

Facoltà di Ingegneria - Università di Bologna

Anno Accademico: 2010/11

**CORSO DI TECNICA ED ECONOMIA DEI
TRASPORTI**

Docente: Marino Lupi

TRASPORTI FERROVIARI

PARTE A

RETE E TRAFFICO FERROVIARIO NEI PRINCIPALI PAESI

Rete e traffico ferroviario (2004)

	Km (000)	Pass-Km (miliardi)	T-Km (miliardi)
EU	195	343	358
PECO	24	13,8	26
USA	240	240	2427
Russia	86	157	1164
Cina	61	61	1828
India	63	541	381
Giappone	20	242	22
Italia	16	46	21

Fonte: UIC Union Internationale des Chemins de Fer, Paris 2005

Fonte: Petriccione S. e Carlucci F., "Economia dei Trasporti", CEDAM, 2006.

		EU	PECO	USA	Russia	Cina	India	Giappone	Italia
Passeggeri	10^9 Pass-Km / 10^3 Km di rete	1,76	0,58	1,00	1,83	1,00	8,59	12,10	2,88
Merci	10^9 Tonn-Km / 10^3 Km di rete	1,84	1,08	10,11	13,53	29,97	6,05	1,10	1,31

PECO: Repubblica Ceca, Repubblica Slovacca, Ungheria, Polonia, Slovenia.

la rete in cifre

dati al: 1 gennaio 2010

LINEE FERROVIARIE IN ESERCIZIO*	16.685
CLASSIFICAZIONE	
Linee fondamentali	6.426 km
Linee complementari	9.345 km
Linee di nodo	914 km
TIPOLOGIA	
Linee a doppio binario	7.493 km
Linee a semplice binario	9.192 km
ALIMENTAZIONE	
Linee elettrificate	11.887 km
- Linee a doppio binario	7.416 km
- Linee a semplice binario	4.470 km
Linee non elettrificate (diesel)	4.798 km
LUNGHEZZA COMPLESSIVA DEI BINARI**	24.179 km
linea convenzionale	22.881 km
linea AV	1.298 km
IMPIANTI FERROVIARI	
Stazioni con servizio viaggiatori ***	2.270
Impianti di traghettamento	6

Fonte: www.rfi.it.



La rete in cifre (continua)

TECNOLOGIE INNOVATIVE DI PROTEZIONE MARCIA TRENO****

SCC, SCC-AV, SCC - M e CTC, per il telecomando della circolazione	11.242 km
SCMT, per il controllo della marcia del treno	11.442 km (di cui 413 km con doppio attrezzaggio SSC e SCMT)
SSC, per il supporto alla guida	4.824 km (di cui 413 km con doppio attrezzaggio SSC e SCMT)
ERTMS, per l'interoperabilità su rete AV/AC	644 km
GSM-R per la telecomunicazione	9.713 km (utilizzabile-chiamata di emergenza)

VOLUMI DI PRODUZIONE COMPLESSIVI 2009

322 mln (treni x km/anno)

Note

(*) di cui 58 Km di rete estera

(**) la lunghezza complessiva dei binari corrisponde alla somma tra i km di linee, convenzionali e AV, a doppio binario moltiplicati per il numero dei binari (due) e i km di linee convenzionali a singolo binario

(***) numero arrotondato

(****) tutte le linee della rete sono attrezzate con uno o più sistemi di protezione marcia treno (numeri arrotondati)

Fonte: www.rfi.it .

TRAFFICO *MERCI* - CONTO NAZIONALE TRASPORTI

Distribuzione percentuale del traffico totale italiano *interno** delle merci in tonn-km

	1970	1980	1990	2002	2003	2004	2005	2006	2008
Ferrovie	14,2%	13,2%	11,5%	10,7%	11,6%	11,2%	10,4%	11,6%	11,3%
Navigazione interna	0,4%	0,1%	0,03%	0,04%	0,04	0,05%	0,04%	0,04%	0,0%
Navigazione Marittima di cabotaggio	26,9%	21,59	18,6%	16%	19,2%	17,8%	19,6%	18,8%	21,0%
Oleodotto (>50 km)	9%	7,9%	4,6%	4,6%	4,9%	4,5%	4,6%	4,8%	5,0%
Navigazione Aerea	0,01%	0,01%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%
Autotrasporto (>50 km)	44,3%	57,2%	64,9%	68,3%	63,9%	65,9%	65,1%	64,3%	62,3%
Totale (milioni di tonnellate-km)	97378	144074	191291	217141	204334	217615	239518	224366	230230

* *spostamenti realizzati dai vettori nazionali con origine e destinazione interne al territorio italiano. Per il traffico ferroviario e per oleodotto è compresa anche la quota di traffici internazionali realizzata su territorio nazionale*

considerando anche i trasporti *su tratte inferiori a 50km* comunque importanti (i.e.: industria edilizia) la quota dell'autotrasporto è superiore.

TRAFFICO *PASSEGGERI*- CONTO NAZIONALE TRASPORTI

Traffico totale interno* di passeggeri (pass-km)

	1990	2002	2003	2004	2005	2006	2008
Ferrovie	6,6%	5,2%	5,2%	5,2%	5,4%	5,4%	5,1%
Trasporti collettivi extraurbani	9,9%	9%	9,13%	9,2%	9,6%	9,6%	9,5%
Trasporti collettivi urbani	2,2%	1,8%	1,8%	1,8%	1,9%	1,9%	1,9%
Navigazione Aerea (traffico nazionale)	0,9%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,5%
Navigazione marittima di cabotaggio	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,4%	0,4%
Autotrasporti privati (autovetture+ motocicli)	80%	82,4%	82,3%	82,1%	81,4%	81,2%	81,6%

* Spostamenti realizzati mediante *vettori nazionali con origine e destinazione interne al territorio italiano*. Per il *traffico ferroviario* è compresa anche la quota dei *traffici internazionali* realizzata sul territorio nazionale

TRAFFICO *MERCI* - EUROSTAT- ITALIA

Secondo *Eurostat* considerando *solo i trasporti terrestri (strada, ferrovia, vie d'acqua interne)*, le quote per il traffico delle merci, in tonn-km, in Italia* sono state le seguenti:

	2002	2003	2004	2005	2006	2008
Autotrasporto	90,4%	89,5%	89,8%	90,3%	88,5%	88,3%
Ferrovie	9,6%	10,4%	10,1%	9,7%	11,4%	11,7%

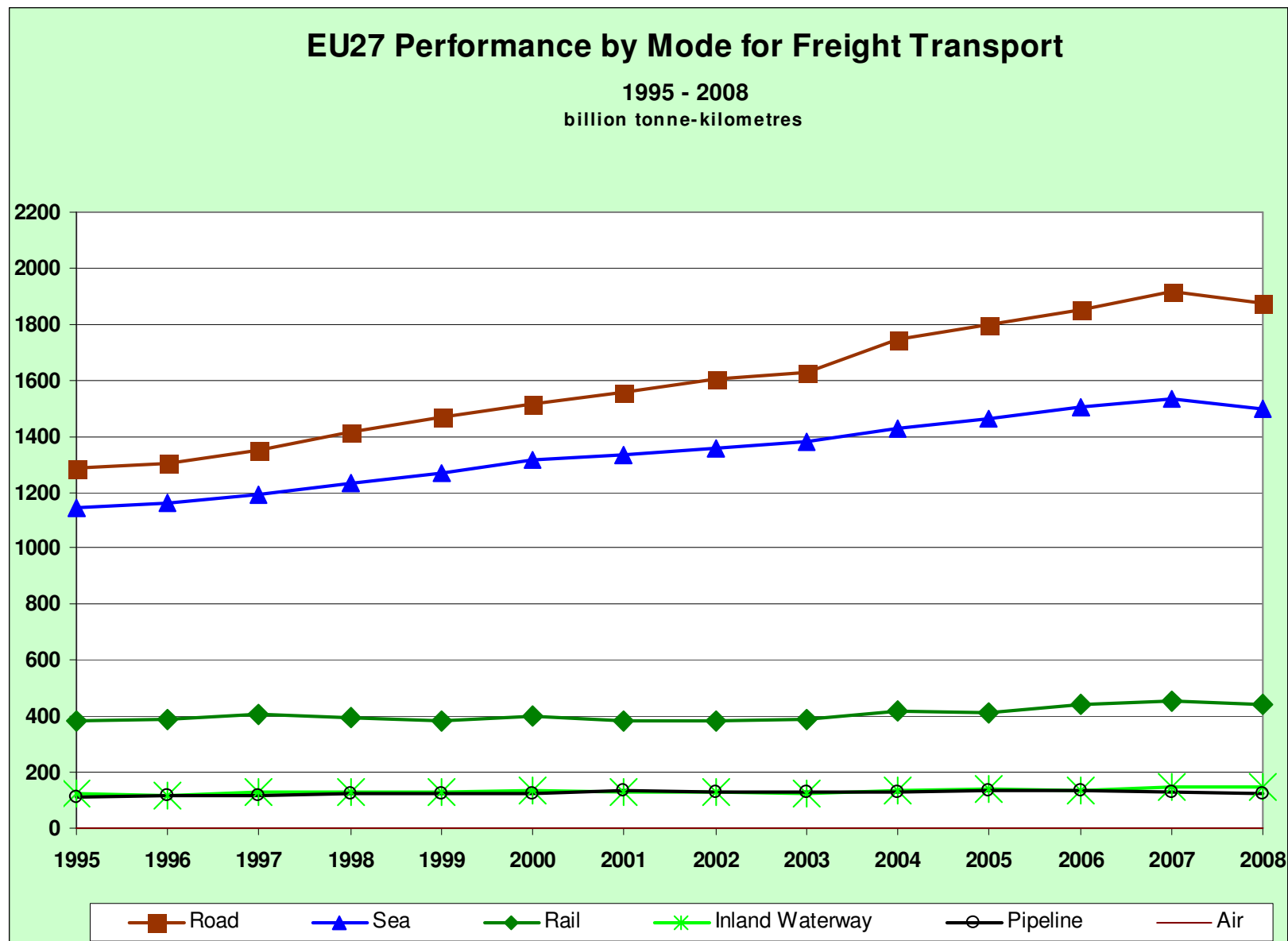
* il trasporto ferroviario e quello per vie d'acqua interne si riferisce ai movimenti sul territorio nazionale senza riguardo alla nazionalità del veicolo. *Il trasporto stradale si riferisce invece a tutti i veicoli registrati in Italia (traffico nazionale ed internazionale).*

Per l'*Europa* (a *15 stati*) considerando *solo i trasporti terrestri* (strada, ferrovia, vie d'acqua interne) abbiamo:

	2002	2003	2004	2005	2006	2008
Autotrasporto	78,7%	78,9%	79,1%	79,2%	78,5%	77,9%
Ferrovie	14,1%	14,3%	14,1%	14,1%	14,9%	15,2%
Vie d'acqua interne	7,2%	6,8%	6,8%	6,8%	6,6%	6,8%

EUROPA A 27 STATI - *Traffico merci*- Spostamenti *in Europa*

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3 Transport, European Commission.



Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3 Transport, European Commission.

EU-27 Performance by Mode							
Freight Transport							
1000 mio tonne-kilometres							
	Road	Rail	Inland Waterways	Pipe-lines	Sea	Air	Total
1995	1 289	386	122	115	1 146	2,0	3 060
1996	1 303	392	120	119	1 160	2,1	3 096
1997	1 352	410	128	118	1 193	2,2	3 202
1998	1 414	393	131	125	1 232	2,3	3 297
1999	1 470	384	129	124	1 268	2,3	3 377
2000	1 519	404	134	127	1 314	2,5	3 499
2001	1 556	386	133	133	1 334	2,5	3 544
2002	1 606	384	133	128	1 355	2,4	3 608
2003	1 625	392	124	130	1 378	2,4	3 652
2004	1 747	416	137	132	1 427	2,5	3 861
2005	1 800	414	139	136	1 461	2,6	3 953
2006	1 854	440	138	135	1 505	2,7	4 076
2007	1 915	453	147	127	1 532	2,8	4 177
2008	1 878	443	145	124	1 498	2,7	4 091
1995 - 2008	45,7%	14,7%	19,0%	8,0%	30,7%	35,0%	33,7%
per year	2,9%	1,1%	1,3%	0,6%	2,1%	2,3%	2,3%
2000-2008	23,6%	9,7%	8,5%	-2,0%	14,0%	10,2%	16,9%
per year	2,7%	1,2%	1,0%	-0,3%	1,7%	1,2%	2,0%
2007 - 2008	-1,9%	-2,3%	-1,2%	-2,2%	-2,2%	-1,8%	-2,1%

EUROPA A 27 STATI - *Traffico merci*- Spostamenti *in Europa*

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3
Transport, European Commission.

Modal split						
(%)						
	Road	Rail	Inland Waterways	Pipelines	Sea	Air
1995	42,1	12,6	4,0	3,8	37,5	0,1
1996	42,1	12,7	3,9	3,9	37,5	0,1
1997	42,2	12,8	4,0	3,7	37,3	0,1
1998	42,9	11,9	4,0	3,8	37,4	0,1
1999	43,5	11,4	3,8	3,7	37,6	0,1
2000	43,4	11,5	3,8	3,6	37,5	0,1
2001	43,9	10,9	3,7	3,8	37,6	0,1
2002	44,5	10,6	3,7	3,6	37,6	0,1
2003	44,5	10,7	3,4	3,6	37,7	0,1
2004	45,2	10,8	3,5	3,4	37,0	0,1
2005	45,5	10,5	3,5	3,4	37,0	0,1
2006	45,5	10,8	3,4	3,3	36,9	0,1
2007	45,8	10,8	3,5	3,0	36,7	0,1
2008	45,9	10,8	3,6	3,0	36,6	0,1
Source: tables 3.2.4c to 3.2.7, estimates (<i>in italics</i>)						
Notes:						
Air and Sea: only domestic and intra-EU-27 transport; provisional estimates						
Road: national and international haulage by vehicles registered in the EU-27						

EU-27 Performance by Mode

Freight Transport for Inland Modes

1000 mio tonne-kilometres

	Road	Rail	Inland Water-ways	Pipe-lines	Total
1995	1 289	386	122	115	1 912
1996	1 303	392	120	119	1 934
1997	1 352	410	128	118	2 007
1998	1 414	393	131	125	2 063
1999	1 470	384	129	124	2 107
2000	1 519	404	134	127	2 183
2001	1 556	386	133	133	2 208
2002	1 606	384	133	128	2 251
2003	1 625	392	124	130	2 271
2004	1 747	416	137	132	2 432
2005	1 800	414	139	136	2 489
2006	1 854	440	138	135	2 568
2007	1 915	453	147	127	2 642
2008	1 878	443	145	124	2 590
1995 - 2008	45,7%	14,7%	19,0%	8,0%	35,5%
per year	2,9%	1,1%	1,3%	0,6%	2,4%
2000-2008	23,6%	9,7%	8,5%	-2,0%	18,6%
per year	2,7%	1,2%	1,0%	-0,3%	1,9%
2007 - 2008	-1,9%	-2,3%	-1,2%	-2,2%	-2,0%

Modal split

(%)

	Road	Rail	Inland Water-ways	Pipe-lines
1995	67,4	20,2	6,4	6,0
1996	67,4	20,3	6,2	6,2
1997	67,3	20,4	6,4	5,9
1998	68,5	19,0	6,4	6,1
1999	69,8	18,2	6,1	5,9
2000	69,6	18,5	6,1	5,8
2001	70,5	17,5	6,0	6,0
2002	71,4	17,1	5,9	5,7
2003	71,6	17,3	5,4	5,7
2004	71,8	17,1	5,6	5,4
2005	72,3	16,6	5,6	5,5
2006	72,2	17,1	5,4	5,3
2007	72,5	17,1	5,6	4,8
2008	72,5	17,1	5,6	4,8

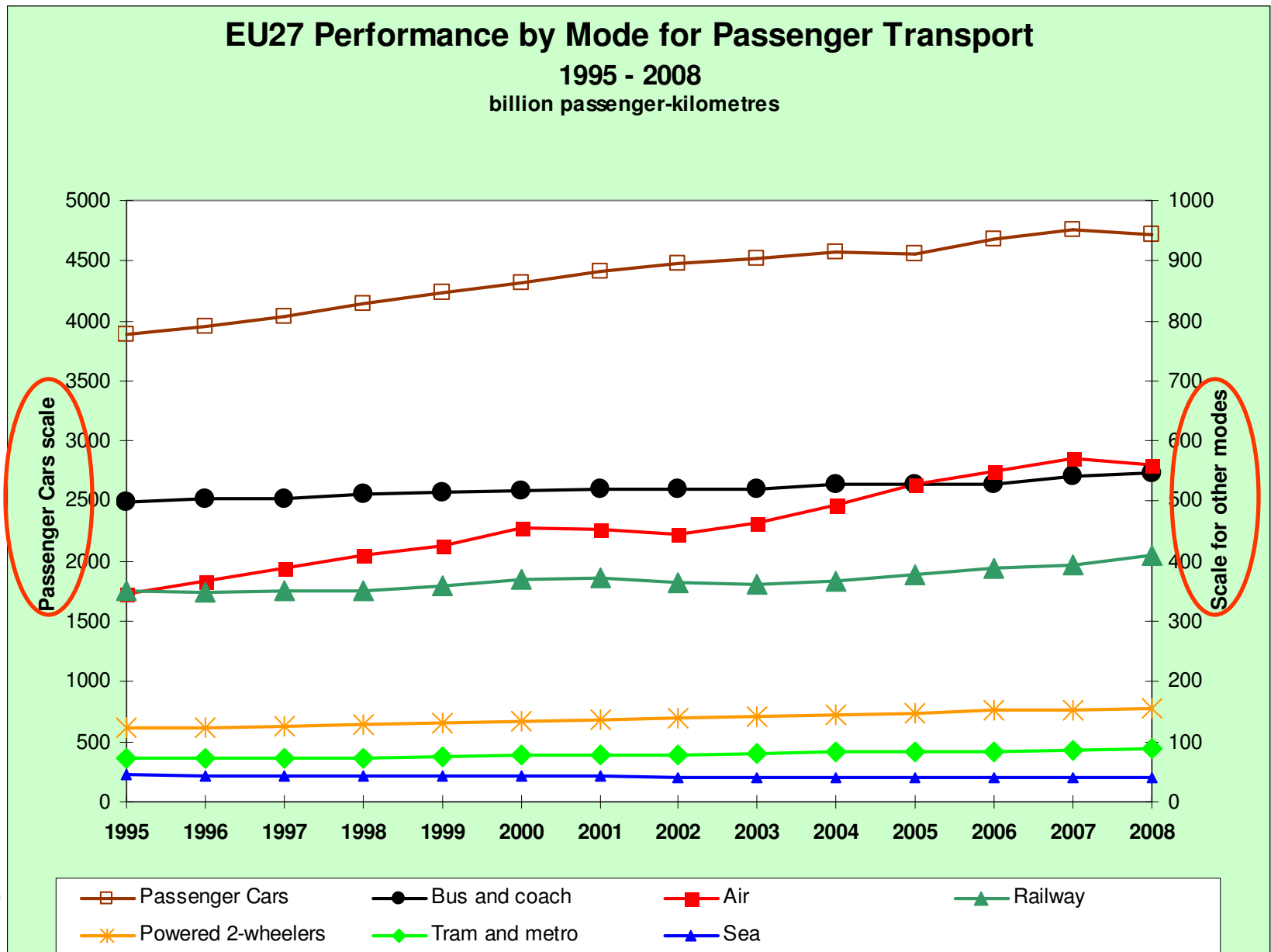
Source: tables 3.2.4c to 3.2.7

Note: Road: national and international haulage by vehicles registered in the EU-27

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3
Transport, European Commission.

EUROPA A 27 STATI - *Traffico passeggeri* - Spostamenti *in Europa*

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3 Transport, European Commission.



Source: tables 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6, 3.3.7, estimates

EUROPA A 27 STATI - *Traffico passeggeri* - Spostamenti *in Europa*

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3 Transport, European Commission.

EU-27 Performance by Mode								
Passenger Transport								
1000 mio passenger-kilometres								
	Passenger Cars	P2W	Bus & Coach	Rail - way	Tram & Metro	Air	Sea	Total
1995	3 893	122	500	351	71	346	44	5 327
1996	3 961	124	504	349	72	366	44	5 419
1997	4 039	126	505	351	73	390	44	5 527
1998	4 137	129	513	351	74	409	43	5 655
1999	4 240	133	515	359	75	425	43	5 789
2000	4 322	135	518	371	77	457	42	5 921
2001	4 406	138	520	373	78	453	42	6 009
2002	4 480	138	519	366	78	445	42	6 068
2003	4 511	142	520	362	79	463	41	6 119
2004	4 570	145	527	368	82	493	41	6 226
2005	4 564	148	528	377	82	527	40	6 266
2006	4 680	152	528	389	84	549	40	6 422
2007	4 760	152	542	395	86	572	41	6 549
2008	4 725	155	547	409	89	561	41	6 527
1995 - 2008	21,4%	26,9%	9,4%	16,7%	25,1%	62,1%	-7,9%	22,5%
per year	1,5%	1,8%	0,7%	1,2%	1,7%	3,8%	-0,6%	1,6%
2000 - 2008	9,3%	15,4%	5,5%	10,4%	15,3%	22,8%	-1,9%	10,2%
per year	1,1%	1,8%	0,7%	1,2%	1,8%	2,6%	-0,2%	1,2%
2007 - 2008	-0,7%	1,9%	0,9%	3,5%	3,5%	-1,9%	-0,2%	-0,3%

EUROPA A 27 STATI - *Traffico passeggeri* - Spostamenti *in Europa*

Fonte: European Union, Energy and Transport in figures 2010, Part 3 Transport, European Commission.

Modal split							
%							
	Pass - enger Cars	P2W	Bus & Coach	Rail - way	Tram & Metro	Air	Sea
1995	73,1	2,3	9,4	6,6	1,3	6,5	0,8
1996	73,1	2,3	9,3	6,4	1,3	6,8	0,8
1997	73,1	2,3	9,1	6,3	1,3	7,1	0,8
1998	73,2	2,3	9,1	6,2	1,3	7,2	0,8
1999	73,2	2,3	8,9	6,2	1,3	7,3	0,7
2000	73,0	2,3	8,8	6,3	1,3	7,7	0,7
2001	73,3	2,3	8,7	6,2	1,3	7,5	0,7
2002	73,8	2,3	8,6	6,0	1,3	7,3	0,7
2003	73,7	2,3	8,5	5,9	1,3	7,6	0,7
2004	73,4	2,3	8,5	5,9	1,3	7,9	0,7
2005	72,8	2,4	8,4	6,0	1,3	8,4	0,6
2006	72,9	2,4	8,2	6,1	1,3	8,5	0,6
2007	72,7	2,3	8,3	6,0	1,3	8,7	0,6
2008	72,4	2,4	8,4	6,3	1,4	8,6	0,6
Source : tables 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6, 3.3.7, estimates (<i>in italics</i>)							
Notes:							
Air and Sea: only domestic and intra-EU-27 transport; provisional estimates							
P2W: Powered two-wheelers							

SISTEMI DI TRASPORTO E LORO CONSUMO ENERGETICO

EU energy consumption in tons of oil equivalent per thousand unit of traffic (1 tonkm or 10 pkm) - source European Commission, year 2006 (source: EC)

Rail 0.019

Inland navigation 0.034

Road 0.116

Aviation 0.899

Maritime 0.004

SISTEMI DI TRASPORTO E LORO SICUREZZA IN EUROPA

Numero di *morti* in incidenti nell'UE - anno 2006
(fonte Commissione Europea)

Strada 43000

Ferrovia (*) 1370

Aereo 47

Nave n.d.

(*) 25 in collisioni, 7 in deragliamenti, 360 presso passaggi a livello, 953 in investimenti, 25 in altre maniere

SISTEMI DI TRASPORTO E LORO SICUREZZA IN EUROPA

	Total revenue equivalent tonnkm in billions(1 eq. tonnkm = 1 tonkm or 10 pkm) by mode - source European Commission, year 2006	Numero di morti in incidenti per miliardo di tonkm equivalenti percorse nell'UE, anno 2006	
		valore	indice
Strada	2.608	16,49	2.035
Ferrovia	482	2,84	351
Aereo	58	0,81	100

Lo studio del sistema di trasporto ferroviario è stato già trattato nella parte relativa alla *Meccanica della Locomozione* affrontando i seguenti principali argomenti:

- Gli organi di rotolamento dei veicoli ferroviari
- Il fenomeno dell'aderenza nel caso ferroviaria
- Resistenze al moto nei veicolo ferroviari
- Equazione generale del moto
- Caratteristica meccanica di trazione
- Diagramma di Trazione

Al fine di determinare la *capacità di una linea ferroviaria*, da confrontare con la *domanda* prevista, dobbiamo trattare il problema del *distanziamento spaziale e temporale* fra due treni e perciò le *Caratteristiche della Circolazione Ferroviaria*

DISTANZIAMENTO SPAZIALE
E TEMPORALE FRA DUE TRENI



**CARATTERISTICHE DELLA
CIRCOLAZIONE
FERROVIARIA**



**CAPACITÀ DI UNA
LINEA FERROVIARIA**



**DOMANDA PREVISTA SULLA
LINEA FERROVIARIA** (da
Modelli di Domanda e Assegnazione
alla Rete di Trasporto Ferroviaria),

Nel seguito saranno trattati i seguenti argomenti di carattere ferroviario:

- Studio dei *Regimi di Circolazione*
- Blocco elettrico automatico a *circuito di binario*
- Blocco elettrico automatico *conta assi*
- *Capacità* di una *sezione* di *linea*
- Il segnalamento Europeo *ERTMS/ETCS*
- I *sistemi di ausilio alla condotta*
- Sistema Controllo Marcia Treno (SCMT)
- Sistema di Supporto alla Condotta (SSC)
- Il *Movimento* dei *treni* nelle *stazioni*
- I *Sistemi di Esercizio*

Come è stato detto per determinare la capacità di una linea ferroviaria è necessario determinare il *distanziamento minimo* temporale fra due passaggi successivi di treni lungo una linea.

Per poterlo determinare è necessario parlare dei *Regimi di Circolazione* che ci permettono anche di capire le *caratteristiche funzionali* (ossia il modo di funzionare) del *sistema di trasporto ferroviario* e ci permettono di capire, in particolare, per quale ragione il trasporto ferroviario è un *sistema di trasporto più sicuro* di quello stradale.

Regimi di circolazione

"Complesso dei provvedimenti tecnici ed organizzativi necessari per assicurare il corretto distanziamento fra i treni".

I sistemi di circolazione attualmente in uso prevedono il "distanziamento a spazio": la linea ferroviaria è suddivisa in *sezioni di blocco* (o di *distanziamento*), la regola fondamentale, per la sicurezza della circolazione, è che *non può esserci più di un solo treno, contemporaneamente, in ciascuna sezione di blocco.*

Il minimo distanziamento spaziale, considerata la velocità dei treni, darà luogo ad un minimo distanziamento temporale fra il passaggio di due treni successivi e quindi ad un numero *massimo* di *passaggi* nell'unità di tempo (*capacità della linea*).

Sulla rete di *RFI* ("*Rete Ferroviaria Italiana*") abbiamo i seguenti *regimi (sistemi) di circolazione*.

- *Blocco elettrico automatico a circuiti di binario* (≈ 35% della rete, generalmente sulle linee più importanti).

$$\left\{ \begin{array}{l} a \text{ correnti fisse} \\ a \text{ correnti codificate} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} a \text{ 4 codici} \\ a \text{ 9 codici} \end{array} \right.$$

- *Blocco elettrico automatico conta assi* (≈ 55% della rete).

Questi regimi sono in vigore sulla rete *cosiddetta "storica"*, ossia sulla rete esistente prima della seconda guerra mondiale ed inoltre, blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 9 codici, sulla *Direttissima Firenze-Roma* (prima linea ad alta velocità italiana).

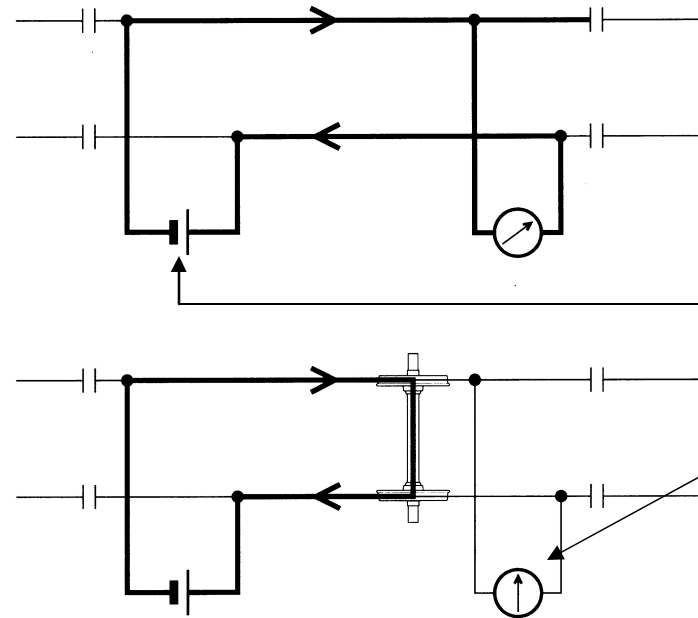
Sempre sulla rete storica abbiamo dei tratti equipaggiati con il "blocco elettrico~manuale" (7% della rete,) ed il "blocco elettrico telefonico" (1% della rete): sistemi che sono ormai in disuso e scompariranno in un prossimo futuro (probabilmente le percentuali di questi sistemi di circolazione sono già attualmente inferiori a quelle indicate).

- Sulle *nuove linee ad alta velocità* abbiamo un nuovo sistema di blocco : il "*blocco radio*"; di esso parleremo estesamente quando tratteremo il nuovo segnalamento europeo ERTMS/ETCS .

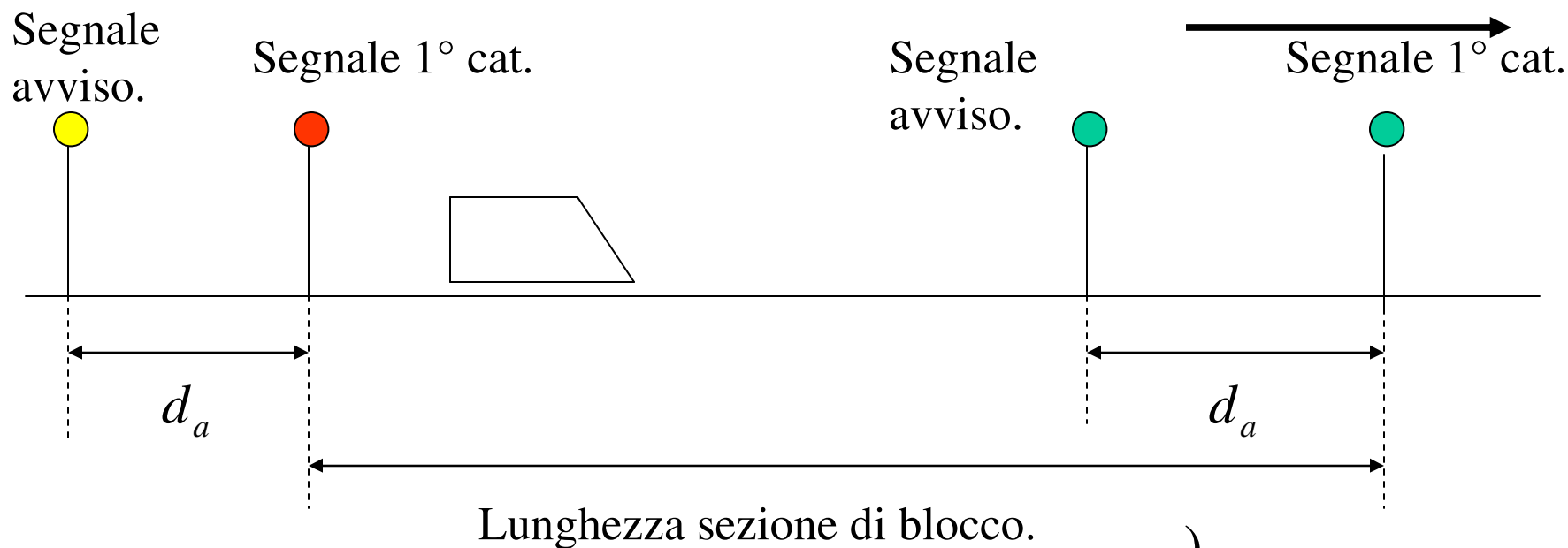
Circuito di Binario

Come funziona?

Ho un *generatore di corrente*, ho un *relè* che rileva la corrente. Se il relè rileva la corrente vuol dire che la sezione è libera. Se c'è l'asse di un treno (basta infatti un singolo asse) il relè non rileva passaggio di corrente: questo vuol dire che la sezione è occupata, il segnale di protezione, di I categoria, è, *automaticamente*, posto a rosso.



Se il *sistema si guasta*, non circola corrente, viene automaticamente bloccata l'entrata nella sezione.



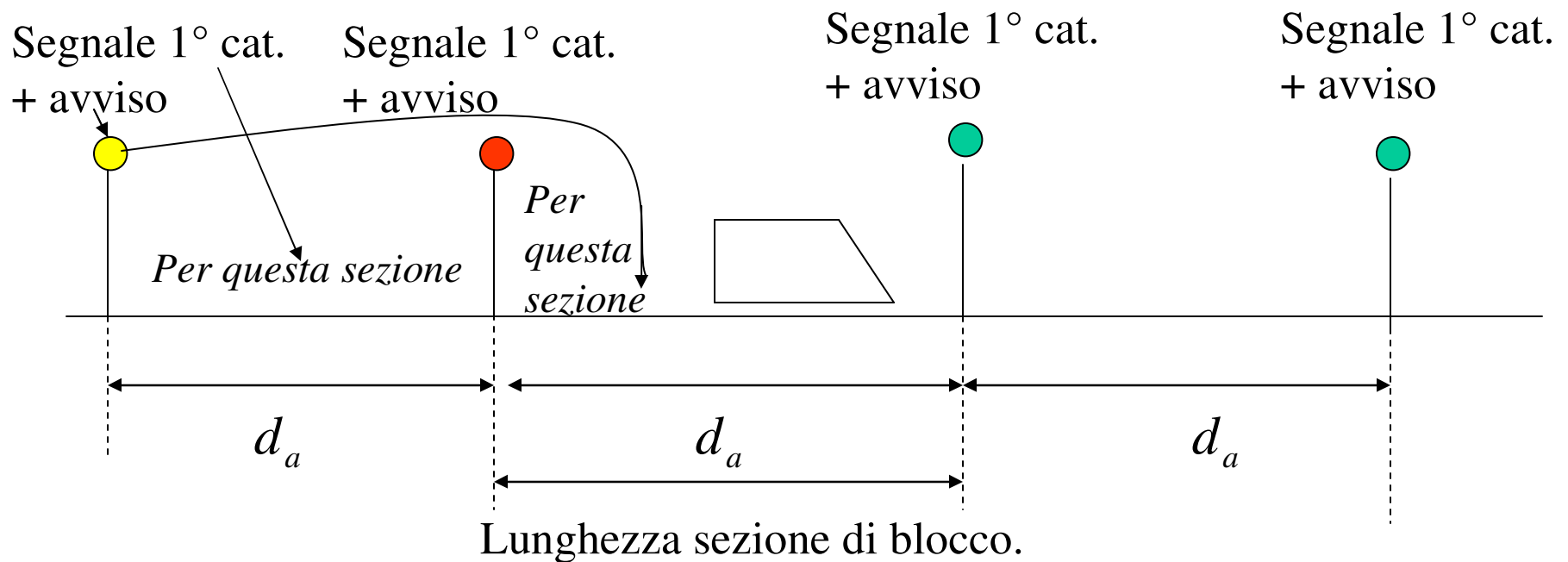
Questo caso è detto a: *Sezioni* (di blocco) *non concatenate*).

Il circuito di binario rileva la presenza del treno → “mette” il segnale di protezione (I categoria) sul rosso, quello di avviso viene posto automaticamente a giallo.

Segnale di *I categoria* (*protezione*) due aspetti: *verde* (la sezione è libera), *rosso* (la sezione è occupata).

Segnale di *avviso* due aspetti: *verde* (avviso di via libera, la sezione successiva è libera), *giallo* (avviso di via impedita, ad una distanza che permetta al treno di arrestarsi, d_a ; la sezione successiva è occupata.)

Sezioni concatenate



Per aumentare la capacità della linea si possono fare delle *sezioni di blocco di lunghezza* pari al valore minimo ammissibile, ossia alla *distanza di arresto*. Il segnale di 1° cat. per una sezione è anche segnale di avviso per la successiva, è un segnale di "*I cat. e avviso accoppiati*" ha pertanto tre aspetti: rosso, verde e giallo. *Rosso* = la sezione è occupata; *giallo* = via libera, ma la successiva sezione è occupata; *verde* = via libera senza condizioni.

La distanza di arresto si calcola con la *formula di Pédelucq*:

$$d_a = \frac{V_0^2}{\frac{1,09375 \lambda_c}{\varphi(V_0)} + \frac{0,127}{\varphi(V_0)} \pm 0,235 i\%_o}$$

Velocità del treno (in km/h)

Pendenza in "per mille"
pendenza = 0,012: $i\%_o = 12$

$\varphi(V_0)$ è "tabellata" in funzione di V_0

λ_c *Percentuale di peso frenato*: individua la *capacità frenante* di un treno a partire dalle capacità frenanti (percentuali di peso frenato) dei singoli veicoli che lo compongono.

V massima, in esercizio, negli anni 60.

Per $\begin{cases} V_0 = 160 \text{ km/h} \Rightarrow d_a \approx 1200 \\ \lambda_c = 120\% \text{ (nella formula devo mettere 1,2)} \end{cases}$

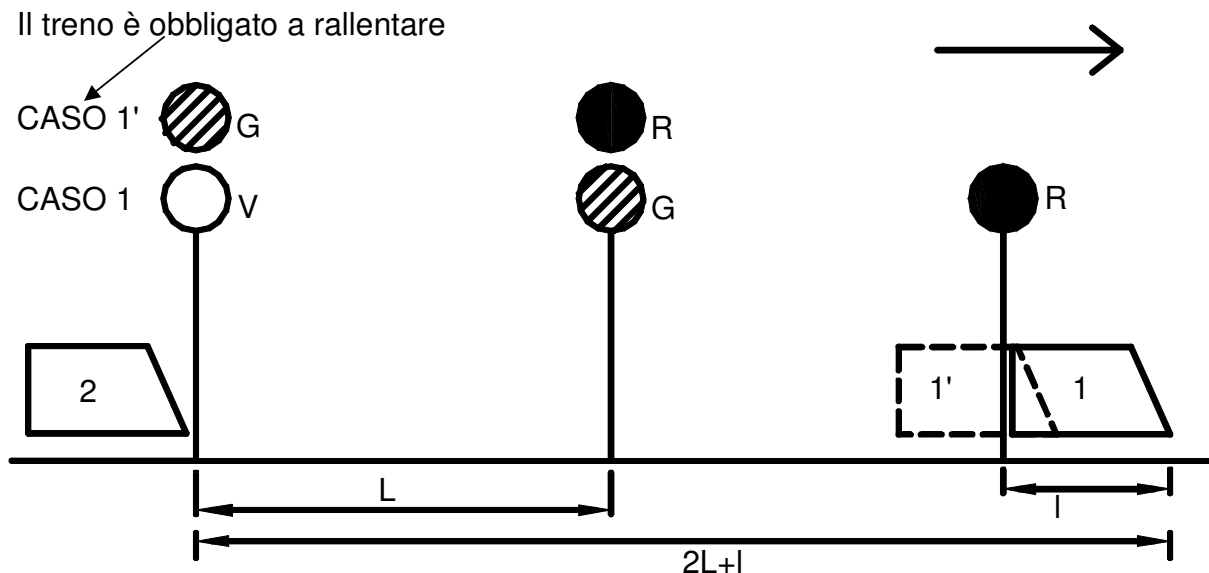
Le FS hanno stabilito, nel caso di sezioni concatenate, generalmente: $d_a = 1350 \text{ m}$

Distanziamento minimo "assoluto" fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria.

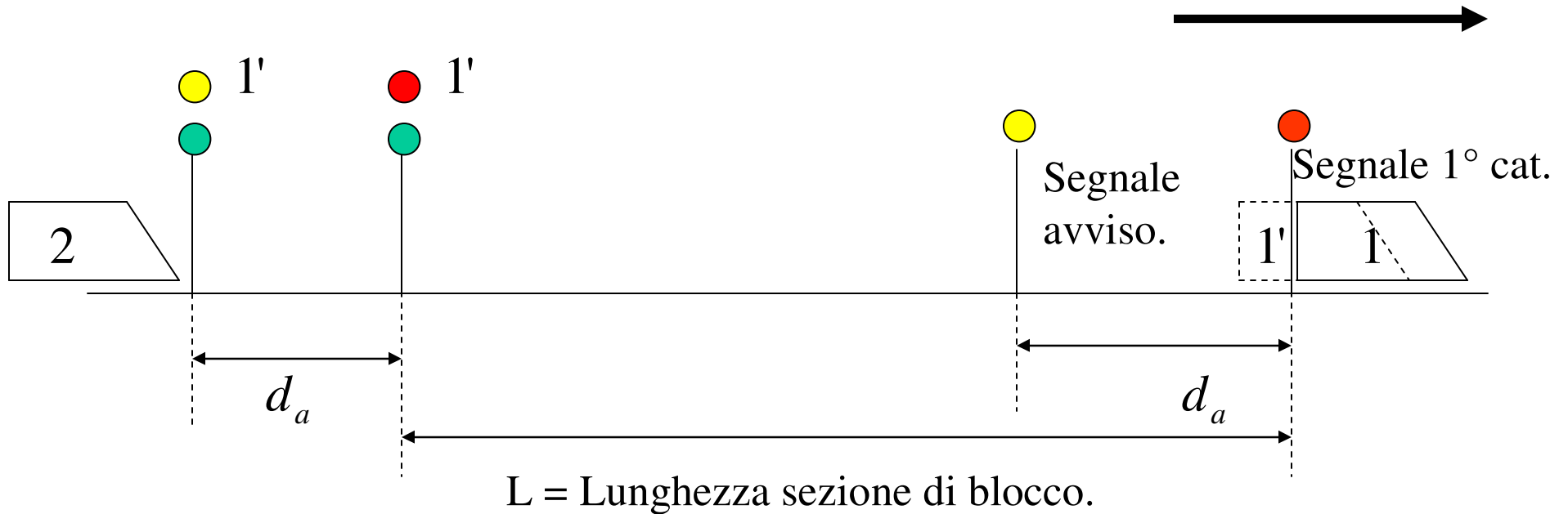
Nel caso di blocco elettrico automatico a *correnti fisse* (si distingue da quello a *correnti "codificate"* che vedremo in seguito) e *sezioni "concatenate"* è pari a: $d_{\min} = 2L + l$.

Lunghezza sezioni di blocco

Lunghezza treno



Nel caso di sezioni "non concatenate": $d_{\min} = d_a + L + l$



In realtà devo tenere conto anche della distanza di visibilità del segnale, poiché la marcia è a vista e quindi ho, nei due casi "non concatenato" e "concatenato":

$$d_{\min} = d_a + L + l + 150$$

$$d_{\min} = 2L + l + 150$$

Alla fine degli anni 60 entrarono in servizio le E444 che avevano una velocità massima di 200 km/h.

Si pensò quindi di realizzare treni che in esercizio andassero a questa velocità. Ma in questo caso: $d_a \approx 2200m$

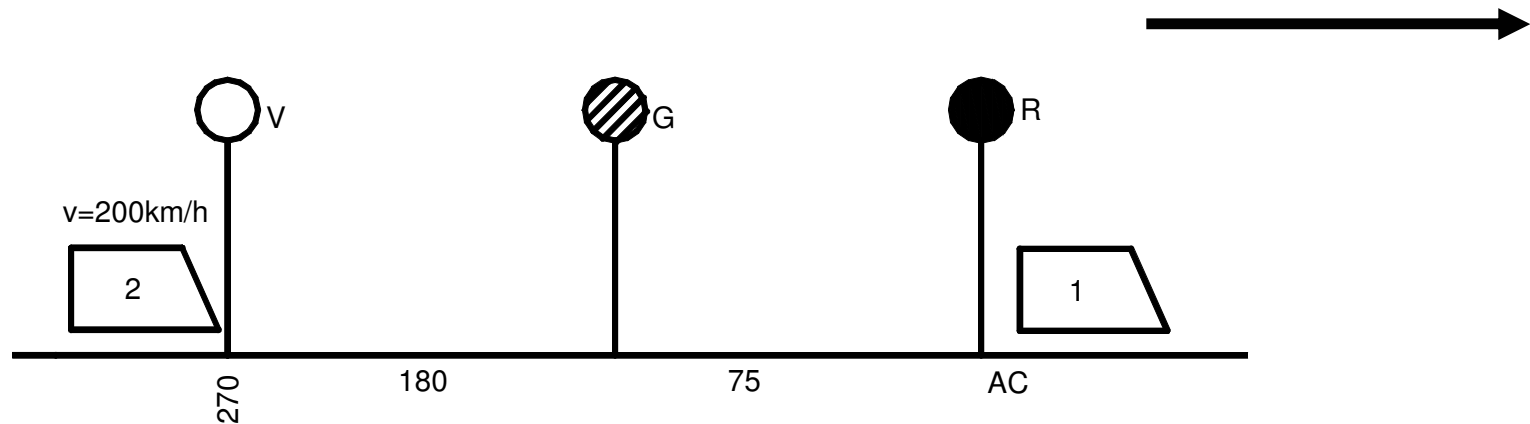
Quindi le sezioni di blocco di $d_a \approx 1350m$ non bastavano più.

Si sarebbe potuto allungare le sezioni di blocco, ma era un soluzione molto costosa, bisognava rifare i circuiti di binario; questa soluzione inoltre penalizzava i treni più lenti (per questi era come se le sezioni fossero non concatenate) ed inoltre era prevedibile un ulteriore aumento della velocità dei treni. Oltre a ciò all'*umentare della velocità* si ha il problema che *l'affidabilità del segnalamento a vista* risulta inaccettabile.

Le FS pensarono al *blocco elettrico automatico a correnti codificate*.

Il blocco elettrico automatico a correnti codificate è un sistema con *ripetizione segnali in macchina continua* (RSC): il macchinista ha "una vista elettrica" su tre sezioni di blocco davanti al treno (sistema a 4 codici) ed ha una ripetizione dei segnali nella cabina di guida.

Con il blocco automatico a correnti codificate a 4 codici le linee sono attrezzate in modo tale che *circolano*, nei *circuiti di binario*, delle *correnti codificate*: secondo codici legati alla situazione di libertà della linea davanti al treno. A *bordo* della locomotiva una *macchina capta il codice* circolante nella sezione di blocco, attraverso il fenomeno dell' induzione elettromagnetica, e ripete il segnale in cabina la conducente.

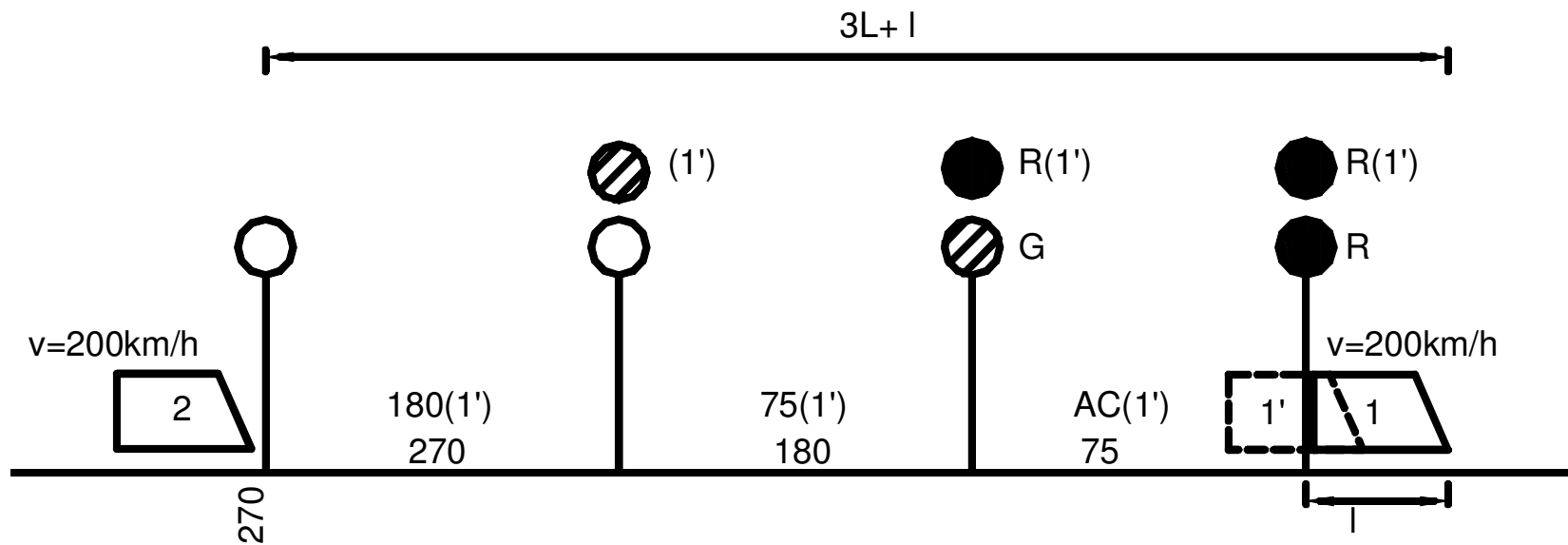


Passato l'"ultimo verde", la macchina di ripetizione, nella cabina di guida, del segnale, capta il **codice 180**. Si accende una luce bianca lattea e suona l'avvisatore acustico: entro tre secondi il macchinista deve fare il riconoscimento segnale (altrimenti parte la frenatura automatica) il macchinista sa che ha disposizione due sezioni di blocco per frenare prima di arrivare nella sezione occupata (quindi può viaggiare in sicurezza fino a velocità di 200km/h).

Sequenza di arresto nel caso di blocco elettrico automatico a correnti codificate a 4 codici: **270-180-75-AC** (assenza di codice).

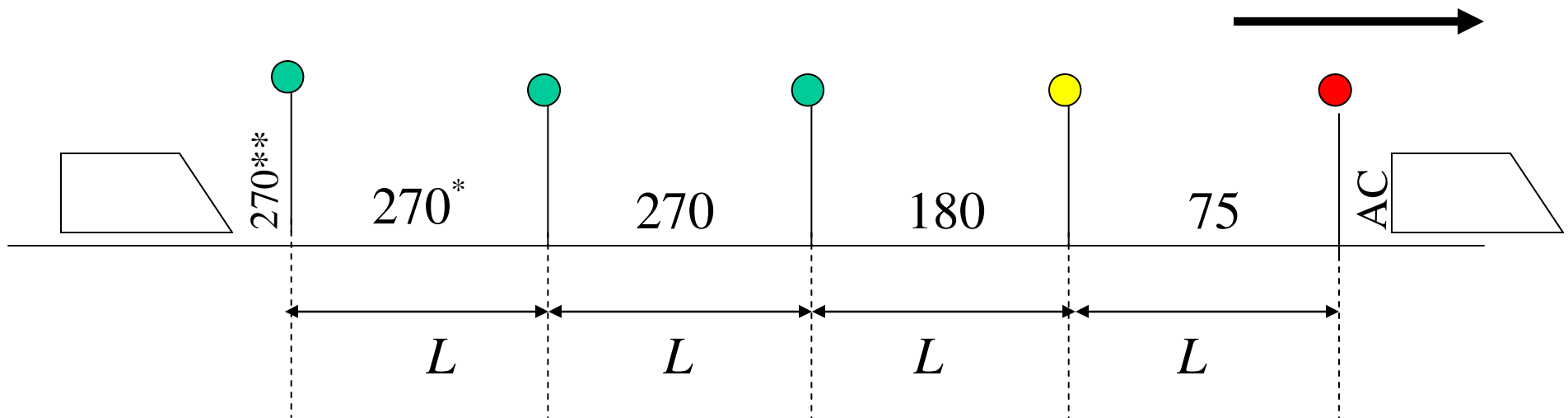
$$d_{\min} = 3L + l$$

Distanza minima "assoluta" nel caso di blocco automatico a correnti codificate a 4 codici.



Negli anni 70 fu iniziata la costruzione della direttissima Firenze-Roma. La direttissima è stata progettata per 250Km/h. Fu pertanto necessario adeguare il segnalamento: in quanto a 250km/h $d_a \approx 4L$ (in termine di numero intero di sezioni di blocco).

Fu introdotto il *blocco elettrico automatico a 9 codici*.

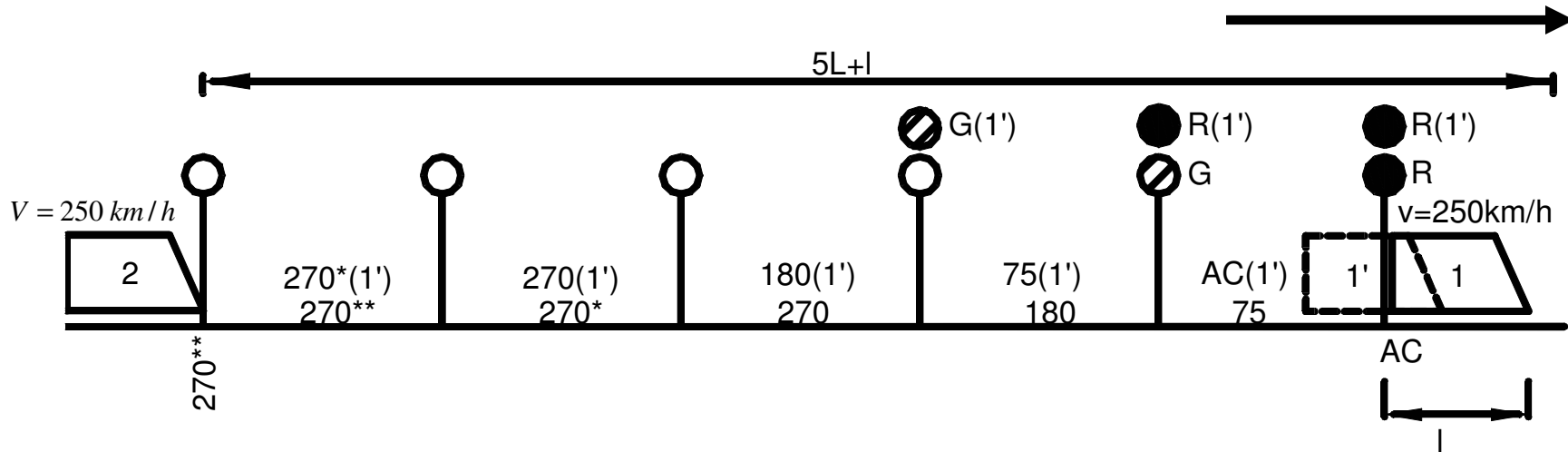


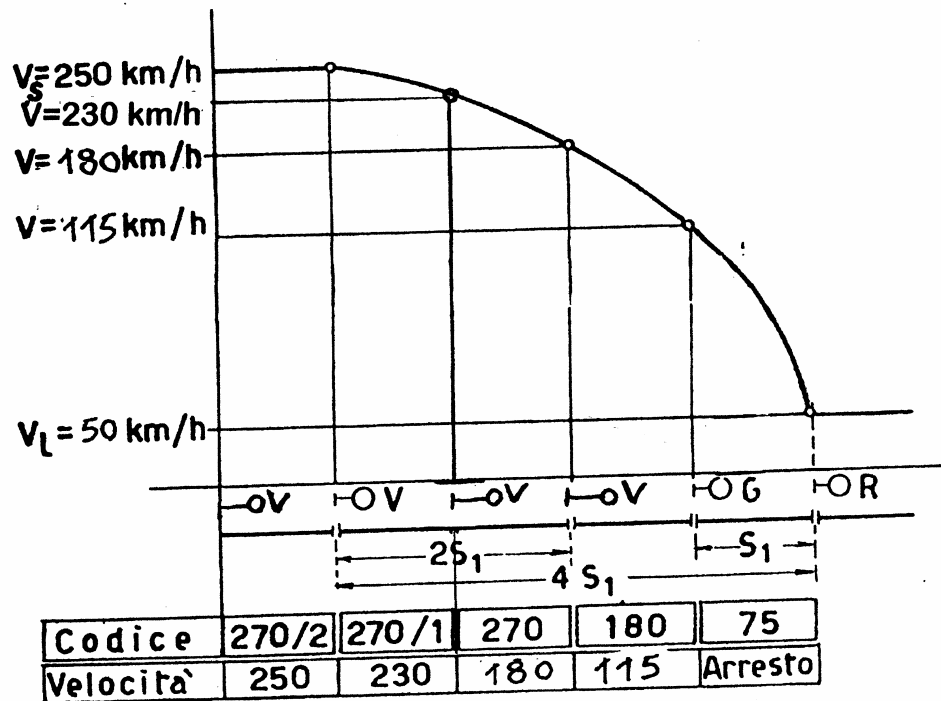
Sequenza di arresto nel caso di blocco elettrico automatico a correnti codificate a 9 codici: **270**-270*-270-180-75-AC**.

Sulla direttissima Firenze-Roma i mezzi equipaggiati con macchine a 4 codici captano solo 4 codici (i codici 270* e 270** "sono visti" come 270 semplice).

$$d_{\min} = 5L + l$$

← *Distanza minima "assoluta"* nel caso di blocco automatico a correnti codificate a 9 codici.





Nel caso dei nove codici era anche imposta una *curva di frenatura*: se la velocità del treno non stava "sotto" la curva di frenatura entrava in funzione la frenatura automatica. Questo concetto, *basilare per la sicurezza*, è una caratteristica fondamentale del sistema di ausilio alla condotta detto "Sistema Controllo Marcia Treno (SCMT)" che è stato esteso, negli ultimi anni, a tutta la rete fondamentale di RFI.

Secondo i regolamenti FS non possono essere superate le seguenti velocità (ci possono comunque essere ulteriori restrizioni dovute alla planimetria del tracciato, pendenza della linea e stato dell'armamento).

Senza codici: vel. max = 150 km/h

Con 4 codici vel. max: =180 km/h

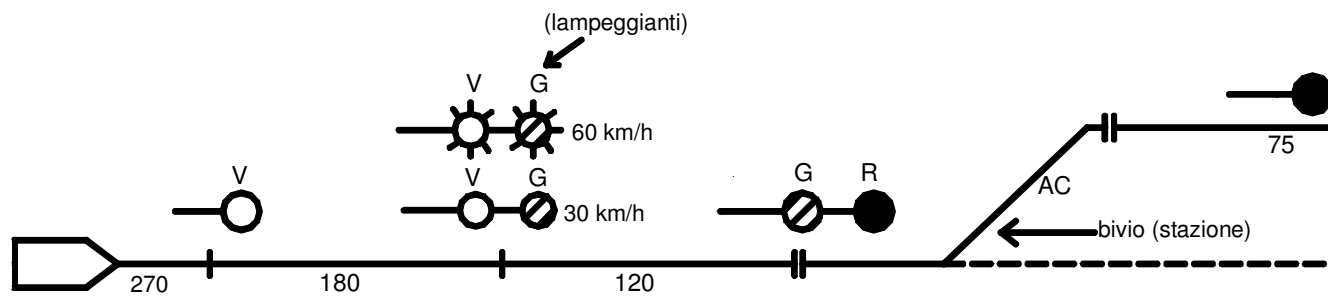
Con 9 codici vel. max 250 km/h (direttissima Firenze-Roma)

Blocco radio vel. max 300 km/h (Nuove linee ad alta velocità: Roma-Napoli; Torino-Milano; Bologna-Milano; Bologna-Firenze).

Comunque ci sono linee con velocità max 220 km/h (come per esempio il recente quadruplicamento veloce Padova- Mestre) ed altre con velocità max 200 Km/h, dove è attivato, sulla linea, il solo codice 270* (ossia sono a 5 codici). I mezzi di trazione hanno a bordo macchine a 9 codici.

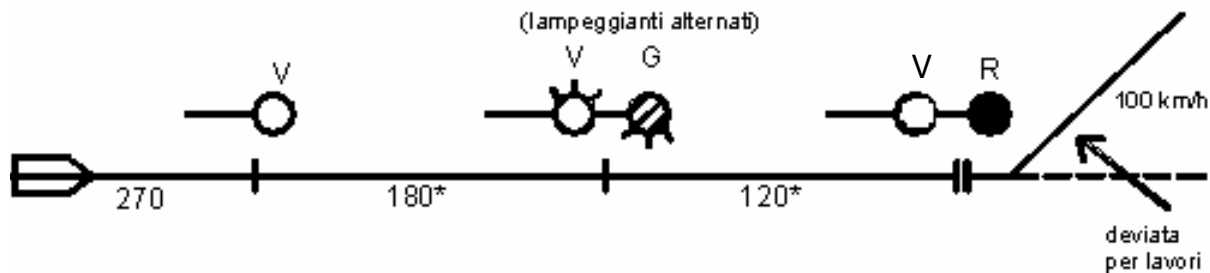
Nel sistema a 4 codici, oltre a quelli già visti, ho il *codice 120*.

4 Codici: 270, 180, 120, 75 (inoltre ho l'assenza di codice).



Itinerario
di arresto
con
percorso
in deviata.

Nel blocco a 9 codici ci sono anche il 180* , avviso anticipato di una deviazione che può essere percorsa a 100km/h , e 120* avviso di deviazione che può essere percorsa a 100km/h



Inoltre avrei anche il 120**, deviata a 130 km/h, che però non è utilizzato.

9 Codici: 270**, 270*, 270, 180*, 180, 120**, 120*, 120, 75
(inoltre ho l'assenza di codice).

AC (in zona codificata)	Zona occupata o Zona con assenza codice (vedere nota nella tabella della precedente Fig. 4.1)
Codice 75	Avviso di via impedita al successivo segnale di 1 ^a categoria
Codice 120	Avviso di riduzione di velocità a 30/60/100 km/h al successivo segnale di 1 ^a categoria disposto a via libera per itinerario deviato, oppure per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità
Codice 120*	Avviso di riduzione della velocità a 100 km/h al successivo segnale di 1 ^a categoria disposto a via libera per itinerario deviato, o per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità
Codice 120**	Avviso di riduzione della velocità a 130 km/h al successivo segnale di 1 ^a categoria disposto a via libera per itinerario deviato, o per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità. Codice non utilizzato
Codice 180	Indicazione di via libera per almeno 1.350 m, potendosi verificare alcune situazioni, di cui le principali sono: a) avviso anticipato di segnale di 1 ^a categoria disposto a via impedita, o a via libera per un percorso deviato a velocità non superiore a 30/60/100 km/h; b) avviso anticipato di riduzione di velocità per rallentamento; c) avviso fine zona codificata (la tratta interessata si rileva dall'Orario di Servizio e secondo le norme del Regolamento Segnali); d) avviso di inizio zona non codificata (la tratta interessata si rileva come al punto c); e) avviso e riduzione della velocità per lavori imposta dal codice; f) avviso di variazione della velocità massima della linea in diminuzione in punti singolari;
Codice 180*	Indicazione di via libera per almeno 1.350 m, potendosi verificare le seguenti condizioni: a) avviso anticipato di segnale di 1 ^a categoria disposto a via libera per un percorso deviato a velocità non superiore a 100 km/h (o 130 km/h, non utilizzato), oppure per un percorso da effettuarsi a velocità non superiore a 100 km/h (o 130 km/h, non utilizzato) b) avviso di riduzione della velocità massima di linea a 150 km/h per lavori
Codice 270	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 2.700 m
Codice 270*	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 4.050 m
Codici 270**	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 5.400 m

Esatto significato dei codici nel caso di blocco automatico a correnti codificate a 9 codici.
 ("Istruzione per il servizio del personale di condotta delle locomotive")

Fonte: www.rfi.it .

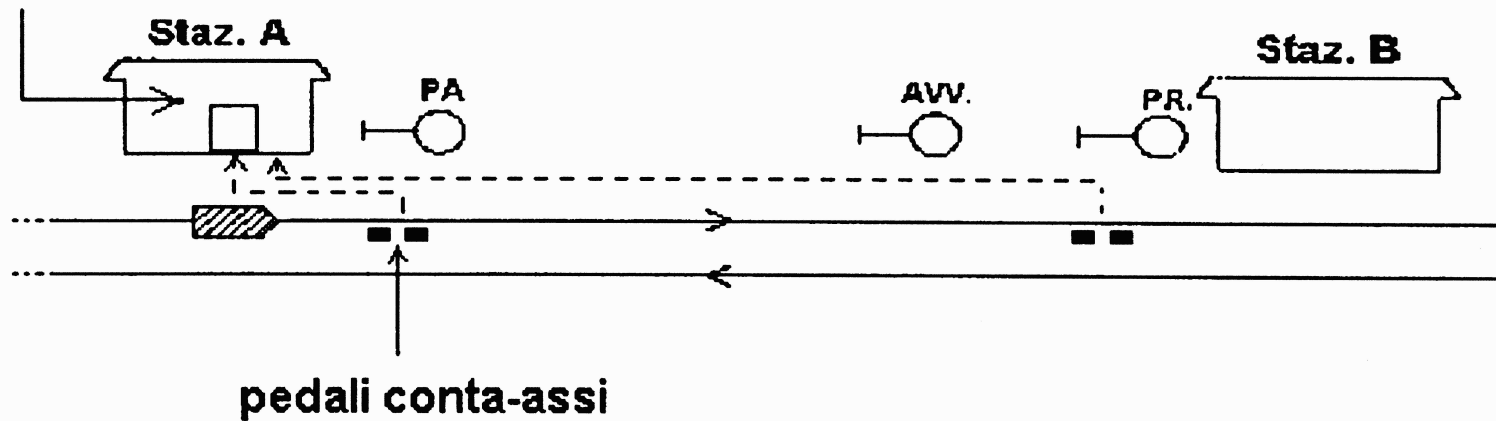


Linee RFI equipaggiate
con *blocco elettrico
automatico a correnti
codificare* (Bacc).

Blocco Elettrico conta assi

È quello *più diffuso* sulla rete RFI: è un sistema più semplice e di minor costo del blocco elettrico automatico a circuiti di binario.

gruppo contatore



Fonte: Sciutto G. e Galaverna M.
Tecnologie dei Trasporti e territorio,
Edizioni Sciro, 2000.

Ho un pedale che conta gli assi che entrano nella sezione ed un pedale che conta gli assi che escono dalla sezione di blocco. Se i due *numeri sono uguali* vuol dire che la sezione è *libera*, altrimenti è *occupata*.

$$d_{\min} = d_a + L + l + 150$$

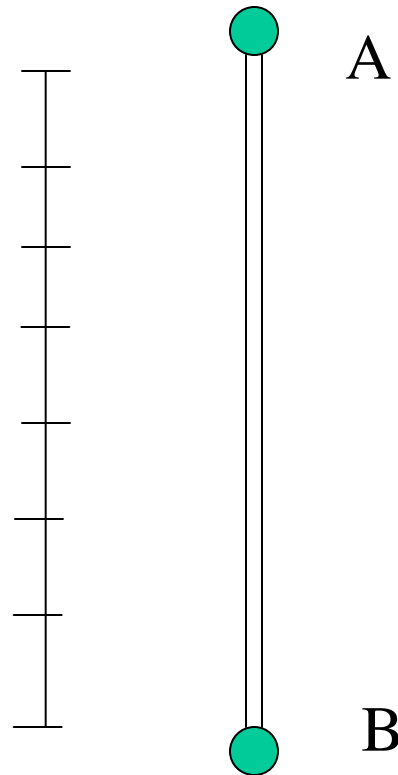
Distanza minima "assoluta": è uguale quella, già vista, per il blocco a circuito di binario a sezioni non concatenate.

Il blocco conta assi ha il vantaggio di essere meno costoso di quello a circuito di binario.

Non riguarda generalmente linee ad alto traffico perciò non c'è bisogno di sezioni concatenate (non c'è bisogno di alta capacità).

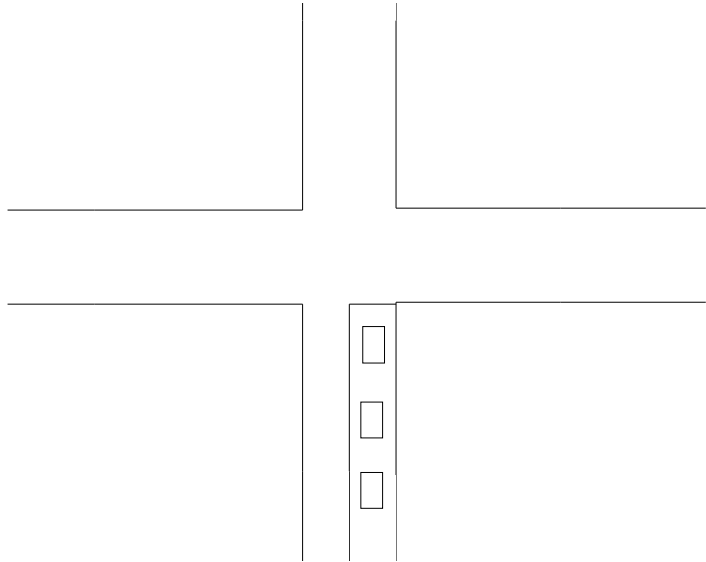
Capacità di una sezione di linea

Si dice *sezione di linea*: una parte di una linea compresa fra due stazioni successive A e B. La sezione di linea può essere a sua volta divisa in più sezioni di blocco.



Per *potenzialità (capacità) di una sezione di linea* si intende il numero massimo di treni che può circolare sulla sezione di linea nel rispetto di prefissate condizioni di esercizio.

Metodo UIC (Union Internationale des Chemins de Fer): si assimila il tratto di linea ad un **sistema a coda**: come per esempio nel caso di una intersezione stradale.



Nel caso di un'intersezione stradale il servizio richiesto è l'accesso alla intersezione. Nel caso ferroviario, di una sezione di linea, il servizio richiesto è l'accesso alla sezione di linea.

Se i tempi di servizio, per un certo periodo di tempo, sono superiori ai tempi di arrivo (fra due arrivi successivi) si forma una coda (per esempio nel caso di una biglietteria: se il tempo per fare il biglietto è maggiore del tempo fra gli arrivi di due utenti successivi).

$$\rho = \frac{b}{a}$$

← Tempo *medio* di servizio

← Tempo *medio* fra due arrivi successivi

Secondo l'UIC deve essere $\rho < 0,6$ affinché la probabilità del formarsi di una coda sia trascurabile.

Consideriamo una *linea omotachica* (treni che vanno alla stessa velocità)

Il tempo di servizio è dovuto al fatto che bisogna assicurare la distanza di sicurezza fra due treni successivi. *l'intervallo temporale minimo "assoluto"* fra due treni successivi è dato da:

$$t_{\min} = \frac{d_{\min}}{V}$$

$$\rho = \frac{t_{\min}}{t_{\min} + t_a}$$

Dove t_a è il tempo di ampliamento

Imponendo che sia $\rho \leq 0,6$ si determina il valore del tempo di ampliamento:

$$\frac{t_{\min}}{t_{\min} + t_a} \leq 0,6 \quad \Rightarrow \quad t_{\min} \leq 0,6(t_{\min} + t_a) \quad \Rightarrow \quad t_a \geq \frac{0,4}{0,6} t_{\min} = 0,67 t_{\min}$$

Quindi il tempo medio minimo fra due arrivi successivi è pari a:

$$t_{\min} + t_a = 1,67 t_{\min}$$

Tempo medio minimo fra due arrivi (passaggi) successivi affinché la probabilità del formarsi della coda sia trascurabile ($\rho \leq 0,6$)

Capacità di una sezione
di linea

$$\frac{60}{1,67 t_{\min}}$$

Linee omotachiche
minuti

E' l'intervallo minimo medio fra due passaggi successivi (affinché la probabilità del formarsi della coda sia trascurabile)

Esempio: *blocco elettrico automatico a circuito di binario; sezioni concatenate; velocità 150 km/h*

$$d_{\min} = 150 + 2L + l = 150 + 2 \cdot 1350 + 400 = 3250 \text{ m}$$

potenzialità $\frac{60}{1,67 \cdot \frac{3250}{150} \cdot \frac{1}{60}} \approx 27$ passaggi/h

Esempio: *blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 4 codici; sezioni concatenate; velocità 180 km/h*

$$d_{\min} = 3L + l = 3 \cdot 1350 + 400 = 4450m$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \cdot \frac{4450}{180} \cdot \frac{1}{60}} \approx 24 \text{ passaggi/h}$$

Esempio: *blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 9 codici; sezioni concatenate; velocità 250 km/h*

$$d_{\min} = 5L + l = 5 \cdot 1350 + 400 = 7150m$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \cdot \frac{7150}{250} \cdot \frac{1}{60}} \approx 20 \text{ passaggi/h}$$

Esempio: nuove linee ad alta velocità; velocità 300 km/h; percorse da ETR 500.

Le nuove linee ad alta velocità hanno generalmente sezioni di blocco di lunghezza 1800m.

ETR 500 a 300 km/h: $d_a \approx 9000 \text{ m}$

$$d_{\min} = L + 5L + l = 6L + l = 11200 \text{ m}$$

↑
 d_a

potenzialità $\frac{60}{1,67 \frac{11200}{300} \frac{1}{60}} \approx 16 \text{ treni/h}$

$3,6$

Si può notare che nel caso concatenato la capacità diminuisce all'aumentare della velocità (d_a varia più che linearmente con la velocità).

Esempio: blocco elettrico automatico conta assi; sezione di 5 km; velocità 140 km/h.

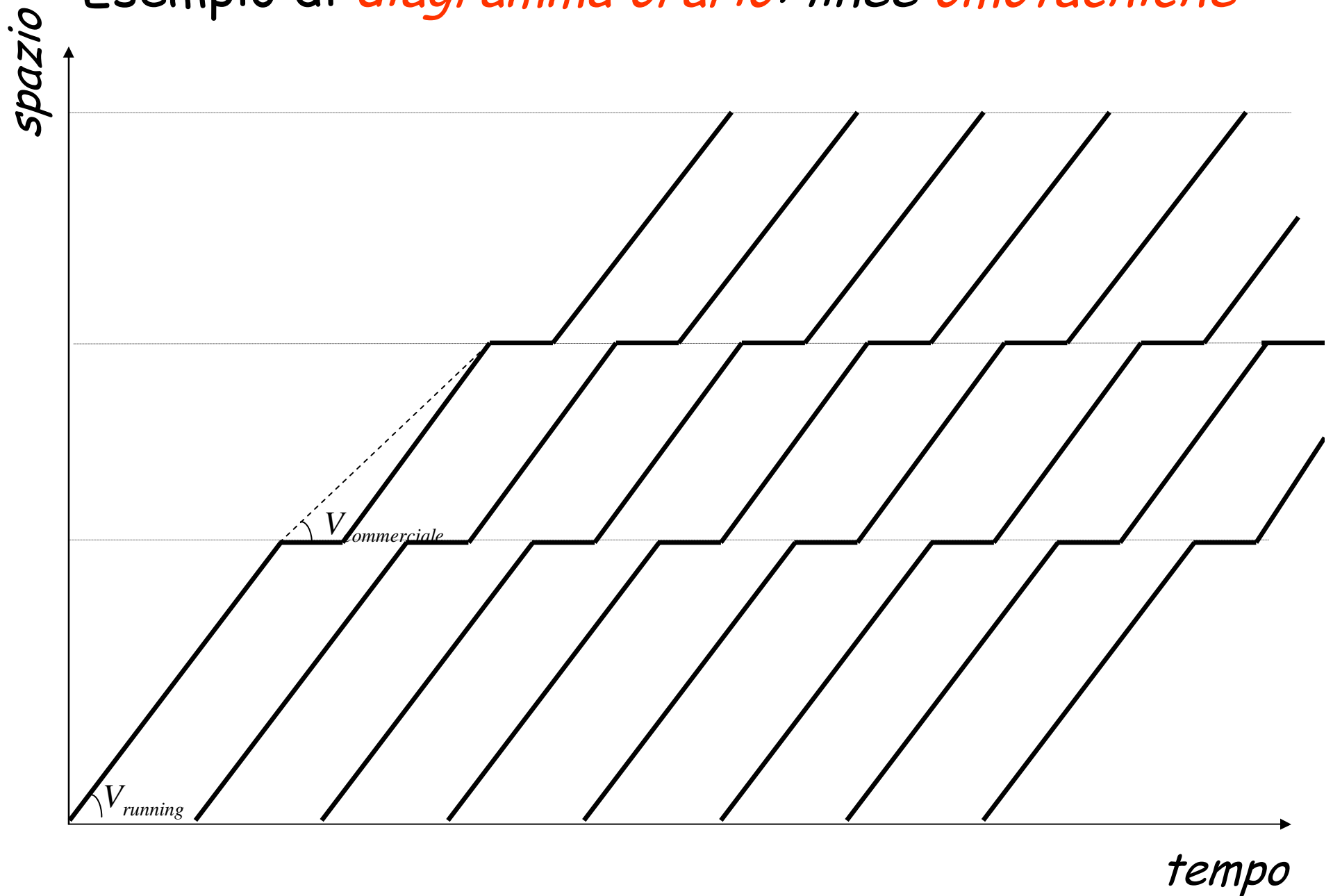
Ammettiamo che la sezione di linea sia costituita da un'unica sezione di blocco di lunghezza di 5 km. Ammettiamo che il blocco elettrico sia del tipo conta assi.

Supponendo: $V=140\text{km/h}$ e 1350m per la distanza di arresto (a cui è posto il segnale di avviso) avremo:

$$d_{\min} = 150 + d_a + L + l = 150 + 1350 + 5000 + 400 = 6900\text{m}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \frac{6900}{140} \frac{1}{60}} \approx 12 \quad \text{treni/h}$$

Esempio di *diagramma orario: linee omotachiche*

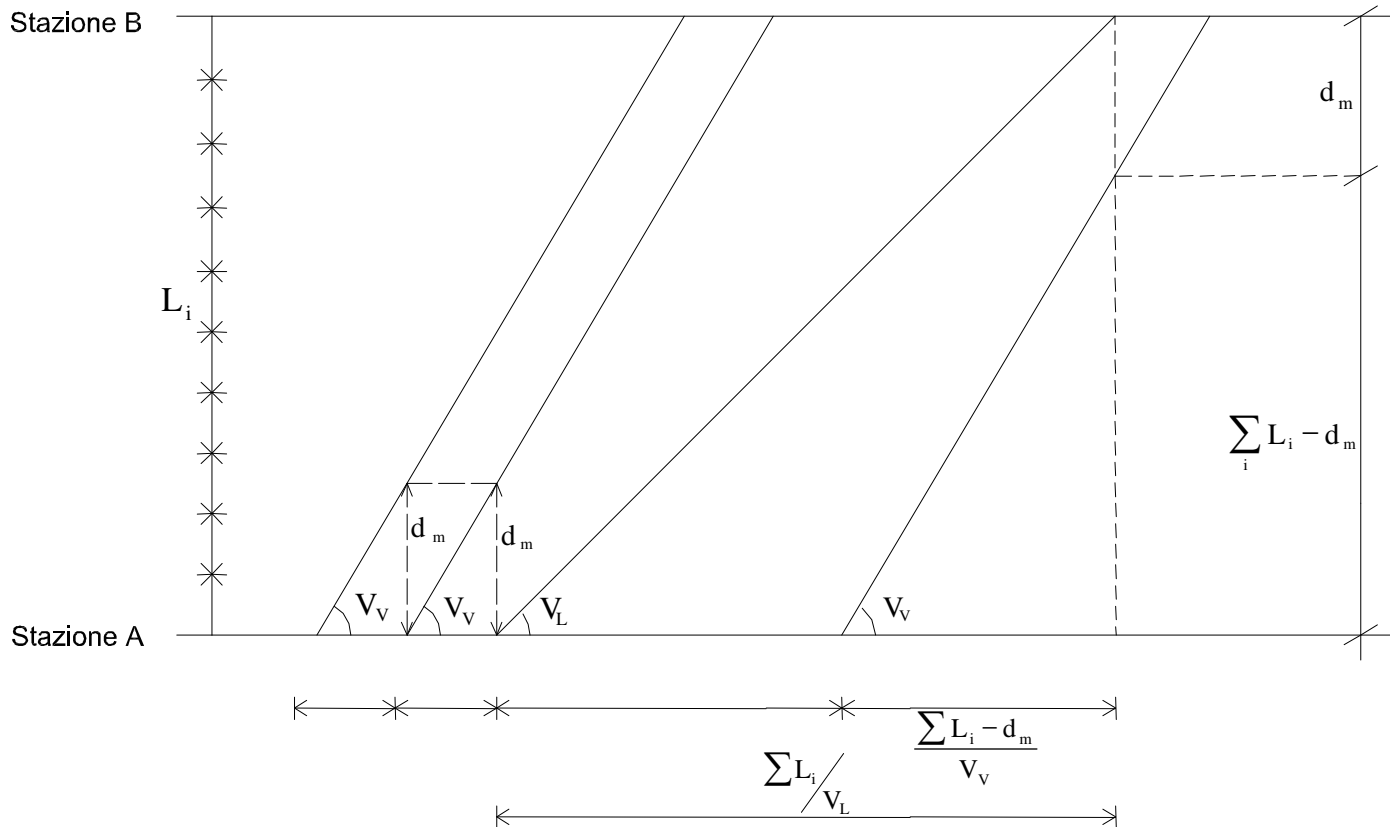


Linee eterotachiche

Immaginiamo di avere due classi di treni (nell'intervallo orario di cui si vuole determinare la capacità):

- Classe "veloce" che va ad una velocità V_V
- Classe "lenta" che va ad una velocità V_L

Consideriamo, per esempio, di avere un regime di circolazione a blocco automatico a correnti fisse, il distanziamento minimo sarà per le due classi : $d_{\min} = 150 + 2L + l$.



Coppia "veloce-veloce"

$$t_{vv} = \frac{d_m}{V_v}$$

Coppia "lento-lento"

$$t_{ll} = \frac{d_m}{V_L}$$

Coppia "veloce-lento"

$$t_{vl} = \frac{d_m}{V_v}$$

Coppia "lento-veloce"

$$t_{lv} = \frac{\sum_i L_i}{V_L} - \frac{\sum_i L_i - d_m}{V_v}$$

$$t'_m = t_{vv} p_{vv} + t_{vl} p_{vl} + t_{ll} p_{ll} + t_{lv} p_{lv}$$

intervallo temporale minimo "assoluto" per linee eterotachiche

Probabilità di avere le diverse coppie

Potenzialità linee eterotachiche
minuti

$$\frac{60}{1,67 t'_m}$$

Tempo minimo medio fra due arrivi (passaggi) successivi per linee eterotachiche (metodo UIC).

$$p_{vv} = \frac{n_{vv}}{n_{tot}}$$

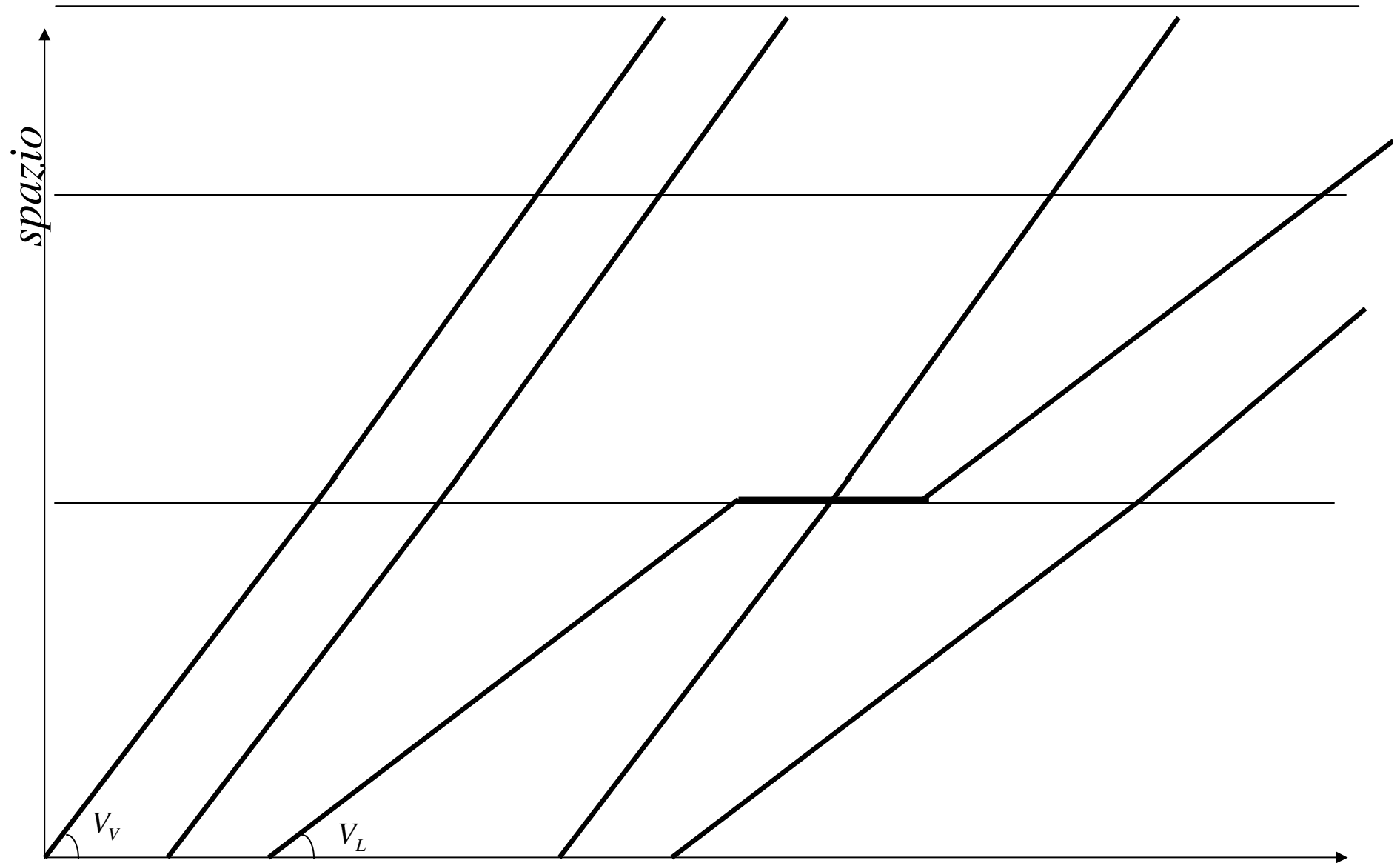
$$p_{vl} = \frac{n_{vl}}{n_{tot}}$$

$$p_{ll} = \frac{n_{ll}}{n_{tot}}$$

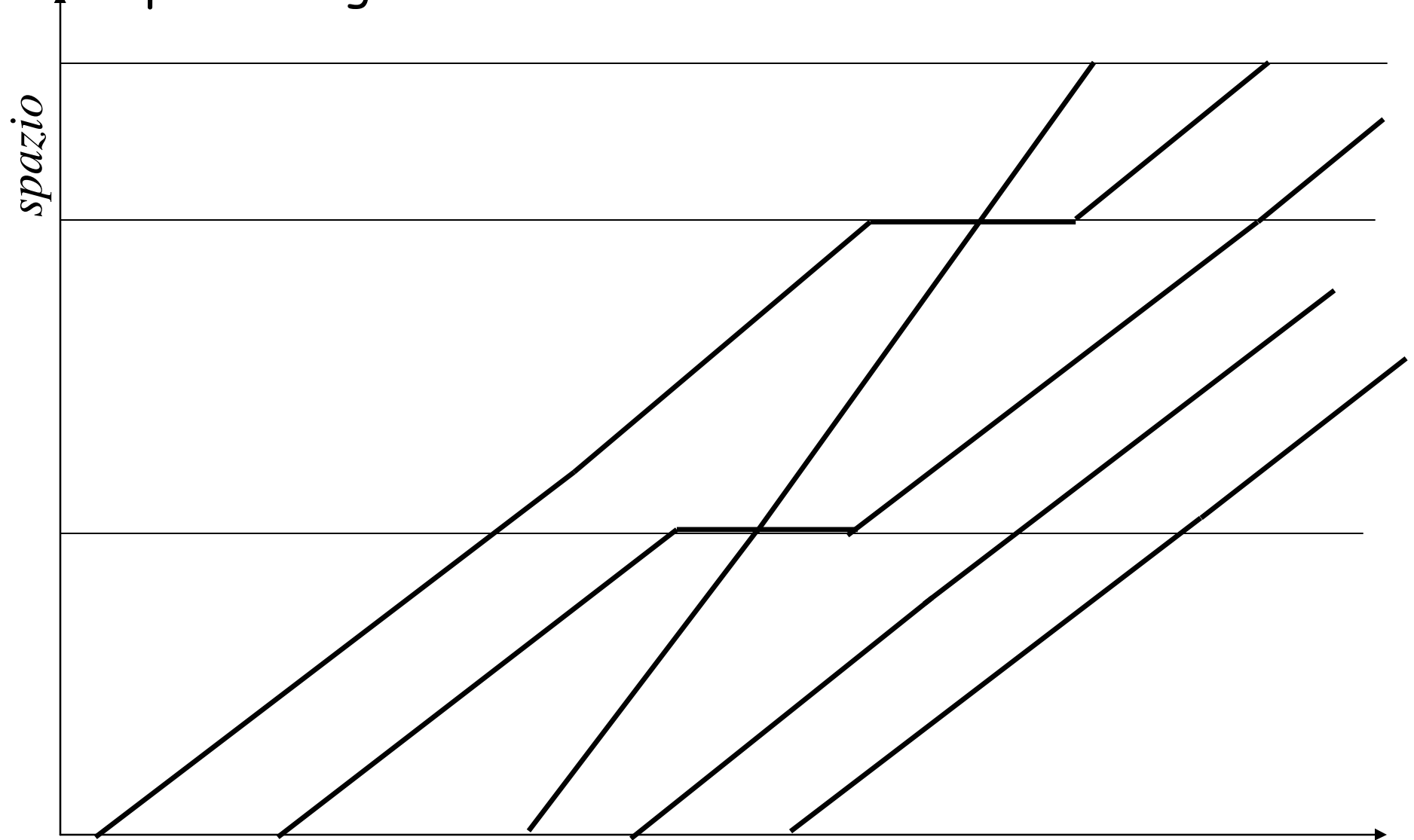
$$p_{lv} = \frac{n_{lv}}{n_{tot}}$$

(Stimo la probabilità con la frequenza relativa)

Esempio di *diagramma orario*: linee eterotachiche



Esempio di diagramma orario: *linee eterotachiche*



"Si deve studiare" dove conviene fare le precedenze

»

Spesso in campo ferroviario tenuto conto:

- dell'utilizzo giornaliero delle linee
- dell'esperienza acquisita definendo i diagrammi orario, in cui in particolare devono essere organizzate le precedenzae (e gli incroci per le linee a binario unico)
- della pratica dell'esercizio

Si esprima la potenzialità di una linea ferroviaria in termini di **treni giorno**:

Dei *valori indicativi* sono:

250 ÷ 300 treni/giorno per linee a doppio binario

80 ÷ 90 treni/giorno per linee a binario unico

(Comunque, nella pratica dell'esercizio, sono stati osservati valori superiori a quelli su riportati)

Capacità (potenzialità) di una linea in passeggeri o tonnellate

$$\begin{array}{ccc} C_{\text{passeggeri o tonnellate}} & = & C_{\text{treno}} & C_{\text{n. max treni}} \\ \swarrow & & \downarrow & \searrow \\ \begin{array}{l} [\text{passeggeri}]/[\text{ora o giorno}] \\ [\text{tonnellate}]/[\text{giorno}] \end{array} & & \begin{array}{l} [\text{passeggeri}]/[\text{treno}] \\ [\text{tonnellate}]/[\text{treno}] \end{array} & \begin{array}{l} [\text{treni}]/[\text{ora}] \\ [\text{treni}]/[\text{giorno}] \end{array} \end{array}$$