

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



## FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti “Luigi Tocchetti”

Laurea specialistica in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea in

Trasporti Urbani e Metropolitan

### GLI EFFETTI DEI SISTEMI DI SEGNALAMENTO SULLE PRESTAZIONI DEI CONVOGLI FERROVIARI: IL CASO DELLA LINEA 1 DI NAPOLI

RELATORE

Prof. Ing. Luca D’Acierno

CORRELATORE

Dott.ing. Antonio Placido

CANDIDATA

Claudia Di Salvo

matr. 324/158

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

L'obiettivo della presente tesi di laurea è stato quello di esaminare i sistemi di segnalamento ferroviari e l'effetto delle differenti tecnologie impiegabili sulla prestazione dei sistemi stessi.

E' noto infatti che in ambito ferroviario non è possibile utilizzare la marcia a vista (ossia il macchinista non può condizionare la marcia del convoglio in funzione delle informazioni acquisite visivamente), se non in casi di emergenza e con velocità estremamente ridotte, in quanto a causa del contatto ruota-rotai (acciaio-acciaio) gli spazi di frenatura sono notevolmente superiori a quelli in ambito stradale. E' necessario, pertanto, al fine di consentire la marcia in sicurezza dei convogli utilizzare regole di circolazione che consentano di aumentare virtualmente lo sguardo del macchinista.

I sistemi più rudimentali erano basati sulla presenza di un solo convoglio tra due stazioni. Tali sistemi se da un lato assicuravano un elevato grado di sicurezza dall'altro presentavano come inconveniente uno scarso utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria. Nel tempo, per fronteggiare le sempre più crescenti richieste di capacità ferroviaria derivanti dall'incremento della domanda di mobilità, si sono sviluppate delle regole di circolazione che da un lato assicuravano gli stessi (se non maggiori) standard di sicurezza e dall'altro consentivano un incremento della capacità delle linee ferroviarie.

Il sistema più utilizzato è stato quello delle sezioni di blocco con i circuiti di binario (Figura 1).

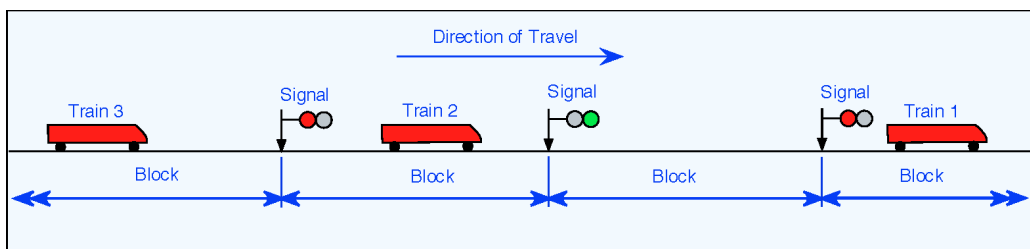


Figura 1 – Schematizzazione di circuiti di binario

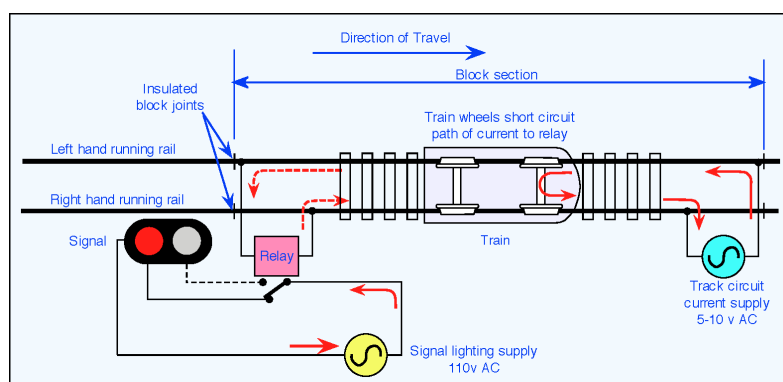


Figura 2 – Schema elettrico dei circuiti di binario

In pratica, le tratte ferroviarie erano suddivise in sezioni la cui dimensione era pari alla massima distanza di arresto dei convogli transitanti (ovviamente incrementate di opportuni franchi di sicurezza). Con un sistema di relè e correnti codificate (Figura 2) era possibile assicurare la marcia dei treni in maniera tale che ciascun convoglio ricevesse le informazioni sullo stato di eventuale occupazione delle sezioni successive in maniera da condizionare la propria marcia.

Con l'avvento dell'Alta Velocità (AV), le velocità di marcia non erano più compatibili con il sistema a sezioni di blocco e correnti codificate senza penalizzare fortemente la capacità delle linee. Si sono dovuti pertanto sviluppare sistemi tecnologici per adeguare la circolazione ferroviaria alle mutate esigenze.

Inoltre le richieste di interoperabilità dei sistemi (vincendo l'isolamento nazionale<sup>1</sup>) ha portato alla definizione di uno standard europeo denominato: *European Train Control System – ETCS*. In particolare, ad oggi, esistono 4 livelli di ETCS:

- ETCS livello 0: Tratta non equipaggiata con il sistema ETCS. Il sistema di bordo sorveglia solo che non venga superata la velocità massima consentita al tipo di treno. Il conducente deve viaggiare osservando i segnali esterni nazionali luminosi e fissi;

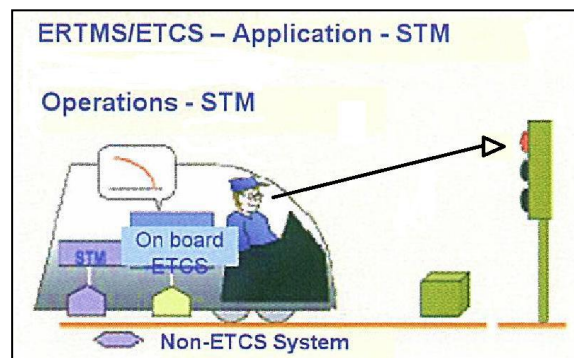


Figura 3 – ETCS livello 0

- ETCS livello 1: Sistema di segnalamento con trasmissione discontinua delle informazioni provenienti da terra in cabina di guida mediante delle boe (eurobalise). Tale sistema può essere sovrapposto al segnalamento preesistente e ad esso si interfaccia;

---

<sup>1</sup> Fine a qualche anno fa, in corrispondenza dei confini nazionali, era necessario sostituire le motrici, il personale di guida e quello di bordo per adeguare il convoglio ai diversi sistemi nazionali.

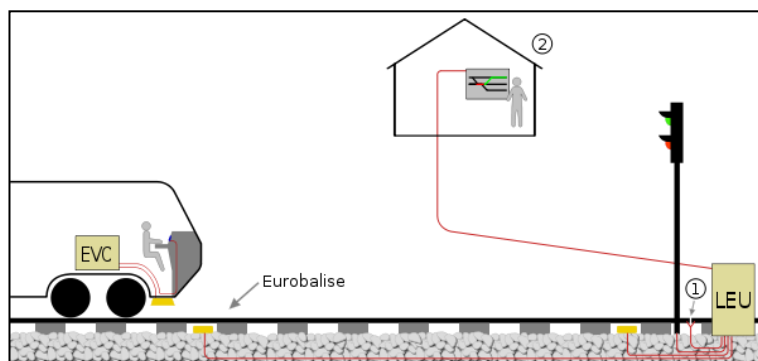


Figura 4 – ETCS livello 1

- ETCS livello 2: Il segnalamento è basato su un sistema radio digitale. Il macchinista riceve il consenso per la corsa e le informazioni equivalenti del segnale luminoso in cabina di guida;

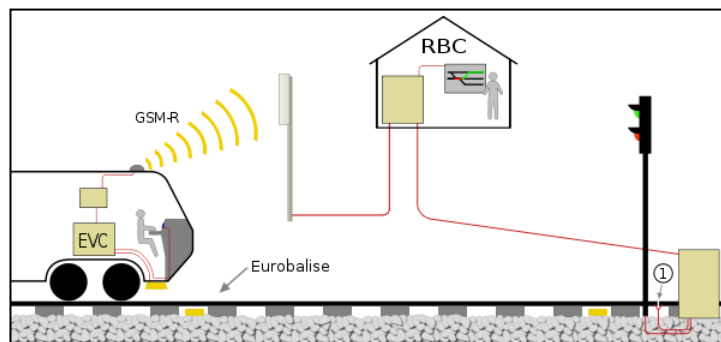


Figura 5 – ETCS livello 2

- ETCS livello 3: Ancora in via di sperimentazione. Con esso non sono più necessari i dispositivi fissi per la rilevazione del binario libero (circuiti di binario o conta-assi). In particolare si abbandona la classica circolazione a blocco fisso ed il distanziamento dei treni avviene secondo il principio di circolazione del blocco mobile (i treni sono distanziati di uno spazio pari alla distanza di arresto).

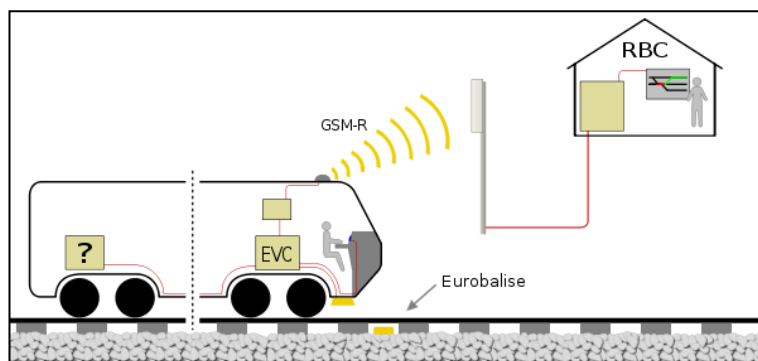


Figura 5 – ETCS livello 3

In particolare, nel corso del presente elaborato di tesi si sono esaminati, nel caso di una rete a scala reale costruita utilizzando le caratteristiche topologiche, funzionali e prestazionali della Linea 1 della Metropolitana di Napoli:

- gli effetti dei differenti sistemi di segnalamento (ETCS0 vs ETCS1) sull'esercizio ordinario;
- gli scenari di guasto al fine di individuare le strategie di intervento ottimale.

Inizialmente, è stato simulato uno scenario in condizioni ordinarie al fine di valutare le prestazioni massime dei due sistemi. Dalle simulazioni effettuate, è emerso che con un ETCS di livello 0, dove è necessario mantenere uno spazio di “*overlap*”, i treni possono viaggiare con un intertempo non inferiore agli 8 minuti; mentre, con un ETCS di livello 1, tale intertempo scende 5 minuti.

Successivamente, sono state analizzate le conseguenze di due tipologie di malfunzionamento ferroviario sia in termini prestazionali che di qualità del servizio, utilizzando come indicatori rispettivamente gli intertempi minimi e massimi (rapportandoli al valore degli intertempi pianificati) ed il costo generalizzato percepito dagli utenti. I malfunzionamenti considerati sono stati applicati ad una corsa in esercizio durante l'ora di punta. Il treno, a partire dalla stazione di Chiaiano, è costretto a viaggiare con una riduzione di velocità del 20% nel primo scenario e del 70% nel secondo.

Per ogni scenario sono state esaminate quattro diverse modalità d'intervento: nella prima si è deciso di sopprimere la corsa alla stazione di Colli Aminei; nella seconda la soppressione della corsa è avvenuta alla stazione di Medaglie d'Oro; nella terza si è, invece, deciso di far proseguire il treno fino alla stazione terminale di Dante; nella quarta si è deciso di far completare al treno incidentato l'intera corsa.

Con l'inserimento di un guasto che comporta una riduzione di velocità del 20%, il sistema ETCS1 offre maggiori prestazioni in termini di intertempo, ma anche una migliore qualità del servizio. Infatti, i costi generalizzati sono minori rispetto al caso con segnalamento ETCS0 (v. Tabella 1).

Un'ulteriore analisi sulle strategie ha evidenziato che per entrambe le tecnologie è da preferire la strategia 4, infatti il treno rallenta di poco la sua marcia, la propagazione dei ritardi rimane di lieve entità e le corse successive non vengono influenzate. Inoltre, i costi generalizzati delle strategie 1 e 2, in cui la corsa viene soppressa, risultano maggiori perché gli utenti devono

effettuare un trasbordo e attendere la corsa successiva. Tale trasbordo rappresenta una disutilità per l'utente non compensata dalla salita a bordo su di un mezzo più efficiente.

ETCS0	Riduzione velocità 20%						Costo della strategia
	Ora di punta			Ora di morbida			
Strategie	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	
Colli Aminei	6.62	14.00	7.00	8.70	20.00	10.00	€ 133086
Medaglie d'Oro	6.43	14.00	7.00	8.70	20.00	10.00	€ 133072
Dante	6.37	14.00	7.00	8.70	20.00	10.00	€ 131553
Piscinola	6.32	14.00	7.00	8.40	20.00	10.00	<b>€ 130706</b>

ETCS1	Riduzione velocità 20%						Costo della strategia
	Ora di punta			Ora di morbida			
Strategie	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	
Colli Aminei	6.62	14.00	7.00	9.00	20.00	10.00	€ 133071
Medaglie d'Oro	6.43	14.00	7.00	9.00	20.00	10.00	€ 133058
Dante	6.43	14.00	7.00	9.00	20.00	10.00	€ 131525
Piscinola	6.10	14.00	7.00	9.00	20.00	10.00	<b>€ 130539</b>

Tabella 1: Risultati primo scenario di ritardo

Con una riduzione di velocità del 70% per entrambe le tecnologie è da preferire la strategia 1. Infatti, la propagazione dei ritardi è notevole e tutte le corse ne sono influenzate. Pertanto la condizione migliore è quella in cui il treno viene collocato nel tronchino di ricovero più vicino al luogo in cui avviene il guasto. Per la collettività è preferibile che alcuni passeggeri effettuino un trasbordo per prendere il treno successivo.

In termini di prestazioni della rete continua ad essere migliore la tecnologia ETCS1 (v. Tabella 2).

In conclusione, nell'elaborato di tesi è stata analizzata la rete a scala reale, e non reale in quanto la tipologia di segnalamento della Linea 1 è notevolmente più complessa, con un ATP continuo ed uno discontinuo, tali da garantire un intertempo minimo di 7 minuti.

In realtà, secondo dati Ansaldo, il distanziamento potrebbe ridursi a 3 minuti e mezzo ad anello completato. Infatti, attualmente nella stazione di Dante i treni devono invertire la loro marcia usufruendo di un solo binario. Per effettuare questa manovra, i treni impiegano mediamente 2 minuti e ciò non permette di ridurre ulteriormente l'intertempo.

ETCS0	Riduzione velocità 70%						Costo della strategia
	Ora di punta			Ora di morbida			
Strategie	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	
Colli Aminei	4.23	17.33	7.00	4.78	20.00	10.00	€ 134903
Medaglie d'Oro	4.23	21.25	7.00	4.38	20.00	10.00	€ 139617
Dante	4.50	33.23	7.00	1.63	26.68	10.00	€ 173505
Piscinola	3.28	56.20	7.00	4.68	34.37	10.00	€ 221251

ETCS1	Riduzione velocità 70%						Costo della strategia
	Ora di punta			Ora di morbida			
Strategie	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	$\varphi$ min	$\varphi$ max	$\varphi$ ordinario	
Colli Aminei	4.33	14.67	7.00	8.07	20.00	10.00	€ 132559
Medaglie d'Oro	0.72	19.70	7.00	8.07	20.00	10.00	€ 138805
Dante	0.35	31.15	7.00	2.12	28.08	10.00	€ 168054
Piscinola	0.33	52.72	7.00	0.68	42.42	10.00	€ 248612

Tabella 2: Risultati secondo scenario di ritardo

In particolare dalle analisi effettuate nel corso del presente studio è emerso che una tecnologia che garantisca frequenze più elevate, permette un aumento della qualità del servizio. Pertanto, l'incremento di appetibilità del sistema di trasporto può condurre ad un aumento del numero di utenti, il che produrrebbe benefici per la collettività sia in termini di "modal split" favorevole al TPL (molti utenti preferirebbero il trasporto collettivo all'utilizzo dell'autovettura privata con forti riduzioni delle esternalità negative quali congestione, incidentalità, inquinamento acustico ed ambientale, consumo energetico, ecc.) sia in termini di introiti derivanti dalla vendita dei biglietti<sup>2</sup>.

A fronte dei risultati della sperimentazione c'è, inoltre, da sottolineare come in maniera errata molto spesso si progettino le strategie di intervento ritenendo opportuno intervenire a favore del servizio piuttosto che cercare di limitare le disutilità degli utenti. In particolare, il lavoro ha messo in evidenza che operare secondo tali principi non costituisce necessariamente il raggiungimento della soluzione ottima.

<sup>2</sup> Ad oggi, i costi delle aziende non coperti dalla vendita dei biglietti sono ripianati dalle Regioni e/o gli Enti locali.