

Il progetto iLRT¹ **(*intelligent Light Rail Train*)**

Project Automation S.p.A.

Generalità

L'esigenza di affrontare le problematiche della mobilità riducendo gli effetti nocivi, in termini ambientali ed economici, prodotti dall'uso preponderante del mezzo privato porta a rilanciare ed incrementare l'utilizzo del trasporto pubblico, anche identificando e sviluppando tipologie per il trasporto di massa con caratteristiche diverse rispetto a quelle convenzionali.

In particolare, è in atto una significativa evoluzione verso sistemi di trasporto a guida vincolata con circolazione di superficie in sede di marcia propria e protetta detti Metrotranvia² (LRT, Light Rail Transport), che sono una naturale evoluzione delle tradizionali tranvie urbane negli aspetti tecnici e di esercizio e costituiscono una efficace alternativa alle più costose reti sotterranee di metropolitana pesante

Il raggiungimento degli elevati livelli di servizio attesi per una Metrotranvia in tema di regolarità, affidabilità, velocità, capacità di trasporto e sicurezza è diretta conseguenza di un approccio di progettazione integrata in cui sono tenuti in attenta considerazione alcuni determinanti fattori critici di successo [Ref . 2]:

- a) **Accurata progettazione delle linee:** segregazione della sede di marcia, incarrozzamento a raso, vigilanza e localizzazione delle banchine e dei depositi, conferimento di una sicurezza di condotta che discenda anche da comportamenti pedonali e veicolari suggeriti dalla conformazione delle protezioni;
- b) **Accurata progettazione delle vetture :** capacità, accessibilità, facilities generalizzate, come l'informazione a bordo per il cliente, sistematizzata, di facile comprensione, elargita in tempo utile, etc.
- c) **Efficace gestione della interazione con il trasporto privato e pubblico su gomma:** priorità semaforica, regolazione dinamica adattativa per il traffico privato, penalizzazioni anche della dinamica della componente metrotranviaria purchè di entità nota, governabile e "recuperabile" con opportune strategie;
- d) **Efficace gestione del servizio di trasporto:** previsione degli arrivi alle fermate, regolarizzazione centralizzata della marcia, intertempo, informazione alle fermate;
- e) **Efficace gestione della supervisione controllo delle infrastrutture** (armamento, impianti e rotabili): monitoraggio delle operazioni, segnalazioni guasti, supporto alla manutenzione preventiva;

Con riferimento ai fattori critici di successo sopra elencati mentre i punti a) e b) competono scelte di ingegneria relative alle infrastrutture fisse (armamento ed impianti) e mobili (rotabili) i **fattori c)**

¹ Il progetto è stato co-finanziato nell'ambito degli interventi di sostegno erogati dal MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca Scientifica) a valere sul Fondo Speciale Ricerca Applicata. Il progetto è stato ultimato nel corso del 2004 ed ha visto la partecipazione dell'Azienda Trasporti Milanese (ATM) nel ruolo di Pilot User, il Consorzio Milano Ricerche (CMR) come centro di competenza per le problematiche di analisi e progettazione ad oggetti ed infine la Project Automation come promotore e coordinatore del progetto.

² Con il termine Metrotranvia (o Metropolitana di Superficie) si intende un sistema di trasporto di massa su rotaia con caratteristiche simili alla tranvia, ma con velocità commerciali e portate significativamente superiori [Ref. 3]

d) ed e), e parzialmente anche b) possono essere efficacemente raggiunti attraverso l'utilizzo di applicazioni e soluzioni informatiche ed elettroniche per l'automazione ed il controllo di sistemi e servizi, come quelle investigate nel progetto di ricerca iLRT.

Obiettivi del progetto

Il progetto iLRT [Ref. 1] ha avuto come obiettivo generale “..la **definizione e la creazione di un prototipo non commerciale di un sistema integrato, modulare e scalabile di supporto alla gestione del trasporto a metrotranvia**”.

Il principale obiettivo applicativo oggetto della ricerca è stata **la creazione di un insieme di applicazioni verticali integrate (prototipi di ricerca)** di supporto alla gestione centralizzata delle operazioni (OCC) e di ausilio all'esercizio (SAE) con lo scopo di assicurare elevati livelli di sicurezza e operatività del sistema di trasporto metrotranviario e un efficace controllo dei costi di gestione.

Le attività di innovazione tecnologica perseguite nel contesto del progetto sono state indirizzate alla:

- **creazione di un framework³ software** di supporto allo sviluppo rapido di applicazioni nel dominio metrotranviario;
- **ideazione di algoritmi di supporto alla gestione del servizio:** regolarizzazione circolazione, previsione arrivi/transiti, preferenziamento semaforico, indicatori della qualità del servizio.

Gli obiettivi operativi sono stati orientati alla dimostrazione ed alla razionalizzazione dei risultati conseguiti attraverso attività di:

- verifica e validazione dei prototipi di ricerca attraverso **sperimentazioni di laboratorio** e la realizzazione di un **impianto pilota a campo** in collaborazione con ATM (Linea 7 Milano - Bicocca).
- definizione di **Proposta di evoluzione del quadro di riferimento:** definizione di un inquadramento sistemistico/funzionale per i sistemi metrotranviari, in analogia a quanto disponibile in ambito ferroviario.

Infine dal punto di vista operativo si è adottato un piano di monitoraggio del progetto articolato su tre obiettivi (milestones) fondamentali (vedi Figura 1):

- Analisi di Sistema e dei Modelli Software dei prototipi di ricerca comprendente le attività di Analisi, Definizione e Validazione da parte dell'End User (Check Point);
- Realizzazione dei Prototipi comprendente le attività di Ricerca Industriale e Sviluppo Precompetitivo per la progettazione e la prototipazione di applicazioni e di *Middleware* di integrazione.
- Validazione dei Prototipi di ricerca comprendente le fasi di Verifica in Laboratorio, Verifica “a Campo” e studio preliminare delle successive attività di industrializzazione.

³ Insieme semanticamente coerente di classi che possono essere usate come template per risolvere famiglie omogenee di problemi [Ref. 4].

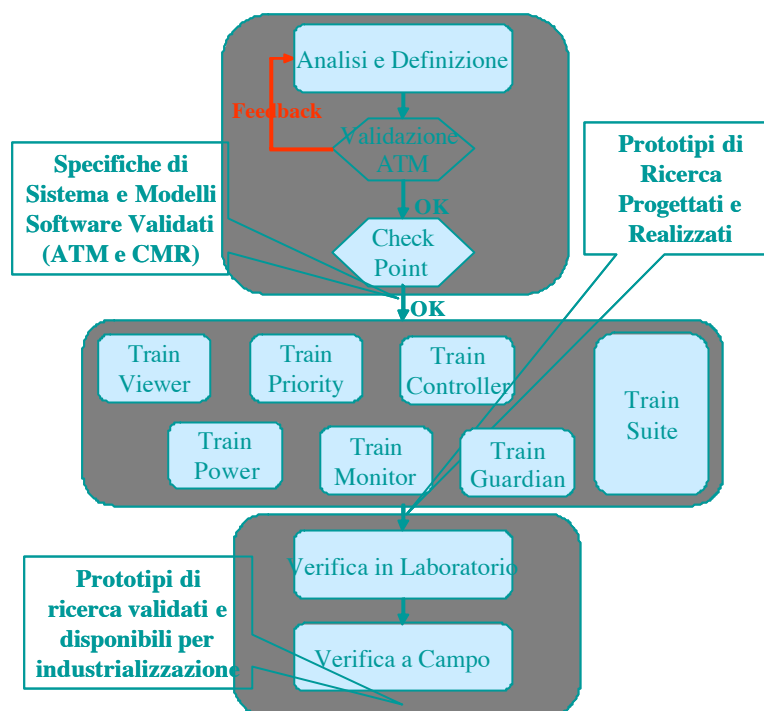


Figura 1 - Il piano delle attività di progetto

I prototipi di ricerca

L'insieme di prototipi applicativi software realizzati supporta la gestione operativa completa di un impianto di metropolitana leggera. L'approccio integrato e globale prevede la gestione di tutte le infrastrutture, sia quelle destinate all'esercizio (Operatori) che quelle destinate ai passeggeri (Utenti), per mezzo di un insieme di applicazioni organizzate a livelli e modulari

Complessivamente sono state prototipate cinque applicazioni verticali (Train Viewer, Train Controller, Train Priority, Train Power, Train Monitor, Train Guardian) ed un middle ware di integrazione software (Train Suite).




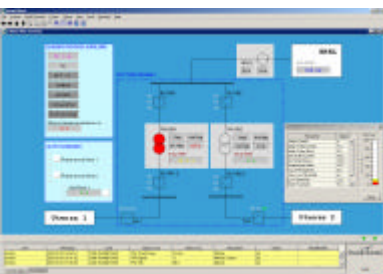
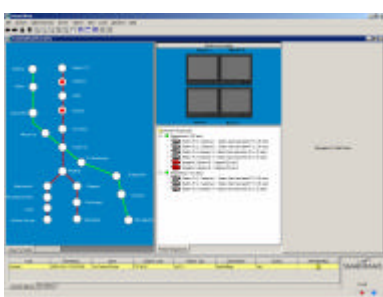
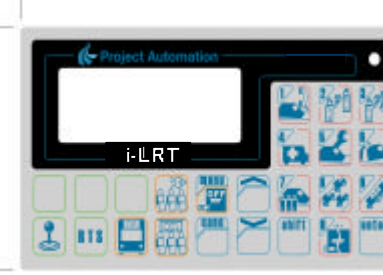
Le applicazioni verticali

I principali requisiti funzionali individuati, risultato delle attività di analisi svolte con l'Azienda Trasporti Milanese, hanno condotto alla realizzazione di prototipi di ricerca che affrontano e risolvono la quasi totalità degli aspetti fondamentali legati alla gestione ed all'esercizio di una metropolitana di superficie:

- Segnalamento e marcia dei veicoli;
- Controllo centralizzato della circolazione con assegnazione della priorità semaforica;
- Informazione e teleassistenza ai passeggeri alle fermate;
- Video sorveglianza, videoregistrazione e diffusione sonora;
- Telecontrollo delle sottostazioni elettriche;
- Controllo centralizzato degli apparati di bordo;
- Automazione degli impianti locali;
- Alta affidabilità dei dati e delle applicazioni.

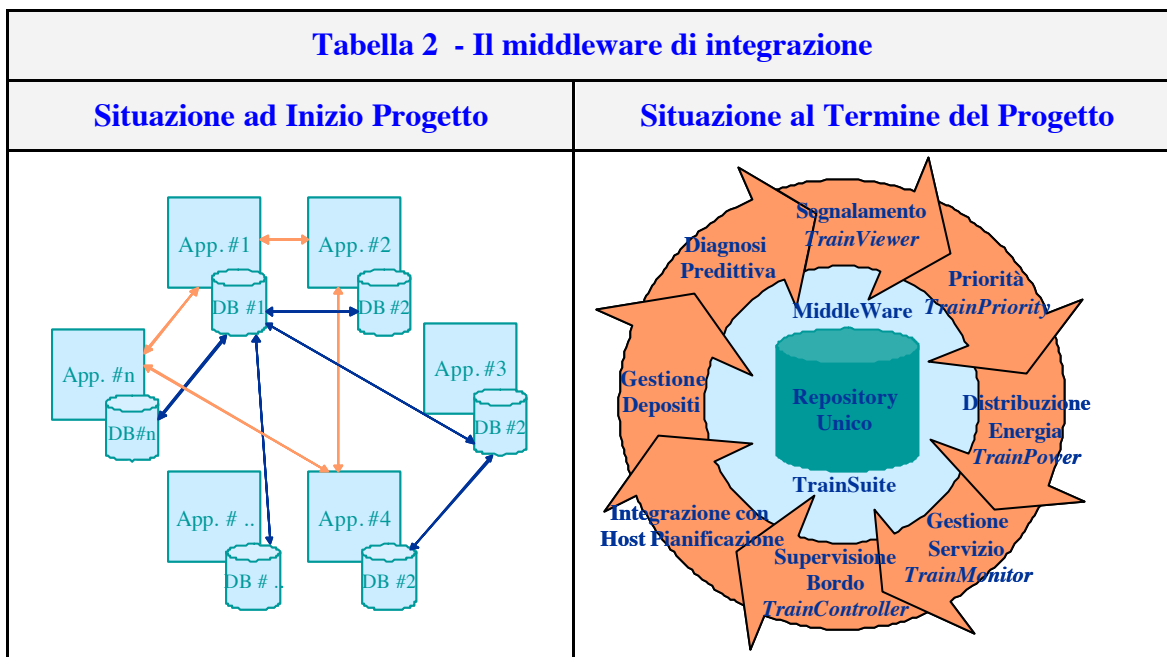
La tabella seguente sintetizza le principali caratteristiche funzionali per ciascuno dei prototipi realizzati.

Tabella 1 - Le applicazioni verticali di supporto alla gestione ed esercizio

| Prototipo | Interfaccia Utente | Funzionalità |
|-------------------------|---|--|
| <i>Train Viewer</i> |  | <p align="center">GESTIONE SEGNALAMENTO</p> <p>Visualizzazioni: Sinottico generale di Linea; Sinottico di Dettaglio (Tratte); Sinottico Allarmi Ausiliari; Mimico di deposito; Diagnostica apparati a campo (allarmi). Elaborazioni: Storizzazione dati di impianto; Gestione comunicazioni terra-bordo-terra; Localizzazione in deposito. Operazioni: Formazione instradamenti; Movimentazione deviatoi.</p> |
| <i>Train Priority</i> |  | <p align="center">GESTIONE PRIORITA' SEMAFORICA</p> <p>Visualizzazioni: Sinottica d'area e di gruppo; Sinottico del dettaglio d'incrocio; Grafici delle misure di traffico; Diagnostica apparati a campo (allarmi). Elaborazioni: Selezione dinamica dei piani semaforici; Calcolo delle misure di traffico. Operazioni: Richiesta di priorità semaforica; Attuazione piani predefiniti.</p> |
| <i>Train Monitor</i> |  | <p align="center">GESTIONE CIRCOLAZIONE</p> <p>Visualizzazioni: Semi topologica della linea; Cartografia di linea; Orario grafico; Stato servizio vettura; Diagnostica apparati a campo (allarmi). Elaborazioni: Calcolo anticipo e ritardo; Calcolo intertempo tra i mezzi (headway); Calcolo previsioni di arrivo; Calcolo indicatori prestazionali (KPI). Operazioni: Regularizzazione ad orario/intertempo; Gestione chiamata in fonìa; Gestione messaggi da/verso rotabili.</p> |
| <i>Train Power</i> |  | <p align="center">GESTIONE DISTRIBUZIONE ENERGIA ELETTRICA</p> <p>Visualizzazioni: Sinottico di Dettaglio; Grafici delle grandezze controllate; Diagnostica apparati a campo (allarmi). Elaborazioni: Storizzazione dati di impianto; Statistiche su transizione di stato digitali. Operazioni: Riconoscimento allarmi; Attuazione su apparati di campo.</p> |
| <i>Train Guardian</i> |  | <p align="center">GESTIONE SICUREZZA ALLE FERMATE</p> <p>Visualizzazioni: Sinottico di linea; Sinottico dettaglio fermata; Flussi video; Chiamate di emergenza; Diagnostica apparati a campo (allarmi). Elaborazioni: Codifica/Decodifica MPEG 4; Registrazione flussi video; Commutazione automatica sequenze; Analisi di contesto (MD, UL, FD, ...). Operazioni: Esecuzione sequenze video; Ricerca e riproduzione flussi video; Gestione messaggi alle fermate.</p> |
| <i>Train Controller</i> |  | <p align="center">GESTIONE OPERAZIONI A BORDO ROTABILI</p> <p>Visualizzazioni: Presenza su loop; Selezione instradamento; Messaggi da/per centrale. Elaborazioni: Dettaglio servizio; Diagnostica apparati (allarmi); Localizzazione. Operazioni: Calcolo della posizione nel servizio; Definizione delle azioni da eseguire; Annunci prossima fermata; Gestione pannelli interni/esterni; Gestione comunicazioni radio</p> |

Il middleware Train Suite

Il problema della gestione integrata dei diversi aspetti connessi alla conduzione ed esercizio di metrotranvie richiede l'impiego di numerose e differenti applicazioni informatiche di supporto: regolazione semaforica, gestione e regolarizzazione del servizio, supervisione e controllo dell'armamento e degli impianti di segnalamento, sicurezza dei passeggeri a bordo ed alle fermate, etc.



L'utilizzo di applicazioni distinte, che devono però essere considerate un tutt'uno da un punto di vista funzionale ed operativo, comporta come noto seri problemi di integrazione ed è in generale affrontato con lo sviluppo di programmi ad hoc di adattamento e conversione dei dati e dei servizi (vedi Tabella 2).

Il progetto iLRT ha affrontato e risolto le problematiche connesse alla integrazione di applicazioni eterogenee per il governo e controllo dei sistemi di trasporto attraverso la progettazione e prototipazione di un Framework Software di supporto allo sviluppo rapido di applicazioni nel dominio metrotranviario.

Il Framework, denominato Train Suite, è in grado di supportare sia lo sviluppo ex-novo che l'incapsulamento e l'integrazione di applicazioni già esistenti, assicurando una più efficace integrazione funzionale (vedi Figura 2) ed al contempo significativi risparmi nelle attività di sviluppo software.

Il framework è composto da **componenti (gruppi di classi di oggetti) per la gestione uniforme ed integrata** di:

- Rappresentazioni grafiche (sinottici, mappe, cartografia);
- Navigazione (pagine grafiche, eventi/allarmi, sinottici, diagrammi tecnologici, ...);
- Eventi/Allarmi (guasti, superamenti di soglia, errori di trasmissione, ..);
- Accesso/Sicurezza (identificazione, autenticazione, profilazione utenti/funzioni, ...)
- Editing Grafico (grafica dinamica, editor per la creazione di diagrammi di segnalamento, editor per la creazione di nuovi simboli di grafica dinamica...);

- Editing Configurazione (numero e tipologia di dispositivi di campo, parametri di configurazione, ...);
- Storicizzazione dati (allarmi, azionamenti, comandi,...);
- Connessioni con apparati di campo (protocolli di comunicazione, connessioni, ...);
- Scambio dati (colloquio con host di pianificazione dei servizi, carico/scarico di log di eventi per la manutenzione dei rotabili, ...).

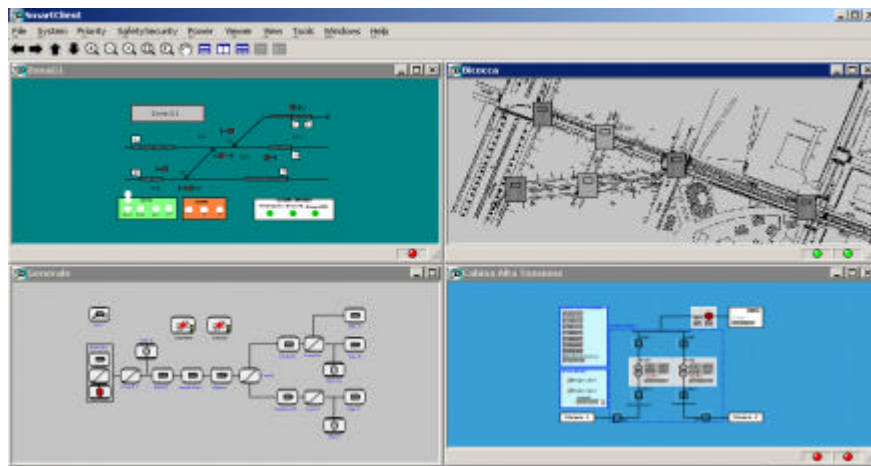


Figura 2 -Interfaccia Integrata attraverso il middleware TrainSuite

La tabella seguente illustra i vantaggi indotti dalla disponibilità del Middleware Train Suite nella realizzazione di applicazioni per la gestione integrata di metrotranvie.

| Tabella 3 - Integrazione con e senza middleware dedicato | | |
|---|---|---|
| | Modalità di integrazione | |
| | Senza Middleware | Con Middleware TrainSuite |
| Applicazioni | Eterogenee nelle tecnologie e nei produttori; Distinte applicazioni standalone; | Omogenee nelle tecnologie e nelle interfacce; Integrate con middleware dedicato |
| Man Machine Interface | Interfacce utente differenti e distinte; | Unica interfaccia utente per tutte le applicazioni. |
| Dati | Separati in Data Base distinti; Disomogeni nei formati e nelle codifiche; | Unico repository in Data Base Relazionale Standard; Omogeni nei formati e nelle codifiche; |
| Integrabilità e Scalabilità | Mancanza di standard per l'integrazione; Progetti ad Hoc; Partizionamento applicazioni; | Con middleware nativo; Interfacce standard verso altri host; Supporto al Cluster di PC; |
| Configurabilità e Disponibilità | Tool distinti ed eterogenei; Necessaria Programmazione; Meccanismi di HS&AF distinti | Editor grafico integrato Supporto ai Servizi di S.O. per HA |

Gli algoritmi

Nel contesto del progetto iLRT il processo di gestione dell'esercizio non è meramente supportato da rappresentazioni grafiche (orario grafico, localizzazione dei mezzi lungo le tratte controllate), ma da un vero e proprio sistema di ausilio alle decisioni.

Gli algoritmi realizzati assicurano la gestione ottimale della puntualità (aderenza all'orario pianificato) e della regolarità del servizio (rispetto degli intertempi) attraverso un controllo dinamico adattativo in grado di individuare e suggerire le azioni ottimali di regolarizzazione.

Il ciclo di ottimizzazione (vedi Tabella 4) prevede la raccolta continua dei dati di transito (localizzazione dei rotabili lungo linea, tempi di attesa alle fermate, presenza di code alle intersezioni semaforiche, richieste non pianificate), la stima delle previsioni di arrivo alle fermate, il calcolo dei tempi di ritardo / anticipo, la proposta di azioni di regolarizzazione (velocità consigliata, inserimento di nuove vetture, richiesta di preferenziamento semaforico).

| Tabella 4 - Tecniche di regolarizzazione del servizio | |
|--|---|
| Ciclo di Ottimizzazione | Modelli Computazionali |
| <pre> graph TD A[Raccolta Dati] --> B[Stima Previsioni Arrivi] B --> C[Calcolo dei tempi di ritardo/anticipo] C --> D[Azioni di Regolarizzazione] D --> A </pre> | <p>Previsione dei transiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Neural Network - Centralizzato <p>Coordinamento semaforico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fixed Plan Selection <p>Preferenziamento semaforico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Green extension/ Stage Recall - Modello a variazione di Ciclo <p>Regolarizzazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Neural Networks - Centralizzato e Locale |

Nel corso del progetto sono stati inoltre studiati e modellati da un punto di vista algoritmico i principali cicli operativi di deposito (ingresso, uscita, entrata in condizioni di emergenza, manutenzione) e definiti un significativo insieme di KPI (Key Performance Indicator) orientati alla misura dell'efficacia dei metodi di gestione dell'esercizio (Qualità del servizio) e della manutenzione (Manutenzione predittiva)..

La validazione a Campo


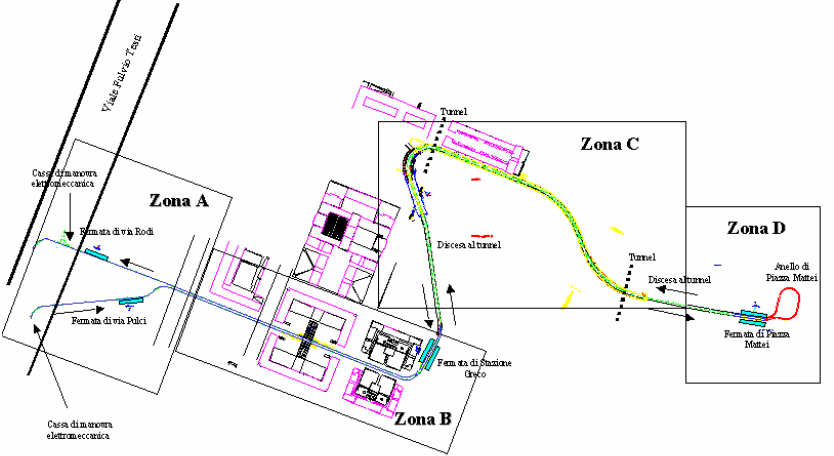
I prototipi di ricerca, gli algoritmi, l'infrastruttura ICT e gli apparati di bordo progettati e prototipati nell'ambito del progetto sono stati completamente sperimentati effettuando la gestione e l'esercizio, in condizioni reali di funzionamento, di una linea metrotranviaria (vedi Tabella 5).

Le principali caratteristiche della tratta di linea resa disponibile dalla società di gestione dei trasporti ATM Milano ed interessata dalla sperimentazione sono riassumibili come segue:

- mt. totali:.....**2500 ca**
- mt. in sede riservata:.....**2400 ca**

- mt. in tunnel.....**450 ca**
- N° totale fermate:.....**4**
- Linee servite:.....**linea 7**
- Frequenza passaggio:.... **da 5 a 10 min.**
- Capolinea:.....**Si**

Tabella 5 - Tratta di linea interessata dalla sperimentazione

| Metrotranvia | Linea |
|--|--|
|  |  |

In particolare la configurazione di dimostrazione e sperimentazione ha richiesto:

- l'allestimento della linea con dispositivi di localizzazione e scambio dati bi-direzionale (loop ad accoppiamento induttivo);
- l'equipaggiamento dei rotabili in servizio di linea con le unità di bordo TrainController necessarie alla implementazione dei servizi di localizzazione ed comunicazione terra-bordo-terra;
- l'allestimento di una Control Room collegata agli impianti di segnalamento, azionamento deviatori, gestione della regolazione semaforica, informazione all'utenza, localizzazione e scambio dati bi-direzionale ed equipaggiata con le infrastrutture ICT necessarie alla esecuzione delle applicazioni verticali di governo e controllo.

Bibliografia

- [Ref . 1] Project Automation. "Progetto iLRT - Allegato A:Descrizione del Progetto di Ricerca". Milano. 2002
- [Ref . 2] ATM Milano. "Rapporto Tecnico Interno". Milano. 2000.
- [Ref . 3] Norma UNIFER 8379
- [Ref . 4] G. Larman. "Applying UML and Patterns". Prentice Hall. 1998.