotto il grafico rappresentano il passaggio sui tre sostegni;

- can. 5 (supporto morsa): risente del carico dei passeggeri, come componente di tiro dovuto alla pendenza e soprattutto del carico di sollevamento della fune traente al passaggio sui sostegni (vedi pacchetti ciclici di n. 3 picchi in salita e discesa);
- can. 6 (ganascia della morsa) il picco ciclico a forma di “onda quadra” corrisponde alla variazione di sollecitazione tra ganascia serrata sulla fune e scarica in stazione: i picchi intermedi corrispondono al passaggio sui sostegni;
- can. 7 (estensimetro sulla sospensione): in situazione di carico centrato ed assenza di urti trasversali, fornisce l'informazione sullo stato di carico del veicolo: la prima parte di grafico, fino alla progressiva circa 1.000 s, illustra un giro a scarico, seguono cicli di pieno carico fino a circa progressiva 16.000 s, poi viaggi a scarico (pomeriggio inoltrato).

Come si vede, i grafici sono leggibili e forniscono chiare informazioni.

Grafici espansi, relativi ad un giro completo

Si espande la zona dei grafici precedenti dalla progressiva circa 5.600 s alla 6.650 s, che comprende un ciclo completo. Dalla progressiva 5.680 alla 5.770 circa è la fase di transito alla stazione di valle (ben definita anche dal canale 6), segue la linea e dalla 6.100 alla 6.180 circa, la stazione di monte: segue poi la discesa.

- can. 3 (est. sulla terza ruota): dopo il picco dovuto alla reazione allo sforzo di apertura della morsa, seguono piccoli picchi relativi alle oscillazioni trasversali del veicolo nel giro stazione, in fase di salita dei viaggiatori;
- can. 4 (carrello): in tutto il giro stazione il carrello (inteso come coppia dei bilancieri portanti i rulli gommati) è scarico, perché la morsa si sposta scorrendo su due rulli ausiliari (vedi a sinistra nella

foto generale del carrello). Dopo l'ammorsamento ed uscita stazione, il carico viene trasferito sui rulli; il primo picco verso il basso coincide con il passaggio sul sostegno1 (a circa 1.170 m da valle), dove viene sollevata la traente e corrispondentemente sovraccaricati i rulli; idem per il secondo picco e per il terzo prima della stazione a monte; dopo la stazione di monte, si nota il viaggio in discesa, a scarico, con ripetizione simmetrica dei picchi relativi ai sostegni;

- can. 5 (supporto morsa) ripete circa quanto detto sopra;
- can. 6 (ganascia morsa): risente poco del carico dei viaggiatori e la sollecitazione prevalente è quella dovuta al serraggio; al passaggio sui sostegni viene indicata l'azione di sollevamento della traente;
- can. 7 (est. sulla sospensione): in assenza di urti trasversali, costituisce cella di carico relativamente alla presenza dei viaggiatori. Nell'intervallo del giro stazione a valle si ha la fase progressiva di salita, con mantenimento del livello medio di sollecitazione per tutta la linea (non segnalati i sostegni, perché la sospensione non è interessata): alla stazione a monte discesa dei viaggiatori e ritorno a valle a cabina scarica, con livello di sollecitazione ridotto.

Conclusione

La presente nota ha valore informativo sull'avanzamento del progetto e di presentazione dei risultati raggiunti al momento della redazione dell'articolo: i dati verranno riesaminati e riordinati in formato elaborabile per le statistiche e resi disponibili all'Università di Trento. È stata valutata l'opportunità di ripetere l'indagine su altro impianto.

Si ripetono, sullo stesso impianto e sulla stessa cabina (lasciata attrezzata con tutti i cavi), le prove standard



*Estensimetro alto sulla
sospensione.*



*Estensimetro basso sulla
sospensione.*



Inclinometro e accelerometro.

di rilievo delle sollecitazioni, effettuate con zavorra costituita da taniche di sabbia, in condizioni di veicolo vuoto, con metà carico eccentrico su lato interno ed esterno linea, a pieno carico, tutte alla velocità massima di esercizio e con sbandamento trasversale determinato unicamente dalla condizione di carico.

In tal modo si potrà fare un confronto tra prove convenzionali e realtà di esercizio, effettivo riempimento a pieno carico, ecc.

La conoscenza degli effettivi stati di sollecitazione potrà fornire un contributo:

- dal punto di vista del progettista, per la verifica di idoneità degli attuali criteri di dimensionamento;
- dal punto di vista del Laboratorio, per la definizione di giustificati parametri di prova di fatica, da proporre anche in sede di redazione della normativa internazionale in materia.

Fabio Degasperi, ingegnere, direttore del LA.T.I.F. - Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune Provincia Autonoma di Trento, Ravina di Trento (TN).

PROVE DEL 9 MARZO 2003

can1 can2 can3 can4 can5 can6 can7
 inclinom. accelerom. perno equilibr. carrello supporto morsa braccio sosp.

giornata completa

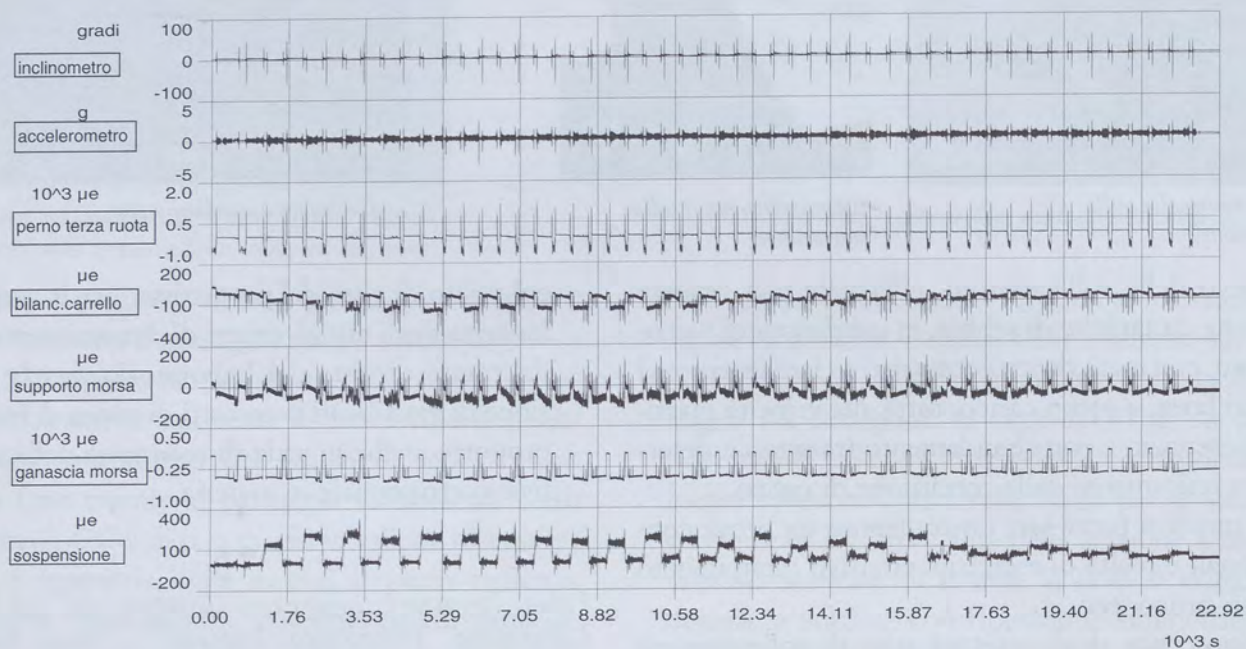


Grafico 1. Estratti dei grafici forniti dai punti di misura su una cabinovia, nell'arco di una giornata di esercizio: in ascissa, i tempi in secondi dall'inizio registrazione giornaliera, dove s'individuano n.25 viaggi completi di andata, ritorno e giro nelle stazioni.



Grafico 2. Estratti dei grafici forniti dai punti di misura su una cabinovia, nell'arco un giro completo (espanso dal precedente).

Proposte migliorative per l'analisi delle funi in esercizio

BRUNO DALLA CHIARA, ALBERTO VALLAN

Generalità

Gli impianti a fune sono sottoposti a revisioni o controlli periodici, secondo scadenze dettate dalla normativa vigente, volti ad accertarne il corretto funzionamento ed il permanere delle condizioni di sicurezza. La ricerca in corso presso il Politecnico di Torino ha la finalità di migliorare le modalità di analisi delle funi sugli impianti di risalita e, prospettando un impiego automatizzato delle prove in esercizio, la possibilità d'utilizzo futuro su impianti a fune in esercizio pubblico continuo per l'ambito urbano (*automated people mover*).

Durante le revisioni si esegue un'accurata verifica degli organi principali dell'impianto: particolare attenzione spetta agli organi a seguito della cui rottura può essere compromessa la sicurezza dei passeggeri trasportati, che vengono sottoposti a controlli non distruttivi¹ per l'analisi del loro stato di conservazione.

Scopo primario dei controlli è permettere di mantenere in esercizio l'impianto in condizioni di sicurezza: evitare la rottura della fune o di altri organi è scopo del progetto e di una buona fabbricazione, ma la loro durata è influenzata anche da altri elementi; per garantire la perfetta efficienza dell'impianto, oltre alle verifiche periodiche, è necessario un corretto comportamento da parte del personale e della dirigenza dell'impianto: evitare urti e sforzi che possano provocare prima o poi rotture, effettuare una buona manutenzione per evitare il degrado [4].

Per quanto riguarda in particolare le funi, vi sono vari fattori che possono concorrere al loro danneggiamento; rotture localizzate di fili si possono verificare in seguito a fenomeni di fatica oppure a causa di traumi meccanici. Il degrado della fune può essere principalmente rilevato andando a misurare la perdita di materiale metallico nella sezione retta della fune, prendendo in considerazione quanto previsto dalla normativa in vigore.

In base alla normativa vigente (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, già dei Trasporti e della Navigazione), gli *impianti adibiti al trasporto pubblico di persone*, sono soggetti a precise prescrizioni relative alle cadenze dei controlli ed ai requisiti minimi per il mantenimento in opera delle funi (D. M. 12.07.1982 e successive circolari esplicative; D.M. 8 marzo 1999 n. 58, art. 4.11.4).

Le verifiche delle funi portanti-traenti, portanti, traenti, zavorra e soccorso vengono effettuate tipicamente durante il periodo di interruzione del servizio degli impianti di risalita. Le funi devono quindi essere

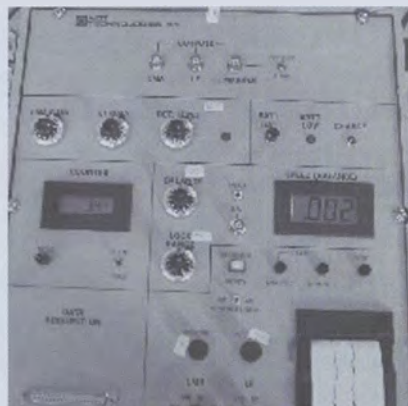


Figura 1: Esempio di strumento per analisi elettromagnetiche in uso presso il Politecnico di Torino (LMA125 – NDT Technologies [3]). La figura in alto a destra mostra la testa di misura con la rotella gommata per la misurazione dell'avanzamento della fune. A destra è mostrato il registratore dei segnali.

tolte d'opera quando, dalle indagini di cui sopra, risulti una riduzione complessiva della resistenza, riferita a quella iniziale con fune nuova, superiore ai valori previsti (ad esempio, per funi portanti, 10% per le funi in opera da meno di 20 anni, 6% per le funi in opera da oltre 20 anni). La valutazione della riduzione di resistenza iniziale della fune viene effettuata sulla base della riduzione convenzionale della sezione metallica, differenziata tra quella generata da fili rotti, riduzione del diametro, abrasioni.

Malgrado le indicazioni normative, non esiste un criterio rigoroso che determini senza margine di errore le condizioni per sostituire le funi; molto spesso vengono tolte dall'esercizio funi con buoni margini di utilizzo, altre volte vengono giudicate valide funi al limite della vita utile. In mancanza di un criterio deterministico è necessario affidarsi all'esperienza di chi esamina la fune ed all'accuratezza con la quale l'esame viene condotto.

Possono essere utilizzati diversi tipi di esami non distruttivi per verificare lo stato dei componenti dell'impianto e delle funi, ma soltanto alcuni di essi, oltre analizzati, forniscono risultati pratici degni di nota.

Negli ultimi anni si sta assistendo ad una continua estensione dei campi d'utilizzo delle funi metalliche, le quali, prevalentemente utilizzate per impianti di risalita e per ascensori, ora stanno trovando applicazione anche nei sistemi di trasporto pubblico non convenzionali di derivazione funiviaria. In tale tipologia di mezzi di trasporto, è in particolare necessario il ricorso a strumenti di monitoraggio automatico della fune essendo questa tipicamente in esercizio continuativo.

Le analisi elettromagnetiche di funi metalliche

La analisi elettromagnetiche² sono analisi non distruttive che consentono, grazie all'impiego di campi

magnetici alternati o continui, di ottenere informazioni sullo stato di usura delle funi, anche in esercizio. Gli strumenti più utilizzati per condurre le analisi su impianti in esercizio impiegano campi magnetici continui e sono costituiti da una testa di misura, che rappresenta l'elemento sensibile in grado di percepire i difetti della fune, e da un sistema elettromeccanico o, negli strumenti più recenti, elettronico, che elabora e registra il segnale prodotto della testa.

La testa di misura è generalmente costituita da due parti collegate con una cerniera così da consentire all'operatore d'inserire agevolmente la fune da analizzare (Figura 1). L'analisi richiede che la fune scorra all'interno della testa di misura, quindi per funi traenti si vincola la testa e si lascia la fune scorrere al suo interno, mentre per funi fisse o portanti è la testa ad essere spostata lungo la fune.

La testa di misura contiene un potente magnete permanente ed un sensore di campo magnetico. Il magnete permanente è in grado di generare un campo magnetico d'intensità tale da portare in saturazione magnetica il tratto di fune che scorre all'interno del magnete. La distribuzione del campo magnetico nel tratto di fune all'interno della testa dipende dalle caratteristiche geometriche e magnetiche della fune e non varia significativamente spostando il magnete lungo la fune, se questa ha caratteristiche uniformi. La presenza di difetti corrisponde ad una variazione delle caratteristiche della fune e provoca quindi una perturbazione del campo magnetico: misurando il campo magnetico presente nella fune è quindi possibile rilevarne i difetti.

Gli strumenti in commercio possono essere raggruppati in base al metodo impiegato per la misura del campo magnetico. Esistono due principali categorie di strumenti [1]:

- strumenti che misurano le variazioni di campo magnetico radiale presente sulla superficie della fune;

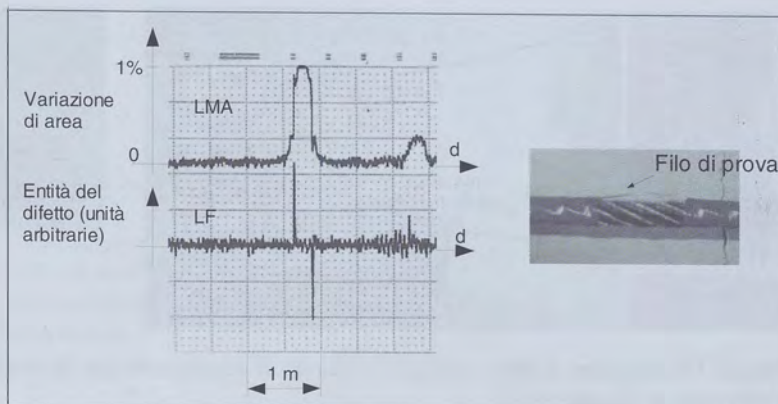


Figura 2: Risultati di un'analisi elettromagnetica svolta con uno strumento dual-function presso il Politecnico di Torino (marzo 2004).

- strumenti che misurano il flusso del campo magnetico totale assiale presente nella fune.

Gli strumenti sensibili alle variazioni di campo radiale impiegano tipicamente sensori di flusso costituiti da bobine composte di numerose spire di filo sottile. Questi sensori sono, per loro natura, sensibili alle variazioni di flusso quindi permettono di rilevare le improvvise variazioni di campo magnetico dovute a difetti di tipo localizzato (i cosiddetti *Localized Fault*, LF). Questi strumenti risultano particolarmente sensibili ai difetti che perturbano il campo sulla superficie della fune, come, ad esempio, fili del rivestimento esterno danneggiati. La loro capacità di rilevare i difetti dipende sia dall'entità del difetto sia dalla sua posizione all'interno della fune. La presenza di difetti negli strati interni della fune può quindi non essere correttamente rilevata.

Questi strumenti sono anche poco sensibili ai difetti che non provocano brusche variazioni della sezione della fune, come, ad esempio, gradualità riduzioni d'area dovute alla corrosione.

I segnali generati dipendono anche in modo significativo dalla velocità della fune. Per questi motivi, gli strumenti per difetti localizzati, non sono adatti a valutare in modo quantitativo l'entità dei difetti presenti nelle funi.

Gli strumenti sensibili al flusso magnetico assiale permettono invece di misurare l'area metallica della fune quindi consentono di stimare l'entità dei difetti. Questi strumenti misurano il flusso complessivo, assiale, presente all'interno della fune e sfruttano il legame di proporzionalità diretta che esiste tra l'area della sezione metallica della fune ed il flusso dell'induzione magnetica quando la fune è in saturazione. Gli strumenti commerciali sono progettati per evidenziare lo stato di usura della fune quindi forniscono direttamente le variazioni di area metallica (*Loss of Metallic cross-sectional Area*, LMA).

Nella pratica, il flusso totale assiale presente nella fune è difficilmente misurabile quindi gli strumenti commerciali utilizzano tecniche di misura semplificate che comportano, però, alcune approssimazioni.

Ad esempio, alcuni strumenti misurano il flusso all'interno dei magneti e da questo ricavano, sottraendo i flussi dispersi, il flusso nella fune. La misurazione del flusso nel magnete avviene tramite sensori di flusso, tipicamente bobine o sensori ad effetto Hall. Questi ultimi sono in grado di misurare il flusso magnetico ma presentano, rispetto alle bobine, una minore sensibilità. Le bobine, però, sono sensibili alle variazioni del flusso dunque il segnale da loro prodotto deve essere elaborato (integrato) al fine di ottenere il flusso magnetico e quindi l'area della fune. L'elaborazione del segnale, non potendo essere ideale per difficoltà nell'integrazione continuativa dello stesso, non consente allo strumento di misurare, ad esempio, una riduzione costante d'area dovuta a corrosione che si protrae per lunghi tratti di fune. L'esperienza del personale tecnico che conduce le analisi è ancora fondamentale al fine di valutare correttamente queste situazioni anomale.

Gli strumenti per LMA presentano, rispetto a quelli per LF, una minore sensibilità dei risultati rispetto alla velocità della fune ma risultano, in generale, meno sensibili alla presenza di difetti localizzati, come alcune rotture, che non comportano significative riduzioni della sezione della fune. Per questo motivo, gli strumenti più recenti combinano le due funzioni (strumenti *dual-function*) e consentono di ottenere una maggiore informazione sullo stato di usura.

La testa di misura contiene, inoltre, un sistema di misura ausiliario per la misurazione della lunghezza della fune. I segnali prodotti dalla testa di misura sono inviati, tramite un cavo, ad un sistema d'elaborazione e registrazione dei dati. L'uscita del registratore è costituita da una striscia di carta sulla quale sono

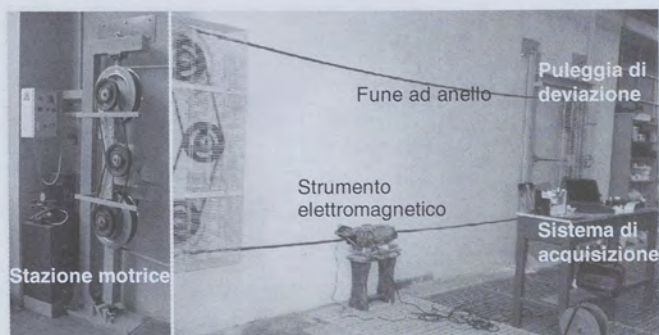


Figura 3: L'impianto a fune utilizzato e sistema di acquisizione per ricerca presso il laboratorio Trasporti del Dipartimento DITIC del Politecnico di Torino.

riportati i segnali ottenuti con il sensore presente nella testa di misura. La velocità d'avanzamento della carta è proporzionale alla velocità di avanzamento della fune ed i segnali sono rappresentati in funzione dell'avanzamento della fune. È così possibile localizzare i difetti rilevati misurando la loro posizione sulla striscia di carta.

La Figura 2 mostra, a titolo d'esempio, il risultato di un'analisi svolta presso il Dipartimento DITIC - Trasporti del Politecnico di Torino. L'analisi ha riguardato una fune metallica a trefoli, avente diametro di circa 14 mm, sulla quale è stato applicato un filo metallico di prova di sezione pari a circa all'1 % di quella della fune e di lunghezza di 30 cm circa. La velocità della fune è di circa 0.5 m/s e quella della carta è circa 0.5 cm/s.

La traccia relativa all'analisi LF presenta due ampi picchi in corrispondenza dell'inizio e della fine del filo di prova e consente di localizzare correttamente il filo ma non permette di conoscerne la sezione. La traccia ottenuta dall'analisi LMA permette di evidenziare la presenza di una variazione di sezione e consente, dopo un'opportuna messa in punto dello strumento, di quantificarla.

I sistemi d'acquisizione e registrazione dei dati per l'analisi delle funi

L'analisi delle registrazioni su carta prodotte dagli strumenti elettromagnetici è svolta in modo manuale da personale specializzato e presenta i seguenti inconvenienti:

- è poco agevole, soprattutto in presenza di funi di elevata lunghezza a causa dell'elevata lunghezza del tracciato;
- è soggettiva, in quanto operatori diversi potrebbero fornire valutazioni differenti, soprattutto nei casi dubbi;

- non è automatizzabile;
- è onerosa poiché comporta la presenza di personale ed analisi a posteriori.

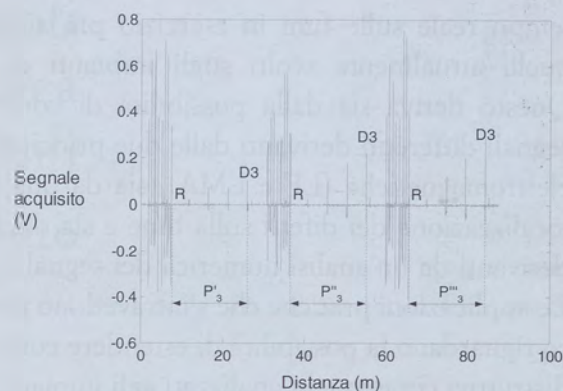
Gli strumenti più recenti consentono di superare questi limiti grazie all'impiego dei sistemi d'acquisizione ed elaborazione dei segnali [2]. I segnali di tensione elettrica, prodotti dal sensore della testa, sono acquisiti da un calcolatore elettronico dove un opportuno programma di analisi "emula" il tecnico specializzato e rileva, anche in tempo reale, la presenza di difetti. Esistono, in commercio, numerosi sistemi d'acquisizione adatti ad essere utilizzati con gli strumenti elettromagnetici; i produttori degli strumenti forniscono programmi d'analisi per la rilevazione di difetti nelle funi [3]. L'utente può comunque sviluppare un programma *ad hoc*.

Proposte migliorative relative alla misurazione della posizione dei difetti presenti nelle funi

Gli strumenti per l'analisi elettromagnetica delle funi sono corredati di un misuratore di distanza dotato di una rotella gommata che consente di tracciare l'andamento dei segnali prodotti dallo strumento in funzione della posizione della fune, quindi permette di localizzare grossomodo il punto della fune in cui è presente il difetto. Se i difetti rilevati non sono di entità tale da richiedere la sostituzione della fune, può essere utile osservarne l'evoluzione temporale, ad esempio confrontando i tracciati relativi ad analisi svolte in epoche diverse. Purtroppo, è spesso impossibile riconoscere un difetto dalla forma del segnale prodotto dallo strumento elettromagnetico poiché la fune, durante l'avanzamento, può torcersi e quindi presentarsi nello strumento con angolature differenti. La misurazione della posizione dei difetti diventa quindi l'unico metodo per riconoscere in modo univoco un difetto.

Un'analisi svolta dagli autori ha però evidenziato che

Figura 4: I risultati ottenuti dall'algoritmo di elaborazione. L'algoritmo rileva in modo automatico, e indipendente dalla velocità, il punto R in cui finisce l'impalmatura e misura le distanze tra i difetti, in questo esempio D3, ed il punto R.



i misuratori di distanza degli strumenti commerciali raramente forniscono un'incertezza tale da consentire il riconoscimento di un difetto in analisi diverse. Prove effettuate in laboratorio e durante l'analisi di impianti di risalita hanno evidenziato variazioni di lunghezza misurata superiori all'1%, fino a circa 5%, anche quando la velocità della fune rimaneva approssimativamente costante.

Il sistema di misura della posizione dei difetti sviluppato sfrutta lo stesso principio dei misuratori commerciali, ma impiega una puleggia di deflessione come misuratore di avanzamento della fune. Il sistema di misura è composto di:

- uno strumento elettromagnetico, i cui segnali sono utilizzati per rilevare in modo automatico il passaggio dell'impalmatura;
- un rilevatore laser, che consente di misurare senza contatto la posizione angolare della puleggia;
- un sistema di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Il sistema d'acquisizione è stato sviluppato per questa specifica applicazione ed è composto da:

- un circuito di condizionamento dei segnali, che si occupa di amplificare e filtrare i segnali, e di proteggere i circuiti successivi da eventuali sovratensioni. Il filtro contenuto in questo stadio è di tipo passa basso con frequenza di taglio pari a 2 kHz;
- una scheda di acquisizione dati commerciale (DAQCard-700 [2]), che converte i dati in formato numerico e li trasferisce al Personal Computer tramite un'interfaccia PCMCIA. La scheda ha una risoluzione di 12 bit e campiona i segnali alla frequenza di 10 kHz;
- un personal computer (PC) portatile sul quale opera il programma di acquisizione ed elaborazione dati. Il programma d'acquisizione sfrutta le potenzialità *dual-buffer* della scheda e permette un'acquisizione continua dei dati anche per lunghi periodi.

In Figura 3 è rappresentata la fune ad anello ed il sistema di misura utilizzati per le prove sperimentali. La frequenza di campionamento della scheda è stata scelta sulla base delle caratteristiche del segnale prodotto dal sensore presente nella testa di misura. Come si è visto nella sezione precedente, il segnale dipende dal tipo difetto, dalla velocità della fune e dal tipo di strumento impiegato (per LF o per LMA). Le prove sperimentali condotte hanno dimostrato che impiegando una frequenza di campionamento di circa 1 kHz è possibile acquisire i segnali senza significative distorsioni. Utilizzando frequenze di campionamento superiori non si migliora significativamente la "qualità" del segnale acquisito ma si aumenta, proporzionalmente, la quantità di memoria necessaria per memorizzare il segnale nel PC. Utilizzando una frequenza di campionamento di 10 kHz la memoria necessaria per memorizzare un segnale è di circa 1.2 Mbyte per ogni minuto d'acquisizione.

Il programma sviluppato acquisisce contemporaneamente i segnali prodotti dallo strumento e dal rilevatore laser utilizzato per misurare la posizione angolare della puleggia di deflessione che è stata scelta per la misurazione della distanza percorsa dalla fune. I segnali acquisiti sono quindi elaborati con un algoritmo appositamente sviluppato che, in modo automatico ed indipendente dalla velocità della fune, rileva la posizione dell'impalmatura. L'algoritmo segnala quindi la presenza di difetti e la loro distanza dall'impalmatura (Figura 4).

Approfondimenti in merito sono pubblicati in [4], [5] ed edizioni della medesima rivista del 2004.

Conclusioni

Le prove svolte in laboratorio lasciano intravedere la possibilità di effettuare controlli non distruttivi in

tempo reale sulle funi in esercizio più affidabili di quelli attualmente svolti sugli impianti di risalita. Questo deriva sia dalla possibilità di confronto di segnali differenti derivanti dalle due principali analisi elettromagnetiche (LF e LMA), sia da una migliore localizzazione dei difetti sulla fune e sia dai vantaggi derivanti da un'analisi numerica dei segnali acquisiti. Le applicazioni pratiche che s'intravedono per il futuro riguardano la possibilità di estendere controlli non distruttivi come quelli analizzati agli impianti in esercizio pubblico continuativo tipo APM, ad esempio per applicazioni urbane.

Riferimenti bibliografici

- [1]. H. R. WEISCHEDEL, *The Inspection of Wire Ropes in Service: a Critical Review*, in "Material Evaluation ASNT", vol. 43, No. 13, 1985, pp. 1592-1605;
<http://www.ndttech.com/Papers/CRITREV.PDF>
- [2]. *Data Acquisition Fundamentals*, National Instruments, Application Note AN007
- [3]. NDT Technologies, Inc.,
<http://www.ndttech.com/Care/index.htm>
- [4]. A. CROTTI, B. DALLA CHIARA, N. IMBIMBO, *Magneto Inductive Test of the Ropes*, in "Elevatori, European Elevator Magazine", voll. 30 e 31, novembre-dicembre 2001 e gennaio-febbraio 2002.
- [5]. A. CROTTI, B. DALLA CHIARA, N. IMBIMBO, *Proposal for Enhancement of Magneto-inductive Steel Wire Rope Testing on Cableways and its Applications for Elevators*, Elevator Technology 12, proceedings of Elevcon, Milano, Italy, 24-27 June 2002, 12th International Congress on Vertical Transportation Technologies, pp. 54-63.

Bruno Dalla Chiara, dottore di ricerca in ingegneria, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino.
Alberto Vallan, dottore di ricerca, ricercatore presso la III Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DELEN, Torino.

NOTE

¹ Per controllo non distruttivo s'intende un controllo interno della fune o dell'organo meccanico dell'impianto di risalita senza prelievo di materiale né operazioni meccaniche.

² In letteratura, soprattutto italiana, le analisi elettromagnetiche sono anche denominate come "magneto-induttive".

Nuove applicazioni negli azionamenti e nel controllo automatico: diagnostica e controllo degli impianti

GABRIELE CAPPELLO

Sommario

Lo sviluppo dell'industria turistica montana è stato reso possibile, fra l'altro, dall'evoluzione degli impianti di risalita, che ha compreso un costante incremento della sicurezza e della continuità di esercizio. Un contributo determinante a tale miglioramento è da ascrivere alle sempre maggiori potenzialità dell'interfaccia uomo-macchina presentata dal sistema di automazione, ossia alle caratteristiche del supervisore, che consente una conoscenza puntuale dello stato dell'impianto. Le cause di indisponibilità, che si traducono in discontinuità di esercizio, sono in relazione agli arresti effettivamente richiesti, a quelli intempestivi e a quelli causati da guasti interni: si fa cenno ai principali mezzi per contrastarle. Si considerano poi i fattori principali della disponibilità, citando alcune misure volte ad esaltarli: soluzioni progettuali consolidate, componentistica affidabile, supervisione potente che consenta anche una conoscenza statistica dell'impianto in condizioni di regolarità e di irregolarità. Si accenna a nuove funzioni di utilità offerte dai supervisori, fra cui la manutenzione programmata, lo scadenziario delle verifiche periodiche e così via.

Sviluppi negli impianti a fune ed automazione

L'offerta turistica che, per vocazione ormai antica, caratterizza le località montane, si è trasformata negli ultimi decenni in una vera e propria industria, in particolare invernale e sciistica, in grado di accogliere e gestire masse imponenti di clienti che si vengono a riversare periodicamente in aree e per intervalli temporali relativamente concentrati. Ciò è stato reso possibile da una molteplicità di fattori, fra i quali si possono citare ad esempio, limitandosi al solo ambito tecnico, l'evoluzione degli impianti di risalita, lo sviluppo di sofisticati sistemi di innescamento artificiale, l'informatizzazione e l'unificazione dei titoli individuali di trasporto ("skipass") su vasti comprensori.

La popolazione degli impianti a fune, in particolare, continua a progredire verso un incremento cospicuo di sistemi a moto continuo e collegamento temporaneo dei veicoli (oltre 20%), gli unici con i quali si possono raggiungere facilmente portate orarie molto elevate. Gli impianti a va e vieni, costruiti con capacità di trasporto notevoli e costituendo soluzione tipica in presenza di profili impervi con franchi

da terra molto ampi, o di tracciati in galleria, tendono a rimanere all'incirca costanti in quantità sia assoluta che percentuale (5%). Fra gli impianti "leggeri", quelli aerei a moto continuo e collegamento permanente dei veicoli hanno dimostrato negli ultimi anni un lieve incremento percentuale, mentre si è assistito ad una progressiva riduzione del numero di sciovie.

Accanto allo sviluppo di nuove soluzioni meccaniche e all'offerta di impianti dotati di capacità di trasporto sempre più elevata (intesa come prodotto della portata oraria per il dislivello), l'evoluzione tecnologica degli impianti funiviari è consistita in una progressiva automazione del funzionamento, resa maggiormente possibile grazie all'introduzione massiccia della componentistica elettronica nei sistemi di controllo. A questo proposito, è doveroso porre in evidenza il fatto che l'enorme sviluppo dell'industria turistica del settore è stato consentito, in particolare, da un costante incremento tanto della sicurezza quanto della continuità di esercizio presentate dagli impianti.

La sicurezza di esercizio può definirsi come probabilità che l'impianto rimanga continuativamente in condizioni tali che il rischio derivante dal suo impiego permanga al di sotto di un livello prefissato e considerato accettabile; tale livello è in pratica individuato dallo "stato dell'arte" ed è quindi stabilito mediante equivalenza ai principi di sicurezza cogenti descritti dai Regolamenti e dalle Prescrizioni tecniche in vigore, che tale stato dell'arte si sforzano di rappresentare. Si ritiene di poter affermare che la frequenza degli incidenti e la densità di feriti e di vittime in rapporto ai volumi di trasporto siano, in Italia, estremamente modesti, e ciò ancor più se si escludono cause estranee all'impianto a fune in quanto tale, come l'impatto di aeromobili su funi debitamente segnalate; ciò fa degli impianti a fune tra i mezzi di trasporto più sicuri. Vale la pena di osservare al proposito, anche senza tentare analisi numeriche, come il mantenere costantemente bassa l'incidentalità o addirittura il diminuirla, non possa che derivare da un effettivo aumento della sicurezza "specifica", dato che l'evoluzione ha visto un contemporaneo rilevante incremento della quantità di passeggeri trasportati.

La continuità di esercizio, tralasciando ovviamente i limiti imposti dalle minime meteorologiche necessarie (vento non eccessivo, assenza di temporali o bufere, temperature non estreme), si identifica in sostanza con la disponibilità operativa, che può definirsi come rapporto fra la capacità di trasporto effettivamente offerta nel lasso di tempo considerato e la capacità nominale, data dalla prestazione che l'impianto offre

quando si mantiene ininterrottamente e pienamente operativo. Questa definizione di disponibilità è adatta ai sistemi riparabili e degradabili, ossia tiene conto del fatto che, in presenza di un guasto diagnosticato ma non ancora riparato, l'impianto potrebbe rimanere in esercizio ad un livello di prestazione ridotto (penalizzazione di velocità o di portata), beninteso a livello di sicurezza equivalente a quello normale. L'automazione degli impianti ha in molti casi consentito di introdurre elementi di ridondanza a fronte di aggravii economici non eccessivi, vale a dire pienamente giustificabili grazie al beneficio derivante dalla tolleranza ai guasti raggiunta.

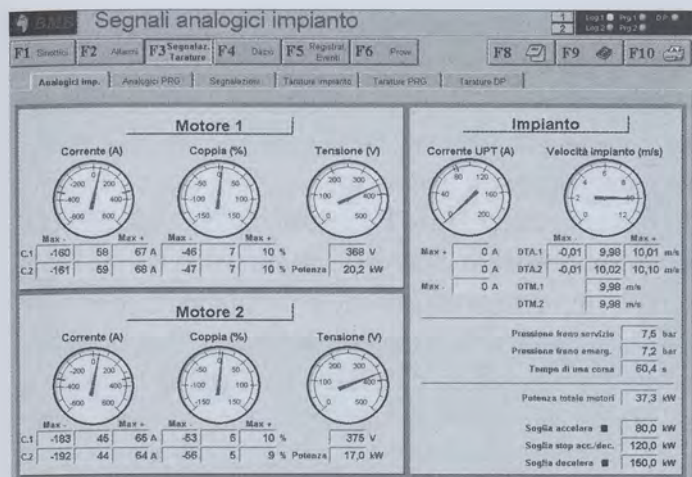
Le capacità diagnostiche e di controllo offerte dall'automazione d'impianto svolgono due ruoli determinanti, distinti essenzialmente in base alla frequenza di verifica e al tempo di reazione dell'automatismo: monitoraggi continui di eventi rischiosi, adottati per ottenere un arresto repentino dell'impianto in caso di intervento in seguito al rilevamento dell'evento, sono diffusamente impiegati come "sorveglianze" e costituiscono il nocciolo del sistema automatico di controllo della sicurezza; rilevamenti continui di stati e di grandezze analogiche sono effettuati dal sistema di supervisione per offrire al personale un'efficace rappresentazione delle modalità di funzionamento dell'impianto; monitoraggi periodici, cadenzati in modo automatico o manuale, costituiscono importanti strumenti per verificare la funzionalità di sistemi e sottosistemi che, per varie ragioni, sarebbe impossibile o sconsigliato sorvegliare continuativamente durante l'esercizio.

Nel seguito di questa nota ci si propone di esporre succintamente le principali caratteristiche dei sistemi elettrici funiviari che consentono tali elevate possibilità di diagnostica e controllo e quindi contribuiscono in modo determinante al raggiungimento degli attuali standard di sicurezza e di disponibilità.

La sicurezza

1.1 Riduzione del rischio originario

La concezione di un impianto funiviario deve fronteggiare una serie di pericoli e di conseguenti rischi "originari", ossia presenti a priori per il semplice verificarsi di alcune circostanze, quali la presenza di masse sospese, di sistemi in moto relativo, di energie potenziali e cinetiche elevate e così via. Le scelte progettuali adottate nella realizzazione dell'impianto derivano quindi necessariamente anche da un'attenta



Pagina segnali analogici di impianto.

valutazione dei pericoli prevedibili e dei danni che ne possono scaturire; mediante accorti dimensionamenti, *lay out* costruttivi, selezione delle caratteristiche dei materiali, procedure di lavorazione, di montaggio, di messa in servizio e di collaudo si è così in grado di realizzare impianti in cui i rischi originari sono già ridotti notevolmente, anche senza considerare l'introduzione di provvedimenti tecnici ed organizzativi esclusivamente finalizzati ad incrementare la sicurezza. Le soluzioni adottate possono derivare da una libera scelta del progettista, che annovera specificamente fra i suoi compiti di effettuare la valutazione del rischio; tuttavia, per molti parametri progettuali direttamente influenti sulla sicurezza (coefficienti di dimensionamento, franchi dagli ostacoli, tolleranze, ecc.), i valori minimi da adottare sono stati individuati in sede di redazione normativa e sono quindi stabiliti dalle prescrizioni tecniche. Tali valutazioni, peraltro, hanno anche portato ad evidenziare come i rischi "residui", ossia quei rischi che, anche progettando e realizzando secondo la regola dell'arte e con la massima accuratezza, risultano comunque inevitabili, siano ancora tali da far ottenere un livello di sicurezza insufficiente rispetto a quello percepito come tollerabile e conseguibile; si è inoltre ritenuto che la carenza non sia colmabile ricorrendo soltanto a regole per l'esercizio. Si è di conseguenza stabilito che l'impianto deve prevedere anche una componente di "sorveglianza automatica", atta a compensare il gap sopra citato mediante un soddisfacente livello di "sicurezza funzionale". Si intende infatti con sicurezza funzionale (*functional safety*) quella aliquota della sicurezza complessiva di funzionamento di un macchinario che è affidata al corretto funzionamento di un sistema automatico di controllo della sicurezza ("SRCS": *Safety - Related Control System*); l'SRCS di un impianto di trasporto a



Pagina giro stazione motrice impianto automatico.

fune è detto "sistema di sorveglianza" ed è costituito prevalentemente da componenti elettrici, elettromeccanici ed elettronici. Esso realizza un insieme di funzioni di sicurezza, atte a minimizzare i rischi residui per le persone, e di funzioni di protezione, atte a minimizzare i rischi per i materiali che, alla lunga od in circostanze sfavorevoli, potrebbero anche arrivare a determinare danni alle persone. Anche la completezza delle funzioni espletate dal sistema di sorveglianza deve essere vagliata dal progettista dell'impianto: tuttavia, fondamentalmente, i requisiti essenziali per i tipi consolidati di impianti di trasporto a fune sono fissati dalle prescrizioni tecniche cogenti, laddove esistenti, oppure descritti da norme che, per quanto non cogenti, danno il riferimento per lo standard minimo di sicurezza richiesto. Tale standard minimo, ottenuto col solo ricorso a misure tecniche, è tale per cui i rischi residui "finali" si possano ritenere di natura ed entità tali da essere soddisfacentemente fronteggiati mediante provvedimenti meramente operativi, ossia con regole di comportamento e con procedure relative al servizio e alla manutenzione, da concretizzarsi nei regolamenti di esercizio.

In definitiva, la conformità alle prescrizioni di progetto e costruzione relative da un lato alle parti dell'impianto diverse dal sistema di sorveglianza e dall'altro a quest'ultimo, ed infine il rispetto delle regole di esercizio, costituiscono i tre passi che, dal livello di rischio originario, conducono al livello di rischio accettato e che quindi, per l'attuale grado evolutivo dello stato dell'arte, lo definiscono.

1.2 Livello accettato del rischio residuo

L'inquadramento descritto ha validità generale, dato che rappresenta l'approccio dimostratosi più efficace per rendere "sicuro" un sistema tecnologico, il cui

impiego è sempre intrinsecamente caratterizzato da rischi originari. I criteri di individuazione dei requisiti di sicurezza e di valutazione della conformità ai medesimi sono, in questo periodo, soggetti ad adeguamenti e modifiche in misura molto maggiore rispetto a quella legata all'evoluzione tecnica, a causa recente recepimento, anche da parte dello Stato italiano, della Direttiva 2000/9/CE del 20 marzo 2000 relativa agli impianti a fune adibiti al trasporto di persone, le cui procedure saranno obbligatorie a decorrere dal 3 maggio 2004.

Tralasciando di scendere in dettaglio, è sufficiente ricordare qui che la direttiva stabilisce, nell'allegato II, i requisiti essenziali di sicurezza, ed ammette l'uso di apposite specifiche europee (norme europee armonizzate) come possibili strumenti per ottenere la presunzione di conformità ai requisiti stessi. La novità introdotta dalla direttiva sta, essenzialmente, nella procedura di valutazione della conformità, per la quale è previsto, almeno per quanto riguarda i componenti di sicurezza ed i sottosistemi, il ricorso ad appositi organismi notificati, venendo lasciata ai singoli stati membri, mediante le rispettive autorità competenti, solo la responsabilità del controllo sulla costruzione, il collaudo e l'esercizio dell'impianto nel suo complesso. Per quanto riguarda le specifiche tecniche che forniscono il livello tecnico di riferimento, attualmente la situazione italiana vede, per quanto riguarda i requisiti di progetto, costruzione ed esercizio relativi alla sicurezza, la presenza di un Regolamento generale, contenente i requisiti essenziali, espressi in termini di scopi da raggiungere, e di dettagliati ed articolati decreti attuativi, in forma di "Prescrizioni Tecniche Speciali" (PTS), dedicati ai vari tipi di impianti funiviari. Sia il Regolamento che le PTS hanno non già semplice valore di norma tecnica di facoltativa applicazione ma valenza di decreto e quindi è obbligatorio rispettarli. Le norme europee armonizzate sono a tutt'oggi in corso di preparazione; come tutte le norme redatte da istituzioni private, non saranno cogenti ma, grazie a quanto specificato nella direttiva, godranno della caratteristica di garantire, a chi sceglie di conformarvisi, la presunzione di conformità ai requisiti essenziali della medesima.

La disponibilità

1.3 Criteri di libera scelta e requisiti cogenti

A differenza di quanto si verifica nel campo della sicurezza, in cui i requisiti cogenti coprono pressoché

ogni aspetto progettuale e costruttivo di un sistema di sorveglianza, e quindi lasciano relativamente poco spazio alle diversificazioni e alle peculiarità realizzative, nel campo della disponibilità le prescrizioni sono, ovviamente, quasi inesistenti.

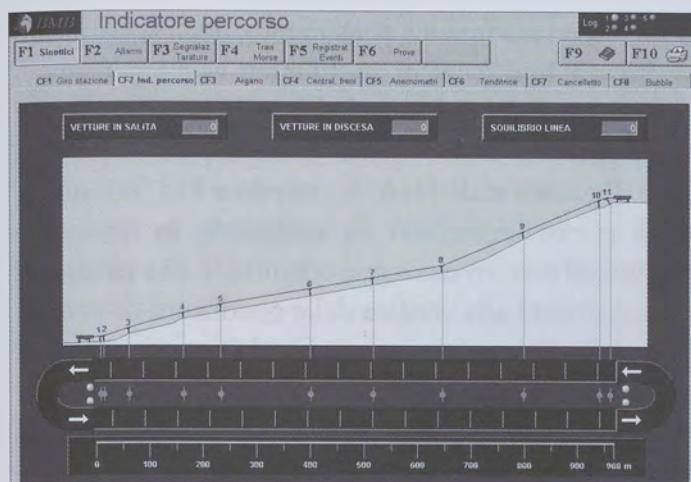
Per quanto riguarda le PTS attualmente vigenti, sono infatti trattate solo alcune situazioni correlate col fatto che, in impianti posti in zone geograficamente critiche (arroccamenti), l'impedimento all'esercizio potrebbe risolversi non già in una semplice perdita economica ma anche in una situazione rischiosa per il pubblico; ciò, in particolare, per quello precedentemente trasportato a monte, che si verrebbe a trovare in una zona climaticamente inospitale senza possibilità di essere ricondotto a valle in tempi brevi. In casi simili, è prescritta l'adozione dell'azionamento di riserva e, contestualmente, di un sistema di sorveglianza dotato di ridondanze tali (tre "unità di controllo") che, anche in caso di esclusione ad un canale completo, sussista ancora almeno il livello di sicurezza minimo compatibile con l'esercizio. Il sistema di sorveglianza progettato dalla nostra azienda impiega anche logiche programmabili polifunzionali in completa ridondanza, in modo da poter escludere un intero canale statico senza il minimo pregiudizio per le prestazioni del sistema.

Per quanto riguarda le specifiche tecniche europee, le prescrizioni relative alla continuità di esercizio sono quasi inesistenti; sono comunque date diverse prescrizioni sulle segnalazioni e le modalità di presentazione delle informazioni, essendosi considerato che un buon controllo sull'impianto ed una adeguata diagnostica hanno importante riflesso anche sulla sicurezza. Al riguardo, è interessante notare che il registratore di eventi, da tempo obbligatorio nel nostro Paese, è stato riconosciuto di indubbia utilità anche ai fini della sicurezza, pure in sede CEN; le sue caratteristiche sono pertanto in corso di definizione da parte del gruppo di lavoro *ad hoc* incaricato di redigere la norma relativa.

Per ogni altro aspetto, il costruttore è libero di adottare le scelte che preferisce, giocando al meglio con i parametri influenti sulla continuità e gli inerenti rapporti costo / beneficio.

1.4 Il sistema di automazione e l'interfaccia uomo-macchina

La disponibilità dell'impianto è in generale favorita dall'esistenza di un'interfaccia uomo macchina (MMI) che consenta agli operatori di conoscere con "naturalità" ed in modo approfondito lo stato delle

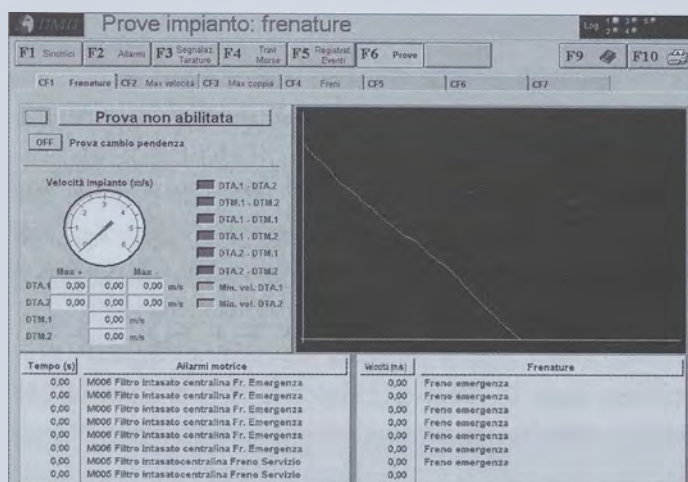


Pagina indicatore di percorso impianto monofune.

apparecchiature, offrendo loro strumenti di comando chiari, di agevole ed inequivocabile impiego. Tale interfaccia, per quanto riguarda il flusso delle informazioni diretto dalla macchina verso l'operatore, è principalmente costituita dal *sistema di supervisione* che, dovendo fornire molte informazioni, dev'essere strutturato gerarchicamente in modo da agevolare l'accesso ai dati richiesti, senza cadere nel difetto di sovraccaricare il personale di informazioni, non tutte contemporaneamente indispensabili.

Storicamente, le informazioni al personale conduttore erano date mediante pannelli sinottici, che presentavano mediante lampade prima, e LED successivamente, i vari stati logici rappresentativi del funzionamento; per le grandezze analogiche, si è sempre fatto ricorso a strumenti indicatori a lancetta e talora, quando si sono resi disponibili, a strumenti elettronici a bar-graph o a display a punti o a segmenti. Le tarature erano in genere costituite da regolazioni (*trimming*) di potenziometri rotativi o da posizionamenti di jumper o punti di saldatura. L'introduzione massiccia dei circuiti elettronici digitali e dei personal computer, e la sempre maggior facilità nel disporre di potenzialità grafiche, hanno consentito di digitalizzare molte informazioni e di trasferirle su monitor, concentrandole e provvedendo ad organizzarle convenientemente.

I moderni supervisori offrono pertanto, anzitutto, una *conoscenza puntuale dello stato istantaneo dell'impianto*, acquisendo dati dai sensori di campo (sensori binari e trasduttori analogici o digitali di grandezze analogiche) tramite i sistemi elettronici di controllo e sorveglianza, e presentandoli opportunamente in forma grafica (*quadri sinottici*), facendo uso di indicatori digitali per la segnalazione di stati. Apposite pagine video sono dedicate alle *segnalazioni* che, impiegando strumenti, reali o virtuali, di tipo discretizzato



Pagina prove periodiche di frenatura impianto.

(*bar graph*) o analogico a lancetta, oppure con indicazione numerica digitale, mostrano i valori delle grandezze analogiche di impianto e, se si tratta di un sistema a va e vieni, dei programmatori di percorso; altre segnalazioni sono dedicate alle modalità di funzionamento prescelte (sorgente di energia ed azionamento in uso, e così via). Infine, tutte le *tarature*, sia generali che, per i sistemi a va e vieni, relative ai programmatori e ai dispositivi di dazio continuo e a punti, sono raccolte in altre specifiche pagine.

Tutto ciò serve per "avere l'impianto in mano", ossia per acquisirne padronanza e pieno controllo, condizioni indispensabili anche per poter percepire prontamente derive dalle condizioni di funzionamento normali.

1.5 Cause di indisponibilità

Si consideri ora l'impianto da un punto di vista affidabilistico. I suoi componenti, in particolare quelli meccanici rotanti e quelli elettromeccanici ed elettronici, sono soggetti a guasti e si prestano ad essere riparati, usualmente tramite sostituzione con parti di ricambio; l'impianto a fune rientra quindi nella categoria dei "*sistemi riparabili*".

L'impianto può vedere ridotte o addirittura annullate le sue prestazioni a causa di guasti che colpiscono direttamente parti dell'argano (organi meccanici, motori, freni, azionamenti e così via), oppure altre parti come sistemi ausiliari (alimentatori, ventilatori, spaziatori, pompe) o componenti del sistema di controllo e sorveglianza (sensori, attuatori, elettronica di controllo). Generalmente, un guasto che occorra mentre l'impianto è in marcia comporta una modifica delle condizioni tale da provocare l'intervento di una o più funzioni di sicurezza o protezione del sistema automatico di sorveglianza; l'indisponibilità operativa di un impianto, tuttavia, si ha ogniqualvolta viene sganciato un *comando d'arresto* che non sia

una semplice fermata di servizio; ciò, in effetti, può verificarsi anche in assenza di guasti veri e propri, in due tipi di casi: in primo luogo *per comando manuale* intenzionale dell'operatore o *per intervento automatico* di una sorveglianza, *dovuti alla necessità di evitare un pericolo* per l'utenza; in secondo luogo, *per intervento spurio di una funzione di sorveglianza*, ossia per malfunzionamento fugace.

Il primo caso, che si presenta ad esempio quando uno sciatore cade in zona d'imbarco o non si sgancia per tempo dal piattello di una sciovia, non rientra direttamente nella sfera d'influenza del controllo tecnico sull'impianto, in quanto la causa si presuppone dovuta al comportamento del passeggero, ed anzi i dispositivi di sorveglianza si sono comportati in modo ineccepibile reagendo in modo sicuro. Dal punto di vista della disponibilità, tuttavia, questo caso è molto importante, in quanto di gran lunga prevalente (dell'ordine del 90% sul totale); anche in quest'ambito si può intervenire nella progettazione mediante una *concezione ergonomica ed agevole delle infrastrutture utilizzate dal passeggero*, in modo da rendere improbabili gli intralci al flusso dell'utenza. Agevolazioni si ottengono, ad esempio, impiegando pedane mobili di imbarco nelle seggiovie a morsa fissa e pedane mobili di allineamento e di disimpegno rispettivamente nelle zone di imbarco e sbarco delle seggiovie automatiche, particolarmente con veicoli a grande capienza. Il sistema di automazione gioca un ruolo fondamentale in tutti questi sottosistemi di movimentazione: si possono citare al proposito il coordinamento fra il comando dei cancelli d'accesso alle pedane e l'approccio delle seggiole al settore d'imbarco, per il controllo del flusso dei passeggeri in partenza, che deve essere tarato con accuratezza per garantire un funzionamento soddisfacente; i dispositivi di cadenzamento dei veicoli in procinto del lancio, negli impianti a collegamento temporaneo, la cui corretta impostazione consente di ottenere le dovute portate orarie senza rischiare di toccare le soglie di separazione dei veicoli in linea; i sistemi di rallentamento automatico dell'anello trattivo all'arrivo di una seggiola carica di pedoni, che consentono di allertare il personale e, volendo, di rallentare la linea in modo automatico per agevolare lo sbarco. Tutte queste operazioni, rese possibili o, quanto meno, più accurate e ripetibili grazie alle prestazioni offerte dai sistemi elettronici, sia relativi agli azionamenti che all'automazione e al controllo, agevolano l'utilizzazione dell'impianto da parte del pubblico, contribuendo certamente ad abbassare la probabilità di inceppamenti nel flusso dei passeggeri, oltre che a consentire nei casi previsti un incremento di portata oraria.

Il secondo caso innanzi considerato, degli arresti spuri verificatisi in assenza di guasti effettivi, è relativamente raro, benché – in base ad alcune indagini statistiche – sia risultato di frequenza circa doppia rispetto al caso di guasto reale ($4 \div 6$ % rispetto a $2 \div 3$ %); si tratta di eventi importanti da analizzare, in quanto in seguito all'arresto consegue comunque una perdita di tempo dovuta alla verifica delle condizioni di sicurezza e al ripristino del sistema. Finché non si è appurato che la causa è fugace, la situazione è evidentemente analoga a quella di guasto effettivo; il supervisore torna particolarmente utile per rilevare la manifestazione di guasto memorizzata, anche se la causa di intervento è scomparsa immediatamente; risulta dunque pienamente evidente l'importanza di una buona capacità diagnostica. Dal punto di vista del miglioramento della disponibilità, si deve operare sui due fronti progettuale e della conduzione del servizio; non sempre si riesce infatti a risalire alle cause degli arresti intempestivi, ma appare comunque chiaro dalla statistica che, nel complesso, si individuano tre categorie di ragioni: le imprecisioni di montaggio, le perturbazioni di origine interna all'impianto e quelle di origine esterna.

Arresti per causa fugace dovuta ad imprecisioni di montaggio si possono presentare per posizionamento difettoso di sensori (disallineamenti) tale da provocare l'intervento solo occasionalmente, magari in concomitanza con una vibrazione che causa un'azione meccanica od una momentanea perdita di isolamento; possono esservi coinvolti, ad esempio, i controlli geometrici (accoppiamento fune-morsa) ed i circuiti delle sicurezze di linea. Arresti dovuti a perturbazioni di origine interna si hanno essenzialmente per interferenza elettromagnetica su parti del sistema di automazione o per forti escursioni termiche dei dispositivi, e colpiscono in prevalenza circuiti analogici di rilevamento e condizionamento, nonché sensori di tipo elettronico quali gli interruttori di prossimità induttivi; possono esservi interessati i controlli di anticollisione, quelli provamorse ed altri ancora. In tutti questi casi, migliorie nella progettazione e nella scelta dei materiali possono condurre ad apprezzabili aumenti di immunità. Infine, anche per i casi dovuti a perturbazioni di origine esterna, generalmente di difficoltà indagine e comunque non strettamente legati alle caratteristiche costruttive dell'impianto funiviario, si può cercare di intervenire tecnicamente. Ciò non riguarda però in genere le caratteristiche del sistema di automazione dell'impianto, quanto piuttosto l'estensione delle condizioni di alimentazione ammissi-



Pagina registratore di eventi: grafico evoluzione arresto.

bili, da ottenersi ad esempio introducendo idonei filtri armonici nei sistemi di potenza.

1.6 Fattori di disponibilità nei sistemi di governo degli impianti

Si assuma ora l'eventualità che un guasto si verifichi effettivamente, limitando le considerazioni ai sistemi elettromeccanici, elettrici ed elettronici. La *disponibilità* di un sistema riparabile si può incrementare agendo sui due fronti dell'*affidabilità* e della *riparabilità*.

Mirare al primo obiettivo significa cercare che componenti e sottosistemi si guastino raramente ossia, appunto, che siano affidabili. Cardini di questo approccio sono l'adozione di *soluzioni progettuali* consolidate e, per la loro realizzazione, l'impiego di *componentistica* di *comprovata idoneità alle condizioni di impiego* e caratterizzata da *elevati valori di MTBF* (*Mean Time Between Failures*, tempo medio fra due guasti, corrispondente al reciproco del tasso di guasto, ossia della densità di probabilità di transizione allo stato guasto). Il primo di tali aspetti, evidentemente, tenderebbe a contrastare con il sano desiderio di introdurre soluzioni innovative, e va opportunamente bilanciato con la sperimentazione di nuove tecnologie. Da questo punto di vista, un notevole punto di forza si è rivelato il fatto che lo stesso costruttore elettrico produca anche sistemi per il mercato industriale, in quanto ha possibilità di svolgere attività di ricerca e sviluppo anche per altre applicazioni della tecnica e quindi di attingere a soluzioni già studiate per campi diversi, trasferendo al settore funiviario quelle sufficientemente sperimentate altrove. Per quanto riguarda l'affidabilità statistica, riveste importanza l'impiego di componenti e circuiti a campo di funzionamento esteso, in riferimento alle condizioni climatiche e di alimentazione elettrica; in particolare,

poiché un'inevitabile causa di guasto è data dalle interferenze elettromagnetiche, si cerca, per quanto possibile, di conseguire immunità o, quanto meno, una certa resistenza, agli impulsi a fronte ripido ed elevata energia (surge), provocati da scariche di fulminazione e da correnti vaganti; si impiegano all'uopo scaricatori a gas, varistori all'ossido di zinco, diodi zener con scarica a valanga, specialmente nei circuiti di ingresso di segnali provenienti dalla linea. La progettazione di nuovi circuiti tende a considerare con importanza sempre maggiore l'autodiagnostica di funzionamento, spesso non semplice né economica da realizzare ma di grande valore aggiunto per ovvie ragioni.

Un altro aspetto importante sta nel rendere ripetitivo lo standard di affidabilità nella produzione; qui è molto importante avere un ciclo produttivo basato su un *sistema di qualità aziendale* certificato, che imponga, fra l'altro, adeguate procedure di taratura delle strumentazioni impiegate e di collaudo delle apparecchiature. I circuiti elettronici vanno sottoposti a ciclo di invecchiamento artificiale per lo screening di mortalità infantile dei componenti (burn-in attivo); questo procedimento che, per inciso, è prescritto esplicitamente per i circuiti correlati con la sicurezza, ha dimostrato di abbattere di oltre l'80% la frazione di prodotti che manifestano malfunzionamenti nel periodo di garanzia, grazie alla possibilità di mettere in commercio circuiti i cui componenti si trovano già nella parte piatta della classica curva "a vasca da bagno" relativa al tasso di guasto.

È, poi, fondamentale, al fine di esaltare l'affidabilità di sottosistemi e componenti, prevenirne i guasti mediante un'accorta *manutenzione programmata*, che è particolarmente efficace per monitorare lo stato funzionale di componenti elettromeccanici, elettrotecnici

ed elettronici soggetti a vibrazioni, cicli termici, invecchiamento per cicli d'impiego.

1.7 Ruoli del supervisore nell'esaltare la disponibilità

Se un'accorta concezione e costruzione dei sistemi di potenza e di automazione possono contribuire molto all'affidabilità, le funzionalità offerte, in particolare, dal supervisore possono risultare preziose, in caso di guasto, per un rapido ripristino delle condizioni compatibili con la marcia, e quindi per elevare la disponibilità; se ne esaminano pertanto i principali aspetti.

Il sistema di supervisione fornisce anzitutto una *conoscenza statistica del comportamento dell'impianto in condizioni di regolarità*, il che rappresenta il presupposto per rilevare poi le anomalie. Ad esempio, vengono rilevati i valori medi degli sforzi presentati dalle molle dei veicoli su uno stesso trasduttore, in modo da discriminare la deriva o la variazione di tara. Ormai da alcuni anni i costruttori di sensori hanno reso disponibili sistemi di riconoscimento in grado di identificare per via radioelettrica (senza contatto) un elemento dotato di apposito chip. Tali tecnologie, denominate "transponder", sono economiche anche per popolazioni di campioni numerose (esistono, ad esempio, tag di riconoscimento a forma di chiodo, progettate per essere piantate nel legno ed identificare i tronchi abbattuti per l'approvvigionamento di legname). L'applicazione di questa tecnologia come sistema di riconoscimento dei veicoli consente, fra l'altro, di asservirla al rilevamento dei valori medi degli sforzi presentati dalle singole molle, in modo da conoscere l'evoluzione nel tempo delle costanti elastiche di ciascuna morsa. La marcatura dell'impalmatura consente un controllo automatico che eviti l'ammorsamento dei veicoli proprio nella sua zona centrale, possibile causa questa di intervento spurio dei controlli geometrici. Altre statistiche si possono effettuare sulla distribuzione delle equidistanze di lancio, per monitorare il comportamento dei sistemi di cadenzamento dei veicoli (spaziatori). In genere, la proponibilità economica di sistemi di monitoraggio è legata al costo dei sensori, che può rendere preferibile il ricorso a prove periodiche anziché alla sorveglianza continua; è comunque tecnicamente possibile, ad esempio, monitorare in modo automatico la temperatura dei cuscinetti, le vibrazioni delle macchine rotanti, l'usura delle spazzole dei collettori nelle macchine in corrente continua, il numero di scariche elettriche penetrate nei circuiti e altre grandezze ancora.

La *conoscenza statistica del comportamento dell'impianto in condizioni di irregolarità*, invece, è agevolata

dal *registratore di eventi*; il suo nucleo vero e proprio (recorder) funziona indipendentemente dal supervisore e quindi è operativo anche se questo è spento. Il supervisore comprende una pagina che agisce da "displayer", ossia presenta i dati registrati; in particolare, mostra l'ultima registrazione avvenuta, comprendente i principali parametri che individuano lo stato dell'impianto, i valori delle grandezze analogiche rilevate allo sgancio del comando d'arresto, le funzioni di sorveglianza intervenute (catasta allarmi), i diagrammi temporali di velocità, corrente di coppia, tensione di armatura e corrente di modulazione dei freni durante lo svolgimento del processo d'arresto. Un accorto impiego delle informazioni desumibili dal registratore di eventi può essere prezioso dal punto di vista affidabilistico, e si possono implementare funzioni in grado di fornire automaticamente alcune indicazioni statistiche; impiegando sensori termoigrometrici, sarebbe inoltre possibile correlare le cause d'arresto con le condizioni climatiche.

La manutenzione preventiva e le prove periodiche di funzionalità, fondamentali per la disponibilità dell'impianto, sono oggi agevolabili mediante un'utile applicazione del supervisore: la *programmazione automatica della manutenzione*, effettuata mediante un software integrato. Esso impiega un orologio assoluto ed uno relativo a diverse categorie di componenti o sottosistemi monitorati e, per ciascuno di questi, fornisce indicazioni relative alla condizione di servizio normale, al preallarme di avvicinamento alla scadenza di manutenzione, alla scadenza effettiva; questa può scattare in base ad una soglia limite calcolata su tempo assoluto, su tempo di servizio del sottosistema, su numero di cicli, su altri eventi (valori raggiunti da una variabile di processo, come un livello di guardia, prelimiti di usura, ecc.) o su specifica volontà incondizionata dell'operatore. Il sistema di gestione prevede anzitutto la programmazione preliminare dell'attività di manutenzione, in base alle caratteristiche dei sottosistemi, e la catalogazione dei tipi di intervento manutentivo, con indicazione degli impegni di personale, tempo, materiali di consumo e di ricambio. Il calcolatore elettronico effettua quindi automaticamente la pianificazione, che sfocia in un calendario delle attività da svolgere, completo di preventivazione economica. L'elaborazione si conclude con la registrazione in data base delle attività di manutenzione svolte, con raffronto fra preventivo e consuntivo economico.

Nell'attività di manutenzione programmata rientrano anche le *indagini conservative periodiche*, paragonabili alle prove non distruttive di tipo meccanico. In

campo elettrico ed elettromeccanico, risultano particolarmente utili le *indagini termografiche* effettuate mediante analisi al calcolatore delle immagini fornite da telecamere nella banda infrarossa, e le *spettrometrie di vibrazione*, ottenute dai segnali erogati da accelerometri applicati agli statori delle macchine rotanti. Tali prove si prestano molto bene al monitoraggio dei componenti elettromeccanici rotanti e dei circuiti elettrici ed elettronici, anche di potenza.

Un ulteriore ausilio offerto dai supervisori di ultima generazione è costituito dallo *scadenziario delle verifiche periodiche obbligatorie*: un libro giornale elettronico, che non intende necessariamente sostituirsi a quello cartaceo ufficiale, genera con la cadenza dovuta (giornaliera, settimanale o mensile) una pagina ad uso di check list la quale, grazie all'automatismo, aiuta l'operatore a non tralasciare alcuno dei controlli richiesti.

Un futuro sviluppo è rappresentato dalle procedure seguite per le *prove periodiche di funzionalità*. L'efficienza di certe parti dell'impianto, in particolare di alcuni sottosistemi di sorveglianza, non è testata in modo automatico (continuo, periodico o all'avviamento), ma deve, anche ai sensi delle prescrizioni vigenti, essere provata periodicamente (ad esempio, le soglie di intervento di comparatori per sorveglianze minimax). Attualmente, queste prove sono manuali e lasciate alla programmazione dell'operatore, ma è possibile inserirle nello scadenziario di manutenzione programmata e, per quelle riguardanti gli equipaggiamenti elettrici, almeno in parte scatenare automaticamente le sessioni di prova.

1.8 Comportamento degli impianti in caso di guasto. Tolleranza

Si consideri ora il caso di effettivo accadimento di un guasto ad un componente; si pongono allora due obiettivi generali: la tolleranza al guasto e la riparabilità.

Si ha tolleranza al guasto di uno o più componenti quando l'impianto è in grado di "assorbire" l'evento senza guastarsi esso stesso, ossia mantenendo lo stato sano di piena funzionalità oppure transitando ad uno stato degradato in cui conserva un'aliquota di prestazioni. Ciò può ottenersi solo implementando un certo livello di ridondanza; come già accennato, qualora si tratti di sistemi di sicurezza ciò significa che il livello di ridondanza richiesto per l'aumento della regolarità dev'essere valutato con riferimento al livello minimo richiesto per garantire la sicurezza dovuta. Strettamente parlando, si è in presenza di un'effettiva ridondanza per disponibilità solo quando un sistema

tollera il guasto senza perdita di prestazioni (*fault tolerance*); questo criterio, impiegato principalmente in alcune parti dei sistemi di comando, controllo e sorveglianza, può diventare molto oneroso nei sistemi di potenza, nei quali può essere preferibile adottare il criterio della ripartizione, suddividendo la potenza installata. Si hanno così le tipiche soluzioni con due azionamenti principali identici, in riserva reciproca; ciò consente la marcia a piena coppia e mezza velocità, offrendo uno stato degradato che conserva una buona efficienza, potendo trasportare il pieno carico, pur con portata dimezzata. L'automazione dell'impianto entra in gioco, in questi aspetti, rendendo agevole l'esclusione di un azionamento in caso di necessità, riscontrando, tramite contatti ausiliari e sensori, le impostazioni degli organi di comando ed i necessari adattamenti dei sistemi di controllo e sicurezza alle esigenze della marcia con motore singolo.

Il sistema di automazione si presta ad essere ridondato principalmente per quanto riguarda i canali del sistema di sorveglianza, in modo da scongiurare l'eventualità di vedersi venir meno l'esercibilità dell'impianto, pur in condizioni di completa efficienza dell'apparato propulsore. Sistemi a tre canali per il comando degli arresti sono divenuti di uso comune in Italia perché prescritti incondizionatamente in caso di adozione di sistemi programmabili in almeno uno di essi. L'attuale impostazione normativa, poi, distingue fra gli impianti in cui la regolarità investe direttamente la sicurezza e quelli in cui ciò non si verifica. I sistemi a tre canali richiesti in certi casi dalle PTS italiane sono comunque caratterizzati da un'intrinseca tolleranza al guasto; si tratta cioè di configurazioni che, ancorché obbligatorie, non impongono tre canali agli stretti fini della sicurezza, ma impongono una riserva di regolarità. Va sottolineato che, in generale, la presenza di ridondanze non è di per sé sufficiente per il conseguimento di una migliore disponibilità, e potrebbe perfino rivelarsi controproducente, se il sistema non è accompagnato da un'adeguata capacità diagnostica; in un sistema ridondato, l'effettiva disponibilità aumenta infatti solo se si provvede al completamento della riparazione del canale guasto prima che arrivi a guastarsi anche il canale residuo, e ciò richiede evidentemente il riconoscimento del guasto stesso. Queste considerazioni valgono, con importanza anche maggiore, nel campo dei sistemi di sorveglianza, in cui la tolleranza al guasto è richiesta anzitutto per conseguire la dovuta disponibilità su domanda di missione, in modo da raggiungere un elevato livello di inte-

grità della sicurezza del sistema automatico. È inoltre necessario che i canali ridondati risultino realmente indipendenti, in modo da rendere escludibile che un guasto su uno dei due possa provocare la perdita di entrambi oppure, se ciò non è evitabile, che esso provochi l'arresto sicuro dell'impianto.

La futura applicazione delle norme europee comporterà probabilmente un maggior onere nell'adozione di ridondanze effettive, poiché i circuiti relativi alla sicurezza devono essere certificati ed hanno costi elevati, ma condurrà nel contempo ad una semplificazione circuitale e quindi ad una maggiore affidabilità di fondo, dovuta al minor numero di componenti.

Altri casi di sottosistemi del sistema di automazione in cui normalmente si introducono ridondanze, in parte prescritte dalle PTS italiane ed in parte di libera adozione, si hanno nel sistema di supervisione, nei gruppi di alimentazione di sicurezza e nei cinematismi ausiliari.

Le informazioni fornibili dal sistema di supervisione sono normativamente suddivise in tre categorie: indispensabili, necessarie ed accessorie. Le prime debbono essere presentate con criteri di ridondanza tali da rimanere disponibili anche in caso di guasto di sistemi di presentazione impieganti tecnologia ad elettronica complessa; le seconde devono rimanere ricavabili anche in caso di guasto, seppur indirettamente tramite mappatura, e comunque l'indisponibilità della loro fonte primaria implica il ricorso alla penalizzazione intermedia della velocità.

È inoltre prescritta la ridondanza delle batterie e delle linee di alimentazione di sicurezza cui sono allacciati i canali del sistema di sorveglianza e dei freni; in questo caso, la duplicazione è richiesta tanto ai fini della disponibilità quanto della sicurezza, dato che la doppia alimentazione favorisce la regolarità di esercizio e le prescrizioni sull'indipendenza delle alimentazioni sono finalizzate ad evitare che un guasto singolo possa comportare l'intervento simultaneo con azione a scatto di entrambi i freni meccanici.

Esempio tipico di ridondanza non prescritta, ma adottata piuttosto frequentemente, si ha con i sistemi cadenzatori dei veicoli (spaziatori): è possibile installarli in entrambe le stazioni (terminali) ed in tal caso l'impianto può funzionare regolarmente anche con un solo cadenzatore operativo, mentre l'altro viene "neutrazionato" rendendolo sincrono col convogliatore di giro stazione.

Va infine osservato che le norme europee non sembrano destinate a contenere prescrizioni particolari sulla disponibilità delle informazioni.

1.9 Comportamento degli impianti in caso di guasto. Riparabilità

Nel momento in cui l'impianto subisce un arresto od un impedimento all'avviamento, causati di regola da una caduta di consenso del sistema di sorveglianza, il sistema complessivo appare "guasto", e si pone l'obiettivo di "ripararlo" il più rapidamente possibile.

Questo processo si compone delle seguenti fasi successive:

- riconoscere il tipo di arresto comandato;
- discriminare la funzione di sorveglianza che effettivamente ha scatenato il processo;
- determinare se l'intervento è stato dovuto ad eventi esterni (comportamento del pubblico, vento, caduta della sorgente di alimentazione primaria, ecc.) e quindi se l'impianto si è comportato in modo funzionalmente corretto; se ciò non fosse,
- determinare se l'intervento è stato spurio, ossia per malfunzionamento fugace, dovuto ad esempio ad una perturbazione meccanica momentanea o ad un disturbo di segnale; se ciò non fosse, e dunque se si è in presenza di un guasto persistente,
- localizzare il guasto dal punto di vista funzionale prima e fisico poi, individuando il componente guasto;
- determinare, in presenza di guasto, la corretta azione da esercitare per poter riprendere rapidamente l'esercizio o, non essendo ripristinabile l'idoneo livello di sicurezza, per evacuare speditamente la linea;
- determinare, in ogni caso, la corretta azione da esercitare per riparare il guasto;
- in particolare se, a causa dell'assenza di ridondanze, il guasto ha prodotto l'effetto di impedire la ripresa della marcia regolare in tempi brevi, valutare la fattibilità ed il tempo richiesto per l'intervento, in modo da decidere con cognizione di causa se procedere con la riparazione ad impianto carico oppure proteggere i passeggeri scaricando la linea e provvedendo successivamente al ripristino della funzionalità.

In ogni fase, il sistema di supervisione è in grado di offrire ausilio prezioso. Un apposito menu comprende infatti le schermate riguardanti gli "allarmi", ossia le funzioni di sorveglianza il cui intervento determina l'arresto dell'impianto. Esso presenta anzitutto la catasta allarmi con segnalazione del primo intervenuto (*first out*): normalmente, infatti, la causa primaria che scatena un processo d'arresto determina, in successione, il venir meno del consenso di altre funzioni

di sicurezza o protezione; l'intervento di queste viene correttamente segnalato, dato che si tratta di informazioni vere, ma è fuorviante dal punto di vista diagnostico, in quanto non rappresenta la causa di guasto ma solo un effetto. Ad esempio, lo sgancio di un comando d'arresto meccanico col freno di emergenza facilmente è accompagnato dall'intervento della sorveglianza di continuità della catena cinematica, anche se la causa primaria d'arresto è da ascrivere al controllo geometrico dell'assetto puleggia. Tramite associazione di ciascun allarme intervenuto con il corrispondente riferimento cronometrico, si ottiene l'ordinamento cronologico degli eventi, realizzabile con la risoluzione del tempo di ciclo del sistema di sorveglianza. In tal modo, si riesce ad ottenere un'agevole discriminazione della causa d'arresto primaria; in particolari casi, in cui è probabile che più eventi vengano rilevati senza essere discriminabili dal punto di vista della successione cronologica, si possono implementare programmi di help in grado di suggerire la causa di guasto più probabile. Questo approccio si può adottare anche nel caso compaiano simultaneamente svariati allarmi, a causa dell'avaria di elementi appartenenti al sistema di sorveglianza stesso.

La pagina allarmi comprende anche l'elenco cronologico di tutti i tipi di arresto chiamati (tipo di freno e di azione frenante), quali possono determinarsi, ad esempio, in caso di intervento della funzione di mancata decelerazione oppure al raggiungimento della minima velocità e quindi alla transizione allo stazionamento.

Una volta individuata la funzione di sicurezza o protezione che ha determinato l'arresto, un'apposita pagina presenta il valore logico della funzione per i canali statici del sistema di sorveglianza; precisamente, vengono indicati lo stato istantaneo della condizione di consenso o intervento, lo stato memorizzato eliminabile solo mediante comando manuale di ripristino e lo stato di abilitazione o esclusione della funzione (che, se è intervenuta, doveva evidentemente essere abilitata). Per ciascun allarme, i moderni sistemi di supervisione sono dotati di potenti funzioni di help on line, che consentono di conoscere immediatamente una gamma di informazioni utili in caso di guasto: il morsetto cui fa capo il sensore interessato, il corrispondente punto di ingresso dei canali in logica statica del sistema di sorveglianza, il relativo indirizzo della variabile di PLC che elabora la funzione, l'azione da intraprendere in seguito al mancato ripristino della funzione intervenuta. Il sistema consente inoltre all'operatore di inserire note in corrispondenza di ciascun allarme, in modo da personalizzare il sistema di help con riferimenti propri.

Questa funzionalità è resa disponibile anche in forma più generale, mediante un'apposita pagina del supervisore in cui l'operatore può introdurre liberamente le annotazioni che desidera.

È ora inoltre possibile, stante la grande capacità di memoria disponibile negli attuali personal computer, associare automaticamente a ciascun allarme le corrispondenti pagine principali dello schema elettrico, in modo che l'operatore riceva rapidamente le informazioni con cui localizzare fisicamente il componente guasto.

In particolare, poi, il supervisore dispone di una pagina dedicata alla diagnostica dei PLC, in cui sono presentati gli allarmi generabili dai sistemi di self-test contenuti nelle logiche; essi sono presentati in forma fotografica mostrando direttamente il modulo interessato. Anche queste pagine sono dotate di una funzione di help on line riferita ai singoli allarmi, analoga a quella sopra citata per le sorveglianze di impianto. Negli impianti a va e vieni, in cui il programmatore di percorso è costituito da sottosistemi ridondanti distinti da quelli che svolgono le altre funzioni del sistema di sorveglianza, il supervisore mette a disposizione una pagina dedicata esclusivamente ai simulatori di percorso e ai dispositivi di dazio (continuo e/o a punti). Per l'analisi dell'arresto, spesso utile per comprendere gli eventi e verificare la correttezza del processo, è disponibile il diagramma di frenatura, analogo a quello memorizzato dal registratore di eventi citato in precedenza.

La funzionalità di help on line, sempre più diffusa e sofisticata anche in conseguenza del gradimento da parte dei clienti, è utilizzata non solo con riferimento ai singoli allarmi ma anche per fornire una legenda dei simboli adottati e adeguate note esplicative sull'impiego di ciascuna pagina del supervisore. L'evoluzione di tale forma di ausilio può stare in una versione in formato elettronico del Manuale d'uso e manutenzione di impianto (documento di cui molte parti del supervisore costituiscono già, di fatto, ingredienti); in tal modo, il Manuale si presta ad essere impiegato con le funzioni di utilità tipiche dei documenti in linea (ricerca rapida di testi, tutorial, riferimenti incrociati, indici automatici e così via). Poiché ogni schermata del supervisore può essere stampata, se ne ricava facilmente anche una consistente documentazione cartacea.

Altri aspetti, in grado di esaltare la riparabilità dell'impianto, sono oggetto di sviluppi e migliorie; fra questi si citano la presentazione, mediante sistema di supervisione, di informazioni diagnostiche prelevate dai sottosistemi di sicurezza o protezione esterni alle

logiche statiche, come le protezioni elettroniche degli azionamenti digitali i quali, specie se pilotati mediante bus di campo (Profibus o simili), o comunque mediante comunicazioni seriali, si prestano a fornire facilmente molti dati utili. Si tende inoltre a dotare di capacità autodiagnostica altri sottosistemi standalone, quali le schede di mancata decelerazione, i temporizzatori di sicurezza, i cadenzatori d'accesso, i cinematismi per le pedane mobili, gli spaziatori dei veicoli, i caricabatterie delle linee di alimentazione di sicurezza e così via; già da tempo, ad esempio, i circuiti delle sicurezze di linea sono equipaggiabili con sistemi di localizzazione del guasto di corto circuito o di interruzione, anche transitoria, lungo il tracciato. Per quanto riguarda l'eliminazione dei guasti localizzati, il lay out tende ad agevolare la rapidità di riparazione. Al proposito, nei sistemi in cui si richiede elevata disponibilità si cerca di ripartire i sottosistemi di impianto in "LRU" (Line Replaceable Units), ossia in unità elementari da sostituire in blocco in caso di guasto ad un loro componente; per esse si ricorre all'impiego di morsettiere estraibili, di contatti di potenza agevolmente scollegabili, di soluzioni di montaggio comode. Va tenuto presente che, anche normativamente, è richiesto che l'impianto sia corredato di un set di ricambi per i modelli di sensori non duplicati (in considerazione della loro testabilità per via indiretta), ed i cui segnali siano utilizzati per funzioni di sicurezza. Con analogo criterio, è imposta la dotazione di lampade per sostituire rapidamente quelle guaste relative a segnalazioni di informazioni indispensabili.

Sono state presentate le più significative prestazioni grazie a cui un supervisore consente di esercire agevolmente un impianto; va tenuto presente che un vivace settore di ricerca e sviluppo si occupa di organizzare la supervisione di più impianti in un unico sistema centralizzato e remotabile, in modo da offrire un livello di gestione superiore col quale, da un'unica postazione di controllo, si possa avere la visione di un comprensorio articolato. In questo campo particolarmente interessanti si rivelano le potenzialità offerte dai sistemi wireless, con cui è possibile effettuare collegamenti a distanza tramite protocolli di trasmissione veicolati dalla telefonia digitale.

Concludendo questa carrellata di aspetti legati alla sicurezza e alla disponibilità derivanti dagli strumenti diagnostici e di controllo degli impianti a fune, appare interessante osservare due altri aspetti in cui i progressi ottenuti nella regolarità di funzionamento determinano un miglioramento indiretto ma tangibile della sicurezza. Un'elevata disponibilità degli impianti, infatti, diminuisce la probabilità di trovarsi in situazioni di forte affluenza di pubblico in concomitanza con guasti al sistema di sorveglianza tali da obbligare ad un degrado della portata. In secondo luogo, la riduzione della frequenza degli arresti intempestivi evita il prodursi di circostanze in cui l'intervento delle funzioni di sicurezza tende ad essere banalizzato, rischiando di indurre il personale ad errori di interpretazione e a false manovre.

Gabriele Cappello, ingegnere, Asi Robicon – Bmb Ise Automation Systems.

Impianto integrato orizzontale – verticale di trasporto a fune in servizio pubblico

PIERGIOORGIO GRAZIANO

1. Cronistoria

Il giorno 21 febbraio 1995 l'ascensore pubblico Balbi-Dogali¹, meglio conosciuto come "di Montegalletto", ha cessato l'esercizio per scadenza della vita tecnica di 30 anni, prevista dall'attuale normativa riguardante gli impianti a fune (D.M. 2.1.1985 n. 23); infatti la proroga dei termini, richiesta a suo tempo al Ministero dei Trasporti, non fu accordata.

Lo scarso gradimento del pubblico per i vecchi ascensori Balbi-Dogali dipendeva in gran parte dal lungo percorso pedonale in galleria (circa 250 metri) necessario a raggiungere il punto di partenza delle cabine; per aumentare l'attrattiva l'A.M.T. ha quindi pensato ad un collegamento meccanizzato, che elimini il percorso pedonale e diminuisca il tempo totale di percorrenza, creando un sistema integrato verticale-orizzontale tale da permettere all'utente di essere trasportato comodamente dall'imbocco della galleria alla stazione superiore in Circonvallazione a monte.

Il progetto s'inserisce in un più ampio quadro di recupero e valorizzazione delle infrastrutture urbane, con l'intento di restituire utenza al servizio di trasporto pubblico e di creare un collegamento con integrazione modale tra zone di residenza e parcheggio e le linee di trasporto principali (ferrovia, metropolitana, linee filobus ed autobus).

Si ritiene inoltre che questo possa divenire un esempio pilota in vista di altre realizzazioni analoghe, da proporre in situazioni simili diffuse sul territorio genovese.

Una prima progettazione preliminare è stata impostata dall'A.M.T. nel maggio 1997, avvalendosi della collaborazione di una società di progettazione. Detto progetto è stato giudicato ammissibile in via preliminare dal Ministero con nota T.I.F.6 prot. 590(56)71.11/799.

Con l'acquisizione di questa preliminare ammissibilità l'A.M.T. ha esperito una procedura negoziata tesa ad affidare i lavori di progettazione fornitura e posa in opera del nuovo impianto di trasporto pubblico fra la Via Balbi ed il Corso Dogali.

La Poma Italia, al termine della procedura, è risultata aggiudicataria di tali lavori, che sono attualmente in fase di completamento.

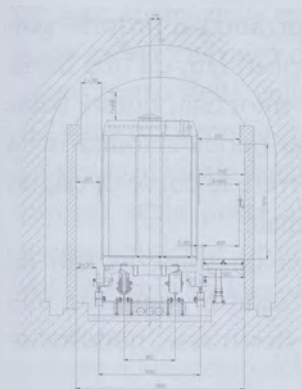
1.1 Caratteristiche del tracciato

- Quota piano calpestio imbarco a valle
m slm 22,38
- Quota piano calpestio mezzzeria veicolo a valle
m slm 22,41



Stazioni di valle e di monte del vecchio impianto ascensore.

- Quota piano calpestio imbarco a monte	m slm	94,60	- Diametro f.g. rulli	mm	200
- Dislivello impianto orizzontale	m	3,16	- Diametro f.g. puleggia motrice	mm	1690
- Dislivello impianto verticale	m	69,03	- Diametro f.g. pulegge di deviazione	mm	1200
- Dislivello complessivo	m	72,19	- Numero totale di pulegge di deviazione	n.	7
- Lunghezza percorso orizzontale linea 1 (centro elevatore)	m	236,05	- Tempo ciclo veicolo n. 1 Via Balbi/disammorsamento	s	75,98
- Lunghezza percorso orizzontale linea 2 (centro elevatore)	m	233,88	- Tempo ciclo veicolo n. 1 disammorsamento /Via Balbi	s	74,34
- Percorso verticale elevatori	m	69,03	- Tempo ciclo veicolo n. 2 Via Balbi/disammorsamento	s	73,40
			- Tempo ciclo veicolo n. 2 disammorsamento / Via Balbi	s	71,76
<i>1.2 Caratteristiche impianto orizzontale</i>					
- Lunghezza percorso veicolo n.1 (disammorsamento)	m	232,57	<i>1.3 Caratteristiche sistema di traslazione a pneumatici</i>		
- Lunghezza percorso veicolo n. 2 (disammorsamento)	m	230,36	- Percorso veicolo n. 1 (disammorsamento / centro elevatore)	m	3,46
- Velocità massima	m/s	4,5	- Percorso veicolo n. 2 (disammorsamento centro elevatore)	m	3,51
- Velocità zona scambi	m/s	1,5	- Velocità massima	m/s	0,25
- Velocità di accosto agli estremi della corsa	m/s	0,1	- Accelerazione in avviamento	m/s ²	0,2
- Spazio di accosto a velocità costante	m	0,3	- Potenza installata sistema a pneumatici	kW	2 x 1,5
- Accelerazione in avviamento	m/s ²	0,4	- Numero ruote pneumatiche a terra	n.	4
- Accelerazione in rallentamento	m/s ²	0,4	- Numero ruote pneumatiche a bordo elevatori	n.	3
- Potenza installata argano impianto orizzontale	kW	2 x 26	- Tempo ciclo veicolo n.1	s	15,07
- Formazione fune traente chiusa ad anello	SEALE 152 fili 8 x 19 + AT		- Tempo ciclo veicolo n.2	s	15,27
- Diametro fune	mm	15	<i>1.4 Caratteristiche elevatori</i>		
- Sistema di tensione	a contrappeso		- Velocità massima	m/s	1,6
- Massa del contrappeso rinviato in 4 [^]	N	60000	- Velocità di accostamento dell'ascensore:	m/s	0,10
- Armamento di linea realizzato con doppia rotaia	36 UNI 3141-66		- Accelerazione e decelerazione del sistema	m/s ²	0,75
- Interasse rotaie	mm	850			
- Passo traversine	mm	1200			
- Numero rulli dritti	n.	38			
- Numero rulli orizzontali locale scambio	n.	76			



Sezione tipica del tratto orizzontale (fuori zona scambio).



Via di corsa: tratto orizzontale in preparazione.

- Decelerazione di arresto	m/s ²	0,75
- Potenza argani impianti verticali	kW	2 x 45,5
- Tempo ciclo elevatori 1 e 2	s	48,09

1.5 Caratteristiche generali e prestazioni

- Numero veicoli	n	2
- Capienza passeggeri per ogni cabina	n.	23
- Massa veicolo vuoto	N	18000
- Massa veicolo carico	N	36000
- Tempo ciclo veicolo n.1 da Via Balbi a Corso Dogali	s	196.14
- Tempo ciclo veicolo n.1 da Corso Dogali a Via Balbi	s	194.50
- Tempo ciclo veicolo 2 da Via Balbi a Corso Dogali	s	193.76
- Tempo ciclo veicolo 2 da Corso Dogali a Via Balbi	s	192.12
- Portata oraria media per ciascun senso di marcia	pers./h	417

2. Descrizione

L'impianto presenta le seguenti caratteristiche:

- il trasporto avviene con due cabine che percorrono le tratte orizzontale e verticale senza trasbordo dei passeggeri;
- la parte orizzontale è assimilabile ad un impianto funicolare e per questo ne adotta la specifica normativa di progetto analogamente al tratto verticale che è assimilabile ad un ascensore;
- la portata oraria rimane di poco superiore a 400 passeggeri/ora per ogni senso di marcia;
- la capienza di ciascun veicolo è di 23 persone;
- l'impianto è totalmente automatico ed impresenziato con sorveglianza e diagnostica remota;
- la movimentazione del veicolo, anche nella zona in

- curva e scambio, avviene mediante la fune di trazione;
- l'alimentazione elettrica dell'organo di trazione avviene mediante una serie di batterie di accumulatori sufficienti ad alimentare tutto l'impianto, stazione motrice, stazione di rinvio, traslatori a pneumatici, oltre ad alcune pertinenze accessorie per diverse corse anche in assenza rete con notevole riduzione delle operazioni di recupero in linea dei passeggeri;
- un sistema di movimentazione a pneumatici permette, dopo aver sganciato la fune traente dai veicoli, il trasferimento delle cabine dalle rotaie del tratto di impianto orizzontale all'interno delle vetture degli ascensori;
- la fune del tratto orizzontale è disposta lateralmente alla via di corsa ed il carrello del veicolo si collega ad essa mediante una morsa automatica.

3. Descrizione degli impianti

La trattazione di questo paragrafo, per esigenze di sintesi, è circoscritta ad una sommaria descrizione degli elementi costitutivi di ciascun sottosistema, evidenziando di volta in volta i concetti più significativi.

3.1 Veicoli

3.1.1 Costituzione dei veicoli

Ciascun veicolo è costituito da:

- una cabina di contegno dei passeggeri, realizzata in lega di alluminio con superfici vetrate e completa di una serie di accessori;
- un telaio in acciaio, progettato per sopportare gli sforzi dovuti al normale funzionamento;
- una parte meccanica collegata al telaio costituita dalle ruote sterzanti elastiche dai relativi telai incernierati verticalmente, le barre di sterzo con gli annessi smorzatori;

- il sistema di ammortamento automatico alla fune di trazione;
- il sistema frenante, composto da due unità freno negative con azione orizzontale sul fungo della rotaia;
- gli impianti idraulici di governo del sistema freni e della morsa;
- i servizi di bordo, rappresentati essenzialmente dagli impianti elettrici di servizio e di sicurezza.

3.1.2 Cabina

La cabina, ha un'ossatura metallica interamente costruita in lega leggera ed ha dimensioni in pianta di 2750 x 1600 mm, lo sviluppo totale in altezza somma a 2345 mm.

Il piano di calpestio è sostenuto dal basso da una fitta orditura di profilati in alluminio cui corrispondono gli attacchi elastici al telaio sottostante.

Le pareti laterali possiedono ampie finestre fisse, attrezzate con cristalli stratificati antisfondamento (vetro conforme al prospetto J.1 della norma UNI EN 81-1).

Sono presenti su ciascuna cabina tre porte: una principale di derivazione ascensoristica, la cui apertura e chiusura e blocco avviene mediante la corrispondente porta di piano motorizzata; ulteriori due porte d'emergenza ricavate sui fianchi.

Le porte laterali, con chiusura di sicurezza a chiave triangolare, permettono in caso di necessità l'evacuazione dei passeggeri lungo la banchina di servizio ovvero sulla sede verticale attraverso l'elevatore gemello.

Le finiture e gli arredi delle cabine sono studiati nelle forme e nei colori, in modo da garantire il massimo comfort possibile; alcuni sedili saranno ribaltabili, in modo da consentire la massima capacità (posti in piedi) nei momenti di forte afflusso e la massima comodità (sette posti a sedere) nelle ore di morbida.

3.1.3 Telaio

Al telaio sono trasmessi gli sforzi dovuti al carico, alle forze di trascinamento e di frenatura ed alle reazioni del binario.

La progettazione effettuata tiene conto anche della necessità di un facile accesso, sia per la manutenzione sia per i controlli periodici d'integrità con metodica non distruttiva, prescritti dalla normativa.

3.1.4 Meccanica a bordo veicolo

Le ruote hanno un diametro di rotolamento di 300 mm per mantenere basso il piano d'incarozzamento. Esse sono costituite da un mozzo, incorporante i cuscinetti orientabili a rulli, da un corpo intermedio in materiale elastico cedevole e da una fascia esterna adibita al rotolamento.

Inglobano le ruote supporti sterzanti sul proprio asse verticale, interconnessi, fra opposti lati, da una barra di sterzata opportunamente smorzata; questa soluzione consente di ottenere una buona stabilità nella marcia in rettilineo, e di percorrere le curve di esiguo raggio previste nel tratto terminale.

La barra di sterzata realizza un trapezio tale da mantenere geometricamente sempre tangenti alla rotaia entrambe le ruote sullo stesso asse, nonostante i diversi raggi di curvatura.

Le sospensioni, in conseguenza della limitata velocità e della buona qualità della via di corsa, sono di tipo semplice e isolano il telaio del carrello dalla cabina.

Il corretto serraggio geometrico della morsa di attacco tra veicolo e fune traente viene verificato da appositi dispositivi a terra, che in caso di sagoma difforme arrestano la marcia dell'impianto. Il comando in apertura avviene per azione di un cilindro idraulico.

Di seguito vengono elencate le apparecchiature suddivise per funzioni facenti parte degli equipaggiamenti elettrici a bordo vettura.

3.1.4.1 Telecamera e fonia

Su ogni vettura è installata una telecamera per trasmettere le immagini in sala comando; questi apparecchi mobili sono compresi nel sistema generale di monitoraggio dell'impianto che comprende anche le telecamere fisse disposte lungo linea.

Nell'apposito vano di vettura è disposta l'apparecchiatura con alimentazione a 24V c.c., che provvede ad alimentare la telecamera a 12V c.c. e a trasmettere i segnali video della telecamera tramite l'antenna disposta sul tetto di vettura alla rete di ricezione completa di cavo fessurato installato su tutto il percorso.

Tramite la trasmissione video il sistema permette anche di trasmettere un segnale in fonia unidirezionale, questa scelta consente di avere un secondo sistema di comunicazione ai passeggeri in vettura, nel caso di guasto di quello principale compreso nel circuito di sicurezza di linea EAG.

Sulla vettura è quindi presente un ulteriore altoparlante che utilizza questo sistema e permette all'operatore di comunicare con i passeggeri.

3.1.5 Composizione dell'impianto orizzontale

All'inizio della galleria, verso Via Balbi, si è realizzata la zona d'accesso per i viaggiatori diretti verso la stazione superiore di Corso Dogali; inoltre nella stessa zona si è realizzata la stazione motrice per la movimentazione della tratta orizzontale.

Il locale argani della tratta orizzontale è stato ricavato in un locale interrato di nuova costruzione, posto nel primo tratto della galleria sotto la rampa di accesso alla zona imbarco/sbarco.

L'accesso al locale argani è stato realizzato tramite una comoda scala posta all'ingresso della galleria che è opportunamente protetta da una bussola realizzata con struttura in lega d'alluminio e vetrate di sicurezza.

Sempre all'ingresso della galleria, ma sul lato opposto, è stato ricavato un locale, chiuso con una struttura in lega d'alluminio con vetrate di sicurezza, con funzioni di comando e di supervisione dell'intero sistema di trasporto.

L'accesso alla zona di imbarco/sbarco, avviene tramite un tratto di galleria a pendenza massima dell'8% e con un ultimo tratto antistante la porta, orizzontale e di lunghezza 2 m, dove si realizza l'accumulo dei passeggeri in partenza. Tutta la zona d'accesso alla zona imbarco, è stata realizzata con una pavimentazione antisdrucchiolo ed ai lati del passaggio si è prevista l'installazione di mancorrenti fissi alla parete.

L'atrio della stazione di Via Balbi è separato dalla linea mediante una parete prefabbricata; su quest'ultima si apre la porta d'ingresso alla cabina.

La porta al piano è del tipo ad ante scorrevoli con operatore al piano ed è accoppiata alla porta passiva della cabina da un sistema meccanico in sicurezza, del tipo usato per gli ascensori.

Sulla parete che divide atrio e linea vi è anche una porta di servizio che dà accesso alla banchina di servizio ed emergenza che corre parallela alla via di corsa per tutto il tracciato orizzontale. La porta di servizio è dotata sul lato interno di una maniglia antipánico per apertura a semplice spinta.

Sotto le rampe d'accesso al veicolo, nella sala argani interrata, trovano collocazione: i macchinari dell'impianto orizzontale, le batterie di accumulatori per la trazione, le apparecchiature di comando e controllo, una serie di ulteriori apparati accessori quali centrale rivelazione incendi, power center, ecc.

Il tracciato dell'impianto si diparte dalla stazione di valle, accessibile dalla Via Balbi, ed arriva dopo circa 210 m in un ampio locale, detto camerone, dal quale si accede alla parte basale del pozzo ascensori.

Il tracciato è in planimetria perfettamente rettilineo fino all'ingresso nel camerone finale, di qui con lo scopo di allineare i veicoli con gli assi degli elevatori, il tracciato affronta una prima curva sinistra di raggio medio $R = 10$ m ed un breve tratto rettilineo. A seguire, il percorso si divide con uno scambio

(rotaia esterna continua di guida, rotaia interna interrotta) che smista ciascun veicolo verso il corrispondente elevatore.

La galleria è attrezzata con una via di corsa ad unico binario di tipo ferroviario leggero UNI 36, vincolato elasticamente ad una platea in ca. di nuova realizzazione.

Le cabine sono alternativamente fatte marciare lungo la galleria tramite un impianto, a fune continua e moto intermittente nei due sensi, ed immesse negli elevatori tramite un sistema di traino a bassa velocità, costituito da treni di ruote gommate di aderenza, secondo una tecnica diffusa negli impianti funiviari ad agganciamento automatico.

Al termine del percorso in galleria ed in adiacenza al vano degli elevatori, il veicolo si arresta e si disaccoppia da fermo dalla fune di trazione; una volta libero dal vincolo della fune le ruote pneumatiche, mosse da una propria motorizzazione indipendente e disposte a cavallo fra la zona di disaccoppiamento con la fune ed il pianale dell'elevatore, traslano il veicolo all'interno del corrispondente elevatore.

Nella stessa zona terminale, in adiacenza al pozzo degli elevatori, trova posto il sistema di rinvio e tensione dell'anello trattivo. L'accesso al locale dei meccanismi di rinvio e tensione può avvenire tramite una scala metallica verticale. La fossa dei meccanismi di rinvio e tensione, è completamente tamponata al piano della galleria tramite un grigliato metallico pedonabile sostenuto dalle relative sottostrutture metalliche.

3.2 *Impianto verticale*

Il vano di corsa verticale (pozzo) è quello degli ascensori preesistenti; in esso vengono riposizionati i supporti delle nuove guide e vengono installati due elevatori affiancati in grado di accogliere, su appositi pianali, le cabine per il trasporto passeggeri.

3.2.1 *Pianali di carico*

Il veicolo, al termine del tratto a pneumatici della zona scambi, viene avviato verso il pianale di carico per essere sollevato fino alla stazione superiore di Corso Dogali.

L'accesso del veicolo al pianale di carico, avviene tramite la movimentazione a pneumatici, a mezzo dei due gruppi installati a terra e a bordo del pianale, i quali consentono di accostare la vettura fino ad arrestarla in corrispondenza del finecorsa e blocco meccanico presente a bordo.

L'accesso del veicolo sul pianale di carico avviene direttamente tramite l'accostamento ed il livellamento

delle rotaie a bordo pianale con il piano del ferro del locale scambi. Per agevolare il transito delle ruote di scorrimento tra la zona a rotaia fissa solidale alla platea e la zona a rotaia mobile solidale al pianale, si è realizzato un accoppiamento a coda di rondine opportunamente smussato, in modo da ridurre il più possibile le discontinuità tra i due elementi.

L'accoppiamento tra le rotaie in corrispondenza della zona di carico alla base del pozzo ascensori è realizzato in modo tale da consentire al pianale di carico dell'ascensore di compiere liberamente la propria extracorsa rispetto al punto di arresto nominale, senza interferenze con le strutture fisse.

La posizione di arresto normale del pianale rispetto al piano del ferro delle rotaie fisse nel locale scambi, è realizzata tramite un impulsore di arresto, mentre il livellamento è realizzato con un secondo impulsore.

A posizionamento della vettura avvenuto, prima della partenza dell'elevatore, un sistema automatico a comando meccanico, blocca la vettura nella posizione di fermata nominale, impedendo che questa, durante la movimentazione verticale, possa spostarsi.

Sul lato della struttura del pianale mobile affacciato al secondo elevatore, nella parte anteriore, è stata realizzata una passerella rialzata che corrisponde sia come posizione planimetrica che come posizione altimetrica alla porta laterale d'emergenza delle vetture, così da poter eseguire la manovra di livellamento dei due pianali mobili ed eseguire il salvataggio delle persone.

A bordo del pianale di sollevamento, è installato un gruppo di pneumatici motorizzati, con caratteristiche tecniche e funzionali uguali a quelli della zona scambi, così da consentire la movimentazione della vettura nelle operazioni di ingresso ed uscita. Il montaggio dei gruppi pneumatici è realizzato tramite una punteria di registrazione che permette una facile registrazione altimetrica degli stessi.

A bordo del pianale di sollevamento, al fine di realizzare la continuità del circuito di sicurezza, è pure posto uno spezzone di antenna con caratteristiche simili a quelle dell'antenna di tipo funicularistico posta in linea, così che gli induttori d'accoppiamento possano continuare a trasferire i segnali anche quando la vettura è in movimento verticale sugli elevatori. Il collegamento elettrico dello spezzone d'antenna a bordo del pianale avviene tramite il festone di collegamento dell'elevatore.

A bordo del pianale di sollevamento, sono presenti due prese di corrente per la ricarica delle batterie di vettura la cui alimentazione avviene tramite il festone di collegamento dell'elevatore.

3.2.2 Pozzo ascensori

Le strutture metalliche di sostegno delle guide dei due pianali mobili e dei relativi contrappesi, sono tutte di nuova installazione.

Le quattro guide relative allo scorrimento dei due pianali mobili rispettivamente per la vettura 1 e vettura 2, sono ancorate in centro su una struttura continua fissata alla parete del pozzo con mensole orizzontali contrastate da un puntone inclinato ed ai lati direttamente alla parete del pozzo tramite una struttura continua con mensoline di sostegno.

Le guide di scorrimento del pianale, posto che questo è equipaggiato con freno paracadute che agisce direttamente sulle stesse, sono montate su una struttura continua di appoggio con piastrine di fissaggio, mentre le guide dei contrappesi, che non hanno dispositivi frenanti, sono collegate alle strutture solamente in corrispondenza alle traverse a mensola con passo 2,60 m.

Tutte le guide di scorrimento appoggiano saldamente alla base del pozzo sulle strutture in c.a. di fondazione, sullo sviluppo verticale sono fissate tramite piastrine d'ancoraggio alle strutture metalliche di sostegno così da essere facilmente registrabili. Alla sommità del pozzo, queste sono libere di estendersi in senso assiale per le variazioni di temperatura.

Il sistema di gestione delle immagini è affidato ad un'unità dotata di processore MV90 e Multivision Plus, e rappresenta la forma più avanzata di processori digitali di immagini.

Il prodotto consente di registrare e visualizzare immagini da molteplici telecamere simultaneamente.

Utilizzando la tecnologia DTD esclusiva del prodotto, il processore analizza in modo continuo in contenuto di movimento delle immagini di tutte le telecamere, determina la priorità delle telecamere in base all'attività delle immagini e invia queste ultime allo schermo ed eventualmente al videoregistratore.

Si ottiene così la massima efficienza perché si dedica maggior durata di videoregistrazione alle telecamere che hanno maggiore attività.

Piergiorgio Graziano, ingegnere, direttore ufficio tecnico, Poma Italia, Leinì (TO).

NOTE

¹ Ex ascensore "di Montegalletto", in Comune di Genova, Via Balbi, 23 - Corso Dogali, 93.



Società Esercente
ATM S.p.A.

Anno di costruzione: 1998

Caratteristiche Tecniche:

Lunghezza sviluppata:	m	645,6
Dislivello:	m	10,5
Velocità:	m/s	10
Portata:	p/h	1.450
Durata del percorso:		1'20"
Vetture principali:	n°	3
Capienza vetture:	n°	34
Potenza motori principali:	kW	2x164

Note:

Impianto completamente automatico con partenza ad orario programmabile. Composizione del convoglio variabile in funzione della richiesta di portata con l'inserimento di 1, 2 o 3 vetture.



Automated People Mover, "Poma 2000", per trasporto urbano, Milano (1998).

L'impianto collega una stazione terminale della metropolitana (Cascina Gobba), d'interscambio con la tangenziale (park and ride) con l'ospedale San Raffaele, a poco meno di un chilometro di distanza.

Impianti a fune aerei in ambito urbano

GIORGIO PILOTTI

L'utilizzo di sistemi di trasporto a fune nel campo urbano non rappresenta certo una novità; in diverse città europee ed extraeuropee si trovano infatti numerosi esempi di funicolari terrestri che consentono di collegare zone a diverse quote del comprensorio urbano. Negli ultimi anni si sta sviluppando una nuova tendenza che porta ad utilizzare per gli stessi scopi anche impianti a fune di tipo aereo.

Tale interesse è stato certamente incentivato dall'utilizzo di queste tipologie per eventi di grande visibilità mondiale quali le Esposizioni Universali. A tale proposito Leitner ha dato un notevole contributo realizzando sistemi di trasporto a fune per le Esposizioni Universali di Siviglia (1992), Corea del Sud (1993) e per l'ultima ed avveniristica manifestazione tenutasi in Germania ad Hannover nel 2000.

In questa occasione sono state realizzate due cabinovie ad aggancio automatico con cabine ad otto posti che consentivano il trasporto dei passeggeri dagli ingressi principali al cuore della manifestazione, ossia alla "Expo Plaza": "LEITNER Skyliner®".

Le due cabinovie partivano rispettivamente dall'ingresso Sud e dall'ingresso Ovest per convergere in una stazione comune al centro della manifestazione.

I due impianti sono stati concepiti e realizzati puntando sostanzialmente a quattro obiettivi:

- a) consentire un rapido spostamento dalle zone periferiche al centro dell'esposizione con il massimo comfort;
- b) consentire ai visitatori di poter godere di una visione insolita dell'enorme area espositiva, che ricordiamo si sviluppava su 170 ettari;
- c) minimizzare l'inquinamento acustico e ambientale;
- d) rispettare i criteri della "Expo senza barriere" consentendo un facile accesso anche ai visitatori con limitata mobilità.

Tali target sono stati raggiunti utilizzando cabine ad otto posti tipo "La Perla" di costruzione Leitner, con grandi superfici vetrate e posti a sedere. Inoltre la disposizione dei due argani in locali interrati ed insonorizzati presso la stazione intermedia ha ridotto al minimo l'impatti acustico degli impianti.

I sostegni di linea a tre piedi sono stati sviluppati appositamente per l'Expo 2000; grazie alla loro linea avveniristica si sono integrati perfettamente con l'atmosfera tecnologica dell'esposizione, consentendo ai veicoli di sorvolare i padiglioni ad un'altezza massima di 50 m.

Il numero totale delle persone trasportate dallo Skyliner® Leitner durante i 153 giorni della Expo (1° giugno – 31 ottobre 2000) è stato



pari a 8.847.526. Ciò dimostra che per determinate situazioni, quali quelle relative alla mobilità urbana, la soluzione della viabilità con impianti a fune di tipo aereo può essere sicuramente vantaggiosa vista la discreta potenzialità oraria (decisamente superiore ai tradizionali autobus di linea).

La flessibilità di tali sistemi di trasporto, unita ai ridotti investimenti necessari e al limitato inquinamento, consentirebbe quindi certamente di risolvere in maniera elegante ed efficace i molti problemi legati alla viabilità che attanagliano attualmente centri di medie e grandi dimensioni.

Resta inteso che tali risultati sono realizzabili solo se supportati da una valida tecnologia all'avanguardia. Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche principali dei due impianti.

Caratteristiche tecniche dell'impianto "Expo I":

Stazione motrice con argano interrato
presso la stazione intermedia "Expo Plaza"

Stazione di rinvio di tipo tenditrice
presso ingresso Ovest

Lunghezza orizzontale del tracciato	1740	m
Lunghezza inclinata	1750	m
Massima velocità di esercizio	5,0	m/s
Massima velocità con azionamento di recupero	ca. 1,0	m/s
Numero totale dei veicoli	84	
Equidistanza tra i veicoli	48	m
Intervallo di tempo tra i veicoli	9,6	s
Numero totale dei sostegni	12	
Potenza nominale dell'argano	560	kW
Potenza dell'argano di recupero	130	kW
Diametro della fune portante-traente	46	mm

Diametro delle puleggia motrice e di rinvio	4,8	m
Intervia di linea	5,5	m
Portata orario massima per senso di marcia	3000	Pers./h
Durata del tragitto	5'44"	
Senso di rotazione	orario	

Caratteristiche tecniche dell'impianto "Expo II":

Stazione motrice con argano interrato
presso la stazione intermedia "Expo Plaza"

Stazione di rinvio di tipo tenditrice
presso ingresso Sud

Lunghezza orizzontale del tracciato	855	m
Lunghezza inclinata	862	m
Massima velocità di esercizio	5,0	m/s
Massima velocità con azionamento di recupero	ca. 1,0	m/s
Numero totale dei veicoli	47	
Equidistanza tra i veicoli	48	m
Intervallo di tempo tra i veicoli	9,6	s
Numero totale dei sostegni	8	
Potenza nominale dell'argano	340	kW
Potenza dell'argano di recupero	130	kW
Diametro della fune portante-traente	46	mm
Diametro delle puleggia motrice e di rinvio	4,8	m
Intervia di linea	5,5	m
Portata oraria massima per senso di marcia	3000	Pers./h
Durata del tragitto	2'46"	
Senso di rotazione	orario	

Giorgio Pilotti, ingegnere, LEITNER, Vipiteno.

Modelli prestazionali e campi di impiego di sistemi di trasporto a fune in aree urbane e metropolitane

DOMENICO GATTUSO, GIANDOMENICO MEDURI

Sommario

La presente nota si inquadra nell'ambito di un Programma di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (P.R.I.N.) dal titolo *Sistemi di trasporto non convenzionali: campi applicativi e analisi di fattibilità*, promosso da quattro Dipartimenti universitari italiani (tra cui il Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti – DIMET – dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria) e finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (Anno 2002 – prot. 2002081937).

Dopo un breve richiamo alla classificazione generale dei sistemi di trasporto a fune, il lavoro punta l'attenzione sui sistemi funiviari e funicolari, con il duplice obiettivo di individuarne le potenzialità applicative in ambito urbano e metropolitano e analizzarne le caratteristiche prestazionali.

Sulla base di una serie di valutazioni specifiche riguardanti le caratteristiche dei suddetti sistemi (tecnologia, aspetti tecnico-topologici, prestazioni, impatti), nella nota sono analizzate le possibilità di impiego dei sistemi funiviari e funicolari per il raccordo efficiente fra poli urbani strategici (centri direzionali, aree ricreative/culturali, cittadelle universitarie, grandi complessi commerciali, poli sanitari, ecc.) e nodi principali d'interscambio (stazioni ferroviarie o metropolitane, porti, aeroporti).

La comprensione delle potenzialità dei sistemi funiviari e funicolari deriva da uno studio approfondito dei suddetti sistemi, supportato da una vasta ricerca bibliografica. Sulla base di una ricca banca dati ricostruita, sono state condotte alcune analisi statistiche interessanti e sono stati derivati dei modelli prestazionali che possono essere di utilità per studi di progetto.

Dal punto di vista applicativo, la nota propone una breve sintesi di uno studio di fattibilità concernente la realizzazione di un sistema di trasporto a fune per il raccordo tra la cittadella universitaria di Reggio Calabria e due nodi di interscambio strategici, quali il porto e la stazione ferroviaria della stessa città.

1. Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni si è assistito in molte città allo sviluppo di poli ad elevata concentrazione di utenza, con caratteri di omogeneità: centri direzionali, aree ricreative/culturali, cittadelle universitarie, grandi complessi commerciali, poli sanitari, ecc.; essi esprimono

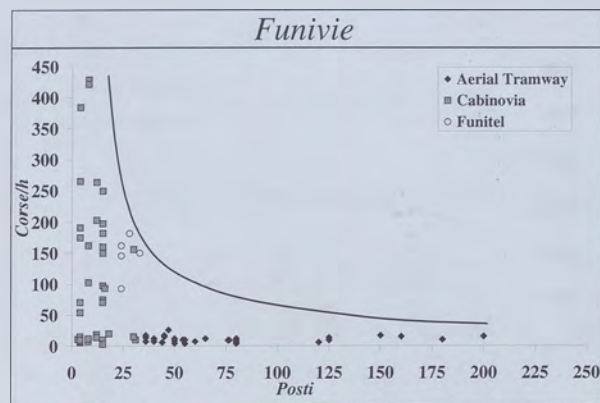
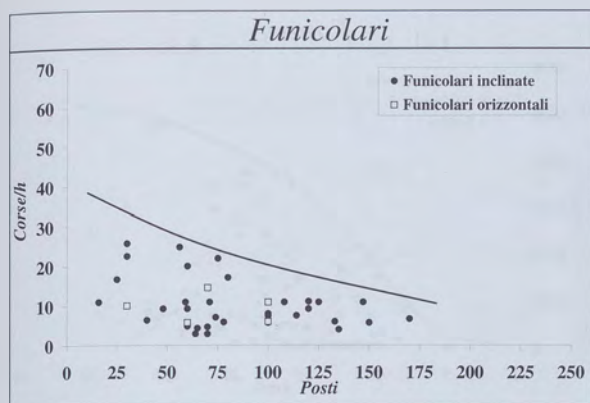


Figura 1. Relazione frequenza massima di esercizio - capacità di convoglio.

una forte domanda di mobilità, spesso di tipo diffuso, ma non sempre adeguatamente servita da mezzi di trasporto collettivo. La razionalizzazione dei flussi di utenza attratti e/o emessi dai suddetti poli urbani strategici presuppone il raccordo efficiente di questi ultimi con i principali nodi d'interscambio, quali stazioni ferroviarie o metropolitane, porti, aeroporti.

In linea generale, per poter raccordare in maniera efficiente ed efficace poli urbani strategici con nodi di interscambio è possibile prevedere l'adozione di linee adduttrici di trasporto collettivo, in grado di offrire elevate prestazioni su distanze medio-corte (non superiori a 5 km) ed aventi capacità di trasporto medio-bassa (inferiore a 5.000 posti/h per direzione).

Tra i diversi sistemi di trasporto collettivo suscettibili di impiego per il raccordo tra poli urbani strategici e nodi di interscambio, nel presente lavoro l'attenzione è stata focalizzata sui sistemi di trasporto a fune, ed in particolare sulle funicolari e sulle funivie, le quali, com'è noto, sono tradizionalmente applicate in situazioni orografiche particolari, caratterizzate da forti dislivelli. In anni recenti si è registrato un crescente interesse per i sistemi di trasporto a fune in scenari urbani, anche in relazione a una nuova sensibilità per i problemi ambientali e urbanistici. Tali sistemi possono contribuire a migliorare l'assetto del sistema dei trasporti e la qualità della vita nelle città, risultando caratterizzati da installazioni di tipo leggero, sede riservata e protetta, elevato grado di automazione, ridotto impatto ambientale.

2. Classificazione generale dei sistemi di trasporto a fune

Nel quadro di una classificazione generale dei sistemi di trasporto collettivo urbani e metropolitani proposta di recente da [Gattuso, Meduri 2003] i sistemi di trasporto a fune appartengono alla classe dei sistemi

con motore di trazione a terra, i quali sono tutti a guida vincolata, in sede riservata e protetta. Nello specifico, i sistemi di trasporto a fune sono sistemi a guida vincolata in cui l'energia di trazione è attivata da un motore elettrico posto in una stazione a terra ed è trasmessa a cavi ad elevatissima resistenza cui sono agganciati i veicoli. Le categorie principali che fanno parte dei sistemi di trasporto a fune sono le funicolari, le funivie e gli ascensori. Nel presente lavoro l'attenzione è comunque rivolta alle funicolari ed alle funivie.

Le funicolari possono essere distinte in *funicolari con via di corsa a pendenza modesta* (capaci di operare lungo tracciati con pendenza ridotta, inferiore al 15%) e *funicolari con via di corsa a forte pendenza* (in grado di superare pendenze maggiori, superiori al 15%).

Tra i sistemi funiviari si possono invece distinguere: *sistemi con cassa aperta* (nei quali i veicoli presentano una struttura aperta) e *sistemi con cassa chiusa* (ovvero cabinovie, funitel, aerial tramway, in cui i veicoli sono costituiti da cabine chiuse dotate di vetrate e porte scorrevoli).

3. Ricerca documentale sui sistemi di trasporto a fune

Al fine di poter indagare le potenzialità di utilizzo dei sistemi funicolari e funiviari per il soddisfacimento della mobilità di persone in aree urbane e metropolitane, è stato condotto uno studio approfondito sulle caratteristiche tecnologiche, funzionali e prestazionali dei suddetti sistemi, supportato da una vasta ricerca bibliografica e su internet [AA.VV., 1985; Gattuso, 1993; AA.VV., 2001; Gattuso, 2001; AA.VV., 2003; Riviste ISR; documentazione informativa Leitner]. Le informazioni raccolte sono state ordinate, previa individuazione e definizione di una serie di variabili di riferimento, quali:

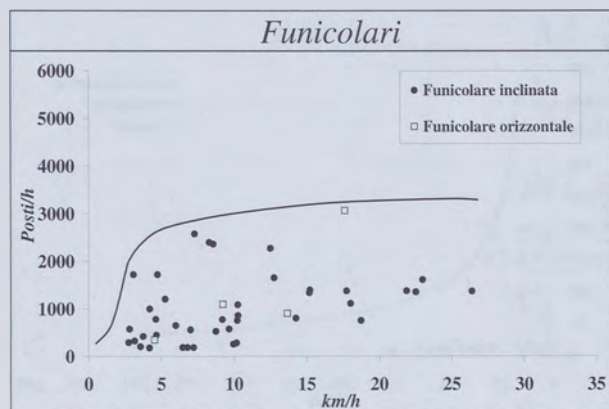
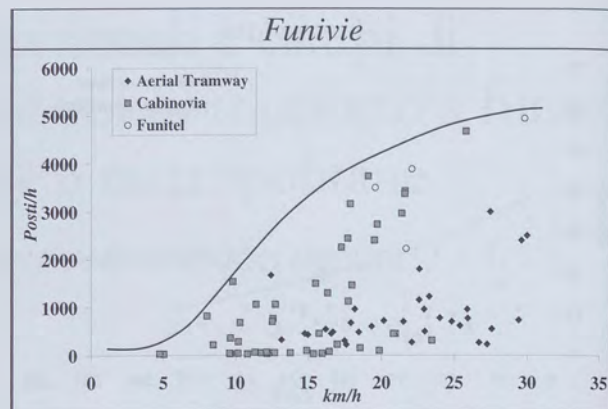


Figura 2. Relazione capacità di linea – velocità commerciale.

- *variabili generali* (tipologia di sistema; anno di inaugurazione e di ultimo ammodernamento; ambito territoriale di realizzazione; società costruttrice e di gestione del servizio, ecc.);
- *variabili infrastrutturali* (lunghezza del tracciato; dislivello; pendenza massima longitudinale del tracciato; pendenza media; raggio di curvatura minimo, ecc.);
- *variabili relative alle stazioni* (numero di stazioni; distanza media tra due stazioni successive; dispositivi di sicurezza alle stazioni, ecc.);
- *variabili relative alle vetture* (modello; caratteristiche dimensionali; massa a vuoto ed a pieno carico; numero di posti, ecc.);
- *variabili relative al motore* (tipologia di motore; potenza nominale del motore, ecc.);
- *variabili di esercizio* (tipologia di servizio; velocità di regime; velocità commerciale; numero di veicoli in linea; tempo di sosta in stazione; tempo di ciclo, intertempo tra i veicoli; tempo di attesa in stazione; frequenza, capacità di linea ordinaria; numero di addetti; ore operative durante la giornata, ecc.);
- *variabili di domanda* (numero di utenti trasportati in un giorno; numero di utenti trasportati in un anno);
- *variabili di costo* (costi di investimento; costo per km di linea; costo unitario della vettura; costo del parco veicolare; costo di gestione annuo);
- *variabili di ricavo* (tariffa dei titoli di viaggio; ricavi tariffari).

La ricerca ha consentito di acquisire una gran mole di informazioni su 92 sistemi funicolari e 292 sistemi funiviari in esercizio in ambito internazionale; l'attenzione è stata poi limitata a 67 sistemi funicolari e 120 sistemi funiviari, per i quali il sistema informativo è risultato più completo ed omogeneo.



4. Sistemi di trasporto a fune: analisi statistiche e modelli prestazionali

Nel seguito sono proposti i risultati di alcune analisi statistiche condotte a partire dalla banca-dati costruita. Le prime analisi, di carattere generale, sono relative in particolare alla tipologia, all'anno di inaugurazione, alla nazionalità ed all'ambito territoriale di realizzazione dei sistemi oggetto di interesse, i quali possono essere considerati come un campione rappresentativo.

Relativamente alla *tipologia del sistema*, dall'analisi si riscontra una maggiore diffusione di sistemi funicolari a forte pendenza (in effetti tali sistemi sono stati realizzati a partire dalla fine dell'Ottocento, nell'obiettivo di superare dislivelli notevoli), di cabinovie ed *aerial tramway*.

L'analisi relativa all'*anno di inaugurazione* evidenzia che quasi la metà dei sistemi funicolari analizzati è stata realizzata prima del 1925; l'incremento di realizzazioni registrato nell'ultimo ventennio evidenzia la rinnovata attenzione verso questi sistemi, dopo decenni di caduta di interesse. La maggior parte dei sistemi funiviari studiati è stata realizzata a partire dal 1950, con una sostanziale crescita negli ultimi 25 anni. Con riferimento alla *nazionalità*, è possibile osservare che i sistemi funicolari sono distribuiti in prevalenza in Europa, ed in particolare nelle regioni dell'arco alpino; oltre l'80% dei sistemi funiviari risulta localizzato sul territorio europeo, ed in particolare in Svizzera (quasi il 40%).

In rapporto all'*ambito territoriale di realizzazione*, l'analisi evidenzia che quasi la metà dei sistemi funicolari studiati risulta operativa in ambito extraurbano, al fine di servire aree di interesse paesaggistico o raccordare centri abitati con poli attrattivi; sono inoltre presenti applicazioni in aree urbane ed all'interno di nodi attrattivi, quali ad esempio impianti sportivi. I sistemi funiviari risultano operativi essenzialmente all'interno

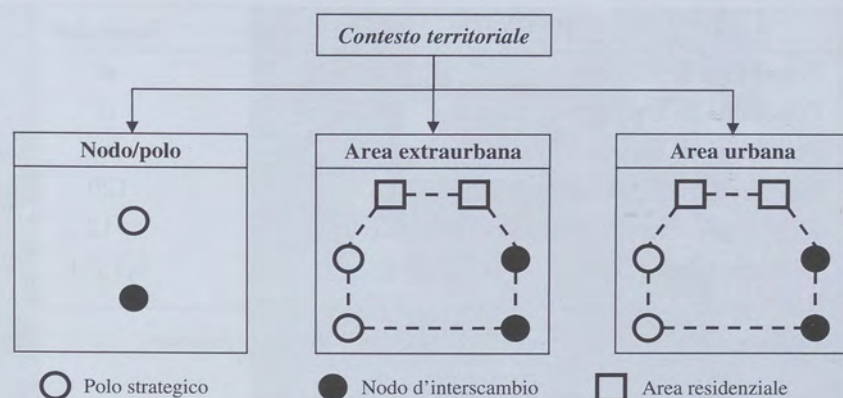


Figura 3. Ambiti di applicazione dei sistemi a fune.

di impianti sportivi ed in ambito extraurbano; di recente, tali sistemi sono stati impiegati con successo anche in alcune realtà urbane.

Lo studio è stato inoltre orientato alla individuazione di correlazioni significative fra particolari coppie delle variabili suddette. Di particolare interesse appaiono le relazioni tra:

- frequenza massima di esercizio e capacità di convoglio (Figura 1);
- capacità di linea e velocità commerciale (Figura 2).

Nel primo caso è possibile osservare un andamento decrescente della frequenza di esercizio in funzione della capacità dei veicoli; in particolare, per i sistemi funiviari, l'inviluppo dei punti rappresentati segue un andamento qualitativamente iperbolico. La Figura 1 mette inoltre in evidenza una caratteristica distintiva dei sistemi cabinoviari, i quali riescono a garantire frequenze elevate pur con cabine di piccola capacità.

Emerge, infine, un andamento crescente della capacità di linea in funzione della velocità commerciale; tale andamento risulta molto più marcato nel caso delle funivie, dove le velocità commerciali maggiori sono garantite dai sistemi aerial tramway, mentre le capacità di linea più elevate risultano essere quelle dei sistemi cabinoviari.

5. Campi applicativi dei sistemi di trasporto a fune

Le numerose informazioni raccolte sui sistemi funicolari e funiviari hanno permesso non soltanto l'elaborazione di analisi statistiche, ma anche una migliore comprensione delle loro potenzialità di utilizzo in aree urbane e metropolitane. I campi di impiego di tali sistemi sono stati studiati prendendo in considerazione aspetti differenti, quali:

- il contesto territoriale di applicazione;
- le caratteristiche di tracciato;

- le caratteristiche prestazionali;
- gli impatti sull'ambiente esterno.

Con riferimento all'ambito territoriale di impiego, le applicazioni dei suddetti sistemi possono essere distinte in (vedi Figura 3):

- *applicazioni nodali*: si tratta di sistemi operativi all'interno di nodi d'interscambio (esempi tipici sono le funicolari al servizio di terminal aeroportuali) o all'interno di poli strategici (centri sportivi, parchi ricreativi);
- *applicazioni in ambito extraurbano*: si fa riferimento a sistemi su un'area extraurbana, per il raccordo efficiente tra aree residenziali, poli strategici e nodi di interscambio; le applicazioni più diffuse sono rappresentate dai sistemi di raccordo tra centri abitati, oppure tra centro abitato ed area dedicata;
- *applicazioni in ambito urbano*: sono le applicazioni interne ad un centro urbano finalizzate al raccordo tra aree residenziali, poli strategici e nodi di interscambio; allo stato attuale tali applicazioni sono quelle meno diffuse.

Relativamente alle caratteristiche di tracciato, i sistemi funicolari e funiviari presentano la possibilità di sviluppo su tracciati plano-altimetrici con piccoli raggi di curvatura e pendenze elevate; alcune informazioni specifiche riguardanti le caratteristiche infrastrutturali dei sistemi in esame sono riportate nella Tabella 1. Le possibilità di impiego in ambito urbano e metropolitano dei sistemi funicolari e funiviari sono strettamente legate alle loro caratteristiche prestazionali, esprimibili essenzialmente in termini di capacità di carico delle vetture, intertempo minimo fra i veicoli, frequenza massima, capacità di linea, velocità di regime, velocità commerciale; di seguito sono riportati (Tabella 2) i range di variabilità riscontrati di tali parametri.

Per quanto riguarda gli impatti sull'ambiente circostante, i sistemi funicolari e funiviari non emettono in

	<i>Funicolari</i>	<i>Funivie</i>
Possibilità di tracciato a raso	si	no
Possibilità di tracciato in tunnel	si	no
Possibilità di tracciato in elevazione	si	si
Pendenza massima superabile (%)	120	100
Raggio di curvatura minimo orizzontale (m)	>12	curve a gomito
Distanze servite (km)	0,1-2,4	0,6-12,5

Tabella 1 - Caratteristiche di tracciato di sistemi funicolari e funiviari.

	<i>Funicolari</i>	<i>Funivie</i>
Capacità di carico vettura (posti)	16-170	4-200
Intertempo minimo (min)	2-25	0,13-16
Frequenza massima (corse/h)	2-26	3-430
Capacità di linea (posti/h per dir.)	180-3.000	24-4.700
Velocità di regime (km/h)	5-43	9-43
Velocità commerciale (Km/h)	3-29	5-30

Tabella 2. Caratteristiche prestazionali di sistemi funicolari e funiviari.

	<i>Funicolari</i>	<i>Funivie</i>
Inquinamento atmosferico	no	no
Inquinamento acustico	< 60 dB(A)	< 60 dB(A)
Effetti visivi	attrattività, visibilità	attrattività, visibilità
Sicurezza	si	si
Problemi di vertigine	no	si
Valore d'uso del territorio	crescente	crescente
Livello di occupazione del suolo	< 3,5 m	-

Tabella 3. Impatti sull'ambiente esterno prodotti dai sistemi funicolari e funiviari.

maniera diretta sostanze inquinanti (per l'utilizzo di motori elettrici), producono livelli sonori comunque contenuti e contribuiscono in maniera significativa ad aumentare il valore d'uso del territorio servito, potendo garantire una maggiore accessibilità; alcuni svantaggi dei suddetti sistemi risiedono nell'intrusione visiva (comunque relativa), soprattutto nelle applicazioni in ambito urbano. Un quadro sintetico degli impatti sull'ambiente esterno provocati dai sistemi in esame è riportato nella Tabella 3.

Occorre infine osservare che le possibilità di impiego dei sistemi funicolari e funiviari in aree urbane e metropolitane sono legate ai vincoli imposti dalla normativa (ad esempio norme di sicurezza che impongono il presenziamento delle fermate nel caso di cabovie) ed alla disponibilità di risorse finanziarie (i costi dei sistemi in esame risultano contenuti se paragonati a quelli di altri sistemi di trasporto collettivo a guida vincolata, ma ancora elevati rispetto a quelli dei servizi di tipo automobilistico).

6. Ipotesi di realizzazione di un sistema di trasporto a fune per la città di Reggio Calabria

Attualmente, nella città di Reggio Calabria, in mancanza di un sistema di trasporto pubblico locale integrato e regolare al servizio dell'utenza universitaria, la modalità di trasporto maggiormente utilizzata per raggiungere la sede universitaria è rappresentata dal mezzo privato: oltre il 68% degli spostamenti con origine o destinazione presso le Facoltà sono compiuti in autovettura o in moto. L'elevato traffico veicolare attratto e generato dalla cittadella universitaria (localizzata nella periferia nord della città, a circa 2 km dal centro) contribuisce ad accrescere la congestione dell'area urbana ed il rischio di incidenti, provocando fenomeni di coda e attese nelle fasce orarie di punta. In quest'ottica è da inquadrare l'idea di realizzare un sistema integrato di trasporto collettivo al servizio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, finalizzato a soddisfare la crescente richiesta di mobilità,



Figura 4. Sistemi di trasporto a fune ipotizzati: a) funicolare con veicoli da 30 posti; b) cabinovia con cabine da 8 posti.

puntando ad indebolire l'incidenza del modo di trasporto individuale. Nello specifico, è stato elaborato uno studio di fattibilità di un sistema di trasporto a fune in grado di raccordare la cittadella universitaria di Reggio Calabria con due nodi di interscambio strategici, quali il porto e la stazione ferroviaria Lido.

Il sistema ipotizzato è costituito da una linea in elevazione, sulla direttrice mare-monte, con un estremo di valle in adiacenza alla stazione ferroviaria Reggio Lido e un terminal di monte in adiacenza all'edificio della Facoltà di Ingegneria. Sono previste quattro fermate intermedie da utilizzare esclusivamente per le operazioni d'imbarco/sbarco dei passeggeri. Le principali caratteristiche dimensionali del tracciato sono:

- lunghezza totale: 1,86 km;
- distanziamento medio tra le stazioni: 372 m;
- dislivello: 85 m;
- pendenza massima: 10%.

L'esercizio del sistema è stato dimensionato con riferimento a:

- due diversi sistemi di trasporto a fune (vedi Figura 4): una *funicolare* caratterizzata da veicoli con capacità di 30 posti ed un *cabinovia* con cabine da 8 posti;
- due differenti scenari di domanda: uno *scenario di domanda base*, in cui si ipotizza che la domanda prevista a regime sia quella di base, ed uno *scenario di domanda alta*, in cui si assume che la domanda prevista a regime sia raddoppiata rispetto a quella base; per entrambi gli scenari sono stati considerati due livelli di domanda, uno relativo all'ora di punta, l'altro alle fasce orarie di morbida.

Sulla base dei parametri cinematici tipici di sistemi a fune già operativi in altre realtà territoriali, si è valutato che il tempo totale impiegato da un veicolo funicolare e da una cabina per percorrere l'intera estesa fra la stazione di valle e la stazione di monte risulta rispettivamente pari a circa 7,5 e 8 minuti.

Relativamente a ciascuno scenario di domanda previsto sono stati calcolati i flussi di traffico sulla tratta più carica nelle fasce orarie di punta, il numero di veicoli necessari per i due sistemi a fune ipotizzati (funicolare e cabinovia) e le corrispondenti capacità di linea. Con riferimento alla fascia oraria di punta mattutina dello scenario di domanda base, per poter soddisfare il carico di traffico di 440 utenti, risultano necessari un impianto funicolare con 2 convogli composti da 2 vetture da 30 posti (in tali condizioni, la frequenza del sistema risulta pari a 8 corse/h e la capacità di linea è di 480 posti/h), oppure, in alternativa, un impianto funiviario con 15 cabine da 8 posti (ciò darebbe luogo ad una frequenza di 56 corse/h ed una capacità di linea di 448 posti/h).

Lo studio propone anche un'analisi economica dello scenario di progetto, con una valutazione dei costi di investimento e di esercizio ed una stima degli introiti tariffari. Nello scenario di domanda base, il costo di investimento sostenuto per la realizzazione dell'infrastruttura, degli impianti e per l'acquisto del materiale rotabile ammonta a circa 13 milioni di Euro nel caso del sistema funicolare ed a circa 6,1 milioni di Euro nel caso del sistema cabinoviario. Il costo d'esercizio, relativo ad un anno medio, necessario per l'operatività e la manutenzione del sistema funicolare e di quello funiviario risulta invece pari rispettivamente a 1 milione di Euro e 770.000 Euro circa. Dall'analisi condotta è emerso come i ricavi di gestione (circa 360.000 Euro/anno) siano piuttosto modesti rispetto ai costi di esercizio; occorre però tenere conto che nei costi di esercizio sono incluse le quote di ammortamento di infrastrutture, stazioni, impianti e veicoli. In un'analisi prettamente finanziaria l'intervento risulterebbe quindi poco interessante. Sostanzialmente diverse sono le valutazioni in un'ottica di analisi economico-sociale e di sviluppo sostenibile; in questo caso, infatti, sono da includere e ponderare una molteplicità di

fattori, quali: sicurezza; inquinamento atmosferico; inquinamento acustico; intrusione visiva; fattore immagine della città; riflessi della congestione sulla qualità della circolazione; riflessi della congestione sulla qualità della vita urbana; cambiamento nei valori d'uso del suolo. Evidentemente tutti questi fattori hanno un valore che può assumere un peso rilevante in rapporto agli orientamenti del decisore. A voler considerare un valore economico compensativo, assimilabile ai costi di ammortamento dei veicoli, infrastrutture, stazioni e sistemi di controllo, i costi di gestione si riducono, nel caso dello scenario di domanda base, a circa 540.000 Euro per entrambi i sistemi.

Riferimenti bibliografici

- AA.VV., *Automated People Movers. Engineering and Management in Major Activity Centers*. A.S.C.E., New York 1985
- AA.VV., *High gradient transit*, in *Federal Lands Alternative Transportation Systems Study. Candidate Vehicle Technologies*, Federal Highway Administration and Federal Transit Administration, USA, 2001.
- AA.VV., *9th International Conference on Automated People Movers (APM 2003)*. Proceedings. A.S.C.E., New York 2003.
- D. GATTUSO, *Poma 2000. Un sistema di trasporto cablato ad automatizzazione integrale*, in UNIVERSITÀ DI REGGIO CALABRIA, "Quaderno di Istituto" n. 6, 1993.
- D. GATTUSO, *Trasporto collettivo urbano e metropolitano*, in G.E. Cantarella (a cura di), *Introduzione alla tecnica dei trasporti e del traffico con elementi di economia dei trasporti*, UTET. Torino 2001.
- D. GATTUSO, G. MEDURI, *Classification and choice of transit system technologies for urban and metropolitan areas*, 6th International Conference "Public Passenger Transport", Bratislava, Slovak Republic, 2003.
- LEITNER, *Report 2001, Report 2002*, dépliant vari.
- "ISR. Internationale Seilbahn-Rundschau", numeri vari, anni 1998-1999-2000-2001-2002-2003
- ropeway.coalliance.org
- users.skynet.be
- www.alpina-snowmobiles.com
- www.alpitem.it
- www.bigorre.org
- www.cwa.org
- www.dcc.at
- www.doppelmayer.com
- www.funimag.com
- www.funivie.altervista.org
- www.gangloff.com
- www.graffer.it
- www.hoelzl.it
- www.leitner-lifts.com
- www.lift-world.info
- www.oitaf.org
- www.pomagroup.com
- www.railroadinfo.com
- www.softguides.com
- www.tramway.net
- www.transportbahnen.at
- Domenico Gattuso, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti (DIMET), Reggio Calabria.
- Giandomenico Meduri, ingegnere, Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti (DIMET), Reggio Calabria.

Sicurezza ed affidabilità dell'esercizio. Quadro normativo di riferimento

SANDRO LAZZARI

Tutte le regolamentazioni relative a qualsiasi tipologia di impianti a fune destinati al trasporto di persone – siano essi sciovie, funivie monofuni a collegamento temporaneo o permanente dei veicoli, funivie bifuni, funicolari, ecc. – contengono non solo le norme tecniche per la progettazione e la costruzione, ma anche quelle relative alla manutenzione ed all'esercizio.

In Italia, già il D.M. 15 marzo 1982, relativo alle sciovie, come il D.M. 4 agosto 1998 n. 400, contenente il Regolamento generale per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinate al trasporto di persone, e tutti gli altri decreti simili emanati – ad esempio quelli relativi alle Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofune, a collegamento temporaneo o permanente dei veicoli (DD.MM. 8 marzo 1999) – fanno esplicito riferimento alla manutenzione dell'impianto.

Esse prescrivono, fra l'altro, la compilazione d'uno specifico programma generale di manutenzione e di ispezione delle parti meccaniche ed elettriche, l'esecuzione di prove e verifiche periodiche (siano esse giornaliere, settimanali, mensili, annuali, ecc., intese ad accertare lo stato di conservazione e lo stato di funzionamento degli impianti), ma anche l'adempimento a tutte le prescrizioni fissate dal costruttore.

Il 31 gennaio 1985 veniva pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il testo definitivo del D.M. 2 gennaio 1985 n. 23 dell'allora Ministero dei Trasporti, sulle norme regolamentari in materia di varianti costruttive, di adeguamenti tecnici e di revisione per gli impianti a fune.

In detto decreto, pur confermando che resta fermo quanto stabilito dalle disposizioni vigenti in materia di verifiche e prove periodiche, da effettuare con frequenza annuale od inferiore, vengono prescritte alcune importanti disposizioni che riguardano in particolare la vita tecnica degli impianti e le scadenze per le revisioni speciali e generali di essi.

Viene disposto che la vita tecnica complessiva massima di ogni impianto, intesa come durata dell'intervallo continuativo di tempo nel corso del quale la sicurezza e la regolarità del servizio possono ritenersi garantite, rispettando le medesime condizioni realizzate all'atto della prima apertura al pubblico esercizio sia pari a:

- 60 anni per le funivie bifune a va e vieni e funicolari su rotaia od impianti assimilabili;
- 40 anni per le funivie bifune e monofune con veicoli a collegamento temporaneo;
- 40 anni per le funivie monofune con veicoli a collegamento permanente;

- 30 anni per le sciovie, ascensori, scale mobili ed impianti assimilabili.

Inoltre, ogni impianto, durante la sua vita tecnica, deve essere sottoposto alle seguenti revisioni periodiche.

Revisione speciale:

- ogni cinque anni per tutte le categorie di impianti.

Revisione generale:

- per le funivie bifune a va e vieni e per le funicolari al ventesimo ed al quarantesimo anno dalla prima apertura al pubblico esercizio;
- per le funivie bifune e monofune a collegamento temporaneo al ventesimo ed al trentesimo anno;
- per le funivie monofune con veicoli a collegamento permanente al quindicesimo ed al trentesimo anno;
- per le sciovie, ascensori, ecc. al decimo ed al ventesimo anno.

Come si può notare, le scadenze per le revisioni sono solamente temporali e prescindono dall'uso dell'impianto, cioè dalle effettive ore di suo funzionamento; inoltre, mentre per le revisioni speciali gli adempimenti sono relativamente onerosi, essi diventano veramente economicamente gravosi per le revisioni generali.

Difatti queste prevedono, fra l'altro, oltre a tutti i controlli su opere civili, sulle apparecchiature meccaniche e veicoli, previo smontaggio, controlli non distruttivi su elementi costruttivi, organi meccanici, relative giunzioni saldate, ecc., e controlli su apparecchiature elettriche ed elettroniche, ecc.:

- il rifacimento di tutti i cablaggi, di tutte le connessioni, compresi i collegamenti elettrici di terra;
- la sostituzione di tutti i componenti svolgenti funzioni direttamente interessanti la sicurezza dell'esercizio;
- il controllo del possesso dei requisiti funzionali rispondenti alle norme CEI, in vigore alla data della revisione generale, per tutti gli equipaggiamenti elettrici ed elettronici, nonché i circuiti di sicurezza (il che sostanzialmente significa la loro totale sostituzione).

Meno gravose appaiono le disposizioni impartite dalla normativa europea (norme CEN) contenute in particolare nella prEN 1709 (norme 10), avente per titolo *Prove di funzionamento, manutenzione e controlli in esercizio*.

In particolare, al Capitolo 6, "Manutenzione", di detta norma vengono prescritte:

- l'elaborazione ed attualizzazione di un piano di manutenzione;
- la numerazione nelle liste di controllo delle operazioni di manutenzione;
- l'indicazione delle specifiche e dei criteri di accettazione dei difetti per i controlli visivi ed i controlli non distruttivi;
- il dovere, da parte dell'esercente, di disporre delle attrezzature e delle apparecchiature necessarie, così come delle masse necessarie al carico dei veicoli per le prove di frenatura;
- la disponibilità dei pezzi di ricambio;
- ecc.

Viene poi disposto che i lavori di manutenzione vengano eseguiti secondo quanto riportato nel manuale d'uso e manutenzione forniti dalle case costruttrici, che i controlli debbano essere eseguiti al termine dei lavori di manutenzione, e che la manutenzione comprenda la pulizia, la protezione, la lubrificazione, al sostituzione o l'aggiustamento dei componenti.

Ovviamente anche in questa norma vengono previste le ispezioni periodiche, che comprendono le misure, gli esami e le valutazioni sullo stato effettivo degli impianti. Tali ispezioni periodiche devono essere realizzate ad intervalli mensili, annuali o pluriennali.

Ma per le cosiddette "Grandi ispezioni", al contrario di quanto stabilito nel citato D.M. 2 gennaio 1985, si prevedono non solo scadenze calendariali, ma anche legate alle effettive ore di funzionamento dell'impianto e poi assolutamente non viene stabilita alcuna "vita tecnica complessiva dell'impianto".

È doveroso accennare che, a parte impianti funicolari cittadini, quasi tutti gli impianti nelle nostre stazioni invernali o comunque dedicati al turismo, vengono ammodernati o sostituiti integralmente prima della cosiddetta scadenza della vita tecnica, ma l'imposizione, per legge, di una tale limitazione temporale appare troppo vincolante.

Ma tutte queste disposizioni contenute nelle norme, se pur necessarie ed utili per la buona manutenzione e verifica degli impianti, appaiono, sulla scorta dell'esperienza acquisita, non sufficienti per garantire un regolare e continuativo esercizio se non si facesse anche una manutenzione preventiva programmata.

Questo lavoro comincia molto presto, già in fase di progettazione. L'esercente-committente, deve scegliere la tipologia, il dimensionamento e il posizionamento dell'impianto con criteri generalmente turistico-commerciali, per il miglior servizio al pubblico, ma poi deve pensare che la gestione comprende anche la manutenzione e quindi inserirlo nella sua struttura

aziendale in maniera da assicurarla nella maniera più conveniente ed efficace.

Ricordiamo che oltre alla sicurezza è fondamentale la regolarità dell'esercizio. Sono dei doveri, ma anche dei precisi interessi. Regolarità e affidabilità aumentano l'attrattiva dell'impianto, quindi pagano e incentivano la manutenzione.

L'acquisto di impianti costruiti con controllo di qualità ne garantisce la bontà complessiva, ma nella qualità deve essere compresa la predisposizione all'agevole manutenzione.

È quindi l'azienda esercente che deve impostare e gestire la manutenzione, quindi elaborare il piano di lavoro, tenendo conto di vari fattori, quali:

- la scelta dei fornitori, primari e secondari;
- la dimensione aziendale;
- la previsione di intervento per possibili guasti;
- l'organizzazione della normale manutenzione continuativa (prevenzione);
- i rapporti con direttore di esercizio, costruttore, tecnici esterni;
- la qualificazione del personale proprio;
- la dotazione di ricambi e scorte;
- la reperibilità di ricambi non in dotazione;
- l'attrezzatura;
- la valutazione dei costi;
- l'eventuale ricorso a esami non distruttivi non obbligatori.

Sono questi tutti fattori che interagiscono fra di loro, perché la preparazione del personale, la dotazione di ricambi e l'attrezzatura dipendono molto dalla dimensione aziendale, che determina il grado d'indipendenza nel lavoro. Il numero di impianti che si devono gestire influenza fortemente la struttura che ci si deve dare (tecnici propri, impianti compatibili fra di loro, ricambi unificati, pianificazione delle operazioni, ecc.).

Se non si dispone di una struttura sufficientemente indipendente, bisogna ricorrere ad interventi dall'esterno, che possono essere altrettanto validi ed anche talvolta preferibili, ma vanno preorganizzati curando l'affiatamento del personale con i fornitori.

Importante in ogni caso il ruolo del direttore di esercizio, che, se dalle norme viene considerato più un responsabile e un controllore, deve soprattutto essere

il primo collaboratore dell'azienda.

Se la norma e la tecnica prescrivono le modalità d'esecuzione di una certa operazione e quali materiali usare, bisogna poi decidere come procedere, con l'intervento di chi, dove reperire il materiale, quale attrezzatura usare.

Per un'azienda, molto importanti sono i tempi d'intervento. La normativa prescrive i criteri di sicurezza, le modalità, le responsabilità, ma non può né deve andare oltre. Compete all'esercente eseguire quanto prescritto, quanto necessario e quanto opportuno in funzione della miglior gestione dell'impianto, per farlo funzionare bene e sempre.

È bene anche tenere presente che, come per ogni azienda, anche per gli impianti a fune l'economicità di gestione non è solo opportuna, ma anche doverosa, perché economicità di gestione vuol dire azienda sana e l'azienda sana è più affidabile. Risparmiare non vuol dire limitare il lavoro, vuol dire eseguirlo nel modo più razionale possibile, cioè ottimizzarne risultati e costi. La ricerca del risparmio, anche se viene generalmente presa con una certa diffidenza, è invece una operazione virtuosa perché si prefigge prima di fare tutto quanto necessario, poi di farlo in maniera economica. Operazione che va affrontata con lo spirito giusto, tenendo conto:

- del risultato che si deve ottenere;
- del costo dell'operazione;
- del costo per il fermo dell'impianto.

È chiaro che, dal punto di vista organizzativo, le aziende piccole sono svantaggiate. In questi casi giovano le sinergie che si ottengono nella appartenenza a consorzi organizzati, sia pure solo a livello commerciale.

Nel nostro lavoro il gioco delle parti, o meglio il rispetto dei ruoli, deve assicurare la copertura di tutte le funzioni utili all'esercizio con sicurezza e regolarità degli impianti, e lo sta facendo. Gli esercenti di impianti a fune, inoltre, sono consapevoli che, se la tecnica deve studiare e presentare innovazione, tocca poi a loro accettarla e gestirla. Si ritiene che non manchino la capacità e la disponibilità per farlo.

Sandro Lazzari, ingegnere, presidente dell'Associazione Nazionale Esercenti Funiviari (ANEF).

La nuova funivia “Malcesine-Monte Baldo”

MARIO PEDROTTI

Il 24 luglio 2002 è stata inaugurata dal Presidente della Repubblica la nuova funivia che collega Malcesine col Monte Baldo, portando i turisti dalle rive del lago di Garda direttamente in ambiente montano. I due tronchi dell'impianto, che va a sostituire quello preesistente funzionante da 40 anni, sono stati realizzati in tempi record. L'apertura al pubblico è avvenuta il 20 luglio 2002, al termine dei lavori durati poco più di 10 mesi ed iniziati il 3 settembre 2001 con la completa demolizione del vecchio impianto.

La progettazione era però iniziata ben prima, sulla base di uno studio dell'Università di Trento, finalizzato all'analisi del tipo di impianto necessario ed al suo impatto ambientale.

Nel progetto di fattibilità si sono dovute conciliare varie esigenze quali:

- eliminazione dei disagi causati dalla scarsa portata oraria del vecchio impianto;
- espletamento di funzioni di trasporto urbano con la frazione di S. Michele;
- trasporto di persone, merci, biciclette e acqua potabile;
- accesso e trasporto agevolato per i disabili;
- inserimento della linea del primo tronco in un ambiente altamente antropizzato;
- interscambio auto-fune nell'area della stazione di valle a Malcesine con limitazioni dello spazio a disposizione;
- inserimento ambientale delle stazioni con la massima riduzione dell'impatto, compatibilmente con i vincoli tecnici funiviari;
- superamento di ostacoli ambientali come, per esempio, incrocio con strade ed elettrodotti e difesa dal pericolo di valanghe;
- offerta di servizi turistici e ricovero dei passeggeri in caso di maltempo alla stazione di Monte Baldo.

La nuova funivia, del tipo bifune a va e vieni, supera in due tronchi un dislivello di oltre 1.650 m, con una stazione intermedia in località S. Michele e permette di trasportare, con una velocità massima di 10 m/s, fino a 600 persone/ora, oltre il triplo della funivia precedente che ne trasportava al massimo 180 con le cabine viaggianti alla velocità di 7 m/s.

Ma la peculiarità dell'impianto consta nelle cabine del secondo tronco interamente rotanti in modo da offrire il panorama a tutti i passeggeri, progettate, come tutta la parte funiviaria, dall'ing. Veronesi della Hölzl (poi Doppelmayr), ditta che a capo di un'associazione tempora-



nea di imprese ha vinto l'appalto "chiavi in mano", affidato dall'Azienda Trasporti Funicolari Malcesine Monte Baldo, che esercisce l'impianto ed è di proprietà del Comune di Malcesine, della Provincia di Verona e della Camera di Commercio I.A.A. di Verona.

Questa soluzione, utilizzata per la prima ed unica volta al mondo, differisce da quella di altri impianti già in funzione perché è l'intera cabina a ruotare, anziché il solo pavimento, con vantaggi facilmente immaginabili.

Poiché la seconda sezione ha una lunghezza quasi doppia rispetto alla prima, si è ottenuta la medesima portata dei due tronchi, utilizzando cabine di capienza differente: 45 persone per il primo tronco ed 80 persone per il secondo.

Le cabine del primo tronco, pur avendo una forma tondeggiante, non sono però rotanti.

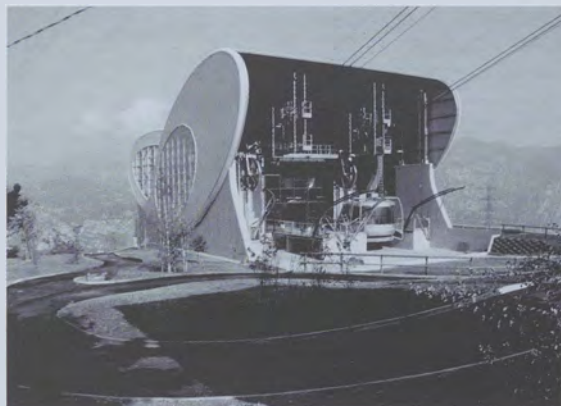
Lo studio architettonico, realizzato con la collaborazione dell'arch. Carlo Cillara Rossi dello Studio Progetti di Genova, ha dato un "vestito" di pregio alla funivia, ottenendo al contempo un basso impatto ambientale.

Le stazioni sono state realizzate con materiali, quali, per esempio, acciaio, legno ed alluminio, che garantiscono una durabilità dell'opera, unitamente ad un adeguato livello di finitura ed un gradevole ambiente per l'accoglienza dei passeggeri.

Nella fase progettuale è stato fatto largo uso di tecniche 3D e rendering per facilitare, vista la complessità delle forme, sia lo sviluppo dei dettagli, che, contemporaneamente, la comprensibilità da parte del committente.

Particolare cura nella progettazione è stata posta anche per facilitare l'accesso ad ogni tipo di clientela, compreso il trasporto di MBK ed il parcheggio delle motociclette, assai diffuse tra la clientela nordica.

La stazione di valle a Malcesine, posta nelle vicinanze



della statale della Gardesana, è stata arretrata rispetto a quella precedente ed il piano di imbarco è stato alzato per ovviare ai problemi di sorvolo della vicina strada; essa è accessibile direttamente dal sottostante parcheggio interrato, capace di contenere, al riparo da intemperie e da danneggiamenti, oltre 200 autovetture e dotato di moderni sistemi antincendio e di sorveglianza. Alla stazione sono affiancate varie infrastrutture, quali la biglietteria, la sala d'aspetto, gli uffici, i depositi, i locali di servizio, ecc.

Per la protezione del fronte di scavo, alto oltre 14 metri, si è utilizzato un nuovo sistema brevettato da una ditta austriaca, basato su una chiodatura "corta" e spritzbeton, evitando così di realizzare micropali e tiranti di lunghezza considerevole.

Nella stazione intermedia, dove sono state realizzate le motrici per entrambi i tronchi, i passeggeri transitano tra le due sezioni, o possono fermarsi a S. Michele. In essa sono concentrati tutti i locali tecnici (sale macchine, cabina di trasformazione, gruppi elettrogeni, officina, magazzino ricambi, ecc.) ed i locali destinati al benessere del personale (mensa, spogliatoi, servizi igienici, ecc.). È prevista anche una biglietteria per consentire l'accesso a chi volesse imbarcarsi. Gli organi meccanici più importanti sono stati raddoppiati, compresi gli organi principali, che funzionano uno di riserva dell'altro; due gruppi elettrogeni provvedono a fornire energia elettrica in caso di guasto alla rete e, se l'impianto non potesse essere movimentato, i passeggeri possono essere riportati nelle stazioni con veicoli di soccorso indipendenti, marcianti sulle funi portanti. I due sostegni della funivia soggetti al pericolo di valanghe sono protetti alla base con cunei deviatori.

Tutto l'impianto è costantemente tenuto sotto controllo e gestito da quattro differenti computer che supervisionano ogni funzione legata alla sicurezza.

La stazione di monte, molto semplice dal punto di



vista funiviario, sarà affiancata in un prossimo futuro da due edifici comunicanti, adibiti uno a bar ristorante e l'altro a sala multimediale, atta ad accogliere, per esempio, proiezioni, congressi, premiazioni di gare di sci e, non ultimo, a fungere da ricovero in caso di maltempo.

In questi edifici sono previsti, inoltre, il pronto soccorso, la scuola di sci, il noleggio sci, i servizi igienici per il pubblico, ecc.

Si riassumono, infine, qui di seguito le principali caratteristiche tecniche dei due tronchi.

Caratteristiche principali del tronco 1

Funivia bifune a va e vieni con due vetture da 45 passeggeri ciascuna.

Stazione motrice a monte e di rinvio a valle.

Distanza orizzontale tra i punti fune nelle stazioni $l = m \ 1438.70$

Dislivello tra i punti fune nelle stazioni $h = m \ 464.71$

Lunghezza sviluppata del percorso $L = m \ 1512.44$

Altezza dei sostegni di linea $m \ 27.50 / 24.0$

Lunghezze delle scarpe d'appoggio funi ($R=50m$) $m \ 15.0 / 10.0$

Interasse tra le funi portanti $i = m \ 7.50-9.50$

Massa dei veicoli

vettura vuota con conducente $V_v = kg \ 2600$

vettura a pieno carico $V_c = kg \ 5950$

Masse dei contrappesi

contrappeso delle funi portanti a valle $C_p = kg \ 76000$

contrappeso fune traente a valle $2 _ 4300$ $C_t = kg \ 8600$

Velocità di corsa massime

azionamento elettrico principale

con 2 motori $m/s \ 10$

azionamento elettrico di riserva

con 1 motore $m/s \ 5$

azionamento idraulico di

ricupero $m/s \ 1.0$

Potenze meccaniche degli azionamenti elettrici

nominale con due motori $kW \ 200$

massima con due motori $kW \ 275$

Potenze meccaniche degli azionamenti idraulici

nominale con il motore di recupero $kW \ 45$

Portata oraria massima

(con fermata di 50 secondi) $persone/ora \ 600$

Sull'impianto sono installate le seguenti funi:

- *funi portanti* del tipo chiuso a tre strati di fili sagomati, disposte sulle due vie di corsa, aventi i capi ancorati nella stazione a monte mediante avvolgimento ad attrito su tamburo e collegate al contrappeso a valle mediante deviazione a carrelliera ed ancoraggio sullo stesso mediante avvolgimento ad attrito su tamburo;
- *fune traente e zavorra* del tipo *Seale* a 6 trefoli, disposta ad anello chiuso tra le vetture e le stazioni motrice a monte e tenditrice a valle, ancorate ai carrelli stessi mediante avvolgimento ad attrito con un giro su apposito tamburo.

Le caratteristiche delle funi sono:

<i>Funi</i>	<i>portanti</i>	<i>traente</i>	<i>zavorra</i>
		anello unico	impalmato
Tipo	Chiuse	Seale	
diametro fune	mm	50	23
numero fili	n.	67 f + 90 Z	114
sezione metall.	mm ²	1637	209
massa lineare	kg/ml	13.78	1.89
resistenza	kN/mm ²	1.82	1.96
carico somma	kN	2979	410

Funi	portanti superiore	traente	traente inferiore	soccorso
Tipo	Chiuse	Warr.-Seale	Warr.-Seale	Seale
diametro fune mm	56	35	33	15
numero fili n.	67 f + 90 Z	186	186	114
sezione metall. mm ²	2043	500	445	88.9
massa lineare kg/ml	17.18	4.54	4.03	0.81
resistenza kN/mm ²	1.86	1.96	2.06	2.06
carico somma kN	3800	980	917	183

Tabella 1. Caratteristiche delle funi.

Caratteristiche principali del tronco 2

Funivia bifune a va e vieni con due vetture da 80 passeggeri ciascuna rotante.

Sistema a doppie funi portanti con funi traenti sospese su cavallotti.

Stazione motrice a valle e di rinvio a monte.

Distanza orizzontale tra i punti fune nelle stazioni $l = m \ 2543.18$

Dislivello tra i punti fune nelle stazioni $h = m \ 1189.27$

Lunghezza sviluppata del percorso $L = m \ 2813.27$

Altezza massima dei sostegni di linea $m \ 34.0$

Interasse tra le funi portanti $i = m \ 10.0 - 12.0$

Massa dei veicoli

vettura vuota con conducente $V_v = kg \ 7300$

vettura a pieno carico $V_c = kg \ 13100$

carrello di soccorso carico (8+1 persone) $V_{sc} = kg \ 1470$

Masse dei contrappesi

contrappeso delle funi portanti a valle $C_p = kg \ 160000$

contrappeso fune traente a valle 4 $C_t = kg \ 76000$

contrappeso fune soccorso a monte 4 $C_s = kg \ 23000$

Velocità di corsa massime

azionamento elettrico principale con 2 motori $m/s \ 8.0$

azionamento elettrico di riserva con 1 motore $m/s \ 4.0$

azionamento idraulico di ricupero $m/s \ 1.0$

azionamento idraulico di soccorso $m/s \ 5.0$

Potenze meccaniche degli azionamenti elettrici

nominale con due motori $kW \ 420$

massima con due motori $kW \ 544$

Potenze meccaniche degli azionamenti idraulici

nominale con l'azionamento di ricupero $kW \ 75$

nominale con l'azionamento di soccorso $kW \ 70$

Portata oraria massima (con fermata di 65 secondi) $persone/ora \ 600$

Sull'impianto sono installate le seguenti funi:

- *funi portanti* del tipo chiuso a tre strati di fili sagomati, disposte sulle due vie di corsa, aventi i capi ancorati nella stazione a monte mediante avvolgimento ad attrito su tamburo e collegate al contrappeso a valle mediante deviazione a carrelliera ed ancoraggio sullo stesso mediante avvolgimento ad attrito su tamburo;
- *fune traente superiore* del tipo Warrington-Seale a 6 trefoli, disposta a semianello tra le vetture ed il contrappeso della stazione di rinvio a monte, avente i due capi ancorati ai carrelli mediante avvolgimento ad attrito su tamburello. Il contrappeso a monte è sospeso su 4 rami di fune;
- *fune traente inferiore*, del tipo Warrington-Seale a 6 trefoli, disposta a semianello tra le vetture e l'argano della stazione motrice a valle, avente i due capi ancorati ai carrelli mediante avvolgimento ad attrito su tamburello;
- *fune soccorso* del tipo Seale a 6 trefoli, disposta ad anello chiuso tra il contrappeso della stazione di rinvio a monte e l'argano della stazione motrice a valle, avente i due capi collegati tra loro mediante impalmatura. Il contrappeso a monte è sospeso su 4 rami di fune.

Le caratteristiche delle funi sono illustrate in Tabella 1.

Mario Pedrotti, ingegnere, FUNIPLAN, Ora (BZ), autore dell'intero progetto. La progettazione civile architettonica e innovativa è dello "Studio Progetti" di Genova nella persona dell'arch. Carlo Cillara Rossi; hanno collaborato l'arch. Francesco Manna, l'ing. Marco Gaviati, l'ing. Fabrizio Toselli.

Trasporto urbano a fune

FERRUCCIO LEVI

Nel campo degli impianti funiviari sono stati introdotti recentemente nuovi sistemi di trasporto urbano ad automazione integrale.

In realtà, quasi tutti gli impianti a fune sono automatici, ma di regola sono comunque presidiati: a seconda dei casi sono presidiati i veicoli, oppure le stazioni, o sia i veicoli che le stazioni.

Automatismo integrale vuol dire invece che non sono presidiati né i veicoli né le stazioni; esiste naturalmente un posto centrale di controllo che non necessariamente risiede presso l'impianto e può anche essere in comune con altri impianti di trasporto.

Dal posto centrale si controllano i veicoli e si controllano le persone; ma bisogna dire subito che i veicoli sono molto più obbedienti delle persone; raramente si prendono delle iniziative, anche perché non hanno tanti gradi di libertà; se si comanda di partire di solito partono, se si comanda di fermarsi di solito si fermano.

Con le persone, le cose sono tutte diverse, perché il comportamento delle persone non è facilmente prevedibile: in pratica nei sistemi di trasporto ad automazione integrale gli sforzi sia del progettista che della normativa sono volti soprattutto a controllare il comportamento delle persone, perché l'automazione dei veicoli è ormai assodata.

L'assenza del personale non è soltanto una questione economica: ha anche altri vantaggi perché senza di esso non ci sono particolari turni da rispettare e il servizio può essere molto più flessibile.

Il personale a bordo dei treni costa, quindi se c'è il personale si è portati ad impostare il sistema di trasporto con pochi veicoli di grande capacità, con linee pesanti e lunghi tempi di attesa; mancando il personale si può impostare il trasporto con tanti veicoli piccoli, linee e gallerie più leggere, tempi di attesa limitati.

Si possono inserire in linea i veicoli di volta in volta necessari, anche per rispondere ad esigenze di traffico impreviste, senza essere legati ai turni di lavoro.

Si può anche pensare ad un tipo di servizio fortemente desiderato dal pubblico, se non proprio dagli esercenti: cioè il servizio su chiamata: in certe ore serali di scarsissima affluenza è possibile tenere il sistema in standby senza veicoli in circolazione, ed inserire i veicoli solo su chiamata della clientela (che potrebbe anche essere prenotata via Internet: ci saranno forse difficoltà organizzative, ma tecnicamente è senz'altro possibile).

Naturalmente questo è possibile solo se il sistema è basato su tanti veicoli di piccole dimensioni: se due persone si attardano al ristorante

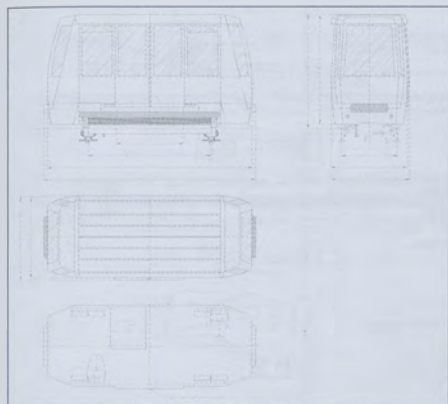


Figura 1. Esempio di cabina da 50 posti.

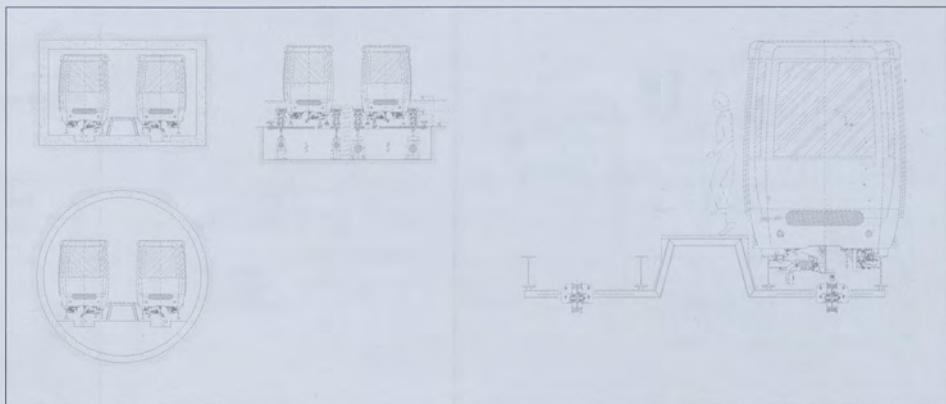


Figura 2. Differenti tipologie di sezione della linea: in trincea, a raso o in viadotto.

non possiamo pensare di andarli a prendere con un convoglio di 6 vagoni.

Da queste considerazioni derivano le dimensioni tipiche di un trasporto urbano, che corrispondono poi a quelle dell'impianto che si è deciso di costruire a Perugia: 50 passeggeri per veicolo (Figura 1); intervallo medio di 50 secondi fra i veicoli; portata nominale di 3.600 persone ora.

I motivi che hanno portato a questa scelta sono in particolare i seguenti:

- semplicità costruttiva: le ruote gommate non hanno la portata di quelle in ferro; si è scelto quindi un veicolo il cui peso totale possa essere portato da quattro ruote; un numero maggiore di ruote avrebbe complicato eccessivamente la meccanica del veicolo;
- un veicolo di questa capacità ha le dimensioni di un furgone e può facilmente essere trasportato nella sagoma stradale;
- con veicoli di queste dimensioni la portata di 3.000 persone si raggiunge con un intervallo medio di circa un minuto, facilmente accettato dai passeggeri; questo è importante per evitare che i passeggeri insistano nel salire in vettura quando si chiudono le porte, perché vedono arrivare il veicolo successivo e sanno che l'attesa del veicolo successivo sarà molto breve;
- la massa totale del veicolo carico risulta dell'ordine di 7.000 kg, ed è facilmente manovrabile dai dispositivi di stazione (come nelle telecabine i veicoli vengono trascinati in stazione da ruote gommate appositamente motorizzate);
- con veicoli di questa dimensione la via di corsa risulta leggera e le eventuali gallerie hanno un diametro piccolo (Figura 2).

È interessante notare come, se volessimo compiere questo servizio con una linea di autobus su una tratta di circa 5 km, avremmo bisogno di circa 40 autobus e

100 autisti; quindi il vantaggio del sistema automatico appare veramente interessante.

Fra l'altro, una portata di 3-4.000 persone ora si inserisce in una nicchia di mercato scoperta; le portate tipiche dei sistemi di trasporto urbano sono infatti approssimativamente le seguenti:

- metropolitana pesante: da circa 20.000 a 45.000 persone/ora;
- sistemi di derivazione metropolitana a guida automatica: da 8.000 a 20.000 persone/ora;
- “supertram”, in sede protetta ad elevata automazione: da 4.000 a 8.000 persone/ora;
- linea d'autobus: da 500 a 2.000 persone/ora.

Manca proprio una nicchia da 2.000 a 4.000 persone ora, che è l'ideale per un trasporto a fune.

Nel mondo vi sono diversi tipi di *people mover*, che vanno dalla metropolitana tradizionale automatica alla monorotaia, dalla levitazione magnetica al motore lineare, ecc.; quali sono i vantaggi della fune?

Il primo vantaggio è che a bordo dei veicoli non ci sono motori di trazione; questo è importante perché senza motori non ci sono né linea d'alimentazione né organi di captazione, che rappresentano l'handicap di tutti i sistemi di trasporto elettrici.

Il vantaggio fondamentale sta tuttavia nel fatto che la fune costituisce un legame fisico fra i veicoli, garantendone il distanziamento, quindi proteggendo, con un sistema altamente affidabile e praticamente gratuito, da ogni pericolo di collisione fra due veicoli fuori controllo.

Nelle funivie tradizionali la fune presenta anche il vantaggio di poter compensare i carichi in salita con quelli in discesa, ma ciò non risulta importante in un sistema sostanzialmente orizzontale.

Naturalmente la fune ha anche dei difetti. Innanzi tutto, la velocità è limitata: le funi non sono fatte per andare troppo veloci: circa 10 m/s al massimo; d'altra parte è vero che un autobus può andare anche a 15

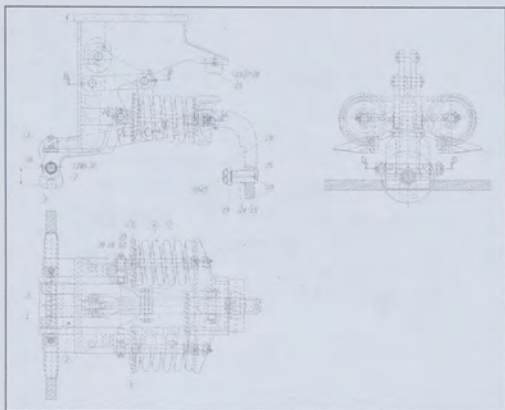


Figura 3. Sistema di ammortamento della fune.

m/s, ma se si tiene conto del tempo di arresto alle fermate la velocità commerciale che ne risulta non è poi tanto diversa.

Un altro difetto sta nel fatto che il legame rigido fra i veicoli fa sì che se un veicolo si blocca in linea, si blocca l'intero sistema; in realtà non è proprio così perché i veicoli si staccano dalla fune prima di entrare in stazione, comunque la fune dà al sistema una certa rigidità.

Altro limite sta nella lunghezza dell'impianto: la fune è un organo elastico; non possiamo pensare di avere una linea lunga 20 km: se tiriamo la fune da una parte passa un po' di tempo prima che si muova l'estremo opposto; anche per questo motivo la lunghezza ideale di un impianto di questo tipo è dell'ordine di 3-4 km. La tecnologia del *people mover* a fune deriva immediatamente da quella delle telecabine automatiche aeree, ma oltre alla marcia su rotaia c'è un'altra differenza fondamentale, dovuta al fatto che la clientela di un impianto urbano è diversa da quella di un impianto sportivo, e deve essere possibile ed agevole il trasporto dei disabili, dei passeggeri, ecc.

Sappiamo che le telecabine sono effettivamente impianti continui: i veicoli non si fermano mai, neppure in stazione: la salita e la discesa dei passeggeri avvengono mentre il veicolo transita in un tratto di stazione a velocità molto bassa: le porte si aprono all'ingresso di tale tratto e si chiudono all'uscita; quando si chiudono le porte un passeggero non può insistere nel salire perché il veicolo non è più davanti a lui.

Nei *people mover* è tutto diverso, perché l'accessibilità ai disabili richiede l'arresto completo del veicolo; a veicolo fermo si aprono le porte; quando si richiudono? Sembra incredibile ma qui sta uno dei problemi più importanti degli impianti a automazione integrale, non solo di quelli a fune. In condizioni normali si predispongono un certo tempo di apertura delle porte, del-

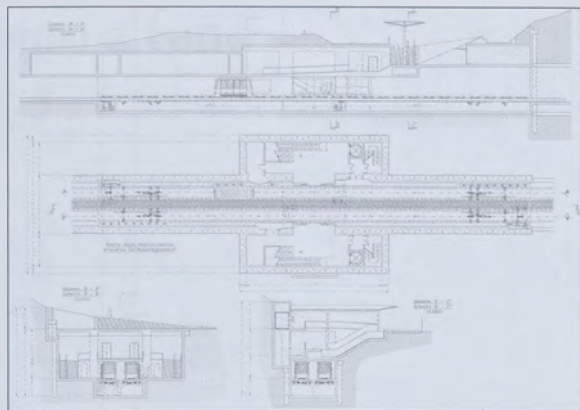


Figura 4. Esempi di stazione e piani d'imbarco e sbarco del *people mover*.

l'ordine di 15-20 secondi, che può anche essere variabile da stazione a stazione ed in base agli orari; qualche secondo prima della chiusura viene emesso un segnale di avvertimento e la porta inizia la chiusura; a questo punto il passeggero che sta salendo dovrebbe tirarsi indietro consentendo la richiusura delle porte e la partenza del veicolo.

Purtroppo non è sempre così e se un passeggero insiste nel salire va comunque garantita la sicurezza: trovando un ostacolo la porta si riapre ed attiva subito un nuovo tentativo di chiusura.

Ci sono vari sistemi per evitare che la sequenza si ripeta all'infinito; innanzi tutto alla prima riapertura viene attivato un messaggio preregistrato che invita il passeggero a non insistere nel salire; contemporaneamente la telecamera che inquadra la porta viene riversata su un apposito monitor del centro di controllo, in modo che l'operatore possa rendersi conto di che cosa sta succedendo ed inviare messaggi personalizzati.

Di solito, presto o tardi, il veicolo riesce a partire, ma se i veicoli sono ad un'interdistanza prossima alla minima si ha subito una perturbazione nel sistema che va recuperata.

Questo fa capire quanto importante e complessa sia la gestione delle porte delle cabine non presidiate; per completare il quadro si aggiunge a volte la presenza delle porte di banchina, che complicano ancora le cose.

Che cosa succede se un veicolo si ferma in stazione più del tempo preventivato? Innanzi tutto, la stazione è in grado di contenere un altro veicolo che sta sopraggiungendo; se la distanza fra i veicoli è di circa 50 secondi, in questo modo si riesce a fronteggiare un ritardo di circa 20 secondi; se il ritardo prosegue, non appena il veicolo successivo si avvicina alla stazione, ed è quindi ancora legato alla fune, tutto l'impianto va fermato; questo può avvenire dopo un ulteriore ritardo di circa 40 secondi. Tuttavia, piuttosto che arriva-

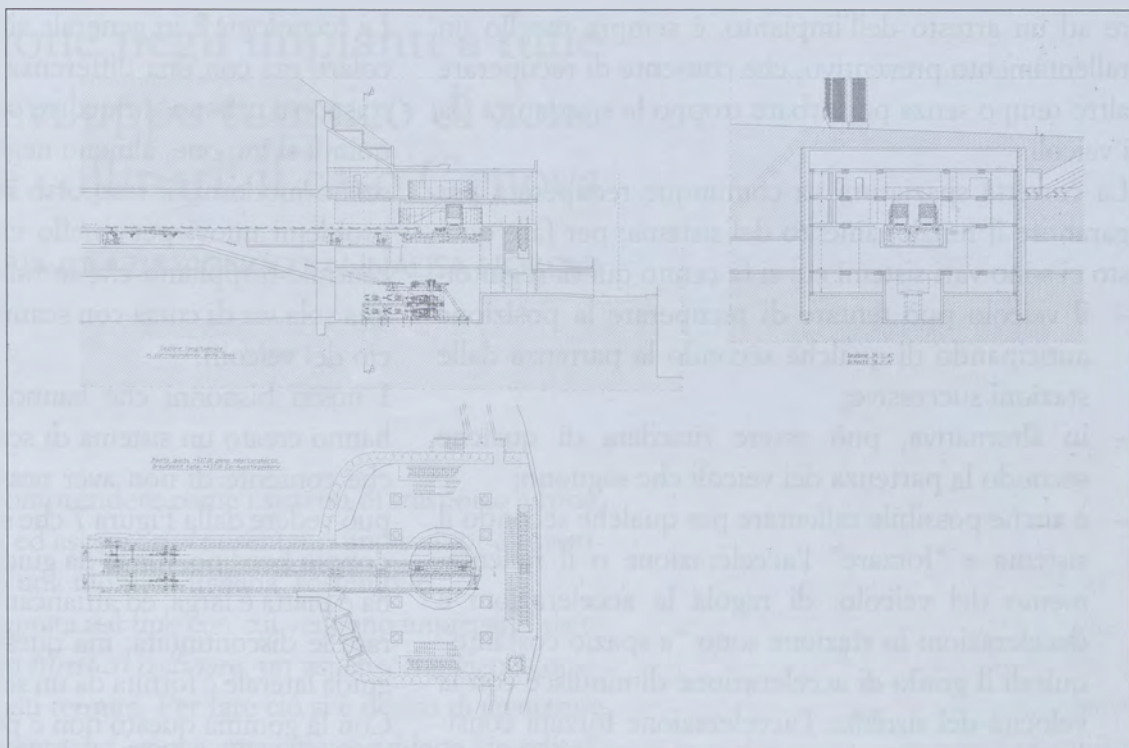


Figura 5. Sezione longitudinale in corrispondenza della linea; piano d'imbarco e sbarco.

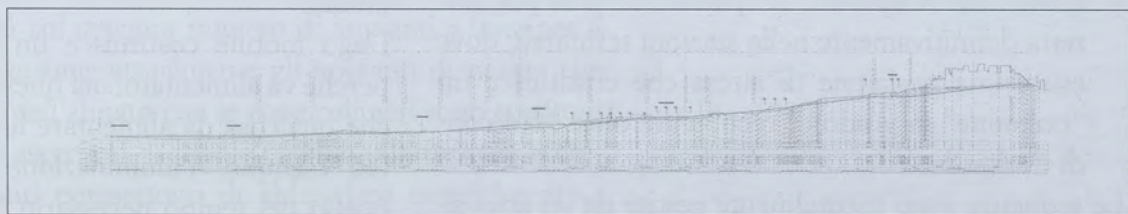


Figura 6. Profilo della linea.

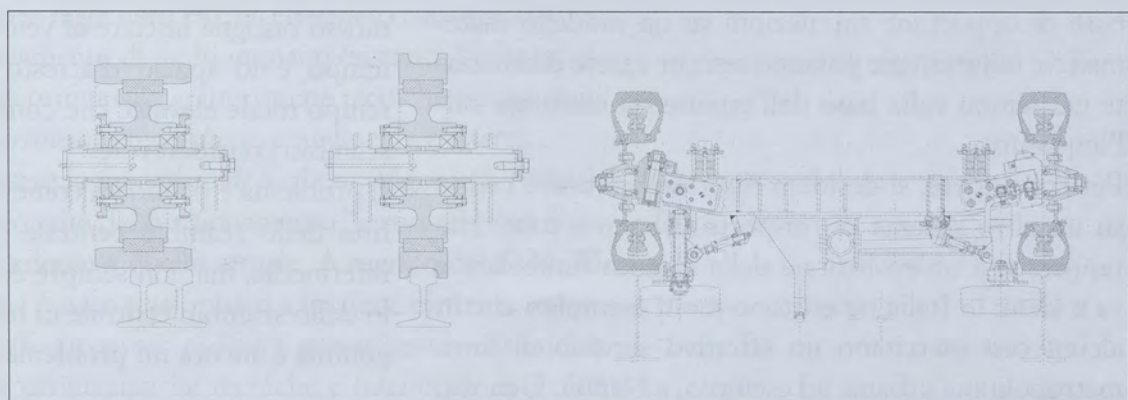


Figura 7. Il problema dello scambio: su ferro (a sinistra) e su gomma (a destra).

re ad un arresto dell'impianto, è sempre meglio un rallentamento preventivo, che consente di recuperare altro tempo senza perturbare troppo la spaziatura fra i veicoli.

La corretta spaziatura va comunque recuperata per garantire il funzionamento del sistema; per fare questo ci sono vari sistemi cui si fa cenno qui di seguito:

- il veicolo può tentare di recuperare la posizione anticipando di qualche secondo la partenza dalle stazioni successive;
- in alternativa, può essere ritardata di qualche secondo la partenza dei veicoli che seguono;
- è anche possibile rallentare per qualche secondo il sistema e "forzare" l'accelerazione o il rallentamento del veicolo: di regola le accelerazioni e decelerazioni in stazione sono "a spazio costante" quindi il grado di accelerazione diminuisce con la velocità del sistema; l'accelerazione forzata consiste invece nell'adottare l'accelerazione massima anche con impianto rallentato, recuperando così diversi secondi;
- come nelle telecabine, la spaziatura viene poi corretta definitivamente nelle stazioni terminali, dove esiste una posizione di attesa che costituisce un "polmone" in grado di recuperare oltre 30 secondi di ritardo.

Le sequenze sono naturalmente gestite da un apposito software: le strategie d'intervento per il recupero dei ritardi tengono conto in tempo reale della situazione dell'impianto e sono state messe a punto sulla base di opportune simulazioni su un modello matematico; tali strategie possono sempre essere ottimizzate nel tempo sulla base dell'esperienza maturata sull'impianto.

Per concludere, si desidera riportare un breve cenno su un altro sistema di trasporto urbano a fune, che rappresenta un'evoluzione della classica funicolare a va e vieni: in Italia ne esistono molti esemplari che in alcuni casi esercitano un effettivo servizio di linea metropolitana urbana; ad esempio, a Napoli, Genova, Bergamo, Catanzaro.

La tecnologia è in generale simile a quella delle funicolari, ma con una differenza importante; infatti, nel trasporto urbano si rincorre oggi anche la silenziosità, quindi si impone, almeno negli impianti che si definiscono moderni, il trasporto su gomma; questo pone problemi nuovi per quello che riguarda lo scambio centrale (sappiamo che le funicolari hanno di regola una sola via di corsa con scambio centrale per l'incrocio dei veicoli).

I nostri bisnonni che hanno inventato le funicolari hanno creato un sistema di scambio molto ingegnoso, che consente di non aver nessun elemento mobile; si può vedere dalla Figura 7 che solo la ruota esterna, con doppio bordino, funge da guida, mentre la ruota interna è piatta e larga, ed affiancando due rotaie può superare le discontinuità; ma questo è possibile perché la guida laterale è fornita da un semplice bordino in ferro. Con la gomma questo non è possibile: la guida laterale è fornita da un'altra ruota orizzontale in gomma di notevole ingombro; in pratica, con ruote in gomma non è facile concepire uno scambio senza elementi mobili.

L'ago mobile costituisce un problema innanzitutto perché va alimentato; ma questo non è cosa grave perché qualcosa da alimentare lungo la linea c'è sempre (ad esempio, l'illuminazione). Il problema vero è quello del tempo necessario per la manovra: infatti, tutte le volte che c'è qualcosa d'automatico che si muove, non basta muoverlo: bisogna poi controllare che si sia mosso davvero, e nel caso che non si fosse mosso bisogna lasciare al veicolo che sopraggiunge il tempo e lo spazio d'arresto. Questo porta ad un tempo totale elevato, che comporta una lunghezza di scambio considerevole.

Il problema è risolto se, come spesso accade, si approfitta dello scambio centrale per avere una stazione intermedia, ma non sempre è così. In definitiva quello dello scambio centrale in un sistema a va e vieni su gomma è ancora un problema aperto.

Ferruccio Levi, ingegnere, ACIF, Milano.

L'innovazione negli impianti a fune per lo sviluppo turistico di zone urbane collinari: il caso Genova

ALBERTO BAUDÀ, MARIA GRAZIA VIGNOLO, ANNALISA NORDIO

L'obiettivo è quello di comprendere come i sistemi di trasporto a fune, in particolare funicolari ed ascensori, consentano uno sviluppo turistico collinare garantendo una mobilità urbana "sostenibile".

L'innovazione è rappresentata dal fine con cui vengono impiegati i sistemi alternativi: *lo sviluppo turistico collinare*, un aspetto che viene considerato raramente nei giusti termini. Per fare ciò si è deciso di analizzare l'esperienza passata e recente di Genova, una città cosiddetta "in salita", a causa della particolare conformazione geomorfologica del territorio, e di quantificare costi e benefici di uno dei progetti genovesi più recenti, evidenziando gli elementi strettamente connessi con il turismo collinare. Genova è una delle città col maggior numero di impianti a fune per il trasporto pubblico di persone: attualmente gli impianti di risalita che collegano la parte bassa dell'abitato con le zone collinari sono costituiti da due funicolari, dieci ascensori a doppia cabina, una ferrovia a cremagliera. Questi impianti permettono di abbreviare notevolmente i tempi di accesso alle zone raggiunte, contribuendo a limitare il traffico veicolare privato e pubblico sulle strade della circonvallazione a monte. E infatti l'AMT (Azienda Mobilità e Trasporti S.p.A.) di Genova, fra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90, ha effettuato consistenti investimenti per l'ammodernamento di molti impianti esistenti. Nella tabella 1 vengono riportate le principali caratteristiche tecniche e funzionali delle *funicolari* e della *ferrovia a cremagliera*, attualmente esistenti.

Degna di nota risulta essere la *funicolare di S. Anna* (Figura 1), costruita nel 1901, per la particolarità del funzionamento "a contrappeso d'acqua" dell'impianto precedente a quello attuale. A seguito del D.M. 13 novembre 1975 il sistema è stato trasformato a trazione elettrica.

Per quanto riguarda gli *ascensori pubblici* attualmente esistenti a Genova, si riportano le caratteristiche tecniche e funzionali di alcuni di essi (Tabella 2).

Una nota particolare merita l'ascensore di Piazza Portello-Castelletto, primo impianto genovese costruito nel 1909 ed oggi completamente ristrutturato, che collega, con un dislivello di 57 metri, Piazza Portello, nel pieno centro urbano, con il panoramico Belvedere Montaldo, in Circonvallazione a monte. Ad oggi, l'A.M.T. di Genova sta sviluppando studi e progetti di nuovi impianti. Le proposte sono sostenute anche dall'evento "Genova: Capitale Europea della Cultura 2004".

Sono attualmente in fase di progetto o di appalto gli ascensori elencati nella Tabella 3.

Un impianto interessante risulta essere l'*ascensore di Montegalletto*. Il

Funicolari-Ferrovia	S.Anna - P.zza Portello	Zecca - Righi	Principe – Granarolo
<i>Descrizione della via di corsa</i>	Funicolare a va e vieni. Rotaie da 36 kg/m su traversine in legno e massiciata ferroviaria	Funicolare classica con 2 vetture a doppia cassa. Rotaie da 50 kg/m su traverse in ferro e platea di ca. armato	Ferrovia a cremagliera, binario unico con scambio fisso centrale. Rotaie da 36 kg/m su traverse e massiciata ferroviaria
<i>Anno di costruzione</i>	1901	1901	1901
<i>Anno di ammodernamento</i>	1980	1989	-
<i>Ditta costruttrice</i>	AGUDIO	AGUDIO - ANSALDO	ANSALDO
<i>Lunghezza linea</i>	357 m	1.428 m	1.136 m
<i>n° corse/anno (anno 1999)</i>	125.626	34.142	24.835
<i>Capienza vetture</i>	30 persone	150 persone	45 persone/vettura
<i>Velocità [m/s]</i>	4 m/s	6 m/s	1,94 m/s
<i>Portata oraria max</i>	600 persone/ora (in un senso)	850 persone/ora (in un senso)	250 persone/ora
<i>Dislivello</i>	54,18 m	278 m	194 m
<i>Pendenza max e media</i>	max 17% media 15,33%	max 35% media 19,91%	max 21,4% media 16%
<i>Peso vetture</i>	5.800 kg a vuoto 8.150 kg a carico	16.500 kg a vuoto 27.500 a carico	-
<i>Tipo di motorizzazione e potenza</i>	motore a c.c. con convertitore statico - potenza 42 kW	motore a c.c. con convertitore statico - potenza motore principale e di riserva 458 kW	2 motori per ogni vettura a c.c. 500 V - potenza 36 kW ciascuno (600 giri/min)
<i>Organo di trazione</i>	fune di diametro 18 mm, senza fune zavorra	fune di diametro 42 mm, con fune zavorra da 24 mm	8 funi di diametro 13 mm

Tabella 1. Caratteristiche tecniche e funzionali delle 2 funicolari e della ferrovia a cremagliera presenti attualmente a Genova.

Ascensori	P.zza Portello -Castelletto	Piazza Manin – Via Contardo	C.so Magenta – Via Crocco
<i>Descrizione impianto</i>	Doppio ascensore con lo stesso schema di funzionamento	2 ascensori separati con lo stesso schema di funzionamento	Doppio ascensore con lo stesso schema di funzionamento
<i>Anno di costruzione</i>	1909	1930	1933
<i>Anno di ammodernamento</i>	1979-1989	1982-1989	1982-1989
<i>Ditta costruttrice</i>	STIGLER OTIS	STIGLER OTIS	OTIS
<i>Lunghezza corsa [m] – n° fermate</i>	57 m	32 m	49 m
<i>n° corse/anno (anno 1999)</i>	312.517	292.586	277.404
<i>Capienza vetture</i>	25 persone	15 persone	30 persone
<i>Velocità [m/s]</i>	1,8 m/s	1,8 m/s	1,8 m/s
<i>Portata oraria max</i>	1.400 persone/ora	1.400 persone/ora	1.600 persone/ora
<i>Macchina: ubicazione e potenza</i>	Ubicazione in alto con puleggia di frizione – motore in c.c. -potenza 27,5 kW	Ubicazione in basso con puleggia di frizione – motore in c.a. con regolazione di velocità-potenza 25 kW	Ubicazione in alto con puleggia di frizione – motore in c.c. con convertitore statico-potenza 27,5 kW
<i>Numero funi e loro diametro</i>	8 funi di diametro 16 mm	6 funi di diametro 13 mm	10 funi di diametro 16 mm
<i>Catene o funi di compensazione</i>	Catene di compensazione	Catene di compensazione	Catene di compensazione

Tabella 2. Caratteristiche tecniche e funzionali di alcuni ascensori pubblici presenti attualmente a Genova.

Ascensori	Via Balbi - C.so Dogali (“Montegalletto”)	Via Pinetti – Via Fontanarossa (Quezzi)	Via Somma – San Rocco (S. Ilario)	Via Bobbio – Via Burlando
<i>Lunghezza corsa [m]</i>	238 m (orizzontale) + 69 m (verticale)	141 m	317 m	82 m
<i>Capienza vetture</i>	24 persone	30 persone	20 persone	15 persone
<i>Portata oraria max (in un senso)</i>	520 persone/ora	560 persone/ora	160 persone/ora	240 persone/ora
<i>Pendenza (%)</i>	-	60,8	50,8	-

Tabella 3. Alcune caratteristiche tecniche degli ascensori pubblici attualmente in fase di progetto o di appalto a Genova.

sistema scelto, che collega la zona della stazione Principe con la viabilità della Circonvallazione a Monte, è un “ascensore orizzontale” che raggiungerebbe una “culla” dalla quale avverrebbe poi la salita (“ascensore verticale”). Sono previste due cabine di dimensione 2,75 _ 1,55 m con un tempo medio di viaggio di 2’ 26”. Il funzionamento del sistema è il seguente: la cabina viene trainata in orizzontale, tra-



Figura 1. Funicolare di S. Anna – Vecchio impianto.

mite una morsa disinseribile, da una fune chiusa ad anello. Giunta nel camerone in fondo alla galleria, la cabina apre la morsa e si disaccoppia dalla fune, per essere condotta, a bassa velocità tramite coppie di ruote gommate, fin dentro l'elevatore, dove viene bloccata in posizione corretta. È tutto totalmente automatizzato ed impresenziato, con sorveglianza e diagnostica remota. La manovra dell'elevatore è analoga a quella di un normale ascensore, mentre l'impianto orizzontale, pur valendosi della tecnica propria delle funicolari, ha il vantaggio che, essendo sviluppato pressoché in piano, si riducono drasticamente i problemi connessi con la sicurezza di esercizio (frenatura, controllo di posizione).

Un recente progetto di impianto a fune sostenuto dall'A.M.T., di particolare importanza e rilevanza economica, è quello relativo al *Parco dei Forti* di Genova, un grande patrimonio storico, architettonico e naturalistico. La funzione del progetto è prevalentemente di tipo turistico.

L'AMT, corrispondendo ai principi della corretta progettazione urbana per cui ogni elemento nuovo della mobilità deve risultare *coerente* ed *integrato* con l'esistente, ha redatto per l'intero territorio del Comune di Genova le cosiddette *Carte di analisi* (Figure 2 e 3), quale strumento di Pianificazione dei Trasporti che, attraverso lo studio del territorio, individua gli impianti di trasporto in sede fissa esistenti, la mobilità all'interno del territorio comunale, i percorsi principali di traffico pubblico e privato. La mappatura, costruita in CAD assegnando layer diversi a seconda del tema trattato, permette una *lettura a strati* del territorio rappresentando in tal modo uno strumento in grado di rendere leggibili e confrontabili tutti gli elementi della mobilità urbana sia esistente che di previsione. I temi affrontati sono: infrastrutture veicolari, infrastrutture ferroviarie e metropolitane, trasporto pubblico su gomma, percorsi pedonali, impianti in sede fissa. In quest'ultimo tema rientrano tutti i siste-

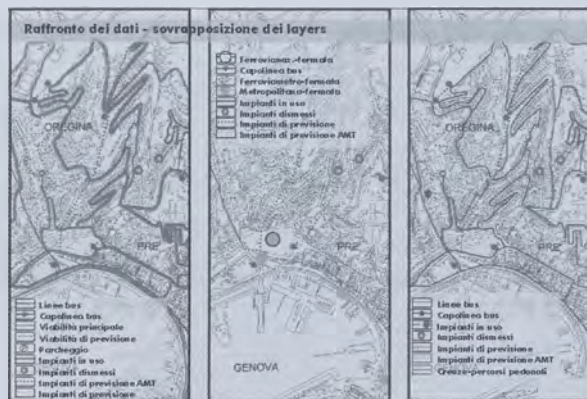


Figura 2. Stralcio delle Carte di Analisi A.M.T. - Livelli di lettura.

mi di trasporto alternativo.

Lo studio per individuare, sulla base delle informazioni ricavabili dalle Carte di Analisi, il miglior sistema di trasporto pubblico in grado di collegare i Forti principali tra loro e con la viabilità principale è stato affidato dalla A.M.T. alla Dimensione Ingegnerie S.r.l.. Si premette che le mura appartenenti al Parco, sulle colline alle spalle della città (876 ettari), sono, nel complesso, lunghe 19 km, a forma di V aperta verso il mare, e comprendono 16 forti e 85 bastioni. I Forti Diamante, i due Fratelli, Puin, Sperone, Begato, Castellaccio, Tenaglia, Crocetta, costruiti tra il XVIII ed il XIX secolo, rappresentano uno dei sistemi fortificati più vasti d'Europa (Figura 4). Il tutto è inserito in un ambiente naturale incontaminato, caratterizzato da ecosistemi integrati tra loro (bosco, prateria, macchia mediterranea), ricchi di 900 specie di piante, e da una fauna protetta di mammiferi e rapaci.

Nel 1993, dopo anni di abbandono, hanno avuto inizio i lavori di restauro e valorizzazione, grazie alla collaborazione del Comune e della Provincia di Genova. In particolare, i principali obiettivi del progetto sono: agevolare il raggiungimento del restaurato Forte Begato, che sarà sede di esposizioni, spettacoli e manifestazioni; consentire il raggiungimento di Forte Sperone; facilitare l'accesso agli itinerari pedonali della collina; prevedere una futura estensione verso il Forte Diamante e gli altri Forti circostanti riducendo al minimo l'impatto ambientale.

Tra le varie soluzioni, lo studio ha portato a scegliere l'utilizzo di: *funicolare terrestre* più *ascensore inclinato per i collegamenti brevi*. Le motivazioni della scelta sono: assenza di inquinamento atmosferico; inquinamento acustico limitato; le vie di corsa, di tracciato assai flessibile, possono essere posate a livello del terreno, come per le costruzioni ferroviarie, o supportate da strutture metalliche o in calcestruzzo per il sorvolo di strade, fiumi o zone ristrette, senza intaccare il disegno urbano; nel caso di forti pendenze esistono

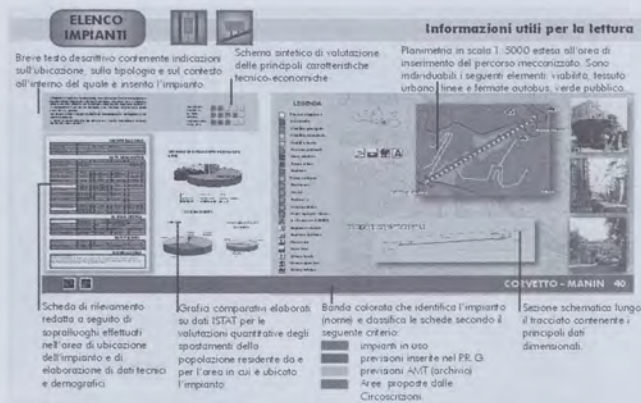


Figura 3. Stralcio delle Carte di Analisi A.M.T. – Informazioni raccolte.

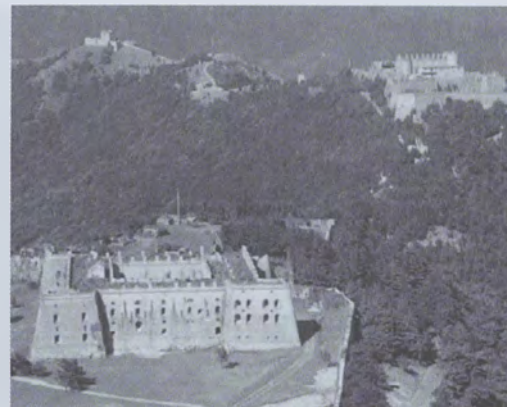


Figura 4. Veduta aerea del Parco dei Forti.

scompartimenti a gradoni o disarticolati con pavimenti autolivellanti; automatizzazione del sistema.

Due fra i sistemi presi in considerazione sono: *MiniMetro* della Società Leitner e *Poma2000* realizzato dalla Poma, entrambi in grado di raggiungere portate molto alte, come 8-10.000 persone/ora.

Il *MiniMetro* un sistema molto flessibile, completamente automatizzato per il trasporto di passeggeri su tratti medio-brevi, consente di superare pendenze fino al 12%, con possibilità di sopraelevazione delle linee. Il sistema viaggia su una propria via di corsa ed è disponibile in due varianti, con sistema di aggancio automatico o fisso alla fune traente. Il sistema di convogli modulari consente di correlarne le dimensioni in funzione delle effettive necessità di portata. Il sistema di aggancio fisso alla fune può essere realizzato con due veicoli, binario unico e zona di scambio centrale (analogo alla funicolare classica) o con doppia via di corsa per l'andata ed il ritorno. Il sistema ad aggancio automatico è invece costituito da una serie di vagonetti che si agganciano alla fune di trazione e, in analogia con gli impianti aerei, nelle stazioni vengono sganciati e movimentati da un sistema indipendente. Il tracciato è previsto con doppio binario, uno per ogni direzione e nelle stazioni viene invertito il senso di marcia mediante una piattaforma girevole. Il vantaggio è costituito dalla possibilità di realizzare tratte successive tra loro svincolate che però, per garantire alte portate, non possono essere superiori a 1.500 metri di lunghezza.

Il *Poma2000* è un sistema di trazione con funi di tipo discontinuo. In base alla distanza da percorrere, più anelli di fune possono essere disposti in serie e le vetture possono passare da un anello all'altro grazie ad una morsa mobile specifica per questo sistema. Le vetture, mediamente appoggiate su pneumatici, circolano su una via di corsa realizzata su un profilato metallico ed hanno le stesse caratteristiche di scorrimento e

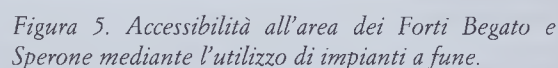
di guida dei sistemi metropolitani su gomma, anche se l'assenza dei motori di bordo consente di avere veicoli piccoli e leggeri e conseguenti vie di corsa di limitato peso. La linea può essere realizzata con vie di corsa singole con scambio centrale o con tratte a via di corsa doppia, rendendo molto flessibile il servizio e potendolo anche dimensionare in modo diverso all'interno delle diverse tratte. In ogni stazione, dopo l'arrivo e l'arresto del treno, le vetture si sganciano da un anello e si agganciano ad un nuovo anello trattivo per continuare la loro corsa, nello stesso senso di marcia se si tratta di una stazione intermedia o in senso contrario se si tratta di una stazione terminale. La velocità dei treni, coincidente con la velocità di scorrimento di ogni anello di fune, viene impostata in funzione della singola tratta in modo che i tempi di percorrenza sommati ai tempi di sosta, siano tra loro compatibili. Ciò permette di assicurare il sincronismo indispensabile per avere soltanto un treno su ogni anello e permettere l'incrocio dei veicoli nella zona predisposta.

In particolare, sono risultati più rispondenti alle esigenze, i seguenti impianti:

- Funicolare terrestre Granarolo – Forte Begato;
- Funicolare terrestre Righi – Forte Begato.

Il progetto sul Parco dei Forti che culmina nella parte centrale del territorio con Forte Begato, prevede di ubicare la stazione più importante a valle della strada principale dando accesso al fortilizio mediante scale mobili ed ascensori. Per il collegamento con il Forte Sperone è prevista l'installazione di un ascensore inclinato di lunghezza 200 m circa e dislivello 100 m, con una sola cabina da 20 posti che consentirà di realizzare una portata di salita di circa 250 persone/ora. Nella Figura 5 si può osservare come cambierà l'accessibilità dell'area dopo l'ultimazione dei vari impianti a fune. In essa si può osservare anche una delle ipotesi iniziali, scartata per problemi tecnici e di costo: l'utilizzo di impianti di tipo aereo.

Per il calcolo economico delle due funicolari (Righi-Begato e Granarolo-Begato), si è considerata una vita utile degli impianti di 30 anni, contro una vita tecnica di 60 anni. Considerando un tasso di attualizzazione r tra il 3% ed il 7% si è ottenuto:



r = 3%	V.A.N. = 47,44 milioni di Euro
r = 5%	V.A.N. = 45,72 milioni di Euro
r = 7%	V.A.N. = 44,16 milioni di Euro

C. In generale, si ritiene che le linee guida per un rilancio del trasporto tramite ascensori, funicolari, ecc., siano legate ad un miglior uso degli impianti esistenti, ad un recupero di eventuali infrastrutture presenti sul territorio, ad una pianificazione complessiva che individui opportunità per la realizzazione di nuovi impianti.

Annalisa Nordio, ingegnere presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Genova, Dipartimento DIMSET - Sezione Trasporti, Genova.

Sistema di trasporto al servizio del Parco dei Forti			
Studio preliminare di linea			
Progetto:		Granarolo - Forte Begato (2)	
DATI		RISULTATI	
LINEA		LINEA	
Lunghezza di cablo	1.453 m	Lunghezza fune	3005 m
Dislivello	737 m	Ruli di linea	689
Lunghezza tratti in curva	553 m	Ruli di linea dritti	300
Deviazione fune totale	78 gradi	Ruli di linea curvi	389
Interasse ruli linea	6 m	Argano con contropuleggia?	no
Interasse ruli in curva	3 m	Carico di rottura fune	701 kN
Interasse medio ruli (+/- 10%)	4,9	Peso fune trascinata	3,21 kg/m
Verifica ruli	Soddisfatta		
Numero vie di corsa		VERIFICHE	
Diámetro fune	30 mm	Avvolgimento puleggia motrice	151 gradi
Tiro nominale a valle	120.000 N	Grado di sicurezza fune	6,73
VEICOLI		Forza motrice	61,5 kW
Numero treni di veicoli	2	PRESTAZIONI	
Numero veicoli per treno	2	Velocità commerciale (esclusi T attesa)	23,6 km/h
Passeggeri per veicolo	50	Velocità commerciale (inclusi T attesa)	20,4 km/h
STAZIONI		Tempo di percorrenza (esclusi T attesa)	3,69 "
Stazione motrice	1	Tempo di percorrenza (inclusi T attesa)	4,26 "
Stazione di arrivo	1	Tempo di ciclo	8,55 "
Stazioni intermedie	0	Numero di cicli/ora	7,01
PARAMETRI CINEMATICI		Frequenza partenze	4,26 "
Velocità di linea	8 m/s	Tempo di attesa medio	2,14 "
Velocità in stazione	0 m/s	Portata	1.401 p.p.h.p.d.
Accelerazioni media in stat.	0,20 m/s ²	Potenza installata	
Tempo imbarco/scarico	30 s	320 kW	
Tempo apertura/chiusura porte	5 s		

Tabella 4. Scheda tecnica linea Granarolo - Forte Begato.

Sistema di trasporto al servizio del Parco dei Forti			
Studio di fattibilità: analisi costi di costruzione (in milioni di Euro)			
Progetto:	Righi-Forte Begato 3-3b	Granarolo-Begato 2-2a	
Armamento	4,028	2,324	
Opere civili via di corsa	1,91	1,084	
Linea aerea per presa di corrente	0,724	0,464	
Impianto di illuminazione e telecamere	0,826	0,516	
Regolamentazione accessi, tornelli, transenne, barriere per disabili, porte di banchina	1,446	0,724	
Argano completo di apparecchiature elettriche	2,58	2,272	
Struttura di rinvio e tensione	0,516	0,516	
Fune	0,672	0,414	
Veicoli	2,48	1,652	
Opere civili di stazione (motrice + fenditrice)	4,132	4,132	
Opere civili di stazione (intermedie)	2,066	-	
Ascensore inclinato completo	1,24	-	
Opere speciali, gallerie e vadiotti	6,2	3,082	
TOTALE	28,820	17,18	

Tabella 5. Analisi dei costi di costruzione.

Sistema di trasporto al servizio del Parco dei Forti			
Studio di fattibilità: analisi costi di gestione (in milioni diEuro)			
Progetto:	Righi-Forte Begato 3-3b	Granarolo-Begato 2-2a	
Personale di esercizio diretto	0,181	0,181	
Altro personale di esercizio	0,310	0,258	
Manodopera per manutenzione	0,387	0,336	
Materiali per manutenzione	0,155	0,103	
Energia elettrica	0,077	0,052	
Altro	0,052	0,026	
TOTALE	1,162	0,956	

Tabella 6. Analisi dei costi di gestione.

BENEFICI	RISULTATI euro/anno medio
Entrate per la tariffa del trasporto funicolare (hp.: tariffa di 1 euro ≡ tariffa bus a Genova)	438.000
Entrate per lo sviluppo turistico (hp.: Il 20% delle entrate copre gli impianti)	876.000
Risparmio di tempo rispetto al trasporto su strada (bus+privato) (risparmio di tempo per 2 spostamenti a/r = 7,3 minuti)	692.770
Riduzione del n° di incidenti/morti/feriti rispetto al trasporto su strada (costo medio per decesso/ferimento/incidente su strada collinare = 0,09 euro/km à da metodologia sperimentale)	142.898
Riduzione del confort (teoria francese: costo carenza confort = 0,10 euro per ogni (bus x km) e 0,02 euro per ogni (auto x km))	82.563
Minore uso delle infrastrutture stradali esistenti (hp.: costo del rinnovo del manto stradale per unità di traffico = 0,02 euro / (veicoli pesanti x km)	12.702
TOTALE BENEFICI	2.244.933

Tabella 7. Analisi dei benefici.

Gli impianti a fune nel contesto dell'evento olimpico del 2006

ELIO PEROTTO

A) Premessa

Le Olimpiadi "Torino 2006" sono, per il settore turistico montano, una grande opportunità di rinnovamento e di adeguamento del prodotto sci agli standard migliori del mercato.

Impianti di risalita, piste, innevamenti vengono potenziati ed ammodernati con finalità precise all'evento e con grande attenzione all'eredità post-olimpica per rilanciare il settore anche a seguito della vetrina che i giochi olimpici offriranno. Come noto, il settore attiva un indotto importante, ora nella fase di realizzazione per gli interventi migliorativi degli impianti e, successivamente, nella gestione delle attività ricettive e logistiche.

B) Interventi nei siti di gara

Esaminando in maniera puntuale i siti di gara risultano i seguenti interventi.

B.1) Sestriere

A Sestriere vengono rimodellate le piste dello Slalom Speciale e Gigante M e F (lunghezza pista 1600 m, dislivello 580 m, pendenza media 36,25%, area intervento 14.151 m²), e della pista della Libera e Super G Maschile (lunghezza pista 3045 m, dislivello 910 m, pendenza media 30%, area intervento 261.000 m²).

Per l'innnevamento programmato vengono realizzati due bacini: "Lago Golf" (quota 2036 m s.l.m., capacità d'invaso 30.000 m³), "Anfiteatro" (quota 2100 m s.l.m., capacità d'invaso 40.000 m³); viene inoltre potenziato l'acquedotto del Ripa (quota presa 1750 m s.l.m., lunghezza linea adduzione 4573 m, portata 60 l/s), e vengono realizzate le linee di innevamento (lunghezza nuove linee 9600 m, superficie totale da innevare 209.850 m²).

Per quanto riguarda gli impianti di risalita, viene sostituita la seggiovia "Trebials", che era triposto ad ammorsamento fisso, con una a 4 posti ad ammorsamento automatico (lunghezza sviluppata 1508,83 m, dislivello 266 m, pendenza media 18%, portata 2400 p/h); si passa così da 1400 p/h a 2400 p/h, risolvendo l'annoso problema del collegamento tra Borgata Sestriere e Sestriere dove le code creavano disservizi.

Al colle di Sestriere viene sostituita la sciovia "Garnel" con l'omonima

seggiovia 4 posti fissa “Nuovo Garnel” (lunghezza sviluppata 1147,38 m, dislivello 298 m, pendenza media 27,19%, portata 2400 p/h) che, con la realizzazione di un tunnel sotto la pista di Slalom Gigante, permetterà di migliorare il flusso verso le discipline veloci.

Viene infine realizzata la Telecabina “Sestriere-Fraiteve” (lunghezza sviluppata 2300,08 m, dislivello 625,13 m, pendenza media 28,45%, portata 1790 p/h), che migliorerà il collegamento con San Sicario e permetterà durante l’evento il trasporto delle atlete alla partenza della pista della Libera e Super G Femminile.

B.2) Cesana Torinese - San Sicario

A San Sicario di Cesana viene realizzata la nuova pista *Down Hill Woman* (lunghezza pista 3135 m, dislivello 850 m, pendenza media 27%, area intervento 162.810 m₂), con relativo impianto di innevamento, costituito da due bacini: “Italsider” (quota 1671,6 m s.l.m. capacità d’invaso 31.100 m³) e bacino “Rougies” (quota 2045,4 m s.l.m., capacità d’invaso 25.770 m³) con uno sviluppo di 12.500 m di nuove linee di innevamento e 455.250 m² di superficie da innevare.

Per quanto riguarda gli impianti di risalita, vengono sostituiti i due *baby* che interferivano con la Pista DHW, con una seggiovia 4 posti fissa (“Baby Sansicario” lunghezza sviluppata 550,69 m, dislivello 112,70 m, pendenza media 21,2%, portata 1790 p/h), e la sciovia Fraiteve 1 con una seggiovia 4 posti ad ammorsamento automatico “Sky Lodge-La Sellette” (lunghezza sviluppata 2019,96 m, dislivello 527 m, pendenza media 27,11%, portata 2400 p/h). Inoltre, nella parte alta, viene sostituita la sciovia Fraiteve con due nuove sciovie (“Fraiteve 3”, lunghezza sviluppata 1068,08 m, dislivello 257,25 m, pendenza media 25%, portata 1800 p/h) per garantire il collegamento con la cima Fraiteve.

Nella zona della Colonia Italsider, viene realizzata la pista per le gare di Biathlon, formata da quattro anelli rispettivamente di 2-2,5-3-4 Km e da un poligono di tiro di 50 m di lunghezza con 32 corsie di tiro; la Colonia viene trasformata in una struttura ricettiva sia per il periodo olimpico che per quello post olimpico. Nelle immediate vicinanze, in zona Pariol, viene realizzata la pista di bob, slittino e skeleton. La lunghezza della pista (tratto di gara) è di 1435 m, dislivello 125 m, curve 19, pendenza media 9,2%.

B.3) Claviere e Cesana – Sagnalonga

A Claviere e Cesana Sagnalonga vengono realizzati

due bacini: “Sagnalonga” (quota 2001,7 m s.l.m., capacità d’invaso 7.250 m³) e bacino “La Coche” (quota 1921,8 m s.l.m., capacità d’invaso 29.500 m³), che per vasi comunicanti alimenteranno anche l’area San Sicario e tutto il sistema di innevamento dell’area Serra Granet-Colle Bercia (lunghezza nuove linee 5200 m, superficie da innevare 20.800 m²).

Per quanto riguarda gli impianti di risalita, le sciovie Serra Granet 1 e 2 vengono sostituite da una moderna seggiovia a 4 posti in curva ad ammorsamento automatico, “La Coche-Serra Granet-Colle Bercia” (lunghezza sviluppata 1877,81 m, dislivello 388,20 m, pendenza media 21,36%, portata 2400 p/h.).

B.4) Bardonecchia

A Bardonecchia viene realizzato l’Half-Pipe per lo svolgimento delle gare di Snowboard (lunghezza pista 130 m, dislivello 46 m, pendenza media 17%) e sistemata la pista 23. Per garantire l’innnevamento, viene costruito un bacino in località “Plana” (quota 1357 m s.l.m., capacità d’invaso 13.000 m³) e si potenziano le linee di innevamento (lunghezza nuove linee 5975 m, superficie totale da innevare 312.160 m²).

Per quanto riguarda gli impianti di risalita vengono sostituiti gli impianti “Melezet-Chesal” e “Melezet-Etarpà” con una seggiovia a 4 posti ad ammorsamento automatico e stazione intermedia (“Melezet-Etarpà-Chesal” lunghezza sviluppata 1562,05 m, dislivello 452 m, pendenza media 30,91%, portata 2400 p/h). La sciovia “Chesal-Selletta 1” lascia il posto ad una seggiovia 2 posti fissa, “Chesal-Selletta” (lunghezza sviluppata 1287,06 m, dislivello 375,38 m, pendenza media 30,49%, portata 1200 p/h). Viene pure sostituita l’ormai obsoleta seggiovia “Pra Raymond” con una seggiovia 4 posti fissa (lunghezza sviluppata 1347,23 m, dislivello 377,3 m, pendenza media 29,67%, portata 2324 p/h).

B.5) Sauze d’Oulx

A Sauze d’Oulx, sede del *Free-style*, viene realizzato un nuovo sito con 2 piste: “Moguls” (lunghezza pista 225,65 m, dislivello 98,63 m) ed “Aerials” (lunghezza pista 115 m, dislivello 43,41 m), con sciovia di servizio alle piste. L’innnevamento è garantito dall’impianto “Clotes” con il bacino “Pian della Rocca” (quota 2055 m s.l.m., capacità d’invaso 26.600 m³).

Per quanto riguarda gli impianti di risalita viene sostituita la seggiovia “Clotes” con una seggiovia a 4 posti fissa “Nuova Sauze d’Oulx-Clotes” (lunghezza sviluppata 849,60 m, dislivello 188,3 m, pendenza media 23,23%, portata 2032 p/h).

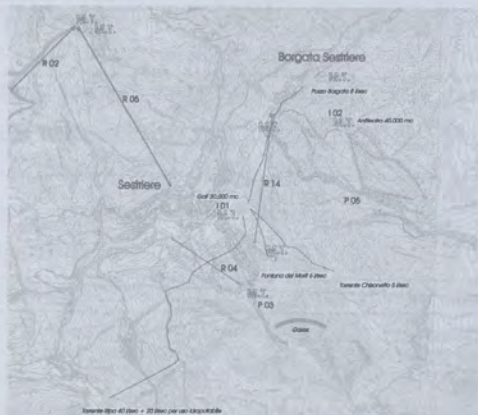
SESTRIERE

R02:
SCIOVIA A
LINEA DOPPIA
Fraiteve 3

R05:
TELECABINA
Sestriere
Fraiteve

R14:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Trebials

R04:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Nuovo Garnel



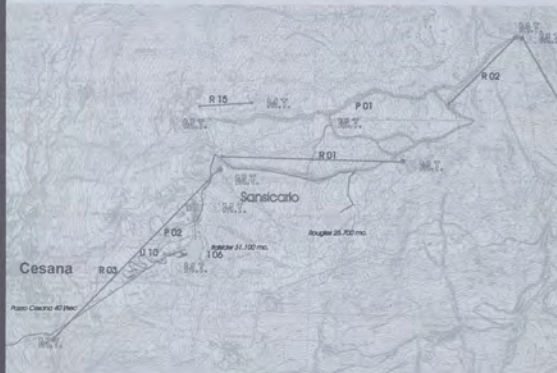
CESANA – SAN SICARIO

R03:
TELECABINA
8 POSTI CON
STAZIONE
INTERMEDIA
Cesana-Ski Lodge

R15:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
"Baby Sansicario"

R02:
SCIOVIA A LINEA
DOPPIA
Fraiteve 3

R01:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Ski Lodge - la
Sellette

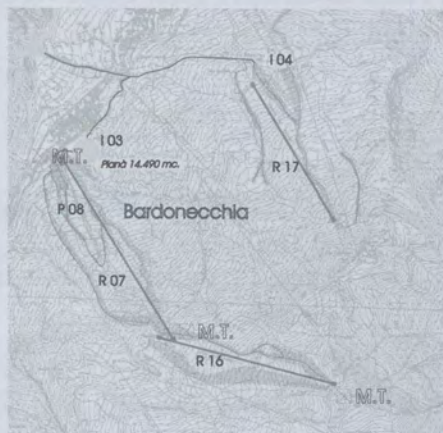


BARDONECCHIA

R17:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Pra Raymond

R07:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Melezet Etarpà
Chesal

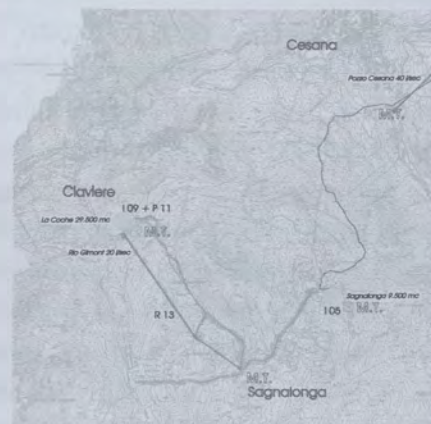
R16:
SEGGIOVIA
BIPOSTO
Chesal Selletta



CLAVIERE – SAGNALONGA – CESANA

R13:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO

La Coche-Serra
Granet-Colle
Bercia



SAUZE D'OULX

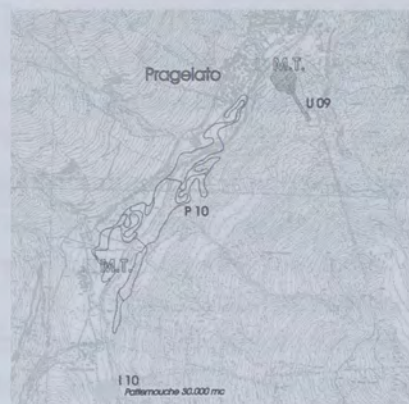
R09:
SEGGIOVIA
QUADRIPOSTO
Area Clotes



PRAGELATO

P10:
PISTA DI
FONDO

U09:
TRAMPOLINI



FUNE		PORTANTI (n. 2+2)	TRAENTE	PORTANTE CENTRALE
TIPO		CHIUSA FATZER VV1	QS 816 V Teufelberger	ERCOLE
FORMAZIONE		1+60+32Z	SPECIALE PLASTIFICATA	12(6+1)+24+18+12+6+1
DIAMETRO FUNE	[mm]	42	20	28
NUMERO FILI	[n]	93	208 (strato esterno)	145
SEZIONE METALLICA	[mm²]	1140	220	400,90
MASSA LINEARE	[Kg/m]	9,50	1,89	3,41
CARICO SOMMA MIN.	[daN]	177000	36500 (di rottura)	71000

Tabella 1. Caratteristiche delle funi impiegate sull’impianto a fune Blondin per il cantiere dei “Trampolini” di Pragelato.

B.6) Pragelato

A Pragelato viene realizzata la pista di Fondo (lunghezza “anello rosso” 6000 m, lunghezza “anello giallo” 3800 m, dislivello massimo 72 m, pendenza massima 57%) e realizzato il bacino “Pattemouche” (quota 1850 m s.l.m., capacità d’invaso 30.000 m²) per garantire l’innevamento della pista e dell’impianto dei trampolini.

A Pragelato viene infatti realizzato l’impianto dei trampolini: due di gara (K 120 e K 95) e tre di allenamento (K 15, K 30, K 60). I due trampolini olimpici (K 120 e K 95) saranno dotati di una regolazione di 20 cm che permetterà una movimentazione di +10 cm e -10 cm in altezza del dente della pista di lancio.

Detto accorgimento renderà i trampolini di Pragelato i più avanzati tecnologicamente al mondo, con possibilità di seguire eventuali future innovazioni della normativa sportiva di settore senza onerosi interventi di rifacimento.

C) Trasporto a fune “Blondin” per il cantiere dei “Trampolini” di Pragelato

C.1) Premessa

L’organizzazione del cantiere per la costruzione dei trampolini di Pragelato ha dovuto affrontare, viste le particolari specificità di localizzazione dell’opera, una modalità di movimentazione dei materiali del tutto innovativa.

L’impianto, per ragioni di minimizzazione dell’impatto paesistico ambientale e di opportunità costruttiva, è stato “adagiato” sul versante nord della montagna di Pragelato con pendenze elevate.

Le molteplici attenzioni ambientali, di sicurezza e di vincolo temporale, da soddisfare in fase di cantierizzazione dell’opera oltre alla necessità di servire un’area particolarmente estesa e di difficile accessibilità,

hanno indirizzato la scelta di organizzazione della logistica e di movimentazione dei materiali su un innovativo sistema a fune di derivazione dai tradizionali sistemi a teleferica denominati “blondin”.

L’impianto, previsto fin dalla fase progettuale, è stato realizzato dalla ditta Seik KG/SAS di Troderna – San Lugano (Alto Adige) ed è stato ideato per coprire tutta l’area di cantiere sulla quale vengono costruiti i trampolini di gara (K 95 e K 120).

Tale area si estende per oltre 2 ettari con una larghezza di circa 50÷55 m ed una lunghezza superiore ai 400 m.

C.2) Descrizione tecnica dell’impianto

L’impianto funiviario è di tipo speciale ed è costituito da due vie di corsa parallele distanti tra loro 52 m e formate ciascuna da due funi portanti ad ancoraggio fisso con intervvia di 50 cm.

Gli ancoraggi di valle delle funi portanti di entrambe le linee sono formati da tamburi in cemento armato con fondazione ancorata a terra mediante idonee opere in profondità nel terreno. Alla stazione di monte le funi portanti, preventivamente dotate di “testa fusa”, sono ancorate ad una piastra in acciaio vincolata a terra mediante idonee opere in profondità nel terreno. La linea lato K120 ha due falconi di linea, quella lato K95 uno.

Una traversa costituita da una struttura a traliccio in acciaio è collegata a due carrelli correnti sulle doppie funi portanti delle due vie di corsa ai quali sono collegate le due funi traenti. La traversa ha sezione triangolare rovesciata di dimensione approssimativa 2,5 metri di base e 3,5 metri di altezza, pesa circa 8,5 tonnellate e può essere movimentata lungo la campata compresa tra gli ancoraggi di valle ed il primo falcone di linea azionando un argano ad alaggio con doppio motore elettrico di potenza pari a circa 40 x 2kW; l’argano è posto all’incirca al centro degli ancoraggi di monte.

Sulla traversa è montato un argano di sollevamento dotato di un sistema di corsa che interessa la trave per tutta la sua lunghezza. L'argano di sollevamento, dal peso di circa una tonnellata, è dotato di un motore elettrico Siemens asincrono trifase a 4 poli da 22,0 kW a 1460 giri, con freno elettromagnetico da 300 Nm ed un riduttore Brevini TNE 3000/28/FL350/PAM200 con rapporto di riduzione $i=1:28$ e freno lamellare negativo ad apertura idraulica; è in grado di sollevare un carico pari ad 8 tonnellate.

Una terza via di corsa, indicata con la dicitura di linea sostegno cavi, è stata realizzata tra le due linee principali ad una distanza di circa 8 m dalla linea lato K95. Tale linea è formata da una fune portante ancorata a valle ed a monte a due tamburi in cemento armato e da tre sostegni di linea. Ad essa è appeso, mediante 40 carrellini scorrevoli in grado di seguire i movimenti della traversa, il cavo di alimentazione dell'argano di sollevamento.

Il massimo carico gravante sulle funi portanti (peso della traversa compresi carrelli ed argano più carico utile) è pari a circa 17,5 tonnellate, valore che ha reso necessario l'impiego delle funi descritte in Tabella 1. L'argano è dotato di 2 motori elettrici asincroni trifase 4 poli tipo MA 160 M-FC da 40 kW ciascuno a 1500 giri collegati con un freno elettromagnetico da 450 Nm ed accoppiati a due riduttori Brevini ET 3600/MN/180 S46-C1 con rapporto di riduzione $i=1:186,3$.

L'impianto permette il sollevamento e lo scarico, in un qualsiasi punto dell'area rettangolare compresa lateralmente tra le due vie di corsa e longitudinalmente tra gli ancoraggi di valle ed i sostegni numero 1 delle due linee. L'area utile di lavoro raggiunge pertanto i 2 ettari di superficie.

I falconi di linea sono stati realizzati componendo più elementi modulari a traliccio uniti mediante apposite piastre di connessione che permettono l'assemblaggio di più elementi in pianta ed in altezza. I falconi sono incernierati alla base di blocco di fondazione e controventati all'estremità mediante idonee funi di ancoraggio. Un'apposita piastra permette il collegamento in testa della coppia di scarpe di alloggiamento delle funi portanti.

Poiché il carroponte deve poter essere utilizzato anche per la costruzione della torre ascensori dei

DATI GENERALI		
Intervista tra le due vie di corsa	52,0	m
Intervista tra le due funi di uno stesso ramo	0,50	m
Peso massimo della traversa completa di carrelli, a pieno carico	17500	daN
Peso massimo della traversa completa di carrelli, a carico massimo invernale	15350	daN
Velocità massima di corsa	2,0	m/s
Velocità minima garantita con pieno carico in salita	0,5	m/s
Potenza argano motore	40+40	kW
Potenza argano di sollevamento carico	22	kW
LINEA LATO K 95		
Quota terreno stazione a valle	1526,00	m
Quota terreno sostegno 1	1681,04	m
Quota stazione a monte	1700,34	m
Lunghezza orizzontale tra gli ancoraggi nelle stazioni	517,02	m
Dislivello tra le stazioni	174,34	m
Lunghezza inclinata della campata 1	451,05	m
Pendenza media campata 1	42,37	%
Numero dei sostegni di linea	1	
Tensione di posa fune portante	21000	daN
LINEA LATO K 120		
Quota stazione a valle	1524,50	m
Quota terreno sostegno 1	1655,46	m
Quota stazione a monte	1691,86	m
Lunghezza orizzontale tra gli ancoraggi nelle stazioni	576,92	m
Dislivello tra le stazioni	167,35	m
Lunghezza inclinata della campata 1	451,05	m
Pendenza media campata 1	42,37	%
Numero dei sostegni di linea	2	
Tensione di posa fune portante	21000	daN
LINEA AUSILIARIA CENTRALE		
Quota stazione a valle	1526,04	m
Quota stazione a monte	1701,58	m
Lunghezza orizzontale tra gli ancoraggi nelle stazioni	517,02	m
Dislivello tra le sezioni	175,54	m
Lunghezza inclinata della campana 1-2	462,91	m
Pendenza media della campata 1-2	43,27	%
Numero dei sostegni di linea	3	
Tensione di posa fune portante	9000	daN

Tabella 2. Caratteristiche dell'impianto a fune Blondin per il cantiere dei "Trampolini" di Pragelato.

trampolini, l'altezza dei falconi numero 1 è stata scelta in modo tale da garantire un franco minimo a pieno carico in corrispondenza della torre pari a 5 metri. Essendo il versante a monte dei trampolini in contropendenza, il falcone numero 1 della linea lato K120 risulta alto circa 48 metri, quello della linea lato K95 circa 26 metri. Per mantenere la fune della linea centrale ad un'altezza sempre maggiore della traversa, il falcone numero 1 di tale linea è alto circa 30 metri ed è posizionato più a monte.

In condizioni di fuori esercizio la traversa può essere "parcheeggiata" sia a valle sia a monte. In quest'ultimo caso, con la traversa posizionata a monte della torre ascensori dei trampolini l'impianto sportivo per il salto risulta agibile.

Nella Tabella 2 sono riassunte le caratteristiche principali dell'impianto.

Elio Perotto, architetto, direttore tecnico Infrastrutture viarie dell'Agenzia "Torino 2006" per lo svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali, Torino.

III parte

Prospettive del trasporto a percorso variabile

In questa terza parte sono riportate delle relazioni di aggiornamento delle memorie presentate nel corso del convegno “*Sistemi di trasporto a chiamata: metodi, algoritmi ed applicazioni*”, tenutosi il 12 maggio 2003 presso la Sala Consiglio di Facoltà del Politecnico di Torino; il convegno è stato organizzato dal Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili del Politecnico, con il supporto ed il patrocinio della SIDT (Società Italiana Docenti di Trasporti) e dell'Assessorato ai Trasporti della Regione Piemonte. Il convegno è stato realizzato con il contributo del MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca), sui fondi della legge 488/92 - Cluster 25 - progetto n. 8, “Controllo e gestione di flotte di veicoli e monitoraggio del traffico stradale”), in collaborazione con il Dipartimento di Automatica ed Informatica del Politecnico di Torino.

Da quanto è emerso nelle due sezioni precedenti, l'innovazione nella ricerca e relative applicazioni offrono oggi possibilità di soddisfare – almeno in parte – l'esigenza di una mobilità frequente mediante impianti di trasporto in sede riservata ad elevata automazione, per lo meno laddove esista una concentrazione di domanda, lungo il percorso o alle sue estremità, tale da giustificare la realizzazione. Dove tuttavia questo non sussista, quindi normalmente in aree a conurbazioni diffuse, le esigenze di mobilità attuali possono essere soddisfatte con sistemi e servizi di trasporto che si prestino ad una variazione del percorso e degli orari di servizio in base alle esigenze di mobilità delle persone o, eventualmente, ai requisiti di trasporto delle merci.

I servizi a chiamata, ribattezzati nella letteratura internazionale come Demand Responsive Transport Services (DRTS), vengono visti come una possibile promettente evoluzione del trasporto pubblico in aree più o meno urbanizzate: dalla tradizionale offerta, basata su linee a percorsi ed orari fissi, si passa a servizi con percorsi e orari variabili secondo la domanda; questi introducono elementi di flessibilità e personalizzazione dell'offerta nella scelta dei percorsi, nella sequenza delle fermate, nei tempi. Scelte e vincoli diversi su questi tre fattori comportano differenti organizzazioni del servizio e differenti gradi di flessibilità.

Tipicamente i DRTS sono gestiti da una centrale operativa, che raccoglie le prenotazioni, organizza i percorsi, aggiorna gli utenti sul servizio e svolge altre svariate mansioni, mediante l'uso di veicoli di piccole o medie dimensioni (ad esempio, 8 o 20 posti a sedere), localizzati in modo continuativo o su richiesta.

La tematica coinvolta in questa terza parte è quindi legata all'utilizzo dell'innovazione tecnologica, della telematica, in ausilio ai sistemi e servizi di trasporto cosiddetti “a chiamata”, su percorso variabile.

I servizi di trasporto a chiamata: caratteristiche, tipologie e analisi di supporto

FRANCESCO PAOLO DEFLORIO

1. Introduzione

I sistemi di trasporto a chiamata, noti con l'acronimo DRTS (*Demand Responsive Transport Systems*) o DAR (*Dial A Ride*) rappresentano una forma di trasporto pubblico in cui le fermate, i percorsi e gli orari non sono prestabiliti, ma sono elaborati sulla base dell'effettiva domanda da servire, espressa in termini di spostamenti fra punti del territorio e caratterizzata da orari desiderati di partenza o arrivo.

Tali servizi hanno l'obiettivo di integrare o sostituire, in alcuni casi, i sistemi di trasporto collettivo di tipo tradizionale. Si pensi alle aree in cui la domanda è sparsa nel territorio e non sufficiente a rendere giustificabile un servizio di linea in termini economici (comunità montane, ad esempio). In tali situazioni, spesso il servizio di linea proposto è poco accessibile e con un livello di qualità non adeguato. I servizi di linea sono accessibili, infatti, solo in pochi punti della rete, sono disponibili solamente in alcuni istanti della giornata e hanno itinerari prestabiliti. Per i veicoli di un sistema a chiamata si elabora invece un piano di viaggio che permette di collegare i diversi punti di partenza e di arrivo degli utenti, con l'obiettivo di rispettare gli orari pattuiti. È ovvio che in un servizio di questo tipo è necessaria una fase di prenotazione, durante la quale l'utente esprime le sue richieste e riceve la conferma degli orari del proprio viaggio.

I sistemi di trasporto a chiamata sono in grado di adattarsi alla variabilità della domanda, anche nella struttura della flotta in circolazione. I veicoli sono attivati, infatti, in numero strettamente necessario per soddisfare le richieste delle prenotazioni pervenute. L'attribuzione delle richieste degli utenti ai veicoli disponibili e la definizione dei percorsi seguiti, per raggiungere i diversi punti di partenza o arrivo degli utenti, sono ricercati dal gestore del servizio in modo da diminuire i propri costi, compatibilmente con la qualità del servizio promessa agli utenti. A tal fine, è opportuno che il gestore abbia un'adeguata conoscenza della rete stradale su cui opera, se si vuole procedere alla ricerca dei percorsi "migliori" sulla rete (in termini di lunghezza o di tempi medi di percorrenza) e delle condizioni di circolazione, se si vuole adeguare il servizio ai fenomeni variabili causati, ad esempio, dalla congestione del traffico.

In ogni caso, nonostante le rilevanti caratteristiche di flessibilità del sistema, le figure coinvolte nella costituzione del servizio e nella sua gestione (enti locali, società di trasporto, ecc.) si trovano di fronte a

problemi di dimensionamento del sistema e di definizione dei parametri che caratterizzano la qualità del servizio offerto. Tuttavia, l'incertezza della domanda dei viaggi e la sua dispersione, generata e amplificata dalla flessibilità del servizio, non consente di adottare i metodi tradizionalmente usati per la progettazione dei servizi di linea. Nei servizi di trasporto tradizionali, infatti, la capacità dei veicoli, le fermate, i percorsi e gli orari (o le frequenze) sono fissi e prestabiliti; il loro dimensionamento avviene sulla base dei dati medi di domanda, spesso con riferimento ad una giornata tipo e alla fascia oraria di punta.

Di seguito, dopo aver accennato alle principali tipologie possibili per i servizi DRT, sarà illustrato brevemente un metodo basato su simulazione per analizzare i diversi aspetti di un servizio a chiamata, con riferimento ad una determinata situazione territoriale, e verificarne la sua fattibilità.

2. Le tipologie di servizio

Per i sistemi di trasporto collettivo tradizionali sia le fermate che i percorsi devono essere determinati e decisi sulla base delle informazioni disponibili sulla domanda media di mobilità. Al contrario, per i servizi DRTS, che spesso raggiungono gli utenti a domicilio grazie alla loro flessibilità (servizio *door to door*), può non essere necessario decidere a priori la posizione delle fermate attraverso cui è possibile accedere al servizio. Questo può generare un effetto di dispersione nel territorio dei viaggi da organizzare e compromettere l'efficienza di gestione. A tal fine possono essere ipotizzate diverse forme organizzative del servizio, elencate di seguito con riferimento alla tradizionale classificazione nota in letteratura.

La dispersione delle richieste nel territorio

Alcune limitazioni possono essere introdotte nella fase di costituzione del servizio, al fine di favorire l'aggregazione delle future richieste di viaggio verso (o da) determinati punti del territorio. In questo modo, si crea un filtro fra gli utenti, infatti, alcuni di loro sono indotti a modificare parzialmente alcune caratteristiche del proprio viaggio (ad esempio, la destinazione desiderata o il punto di partenza) se vogliono accedere al servizio.

Many to one

Il limite forte è nell'unica destinazione possibile per i viaggi nell'area in cui si effettua il servizio, tutti gli

altri punti dell'area possono essere solo nodi origine; è un sistema frequente in zone a bassa densità abitativa, gravitanti attorno ad una città di grandi, o medie dimensioni. In questo servizio sono possibili, evidentemente, i viaggi di ritorno fra l'unico nodo scelto come polo d'attrazione e gli altri nodi della rete.

Many to few

Il limite alla diffusione spaziale delle richieste (origini plurime e destinazioni selezionate) è ridotto in questo caso: solo una piccola parte dei nodi della rete può essere scelta come destinazione. È una tipologia ricorrente nelle periferie urbane, dove le fermate di destinazione corrispondono ai luoghi di prevalente attrazione della città (ad esempio, ospedali, mercati, stazioni, ecc.); anche in questo servizio sono possibili, ovviamente, i viaggi di ritorno fra tali nodi selezionati e gli altri nodi della rete.

Many to many

In questo caso ogni nodo, rappresentato da un punto di prelievo o consegna, può essere sia origine che destinazione del viaggio. Solitamente le fermate sono diffuse e facilmente raggiungibili a piedi dai luoghi di partenza o arrivo degli utenti o, in altri casi, possono coincidere con le abitazioni (ad esempio per gli utenti con mobilità ridotta). Generalmente questi sistemi sono caratteristici delle aree urbane, dove concentrazioni elevate di popolazione e la disponibilità di reti stradali fitte, possono consentire un adeguato livello d'aggregazione delle richieste.

Infine si può citare il servizio "*Corridor many-to-one*", noto anche come "sistema a deviazione", anche se non si tratta di servizio a chiamata puro. In questo caso, si ha una linea fissa, diretta ad un capolinea terminale, dalla quale i mezzi possono deviare, se sono pervenute chiamate esterne alla linea, e vi ritornano dopo aver raccolto gli utenti prenotati. Questa tipologia è adatta a situazioni in cui la gran parte della domanda si trova distribuita prevalentemente lungo una sola direttrice, a volte determinata dalla particolare conformazione della rete stradale. In alcuni casi possono essere utilizzati come sistemi *feeder* per collegare un'area ad una stazione ferroviaria o metropolitana.

Le regole di prenotazione

Tradizionalmente i servizi a chiamata nascono e si sviluppano dagli anni settanta con forma di prenotazione *anticipata*, rispetto all'espletamento del servizio, per i limiti imposti dalle tecnologie allora disponibili.

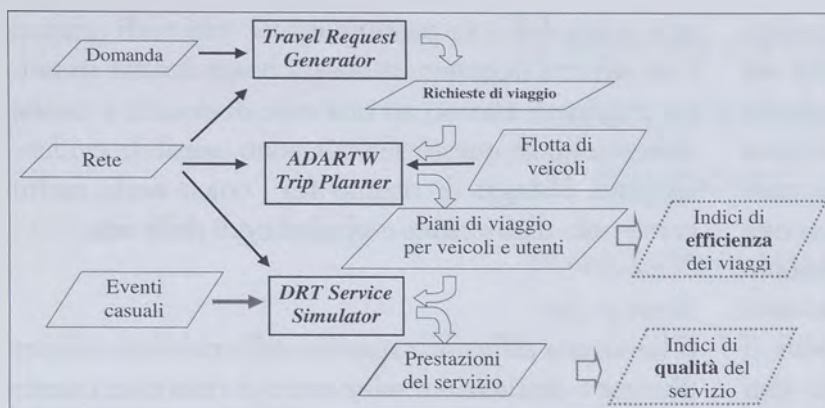


Figura 1. Lo schema del sistema di simulazione.

L'evoluzione dei sistemi "intelligenti" per i trasporti (*Intelligent Transport Systems*, ITS) avvenuta negli ultimi anni ha reso accessibili nuovi strumenti (di comunicazione, localizzazione automatica dei veicoli, elaborazione dati, ecc.) che consentono di gestire anche le richieste degli utenti pervenute on-line (in tempo reale) e di inserirle nei piani già definiti, modificando i programmi di viaggio dei veicoli anche dopo la partenza dai depositi o dalle aree di sosta.

Alla luce degli sviluppi raggiunti dalle tecnologie, un servizio con le caratteristiche di flessibilità proprie del sistema a chiamata dovrebbe essere in grado rispondere alle richieste degli utenti in tempo reale. Tuttavia l'imprevedibilità delle richieste pervenute e la loro possibile dispersione nell'area e nel tempo potrebbe non consentire al gestore del servizio di organizzare i viaggi dei veicoli secondo i criteri di ottimo. Il rischio possibile è di trasformare il servizio a chiamata in un servizio taxi, con il conseguente incremento dei costi di gestione.

È opportuno quindi che il gestore adotti delle adeguate politiche di marketing allo scopo di favorire le prenotazioni anticipate degli utenti, quando è possibile, pur consentendo la prenotazione on-line per i viaggi estemporanei. Infatti, se la maggior parte degli spostamenti è prenotata in anticipo, piuttosto che in tempo reale, l'elaborazione dei piani di viaggio può integrare meglio le esigenze dei vari utenti e migliorare il grado di utilizzo dei veicoli della flotta.

3. L'analisi dei sistemi di trasporto a chiamata

L'efficienza dei viaggi pianificati può determinare il successo o il fallimento di un servizio a chiamata. Sono necessarie pertanto delle analisi che consentano di prevedere, sulla base delle ipotesi di progetto (estensione dell'area servita dal servizio, tipologia

offerta, qualità promessa, numero e capacità dei veicoli della flotta) e delle caratteristiche della domanda (quantità d'utenti, distribuzione spaziale e temporale delle richieste), in che misura le esigenze di viaggio siano aggregabili sui veicoli della flotta e di ottenere, quindi, delle indicazioni sull'efficienza di gestione.

Altre analisi possono essere utili infine per capire se la qualità del servizio promesso agli utenti può essere garantita, nell'ambiente specifico in cui il servizio stesso opera (rete stradale, condizioni di traffico, puntualità degli utenti, regole di comportamento dei conducenti alle fermate).

Tali aspetti sono stati analizzati nell'ambito di un progetto di ricerca, sviluppato dal Politecnico di Torino¹, di cui si accennano i principali contenuti in merito all'analisi della domanda, alla pianificazione dei viaggi e alla valutazione delle conseguenze di alcune scelte operative del gestore sulla qualità del servizio di trasporto offerto. Nella Figura 1 è rappresentato uno schema che evidenzia le relazioni fra le diverse componenti del sistema di simulazione.

La domanda

Le prestazioni di un DRTS sono inevitabilmente legate alla struttura della domanda e alla sua variabilità. Il numero ridotto di richieste e la loro sporadicità non consentono di applicare la catena di modelli tradizionali (quattro stadi), adatti per descrivere spostamenti di grandi entità. La stima della matrice Origine-Destinazione per il modo DRTS, peraltro, non è agevole e può essere non significativa, perché i valori dei viaggi O-D sono piccoli rispetto ai modi dominanti e gli errori si esaltano. Spesso, inoltre, lo studio degli spostamenti DRTS richiede una zonizzazione adeguata e utilizzarne una, già definita per altri modi, può comportare approssimazioni non accettabili, per l'elevato grado di dettaglio spaziale richiesto dal sistema DRTS.

Piuttosto che prevedere il numero totale di richieste, che è peraltro difficile da stimare, perché variabile nel tempo e influenzato da numerosi fattori (qualità del servizio proposto, tariffe applicate, politiche di marketing, ecc.) si può pensare di simulare le richieste di viaggio prevedibili, sulla base di una struttura aderente a quella rilevata. La struttura della domanda, infatti, influisce su come possono essere aggregate le richieste di viaggio sui veicoli disponibili. La numerosità delle richieste, invece, incide soprattutto sulla dimensione della flotta, che dovrebbe essere flessibile nel tempo, per adeguarsi alle variazioni del livello di domanda verso il servizio. Ciò è favorito anche dalla dimensione dei veicoli, spesso da otto posti, facilmente reperibili sul mercato, anche con forme diverse dell'acquisto (ad esempio, il noleggio a lungo termine).

Nei casi in cui si vogliano istituire dei nuovi servizi DRTS, è importante capire se le possibili richieste dei viaggi che perverranno alla centrale di controllo, nel corso dell'esercizio del servizio, abbiano un sufficiente grado d'aggregazione, sia dal punto di vista spaziale che temporale, tale da consentire una gestione economicamente sostenibile dell'esercizio (numero limitato di veicoli, viaggi efficienti, ecc.). In assenza di dati relativi a richieste di viaggio, perché il sistema è nuovo, e quando il numero totale di viaggi prevedibili è basso, possono essere utilizzate delle informazioni del territorio, che consentono di dedurre, in modo aggregato, le capacità di generare o attrarre spostamenti DRTS.

La variabilità della domanda e la sporadicità che la caratterizza inducono spesso ad operare in simulazione, anche per l'incidenza che hanno gli elementi puntuali della domanda (luogo preciso, orario) sulla possibilità di aggregare le richieste. Il comportamento del sistema, può quindi essere osservato mediante esperimenti numerici, anche perché influenzato da eventi aleatori. Infine, la generazione di più campioni di richieste, permette di ottenere diversi piani di viaggio, e quindi di raccogliere statistiche sul funzionamento del servizio, nelle diverse condizioni di domanda che possono presentarsi.

La pianificazione dei viaggi

Un elemento che influenza l'efficienza della gestione del servizio di trasporto a chiamata è rappresentato dal metodo e dall'algoritmo usato per la pianificazione dei viaggi. Le analisi condotte nell'ambito del progetto di ricerca citato (DAUIN – DITIC, Politecnico di Torino) hanno utilizzato il modulo di pianificazione dei viaggi ADARTW. L'algoritmo risolve il problema "Dial a Ride" in presenza di vincoli di finestre

temporali (*Dial A Ride Problem with Time Windows*) con un procedimento euristico e adotta la tecnica dell'inserimento, che consente anche il trattamento delle richieste pervenute on-line.

In questo modulo si assume che il passeggero al momento della prenotazione possa specificare, oltre ai luoghi di partenza e arrivo, anche l'ora di partenza al più presto o, in alternativa, l'ora di arrivo a destinazione al più tardi. Il gestore definisce, invece, alcuni parametri di qualità "a priori" del servizio rappresentati dal massimo tempo di cui è possibile anticipare l'arrivo o ritardare la partenza, e dall'incremento massimo del tempo di viaggio, rispetto ad un valore di riferimento. Le richieste sono elaborate una per volta con fasi consecutive di ricerca dell'inserimento ammissibile e di ottimizzazione. Nella fase d'*inserimento*, si esplorano tutte le possibilità con cui l'utente esaminato può essere inserito nel piano di lavoro per ciascuno dei veicoli disponibili. L'utente può essere accettato su un veicolo se non è violato nessuno dei vincoli di qualità promessa, sia per sé, che per gli utenti già assegnati in precedenza. Per ogni soluzione ammissibile si considera, fra i possibili inserimenti, quella che comporta il costo minimo (fase di *ottimizzazione*). La funzione di costo usata è rappresentata dalla somma pesata della disutilità dei clienti del servizio DRT, dovuta allo scostamento del tempo di viaggio, dell'ora di partenza o di arrivo rispetto ai valori desiderati, e dei costi del sistema, rappresentati da una funzione che quantifica il consumo delle risorse in relazione ai veicoli utilizzati. Nella fase di inserimento, quando nessun veicolo già attivato può accettare la richiesta di viaggio, si può attivare un nuovo veicolo, se disponibile, o rifiutare la prenotazione, in funzione della politica scelta dal gestore del servizio; se la richiesta può essere soddisfatta dal gruppo di veicoli già attivati, s'inserisce l'utente nell'itinerario del veicolo in cui si stima il minimo incremento di costo. Al termine della fase di elaborazione, in base alle richieste di viaggio accettate dal sistema, si ha come risultato il piano di viaggio, con l'indicazione dell'orario previsto in cui ogni veicolo attivato deve raggiungere i nodi del proprio percorso ed in particolare i nodi in cui è previsto l'appuntamento con l'utente.

Gli aspetti operativi e la qualità del servizio offerto

Può essere utile, infine, analizzare come varia il funzionamento del servizio di trasporto a chiamata, in seguito alla casualità degli eventi che si presentano durante l'esercizio. In tali servizi, la puntualità con cui gli utenti e i veicoli raggiungono le fermate può assu-

mere un ruolo decisivo sull'effettiva qualità fornita. Ad esempio, se un solo utente è in ritardo presso il punto di incontro e il conducente lo aspetta per un tempo troppo lungo, la durata totale del viaggio aumenta, producendo ritardi anche per gli utenti sullo stesso veicolo. Inoltre vi è anche la congestione del traffico ad alterare la velocità con cui i veicoli DRTS possono compiere il proprio viaggio. Di conseguenza, ciascuna fermata può essere raggiunta in alcuni casi in anticipo, in altri, in ritardo.

Occorre valutare, in questi casi, se è possibile prevedere una velocità realistica di percorrenza lungo ciascun tronco stradale, migliorando se possibile la qualità del servizio. Ad esempio, si deve considerare che quando un veicolo riesce a procedere ad una velocità maggiore rispetto a quella pianificata, raggiunge le fermate troppo presto e gli utenti che sono già a bordo potrebbero non apprezzare l'attesa degli altri utenti a cui il piano ha comunicato di arrivare con tempi eccessivamente dilatati; se un veicolo è più lento, invece, rispetto al piano di viaggio si danneggiano maggiormente gli utenti che aspettano presso le fermate e l'arrivo finale in destinazione può anche essere in ritardo rispetto a quello promesso.

Un'analisi dettagliata, che consideri anche la casualità dei fenomeni che avvengono nella "vita reale", può essere utile per assicurare agli utenti una qualità del servizio più vicina a quella promessa. In quest'ambito, inoltre, possono essere valutate alcune regole operative che stabiliscano un determinato comportamento dei conducenti e che influiscano sugli utenti con riferimento alla puntualità d'arrivo alla fermata, al fine di migliorare le prestazioni del servizio. Solitamente in fase di pianificazione dei viaggi per i veicoli DRTS non è possibile considerare la molteplicità degli eventi reali, caratterizzati spesso da forte casualità (ad esempio, la variabilità dei tempi di rete, i ritardi degli utenti nel raggiungere le fermate, ecc.). Tuttavia, le prestazioni del sistema possono essere dedotte mediante simulazione, con l'osservazione di ciò che avviene sul modello di rete durante gli esperimenti, assumendo particolari valori dei parametri in ingresso.

4. Conclusioni

I sistemi di trasporto a chiamata offrono quella flessibilità richiesta in molte situazioni in cui l'uso dei sistemi tradizionali di linea appare inadeguato. Indagini condotte sui servizi di trasporto pubblico extraurbano evidenziano come, in molti casi, le linee

abbiano un'utenza limitata e raggiungano livelli di frequentazione elevati, quasi solo in occasione del pendolarismo scolastico e, in misura minore, di quello lavorativo. Sembra plausibile pertanto ipotizzare una sostituzione delle corse meno frequentate, soprattutto in ambito extraurbano, con un servizio DRT e organizzare le richieste di viaggio, che resterebbero non soddisfatte dai "tagli" ipotizzati, su veicoli di dimensioni ridotte.

Tuttavia, al fine di garantire il successo dell'intervento, occorre condurre un adeguato processo d'analisi, con riferimento sia alla struttura della domanda da servire che alle possibili organizzazioni dei viaggi. È necessario, infatti, prevedere già in fase di studio del sistema la qualità del servizio ottenibile e l'efficienza di gestione, e di valutare quindi la fattibilità economica del servizio. In tale contesto, sono stati sviluppati degli strumenti d'analisi che consentono, sulla base delle informazioni disponibili e mediante la simulazione del servizio di trasporto, di eseguire esperimenti e dedurre il comportamento del sistema a chiamata nel caso specifico in cui si propone.

Oltre alle problematiche di natura tecnico-economica, vi sono delle questioni ancora aperte sulle possibili strutture organizzative per la gestione di un servizio DRT. Uno degli elementi che attualmente ostacola la nascita di tali sistemi, in quegli ambiti territoriali laddove maggiore è l'esigenza di ristrutturare i servizi di linea tradizionali (ad esempio, nelle comunità montane) è l'elevato costo d'installazione e di gestione della centrale di controllo, che sarebbe utilizzata probabilmente per un numero ridotto di veicoli e quindi poco conveniente. Sono auspicabili, quindi, delle soluzioni innovative di gestione, in cui l'ente affidante del servizio (ad esempio, la singola comunità montana) possa accedere in modo autonomo a servizi di questo tipo, forniti da società specializzate. Si prospettano quindi per il futuro delle nuove strutture organizzative con lo scopo favorire la nascita e lo sviluppo dei sistemi a chiamata, mediante una separazione delle varie funzioni (i rapporti con il cliente, la pianificazione dei viaggi, il "puro" servizio di trasporto, l'amministrazione e il marketing) attualmente attribuite ad un unico fornitore del servizio di trasporto.

Riferimenti bibliografici

- E. CASCETTA, *Teoria e Metodi dell'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto*, UTET, Torino 1998
- F.P. DEFLORIO, B. DALLA CHIARA, A. MURRO, *Simulation and Performance of DRTS in a Realistic Environment*, in

9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, 10-13 June 2002, Bari

F.P. DEFLORIO, *La simulazione delle richieste di viaggio nei sistemi di trasporto a chiamata*, in *V Convegno annuale su Metodi e tecnologie dell'ingegneria dei trasporti - Convegno SIDT 2002*, 11-13 dicembre 2002, Reggio Calabria (in corso di pubblicazione)

F.P. DEFLORIO, E. MUSSO, *Analysis of demand-responsive transport services: a microsimulation approach*, in *10th World congress and exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, 16-20 novembre 2003, Madrid

R.B. DIAL, *Autonomous dial-a-ride transit introductory overview*, in "Transportation Research Part C", *Emerging Technologies*, vol. 3, issue 5, October 1995, pp. 261-275

J. JAW, A. ODONI, H. PSARAFTIS, N. WILSON, *A heuristic algorithm for the multiple-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows*, in "Transportation Research Board", vol. 20B, no.3, 1986, pp. 243-257

SAMPLUS Deliverable D8 (1999), http://www.euro-projects.ie/samplusmainweb/del_d8.htm

Francesco Paolo Deflorio, ingegnere, dottore di ricerca in ingegneria presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino – Dip. DITIC – Trasporti.

NOTE

¹ Il progetto di ricerca è finanziato dal MURST ed ha il titolo: "Controllo e gestione di flotte di veicoli e monitoraggio del traffico stradale", Piano: "Sistemi di Trasporto e controllo del traffico" - Cluster 25; Linea: A, "Controllo e Comunicazione". Sono coinvolti nel progetto i Dipartimenti DITIC - Trasporti e DAUIN del Politecnico di Torino per una durata di tre anni, a decorrere da maggio 2000. Nel contesto della ricerca è stato previsto lo studio e la sperimentazione di servizi di trasporto di persone (taxi collettivi o minibus a chiamata) e servizi di trasporto merci (corrieri espressi, tipicamente), che adottino degli innovativi algoritmi di pianificazione dei viaggi e una tecnologia avanzata per la localizzazione dei veicoli e le comunicazioni con la centrale di controllo.

Il progetto dell'offerta di servizi di trasporto pubblico a chiamata: metodologie a confronto

MARCO DIANA

1. Identificazione del problema e metodologia di analisi

Il primo passo di un'attività di progettazione consiste nel dimensionamento delle risorse necessarie per la realizzazione del manufatto o del servizio oggetto di studio. Volendo caratterizzare tale attività in modo omogeneo attraverso le varie branche in cui si è soliti ripartire le discipline ingegneristiche, potremmo affermare che tale dimensionamento è determinato dal confronto fra "domanda" e "offerta", termini da intendersi in senso lato. Ad esempio, in un manufatto potremmo identificare la domanda con i carichi che la struttura dovrà sopportare e l'offerta con le caratteristiche meccaniche dei materiali da impiegare nella costruzione; o ancora, un impianto industriale dovrà fare fronte alla gestione di flussi di materiale di determinata consistenza attraverso la configurazione e l'uso di componenti e macchinari con certe prestazioni.

La quantificazione della domanda è in generale più complicata di quella dell'offerta, in particolar modo in quelle situazioni dove la domanda dipende dal comportamento delle persone piuttosto che da fattori più o meno controllabili dal progettista. I sistemi di trasporto rientrano chiaramente in questo caso, e pertanto risulta particolarmente difficile prevedere ad esempio la domanda futura di un servizio attualmente non esistente, come è spesso il caso dei servizi a chiamata, che conoscono ancora una diffusione limitata sul territorio e dei quali il pubblico ha spesso una conoscenza piuttosto vaga. L'articolo di Francesco Paolo Deflorio su questo stesso numero offre un esame maggiormente approfondito di questo aspetto; il nostro contributo verte piuttosto sul progetto dell'offerta di un sistema a chiamata, che presenta alcune problematiche a livello scientifico che sono peculiari rispetto alla prassi consolidata nell'ambito della progettazione di servizi di trasporto pubblico su linea fissa.

In estrema sintesi, possiamo dire che la difficoltà principale nella definizione dell'offerta di un servizio a chiamata è data dall'impossibilità di scrivere una relazione in forma chiusa che legghi le prestazioni del servizio alle caratteristiche di esercizio del sistema. Questo è dovuto al fatto che la configurazione dell'offerta dipende puntualmente dalla domanda e non può in alcun modo essere predeterminata: si crea quindi dal punto di vista logico-matematico una stretta interdipendenza fra domanda e offerta. Nel caso di sistemi di trasporto su linea fissa, è viceversa possibile definire numerose relazioni che legano caratteristiche e prestazioni, che inoltre risultano spesso sia matematicamente semplici che di interpretazione piuttosto immediata. Ad

esempio, nel caso di un servizio di autobus possiamo scrivere

$$\text{Tempo di attesa medio} = \frac{\text{Tempo ciclo}}{2 \cdot \text{Numero di mezzi}}$$

mentre per una cabinovia avremo

$$\text{Potenzialità} = \text{Posti per cabina} \cdot \frac{\text{Velocità dell'impianto}}{\text{Distanza fra le cabine}}$$

ma non è possibile scrivere le corrispondenti “formule” per il calcolo del tempo di attesa o della potenzialità nel caso di un servizio a chiamata. Pertanto in questo caso il dimensionamento dell’offerta risulta notevolmente complicato, a prescindere dalle anzidette difficoltà di stima della domanda.

A livello di analisi quantitativa, quando un fenomeno non può essere studiato con l’uso di semplici “formule”, il passo successivo è la definizione di un modello matematico più o meno complesso, generalmente sulla base di una serie di ipotesi semplificative. Molti dei fenomeni considerati nell’ambito dell’Ingegneria dei Trasporti sono stati tradizionalmente descritti per mezzo di modelli, che consentono una rappresentazione della realtà con diversi gradi di precisione. A tale approccio modellistico si è andato affiancando negli ultimi trent’anni, contestualmente alla diffusione delle tecnologie informatiche, l’uso di tecniche di simulazione al computer, che permettono da un lato di considerare quei fenomeni che per loro natura risultano essere troppo complicati per essere adeguatamente descritti da un modello sintetico, e dall’altro di osservare ad un maggior livello di dettaglio il comportamento di un sistema per il quale è comunque noto un modello interpretativo. Un paragone generale fra approccio modellistico di tipo sintetico e approccio simulativo maggiormente analitico nel campo della pianificazione dei sistemi di trasporto esula dagli scopi del presente contributo: rimandiamo il lettore ad esempio alle interessanti considerazioni svolte da Larson e Odoni (1981) per un’introduzione sull’argomento. È però importante notare che i servizi di trasporto a chiamata per viaggiatori sono stati quasi sempre esclusivamente studiati attraverso simulazioni basate sulla soluzione in senso euristico di problemi di programmazione matematica, in quanto non si è finora pervenuti alla definizione di un modello che permettesse di descrivere ad un livello aggregato il funzionamento del sistema in modo sufficientemente fedele. L’unica eccezione a questa regola a nostra conoscenza è costituita dal modello proposto da Diana *et al.* (2004) per un servizio a chiamata di tipo

statico che funzioni sulla base di determinate ipotesi. Considerato tale stato dell’arte, lo scopo di questo contributo è di condurre un confronto fra approccio sintetico (o modellistico) e approccio analitico (o simulativo) per il dimensionamento dell’offerta di un servizio a chiamata. Nei prossimi paragrafi definiremo il sistema oggetto di studio e spiegheremo i motivi che ci hanno indotto ad affrontare il particolare problema che intendiamo considerare, ossia il dimensionamento della flotta. Nei successivi paragrafi 4 e 5 introdurremo rispettivamente l’approccio simulativo e modellistico per la soluzione di tale problema. Seguirà l’esposizione della parte sperimentale del lavoro, con la descrizione degli esperimenti condotti e il paragone dei risultati ottenuti applicando le due metodologie concorrenti. Nella parte finale analizzeremo i punti di forza e di debolezza di entrambi i metodi e ne delineremo i possibili ambiti di applicazione.

2. Definizione del sistema a chiamata oggetto di studio

Dato il carattere del presente lavoro, è opportuno studiare un sistema a chiamata che sia il più possibile una generalizzazione delle diverse varianti che storicamente sono state realizzate. Pertanto considereremo un sistema cosiddetto *many-to-many*, in cui cioè i passeggeri possono viaggiare attraverso qualunque coppia origine-destinazione senza necessità di cambiare mezzo. I veicoli non hanno alcun programma di esercizio predefinito, viaggiano sulla rete di trasporto a velocità costante e non possono sostare. I passeggeri devono obbligatoriamente riservare il loro viaggio prima che inizi i veicoli inizino il loro servizio, comunicando alla centrale operativa l’ora di partenza, l’origine e la destinazione. Al fine di assicurare una qualità del servizio che sia accettabile, il veicolo deve presentarsi presso il punto di origine del viaggio entro un certo intervallo di tempo rispetto all’ora concordata con il cliente, e inoltre viene posto un limite alla lunghezza massima del viaggio. Si fissa pertanto un *massimo tempo di attesa* del veicolo nel punto di origine, che è lo stesso per tutti i viaggiatori, e si calcola un *massimo tempo di viaggio* come funzione lineare del tempo di viaggio diretto, ossia del tempo di viaggio che un utente constaterrebbe se il veicolo viaggiasse direttamente fra la sua origine e la sua destinazione. La differenza fra massimo tempo di viaggio e tempo di viaggio diretto consente al veicolo di effettuare delle deviazioni di percorso per cercare di servire il maggior numero possibile di richieste di servizio in contemporanea.

Come è stato precedentemente accennato, le caratteristiche dell'offerta di questo tipo di servizio sono state tradizionalmente studiate formulando un problema di programmazione matematica e successivamente simulando il funzionamento del sistema attraverso la risoluzione di tale problema, con l'uso di appropriate tecniche di Ricerca Operativa. Nel paragrafo 4 descriveremo in modo maggiormente dettagliato questo approccio. In tale ambito disciplinare è consuetudine tenere conto dell'esigenza di contenere sia il massimo tempo di attesa che il massimo tempo di viaggio attraverso la definizione di finestre temporali sia nei punti di origine che su quelli di destinazione, ossia di intervalli di tempo entro i quali il veicolo deve servire la richiesta. La determinazione di tali finestre temporali serve inoltre per comunicare al cliente l'ora di arrivo prevista. Tralasciamo in quanto non essenziali ai fini della nostra discussione i dettagli matematici che permettono di definire tali finestre temporali, che sono riportati in Diana e Dessouky (2004).

Osserviamo inoltre che è possibile studiare il funzionamento di un sistema con un maggiore grado di realismo rimuovendo alcune delle ipotesi precedentemente introdotte. Sulla scorta di quanto proposto da Jaw *et al.* (1986) si potrebbe ad esempio permettere al veicolo di sostare in attesa di clienti se non ha passeggeri a bordo, o ancora si può pensare di introdurre un tempo di servizio alle fermate in modo da considerare i perditempo necessari alla salita e alla discesa dei passeggeri. I due approcci metodologici che analizzeremo nel prosieguo consentono di tenere conto di questi aspetti, ma nella presente trattazione si è scelto di ometterli per non complicare ulteriormente l'interpretazione dei risultati, considerando inoltre che la loro presa in considerazione non apporta contributi significativi aggiuntivi sul piano scientifico.

3. Il problema del dimensionamento della flotta

Come qualunque attività di progettazione, la definizione dell'offerta di un servizio di trasporto pubblico procede per stadi successivi, in cui una prima ipotesi di massima viene progressivamente sviluppata nei dettagli fino alla sua completa definizione. In quest'ottica, una delle prime decisioni che il pianificatore preposto allo studio di tale servizio si trova a dover affrontare riguarda l'acquisto della flotta di veicoli. Si tratta ovviamente di un passaggio molto delicato, in quanto le scelte che vengono fatte in tale sede sono spesso non reversibili e un errore di valutazione può avere conseguenze molto pesanti. Al tempo stesso, la

stima anche approssimativa del numero di mezzi necessari risulta essere problematica, in quanto come è stato detto non esistono formule di facile impiego che consentano di collegare ad esempio il numero di veicoli in esercizio con il numero di utenti da servire. Dato il carattere propedeutico e strategico che riveste il dimensionamento della flotta rispetto alle successive fasi progettuali, nel seguito focalizzeremo la nostra analisi su questo aspetto. La nostra scelta è motivata anche dal fatto che gli approcci di simulazione che sono solitamente impiegati sono maggiormente finalizzati ad aspetti di programmazione tattica (ossia a breve termine) del servizio, quali ad esempio la determinazione dei percorsi ottimi data la lista di richieste da soddisfare. In tal modo, il problema della quantificazione del numero di veicoli necessari, che da un punto di vista logico si trova a monte dell'attività di programmazione, viene invece trattato in contemporanea e soprattutto senza che esso abbia la considerazione che merita. Per questo specifico problema risulta pertanto particolarmente interessante e importante sviluppare metodologie di analisi alternative, quali l'approccio modellistico che verrà in seguito richiamato.

4. L'approccio simulativo

Il problema del dimensionamento della flotta delineato nel paragrafo precedente viene tradizionalmente risolto ricorrendo a tecniche di programmazione matematica, spesso contestualmente alla definizione del programma di esercizio. Pertanto occorre innanzitutto formulare il problema, matematicamente espresso da una funzione obiettivo da massimizzare o minimizzare nel rispetto di un insieme di vincoli. Spesso ci si riconduce a problemi già noti e studiati in letteratura in modo da poter applicare con successo le stesse tecniche di risoluzione, eventualmente proponendo piccole varianti per adattare meglio lo strumento di indagine al sistema oggetto di studio. I problemi di ottimizzazione combinatoria maggiormente utili nel caso dei sistemi a chiamata sono noti in letteratura come *routing and scheduling problems*; si rinvia il lettore a Desrosiers *et al.* (1995) per una loro esaustiva trattazione. La funzione obiettivo generalmente considerata è la minimizzazione della lunghezza totale dei percorsi, e diversi insiemi di vincoli assicurano ad esempio il rispetto delle finestre temporali e del vincolo di capacità, inteso come numero massimo di passeggeri che possono viaggiare sullo stesso mezzo, così come la coerenza spaziale e temporale dei flussi dei veicoli attraverso la rete viaria.

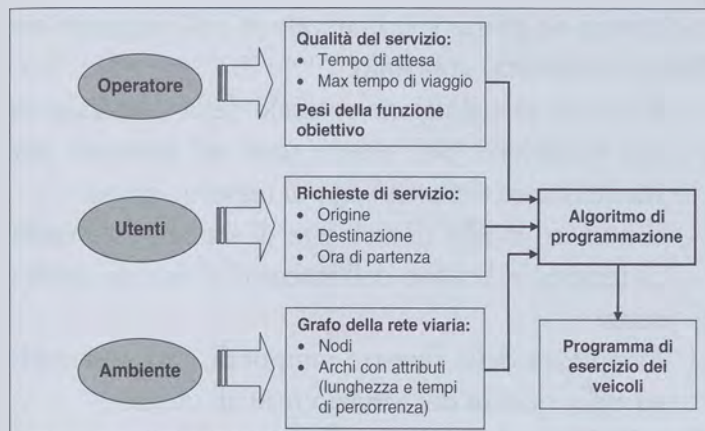


Figura 1. Schema dell'approccio simulativo.

Una volta esplicitato il problema, la sua soluzione consiste nella completa determinazione del programma di esercizio dei veicoli attraverso l'utilizzo di un algoritmo di calcolo, e pertanto possiamo dire di essere in presenza di un approccio di tipo simulativo. Notiamo che seguendo questo metodo è sempre necessario individuare esattamente i percorsi dei veicoli, anche se in una fase preliminare dell'attività di progettazione siamo interessati solo a capire quanti mezzi servono. Quest'ultima informazione viene ricavata indirettamente, in quanto se il sistema non riesce a trovare una soluzione ammissibile, ossia a servire tutte le richieste nel rispetto dei vincoli, allora il numero di veicoli in circolazione viene incrementato, e si ripete il processo finché si arriva ad una soluzione. Un'altra caratteristica dell'approccio simulativo è la necessità di conoscere completamente sia l'insieme delle richieste di servizio che le caratteristiche della rete stradale. Il primo punto pare essere particolarmente problematico nel caso in cui il servizio non esista, quando si rivela necessario estendere il processo di simulazione, generando opportunamente le domande sul territorio sulla base ad esempio di indagini ad hoc. Risulta peraltro evidente il grado di aleatorietà di tale processo.

Per gli scopi della presente ricerca impiegheremo nella simulazione un algoritmo precedentemente pubblicato (Diana e Dessouky, 2004). La funzione obiettivo da minimizzare è la somma pesata delle percorrenze dei veicoli e delle deviazioni globalmente subite dagli utenti, intese come le differenze fra tempo di viaggio effettivo e tempo di viaggio diretto fra le rispettive origini e destinazioni. Il minimo numero di veicoli necessari viene determinato ripetendo la simulazione sullo stesso insieme di richieste, diminuendo successivamente la dimensione della flotta finché non è più possibile trovare una soluzione ammissibile. L'intero processo viene sinteticamente rappresentato in Figura 1.

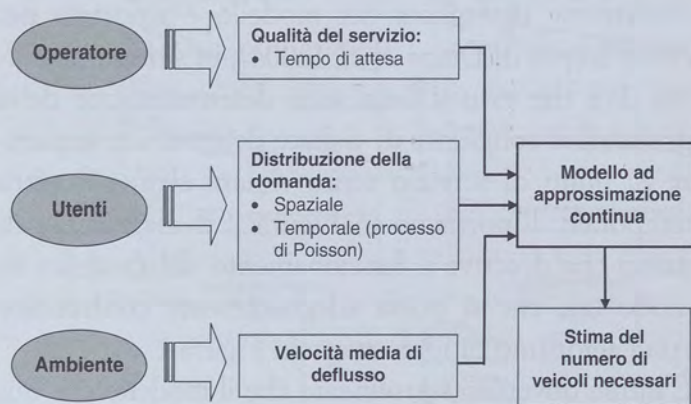


Figura 2. Schema dell'approccio modellistico.

5. L'approccio modellistico

Dato che in via preliminare siamo interessati a capire quanti veicoli servono, piuttosto che a definire un ipotetico programma di esercizio, considerando inoltre che alcuni dei dati necessari al funzionamento dell'algoritmo descritto nel paragrafo precedente sono difficilmente stimabili a priori, cercheremo ora di studiare lo stesso problema con un diverso approccio. In letteratura nel corso degli anni sono stati proposti alcuni modelli di tipo aggregato per lo studio di servizi di distribuzione delle merci da un deposito centrale a un certo numero di punti, senza considerare finestre temporali. In molti casi tali modelli si basano sull'approssimazione della lunghezza della soluzione del problema del commesso viaggiatore inizialmente elaborata da Beardwood *et al.* (1959) e ripresa da Eilon *et al.* (1971): un'esaustiva rassegna sullo stato dell'arte sull'argomento è offerta da Langevin *et al.* (1995). Diana *et al.* (2004) hanno proposto invece un modello ad approssimazione continua che può essere applicato al sistema a chiamata definito nel paragrafo 2, e che, come è già stato anticipato, nel seguito vogliamo paragonare ai risultati ottenibili con l'algoritmo di ottimizzazione combinatoria. Precisiamo che è possibile trovare in letteratura alcuni modelli di questo tipo che possono studiare sistemi a chiamata più semplici di quello che noi consideriamo (ad esempio a deviazione o senza finestre temporali): l'articolo di Diana *et al.* (2004) ne offre la rassegna.

Il modello che adotteremo è in grado di stimare il numero di veicoli necessari all'esercizio del sistema unicamente sulla base della velocità commerciale dei mezzi, dell'ampiezza delle finestre temporali associate ai punti di origine degli spostamenti e infine della distribuzione spaziale e temporale della domanda di servizio. Non è pertanto necessaria una conoscenza puntuale delle caratteristiche della domanda, il che costituisce il vantaggio principale del metodo. Una

descrizione dettagliata del modello è riportata nel citato lavoro di Diana *et al.* (2004); in sintesi, possiamo dire che esso si basa sulla determinazione della probabilità congiunta di visitare determinate sequenze di punti di servizio senza violare alcuna finestra temporale. Riportiamo in Figura 2 il diagramma di flusso che descrive il funzionamento del modello, in modo tale che si possa adeguatamente confrontare con l'algoritmo rappresentato in Figura 1.

È infine doveroso sottolineare che il modello che qui viene utilizzato è ancora in fase sperimentale, dato che si sta provvedendo a studiarne il comportamento con un'ampia gamma di valori delle variabili di ingresso. I primi risultati sono comunque incoraggianti, soprattutto quando la densità delle richieste non è eccessiva, che è il caso di maggiore interesse applicativo dato che i sistemi a chiamata sono quasi esclusivamente impiegati in aree a domanda debole.

6. Esperienze di calcolo

Al fine di mettere a confronto le due metodologie definite nei paragrafi 4 e 5, occorre definire un piano sperimentale ad essi comune. Considereremo pertanto una ipotetica area di servizio del sistema a chiamata che sia quadrata e di lato pari a 10 chilometri. Per semplificare il problema supporremo che i veicoli possano sempre viaggiare a volo d'uccello fra qualunque coppia di punti di servizio ad una velocità media di 20 km/h. L'orizzonte di pianificazione, o lunghezza della simulazione, è fissato pari a due ore. Quest'ultimo parametro va scelto con attenzione quando si vuole usare un algoritmo di simulazione, in quanto da un lato orizzonti di pianificazione troppo lunghi implicano un elevato numero di richieste da trattare da parte dell'algoritmo se il sistema è di tipo statico, con possibili problemi legati ai tempi di calcolo. D'altro canto, se il periodo di simulazione è troppo breve si rischia di sottostimare la possibilità di servire più richieste con lo stesso veicolo, ossia di sovrastimare il numero di veicoli necessari. Per evitare questo inconveniente, esperienze precedenti ci inducono a ritenere che l'orizzonte di pianificazione dovrebbe idealmente essere di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto al tempo di viaggio medio del veicolo fra due successivi punti di servizio. Attraverso l'uso delle citate formule per la stima della lunghezza del circuito che risolve il problema del commesso viaggiatore, abbiamo accertato che il periodo di simulazione prescelto garantisce il rispetto di tale vincolo in tutti gli scenari in seguito descritti.

Per quanto riguarda la definizione degli scenari, con-

sideriamo un piano sperimentale in cui i seguenti tre fattori sono sotto controllo:

- il tipo di distribuzione spaziale della domanda, la cui variazione può essere utile ad esempio per modellizzare differenti tipi di tessuto urbano;
- il numero medio di richieste di servizio nell'unità di tempo, indicativo dell'intensità d'uso del medesimo;
- l'ampiezza delle finestre temporali, rappresentativa della qualità del servizio reso all'utente.

In relazione al primo fattore, considereremo una domanda uniformemente ovvero normalmente distribuita nell'area di servizio; in questo modo possiamo rappresentare i due paradigmi di tessuto urbano maggiormente rappresentativi, ossia una zona a densità omogenea che potrebbe ad esempio ritrovarsi in determinati sobborghi e il classico schema di metropoli monocentrica. Nel caso della distribuzione normale, essa è centrata in mezzo al quadrato e ha varianza pari a 25/9 chilometri quadrati. Il secondo fattore del piano sperimentale è di tipo quantitativo e viene fatto variare su quattro livelli: considereremo infatti un intervallo di tempo fra due richieste di servizio successive pari a 1, 2, 5 e 10 minuti. L'arrivo delle richieste di servizio è modellizzato come un processo di Poisson. Infine si considerano quattro livelli anche per quanto concerne l'ampiezza delle finestre temporali, che è presa pari a 10, 15, 20 e 30 minuti. In definitiva, sono stati studiati $2 \times 4 \times 4 = 32$ scenari, che, oltre a consentire un accurato confronto fra approccio modellistico e approccio simulativo, permettono di chiarire alcuni aspetti chiave per il progettista quali il rapporto fra qualità del servizio, quantità della domanda da servire e risorse necessarie in termini di numero di veicoli.

Per ciascun scenario, il modello descritto nel paragrafo 5 è stato applicato considerando direttamente l'ampiezza delle finestre temporali e le espressioni analitiche della distribuzione spaziale della domanda uniforme bidimensionale $[0,10]$ o normale bidimensionale $[5,25/9]$ e della distribuzione temporale della domanda esponenziale negativa di media pari agli intervalli precedentemente indicati. Per quanto riguarda l'approccio simulativo, sono stati estratti campioni dalle distribuzioni suddette in modo da generare gli insiemi di richieste (coordinate cartesiane dei punti di origine e destinazione dei viaggi e ora di partenza richiesta) da sottoporre all'algoritmo di programmazione descritto nel paragrafo 4. Per ottenere risultati maggiormente stabili sono state condotte 5 simulazioni su altrettanti campioni per ogni scenario (in totale quindi $5 \times 32 = 160$ simulazioni). I risultati computazionali ottenuti, in

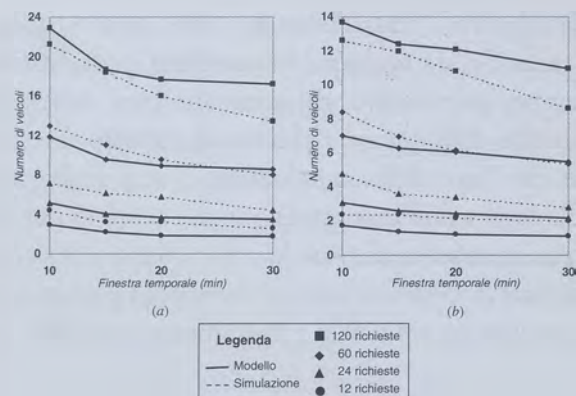


Figura 3. Risultati nel caso di distribuzione della domanda uniforme (a) o normale (b).

termini di numero di veicoli mediamente necessari nei diversi scenari, sono sinteticamente rappresentati in Figura 3, dove le linee continue rappresentano i risultati del modello e le linee tratteggiate i risultati della simulazione. Si può notare come i due approcci diano risultati discretamente concordi, soprattutto quando le probabilità di poter servire molti utenti con un veicolo non sono molto alte, che è il caso di maggior interesse applicativo. Infatti, eccezion fatta per il caso con 120 richieste e finestra temporale pari a 30 minuti, la differenza fra le stime del numero di veicoli necessari è sempre inferiore a 3 unità.

Si è quindi giunti, perlomeno nell'ambito del nostro piano sperimentale, ad una comprensione dei rapporti fra queste grandezze paragonabile a quella che si può avere nel caso di sistemi di trasporto su linea fissa, considerando relazioni analitiche quali quelle riportate a titolo di esempio nel paragrafo introduttivo. Si nota ad esempio che un maggiore addensamento della domanda induce naturalmente una diminuzione del numero di veicoli necessari a parità di altre condizioni; questo fenomeno è stato raramente studiato, dato che la maggior parte delle ricerche considera esclusivamente distribuzioni uniformi. Altra importante indicazione è data dalla non linearità del rapporto fra numero di richieste o ampiezza della finestra temporale e numero di veicoli necessari. Si tratta di indicazioni che dovrebbero essere adeguatamente considerate in sede di progettazione del servizio: ad esempio, dovendo fissare un limite di qualità, si vede dai grafici riportati in Figura 3 che è possibile offrire un servizio migliore per la clientela passando da 30 a 20 minuti come tempo di attesa massimo senza che questo "costi" eccessivamente in termini di risorse da impiegare, mentre viceversa un decremento della finestra temporale di pochi minuti per un servizio già di buon livello può rivelarsi piuttosto oneroso.

7. Commenti e conclusioni

Al di là delle molteplici considerazioni che si potrebbero svolgere sulla base dei risultati riportati, desideriamo concludere riprendendo la discussione inerente ai punti di forza e di debolezza dei due approcci proposti per il problema del dimensionamento della flotta. Emerge chiaramente che non c'è un metodo che sia nettamente preferibile, quanto piuttosto un interessante grado di complementarità. L'approccio simulativo è universalmente usato in quanto fondato ormai su decenni di studi e di ricerche nell'ambito della Ricerca Operativa, ed è l'unico in grado di studiare l'esercizio del sistema nel dettaglio, fino alla determinazione dei programmi di viaggio. I suoi limiti principali consistono nella necessità di avere una conoscenza completa della domanda, che può rivelarsi problematica da acquisire in sede di progettazione di un servizio ex novo, e del carico computazionale necessario per la definizione di uno scenario, dato che è necessario condurre ogni volta una nuova simulazione. D'altro canto, l'uso di un modello ad approssimazione continua permette di rendersi conto in modo molto più rapido delle relazioni fra le variabili del sistema, sulla base della semplice stima della distribuzione della domanda nell'area di servizio; non è però possibile studiare nel dettaglio il comportamento del sistema, e in ogni caso si tratta ancora di un metodo sperimentale che necessita di essere validato su un maggior numero di casi.

Crediamo in definitiva che allo stato attuale un processo di progettazione dell'offerta di un servizio di trasporto pubblico a chiamata possa avvalersi con profitto di entrambi i metodi: in sede di progettazione preliminare, potrebbe essere vantaggioso condurre uno studio ad ampio spettro attraverso l'uso dell'approccio modellistico, che permetterebbe di selezionare alcuni scenari di maggiore interesse. Su questi ultimi si potrebbe in un secondo tempo usare il metodo

simulativo, considerando che uno studio della domanda, da svolgersi in parallelo, potrebbe nel frattempo permettere di avere un'idea maggiormente precisa delle future richieste di servizio. Inoltre va da sé che l'uso della simulazione è una scelta obbligata alla vigilia dell'inaugurazione del servizio per testare il funzionamento di tutte le componenti del sistema, dai sistemi di comunicazione fra veicolo e centrale operativa al software per la programmazione delle corse.

Ringraziamenti

Le ricerche che sono alla base dell'analisi condotta nel presente articolo sono state rese possibili da un finanziamento erogato dall'ATM di Torino (poi denominata GTT) attraverso l'istituzione di una borsa di dottorato di ricerca. Si ringrazia sentitamente il personale del *Department of Industrial and Systems Engineering* dell'*University of Southern California* (Los Angeles) per l'accoglienza e l'amicizia dimostrata durante il soggiorno dello scrivente per lo svolgimento di parte del programma di ricerca, e in particolar modo il direttore prof. Randolph Hall per il supporto economico e il prof. Maged Dessouky per la guida e i consigli dati durante lo sviluppo del modello.

Riferimenti bibliografici

- J. BEARDWOOD, J.H. HALTON, J.M. HAMMERSLEY, *The shortest path through many points*, in "Proceedings of the Cambridge Philosophical Society", n. 55, 1959, pp. 299-327.
- J. DESROSIERS, Y. DUMAS, M.M. SOLOMON, F. SOUMIS, *Time constrained routing and scheduling*, in M.O. BALL, T.L.

MAGNANTI, C.L. MONMA E G.L. NEMHAUSER (eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 8: *Network Routing*, North-Holland, Amsterdam 1995, pp. 35-139.

- M. DIANA, *Methodologies for the tactical and strategic design of large-scale advance-request and real-time demand responsive transit services*, Tesi di Dottorato di Ricerca, Politecnico di Torino, Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Infrastrutture Civili, Torino 2003.
- M. DIANA, M.M. DESSOUKY, *A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows*, in "Transportation Research B", 2004, in corso di stampa.
- M. DIANA, M.M. DESSOUKY, N. XIA, *A continuous approximation model for the fleet dimensioning of many-to-many demand responsive transit services with time windows*. Sottoposto per la pubblicazione su "Transportation Science", 2004.
- S. EILON, C. WATSON-GANDY, N. CHRISTOFIDES, *Expected distances in distribution problems*, in *Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis*, Griffin, London 1971, pp. 151-179.
- J.J. JAW, A.R. ODONI, H.N. PSARAFTIS, N.H.M. WILSON, *A heuristic algorithm for the multi-vehicle many-to-many advance request dial-a-ride problem*, in "Transportation Research B", vol. 20B, 1986, pp. 243-257.
- A. LANGEVIN, P. MBARAGA, J.F. CAMPBELL, *Continuous approximation models in freight distribution: an overview*, Publication 992, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1995.
- R.C. LARSON, A.R. ODONI, *Advantages, disadvantages and misuse of simulation*, in *Urban Operations Research*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1981, pp. 521-524.

Marco Diana, ingegnere, dottore di ricerca, Politecnico di Torino – Dipartimento DITIC – Trasporti, Torino.

Compatibilità dei servizi a domanda con la legge 422/1997

GAETANO GALANTE

Questa relazione prescinde dagli aspetti tecnologici e si rivolge piuttosto agli aspetti legati al finanziamento ed alle logiche dello stesso, così come esplicitate nella legge di riforma del TPL (Trasporto Pubblico Locale).

Come è noto, tale legge pone alcuni limiti e vincoli al finanziamento del trasporto pubblico inserendo due clausole, una quantitativa che limita il "quantum", e una qualitativa che limiti i servizi da finanziare sotto l'aspetto funzionale.

In particolare la prima considera oggetto di contribuzione i soli servizi che garantiscano entrate pari almeno al 35% dei costi; la seconda che i servizi finanziati appartengano alla categoria "servizi minimi". I servizi minimi, a loro volta, vengono definiti (art. 16 DL 422/1997) quali quelli "qualitativamente e quantitativamente sufficienti a soddisfare la domanda di mobilità dei cittadini tenendo conto:

- a) dell'integrazione tra le reti di trasporto;
- b) del pendolarismo scolastico e lavorativo;
- c) della fruibilità dei servizi da parte degli utenti per l'accesso ai vari servizi amministrativi, sociosanitari e culturali;
- d) delle esigenze di riduzione della congestione e dell'inquinamento".

Dal momento che vanno soddisfatte entrambe le condizioni per finanziare i servizi, quelli "a domanda" potrebbero trovare difficoltà tanto nei riguardi della prima che della seconda.

A prima vista sembrerebbe più facilmente superabile l'ostacolo posto dall'ultima condizione: infatti i servizi minimi vengono definiti con sufficiente indeterminazione da consentire una flessibilità tale da poter mostrare facilmente tra la lettera della norma e la realtà del servizio; più difficile a prima vista può sembrare l'ostacolo opposto dal soddisfacimento della condizione relativa al rapporto costi/ricavi.

Dico "più difficile" perché in realtà finora non mi è capitato di poter esaminare i risultati "a regime" di un servizio a domanda ma istintivamente il poter restare nell'ambito richiesto dalla legge, ambito spesso difficile già per i servizi tradizionali a media occupazione, sembra davvero problematico, almeno considerando gli attuali livelli delle tariffe. Ci sarebbe la possibilità di avere tariffe differenziate per questo tipo di servizi: servizi che comunque per l'utente avrebbero la maggior attrattiva di attese più contenute e, in alcuni casi, percorsi a piedi di accesso e egresso minori. Tale opportunità potrebbe non essere contestata dall'utenza almeno secondo i dati di una indagine SP recentemente svolta in provincia di Napoli dal nostro Dipartimento nell'ambito di una ricerca rivolta proprio ad un progetto pilota di un sistema a

domanda; le risposte al questionario mostrano che un'elevata percentuale di utenti si dichiarano disponibili a pagare una tariffa più elevata in cambio di un migliore servizio.

Il problema rimane comunque armonizzare i servizi TPL con i vincoli al finanziamento previsti dall'attuale normativa ed è a tal riguardo che reputo necessarie alcune considerazioni.

Facendo un brevissimo excursus storico sul trasporto pubblico e limitandomi ai trasporti meccanizzati – non mi sembra il caso di parlare delle portantine pubbliche, dei riscì, dell'esperimento di Blaise Pascal nella Francia del Seicento, né degli omnibus e dei tram a cavalli dell'Ottocento – potremmo senz'altro affermare che il trasporto meccanizzato di persone è nato ed ha cominciato a svilupparsi come servizio pubblico; prime le ferrovie mosse da locomotive a vapore, poi le tramvie urbane elettriche hanno svolto servizi per quasi tutto il XIX secolo senza alcuna concorrenza da parte del veicolo privato. Questo, prima della nascita del motore a combustione interna, era costituito solo dalle carrozze a cavalli che potevano essere competitive solo sulle brevi distanze.

In particolare, il trasporto meccanizzato (per allora solo ferroviario) di persone, con costi e prestazioni nettamente a suo vantaggio, mostrava una sua importantissima valenza sociale perché consentiva l'espandersi delle città e quindi l'eliminazione o quantomeno la riduzione di quei quartieri ad altissima densità abitativa e di conseguenti scarsissime caratteristiche igieniche e di vivibilità in senso lato che erano venuti a formarsi a seguito della rivoluzione industriale e della conseguente nuova fortissima attrattività della metropoli.

Dal punto di visto economico-finanziario – che è quello che maggiormente ci interessa – il trasporto di persone veniva considerato un ottimo affare economico; infatti si assiste per tutto il secolo XIX e fino agli inizi del XX ad un notevole interesse del capitale privato per queste iniziative; in genere l'autorità pubblica, con ovvie differenze tra le diverse nazioni, interveniva col regolare i servizi mediante l'istituto delle concessioni, con il quale, volendo avocare almeno un minimo di ruolo di pianificazione, bilanciava le concessioni più redditizie con altre meno appetibili ma di maggiore contenuto sociale.

In mancanza di concorrenza il treno era un mezzo di trasporto rivolto a tutte le classi sociali che ne facevano uso comune mantenendo le “distanze sociali” come allora si diceva, ovvero utilizzando come “status symbol” come diremmo oggi, le classi di servizio, in origine fino a cinque.

In città, laddove la competizione in termini di prestazioni era possibile, il tram era un mezzo più popolare (veniva anche chiamato con una lieve nota dispregiativa “omnibus”) mentre l'aristocrazia e la borghesia ancora preferivano le carrozze (pubbliche o private) a cavalli; infine il tram o la ferrovia suburbana rappresentavano la linea di confine, una sorta di limbo nel quale l'inguaribile snob si addossava minori comfort e maggiori tempi di percorrenza pur di non “confondersi” col popolo, mentre le persone considerate più moderne o più stravaganti o più intraprendenti, a seconda dei casi, privilegiavano il mezzo pubblico per le sue migliori prestazioni.

La vera svolta avviene al girar della boa del nuovo secolo: a quel punto il motore a combustione interna è sufficientemente sviluppato e perfezionato da costituire una valida alternativa ai motori elettrici o a vapore e a consentire quindi lo sviluppo di mezzi anche di ridotte dimensioni capaci di percorrere la viabilità ordinaria e tali da sostituire la carrozza a cavalli come mezzo individuale privato.

La diffusione dell'automobile sarà naturalmente diversa da nazione a nazione, più veloce nell'America del nord, più lenta nella nostra Europa ma alla fine si viene a enfatizzare una vera e propria dicotomia tra chi dispone e chi non dispone dell'automobile.

Ma c'è un altro fenomeno altrettanto importante da prendere in considerazione e cioè che a partire dal termine della I Guerra Mondiale, secondo tempi ancora una volta diversi e dipendenti dalle caratteristiche sociali e dal livello economico delle diverse nazioni, il progressivo aumento del costo della manodopera rende i bilanci delle aziende di trasporto locale sempre meno brillanti. L'aumento dei costi può essere bilanciato solo dall'aumento delle tariffe ma queste hanno un limite nella capacità di spesa degli utenti; interviene l'autorità pubblica che cerca di limitare l'aumento indiscriminato delle tariffe ma, non potendo evidentemente bloccarlo, pena il fallimento delle aziende, né rischiare di privare la collettività di un servizio che è diventato indispensabile, ha come unica possibilità intervenire addossandosi un onere finanziario tale da consentire la prosecuzione dell'esercizio.

Più tardi, quando l'automobile sarà sufficientemente diffusa, il livello della tariffa del TPL dovrà fare anche i conti con la competitività dell'automobile privata, competizione che si svolge, all'inizio, ma per un periodo comunque lungo, anche sotto l'aspetto dell'“immagine”. Quest'ultimo fattore porta, per un certo periodo che mi auguro abbiamo almeno qui in Italia superato,

a identificare il mezzo pubblico urbano come un mezzo destinato innanzitutto ai meno abbienti.

Questo aspetto, per quanto fuorviante e superato ha purtroppo, a mio avviso, comunque generato quantomeno un fraintendimento nella classe dirigente nella gestione politica delle problematiche connesse col TPL. L'accanimento di alcune componenti sociali nel voler tenere innaturalmente bassa la tariffa unita ad una reale perdita di utenti ed ad un contemporaneo aumento dei costi ha reso finanziariamente sempre più ingovernabili le aziende di trasporto. La necessità di mantenere il servizio ha portato, nell'Italia del dopoguerra e fino agli anni '80, alla consuetudine di ripianare comunque i bilanci delle aziende di trasporto; questa consuetudine, deresponsabilizzando i manager ha avuto conseguenze nefaste che non starò a descrivere.

Alla resa dei conti, nell'Italia degli anni '80 il governo è stato costretto dalle condizioni sempre peggiori della finanza pubblica, di cui non era certo una componente influente il baratro finanziario delle aziende di trasporto, a cercare una regolamentazione dei contributi.

Questa regolamentazione, che in alcuni provvedimenti ad hoc era sempre correlata al rapporto costi/ricavi, è poi confluita in una più organica legge che è poi quella alla quale oggi facciamo riferimento.

Tornando quindi all'argomento da cui mi sono distaccato, le mie osservazioni sui criteri di finanziamento del TPL derivante dall'attuale legislazione partono dalle considerazioni fatte in relazione ai servizi a domanda, ma sono generali e generalizzabili.

L'attuale normativa è sufficientemente flessibile nell'indicare quali siano i servizi minimi in modo da poter coprire qualunque tipo di servizio destinato a spostamenti casa-lavoro, casa-studio, casa-sanità, casa-uffici pubblici, ma non copre gli spostamenti per motivi di svago ovvero acquisti, pratiche personali, attività sociali in senso lato; il limite del finanziamento ha una sua flessibilità insita nella possibilità di accorpare tutti i servizi di uno stesso bacino, in modo che il rapporto costo-ricavi venga calcolato per l'intero bacino e non per singola linea, flessibilità ovviamente non infinita.

Rimane comunque un'indeterminatezza di fondo: quali servizi devono essere finanziati e perché finanziare servizi che non sono economicamente autosufficienti?

L'attuale norma, con le specificazioni riportate nei confronti dei servizi minimi, sembra riprodurre una logica di tipo analogo a quella assistenziale verso alcu-

ni servizi sociali: così come ad esempio il contributo del servizio sanitario prevede di coprire solo una parte, reputata indispensabile, dei diversi medicinali. Tale logica di tipo assistenziale è evidentemente figlia di quelle condizioni storiche dianzi riportate: il servizio pubblico viene finanziato per venire incontro ad un'esigenza di mobilità da parte di fasce sociali deboli. Ma questo, oggi, non è più vero: il TPL assolve a ben altri compiti. Il TPL è indispensabile non solo per mantenere livelli accettabili della qualità della vita nelle nostre metropoli congestionate ma, oltre e soprattutto, per consentire i livelli di mobilità che la nostra organizzazione sociale e territoriale ci impone. Nell'analisi economica tradizionale, e mi riferisco all'analisi costi-benefici, si suole distinguere tra benefici diretti e indiretti, i primi relativi agli utenti del sistema, i secondi al resto della collettività. Già questo primo richiamo ad una metodologia universalmente accettata dovrebbe mettere a tacere quei (pochi) pseudoliberisti che, richiamandosi al principio che le attività economiche dovrebbero essere autosufficienti, negano la ammissibilità del finanziamento ai servizi pubblici di trasporto, negando implicitamente l'esistenza di benefici indiretti, mentre andrebbe sottolineato che "indiretto" non vuol dire "secondario" ma distingue semplicemente quale parte della collettività gode del beneficio.

Per inciso dirò che se volessimo utilizzare correttamente il concetto di costo generalizzato e di comportamento razionale dell'utente bisognerebbe immaginare che il valore "piacevolezza dello spostamento" o "comfort" o "immagine derivante dall'uso di un certo tipo di veicolo" debba assumere valori altissimi, dato che spesso possiamo constatare la preferenza verso il veicolo privato anche in presenza di costi monetari e tempi di percorrenza più elevati.

La presenza dei benefici indiretti è la vera variabile da considerare in un calcolo economico rivolto alla valutazione di un servizio TPL.

Il problema resta quello di una corretta identificazione di tutti i benefici indiretti e di una loro quantificazione.

Tradizionalmente ci si limita ad indicare nei benefici indiretti derivanti da un trasferimento di utenti dalla vettura privata al TPL la diminuzione di inquinamento acustico, di inquinamento atmosferico (in alcuni casi tutta da dimostrare), del miglioramento dell'"aspetto urbano" e della vivibilità della città, o quanto meno di alcuni suoi ambiti: tutti questi elementi non solo sono ben difficili da quantificare e monetizzare, ma non sono certo i soli.

Consideriamo quello che avviene durante gli scioperi del personale del TPL: le città vengono praticamente bloccate ad onta di quella dotazione automobilistica (quasi ovunque in Italia superiore ad un mezzo ogni due abitanti) che, unita a quella relativa a due ruote, ci dice come la quasi totalità dei cittadini *potrebbe* utilizzare un mezzo privato. Mi sembra questa una prova chiara e evidente che il trasporto pubblico non solo ha importanti benefici ambientali ma soprattutto che *permette* la mobilità almeno urbana e metropolitana. D'altronde anche la continua, ossessiva (ma corretta) insistenza con cui si ripete la necessità di utilizzare il mezzo pubblico ma non quello privato conforta questa affermazione: sarebbe ben strano se si cercasse di spingere all'utilizzo di un modo di trasporto economicamente non conveniente e sul quale si cerca di fare economie.

Quest'ultimo mi pare un beneficio, o meglio è forse il beneficio più importante derivante dall'esercizio del sistema pubblico; anche di questo bisognerebbe tener conto in un'analisi economica; ma anche questo è di problematica quantificazione e monetizzazione.

Ma, insisto, se l'utilizzazione del TPL permette la vita della città consentendo la realizzazione di un elevato numero di spostamenti con consumi di spazio e di risorse molto minori di quelli ipoteticamente necessari utilizzando il mezzo privato, è possibile limitare i servizi finanziabili a quelli definiti dal citato art. 16 della legge di riforma del TPL (e cioè quelli legati al pendolarismo scolastico e lavorativo e alla fruibilità dei servizi da parte degli utenti per l'accesso ai vari servizi amministrativi, sociosanitari e culturali con l'aggiunta di un vago riferimento a congestione e inquinamento)?

Non ci troviamo forse di fronte a una chiara contraddizione quando da un lato si insiste nel cercare di limitare l'uso del mezzo privato mediante campagne di stampa, limitazione della circolazione delle auto private in zone sempre più vaste della città, tariffazione punitiva della sosta, pedaggi per l'ingresso in città ecc e dall'altro si limita senza una ben definita strategia il finanziamento al mezzo pubblico?

Nelle ultime indagini sulla mobilità svolte in Italia e in Europa risulta come il peso degli spostamenti estranei al pendolarismo casa-lavoro o studio sia enormemente cresciuto fino a raggiungere l'ordine del 50% o anche più. Se questo, riferendoci ai nostri prediletti filoni di ricerca, ha condotto se non ad un abbandono seppur graduale almeno alla riconsiderazione sulla opportunità di utilizzo dei classici modelli *trip-based* che enfatizzano la componente sistematica per consi-

derare altri modelli (catene di spostamenti, modelli *activity-based*) che meglio si adattano alla valutazione di tutti gli spostamenti, dovrebbe ugualmente condurre a riconsiderare, dal punto di vista della pianificazione politica ed economica, l'importanza (come peso quantitativo) degli spostamenti per svago, rapporti sociali ed altro cui potremo generalmente far riferimento quali quelli "del tempo libero".

In conclusione credo sia opportuno e necessario svincolarsi dalla visione tradizionale (peraltro né smentita né esplicitamente richiamata dalla Legge 422/97) che considera il contributo finanziario al TPL una sorta di sovvenzione per un servizio sociale verso le classi più deboli. Tale finalità sembrerebbe confermata dai comma b) e c) dell'art. 16 della citata legge che fanno esplicito riferimento a servizi "utili e necessari". Al contrario bisognerebbe considerare se non enfatizzare i benefici indiretti del TPL, che non sono soltanto quelli ambientali ma la concreta possibilità di realizzare i livelli di mobilità richiesti dalla struttura civile (e intendo sociale, economica e territoriale) della nostra società e che sono quelli più importanti se parliamo di mobilità sostenibile.

Tale ultima finalità potrebbe essere compresa dall'ultimo comma del citatissimo art. 16; quando parla genericamente di riduzione di congestione e inquinamento; a questo punto rimarrebbe solo da considerare il limite quantitativo del 65%.

Pertanto la legge sembrerebbe sufficientemente elastica e interpretabile da potersi adattare a molteplici aspetti del servizio pubblico, mentre il parametro del 65% potrebbe venir considerato come una semplice barriera rispondente semplicemente alla necessità di porre un limite al budget; tutto ciò può sembrare soddisfacente ad un amministratore pubblico ma noi non possiamo non renderci conto dell'arbitrarietà di questo limite che non ha alcun riferimento ai servizi offerti.

La ricerca di una soluzione che possa sembrare teoricamente più soddisfacente secondo me può seguire tre diverse vie, tutte difficili e impervie e certamente non immediate ma che potrebbero offrire spunti per ricerche interessanti.

La prima, che è già stata adombrata, è quella di seguire la classica analisi economica costi-benefici confrontando i costi con tutti i benefici diretti e indiretti di cui abbiamo parlato. La collettività si assumerebbe l'onere dei benefici indiretti e verrebbero finanziati i soli servizi con VAN positivo: la difficoltà è evidente ed è la quantificazione monetaria dei benefici indiretti.

La seconda via potrebbe considerare l'adozione di

procedure standardizzate di analisi multicriteria: analizzando con essa i servizi proposti potrebbe aversi una graduatoria degli stessi e potrebbero essere finanziati questi servizi nell'ordine della graduatoria fino a esaurimento del budget. In questo caso potrebbero essere previsti fuori graduatoria servizi particolarmente redditizi o essenziali.

La terza via è in verità la più seducente: si dovrebbero esaminare diversi scenari e valutare lo scenario più "conveniente" per la collettività sotto il profilo di vivibilità ambientale e sostenibilità.

Quest'ultima via è certamente la più interessante ma la meno immediata data la complessità attuale della mobilità. Per essere certi di esaminare compiutamente un fenomeno che oggi non può essere ricondotto per approssimazione alla sola mobilità pendolare è necessario che siano disponibili e sufficientemente collaudati modelli che possano tenere conto di tutto ciò; mi riferisco in particolare ai modelli (come quelli legati alla catena degli spostamenti) che possono simulare la mobilità di un'intera giornata o a quelli

basati sulle attività da svolgere il cui traguardo ideale è quello di simulare addirittura gli spostamenti di un gruppo familiare nell'arco della settimana.

Una volta così simulata in tutte le sue componenti di domanda, la via è la solita e cioè il confronto con i diversi scenari di offerta, diversi in dipendenza della diversa prospettiva di servizi di TPL proposti.

Come spesso mi accade mi accorgo che vengo affascinato dai problemi e che non ho la soluzione: ma spero comunque di essere stato propositivo; in fondo il nostro compito è anche quello di suscitare dibattiti ed indicare direzioni per la soluzione di problemi nella speranza che almeno un suggerimento tra tanti sia degno di essere seguito dai volenterosi che ci ascoltano.

Gaetano Galante, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II", Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti".

Modelli e Sistemi di Supporto alle Decisioni per il Dial a Ride

ALBERTO COLORNI, ALESSANDRO LUÈ, VALENTINA MORROCCHI

La pianificazione di una politica innovativa sul sistema dei trasporti è un problema complesso che richiede diverse fasi di analisi, modellizzazione e valutazione delle alternative proposte. Bisogna inoltre considerare che le scelte progettuali coinvolgono diversi decisori (utenti, gestori dei servizi, enti pubblici) con obiettivi diversi e spesso contrastanti fra loro.

La Figura 1 rappresenta lo schema concettuale della metodologia adottata per lo studio di fattibilità e la valutazione dei sistemi di trasporto che ne mette in luce i diversi aspetti [1].

Lo schema per il progetto comprende due parti principali: un gestore di scenario e un sistema di valutazione delle alternative.

Il *gestore di scenario* è un modello del sistema della mobilità nell'area interessata dal progetto che comprende a sua volta strumenti per l'*analisi del territorio, dell'offerta, della domanda e modelli di trasporto* [2] per la simulazione degli impatti delle alternative di intervento desiderate sulla mobilità attuale.

La simulazione del sistema fornisce come risultato un insieme di parametri strettamente legati ai flussi di traffico (tempi di percorrenza delle strade, livelli di congestione, ecc.) che costituiscono i dati di input per i modelli di settore contenuti nel sistema di valutazione.

Il *sistema di valutazione* delle alternative agisce a valle del gestore di scenario. Attraverso l'uso di modelli di settore¹ vengono valutati gli impatti di ciascuna alternativa su un insieme di indicatori e attraverso l'uso di metodi di *analisi a molti criteri* viene effettuato il confronto fra le alternative in esame per orientare la scelta sulla proposta più vantaggiosa [3].

Il documento presenta l'inquadramento di un sistema a chiamata – o *Dial a Ride* – nel contesto di questa metodologia, con particolare attenzione agli aspetti modellistici e decisionali e agli strumenti di ricerca operativa che intervengono a diversi livelli. La Sezione 1 illustra il modello matematico del *Dial a Ride* e gli algoritmi di calcolo sottesi alla pianificazione del servizio; la Sezione 2 introduce alcuni concetti fondamentali riguardo ai sistemi di supporto alle decisioni e alle metodologie di analisi a molti criteri, infine la Sezione 3 illustra alcuni dei problemi decisionali che si presentano nelle diverse fasi della progettazione operativa del servizio in cui entrano in gioco obiettivi contrastanti.

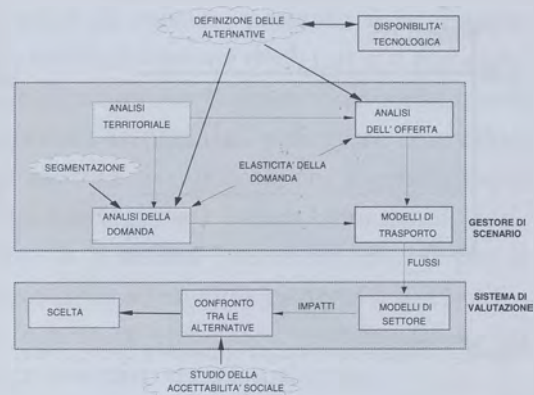


Figura 1. Uno schema concettuale per la progettazione degli interventi.

1. Il modello matematico di un sistema Dial a Ride

In un sistema *Dial a Ride* (DaR) veicoli pubblici senza percorso predefinito e senza orario fisso servono gli utenti attraverso un sistema centralizzato di gestione. Le richieste vengono effettuate ad una centrale operativa: il sistema assegna automaticamente all'utente delle "finestre temporali" di salita e discesa garantendo che la sua partenza e il suo arrivo avvengano entro determinati intervalli di tempo, determina il mezzo che meglio può soddisfare la richiesta in base a opportuni parametri di qualità e lo dirotta per servire il nuovo utente comunicando all'autista le modifiche di percorso.

Un sistema del genere richiede la modellizzazione di diversi aspetti:

- del territorio, con l'analisi della rete stradale su cui il servizio deve operare;
- dell'offerta di trasporto, per rappresentare la flotta dei bus messi a disposizione;
- della domanda di trasporto, con le richieste di viaggio (effettive o stimate) degli utenti;
- della qualità del servizio che si intende garantire;
- dei molteplici obiettivi che i vari soggetti in gioco si propongono.

Nel seguito si descrivono con maggior dettaglio gli elementi che concorrono più direttamente alla formalizzazione del problema dal punto di vista matematico [1].

Il modello della rete

Fondamentale per tutte le fasi di pianificazione e di gestione di un servizio DaR è il modello della rete stradale su cui il servizio deve operare. La struttura topologica e funzionale della rete viene rappresentata tramite un grafo costituito da nodi e archi. A ciascuno di questi elementi sono associate le informazioni geometriche e di prestazione necessarie alla simula-

zione del servizio. Le informazioni dovranno essere modulate nell'arco della giornata per descrivere le condizioni di funzionamento concrete della rete stradale variabili a causa del traffico. Questa situazione può essere descritta definendo delle fasce orarie, durante le quali si suppone che le caratteristiche della rete rimangano costanti: ne risulta un grafo *tempovariante*. Dal punto di vista modellistico l'effetto principale dell'introduzione delle fasce orarie consiste nel rendere il tempo di viaggio funzione dell'istante di partenza. In altre parole, il percorso minimo tra due punti della rete può cambiare con l'ora di partenza. Un'ulteriore complicazione (anche se si traduce in maggiore accuratezza) può essere costituita dalla gestione di aggiornamenti dinamici sullo stato della rete provenienti da sistemi di monitoraggio già esistenti o appositamente realizzati.

I vincoli di qualità e le finestre temporali

Uno degli aspetti più difficili da formalizzare è la qualità del servizio offerto agli utenti che si può comporre di elementi molto eterogenei. Nella definizione dell'indicatore che rappresenta il livello di servizio si è osservato che l'ottimo per gli utenti dipende essenzialmente dal tempo impiegato per arrivare nel luogo desiderato. Il *livello di servizio* (LoS) viene quindi quantificato tramite il confronto fra il viaggio effettivamente offerto all'utente e il viaggio ideale che il servizio potrebbe offrire senza alcuna attesa e compiendo il percorso più diretto:

$$\text{LoS} = \frac{t_a + t_{\text{eff}}}{t_{\text{min}}} \quad (1)$$

t_a = attesa dell'utente prima della partenza

t_{eff} = tempo di viaggio effettivo dalla salita alla discesa

t_{min} = tempo di viaggio diretto lungo il percorso minimo

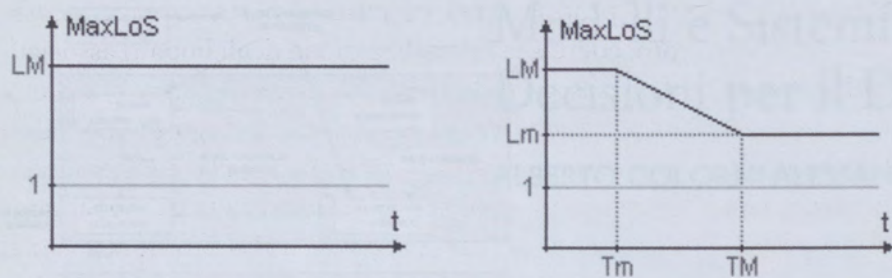


Figura 2. Funzioni MaxLoS costante e decrescente.

La qualità del servizio è tanto più elevata quanto minore è il LoS, che è comunque sempre ≥ 1 . L'obiettivo di massimizzare la qualità del servizio si traduce quindi nella minimizzazione del LoS medio degli utenti serviti. Ciò non esclude tuttavia che ci siano utenti particolarmente svantaggiati e quindi una situazione inaccettabile. Per questo motivo si impone un livello di servizio garantito a ciascun cliente tramite i seguenti vincoli:

$$\text{LoS} \leq \text{Max LoS (Maximum Level of Service)} \quad (2)$$

$$t_a \leq \text{MWT (Maximum Waiting Time)} \quad (3)$$

La (2) fornisce una soglia alla durata massima di ciascun viaggio, la (3) fornisce una soglia all'attesa massima prima della partenza. Risultano così automaticamente fissate le finestre temporali durante le quali devono avvenire la partenza e l'arrivo di ogni utente. Si osservi che assegnare un valore costante al termine MaxLoS significa penalizzare gli spostamenti più lunghi: un raddoppio della durata del viaggio può essere accettabile se il viaggio dura pochi minuti ma non se si tratta di ore. MaxLoS viene quindi generalmente assunto come una funzione decrescente del tempo t_{\min} associato al cammino minimo tra salita e discesa. La Figura 2 illustra i due casi.

La formulazione del problema e gli algoritmi di calcolo
Il DaR si può definire come il problema di soddisfare, con una flotta di veicoli aventi un proprio orario di servizio e una capacità limitata, le richieste di un insieme di utenti ognuno dei quali desidera spostarsi fra due nodi dati di un grafo partendo e arrivando all'interno di assegnate finestre temporali. Si tratta quindi di determinare un insieme ottimo di percorsi su grafo nel rispetto di vari vincoli secondari, problema che può essere classificato nella famiglia dei cosiddetti *problemi di routing e scheduling*.

Un qualunque problema di questa famiglia si ricon-

duce al più noto problema di routing: quello del commesso viaggiatore – *Travelling Salesman Problem (TSP)* [4]. Esso consiste nel trovare il ciclo di costo minimo che passi per tutti i nodi di un grafo avendo assegnato un costo su ciascun arco.

Il TSP è una forma estremamente semplificata del problema che si pone nel DaR, trattandosi in questo ultimo caso di trovare un percorso ottimo su un grafo, ma tenendo conto della presenza di più cicli passanti per lo stesso punto – cioè di più veicoli facenti capo allo stesso deposito – e del rispetto dei seguenti vincoli aggiuntivi:

- capacità limitata dei veicoli;
- finestre temporali assegnate;
- nodi di origine-destinazione toccati dallo stesso mezzo e nell'ordine corretto (ovviamente prima l'origine e poi la destinazione).

Gli algoritmi implementati per ottimizzare il percorso dei veicoli della flotta sono di tipo euristico e si basano per la maggior parte sull'aggiunta sequenziale degli utenti alla soluzione corrente [5]: il passo fondamentale è il tentativo di inserire un nuovo utente in ogni modo possibile² senza violare i vincoli di capacità dei veicoli e le finestre temporali degli utenti già caricati.

Si citano in particolare tre algoritmi che differiscono per il modo di scegliere l'utente da inserire:

- l'algoritmo di *inserzione ordinata* considera gli utenti in un ordine imposto a priori e li colloca ad uno ad uno nella posizione più conveniente;
- l'algoritmo di *inserzione "alla Solomon"* considera ad ogni passo tutti gli utenti e aggiunge quello che, inserito nel modo più conveniente, genera la soluzione migliore [6];
- l'algoritmo di *inserzione "alla Regret"* considera ad ogni passo tutti gli utenti e aggiunge quello per il quale è massima una misura di "rammarico" nel caso in cui un altro utente venisse scelto per l'inserzione [7].

2. I Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS)

La progettazione di un sistema DaR coinvolge diversi soggetti con obiettivi spesso contrastanti: l'*amministrazione pubblica* che promuove il servizio che vuole ottimizzare la copertura territoriale, gli *utenti* che richiedono una buona qualità del servizio, il *gestore* che vuole ottimizzare l'uso della flotta minimizzando i costi di impianto e di esercizio.

Per operare delle scelte in questa complessa struttura è opportuno ricorrere a tecniche di *analisi a molti criteri* e all'utilizzo di *sistemi di supporto alle decisioni* (DSS).

L'idea su cui si basa il DSS è che in presenza di interessi conflittuali non ha senso la ricerca "tecnica" dell'alternativa ottima; ciò che si può fare, utilizzando metodi di valutazione diversi, è dare al decisore tutte le informazioni necessarie ed eliminare tutte le alternative che sicuramente sono peggiori di altre (da tutti i punti di vista), o che hanno impatti talmente critici in qualche settore da risultare inaccettabili. Si riducono così man mano le dimensioni del problema e ciò permette di individuare più chiaramente le caratteristiche significative delle alternative rimaste, evidenziando l'entità reale dei conflitti esistenti. La scelta finale resta politica, ma la procedura che conduce alla scelta può essere resa razionale e trasparente.

Un buon DSS deve essere in grado di accompagnare la pianificazione e programmazione di un sistema di trasporto innovativo in tutte le sue fasi, quindi deve poter trattare sia l'informazione prevalentemente qualitativa e a grande scala della fase preliminare, sia l'informazione prevalentemente quantitativa e a scala di dettaglio della fase di gestione.

Un possibile approccio al problema di confrontare e scegliere tra varie alternative in presenza di diversi criteri di valutazione si basa sull'*analisi a molti criteri "classica"* di Keeney e Raiffa [8]. Questo approccio consente di generare un ordinamento delle alternative, attribuendo a ciascuna di esse una funzione valore complessiva che è una misura della prestazione dell'alternativa rispetto a tutti i criteri considerati.

L'Analisi a Molti Criteri

È necessario innanzi tutto individuare i criteri di scelta che sono ritenuti significativi dal punto di vista del decisore e gli indicatori che servono a misurarli. Gli indicatori possono rappresentare grandezze qualitative o quantitative: il valore assunto da un indicatore per una alternativa è l'impatto prodotto da quella alternativa rispetto al criterio di cui l'indicatore è una misura. Ogni indicatore è di norma espresso secondo

una propria unità di misura, pertanto è necessario procedere alla normalizzazione degli impatti associando a ciascun indicatore una *funzione valore* che metta in relazione i valori assunti dall'indicatore con valori adimensionali espressi in una scala che è generalmente compresa tra 0 e 1, dove 1 indica la massima "soddisfazione" e 0 la massima "insoddisfazione" per il comportamento delle alternative rispetto a quel criterio. Ciascun indicatore viene cioè trasformato in un corrispondente obiettivo da massimizzare.

La prestazione globale (funzione valore complessiva³) di ciascuna alternativa viene valutata come somma pesata delle sue singole prestazioni rispetto ai diversi criteri. Il vettore dei pesi da associare ai vari criteri dovrebbe essere fornito dal decisore, poiché ne rispetta la struttura delle preferenze. Ciò non è sempre facile e immediato. Allo scopo di ottenere uno o più vettori di pesi è spesso necessaria una interazione tra chi esegue l'analisi dal punto di vista tecnico e il decisore, gli esperti, i gruppi sociali coinvolti.

Una volta definiti i pesi λ_i attribuiti a ciascuno degli n criteri, è facile calcolare per ogni alternativa k la funzione valore complessiva $P(k)$ che rappresenta la prestazione dell'alternativa stessa:

$$P(k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i v_i(k) \quad (4)$$

dove $v_i(k)$ rappresenta il valore assunto dall' i -esimo obiettivo per l'alternativa k in esame.

Questo procedimento consente di valutare tutte le alternative, di ordinarle ed eventualmente di scegliere la migliore.

Incertezza e soggettività sono le caratteristiche peculiari dell'operazione di attribuzione del vettore dei pesi, dato che tale vettore riflette comunque le preferenze del decisore o quelle di un particolare gruppo d'interesse, e possono essere fonte di conflitti tra i soggetti coinvolti. Può rivelarsi utile, quanto meno per chiarire la reale portata dei conflitti, l'individuazione di eventuali valori critici dei pesi, in corrispondenza dei quali la soluzione finale cambierebbe, per confrontarli con i pesi espressi dai soggetti interessati. Per questo è possibile effettuare una analisi di sensitività sul vettore dei pesi, ipotizzando che tutti gli altri elementi dell'analisi rimangano fissi [9].

3. L'Analisi a Molti Criteri per il Dial a Ride

Nella reali applicazioni l'implementazione di servizi DaR presenta diverse fasi decisionali in cui entrano in

gioco obiettivi contrastanti. Questo aspetto risulta attualmente di particolare interesse in quanto Amministrazioni Locali e operatori di trasporto si trovano a dover affrontare uno scenario che si avvia verso le gare per le aggiudicazioni dei servizi di trasporto pubblico locale.

Si analizzano quindi con maggior dettaglio gli aspetti decisionali relativi a:

- dimensionamento del servizio;
- definizione del sistema di valutazione delle offerte per una gara di affidamento del servizio.

Il dimensionamento del servizio

Le alternative di progetto di un DaR sono rappresentate dalla combinazione di configurazioni alternative della flotta (numero e capienza dei veicoli, orari di servizio, ecc.) e di possibili garanzie di qualità da offrire all'utenza. La presenza dei punti di vista di diversi decisori porta a considerare le seguenti funzioni obiettivo [1]:

- la massimizzazione del numero di utenti serviti;
- la massimizzazione della qualità del servizio;
- la minimizzazione del numero di veicoli utilizzati;
- la minimizzazione della distanza totale percorsa dalla flotta.

È immediato rendersi conto che si tratta di obiettivi contrastanti. Per esempio, accettare tutte le richieste degli utenti comporterebbe un numero di bus più elevato, oppure costringerebbe i bus a percorsi più tortuosi, penalizzando gli utenti stessi e aumentando i costi di esercizio. Ogni utente ha poi una sua nozione di qualità, che consiste nel richiedere il viaggio più rapido e diretto possibile, che necessariamente va a scapito degli altri utenti. Quindi l'obiettivo qualità del servizio è a sua volta una famiglia di obiettivi, ciascuno relativo a un utente particolare.

Dato che si vuole garantire un servizio flessibile, tali obiettivi devono essere tenuti presenti tutti e ciò comporta di combinarli in qualche modo, cioè di risolvere un problema di programmazione a molti obiettivi [10]. Una volta scartate le *soluzioni dominate*, cioè quelle per le quali tutti gli obiettivi hanno valori peggiori (non migliori) che in altre soluzioni, rimangono le *soluzioni paretiane* o *efficienti*, fra le quali non si può scegliere senza introdurre ulteriori elementi di valutazione. Il dimensionamento del servizio si svolge quindi eseguendo simulazioni dell'esercizio per ciascuna alternativa di progetto in diverse condizioni di carico di utenza; la valutazione delle diverse alternative viene effettuata sulla base di indicatori economici, ambientali e gestionali, opportunamente definiti.

La *massimizzazione del numero di utenti serviti* è obiettivo molto delicato, dato che nessun servizio di trasporto tradizionale si riserva il diritto esplicito e formale di rifiutare le richieste degli utenti. In fase di pianificazione, questo obiettivo viene affrontato trasformandolo in vincolo, cioè richiedendo che la percentuale di utenti rifiutati non superi nelle simulazioni una data soglia massima. Se ciò avviene, si conclude che la flotta è sottodimensionata e si inseriscono altri bus. In fase di gestione, il numero degli utenti non è sotto controllo: l'unica linea di condotta consiste nell'accettare tutte le richieste che risulta possibile servire garantendo loro un'adeguata qualità di servizio (con i mezzi esistenti).

La *dimensione della flotta* descrive i costi fissi di gestione del servizio, dato che il numero dei bus determina quello degli autisti ed è legato indirettamente alla dimensione dell'intera struttura. Si tratta della componente principale dei costi, per cui interessa in particolare la società di gestione del servizio. Ha molta importanza in fase di pianificazione, quando bisogna decidere l'entità degli investimenti necessari. In fase di gestione, invece, risulta ormai praticamente fissata.

La *qualità del servizio* e la *distanza totale percorsa dalla flotta* (pari ai costi variabili di esercizio) sono invece obiettivi controllabili nella gestione quotidiana del servizio. La valutazione del costo di inserzione degli utenti richiede di combinarli, opportunamente normalizzati, in una sola funzione, con pesi interni che ne descrivono l'importanza relativa. Gli indicatori considerati sono il livello di servizio, LoS, e il tempo totale di viaggio della flotta. Questo si traduce nell'algoritmo di inserzione nella seguente funzione di costo da minimizzare:

$$F(u, m) = \alpha \sum_{k \in S} LoS_k + \beta \Delta T v_m \quad (5)$$

$F(u, m)$ = costo di inserzione dell'utente u nel veicolo m

S = insieme degli utenti del veicolo m dopo l'inserimento del nuovo utente u

LoS_k = livello di servizio dell'utente k dopo l'inserzione dell'utente u

$\Delta T v_m$ = variazione del tempo di viaggio del veicolo m dopo l'inserzione dell'utente u

a, b = pesi interni scelti in modo da normalizzare i due obiettivi definendone una scala comune

La valutazione delle offerte di gara

Il sistema di valutazione delle offerte di gara è un elemento cardine nella stesura di un capitolato per l'ag-

CRITERIO	INDICATORE	PESO	MIN	MAX
Quantità del servizio	Incremento % delle vetture*ore rispetto al volume minimo previsto nel bando.	18	S.M.	100%
Costo per l'utente	Tariffa per una corsa	12	5 €	2.5 €
Qualità parco mezzi	Età media parco rotabile	2.5	10 anni	0 anni
	% veicoli attrezzati per disabili	3.0	10%	100%
	% veicoli attrezzati con pianale ribassato	4.5	0%	100%
Inquinamento atmosferico	Percentuale di veicoli elettrici, ibridi, con alimentazione a gas naturale, a GPL o con carburanti "ecologici".	10	0%	100%
Solidità finanziaria dell'offerta	Qualità del piano finanziario e del preventivo di spesa dell'offerta.	12	Qualitativo	
Esperienza nei servizi a chiamata	Percentuale di posti*ore prodotte nell'ambito di servizi a chiamata, rispetto al totale aziendale negli ultimi tre anni.	8	0%	60%
Carta dei Servizi	Carta dei Servizi, in cui si illustrano i miglioramenti rispetto ai servizi minimi richiesti.	30	Qualitativo	

Tabella 1: una proposta di criteri di valutazione delle offerte di gara.

giudicazione del servizio da appaltare. Il modello illustrato di seguito è stato sviluppato nell’ambito del progetto Prontobus [11], svolto con il finanziamento del Comune di Milano e conclusosi nel 2002, che ha riguardato lo studio di fattibilità per un servizio di tipo Dial a Ride door to door in un’area periferica della città e si è spinto fino alla redazione di linee guida per la stesura del capitolato di gara. Sono stati proposti cinque criteri principali di valutazione, e sono stati individuati per ciascuno di essi un set di indicatori:

- il criterio economico (legato alla quantità del servizio offerto);
- il criterio qualitativo (comprendente la qualità del parco mezzi, del servizio e l’informazione all’utenza);
- il criterio ambientale (legato all’inquinamento atmosferico);
- il criterio legato alla affidabilità dell’azienda;

In Tabella 1 è illustrato il prospetto completo di indicatori, pesi e *intervalli di attribuzione del punteggio* di ciascuno di essi risultanti come nostra ipotesi per lo studio. Si osservi che accanto agli indicatori quantitativi è stato necessario includere altri fattori di valutazione che riguardano aspetti non facilmente quantificabili ma di evidente importanza ai fini della valutazione complessiva, per esempio la solidità finanziaria dell’offerta.

4. Conclusion

Il problema fondamentale che si pone nella pianificazione di servizi innovativi di trasporto, tra cui il DaR, è quello della loro fattibilità pratica. Le decisioni in ambito pubblico, infatti, in particolare quelle ambientali e territoriali, generano inevitabilmente conflitti tra gruppi che manifestano preferenze diverse. In questi

casi, non conviene all’amministrazione definire e imporre una soluzione “ottima”, ma è molto più produttivo gestire il conflitto, negoziando con le parti coinvolte una decisione “politica”. Ciò richiede un sistema di supporto alle decisioni che fornisca gli strumenti per ancorare le decisioni a criteri quantitativi o almeno formulati esplicitamente.

L’esperienza storica dimostra che il successo nell’implementazione di tali servizi risiede in un elevato grado di integrazione con il sistema di offerta di trasporto pubblico tradizionale. Ciascuna alternativa di progetto deve quindi essere generalmente costituita da un insieme di più interventi integrati che comprendono sia l’ampliamento dell’offerta con la proposta di nuovi sistemi, sia misure per orientare la domanda a loro vantaggio.

Le linee di sviluppo che si delineano nella ricerca su trasporti e mobilità urbana comprendono l’impiego congiunto di soluzioni innovative e azioni di *mobility management*.

In questo contesto i DSS possono intervenire a diversi livelli: dalla selezione del mix ottimale di misure, al supporto agli utenti nella scelta del modo di viaggio più conveniente. A questo proposito si cita il progetto DREAMS (*Demand Responsive Extended Area Mobility Services*) presentato dal Comune di Milano (in sinergia con i Comuni di Torino e di Roma) nel quadro delle soluzioni strutturali e permanenti per la mobilità sostenibile previste dal DM 22 dicembre 2000 del Ministero dell’Ambiente per *Finanziamenti ai Comuni per la realizzazione di politiche radicali ed interventi integrati per la mobilità sostenibile nelle aree urbane*. Si tratta di una piattaforma tecnologicamente avanzata per l’organizzazione e la gestione integrata dei trasporti collettivi nella città, il sistema si basa sull’impiego coordinato dei servizi di trasporto pubblico tradizionali e innovativi, che costituiscono nel loro insieme l’offerta di trasporto disponibile. Il sistema

sfrutterà le possibilità della telematica per accogliere le richieste puntuali dell'utenza attraverso diverse modalità di prenotazione (call center, portale Internet, etc.), organizzare in linea soluzioni di trasporto adeguate alle singole richieste, stabilirne il costo, registrare l'accettazione da parte dell'utenza, coordinare la realizzazione del servizio.

Riferimenti bibliografici

- [1] A. COLORNI, R. CORDONE, E. LANIADO, R. WOLFLER CALVO, S. PALLOTTINO, A. SCIOMACHEN (a cura di), *L'innovazione nei trasporti: pianificazione e gestione*, in *Scienze delle decisioni per i trasporti*, Franco Angeli, Milano 1999
- [2] E. CASCETTA, *Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*, CEDAM, 1990
- [3] A. COLORNI, E. LANIADO, S. MURATORI, *La valutazione delle infrastrutture di trasporto*, in S. PALLOTTINO, A. SCIOMACHEN (a cura di), *Scienze cit.*
- [4] E. LAWLER, J.K. LENSTRA, A. RINNOY KAN, D. SHMOYS, *The traveling salesman problem: a guided tour of combinatorial optimization*, Wiley, Chichester 1985
- [5] M. GENDREAU, J. Y. POTVIN, *Dynamic vehicle routing and dispatching*, in T. G. CRAINIC, G. LAPORTE (eds.), *Fleet management and logistics*, 1998
- [6] M. M. SOLOMON, *Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints*, in "Operations Research", vol. 35, 1987, pp. 254-265
- [7] J. Y. POTVIN, J. M. ROUSSEAU, *Parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problems with time windows*, in "EJOR", vol. 66, 1993, pp. 331-340

- [8] R. KEENEY, H. RAIFFA, *Decisions with multiple objectives: Preferences and Value Trade-offs*, John Wiley & Sons, New York 1976
- [9] D. RIOS INSUA, S. FRENCH, *A framework for sensitivity analysis in discrete multi-objective decision-making*, in "European Journal of Operational Research", n. 54, 1991, pp. 176-190
- [10] A. GOICOECHEA, D.R. HANSEN, L. DUCKSTEIN, *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*, John Wiley & Sons, New York 1982
- [11] POLIEDRA - POLITECNICO DI MILANO, *Progetto servizi a chiamata door to door. Rapporto conclusivo*, studio effettuato per il Comune di Milano, Milano 2002

Alberto Colorni, professore in Ricerca operativa, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano.

Alessandro Luè, ingegnere, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano.

Valentina Morrocchi, ingegnere, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano.

NOTE

¹ I settori generalmente considerati nella pianificazione dei trasporti sono: la qualità ambientale (consumo di carburante, emissioni inquinanti, etc.), l'efficienza economica, l'impatto sul sistema della mobilità (tempi di trasporto, congestione sugli archi, taglio modale, etc.).

² Per ogni richiesta gli algoritmi determinano prima se la richiesta è accettabile o meno (se cioè non viola i vincoli). Per ogni richiesta accettata viene determinato quale veicolo dovrà caricare il nuovo utente e come il veicolo dovrà modificare il suo percorso attuale per prelevare e portare a destinazione il nuovo passeggero.

³ L'analisi a molti criteri classica si basa sull'ipotesi che la funzione valore complessiva sia separabile e additiva, ipotesi corretta solo se i criteri soddisfano condizioni di indipendenza [8] che non è sempre facile verificare in pratica.

Fattibilità tecnico – economica dell'istituzione di servizi di trasporto a chiamata in aree a domanda debole

ADELMO CROTTI, FRANCESCO PAOLO DEFLORIO

Introduzione

Nel quadro del progetto “488 Ivrea” redatto a cura dei Dipartimenti DITIC – Trasporti e DAUIN del Politecnico di Torino¹ è stata sviluppata una verifica di fattibilità tecnico-economica di un servizio di trasporto a chiamata (DRTS – *Demand Responsive Transport Systems*) rivolto alle aree a domanda debole gravitanti sul bacino di Ivrea e che operi in un'area estesa.

L'obiettivo è quello di assicurare un servizio di trasporto minimo per una o più comunità montane, il cui territorio è considerato “a domanda debole” dal Programma di Attuazione Provinciale della LR 1.2000; tuttavia tale sistema potrebbe anche essere in grado di soddisfare la domanda di mobilità generata nelle zone densamente popolate, in fasce orarie di morbida (ad esempio, durante le ore notturne). Inoltre potrebbe essere interessante esplorare l'utilizzo dello stesso sistema DRT come servizio di trasporto alternativo in una politica di *mobility management* per le aziende interne all'area in esame soggette alle prescrizioni del DM 27.3.1998 (*Mobilità sostenibile nelle aree urbane*).

Tali sistemi possono inoltre sostituire alcuni servizi dedicati a specifiche classi di utenza (ad esempio: scuolabus, servizi per disabili) i cui oneri, attualmente sono a totale carico dei comuni.

La possibile integrazione dei diversi servizi offerti dallo stesso sistema è motivata dalla complementarità degli orari delle diverse componenti della domanda da soddisfare, con ridotte sovrapposizioni, e dall'opportunità di raggiungere una più efficiente sostenibilità economica nella gestione del servizio.

Lo studio ha focalizzato la sua attenzione sulla possibilità di razionalizzare l'attuale servizio di trasporto locale mediante una parziale sostituzione di alcune linee, poco frequentate, con un servizio di trasporto a chiamata. La Regione Piemonte, infatti, prevede finanziamenti finalizzati sia ad assicurare servizi minimi alle aree a domanda debole, che alla realizzazione di progetti pilota volti alla ricerca di soluzioni di razionalizzazione dei servizi collettivi tradizionali.

A seconda dei casi, il servizio esistente su linea fissa, il cui eccessivo onere finanziario e il basso coefficiente di utilizzazione ne rende difficile il mantenimento, potrebbe essere parzialmente o totalmente sostituito con un sistema DRT, permettendo di concentrare i servizi di trasporto tradizionale nelle zone e nelle fasce orarie con una domanda sufficientemente alta. A questo proposito, è possibile realizzare un sistema integrato, in cui sull'esempio di quanto avviene in numerosi

sistemi esistenti, il servizio a chiamata viene affiancato ad alcune corse regolari per far fronte alle punte di domanda.

Alcuni richiami sui servizi di trasporto a chiamata

I sistemi di trasporto a chiamata sono una forma particolare di trasporto pubblico caratterizzata dal fatto che i veicoli (autovetture, taxi, minibus) operano a seguito delle chiamate dei passeggeri. Le chiamate vengono indirizzate ad una centrale operativa la quale provvede a smistare le richieste ai veicoli in circolazione in base alla loro posizione al momento della richiesta, in maniera simile a quanto succede con le centrali operative dei taxi nelle città.

Un servizio di trasporto a chiamata è quindi caratterizzato dal non avere dei percorsi rigidamente prefissati, come nel caso del trasporto pubblico tradizionale, ma adattabili, entro certi limiti, alle richieste dei passeggeri configurandosi talvolta come un servizio porta a porta. A differenza del taxi, un veicolo può servire più passeggeri contemporaneamente anche se ciò comporta che un passeggero a volte non è trasportato direttamente a destinazione.

I primi sistemi di trasporto a chiamata furono implementati negli anni '70 ma, non essendovi all'epoca gli strumenti che la tecnologia odierna può offrire per la localizzazione dei mezzi e per le comunicazioni tra gli stessi e le centrali operative, essi si erano rivelati molto costosi e spesso non reggevano il confronto in termini di efficienza con il trasporto pubblico tradizionale.

L'avvento di tecnologie oggi disponibili a costi contenuti, come i sistemi di localizzazione satellitare dei veicoli (AVL – *Automatic Vehicle Location*), la disponibilità di computer dotati di processori sempre più potenti e la tecnologia di comunicazione mobile GSM hanno permesso di implementare dei sistemi di trasporto a chiamata supportati da strumenti di gestione tecnologicamente avanzati e a costi relativamente bassi.

Dal punto di vista economico, negli ultimi anni il DRTS è stato rivalutato per due ordini di motivi.

- nei grandi agglomerati urbani esso si propone di soddisfare quella domanda che per varie ragioni non è disponibile a servirsi del trasporto pubblico tradizionale ma che per la ripetitività e la frequenza degli spostamenti non ritiene conveniente accollarsi il costo del taxi; questa fascia di domanda difficilmente rinuncia al trasporto individuale se non può godere di livelli di comfort simili a quelli dell'auto e alla comodità di un servizio flessibile;
- nelle zone scarsamente popolate, che nella recente

rimessa del TPL sono state definite "aree a domanda debole", il DRTS si propone come alternativa al trasporto di linea tradizionale, in quanto permette di coprire la domanda di trasporto nelle fasce orarie cosiddette "di morbida" in cui spesso il trasporto di linea viaggia con un numero di passeggeri molto basso in rapporto ai posti offerti.

Descrizione del funzionamento del servizio

A prescindere dalla forma giuridica e organizzativa del gestore di DRTS, l'accesso è generalmente consentito previa registrazione dell'utente. La registrazione è importante perché semplifica le operazioni di prenotazione permettendo una rapida identificazione del cliente e consente di ricorrere all'uso di sistemi di bigliettazione evoluta come le smart card, tessere magnetiche aventi il formato di una carta di credito e dotate di un microchip nel quale si possono immagazzinare i dati dell'utente e applicare le tariffe scalando l'importo dovuto ad ogni utilizzo del servizio.

Date le caratteristiche del servizio e la limitata disponibilità di posti, bisogna sottolineare come l'accesso al trasporto possa avvenire solo previa prenotazione. A seconda del tipo di servizio proposto e della disponibilità di posti a sedere, la prenotazione può avvenire con un largo anticipo (ad esempio la sera precedente per un viaggio da effettuare la mattina successiva) oppure in tempo reale (anticipo di poche ore o talora di pochi minuti).

Sebbene si tratti di un servizio costruito sulla base delle richieste dei clienti, vi è comunque un certo livello di programmazione. Ad esempio si potrà convenire che per le partenze della mattina si richiede la prenotazione ad esempio tra le 17 e le 18 della sera precedente salvo accettare il rischio di non avere un posto (normalmente, date le caratteristiche dei mezzi rotabili, non si accettano viaggiatori in piedi) o di vedere allungati i tempi di percorrenza.

La richiesta può essere inviata secondo diverse modalità, via Internet, attraverso i telefoni portatili via messaggi di tipo SMS e per telefono in voce. La prenotazione telefonica in voce comporta un maggior uso di risorse gestionali (personale addetto al *call center*) ma, d'altra parte, non è possibile imporre agli utenti di usare sistemi diversi dalla comunicazione in voce soprattutto quando una quota consistente della clientela è formata da persone anziane.

La richiesta di prenotazione, in qualunque modo venga effettuata, è sempre seguita da una conferma da parte del gestore. In questa fase il gestore comunica al cliente l'ora (o l'intervallo di tempo) prevista per il passaggio e l'ora (o l'intervallo di tempo) prevista per l'arrivo a destinazione.

I tipi di DRTS più comunemente diffusi

A seconda del criterio usato, i sistemi di trasporto a chiamata possono essere classificati in vari modi:

- 1) dal punto di vista del mercato a cui si rivolgono, troviamo i DRTS rivolti al pubblico in generale e i DRTS rivolti a gruppi specifici. Tra i DRTS rivolti al pubblico in generale si possono includere i servizi istituiti nelle aree a domanda debole quando essi puntano a sostituire o integrare i servizi di linea tradizionali. Viceversa i sistemi concepiti per i gruppi specifici possono essere inquadrati sia come servizi per le persone svantaggiate (portatori di handicap, persone anziane con difficoltà motorie) sia come servizi destinati alle aziende per rispondere alle necessità di spostamenti casa-lavoro dei propri dipendenti. In quest'ultimo caso rientrano anche i servizi di Mobility Management previsti nel DM 27.3.1998 e rivolti alle unità produttive con più di 300 dipendenti per le quali il decreto si propone di incentivare la messa in opera di sistemi di trasporto alternativi all'auto privata attraverso la formulazione dei piani degli spostamenti casa-lavoro;
- 2) dal punto di vista del tipo di servizio offerto, si distinguono servizi liberi in cui non vi sono percorsi prefissati (il mezzo modifica il percorso sulla base delle richieste pervenute) e servizi di corridoio nei quali vi è un percorso di massima e le deviazioni sono ammesse entro un certo limite rispetto al percorso principale. Un caso limite di questi servizi è quello in cui i mezzi hanno comunque un orario di partenza e di arrivo in punti prestabiliti e si accettano anche passeggeri senza prenotazione purché si presentino lungo il percorso principale nell'intervallo di tempo previsto per il passaggio e che il mezzo non sia già al completo;
- 3) dal punto di vista dei tipi di viaggio effettuati dai clienti si distinguono i seguenti servizi:
 - a) *many to many* (molte origini e destinazioni) in ogni nodo della rete vi possono essere sia origini che destinazioni;
 - b) *many to one* (molte origini e una sola destinazione). È il caso di una linea che incontra diverse aree esclusivamente residenziali e tutte le persone gravitano verso un'unica area dotata di servizi e uffici;
 - c) *many to few* (molte origini e poche destinazioni). Ciò si verifica nel caso in cui vi sono sempre diverse aree esclusivamente residenziali attraversate dal servizio e i passeggeri sono destinati non tutti ad una sola zona ma a due, tre zone (esempio al centro cittadino, all'area del mercato e all'ospedale situato in zona periferica);

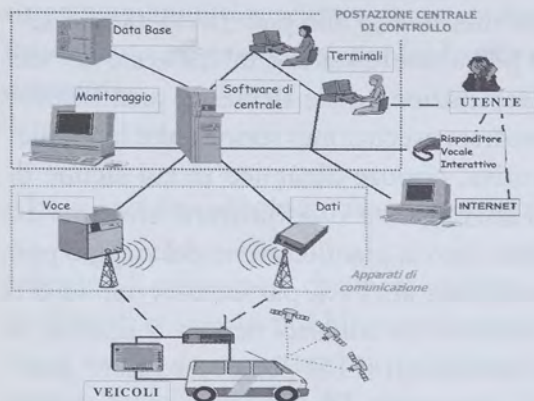
- 4) infine, con riferimento alla pianificazione del servizio esso potrà essere statico, in cui le tre fasi del servizio (accettazione delle richieste, pianificazione del percorso, esecuzione) sono svolte in maniera consecutiva, oppure dinamico in cui alcune di esse sono sovrapposte o addirittura invertite. In quest'ultimo caso la pianificazione del viaggio può essere modificata anche a partenza avvenuta e il servizio richiede un intenso ricorso a sistemi di trasporto intelligenti (ITS) per poter essere gestito a costi contenuti. D'altro canto un servizio dinamico incontra meglio le esigenze di una clientela esigente.

Forme organizzative dei sistemi di trasporto a chiamata

Lo schema rappresentato in figura seguente mostra gli elementi di base di un sistema DRTS e le relazioni fra gli stessi. *L'utente* s'interfaccia mediante sistemi di comunicazione (telefono, Internet, ecc.) con una *centrale di controllo*, la quale raccoglie le richieste di viaggio e pianifica i percorsi e gli orari per i *veicoli*. La centrale ha il compito inoltre di monitorare la flotta, gestire la base di dati e assicurare le comunicazioni con i veicoli.

Al fine di individuare possibili forme d'organizzazione del sistema, le funzioni previste possono essere raggruppate ed essere svolte da tre distinti soggetti erogatori del servizio, ai quali gli Enti territoriali cui compete la programmazione e l'amministrazione dei servizi di TPL possono affidare l'incarico, conservando il ruolo di *decisore* sulle politiche da perseguire. La tabella seguente descrive le principali funzioni associate a ciascun servizio.

Servizio	Funzione
Centrale di controllo	<ul style="list-style-type: none">– <i>Call center</i>– Pianificazione dei viaggi– Comunicazioni all'utente– Monitoraggio veicoli²– Comunicazioni ai conducenti
Trasporto	<ul style="list-style-type: none">– Raccolta degli utenti ai punti di prelievo e trasporto in destinazione– Esazione pagamento del viaggio– Informazione e assistenza agli utenti in viaggio
Amministrazione e marketing	<ul style="list-style-type: none">– Indagini di mercato– Pubblicità/ Promozione– Titoli di viaggio– Analisi e amministrazione del servizio



La struttura organizzativa può essere rappresentata dal diagramma seguente, che evidenzia il ruolo di mediazione dell'agenzia di amministrazione e marketing, che attua le decisioni degli enti locali delegati ed effettua il monitoraggio del servizio. Tale agenzia può avere inoltre un ruolo di coordinamento fra i fornitori del servizio di trasporto e del servizio di centrale di controllo, qualora distinti.

Tuttavia, alcune delle funzioni sopra elencate possono essere svolte con modalità di gestione "diretta" dai soggetti delegati, formando alcune possibili combinazioni alternative.

Ad esempio, la funzione di *call center* può essere assolta da strutture già presenti sul territorio, o da istituirsi per l'occasione, ed essere scorporata dalle funzioni della centrale di controllo, a cui resterebbero le altre funzioni.

Un'altra forma alternativa per la centrale di controllo è rappresentata dall'intervento diretto dell'Amministrazione competente, o di una società di gestione, che acquisisce le apparecchiature hardware e software per allestire la centrale e assume (dopo un adeguato periodo di formazione) alcuni operatori di centrale.

Anche il servizio di trasporto, oltre che affidato a terzi come servizio puro (attuali gestori di servizio pubblico locale, noleggiatori da rimessa, ecc.), può essere gestito in economia dall'Ente territoriale, acquisendo dei veicoli (in proprietà o noleggio a lungo termine) e assumendo dei conducenti (con contratti a tempo pieno o part-time). In quest'ipotesi, può essere valutata la possibilità di utilizzare veicoli già in possesso e usati parzialmente per altri servizi, ad esempio, scuolabus.

Infine, le funzioni di amministrazione possono essere affidate a terzi o gestite in proprio dagli uffici delle comunità montane, valutando l'opportunità di ampliare la dotazione di personale delle stesse.

In sintesi, le forme organizzative del servizio possono essere ottenute combinando in modo opportuno le

varie alternative possibili, in cui i ruoli delle Amministrazioni locali sono o esclusivamente "politici", nel caso d'appalto di servizio, o quelli più articolati, di decisore e attuatore dei servizi di trasporto, nella gestione diretta in economia.

Problematiche connesse con l'attivazione sperimentale di tali servizi

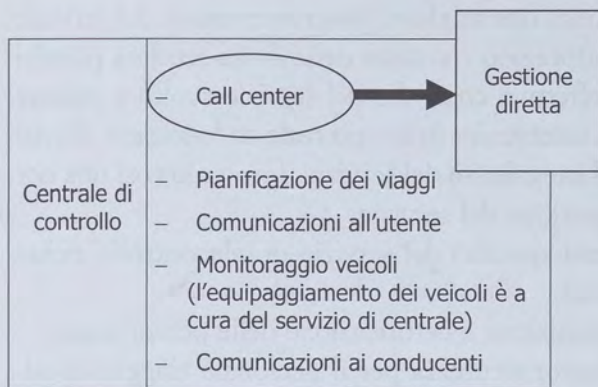
Sulla base delle conclusioni cui è pervenuto il Politecnico, risulta prioritario reperire veicoli da adibire al servizio che abbiano le caratteristiche di economicità di esercizio proprie delle autovetture a 9 posti. Esistono disponibilità non esattamente quantificabili nell'ambito dei noleggi da rimessa; si tratta di valutare attentamente la disponibilità di un adeguato numero di mezzi e relativi autisti, sia che si intenda gestire in economia il servizio, sia che si vogliano bandire le gare.

Si ritiene che esistano varie forme di incentivo per la creazione di un'adeguata offerta di tali caratteristiche, quali un'adeguata pubblicizzazione e promozione di tali servizi ed eventuali incentivi ad hoc; in tale contesto sia la regione che gli enti territoriali minori potrebbero avere un ruolo rilevante.

Le previsioni dei costi di realizzazione e gestione di tali servizi

I costi di un servizio di trasporto a carattere innovativo, come quello proposto, sono difficilmente stimabili in assenza di un progetto esecutivo, perché gli esempi esistenti sono poco numerosi e non sono sempre del tutto paragonabili.

Il fattore di maggior incertezza per la comparazione dei costi attuali e di quelli di un nuovo assetto dei servizi caratterizzato dall'integrazione fra servizi tradizionali di linea e di servizi a chiamata è rappresentato dalla stima dei "costi evitati" relativi alla quota parte di servizi tradizionali che non verrebbero più prodot-



ti. Per un'esatta quantificazione di tali costi occorre conoscere nel dettaglio l'organizzazione dei turni dei mezzi impiegati sui servizi di linea esistenti e, soprattutto, del personale. È noto infatti come l'utenza del trasporto collettivo locale sia caratterizzata da una elevata variabilità nel corso della giornata con punte massime in corrispondenza degli spostamenti casa-lavoro e casa-scuola.

In tali fasce orarie la frequentazione dei mezzi è tale da non consentire la sostituzione di un autobus tradizionale con un singolo veicolo del tipo M1. Si presentano quindi due opzioni: o utilizzare per i servizi nelle ore di punta i mezzi tradizionali oppure sostituire gli stessi con più veicoli a capacità ridotta. La soluzione adottata, che potrebbe essere anche intermedia tra le due ipotesi sopra delineate, potrà essere diversificata per i diversi periodi dell'anno.

Servizio di centrale di controllo

La stima dei costi per i servizi della *centrale di controllo*, in particolare, non è semplice, perché ci sono pochi esempi esistenti e non è ancora possibile trarre delle conclusioni dai dati disponibili.

Da alcune indagini condotte presso aziende del settore, si evince che i costi d'investimento e di gestione conseguenti all'installazione della centrale sono molto alti, rispetto alle dimensioni della flotta da gestire, perché sia il personale che le dotazioni hardware e software sarebbero sottoutilizzate.

Una soluzione alternativa potrebbe essere rappresentata dal ricorso a strutture già esistenti per alcune delle funzioni di centrale. Ad esempio, la gestione delle richieste di viaggio potrebbe essere affidata ad un *call center* presente in zona, con un contratto di servizio. In questo caso, gli operatori sarebbero connessi con rete internet alla centrale di controllo, presidiata da personale con competenze specifiche, che avrebbe il compito di pianificare i viaggi, monitorare

i veicoli e provvedere alle comunicazioni con gli utenti e gli autisti. È auspicabile prevedere per tali procedure un elevato tasso di automazione (localizzazione automatica dei veicoli, comunicazioni mediante messaggi precodificati inviati tramite SMS, ecc.) al fine di ridurre gli interventi del personale specializzato.

È evidente come la struttura preposta a tale funzione ben si presti ad essere condivisa da più soggetti che potrebbero beneficiare di servizi connessi alla gestione delle proprie flotte a costi commisurati alle economie di scala conseguibili.

Infatti, se il servizio di gestione flotte operasse su un parco veicolare abbastanza esteso (almeno 500 veicoli), come quello ipotizzabile nell'intera Regione Piemonte, nel lungo periodo, le tariffe d'accesso potrebbero essere dell'ordine di 0,20 Euro/km eventualmente sostenute dalla Regione, come forma implicita di sovvenzione o come fornitura di servizio, ma in quest'ultimo caso con un'influenza sul prezzo della corsa per gli utenti finali.

Servizio di trasporto

Il differenziale di costo fra servizio effettuato con bus da 50 posti e con veicoli del tipo M1 è riconducibile sia al costo di acquisto del mezzo che alla sua manutenzione ma, soprattutto, al diverso costo dell'autista.

Tale scarto è testimoniato dal diverso livello di sussidio garantito dalla Regione Piemonte nei due casi: mentre per servizi effettuati con autovetture sono previsti contributi di circa 0,50 Euro/km, per quelli prodotti con autobus da 50 posti a sedere il contributo, variabile tra Provincia e Provincia e per area, il sussidio è indicativamente compreso fra gli 1 e gli 1,50 Euro.

D'altra parte, essendo il servizio a chiamata caratterizzato da un livello qualitativo superiore rispetto a quello tradizionale è possibile immaginare di adottare tariffe specifiche in grado di coprire una quota più elevata dei costi di produzione.

Servizi di amministrazione e marketing

Per quanto attiene alle funzioni di *amministrazione e marketing*, che come già detto potrebbero essere espletate da personale già in forza alle Amministrazioni locali o da strutture di promozione turistica, eventualmente integrate con personale part-time o consulenze esterne, il cui costo potrebbe essere agevolmente sostenuto con le dotazioni ordinarie.

L'utilizzo della "Piattaforma consortile" per altri servizi

Il monitoraggio dei servizi di linea e la gestione delle flotte da parte degli Esercenti

La nascita di una "piattaforma" comune a scala regionale a supporto dei servizi di trasporto a domanda potrebbe rappresentare un primo passo verso la realizzazione di una struttura di più ampio respiro che possa soddisfare altre esigenze delle amministrazioni locali e dei fornitori di servizi di trasporto pubblico locale.

Esiste infatti a tutt'oggi un problema non risolto a riguardo della necessità da parte degli Enti locali di monitorare i servizi per verificare la rispondenza del servizio effettivamente svolto al programma di esercizio contrattuale, di rilevare l'utenza servita, di valutare la qualità del servizio erogato e di pianificare gli eventuali interventi migliorativi richiesti.

Negli ultimi anni le Province hanno realizzato in verità una serie di indagini relative alla frequentazione dei servizi. Tali indagini, se svolte in proprio o tramite affidamento a ditte specializzate, presentano elevati costi di realizzazione. D'altro lato l'alternativa prescelta, ossia la delega alle stesse aziende fornitrici del rilievo dell'utenza, può far sì che la qualità dei dati acquisiti non sia ottimale.

Il sistema dovrà essere predisposto per un futuro interfacciamento con il sistema di bigliettazione a tecnologia avanzata, attualmente allo studio a livello regionale.

Il software di gestione del sistema dovrà essere modulare, espandibile e, in larga misura, indipendente dalle tecnologie di telecomunicazioni adottate; la piattaforma hardware dovrà avere ampia diffusione.

Funzioni primarie del sistema saranno la localizzazione dei veicoli, la comunicazione di dati e in fonica fra il veicolo e la postazione fissa, l'archiviazione dei dati a consuntivo ed il raffronto fra il servizio programmato e quello svolto.

In tale contesto la disponibilità di dati storici o forniti in tempo reale su percorrenza e carico passeggeri

consentirà una migliore programmazione del servizio; il monitoraggio continuo della flotta renderà possibile un effettivo controllo del servizio svolto e permetterà di intervenire in tempo reale su fenomeni di criticità ed irregolarità del servizio, fornendo così una corretta gestione del servizio.

Obiettivi specifici del servizio di telecontrollo richiesti sono:

- acquisizione e certificazione delle percorrenze;
- maggior sicurezza per il personale viaggiante ed i passeggeri;
- controllo e gestione della regolarità della flotta;
- certificazione della qualità del servizio erogato con riferimento alla carta dei servizi sottoscritta;
- eventuale futura informazione all'utenza in tempo reale sul servizio.

I risultati attesi dall'implementazione del sistema sono:

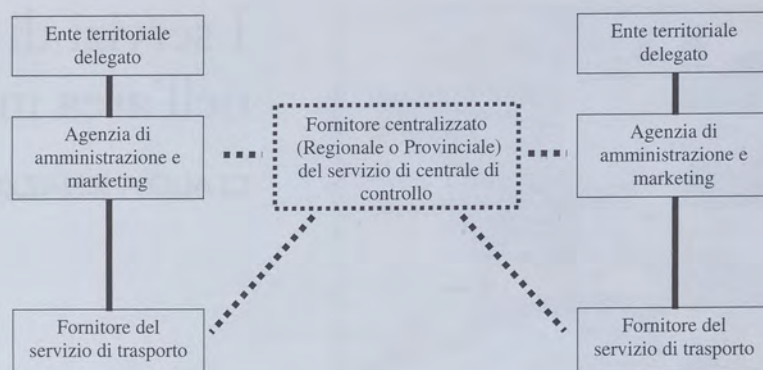
- una migliore efficacia del servizio con il miglioramento della sua qualità;
- una miglior efficienza, da parte della Amministrazione delegata dell'attività di programmazione o controllo, e, parimenti, da parte dell'Azienda di trasporto della gestione, con la certificazione-contabilizzazione del servizio e della bigliettazione e con l'aumento della regolarità e sicurezza del servizio;
- aumento della produttività del servizio con un utilizzo ottimale delle risorse.

La possibile esigenza di monitoraggio e gestione dei servizi di trasporto in concomitanza con l'evento olimpico

In concomitanza con l'evento olimpico del 2006 è prevista l'istituzione di servizi *ad hoc* per i partecipanti all'evento (atleti, accompagnatori, operatori dei mezzi di informazione, amministratori) che dovranno essere caratterizzati da un elevato livello qualitativo sia sotto il profilo del comfort che della regolarità del servizio ossia dalla "certezza" dei tempi di percorrenza (o, perlomeno, della certezza di raggiungere la destinazione pur in presenza di gravi intralci alla circolazione, grazie all'instradamento su percorsi alternativi).

La tipologia di servizio è evidentemente identificabile in un DRTS. Si può dunque ipotizzare che la pianificazione e la gestione dello stesso possano essere utilmente affidate alla struttura consortile sopra delineata.

La necessità di garantire tempi di percorrenza "certi" rende imprescindibile un'integrazione dell'attività della piattaforma con i sistemi di monitoraggio delle condizioni di deflusso del traffico in tempo reale già



oggi presenti nel capoluogo regionale e dei quali si prevede in futuro l'estensione sulla più vasta area metropolitana e nelle località di svolgimento delle competizioni.

La funzione catalizzatrice della struttura nell'attivazione di nuovi servizi di trasporto "non convenzionale"
L'implementazione della piattaforma "consortile" potrebbe costituire l'elemento catalizzatore di un processo più ampio di riorganizzazione dei servizi di trasporto pubblico locale in ambito regionale sia in ambito urbano che extraurbano.

Infatti, se da un lato è ormai diffusa la consapevolezza dell'inadeguatezza dell'attuale organizzazione del servizio soprattutto per quanto riguarda la già citata variabilità della domanda in presenza di una struttura dell'offerta piuttosto rigida, dall'altro appaiono evidenti le difficoltà nel porre in atto una radicale trasformazione del servizio. L'ostacolo più rilevante sembra proprio essere costituito dalla realizzazione di una struttura di pianificazione e gestione dei servizi non convenzionali. Qualora tale struttura divenisse effettivamente operativa è ragionevole ipotizzare che anche le Amministrazioni che fino ad oggi hanno mostrato minor interesse per la modifica dell'assetto attuale dei servizi potranno rivedere il proprio atteggiamento. L'affidamento a tale struttura dei compiti di gestione infatti lascerebbe in capo agli enti territoriali solamente la necessità di affidare i servizi tramite gara. Si potrebbe in tal modo configurare la nascita di nuove piccole realtà imprenditoriali in grado di "ravvivare" il mercato del trasporto pubblico locale che non sembra per ora mostrare particolari caratteri innovativi in risposta al mutato assetto normativo.

Conclusioni

La necessità di definire una specifica architettura di riferimento, per individuare le componenti del sistema comuni alle diverse funzionalità richieste, rende opportuno l'utilizzo delle metodologie e degli strumenti predisposti dalla recente Architettura Telematica Italiana per il Sistema dei Trasporti (ARTIST), predisposta dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Nel momento in cui s'intenda sviluppare un nuovo sistema telematico per i trasporti, come quello previsto nel caso dei sistemi di trasporto a chiamata, si possono seguire alcuni passi fondamentali utili anche ai fini della predisposizione di un progetto guida della "piattaforma regionale".

Adelmo Crotti, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino.

Francesco Paolo Deflorio, ingegnere, dottore di ricerca in ingegneria presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino – Dip. DITIC – Trasporti.

NOTE

¹ Il progetto di ricerca è stato finanziato dal MURST ed ha il titolo: "Controllo e gestione di flotte di veicoli e monitoraggio del traffico stradale", Piano: "Sistemi di Trasporto e controllo del traffico" – Cluster 25; Linea: A, "Controllo e Comunicazione". Nel contesto della ricerca è previsto lo studio e la sperimentazione di servizi di trasporto di persone (taxi collettivi o minibus a chiamata) e servizi di trasporto merci (corrieri espressi, tipicamente), che adottino innovativi algoritmi di pianificazione dei viaggi e una tecnologia avanzata per la localizzazione dei veicoli e le comunicazioni con la centrale di controllo.

² L'equipaggiamento dei veicoli è solitamente a cura del servizio di centrale.

I servizi di trasporto a chiamata nell'area metropolitana di Firenze

CLAUDIA BINAZZI, PIERO SASSOLI

1. Introduzione

I trasporti a chiamata (indicati nella specifica letteratura quali *Demand Responsive Transport Systems – DRTS*) vengono considerati ogni giorno di più come servizi flessibili in grado di fornire una moderna ed adeguata risposta a quei bisogni di mobilità presenti sia nelle aree urbane che rurali che non vengono soddisfatti dai classici servizi di linea.

L'operatività dei sistemi DRT e delle tecnologie telematiche applicate a tali servizi sono state dimostrate con successo all'interno dei Programmi di Ricerca dell'Unione Europea attraverso progetti pilota che hanno coinvolto città, gestori e società telematiche di diversi stati membri. Questo lavoro ha l'obiettivo di fornire una visione generale sia dei servizi a chiamata sia delle principali conclusioni alle quali si è arrivati con l'esperienza di impiego del DRTS nell'area metropolitana fiorentina. Sono messi in evidenza sia i benefici dei servizi a chiamata e le soluzioni tecnologiche più idonee adottate sia il percorso tecnico/amministrativo da seguire per la realizzazione di tali sistemi al fine di non cadere nella facile illusione di delegare alle sole tecnologie la soluzione di problemi di mobilità che richiedono invece di essere affrontati anche sul piano delle politiche delle Amministrazioni locali e dell'operatività dei gestori del trasporto collettivo.

2. I servizi a chiamata

L'importanza di avere servizi flessibili (o a chiamata come vengono indicati dalla Comunità Europea nel Libro verde su "*Citizens' Network*") non viene sentita solo da differenti fasce di cittadini, in continuo aumento in Europa, il cui diritto alla mobilità è strettamente legato al sistema di trasporto pubblico, ma anche da tutta un'altra serie di utenti con caratteristiche meno facilmente isolabili, ma caratterizzati lo stesso da continue esigenze di movimento in una determinata area/zona urbana, per i quali risulta più vantaggioso l'utilizzo di un sistema di trasporto collettivo a scapito del mezzo privato.

Fino ad oggi, a questa domanda di mobilità si è sempre risposto con le tradizionali linee a percorso e cadenza fissa, cercando, con scarsi risultati e pesanti ripercussioni economiche, di piegare le caratteristiche dell'utenza (variegate e flessibili) a modalità di produzione del servizio

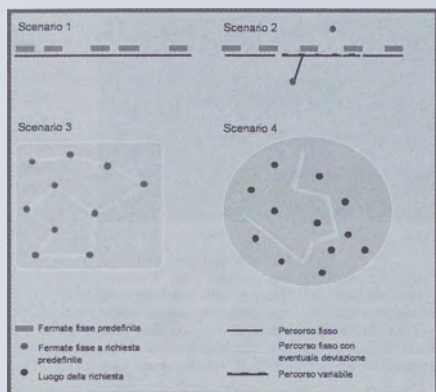


Figura 1. Caratteristiche dei Servizi a Chiamata.

tipiche di aree urbane e/o extraurbane nelle quali si deve affrontare una domanda sistematica in termini spaziali e temporali.

In questo contesto ATAF S.p.A. ha realizzato un sistema a chiamata (DRT) per la gestione dei servizi flessibili sia su aree deboli (caratterizzate da bassa densità abitativa, nettamente circoscrivibili, domanda debole, alta variabilità di itinerari, ecc.) sia per gruppi speciali di utenti (disabili, anziani, malati, ecc.), basato sul sistema sviluppato da ATAF (Firenze), MEMEX S.r.L. (Livorno) e SOFTECO SISMAT S.p.A. (Genova), denominato PersonalBus™, che attualmente gestisce con successo differenti tipi di servizio in alcune realtà dell'area metropolitana fiorentina.

Più specificatamente, un servizio a chiamata può essere pensato principalmente per territori aventi le seguenti caratteristiche:

- gli spostamenti predominanti appartengono ad una fascia chilometrica di entità ridotta;
- è presente una componente importante di mobilità erratica;
- alcune realtà territoriali sono difficilmente raggiungibili a causa di sedi stradali ristrette o collegabili con la viabilità principale solo tramite un sistema di "ingresso-regresso".

I servizi a chiamata introducono nell'offerta di trasporto elementi di flessibilità nella scelta dei percorsi, nella sequenza delle fermate, nei tempi (orari e frequenze). Sulla base delle limitazioni e dei vincoli fissati su questi tre fattori e, quindi, sulla base del loro differente grado di flessibilità, i servizi a chiamata possono essere schematicamente classificati nelle seguenti categorie:

- servizi su linea;
- servizi su corridoio;
- servizi su zona.

Nel primo caso i percorsi e le fermate sono predefini-



Figura 2. Rete servizio DRT a Campi Bisenzio.

ti, mentre gli orari e le frequenze sono determinati dalla domanda.

I servizi su corridoio presentano anche qualche livello di flessibilità in termini spaziali, operando diramazioni e deviazioni atte a servire, a chiamata, fermate predefinite.

Nei servizi di zona (caratterizzati prima di tutto dall'ampiezza della zona servita) le fermate possono essere predefinite, con tempi di partenza predefiniti o variabili, mentre la sequenza delle fermate e gli itinerari sono modellati dalla domanda. La massima flessibilità è rappresentata dal servizio di trasporto passeggeri, a richiesta, tra tutti i punti di una certa area: tale scenario descrive l'organizzazione di un servizio taxi con più passeggeri per corsa.

La complessità progettuale cresce, ovviamente, man mano che diminuiscono gli aspetti predefiniti ed aumenta la flessibilità del sistema.

3. I servizi a chiamata: clientela e relazioni servite

I clienti, alle cui esigenze di mobilità i servizi a chiamata possono rispondere, appartengono alle più varie categorie:

- persone che si muovono sistematicamente e periodicamente, a giorni predefiniti (ad esempio nei giorni feriali per il tragitto casa-lavoro-casa);
- studenti, non solo per andare a scuola, ma anche per le attività para-scolastiche e di tempo libero;
- persone che si muovono saltuariamente e che hanno bisogno del servizio per scopi personali e commerciali e per attività di tempo libero;
- persone a mobilità limitata;
- anziani;
- persone che vivono una particolare fase della vita (malattia, infortunio, gravidanza, ecc.);
- donne che si devono muovere nelle ore notturne;

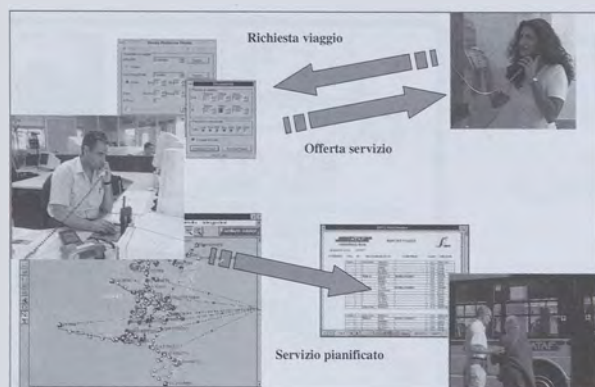


Figura 3. Schema operativo del sistema PersonalBus™.

- persone in condizioni particolari (bagagli appeso, ecc.), tali da non poter accedere al normale servizio di linea;
- persone che non possono disporre di veicoli privati in zone e in ore non servite da sistemi di trasporto pubblico tradizionale;
- turisti.

I servizi a chiamata sono in grado di assicurare un vasta gamma di collegamenti:

- collegamenti porta a porta;
- collegamenti tra zone a domanda debole;
- servizi interni su particolari zone urbane;
- servizi interni su particolari zone extraurbane;
- servizi nell'area di uno o più comuni limitrofi;
- collegamenti con il centro storico;
- collegamenti con l'aeroporto;
- collegamenti con le stazioni ferroviarie;
- collegamenti con i caselli autostradali;
- collegamenti con i parcheggi scambiatori;
- collegamenti con i nodi del trasporto pubblico di linea;
- collegamenti con gli ospedali;
- collegamenti con i centri commerciali.

In sintesi si può dire che i servizi a chiamata, forniti con i mezzi più diversi (bus, minibus, taxi, ecc.), favoriti da un'ampia disponibilità diffusa delle piattaforme informatiche e dallo sviluppo delle tecnologie telematiche, caratterizzati da un'elevata flessibilità nella composizione dei percorsi e dei tempi, sono in grado di definirsi anche quale servizio per la complessiva utenza del trasporto pubblico.

4. DRT: l'esperienza di ATAF e il PersonalBus™

L'esperienza di ATAF S.p.A. con i servizi flessibili è iniziata nel 1995 con la creazione di un servizio per disabili sull'intera rete del Comune di Firenze nell'arco orario 7.00-20.00, e con il sistema a chiamata intro-

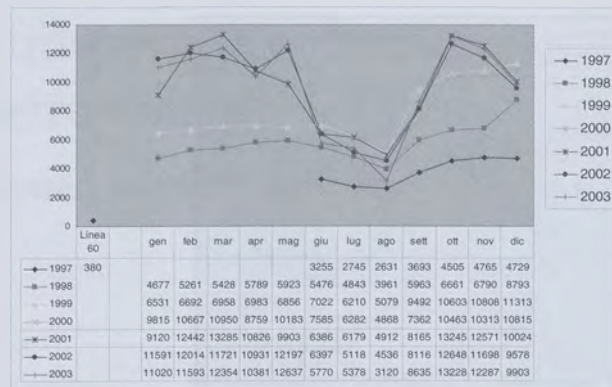


Figura 4. Andamento mensile dei passeggeri trasportati da PersonalBus nel territorio di Campi Bisenzio.

dotto nella zona di Porta Romana a Firenze, entrambi gestiti in maniera manuale.

Il servizio DRT attuale, così come verrà descritto di seguito, è stato introdotto per la prima volta nel Comune di Campi Bisenzio nel giugno 1997, con i finanziamenti derivanti dai progetti europei SAMPO/SAMPLUS – Direzione Generale Telematica – DGXIII, e da alcuni Progetti italiani (CNR-PFT2, ecc.); l'introduzione del nuovo servizio ha permesso di eliminare le tre linee esistenti all'interno del territorio del Comune (50-51-60), e di compiere un'operazione di generale ristrutturazione dei servizi di Trasporto Pubblico a Campi.

Durante la sperimentazione sono stati curati in maniera particolare gli aspetti riguardanti lo studio del territorio (nodi significativi, viabilità, domanda di trasporto, ecc.) e quelli relativi alla comunicazione agli utenti (caratteristiche del servizio, opportunità offerte in termini di miglioramento dell'offerta, ecc.).

Attualmente i servizi DRT attivi a Firenze sono: il servizio disabili sull'intera area fiorentina, Porta Romana (quartiere urbano di Firenze), Campi Bisenzio, Calenzano e Sesto Fiorentino.

L'esperienza di Campi, illustrata nel seguito, è quella più significativa sia dal punto di vista dell'estensione del servizio che dei risultati ottenuti.

4.1 Caratteristiche del sito

Il Comune di Campi Bisenzio, situato a nord-ovest di Firenze, ha una superficie di 28,62 km², una popolazione di oltre 36.000 abitanti ed una densità di 1262 abitanti/km². È collocato in una posizione centrale all'interno della piana che si estende fra Firenze e Prato, costituendo una vera e propria cerniera dell'area metropolitana. Il comune è caratterizzato da un centro storico densamente popolato, da numerose attività artigianali e industriali, oltre che dal grande centro commerciale "I Gigli" (oltre 130 negozi).

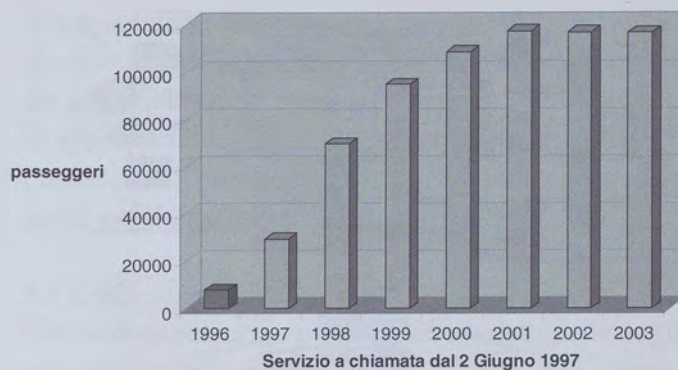


Figura 5. Andamento annuo dei passeggeri PersonalBus™ nel periodo 1997-2002.

4.2 Campi Bisenzio: primo comune interamente servito da Personalbus

Da alcuni anni a questa parte, in Europa e nel mondo, si sono moltiplicati i progetti relativi ai servizi a chiamata; esperienze in questo senso vanno prendendo forma in realtà anche profondamente diverse l'una dall'altra. In questo quadro estremamente variegato, il sistema Personalbus a Campi Bisenzio può però vantare un diritto di primogenitura per quanto riguarda l'ampiezza del territorio servito, il numero di utenti che lo utilizzano, il collaudo ormai consolidato del software, l'esperienza acquisita dagli operatori, la varietà di esigenze alle quali è in grado di far fronte.

Allo stato dell'arte non risulta che siano in piena e completa operatività altri sistemi di queste dimensioni.

È soprattutto da sottolineare il fatto che Campi appaia come il primo comune italiano in cui tutto il territorio è servito e tutti i servizi di trasporto pubblico interno sono a chiamata.

Le linee della zona industriale sono state sostituite da sistema di navette in coincidenza con le linee 30 e 35 e con il servizio ferroviario; i collegamenti trasversali alla "piana" sono stati oggetto di una riorganizzazione che ha coinvolto anche la CAP di Prato; le linee 50, 51 e 60 sono scomparse.

Una serie di condizioni e situazioni hanno favorito lo sviluppo di questa tipologia di servizio, fino all'attuale assetto, e decretato il suo successo:

- Campi Bisenzio, nell'ultimo decennio, è stata interessata da una rapida espansione residenziale e industriale, conseguenza di una corretta pianificazione urbanistica e degli investimenti infrastrutturali;
- il sistema della mobilità a Campi si è prestato particolarmente bene alla sperimentazione del servizio a chiamata;
- il progetto ha visto impegnati, con un rapporto fortemente collaborativo l'Amministrazione comunale di Campi e ATAF e il lavoro tra i tecnici dei

due enti si svolto in piena sintonia. Da sottolineare la coerente determinazione del Comune nella rinuncia alle linee 60 (che era stata istituita solo un anno prima), 50 e 51 attraverso una vasta opera di coinvolgimento delle associazioni di base e della popolazione che ha consentito un'accettazione informata e partecipata della novità;

- un'attenta attività di analisi ha preceduto il progetto Personalbus a Campi e ne ha accompagnato lo sviluppo;
- l'attività di comunicazione e informazione è stata intensa e articolata. Personalbus è un modo nettamente diverso di usufruire il trasporto pubblico rispetto alle forme tradizionali: non è possibile andare alla fermata ed aspettare che l'autobus passi. È, infatti, indispensabile aver prenotato la corsa. L'informazione agli utenti sulle nuove caratteristiche del servizio riveste quindi una funzione essenziale. Tutta l'attività di comunicazione realizzata è stata effettuata con il pieno accordo e collaborazione del Comune di Campi Bisenzio. In particolare, oltre ad esporre, ad ogni palina di fermata, la cartina con l'indicazione di tutte le fermate servite da Personalbus, è stato a più riprese (in occasione di ogni ampliamento) distribuito a tutte le famiglie un pieghevole con l'illustrazione delle caratteristiche del servizio. Al contempo sono stati usati i tradizionali mezzi di comunicazione: i giornali, l'affissione, il periodico dell'Amministrazione;
- la gradualità dello sviluppo di Personalbus a Campi ha favorito la crescita delle capacità gestionali e l'ottimizzazione delle risorse. Come accennato in precedenza, il Personalbus partì (2 giugno 1997) interessando solo una parte del territorio comunale, la più "facile" dal punto di vista del trasporto: si trattava, nella quasi totalità, di itinerari già percorsi dal trasporto pubblico tradizionale di linea e la vera novità, oltre ovviamente alla "prenotazione" del viaggio, era costituita

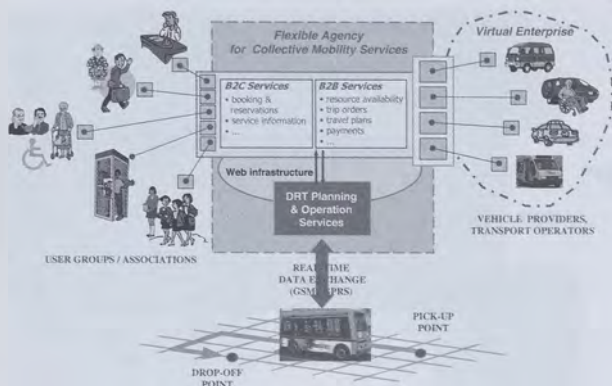


Figura 6. Contesto operativo dell'Agenzia per i Servizi Flessibili FAMS.

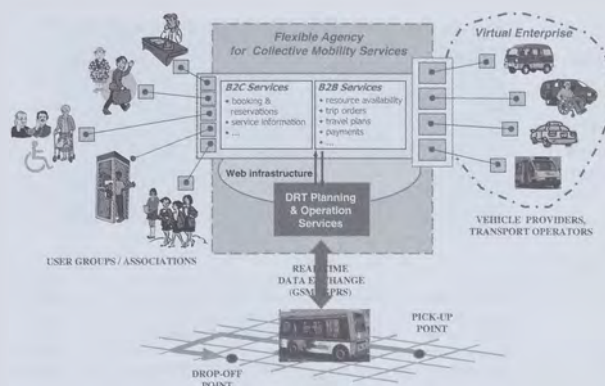


Figura 7. Il Portale FAMS ed i servizi di prenotazione.

dalle sequenze delle fermate. Dal 14 settembre 1998 il Personalbus è stato esteso a tutto il territorio comunale di Campi Bisenzio;

- l'accessibilità al servizio Personalbus è stata perseguita con l'impiego di autobus dell'ultima generazione a pianale super ribassato e posto per ospitare una carrozzella;
- la gestione di Personalbus avviene con l'impiego delle più moderne tecnologie telematiche ed informatiche.

4.3 Modello di servizio e organizzativo

Il servizio DRT di ATAF viene gestito tramite il sistema, PersonalBus™, creato dalla società SOFTECO SISMAT SpA in collaborazione con ATAF stessa.

Per la gestione del servizio, ATAF ha istituito una apposita centrale operativa (TDC, *Travel Dispatch Center*), alla quale fanno riferimento tutti i servizi DRT. Chi ha necessità di usufruire del servizio, chiama il TDC tramite numero verde telefonico, formulando la sua richiesta di viaggio e specificando le fermate di origine e destinazione del proprio viaggio insieme agli orari di partenza desiderati.

In risposta alla richiesta l'operatore del Centro, assistito dal software di gestione, identifica e/o eventualmente crea/modifica e quindi propone i viaggi che più si adattano alla richiesta effettuata.

È possibile gestire il servizio secondo due modalità:

- *Off-line*: la proposta di viaggio viene comunicata al cliente in tempi successivi. Il sistema elabora secondo vincoli predefiniti una lista di richieste acquisite nel tempo (prenotazioni). Il risultato dell'elaborazione è una pianificazione globale del servizio per un arco di tempo definibile; gli utenti devono richiamare il numero verde per la conferma del proprio viaggio;
- *On-line*: l'operatore fornisce immediatamente le

proposte di viaggio all'utente al telefono; per le corse da effettuare il giorno stesso, basta comporre il numero verde con almeno mezz'ora di anticipo sulla corsa.

Il servizio è attivo tutti i giorni feriali dalle 6,30 alle 20,00.

Le risorse umane impiegate giornalmente nel servizio di Campi sono:

- 1 operatore di centrale per il turno mattinale e 1 per il pomeridiano dal lunedì al sabato esclusi festivi;
- 9 autisti al giorno dal lunedì al venerdì (4 vetture dalle 6,30 alle 20,00 e 1 dalle 12,30 alle 15,00);
- 6 autisti il sabato (2 vetture dalle 6,30 alle 19,30 e 1 dalle 6,30 alle 9,00 e dalle 12,30 alle 15,00).

PersonalBus™ è implementato utilizzando lo stato dell'arte delle attuali tecnologie informatiche e i più diffusi standard industriali software e hardware: Sistemi Informativi Geografici (GIS) e mappe digitali, Data Base Relazionali e connettività ODBC, ambiente grafico mult finestre.

Il sistema si compone di una serie di strumenti software che supportano l'operatore del Centro durante:

- la fase di inizializzazione e configurazione;
- l'attività di pianificazione e gestione del servizio.

L'accesso alle informazioni è agevolato dall'utilizzo di rappresentazioni grafiche interattive che consentono il reperimento di informazioni in modo rapido e intuitivo (ricerca della fermata, del percorso, ecc.). La pianificazione e la gestione del servizio sono assicurate da avanzati algoritmi di ricerca e ottimizzazione.

4.4 I risultati ottenuti

Nelle varie fasi di attuazione del progetto, è stata realizzata una analisi continuativa nel tempo dell'andamento del servizio. I risultati appaiono decisamente positivi. In particolare si è provveduto, da un lato, ad effettuare una valutazione dei chilometri percorsi e

dei passeggeri trasportati, mentre dall'altro sono state effettuate delle interviste sia ai passeggeri del Personalbus che ai cittadini del comune di Campi Bisenzio per valutare gli effetti sull'utenza (reale e potenziale) di un servizio di questo tipo.

A fronte di una domanda della linea "tradizionale" inferiore ai 500 passeggeri/mese, la domanda mensile media è risultata intorno ai 4.000 passeggeri/mese nel primo anno, successivamente c'è stata una crescita di gradimento e di domanda che ha raggiunto una situazione di regime nel 2000, anno in cui la domanda media mensile si è assestata su valori intorno ai 10.000 passeggeri/mese, con punte superiori ai 12.000 passeggeri/mese (Figura 4).

Nella (Figura 5) il successo dell'introduzione del servizio è mostrato dall'andamento annuo dei passeggeri trasportati, dalla sua introduzione nel 1997 fino al 2002, confrontato con il medesimo valore relativo alle precedenti tre linee fisse (50-51-60).

Anche dal punto di vista della soddisfazione dei passeggeri i risultati sono eccellenti, raggiungendo un livello di gradimento del tutto particolare: 22% lo valutano ottimo, il 52% buono, il 19% sufficiente e gli scontenti sono circa il 7%.

5. I problemi dello sviluppo

5.1 Aspetti normativi

L'esperienza di Personalbus si è realizzata in un sostanziale vuoto normativo, in quanto le disposizioni esistenti regolano l'esercizio di linee su percorsi fissi e ad orari prestabiliti. Lo sviluppo in modo diffuso di questa tipologia di servizio richiederà necessariamente che le Amministrazioni Regionali, ora competenti in materia di trasporto pubblico a seguito del Decreto Legislativo 422/97, introducano una specifica normativa nella quale inquadrare tali attività.

In ogni caso, lo stesso Decreto sottolinea come si debba fare "ricorso alle modalità e tecniche di trasporto più idonee a soddisfare le esigenze di trasporto considerate, con particolare attenzione a quelle delle persone con ridotta capacità motoria". Inoltre la Legge della Regione Toscana 42/98, attuativa della succitata riforma, afferma chiaramente che "nella definizione dei servizi minimi la Regione e gli Enti Locali [...] garantiscono il trasporto pubblico in aree economicamente e territorialmente svantaggiate", ed ancora "[la Regione] definisce criteri ed indirizzi per l'organizzazione dei servizi nelle aree a domanda debole". Gli strumenti della pianificazione provinciale e comunale devono poi defi-

nire le politiche dei trasporti con riferimento anche "alla eliminazione delle barriere e allo sviluppo della mobilità dei soggetti disabili".

Si apre quindi una fase "costituente" nella quale sarà possibile individuare le forme e le modalità più adeguate per garantire la mobilità di tutti.

5.2 Evoluzione Tecnologica

Ulteriori opportunità possono essere date dalla continua evoluzione tecnologica che sempre più mette a disposizione sistemi più semplici e meno costosi. In particolare, grazie anche al progetto europeo INVENTE, ATAF ha potuto effettuare ulteriori passi avanti su tre livelli:

- a bordo del veicolo, dove è stato inserito un terminale con la rappresentazione dei percorsi in forma grafica o tabellare;
- sulla rete di comunicazione, per la localizzazione e la verifica dello stato del veicolo e la trasmissione in automatico delle informazioni sui viaggi accertati e la modifica degli itinerari da effettuare;
- sulle infrastrutture fisse, con l'installazione di totem informativi sullo stato del servizio in posizioni particolari (ad esempio centri commerciali ed altri luoghi di vasta aggregazione).

5.3 L'economicità della gestione: verso l'Agenzia dei servizi flessibili

Da un punto di vista organizzativo e gestionale si può pensare di andare a costituire una "Agenzia", che abbia come missione la fase organizzativa e progettuale, costituendo il punto di incontro fra le Istituzioni e vari vettori interessati (trasporto collettivo, taxi, volontariato, ecc.).

L'Agenzia, sviluppata nell'ambito del progetto europeo FAMS, utilizzando le conoscenze e le tecnologie più avanzate, può svolgere una funzione di snodo e coordinamento per tutta una serie di servizi su misura di specifiche esigenze che sono complementari al trasporto collettivo, ma sono sempre più necessarie per rispondere alla domanda che cambia:

- taxi collettivi;
- servizi speciali per persone con difficoltà a muoversi;
- servizi di scuolabus;
- servizi per aree a domanda debole;
- servizi per poli particolari.

Claudia Binazzi, ingegnere, ATAF, ufficio MTTC, Firenze.
Piero Sassoli, dottore, direttore d'esercizio, ATAF, Firenze.

Il servizio a chiamata: applicazioni all'area metropolitana di Bologna

SABINA MASSA

Il sistema "Prontobus" è un servizio di trasporto pubblico a chiamata, a percorso definito e ad orario fisso, le cui corse si effettuano, per intero o in parte, solo previa prenotazione telefonica.

Questo tipo di servizio trova applicazione in ambiti territoriali caratterizzati da domanda debole, ad integrazione o in sostituzione dei servizi di linea a scarso traffico.

Non necessita di alcun dispositivo a bordo dei veicoli perché le informazioni all'autista vengono inviate con un SMS.

Nell'ambito di un programma generale di ristrutturazione dei servizi di linea in ambito extraurbano, sono stati condotti alcuni studi di approfondimento sul territorio e sulla domanda di mobilità nelle aree a domanda debole che non trovavano più appetibile il tradizionale servizio di linea.

Pertanto il sistema Prontobus è stato messo a punto da Atc proprio nel tentativo di dare una risposta innovativa e soddisfacente alla domanda di mobilità in queste aree.

Le principali carenze lamentate riguardo al servizio di linea tradizionale in queste aree con popolazione dispersa erano le seguenti:

- le linee percorrevano tragitti consolidati, lasciando scoperti nuovi insediamenti che negli anni si erano venuti a sviluppare;
- il servizio si basava su un numero limitato di corse giornaliere, i cui orari, calibrati soprattutto sull'utenza pendolare scolastica, non soddisfacevano più alle esigenze di mobilità di un'utenza in prevalenza anziana, straniera o comunque priva dell'auto;
- soprattutto, le linee tradizionali non raggiungevano le nuove strutture sanitarie di zona che in questi ultimi anni sono state dislocate in località non raggiunte dal trasporto pubblico.

Forse quest'ultimo punto ha dato il maggior impulso agli Enti Locali a richiedere una ristrutturazione dei servizi di linea nei diversi bacini di traffico della Provincia ed ha spinto l'azienda a ricercare delle soluzioni tecnologiche per dare una risposta innovativa a tutte queste esigenze.

Applicazioni

Il sistema Prontobus è stato attivato per la prima volta nell'aprile 2001 nel territorio di 12 Comuni della pianura a nord del capoluogo bolognese, sul quale risiede una popolazione di circa 89.000 abitanti.

<div> <div> <div>atc</div> <div>servizio Prontobus</div> <div>linea 435</div> </div> <div> <div>S.Giorgio P. FS - C.Argile - Venezzano - Pieve C. - C.Argile -S.Giorgio P. FS</div> <div>S.Giorgio Di P. FS - Bentivoglio Osp.</div> </div> </div>																
<div> <div>Servizio feriale</div> <div>Orario in vigore dal 2 Maggio 2001</div> </div>																
Formato	Cod. corsa	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
BENTIVOGLIO ospedale		7.33	8.33	9.33	10.33				12.33	13.33	14.33	15.33	16.33	17.33	18.33	19.33
S.GIORGIO DI PIANO FS arr.		7.39	8.39	9.39	10.39				12.39	13.39	14.39	15.39	16.39	17.39	18.39	19.39
Bologna		7.20	8.11			10.55			12.13	13.13	14.13	15.13	16.13	17.13	18.08	19.11
S. Giorgio di Piano		7.39	8.28			11.14			12.31	13.35	14.35	15.32	16.35	17.35	18.26	19.31
S.GIORGIO DI PIANO FS part.		7.40	8.40	9.40	10.40	11.20			12.40	13.40	14.40	15.40	16.40	17.40	18.40	19.43
Argiletto		7.45	8.45	9.45	10.45	11.25			12.45	13.45	14.45	15.45	16.45	17.45	18.45	19.48
Castel d'Argile		6.40	7.52	8.52	9.52	10.52	11.32		12.52	13.52	14.52	15.52	16.52	17.52	18.52	19.55
Venezzano		6.44	7.57	8.57	9.57	11	11.37		12.57	13.57	14.57	15.57	16.57	17.57	18.57	20.00
PIEVE DI CENETO		6.51	8.05	9.05	10.05	10.50	11.45		12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	17.05	18.05	20.08
Castel d'Argile		6.55	8.09	9.09	10.09	11.02			12.09	13.09	14.09	15.09	16.09	17.09	18.09	20.12
Argiletto		7.01	8.16	9.16	10.16	11.09			12.16	13.16	14.16	15.16	16.16	17.16	18.16	19.16
S.GIORGIO DI PIANO FS arr.		7.05	8.21	9.21	10.21	11.14			12.21	13.21	14.21	15.21	16.21	17.21	18.21	19.21
S. Giorgio di Piano		7.11	8.26	9.26		11.19			12.26	13.26	14.26	15.26	16.26	17.26	18.26	19.26
Bologna		7.28	8.45	9.55		11.46			12.52	13.48	14.58	15.46	16.46	17.44	18.46	19.46
S.GIORGIO DI PIANO FS part.		7.12	8.22	9.22	10.22				12.22	13.22	14.22	15.22	16.22	17.22	18.22	19.22
BENTIVOGLIO ospedale		7.19	8.29	9.29	10.29				12.29	13.29	14.29	15.29	16.29	17.29	18.29	19.29

Figura 1. Esempio di orario di linea.

In quest'area il Prontobus si articola in 7 linee extraurbane che sviluppano una rete di circa 125 km. L'orario è cadenzato con frequenza 60 minuti e si effettua tutti i giorni feriali da lunedì a sabato dalle 6.30 alle 20.30 circa.

Dati i bassi carichi in gioco e la caratteristica delle sedi stradali che non sempre sono adatte al transito di autobus lunghi, viene svolto con minibus da 16 posti. I percorsi delle linee non toccano il capoluogo bolognese, ma costituiscono una raggiera intorno all'Ospedale di Bentivoglio, che è il principale polo attrattore della zona. Le linee che intercettano la ferrovia hanno gli orari in coincidenza con i treni.

L'introduzione del sistema a chiamata non ha alterato il servizio delle linee portanti di collegamento con Bologna, ma ha sostituito i collegamenti trasversali tra i Comuni: se prima l'offerta totale annua era di 610.000 km/anno, con l'introduzione del sistema a prenotazione l'offerta teorica totale annua è raddoppiata (1.300.000 km/anno) e nel 2002 le percorrenze effettuate sono state 730.000 km con un incremento di servizio di circa il 20%. Complessivamente, sull'intero servizio di un anno (2002), sono state prenotate il 56% delle corse (o tratti di corsa) e il carico medio sulle corse prenotate è intorno a due persone per corsa, mentre, se si considera l'offerta potenziale complessiva, il valore del carico medio scende ad una persona per corsa.

Una seconda ristrutturazione è stata attivata nel novembre 2002, nell'ambito dell'Associazione Intercomunale Terre d'Acqua: un territorio di 6 Comuni, nell'area di pianura a nord-ovest di Bologna, su cui risiedono circa 69.000 abitanti.

La rete si articola su 6 linee che sviluppano una lunghezza dei percorsi di circa 145 km.

Anche in questo caso le linee privilegiano l'interscambio con il treno e il collegamento con l'Ospedale di zona di San Giovanni in Persiceto, offrendo un servi-



Figura 2. Linee Prontobus.

zio non cadenzato, ma con una frequenza superiore a quella che c'era con il servizio tradizionale.

In entrambe le applicazioni, i principi che stanno alla base della definizione delle reti delle linee Prontobus sono:

- potenziare i collegamenti tra i principali centri e frazioni con i rispettivi capoluoghi;
 - servire località precedentemente non raggiunte dal trasporto pubblico, sia nuove zone residenziali, sia frazioni che non potevano essere raggiunte dai normali autobus di linea, lunghi 12 metri, ma che possono essere collegate con i minibus che sono utilizzati sulle linee a prenotazione;
 - istituire dei collegamenti frequenti e possibilmente cadenzati con le strutture sanitarie di zona che sono sorte in aree decentrate;
 - Integrare il servizio di linea con il servizio ferroviario.
- L'ultima applicazione in ordine di tempo, è entrata in funzione lo scorso settembre, sul collegamento Dozza-Toscanello, ossia tra il capoluogo Dozza e la sua frazione principale Toscanella. Questo tragitto, che era servito da poche corse al giorno utili soprattutto agli studenti, è stato trasformato in un servizio a chiamata, sulla base di un orario cadenzato a frequenza oraria, offrendo potenzialmente il triplo delle corse che con il servizio tradizionale.

Come si usa Prontobus

Il servizio delle linee Prontobus è progettato come se le corse fossero effettuate per intero, viene generato un orario teorico per il pubblico con la differenza che le corse vengono effettuate per intero o in parte solo se sono state prenotate da almeno una persona.

L'utente che intende utilizzare una corsa Prontobus deve telefonare al *call centre* di Atc, ovvero ad un numero telefonico della rete urbana di Bologna dedi-



Figura 3. Architettura del software Prontobus.

cato a ricevere solamente le prenotazioni per tale servizio. Alla chiamata risponde un operatore di *call centre* il quale chiederà all'utente tutte le informazioni sulla corsa che intende effettuare, la fermata di origine e quella di arrivo, l'orario desiderato, il giorno di effettuazione della corsa e quante persone utilizzeranno questa tratta.

La prenotazione deve essere effettuata almeno un'ora prima dell'orario programmato di passaggio della corsa dalla fermata desiderata, la prenotazione può essere multipla ovvero mediante la stessa telefonata è possibile prenotare una corsa per più giornate e/o per più persone.

È stata fatta la scelta di non adottare un numero verde gratuito per scoraggiare eventuali false prenotazioni. Sul servizio Prontobus sono in vigore le tariffe extraurbane ordinarie e vi si accede senza alcun sovrapprezzo, se non quello della telefonata urbana.

Come funziona il software di prenotazione

Il programma Prontobus riceve dal sistema cartografico informatizzato, i percorsi delle linee e dal sistema di progettazione, gli orari e i turni macchina di quelle determinate linee.

Quando il cliente telefona al *call centre* per prenotare la corsa, l'operatore inserisce la prenotazione utilizzando un'apposita videata nella quale inserirà la fermata di origine, quella di arrivo sulla corsa e per la linea richiesta e per il giorno desiderato. Il *call centre* ha a disposizione una schermata che gli consente di visualizzare gli orari di passaggio di tutte le corse a tutte le fermate. Non appena viene immessa una nuova prenotazione il software provvede a compattare le richieste per giorno, per linea e per corsa. Dopodiché, un'ora prima della partenza dal capolinea di ogni corsa, il sistema, sulla base dei percorsi che ha

Figura 4. Modulo per il calcolo delle percorrenze.

a disposizione per quella determinata corsa va a verificare qual è la tratta minima che deve essere effettuata per soddisfare tutte le richieste pervenute. A questo punto, genera una lista d'imbarco che viene spedita mediante un SMS via rete GSM al cellulare dell'autista. La lista d'imbarco è una stringa di caratteri che riporta le seguenti informazioni: numero del turno macchina, orario della corsa, la tratta che deve essere effettuata identificata dalle due fermate origine-destinazione, il codice delle fermate alle quali ci sono delle persone da caricare e il carico massimo che ci sarà su quella corsa.

Sui mezzi non è installato alcun dispositivo di bordo, l'unico requisito richiesto per il funzionamento del servizio Prontobus è che l'autista sia dotato di un telefono cellulare. L'autista, prima di prendere servizio su una determinata linea, deve inizializzare il suo telefono cellulare, ovvero deve mandare un SMS precodificato alla centrale operativa per far riconoscere al sistema quale numero di portatile è abbinato a quel turno macchina. Un'ora prima della partenza da capolinea di ciascuna corsa riceverà un SMS con la lista d'imbarco, o in alternativa un SMS con indicato che per quella corsa non ci sono prenotazioni.

Tutte queste informazioni sono registrate in un database e il software ha un modulo che permette di estrarre i dati relativi alle percorrenze e all'utilizzo del servizio.

Criticità e vantaggi

Il passaggio da un servizio di linea tradizionale ad uno a chiamata, ha consentito di avere a disposizione una notevole quantità di informazioni relative alla domanda di mobilità. Dai dati sulle prenotazioni è possibile ricavare la matrice OD per linea, per corsa, per giorno e quindi monitorare l'andamento del servizio e

avere un riscontro immediato sul tasso di utilizzo e sul grado di soddisfazione da parte dell'utenza.

Se da un lato la rigidità del sistema Prontobus, che offre un orario definito sulla base di percorsi prefissati, rispetto ai sistemi di trasporto a generazione di percorso e di orario, sembra essere il suo limite maggiore, d'altra parte questa può essere considerata proprio la forza del sistema. Infatti l'utente avendo a disposizione gli orari può programmare in anticipo il suo spostamento ed ha la conferma del passaggio della

corsa nel momento stesso in cui telefona per prenotarla, perché non è necessario che l'operatore lo richiami per comunicargli l'orario di passaggio della corsa.

Inoltre non avendo necessità di alcuna installazione fissa sui mezzi, ha il grande vantaggio di essere flessibile (i mezzi possono facilmente venire sostituiti) ed economico.

Sabina Massa, ingegnere, Settore progettazione e controllo – ATC, Bologna.

Il servizio drinbus: applicazioni nell'area metropolitana di Genova

ALEXIO PICCO

Dall'aprile 2002 è attivo a Genova, nelle due delegazioni di Pegli-Multedo e di Quinto-Nervi, il servizio DRINBUS, un sistema di minibus a percorsi ed orari integralmente flessibili, che l'utenza può prenotare telefonicamente in base alle proprie esigenze. Il riscontro del servizio ha indotto AMT, l'Azienda di trasporto pubblico genovese, ad estendere tale servizio in altre aree cittadine in sostituzione di linee di bus a basso carico; è stato previsto cofinanziamento dell'iniziativa nell'ambito del programma LIFE, mediante il progetto europeo SIDDHARTA.

Il Sistema a Chiamata

Il trasporto "a chiamata" rappresenta una risposta mirata alle problematiche di efficienza connesse al trasporto collettivo delle persone; costruito su misura per la clientela, risulta capace di conciliare la flessibilità del mezzo privato e il costo del trasporto pubblico.

Il servizio *drinbus* è il primo servizio a chiamata attivato in ambito diurno nel tessuto urbano di una grande città. Il servizio è stato fatto oggetto di numerose visite da parte di Enti e Aziende di trasporto, università italiane e straniere, nonché di presentazioni in convegni del settore in Italia e all'estero.

Il *drinbus* è un servizio di trasporto pubblico a chiamata di tipo "many to many", ossia a percorsi ed orari variabili nell'ambito di punti di fermata prestabiliti, che si interfaccia dinamicamente con l'utenza e ne coglie richieste e necessità.

La scelta delle aree di servizio

In fase di pianificazione del servizio sono state condotte indagini sulle aree geografiche genovesi ritenute interessanti per un'applicazione di un servizio a chiamata.

La ricerca di ambiti urbani che si prestino alla realizzazione di servizi a chiamata si è concentrata sulle *aree collinari genovesi*, potenzialmente le più adatte perché tipicamente caratterizzate da modesta densità abitativa e domanda relativamente debole.

Si è così giunti all'individuazione di sette aree della città che presenta-



no caratteristiche idonee alla realizzazione di un servizio di navette a chiamata.

Per ciascuna area si sono analizzati:

- le caratteristiche degli eventuali servizi di autobus esistenti;
- i dati relativi ai rilievi di carico condotti sulle linee di bus pertinenti;
- le caratteristiche degli eventuali altri servizi di trasporto pubblico esistenti;
- la percorribilità delle strade e le regole di circolazione esistenti;
- la domanda di mobilità e le criticità dei servizi esistenti emerse da interviste sul campo;
- i dati demografici relativi ai residenti interessati dal servizio;
- i dati di mobilità ricavati dalla matrice O/D.

Fra queste aree, in base ai criteri sopra esposti si sono scelte le due zone di Pegli-Multedo e di Quinto-Nervi, caratterizzate da un certo numero di importanti direttrici non servite dal trasporto pubblico: qui è stata avviata la sperimentazione del servizio a chiamata.

Le modalità di servizio

Il servizio, inaugurato il 29 aprile 2002, è attivo tutti i giorni dalle 7.00 alle 20.00 esclusi i festivi; il numero verde del call center segue gli stessi orari.

L'utente sceglie, fra le numerose fermate della sua zona, quella di origine e quella di destinazione del suo spostamento, stabilisce l'ora di partenza o quella di arrivo e prenota la sua corsa telefonando ad un numero verde.

L'operatore inserisce la richiesta nel software di gestione del sistema, che immediatamente la elabora assegnandola ad un minibus disponibile nel rispetto dell'ottica di ottimizzazione dei percorsi e degli orari di ogni navetta.

È possibile prenotare una corsa, oltre che per il giorno stesso, anche per i giorni successivi o per la settimana successiva; ogni corsa è inoltre prenotabile per una o più persone. È infine possibile prenotare più corse in una volta sola.

In considerazione della qualità del nuovo servizio, decisamente superiore agli standard del trasporto pubblico tradizionale, *drinbus* presenta per l'utenza un costo vantaggioso: sulle navette a chiamata si possono utilizzare tutti i biglietti e abbonamenti della rete urbana AMT, integrati da un supplemento, che dà diritto ad utilizzare il servizio per l'intera giornata della timbratura; tale supplemento può essere acquistato sulle vetture.

Aspetti tecnologici

La gestione di un simile sistema si basa su un ragguardevole supporto tecnologico.

Per quanto concerne la *comunicazione fra utenti e centrale*, nell'ottica di privilegiare quanto più possibile semplicità e flessibilità, è stata prevista la prenotazione telefonica: ciò garantisce facilità di accesso al servizio (si pensi alla diffusione dei telefoni cellulari) senza gli inconvenienti legati ad altri sistemi di prenotazione, in particolare alle colonnine stradali (scarsa flessibilità del servizio, problemi d'installazione, problemi di riconoscimento dell'utente, possibilità di atti vandalici). È stata prevista la possibilità di prenotare via Internet.

La *gestione delle liste di prenotazione* richiede l'integrazione di più tecnologie: è stato acquisito tramite apposita gara un software (Softeco Sismat) dedicato alla gestione delle prenotazioni e all'ottimizzazione di percorsi e orari, è stato installato su tutti i veicoli un terminale di bordo (GEA) comprensivo di sistema di localizzazione satellitare GPS per il rilevamento della



posizione, si è dotata la centrale di un software per il monitoraggio della flotta dei veicoli.

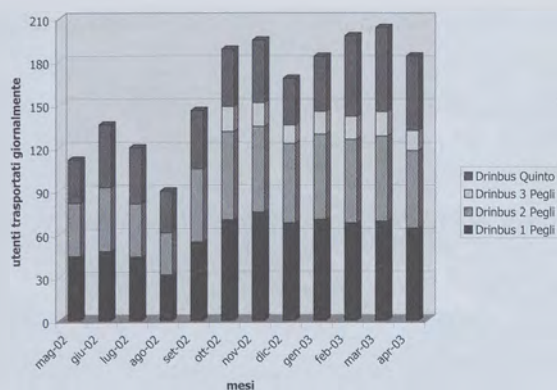
Per la *comunicazione fra centrale e veicoli*, il supporto GSM garantisce lo scambio di dati e informazioni, in particolare l'aggiornamento real time delle tabelle di marcia dei minibus, la segnalazione in centrale di eventuali anomalie di servizio, la fonia tra autisti e operatori di centrale.

La *centrale* è allestita presso il CCB (Centro Controllo Bus) dell'AMT, dove un banco operatore è dedicato alla raccolta delle prenotazioni, alla elaborazione delle richieste di viaggio e alla gestione del servizio sul campo.

In particolare l'operatore dispone di tre calcolatori, dedicati uno all'acquisizione ed all'elaborazione delle richieste di viaggio (mediante il software "Personalbus"), uno alla rappresentazione della posizione corrente dei mezzi sul territorio (localizzazione GPS su supporto GIS), uno all'archiviazione della mole di dati inerenti il servizio (data base Oracle).

Il software di gestione, acquisite le coordinate spaziotemporali delle richieste giunte al call center, le elabora costruendo, per ogni vettura in servizio, una sequenza di viaggi creati sulla base di uno specifico algoritmo di ottimizzazione delle percorrenze. Cautelativamente si accettano prenotazioni con un anticipo minimo sull'ora di partenza pari a 30 minuti, ma il sistema può abbattere questo limite.

La postazione operatore è poi dotata di due linee telefoniche, una dedicata alla raccolta delle richieste da parte dell'utenza e l'altra riservata alle comunicazioni di servizio fra centrale e autisti o centrale e rimesse, e di una terza linea tramite cui la società fornitrice può operare interventi manutentivi sul sistema in controllo remoto. Completano la dotazione della centrale una stampante per la produzione di report cartacei e un gestore di posta elettronica per lo scambio di dati e informazioni fra la centrale e le rimesse.



Per quanto riguarda i *veicoli*, la tipologia di vetture più adatta ad un servizio di trasporto pubblico a bassa domanda, alla particolare struttura urbanistica e viaria di gran parte della città (sedi stradali ristrette, forti pendenze, ridotti raggi di curvatura) è quella del minibus. Considerati poi i noti problemi di congestione ed inquinamento atmosferico prodotto dalle emissioni veicolari, requisito fondamentale di questi mezzi è una trazione a basso impatto ambientale: sono stati scelti pertanto veicoli a metano.

AMT si è garantita la fornitura di sette Sprinter Mercedes in grado di ospitare fino a otto passeggeri, con vari comfort di bordo; i veicoli sono stati decorati ad hoc sulla base di un progetto grafico unitario di tutti gli elementi costituenti il sistema, dai minibus alle paline di fermata e alle brochure illustrative distribuite all'utenza.

Il terminale installato a bordo dei veicoli consente la visualizzazione delle liste di viaggi aggiornate in tempo reale, la rappresentazione della posizione del mezzo sulla mappa e l'evidenziazione del percorso ottimale (navigatore satellitare), l'invio di messaggi precodificati per la segnalazione in centrale di situazioni anomale o di pericolo (avarie, incidenti, congestione stradale, ecc.), la segnalazione automatica in centrale di eventuali anomalie di servizio (anticipi e ritardi, errori nella gestione del terminale, scostamenti fra l'itinerario ottimale e quello realmente effettuato dai minibus, ecc.).

I risultati

Il servizio ha ricevuto numerose le manifestazioni di apprezzamento, in particolare per l'utilità, la valenza sociale e la qualità dello stesso.

È indicativo il numero degli utenti: nel primo anno sono stati 1.300, vale a dire che, fra i residenti nelle

aree servite, una persona su venti è cliente del servizio a chiamata.

Raramente un servizio a chiamata (che come noto può presentare qualche difficoltà di assimilazione da parte dell'utenza, dati gli alti contenuti innovativi) ha ottenuto un successo così immediato. Nel primo anno di servizio il servizio ha trasportato circa 45.000 passeggeri, di cui 33.000 a Pegli-Multedo e 12.000 a Quinto. Nei giorni feriali il servizio ha trasportato in media 160 passeggeri al giorno. Si è però registrato un deciso incremento dei carichi giornalieri medi: si è passati da 122 passeggeri al giorno nei primi tre mesi di servizio a 195 passeggeri al giorno negli ultimi tre, con una crescita del 61%.

I minibus impiegati (due vetture a Pegli-Multedo, più una nelle ore di punta, una vettura a Quinto-Nervi) hanno reso complessivamente oltre 6.000 ore di servizio effettivo e ben 100.000 km, per una media di 330 chilometri al giorno.

Un'indagine di *customer satisfaction* condotta da AMT ha evidenziato alti livelli di soddisfazione da parte dell'utenza, per puntualità, affidabilità, comfort e sicurezza. Il riscontro del servizio è testimoniato anche da richieste di estensione ad altre aree cittadine.

L'utenza riscontrata è eterogenea: studenti, pensionati, casalinghe, lavoratori. Altrettanto dicasi per il motivo degli spostamenti: shopping e commissioni, scuola, lavoro, attività sportive e ricreative, visite a parenti ed amici, interscambio.

Due dati di particolare interesse e rilevanza; il primo: fra gli utenti dotati di auto propria, 4 su 5 hanno dichiarato che il servizio ha ridotto i loro spostamenti in auto; il secondo: il 95% degli utenti ha l'abitudine di prenotare le proprie corse, il che rivela buona familiarità con la prenotazione anche da parte dell'utenza anziana, la quale non solo non ha tardato a far proprio il meccanismo della prenotazione telefonica, ma si è detta anzi invogliata ad uscire di casa da un servizio di trasporto pubblico così personalizzato.

Il servizio ha portato ad AMT benefici in termini di migliorata immagine aziendale (servizio moderno, innovativo, di qualità), elevato recupero di produttività aziendale (reintegrazione di personale di guida parzialmente o temporaneamente inidoneo), acquisizione di competenze nella progettazione, nell'eserci-

zio e nella valutazione di un tipo di servizio di grande rilevanza nei futuri sviluppi del trasporto pubblico.

In conclusione, il servizio presenta un elevato rapporto benefici/costi per la collettività: estensione del trasporto pubblico in zone cittadine non ancora servite, soddisfacimento della domanda di mobilità da parte delle fasce sociali più deboli (anziani, studenti, casalinghe), servizio pubblico realmente "personalizzato", riduzione dell'uso dell'automobile privata e riduzione delle emissioni inquinanti, migliorata accessibilità per stazioni, uffici comunali, scuole, attività commerciali, centri sportivi.

Sviluppi presenti e futuri

Sulla base dei confortanti risultati conseguiti, AMT ha già esteso più volte la rete di servizio nelle due aree di Pegli-Multedo e di Quinto-Nervi, in modo da raggiungere altre vie non servite da alcuna linea di bus.

La politica di sviluppo dei servizi a chiamata intrapresa da AMT ha già maturato una decisione di grande valenza concettuale ed economica: la sostituzione di linee urbane tradizionali a basso carico e bassa frequenza.

Gli obiettivi di AMT sono o una riduzione dei costi di esercizio delle linee sostituite o, a parità di costo, un servizio qualitativamente migliore e quindi più soddisfacente per l'utenza.

Gli studi di fattibilità per la sostituzione di servizi di linea esistenti con servizi a chiamata hanno individuato come ambiti preferenziali di applicazione le linee diurne collinari e le linee nelle fasce serali.

È stata successivamente prevista la progettazione esecutiva di un nuovo servizio a chiamata nella zona di Bolzaneto in sostituzione di due linee collinari. È previsto che l'implementazione del servizio sia cofinanziata dal programma europeo Life-Ambiente attraverso il progetto *SIDDHARTA (Smart and Innovative Demonstration of Demand Handy Responsive Transport Application to improve the quality of the urban environment)*, la cui attivazione corrisponde all'inizio del 2004.

Alexio Picco, ingegnere, responsabile Unità Operativa Progetti e Sistemi, Azienda Mobilità e Trasporti, Genova.

Tendenze evolutive dei sistemi di trasporto a chiamata: l'analisi degli aspetti economici

MARCO MAURO

Il settore del trasporto ha incominciato a sperimentare i servizi flessibili attraverso forme di finanziamento pubblico, ottenendo in alcuni casi risposte incoraggianti da parte dell'utenza.

Numerose esperienze, sia a livello internazionale che nazionale, hanno dimostrato la fattibilità tecnologica dei sistemi di trasporto a chiamata ed hanno permesso di delineare una serie di possibili vantaggi suddivisi come specificato di seguito.

Per l'utenza:

- disponibilità di mobilità alternativa a quella privata ma a costi inferiori;
- maggiore possibilità di movimento sul territorio locale.

Per la comunità:

- fluidificazione del traffico (riduzione del traffico privato a vantaggio di quello pubblico);
- riduzione delle emissioni in atmosfera e dell'inquinamento sonoro;
- consolidamento dei rapporti sociali (contrasto all'abbandono delle aree rurali ed incentivazione alla fruizione del tempo libero).

Per l'Amministrazione Pubblica:

- riduzione spese di bilancio a parità (o aumento) di qualità del servizio erogato percepita dai cittadini (riduzione delle spese di appalto);
- garanzia di continuità nel tempo e nello spazio del servizio pubblico;
- maggiore rispondenza alle esigenze dei cittadini;
- miglioramento dell'immagine dell'amministrazione presso l'opinione pubblica.

Per il gestore del trasporto:

- nell'ipotesi di sostituzione delle corse vuote, riduzione costi di esercizio (consumo combustibile e spese di manutenzione);
- aumento dei passeggeri (e dei ricavi) e intercettazione di nuove fasce di utenti;
- miglioramento dell'immagine dell'azienda presso l'utenza;
- pianificazione ottimale della flotta verso le missioni.

Esistono però ancora notevoli incertezze sull'utilizzo di questi sistemi, che devono essere risolte prima di poterli considerare uno strumento a disposizione degli operatori per la gestione della mobilità. Le attività di ricerca e sviluppo sui sistemi di trasporto a chiamata sono state a tutt'oggi focalizzate sugli aspetti tecnologici. Lo sforzo realizzativo è stato principalmente concentrato sulle tecnologie relative alla trasmissione dati e all'indirizzamento dei mezzi. Minore attenzione è stata dedicata agli aspetti economici, ad una corretta valutazione delle esi-

genze di mobilità, alla possibilità di tariffe flessibili e alla valutazione delle dimensioni del mercato per questi servizi. In particolare i benefici vantati dai sistemi flessibili sono ancora da quantificare ed in parte da accertare con sicurezza. Sicuramente non è possibile usufruire contemporaneamente di tutti i vantaggi sopraelencati. Infine la sostenibilità economica complessiva dei servizi flessibili è ancora totalmente da indagare.

Dall'analisi dello stato dell'arte dei progetti, nazionali ed europei, relativi ai sistemi di trasporto a chiamata emergono alcune caratteristiche diffuse:

- di norma non viene posta molta attenzione ai costi operativi in ragione dell'assunzione che l'eventuale sbilanciamento tra costi e ricavi viene ripianato dall'Amministrazione Pubblica;
- in molte applicazioni esistono degli archivi che registrano i dettagli relativi ai viaggi di ogni passeggero (partenza, destinazione, orari, presenza di bagaglio, ecc.); ma viene sostanzialmente trascurata la possibilità di adottare tariffe personalizzate, resa possibile da una conoscenza più puntuale del profilo di viaggio dei passeggeri rispetto al servizio a corse fisse;
- le forme di pagamento istituite mutuano quelle del servizio tradizionale (biglietto cartaceo, pagamento in moneta all'autista o carta magnetica).

Sono ancora poco conosciute le dimensioni del mercato per i servizi flessibili, la tipologia di utenza e la sua disponibilità a pagare una determinata cifra per il servizio. Gli scenari evolutivi e la valutazione degli impatti socio-economici derivanti dall'introduzione di sistemi a chiamata sono quasi inesistenti. L'assenza di questo tipo di indagini è dipesa sinora, più che da una mancanza di volontà, dalla indisponibilità di dati di consuntivazione di esercizio su vasta scala. Una tale mole di dati non esiste e gli attuali sistemi informativi delle aziende di trasporto non sono in grado di fornirli.

Inoltre non esistono ancora nel settore del trasporto pubblico delle metodologie di valutazione dei servizi a chiamata. La recente applicazione sperimentale di questi servizi e la loro ridotta dimensione rispetto al servizio tradizionale hanno determinato un ritardo nello sviluppo di strumenti di valutazione dedicati. I servizi a chiamata attualmente in sperimentazione o vengono valutati con gli stessi criteri del servizio tradizionale o non vengono valutati affatto. Nel primo caso viene commesso un evidente errore di metodo che porta a sottovalutare l'impatto dei servizi flessibili (ad esempio utilizzare la percorrenza totale o i passeggeri trasportati può convincere dell'inutilità dei

servizi stessi). Nel secondo caso ai servizi flessibili viene genericamente attribuito un elevato valore sociale ed ambientale ma senza fornirne una stima quantitativa. Questo atteggiamento porta a sopravvalutare i vantaggi dei servizi a chiamata e, nel lungo periodo, conduce ad un inevitabile fallimento economico. Si evidenzia, inoltre, come nel caso dei servizi a chiamata cambi totalmente la prospettiva di valutazione rispetto al servizio tradizionale. In quest'ultimo la valutazione è fatta sulla massa totale dei passeggeri, mentre per i primi è possibile costruire una valutazione per ogni singolo cliente. Quindi, in aggiunta ai parametri tipici dei servizi tradizionali (percorrenza, passeggeri trasportati, velocità commerciale, ecc.), possono essere presi in considerazione alcuni parametri specifici dei servizi a chiamata: numero di richieste rifiutate dalla centrale, cumulativo delle anomalie di servizio, adeguatezza del sistema tariffario, indicatori di viaggio (tortuosità del percorso, durata, scostamenti, ecc.). Inoltre è necessario indagare come utilizzare una serie di variabili qualitative quali: soddisfazione del cliente, classificazione dei clienti serviti (appartenenza a fasce protette), vantaggi per la collettività (impatto sul traffico, sull'ambiente, sulla coesione sociale, ecc.).

A titolo esemplificativo, in Figura 1 sono riportati da un punto di vista qualitativo i posizionamenti relativi di alcune modalità di trasporto in funzione di diversi criteri di valutazione.

La difficoltà di valutare con precisione gli aspetti economici legati all'utilizzo dei sistemi flessibili costituisce uno dei fattori principali che impediscono la diffusione di questi sistemi. I ritorni economici e sociali sono ipotetici mentre i costi di investimento sono sicuri ed elevati. In Italia solo i grandi capoluoghi stanno sperimentando servizi a chiamata. Mentre l'applicazione di questi sistemi nelle municipalità più piccole è ostacolata dagli alti investimenti richiesti dalla messa in opera di un sistema di trasporto a chiamata (centrale di terra, dispositivi di bordo, personale, veicoli, ecc.).

La situazione attuale è caratterizzata dal fatto che proprio le Amministrazioni che più beneficerebbero dei vantaggi di questi sistemi (piccole municipalità, comunità montane, territori rurali e in generale a bassa densità abitativa) sono quelle con minore possibilità di realizzarli.

Esiste quindi una necessità di quantificare le prestazioni dei servizi flessibili in maniera rigorosa accompagnata da una diffusa ignoranza sul come fare e su quali strumenti utilizzare.

Per le ragioni sin qui espresse, il Centro Ricerche Fiat ha affiancato alle attività di ricerca e sviluppo tecnologico in questo campo l'analisi della sostenibilità economica dei servizi flessibili.

Valutazioni preliminari condotte sulla base di dati provenienti da linee di trasporto operanti in diverse aree rurali italiane hanno dimostrato che, in determinate situazioni, i servizi di trasporto a chiamata risultano economicamente più vantaggiosi di quelli tradizionali a corse fisse a parità di utenti trasportati. Ma esistono anche molte situazioni in cui il rapporto si inverte a vantaggio del servizio tradizionale. I fattori principali che determinano il successo economico di un servizio a domanda sono tre:

- la conoscenza precisa delle esigenze di mobilità del territorio (dimensione e segmentazione della domanda);
- la valutazione dell'impatto sull'azienda di trasporto (organizzazione dei turni uomo/macchina e gestione dell'interazione con l'utenza);
- la rendicontazione fine del servizio svolto (allocazione precisa di costi e ricavi).

Non è pensabile la realizzazione di un sistema di trasporto flessibile che trascuri anche uno solo di questi fattori che devono essere tenuti in considerazione sia nella fase di progettazione del servizio che durante il suo esercizio. Per fare questo occorre una base di dati voluminosa, affidabile ed aggiornata dinamicamente ed uno strumento per gestirla ed interpretarla.

Il Centro Ricerche Fiat è impegnato nella realizzazione di un sistema integrato che consenta di erogare, in aggiunta al servizio di trasporto, anche le funzionalità necessarie ad una sua operatività efficiente. Questo significa che l'attenzione non è focalizzata solo sui dispositivi di bordo e di terra, ma è indirizzata anche a sviluppare un *sistema per la consuntivazione fine del servizio* in grado di consentire il *monitoraggio dei flussi di utenza*, l'*allocazione esatta dei costi e dei ricavi* e la *definizione di politiche tariffarie evolute*.

Conoscere la domanda di mobilità è un elemento imprescindibile per la gestione di servizi di trasporto. Nel caso di servizi flessibili questa conoscenza deve essere più dettagliata ed approfondita. La domanda "forte" del servizio tradizionale deve essere suddivisa in tante domande "deboli", ed il territorio deve essere studiato con una precisione superiore in termini di assetti viari, orografia e forme di antropizzazione. Il *monitoraggio dei flussi di utenza* deve fornire i dati necessari al fine di eseguire una valutazione continua delle esigenze di mobilità del territorio, della segmentazione dell'utenza e della sua disponibilità a pagare.

Sulla base di elaborazioni statistiche dei dati relativi ai viaggi o attraverso l'elaborazione di questionari acquisiti in forme automatiche devono essere continuamente verificate le esigenze reali dei cittadini. I risultati delle rilevazioni consentiranno di ridefinire le modalità operative del servizio in funzione dei cambiamenti delle esigenze dell'utenza.

L'*allocazione di costi e ricavi* deve consentire l'analisi dell'incidenza del costo del personale e della flotta e della loro variabilità in funzione della tipologia o del momento dell'esercizio. Nell'ambito del trasporto pubblico, la consuntivazione del servizio in forma automatica è ancora, perlomeno in ambito nazionale, al livello di studi ed analisi di fattibilità. Non esistono a disposizione sul mercato strumenti e metodologie di riferimento in questo settore. Relativamente ai servizi flessibili, occorre indagare quali parametri acquisire durante l'espletamento del servizio, come riepilogarli per ridurre le dimensioni dei dati da trasferire a terra, le strategie di trasmissione (polling da terra con determinate frequenze, trasmissione da veicolo, automatismo al rientro in deposito, ecc.), gli algoritmi di analisi a terra (estrazione dell'informazione utile), come memorizzare i dati storici, le metodologie di costruzione dei rendiconti economici (sul singolo veicolo, sulla flotta, sul singolo passeggero, ecc.). Le indagini dovranno anche riguardare i costi di trasmissione legati alla quantità di dati raccolta a bordo e alle conseguenze sui costi totali di esercizio. In particolare dovranno essere valutate la validità funzionale e la convenienza economica dell'utilizzo di tecnologie di trasmissione short range in alternativa alla stipula di contratti di telefonia mobile.

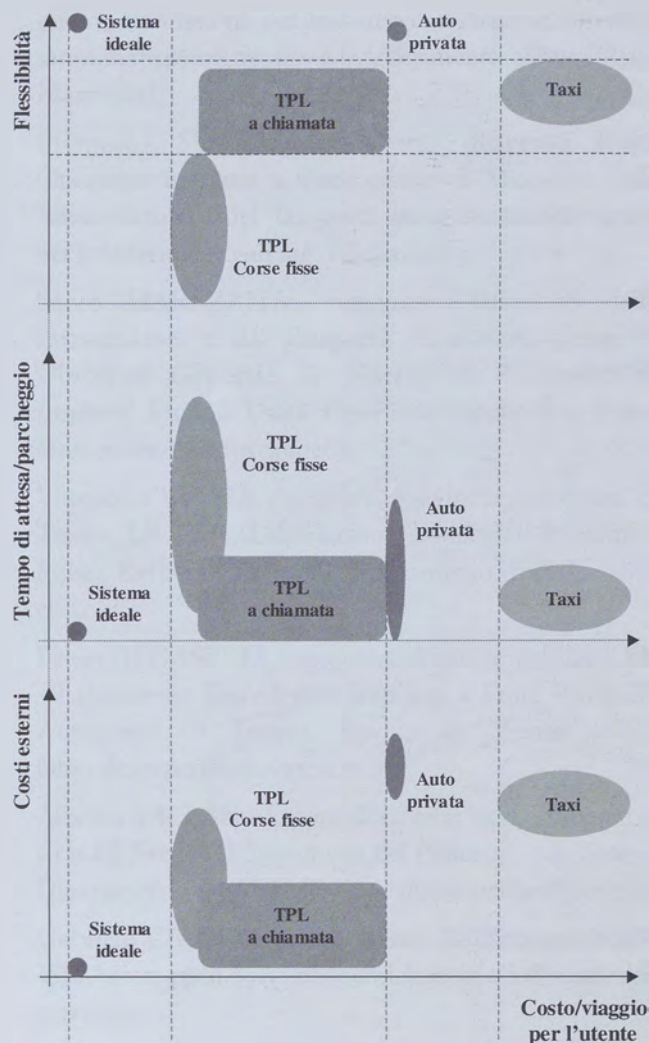
I servizi di trasporto a chiamata, che comportano l'identificazione di ogni passeggero e di ogni profilo di viaggio, consentono l'ideazione e la sperimentazione di strategie tariffarie non possibili sul trasporto tradizionale. Le tariffe dei servizi flessibili hanno generalmente mutuato le modalità del servizio tradizionale: biglietto a costo fisso (eventualmente con un sovrapprezzo) oppure una tariffa chilometrica. Questa politica tariffaria risulta svantaggiosa nei confronti dei servizi flessibili. La possibilità di conoscere esattamente il profilo di viaggio di ogni passeggero (partenza, destinazione, orario, anticipo della prenotazione, frequenza di utilizzo del servizio, corrispondenza del servizio al contratto stipulato, false prenotazioni...) rende possibile l'applicazione di sistemi tariffari personalizzati in funzione di una molteplicità di criteri. Occorre realizzare il concetto di "*tariffazione dinamica*" attraverso la subordinazione del prezzo della

corsa ad un insieme di parametri la cui disponibilità è resa possibile dall'utilizzo di tecnologie infotelematiche: fasce d'orario del servizio, giorni feriali/festivi, percorso scelto/effettuato, percorrenza, durata del viaggio, modalità di prenotazione scelta (disponibilità a contrattare), numero di passeggeri a bordo.

Attraverso le strategie di consuntivazione sarà possibile identificare con precisione i costi di ogni missione ed il comportamento di ogni utente. Sarà quindi possibile attuare tariffe diversificate sulle singole corse e per i singoli utenti. Un ulteriore incremento della flessibilità dei servizi, accompagnato da un miglioramento del rendimento economico, sarà poi determinato dall'utilizzo di tecnologie di bigliettazione e di monetica elettronica. La possibilità di salire a bordo senza titolo di viaggio e di regolarizzare il pagamento attraverso transazioni informatiche aumenterà l'accessibilità del servizio, garantendo nuove fasce di clienti.

La soluzione di tutte le problematiche sopra enunciate in un unico sistema integrato richiede un grosso impegno progettuale e tecnologico che spazia dallo sviluppo di protocolli di comunicazione a studi sull'ergonomia dei dispositivi di bordo, dalla progettazione di algoritmi per la consuntivazione alla valutazione sul campo delle prestazioni delle reti di telefonia. Ma è un impegno da cui non si può prescindere. L'attuale contesto dei trasporti vede l'aumento in assoluto del numero di spostamenti e la diminuzione dei movimenti sistematici a favore di una forte crescita di quelli non sistematici. Se i servizi di trasporto pubblico non sapranno trovare una risposta a queste nuove caratteristiche della mobilità, le scelte dei cittadini si orienteranno inevitabilmente verso il trasporto privato con un ulteriore aumento dei problemi legati al traffico. I sistemi di trasporto flessibili sono uno strumento molto promettente per la soluzione dei problemi di mobilità. Per aumentare la loro diffusione occorre lavorare su due fronti: convincere i cittadini ad utilizzarli e dimostrare alle aziende di trasporto e alle Pubbliche Amministrazioni che possono essere economicamente efficienti.

Marco Mauro, ingegnere, Centro Ricerche Fiat (CRF).



Riferimenti degli Autori

(elenco rispondente all'ordine sequenziale degli articoli)

- Adelmo CROTTI, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino, adelmo.crotti@polito.it
- Giancarlo GUIATI, presidente Gruppo Torinese Trasporti, Torino, ceconi.m@atm.to.it (segreteria di presidenza)
- Ignazio CARBONE, ingegnere, Metropolitana Milanese, Milano, ba1@metropolitanamilanese.it, tomaselli.l@atm.to.it (segreteria ing. Filicetti, GTT)
- Luciano FILICETTI, ingegnere, condirettore generale Divisione Infrastrutture e Ingegneria del Gruppo Torinese Trasporti, Torino, tomaselli.l@atm.to.it (segreteria)
- Bruno DALLA CHIARA, dottore di ricerca in ingegneria, professore associato in Trasporti presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC, Torino, bruno.dallachiar@polito.it
- Gianpietro BONIARDI, ingegnere, direttore tecnico Project Automation, Monza (MI), barbara.colombo@p-a.it (dottoranda Barbara Colombo)
- Magdi Alimerigo EL SAWI, ingegnere, Alstom Ferroviaria, Savigliano (CN), m.elsawi@trevisbu.it o antonio.amoruso@transport.alstom.com (ingegner Antonio AMORUSO, referente per Alstom Ferroviaria)
- Paolo MARINO, ingegnere, country co-ordinator *Light Rail Vehicles* Italia, Bombardier Transportation Italy, Vado Ligure (SV), paolo.marino@it.transport.bombardier.com
- Guido DELLA NOCE, ingegnere, direttore di progettazione veicoli, FIREMA Trasporti, Milano, sfc-dellanoce@firema.it
- Raul ROMANO, ingegnere, FIREMA Trasporti, Milano, PEQ-Romano@firema.it
- Maurizio MIGLIORATI, ingegnere, Siemens, Milano, maurizio.migliorati@siemens.com
- Mauro QUAGLIA, ingegnere, Siemens, Milano, maurizio.migliorati@siemens.com (riferimento all'ingegner Migliorati)
- Angela TORTORELLA, ingegnere, direzione lavori della tramvia del Comune di Messina, studiog_t@tin.it
- Dario ALBERTO, ingegnere, libero professionista, Torino, tesmail@tin.it
- Sergio PALOMBI, ingegnere, già dirigente presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, membro della Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri, santo.marazzita@tiscalinet.it (riferimento all'ing. Santo Marazzita)
- Pierpaolo SIAZZU, ingegnere, dirigente Unità Operativa Impianti a Fune presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, santo.marazzita@tiscalinet.it (riferimento all'ing. Marazzita)
- Santo MARAZZITA, ingegnere, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, funzionario presso la Direzione Generale dei Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi - Unità Operativa Impianti a Fune, santo.marazzita@tiscalinet.it
- Vittoriano VITALI, ingegnere, Provincia Autonoma di Trento, LA.T.I.F. (Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune), Ravina di Trento (TN), vittoriano.vitali@provincia.tn.it
- Fabio DEGASPERI, ingegnere, direttore del LA.T.I.F. - Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune Provincia Autonoma di Trento, Ravina di Trento (TN), fabio.degasperi@provincia.tn.it
- Alberto VALLAN, dottore di ricerca, ricercatore presso la III Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, Dipartimento DELEN, Torino, alberto.vallan@polito.it
- Gabriele CAPPELLO, ingegnere, ASI Robicon BMB-ISE Automation Systems, gabriele.cappello@it.asirobicon.com
- Piergiorgio GRAZIANO, ingegnere, direttore ufficio tecnico, Poma Italia, Leinì (TO), pomaita@tin.it (segreteria)
- Giorgio PILOTTI, ingegnere, LEITNER, Vipiteno, pilotti.giorgio@leitner-lifts.com
- Domenico GATTUSO, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti (DIMET), Reggio Calabria, gattuso@ing.unirc.it
- Giandomenico MEDURI, ingegnere, Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti (DIMET), Reggio Calabria, medurig@ing.unirc.it
- Sandro LAZZARI, ingegnere, presidente dell'Associazione Nazionale Esercenti Funiviari (ANEF), segreteria@anef.it
- Mario PEDROTTI, ingegnere, FUNIPLAN, Ora (BZ), info@funiplan.it
- Ferruccio LEVI, ingegnere, ACIF, Milano, acif.milano@viaarchimede.it

- Alberto BAUDÀ, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Genova, Dipartimento DIMSET - Sezione Trasporti, Genova, annalisa.nordio@unige.it (riferimento all'ing. Nordio)
- Maria Grazia VIGNOLO, architetto, ricercatrice presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Genova, Dipartimento DIMSET - Sezione Trasporti, Genova, vignolo@unige.it
- Annalisa NORDIO, ingegnere presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Genova, Dipartimento DIMSET - Sezione Trasporti, Genova, annalisa.nordio@unige.it
- Elio PEROTTO, architetto, direttore tecnico Infrastrutture viarie dell'Agenzia "Torino 2006" per lo svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali, Torino, agenzia@agenziatorino2006.it, rosanna.frisetti@agenziatorino2006.it (segreteria)
- Francesco Paolo DEFLORIO, ingegnere, dottore di ricerca in ingegneria presso la I Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino - Dip. DITIC - Trasporti, francesco.deflorio@polito.it
- Marco DIANA, ingegnere, dottore di ricerca, Politecnico di Torino - Dipartimento DITIC - Trasporti, Torino, marco.diana@polito.it, marco.diana@inrets.fr
- Gaetano GALANTE, ingegnere, professore associato in Trasporti presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II", Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti", gaetano.galante@unina.it
- Alberto COLORNI, professore in Ricerca operativa, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano, alberto.colorni@polimi.it
- Alessandro LUÈ, ingegnere, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano, valentina.morrocchi@poliedra.polimi.it (riferimento all'ingegner Valentina Morrocchi)
- Valentina MORROCCHI, ingegnere, Consorzio Poliedra - Politecnico di Milano, Milano, valentina.morrocchi@poliedra.polimi.it
- Claudia BINAZZI, ingegnere, ATAF, ufficio MTTC, Firenze, binazzi@ataf.fi.it
- Piero SASSOLI, dottore, direttore d'esercizio, ATAF, Firenze, sassoli@ataf.fi.it
- Sabina MASSA, ingegnere, Settore progettazione e controllo - ATC, Bologna, sabina.massa@atc.bo.it
- Alexio PICCO, ingegnere, responsabile Unità Operativa Progetti e Sistemi, Azienda Mobilità e Trasporti, Genova, alexio.picco@amt.genova.it
- Marco MAURO, ingegnere, Centro Ricerche Fiat (CRF), marco.mauro@crf.it

A&RT è in vendita presso le seguenti librerie:

Celid Architettura, viale Mattioli 39, Torino
Celid Architettura, via Boggio 71/a, Torino
Celid Ingegneria, corso Duca degli Abruzzi 24, Torino
Cortina, corso Marconi 34/a, Torino
Druetto, piazza CLN 223, Torino
Feltrinelli, piazza Castello 7, Torino
Oolp, via Principe Amedeo 29, Torino
Zanaboni, corso Vittorio Emanuele II 41, Torino
L'Ippogrifo, piazza Europa 3, Cuneo
La Meridiana, via Beccaria 1, Mondovì (CN)
Punto di vista, stradone Sant'Agostino 58/r, Genova
Clup, via Ampere 20, Milano
Dell'Università, via Castelnuovo 7, Como
Toletta, Dorsoduro 1214, Venezia
Cluva, Santa Croce 197, Venezia
Progetto, via Marzolo 28, Padova
LEF, via Ricasoli 105/107, Firenze
Pangloss, via San Lorenzo 4, Pisa
Kappa Gramsci, via Gramsci 33, Roma
Guida, via Port'Alba 20, Napoli
Laterza, via Sparano da Bari 136, Bari

Le inserzioni pubblicitarie sono selezionate dalla Redazione.
Ai Soci SIAT sonopraticate particolari condizioni.

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella «Rassegna Tecnica», in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci invitati. La pubblicazione implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

Consiglio Direttivo

Presidente: Marco Masoero

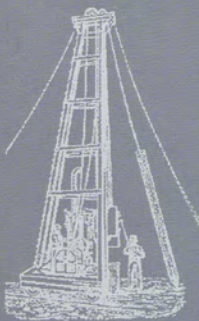
Vice Presidenti: Enrico Cellino
Enrico Salza

Segretario: Carlo Ostorero

Tesoriere: Franco Fusari

Consiglieri: Sergio Brero, Franco Campia, Beatrice Coda Negozio, Roberto Fraternali,
Franco Fusari, Maurizio Momo, Carlo Ostorero, Andrea Rolando,
Marco Surra, Marco Trisciungoglio

Stampa CELID - via Cialdini 26, Torino



...CON SALDA FONDAZIONE...