



Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Laurea Magistrale: Ingegneria Civile
Corso : Strade Ferrovie ed Aeroporti (284MI-2)



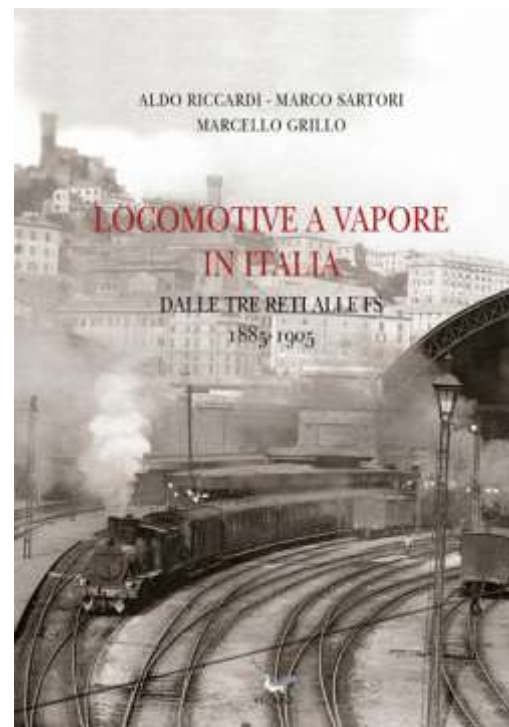
Lezione 05: Infrastrutture e veicoli ferroviari

Roberto Roberti

Tel.: 040 558 3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2022/2023



Sommario

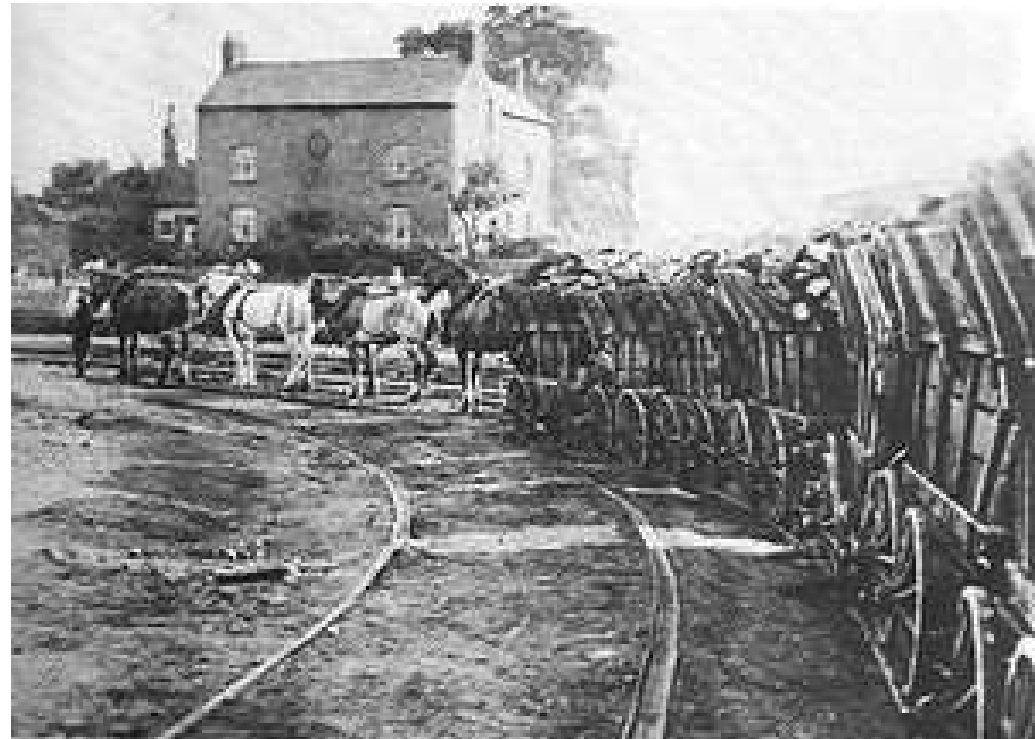
Obiettivi Lezione 05:

- **Caratteristiche dei veicoli ferroviari e delle infrastrutture ferroviarie.**

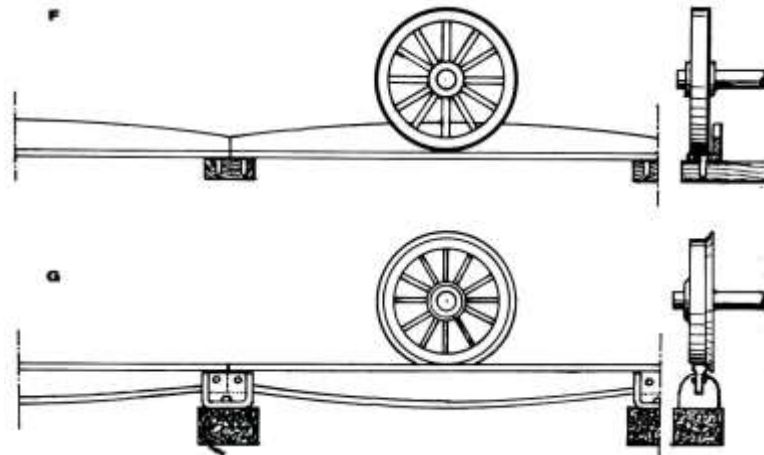
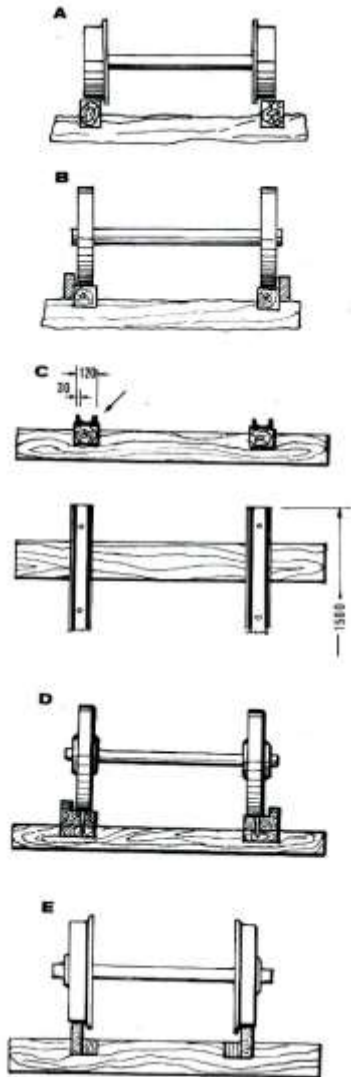
Sommario Lezione 05:

- **Cenni storici sui veicoli e sulle infrastrutture ferroviarie;**
- **Statistiche sulle infrastrutture di trasporto ferroviarie;**
- **Quadro normativo;**
- **Le caratteristiche dei veicoli ferroviari;**
 - **Ruota ferroviaria;**
 - **Sagoma limite;**
 - **Aderenza e resistenze al moto;**
- **Le caratteristiche delle infrastrutture ferroviarie;**
 - **Massicciata ferroviaria;**
 - **Rotaie, attacchi e giunzioni;**
 - **Termica del binario;**
 - **Traverse.**

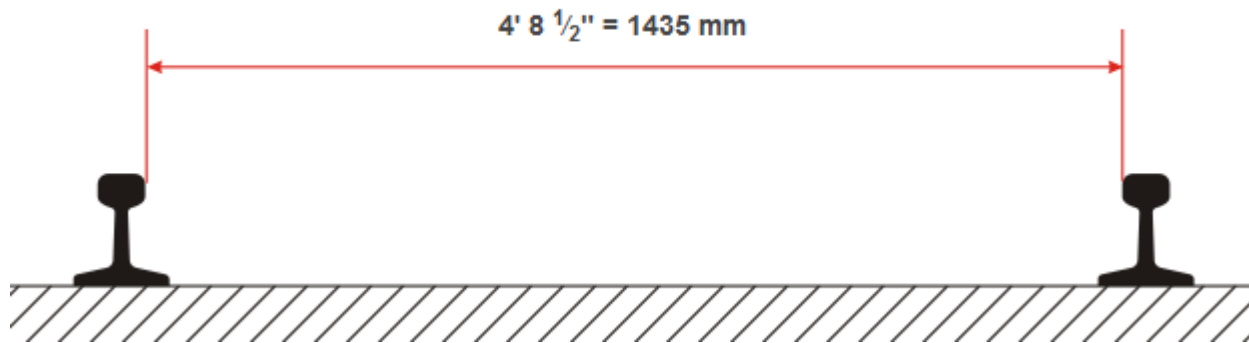
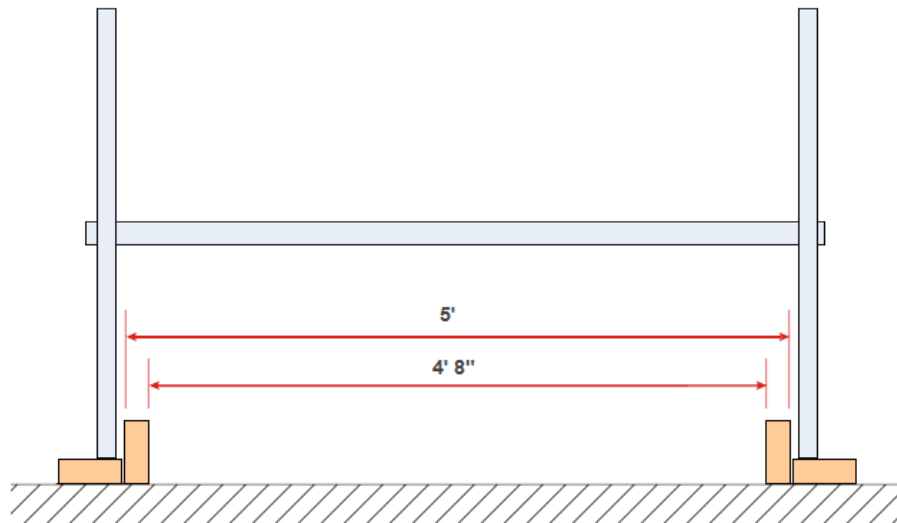
Le origini della ferrovia (1)



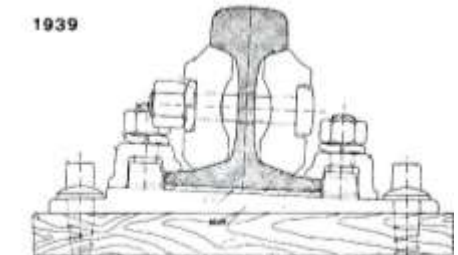
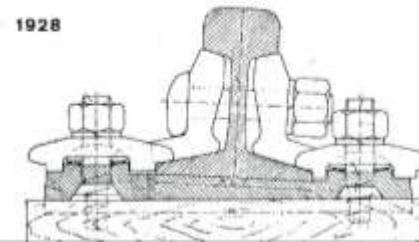
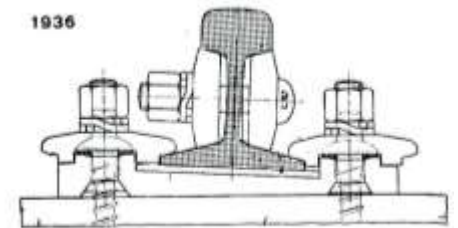
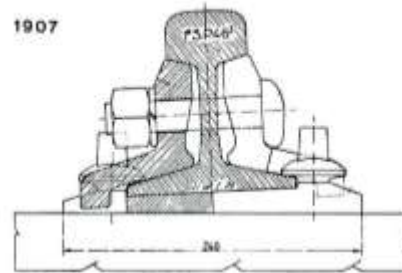
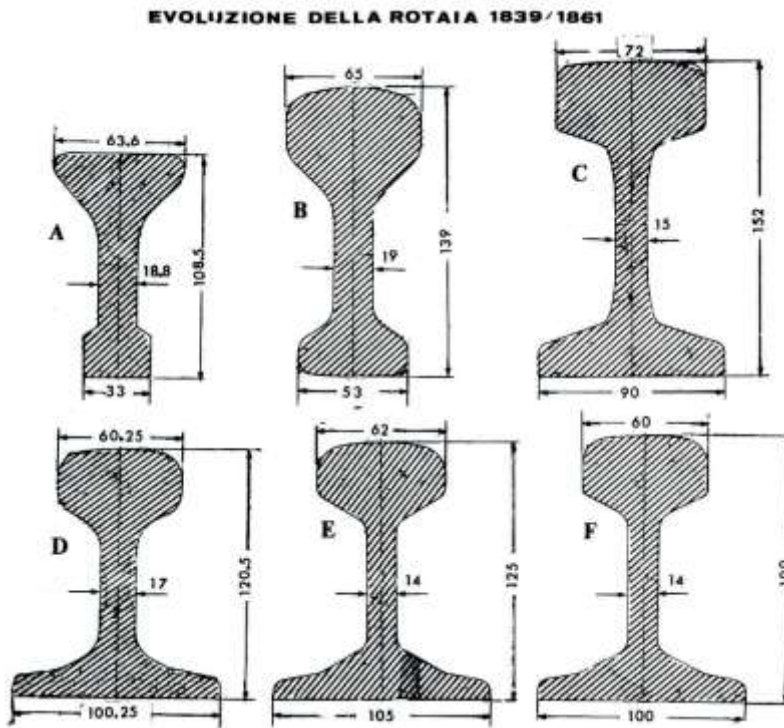
Le origini della ferrovia (2)



Le origini della ferrovia (3)



Le origini della ferrovia (4)



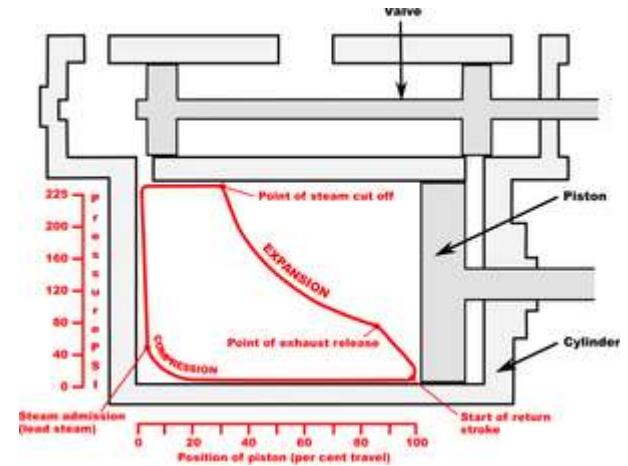
La Locomozione meccanica a vapore



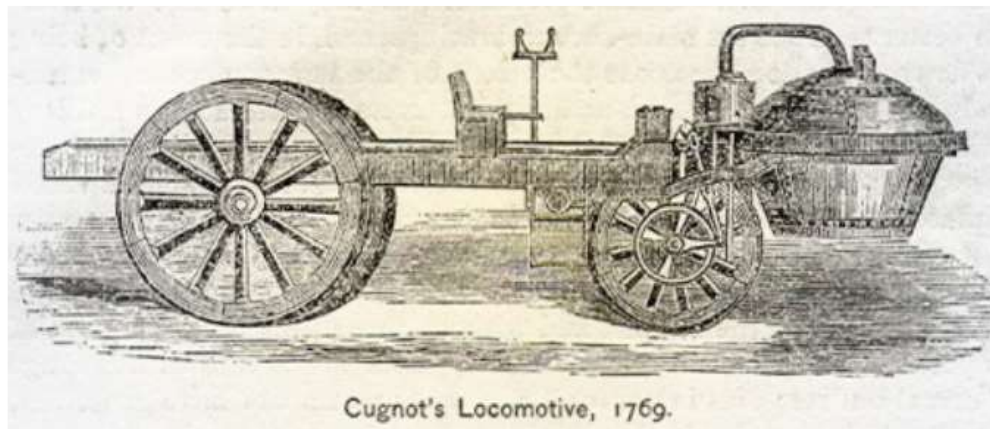
Eolipila



Turbina a vapore



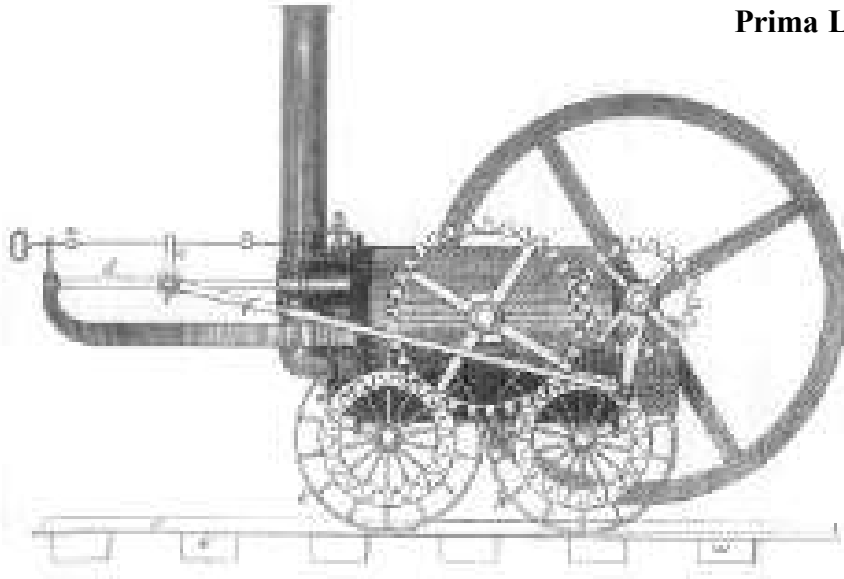
Schema Motore a vapore



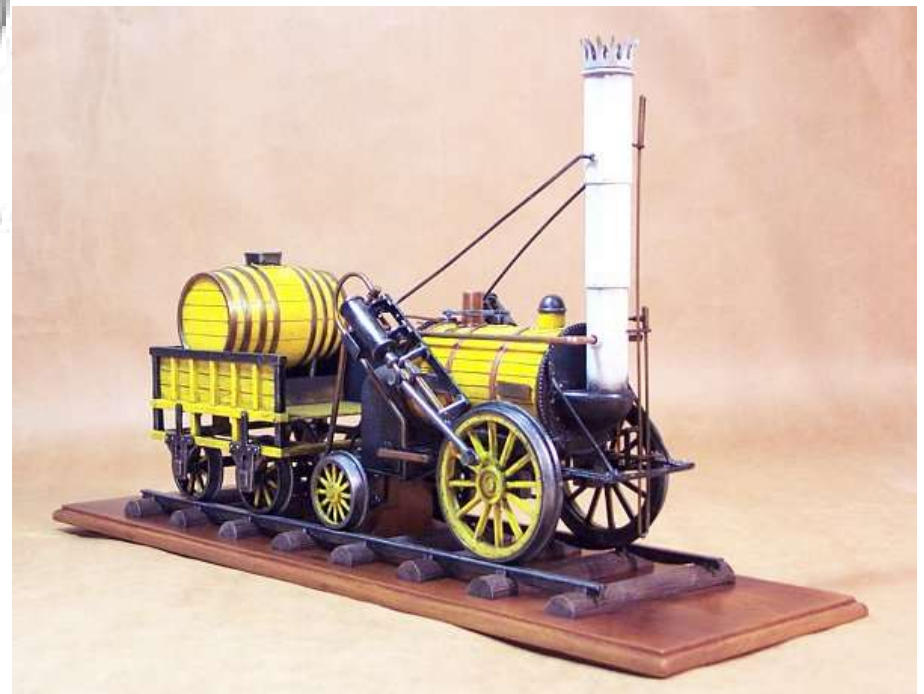
Cugnot's Locomotive, 1769.

La locomotive ferroviarie a vapore (1)

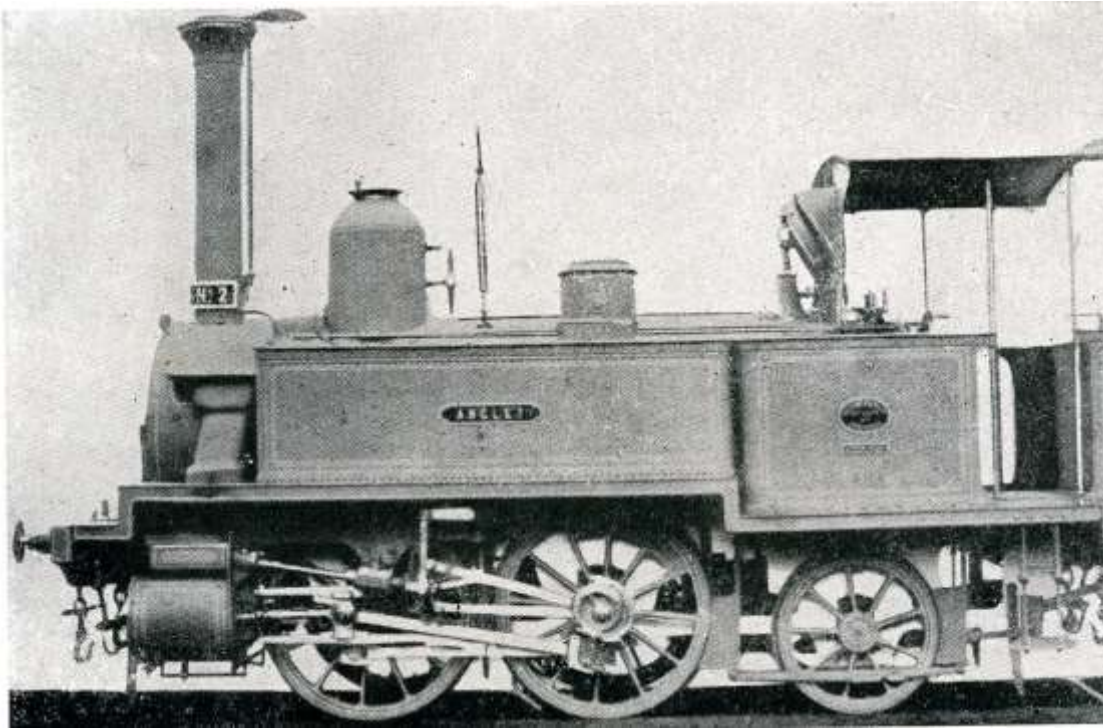
Prima Locomotiva, Richard Trevithick, 1804



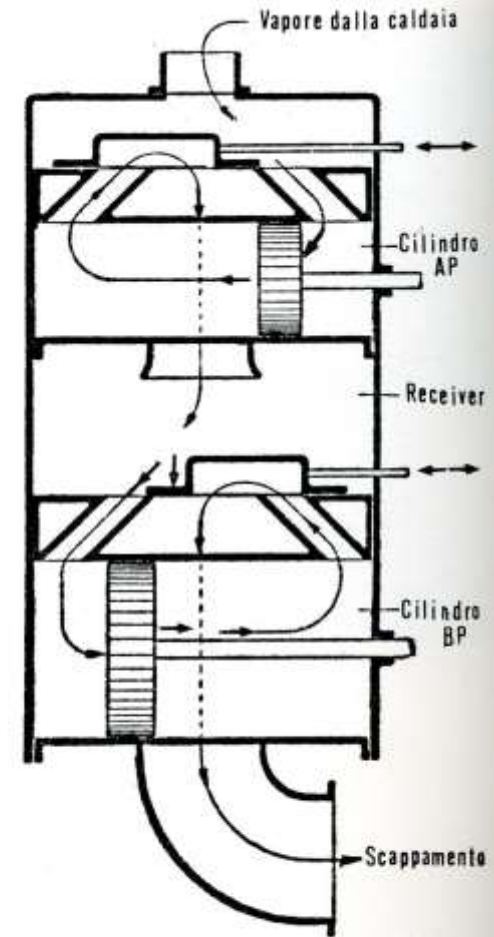
The rocket, Stephenson, 1829



La locomotive ferroviarie a vapore (2)



Locomotiva "compound", 1876



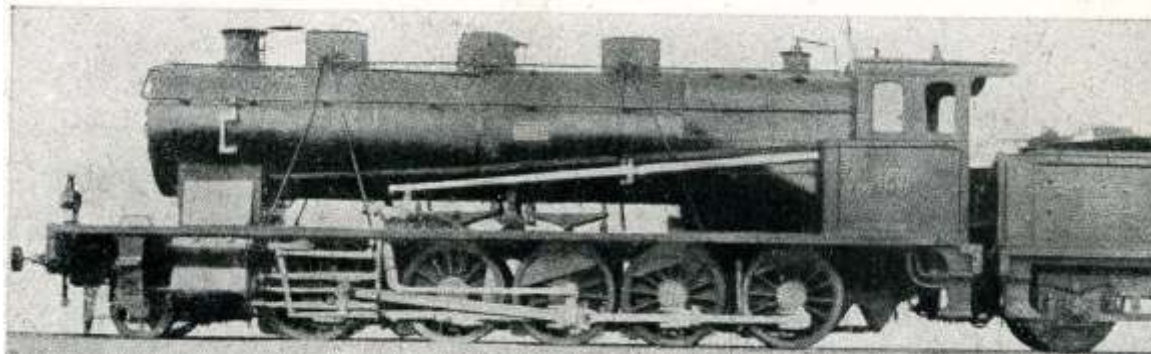
— Schema del percorso del vapore in una macchina a duplice espansione con due cilindri.

La locomotive ferroviarie a vapore (3)

- TIPI PIÙ RAPPRESENTATIVI DI LOCOMOTIVE A VAPORE TRA QUELLI PROGETTATI DAGLI UFFICI STUDI DI TORINO E DI FIRENZE (1873-1904)

Anno costruzione	Gruppo		Rodiggio	Peso ader. t	Velocità max km/ora	Potenza Cv	Pressione caldaia kg/cmq	Semplice o doppia espansione	Tipo distribuzione	Superficie griglia mq	Diametro ruote m	Numero giri ruote/l'	Note	
	d'origine	F. S.												
1873	661	SFAI	170	1-2-0	24,5	80	450	10	Semplice	Gooch	2,25	2,030	212	
1873	1221	SFAI	420	0-4-0	52,9	45	620	9	"	Stephenson	2,15	1,210	199	
1878	543	SFAI	510	2-2-0	26,5	85	510	10	"	Gooch	2,15	1,834	250	
1882	170	RA	540	2-2-0	27,6	95	510	10	"	Stephenson	2,05	1,850	275	
1884	300	RM	650	2-3-0	41,-	80	650	11	"	Gooch	2,23	1,675	258	
1885	180	RA	545	2-2-0	29,5	100	530	12	"	Stephenson	2,03	1,920	279	
1889	350bis	RA	290	0-3-0	43,8	60	500	12	"	Stephenson	2,03	1,510	215	
1889	170	RM	560	2-2-0	31,4	100	600	12	"	Gooch	2,30	2,100	256	
1890	180bis	RA	552	2-2-0	29,5	100	650	12	"	Stephenson	2,30	1,920	279	
1894	380	RM	310	0-3-0	43,5	60	550	12	Doppia	Walschaert	1,80	1,500	218	Distr. cilind. per AP
1898	3061	RM	656	2-3-0	45,-	80	680	13	"	Walschaert	2,40	1,675	258	Distr. a cassetto
1900	3101	RM	660	2-3-0	43,5	90	770	14	"	Walschaert	2,75	1,830	265	Distr. cilind. AP
1900	500	RA	670	2-3-0	44,4	110	870	14	"	Walschaert	3,-	1,920	307	4 cil. - 2 distr. cil.
1902	4501	RM	750	2-4-0	58,2	60	1050	14	"	Walschaert	3,50	1,400	232	Distr. cilind. AP
1904	380	RA	600	1-3-0	39,9	80	660	14	"	Walschaert	2,30	1,510	287	Distr. cilind. carrello italiano

La locomotive ferroviarie a vapore (4)

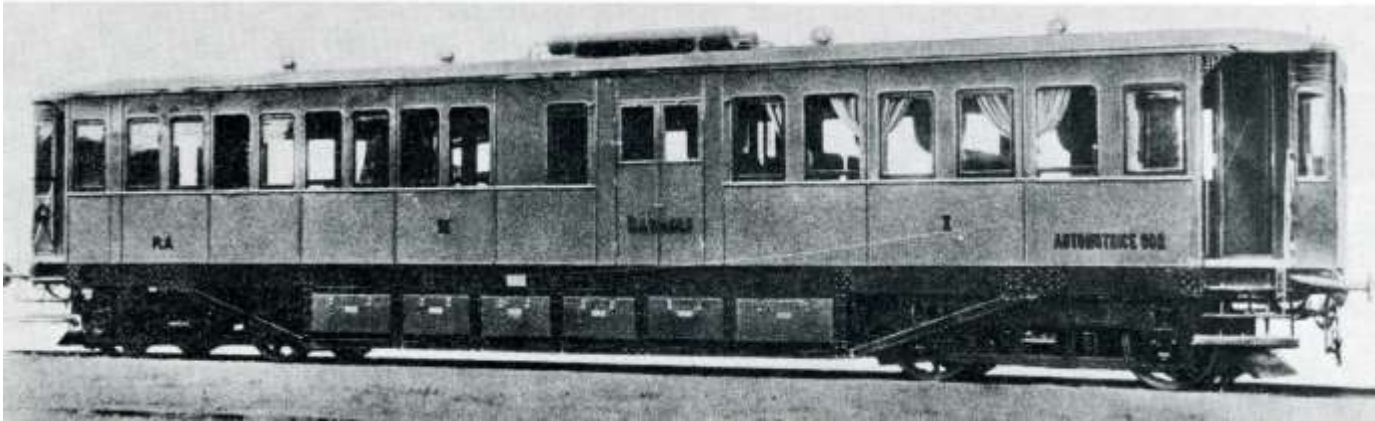


Locomotiva a vapore surriscaldato, 1908

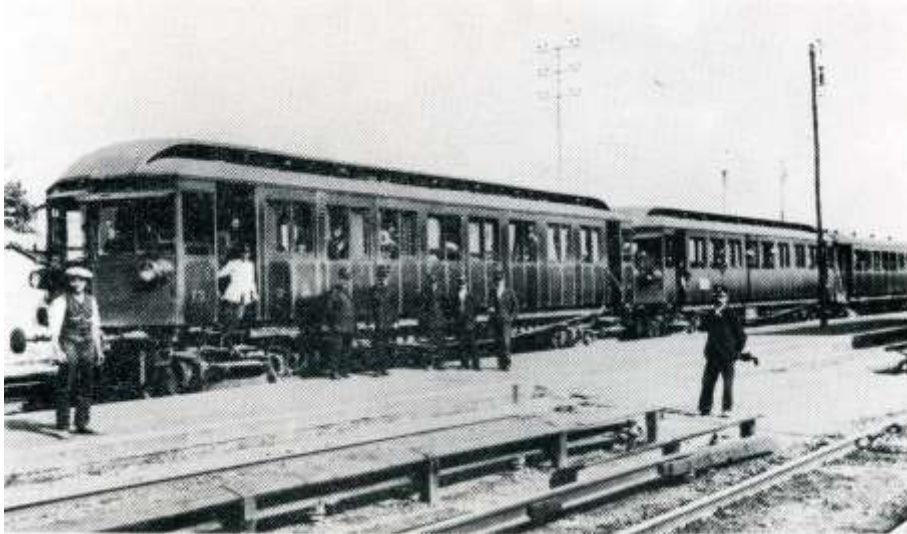
TIPICI PIÙ RAPPRESENTATIVI DI LOCOMOTIVE A VAPORE TRA QUELLI PROGETTATI DALL'UFFICIO STUDI F. S. (1905-1929)

Anno di costruzione	Gruppo	Rodiggio	Peso aderente t	Velocità max km/ora	Potenza Cv	Pressione caldaia kg/cmq	Semplice o doppia espansione	Vapore saturo o surrisc.	Superficie griglia mq	Diametro ruote m	Numero giri ruote/l'	Note
1906	730	1-4-0	56,-	60	900	14	Doppia	Saturo	2,80	1,360	239	
1906	630	1-3-0	44,-	100	700	14	"	"	2,42	1,850	290	
1907	680	1-3-1	45,-	110	1100	16	"	"	3,50	1,850	318	4 cil. - 2 distrib.
1907	470	0-5-0	74,8	50	1000	16	"	"	3,50	1,360	199	4 cil. - 2 distrib.
1907	640	1-3-0	44,-	100	800	12	Semplice	Surrisc.	2,42	1,850	290	
1910	625	1-3-0	43,2	80	800	12	"	"	2,42	1,510	287	
1911	690	2-3-1	51,3	130	1400	12	"	"	3,50	2,030	345	4 cil. - 2 distrib.
1911	740	1-4-0	56,-	60	980	12	"	"	2,80	1,360	239	
1912	685	1-3-1	45,-	110	1250	12	"	"	3,50	1,850	318	4 cil. - 2 distrib.
1913	745	1-4-0	57,1	75	1250	12	"	"	3,50	1,630	249	
1923	480	1-5-0	75,-	60	1500	12	"	"	4,30	1,360	239	
1923	746	1-4-1	65,-	100	1600	14	Doppia	"	4,30	1,850	290	4 cil. - 4 distrib.
1924	744	1-4-0	59,2	75	1250	12	Semplice	"	3,50	1,630	249	
1929	691	2-3-1	60,-	130	1750	16	"	"	4,30	2,030	345	4 cil. - 2 distrib.

Le locomotive ferroviarie elettriche (1)



Automotrice ad accumulatori RA 002 (1901)



**Automotrice F.S. gr. E.10,
con terza rotaia corrente continua 650 V.**

Le locomotive ferroviarie elettriche (2)

CARATTERISTICHE	Ad accumulatori			A 650 V corrente continua terza rotaia									
	RM 5101-5102	RA 001-004	E.421	E.10	E.15	E.20	E.100	E.600	E.220	E.320	E.321	E.420	E.620
Rodiggio	Bo Bo	Bo Bo	Bo Bo	Bo Bo	Bo Bo	Bo B	Bo Bo	Bo Bo	Bo	1 C 1	1 C 1	Bo Bo	Co Co
Tipo di veicolo	Automotrice	Automotr.	Locomot.	Autom.	Autom.	Autom.	Autom.	Autom.	Locom.	Locom.	Locom.	Locom.	Locom.
Anno di entrata in servizio	1899	1900	1921	1901	1903	1903	1933	1932	1912	1912	1921	1901	1925
Numero unità id. id.	2	4	1	20	5	16	8	16	1	5	17	1	5
Numero motori di trazione	2	2	4	4	4	2	4	4	2	2	2	4	6
Potenza oraria complessiva kW	22	60	260	440	440	220	840	840	220	1200	1160	440	900 CV?
Velocità massima normale km/ ora	60	75	50	95	60	85	110	110	35	95	95	60	85?
Peso in servizio tonn	58 a v.	38 a c.	64	41	52	45	64	64	27,2	71,8	66,9	34,1	54
Peso aderente tonn	29	15	64	41	52	22,5	64	64	27,2	46,8	45	34,1	54
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4)	(6)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)

(1) Trasformate in carrozze ordinarie dopo il 1904

(2) Trasformate in carrozze ordinarie dopo il 1903

(3) Non risulta presente nel Parco al 31.12.1922

(4) Trasformate in carrozze ordinarie nel 1942

(5) Trasformate in bagagliaio-posta poi demolite

(6) Trasformate per c.c. 3000 V nel 1950 e passate al gr. E.623

(7) Avuto dalla R.M. nel gennaio 1918 con riscatto del tronco Varese-Porto Ceresio. Venduto per demolizione nel 1943

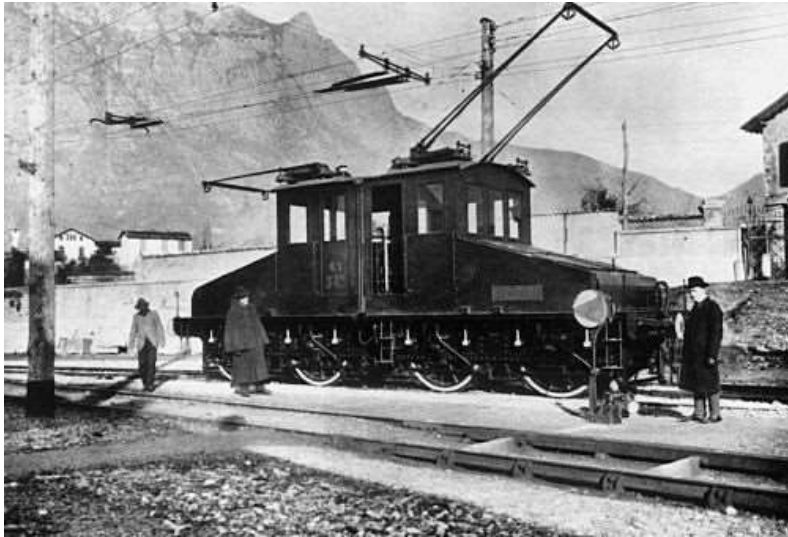
(8) Non risulta presente nel PARCO NEL 1922

(9) Presenti nel Parco nel 1956 undici unità. La 321.012 presente presso il Museo Scienza e Tecnica di Milano

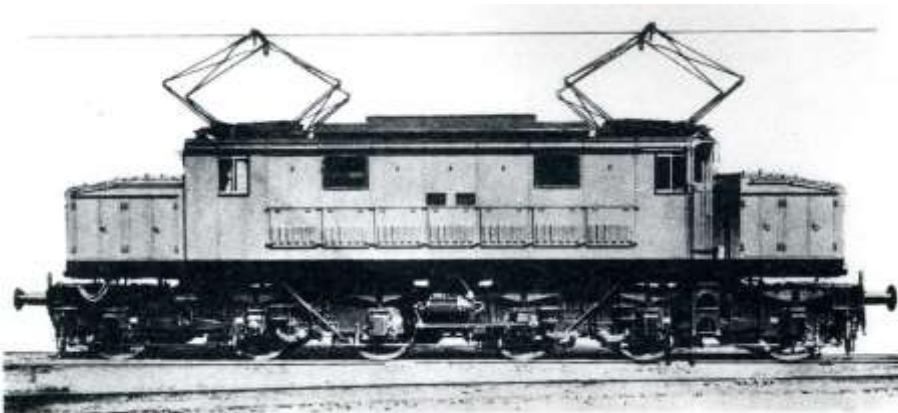
(10) Vendita alle Ferrovie Cumane nel 1937, munita di pantografo, in servizio sino al 1962

(11) Trasformate per 3000 V c.c. nel 1954 mediante metadinamo e passate al gr. E.621. Presenti nel Parco nel 1956

Le locomotive ferroviarie elettriche (3)



Locomotore E 430, Trifase (1901)



Locomotore gr. E 626, corrente continua (1927)

Le locomotive ferroviarie elettriche (4)

PROSPETTO RIASSUNTIVO Locomotori a corrente trifase 3600 V

Gruppo	Primo anno di servizio	Unità entrate in servizio	Rodiggio	Motori di trazione	Potenza oraria compless. kW	Peso in servizio t	Peso aderente t	Velocità massima km/ora
E.430	1902	2	Bo Bo	4	440	48.2	48.2	33-36.7
E.360	1904	3	1' C 1'	2 x 2	600	63.8	43	35.6-71.2
E.380	1906	2	1' C 1'	2	1250	64.6	44.2	35.6-71.2
E.390	1907	2	1' C 1'	2	800	61	41.4	23.4-46.8
E.550	1908	186	E	2	1500	60.1	60.1	25-50
E.330	1914	16	1' C 1'	2	2000	73	45-51	37.5-50-75-100
E.331	1916	18	2' C 2'	2	2000	92	48	37.5-50-75-100
E.332	1917	6	2' C 2'	2	2000	92.8	48	37.5-50-75-100
E.551	1921	183	E	2	2000	75	75	25-50
E.431	1922	37	1' D 1'	2	2000	91	65	37.5-50-75-100
E.552	1922	15	E	2	2000	75	75	10-25-33-50
E.333	1922	40	1' C 1'	2	2000	73	45-51	25-37.5-50-75
E.472	1925	17	1' D 1'	2	2000	94	66	37.5-50-75
E.470	1927	4	1' D 1'	2	2000	91	65	37.5-50-75-100
E.570	1927	4	E	2	1500	70	70	25-50
E.432	1928	40	1' D 1'	2	2600	94	67	37.5-50-75-100
E.554	1929	183	E	2	2000	77	77	25-50

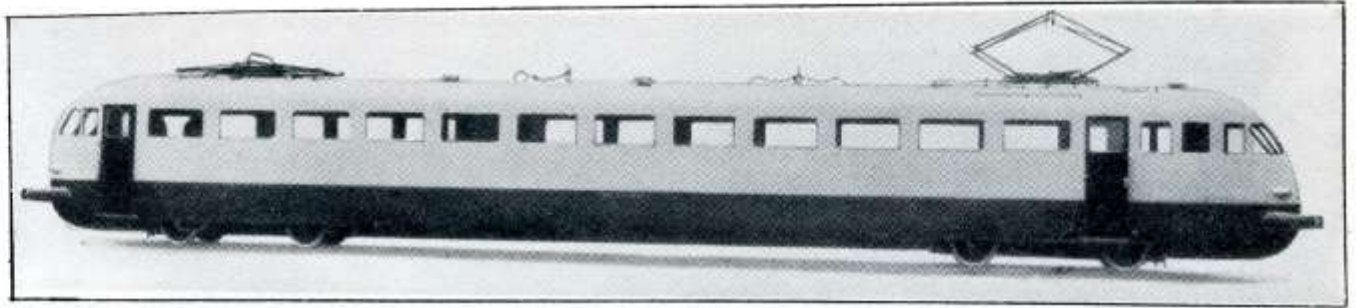
PROSPETTO RIASSUNTIVO Locomotori a corrente continua 3000 V

E.626	1927	448	Bo' Bo Bo'	6	2100	95	95	95
E.326	1930	12	(2' Co 2')	6	2100	114	60	90 (ex 150)
E.428	1934	241	(2' Bo) (Bo 2')	2 x 4	2800	131-135	76-78	100 (ex 150)
E.636	1940	469	Bo' Bo' Bo'	6	2040	101	101	120
E.424	1943	158	Bo' Bo'	4	1560	72.4	72.4	100
E.646	1958	210	Bo'Bo' Bo'	2 x 6	4320	108	108	145
E.645	1959	93	Bo'Bo' Bo'	2 x 6	4320	110	110	120-110
E.444	1970	117	Bo' Bo'	4	4440	80	80	200
E.656	1975		Bo' Bo' Bo'	2 x 6	4800	120	120	150
E.400	1929	3	Bo' Bo'	4	720	41.7	41.7	50
E.321	1960	50	Co	1	190	36	36	50
E.322	1962	10	Co	1	190	36	36	50
E.323	1965	34	Co	1	190	47	47	64
E.324	1969	15	Co	1	190	45	45	64

* Indicazione del rodiggio secondo le più recenti Norme.

Le locomotive ferroviarie elettriche (5)

Elettromotrice gr. E.792 /
882 allo stato d'origine.



Elettrotreno ALe 801



Le locomotive ferroviarie elettriche (6)

PROSPETTO RIASSUNTIVO ELETTROMOTRICI DELLA SERIE ALe

Caratteristiche		ALe 792	ALe 882	ALe 790		ALe 402
1	Primo anno di servizio	1937	1937	1937	1939	1937
2	Numerazione F.S.	001 a 012	001 a 010	001 a 022	023 a 066	001
3	Unità entrate in servizio	12	10	22	44	1
4	Consistenza al 1° gennaio 1971	10	6	2	30	(1)
5	Numero motori o gruppi motori	4	4	4	4	4
6	Potenza oraria complessiva . . . kW	370	370	370	370	370
7	Velocità massima Km/ora	130	130	130	130	130
8	Peso in servizio a vuoto t	39	37	37	39	39
9	Posti offerti n.	23 II + 56 III	88 III d.	23 II + 56 III	?	40 I
(1) Trasformata in ALe 782 nel 1966.						

ALe 880			ALe 400	ALe 883	ALe 480	ALe 630	ALe 184
1	1938	1939	1939	1939	1939	1940	1940
2	035 a 100	001 a 034	117-118	001 a 010	001 a 040	001 a 004	001
3	66	34	(2)	10	40	4	1
4	50	25	2	(3)	29	(4)	(5)
5	4	4	4	4	4	4	8
6	370	370	370	370	760	370	740
7	130	130	115	130	110	130	115
8	39	37	39	39	56	37	78
9	88 III	88 III	?	17 I 23 II	2 x 32 + 24 rim. tutti III	17 I 31 II	?
(2) ex ALe 184 sdoppiata nel 1959; (3) trasformate nel 1965 in ALe 781; (4) ex ALe 400, ritrasformate ALe 400; (5) ex ALe 709.009 poi ALe 790.069; (6) ex E T S 11, sdoppiato ALe 880.117/118 nel 1959.							

ALe 840		ALe 660	ALe 540		ALe 601	ALe 803	ALe 801
1	1950	1958	1955	1957 1958	1959	1961 1971	1961
2	001 a 068	069 a 073	001 a 015	001 a 022	023 a 030	001 a 066	001 a ?
3	68	5	15	7 15	8	44 22	35
4	(7)	(7)	15	7 15	8	44 (8) 22	35
5	4	4	4	4 4	4	4	4
6	760	760	760	760	760	1000 1080	1080
7	150	150	150	150	150	180 200	130
8	58	58	62	62	62	60 ?	56
9	84 II	?	18 I + 48 II	54 I	54 I	60? 60?	80 II
(7) Complessivamente 69; (8) a fine 1971; (9) a metà 1977.							

Le locomotive ferroviarie elettriche (7)



L'ETR. 200 allo stato d'origine. (F.S.).

Elettrotreno ETR 400 pendolino



Le locomotive ferroviarie elettriche (8)

PROSPETTO RIASSUNTIVO ELETTROTRENI DELLA SERIE ETR

Caratteristiche	ETR. 200	ETR. 300	ETR. 220	ETR. 250	ETR. 400
Primo anno di servizio	1936	1952	1960	1960	1976
Numerazione F.S.	201 a 218	301 a 303	221 a 238	251 a 254	401
Unità costruite	18	3	16	4	1
Consistenza al 1° gennaio 1971	—	3	16	4	—
Numero motori o gruppi motori	6	12	6	6	8
Potenza oraria complessiva k/W	1130	3000	1130	1500	2224
Velocità massima Km/ora	160	200	160	200	250
Peso in servizio a vuoto t	110	324	164	181	178
Posti offerti n.	100	160*	154	146**	171

* più 11 in ciascuno dei due salotti belvedere - ** più 12 nel salotto belvedere e 6 nel bar.

Le locomotive ferroviarie elettriche (8)

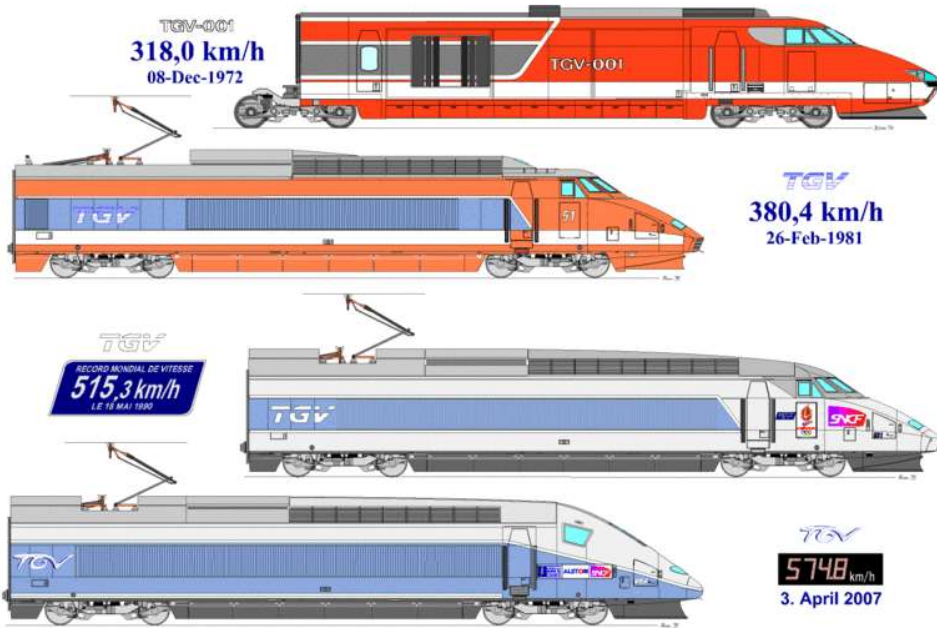


ETR 500 (1990)

ETR 600 (2008)



Le locomotive ferroviarie elettriche (8)



TGV francese

Maglev MLX01 Giapponese 581 km/h (2003)



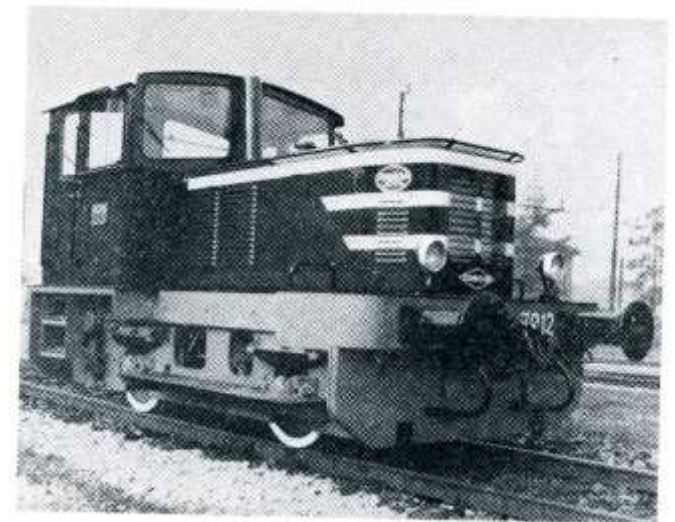
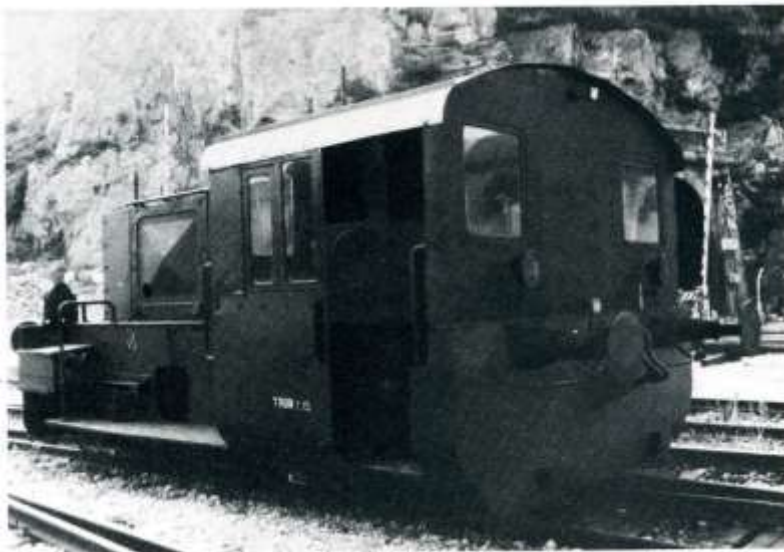
Le locomotive ferroviarie diesel (1)



Le locomotive ferroviarie diesel (2)

AUTOMOTORI DIESEL

Gruppo	Numerazione	Unità costruite	Rediggitore	Costruttore	Anno di costruzione	Potenza CV	Velocità max Km/ora	Trasmissione	Presenti 1.1.1970
213	901 a 917	17	B	diversi	1933 a 36	60-75	30	Elett.-Mecc.	21 ?
213	919-920	2	B	Ranzi	1957-58	100-130		Idraulica	
214	7001 a 7020	20	B	Deutz Greco	1964-65	140	45	id.	20
215	001 a 015	15	B	OM Badoni	1954-56	150		Ielrostatica	15
216	001 a 055	55	B	OM Badoni	1956-57	160		id.	55
218	001 a 007	7	B	OM Badoni	1954	180		id.	4
214	1001 115e	156	B	OM Badoni	?	?	?	?	?



Le locomotive ferroviarie diesel (3)

LOCOMOTIVE DIESEL DA MANOVRA

GRUPPO	COSTRUTTORE	ANNI DI COSTRUZ.	RODIZIO	PESO AD- I	VELOCITA' MAX Km.ora	POTENZA CV	MOTORE	TRASMISSIONE	UNITA' PRESENTI 1-1-1970
225	Deutz Greco	1954-63	B	28	30-55	250	Deutz 4t.	Idr. Voith con bielle	62
225	Jenbach Stanga	1957-61	B	28	30-60	250	Jenbach 2t.	id. con cardani	
236	idem	1960	C	39	40-65	400	idem	id. id.	
235	Badoni	1957-58	C	38	32-65	380	Carraro 4t	Idr. contralbero bielle	47
235	idem	1960-61	C	38	32-65	425	OM 4 t	id.	
235	OM	1960-61	C	39	42-66	425	OM 4 t	id.	
234	OM	1957	C	36	42-62	425	OM 4 t	id.	37
234	Breda	1958-59	C	36	42-62	400	Breda 4 t.	id.	
236	Deutz	1940	C	?	?	360	?	id. (ex Wehrmacht)	
D.141	FIAT TIBB	1962-64	Bo' Bo'	64	80	700	FIAT Mercedes	Elettrica	29
D.143	OM TIBB	1966	Bo' Bo'	64	70	570	SEV 4 t	id.	16
Ne120	Whitcomb	1939-40	Bo' Bo'	?	70	570	Whitcomb	id.	33
Ne700	Eng. Electric	1939-40	C	?	30	360	?	?	4
245	OM	1964-68	C	46	32-64	500	OM	Idraulica ingranaggi	225
245	FIAT	1965-66	C	46	32-64	500	FIAT	id.	
245	Breda	1966-67	C	46	32-64	500	Breda	id.	
245	Jenbach	1963-69	C	46	32-64	500	Jenbach	id.	



Le locomotive ferroviarie diesel (4)

LOCOMOTIVE DIESEL F.S. DA TRENO

Situazione al 31-12-1975

- Locomotore Diesel-
elettrico gr. D.445
(1970)
(fot. F.S.)



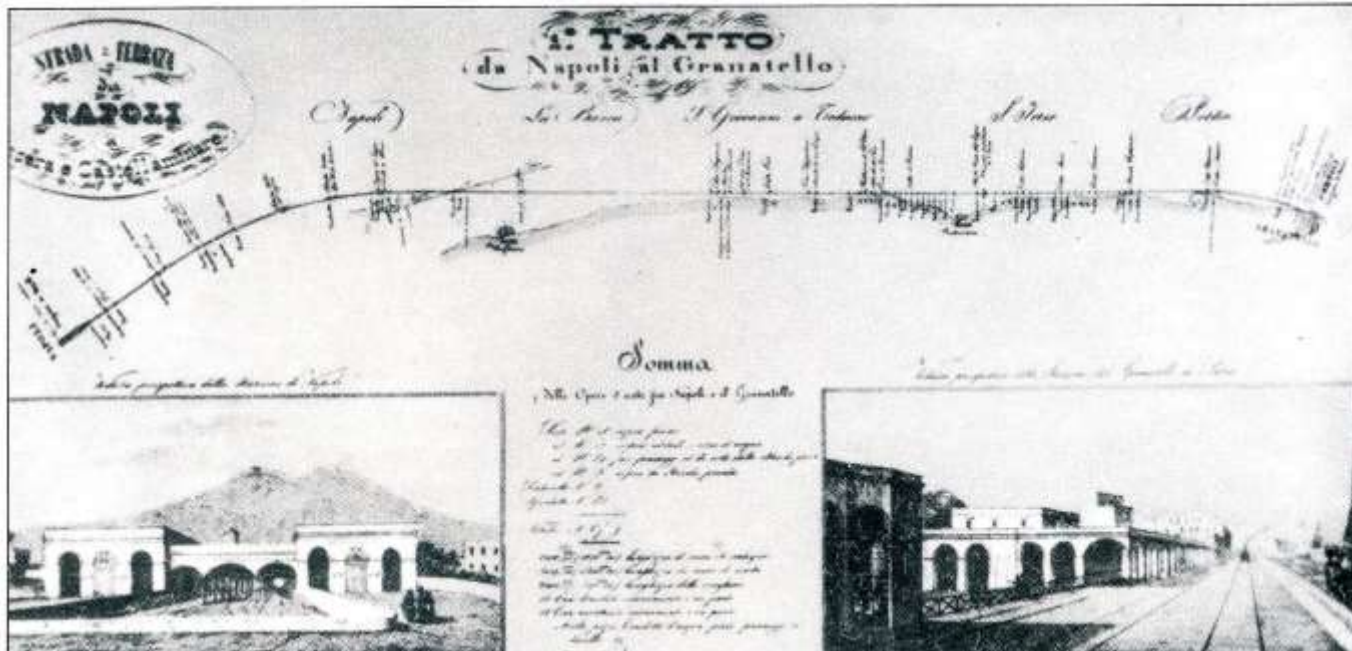
GRUPPO e NUMERAZIONE	DITTA COSTRUT- TRICE	ANNO DI COSTR.	UNITA' COSTR. N.	POTENZA CV	VELOCITA' MAXIMA Km/ora	PESO t	NOTE
D.341.1001-1004	FIAT		4				DE
1005-1007	TIRB		3				
1008-1009	REGGIANE	1957	2	1320	100	65	
1010-1012	OM		3				
1013-1016	SOFER		4				
1017-1026	FIAT		20				
1027-1056	OM	1959	20	1400	110	67-70	
1057-1088	AEREER		12				
2001-2002	REGGIANE	1957	2	1320	100	64,9	
2003-2011	* *	1950	15	1400	110	67	
2016-2022	* *	1950	15	1400	100	67	
2032-2035	BERTER	1958	3	1400	110	67	
4301	ANSALDO	1957	1	1600	110	62,4	
5001	REGGIANE	1957	1	1320	100	65	
D.342.2001	BREDA		1	850	120	64	DI
3001	OM	1957	1	900	110	64	
3002	OM		1	800	110	64	
4001-4002	ANSALDO		2	900	120	62	
4003-4004	* *	1950	12	800	120	62	
4015-4017	* *	1950	3	1000	120	65	
D.343.1801-1809	FIAT	1904	40	1350	130	60	DE
2001-2025	BREDA	1904	25	1300	130	60	
D.443.1001-1030	FIAT OM	1904	30	1800	130	73,2	DE
2001-2020	BREDA	1904	20	1800	130	73,2	
D.345.1001-1070	SOFER	1970	70				DE
1071-1110	SABIELLIANO	1973	40	1750	130	60	
1111-1145	* *	1975	35				
D.445.1001-1025	* *	1970	35	2120	130	71	DE
D.443.4001	ANSALDO	1960	1	1900	120	68	DI
D.461.1001	FIAT	1963	1	1700	130	68,3	DE

* senza cabina riscaldamento
 ▲ con " " "
 ** in attesa demolizione
 *** demolita

Le ferrovie in Italia: origini (1)



Le ferrovie in Italia: origini (2)



Strada di Ferro di Napoli.

Composizione del 1.° Convoglio.

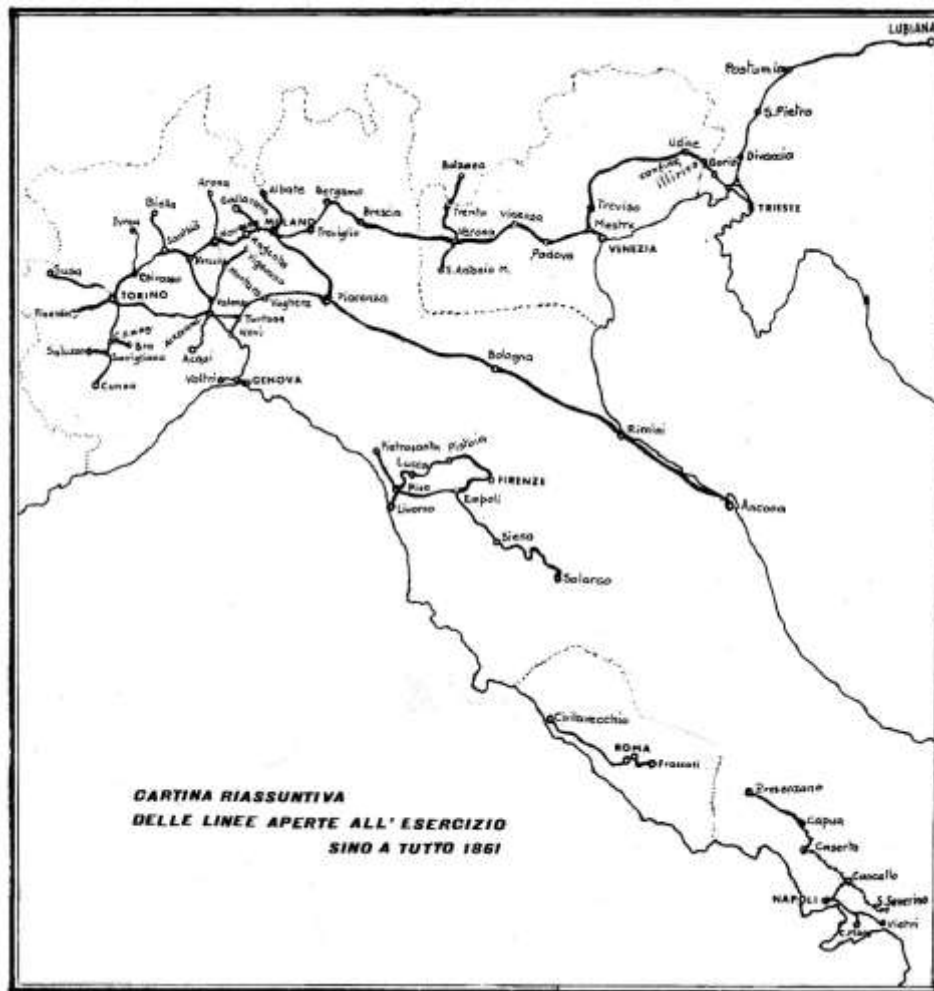
Soldati d'infanteria 4.°	Marinai 5.°	Ufficiali 2.°	Invitati 1.°	Invitati 1.°	Ufficiali 2.°	Marinai 5.°	Soldati d'artiglieria 4.°	Musica 4.°	Tender.	Locomotiva.
50	50	30	25	25	30	30	30	50		

Composizione del Convoglio Reale.

Marinai 4.°	Invitati 5.°	Invitati 2.°	La Corte 1.°	Il Re 1.°	La Corte 2.°	Invitati 5.°	Invitati 4.°	Musica 4.°	Tender.	Locomotiva.
50	50	50	25	25	25	50	30	50		

Le ferrovie in Italia: origini (3)

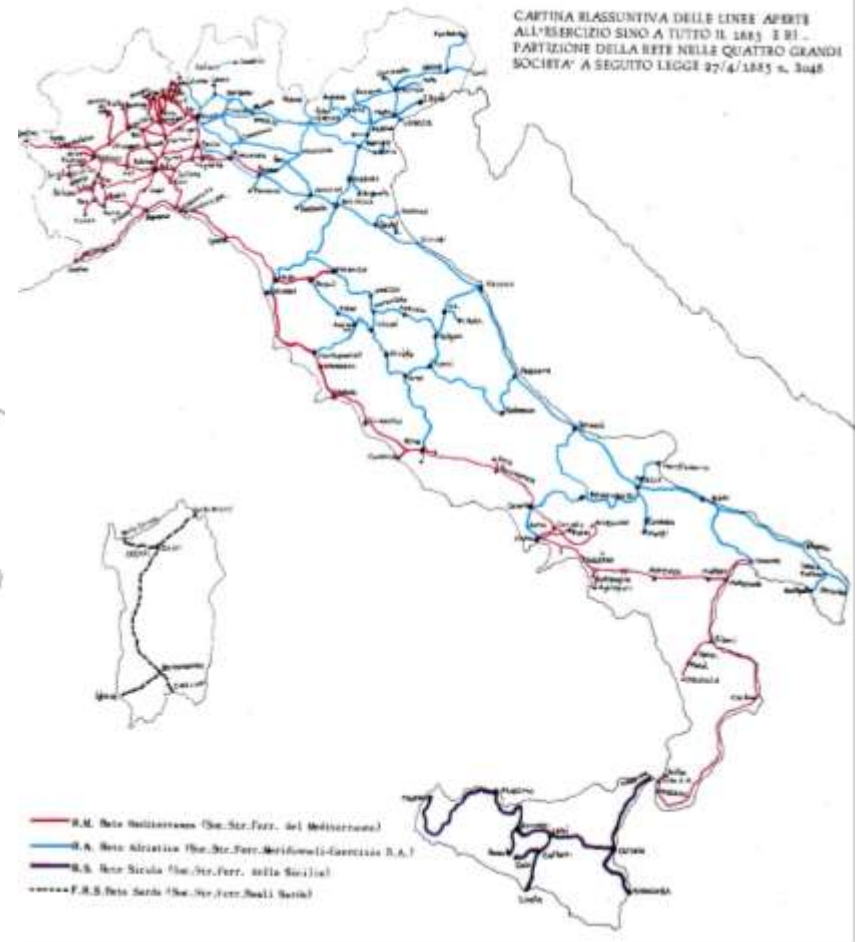
SVILUPPO DELLE FERROVIE IN ITALIA
DAL 1839 AL 1861



Anni	Stati Sardi Km.	Lombar-do-Veneto Km.	Stato Pontificio Km.	Toscana Km.	Due Sicilie Km.	Totale Km.
1839	—	—	—	—	8	8
1840	—	13	—	—	—	13
1841	—	—	—	—	—	—
1842	—	33	—	—	—	33
1843	—	—	—	—	33	33
1844	—	—	—	19	31	50
1845	—	—	—	20	—	20
1846	—	66	—	19	12	97
1847	—	—	—	26	—	26
1848	8	—	—	72	—	80
1849	49	80	—	64	—	193
1850	56	—	—	—	—	56
1851	12	54	—	16	—	82
1852	—	3	—	—	—	3
1853	107	—	—	7	—	114
1854	194	85	—	—	—	279
1855	52	72	—	—	—	124
1856	146	—	—	2	15	163
1857	58	50	20	10	—	138
1858	168	27	—	—	—	195
1859	—	39	81	2	—	122
1860	6	78	—	8	29	121
1861	204	69	—	40	59	372
	1060	669	101	305	187	2322 (*)

(*) A dedurre 17 Km. per 34 Km di tratti in comune.

Le ferrovie in Italia: origini (4)

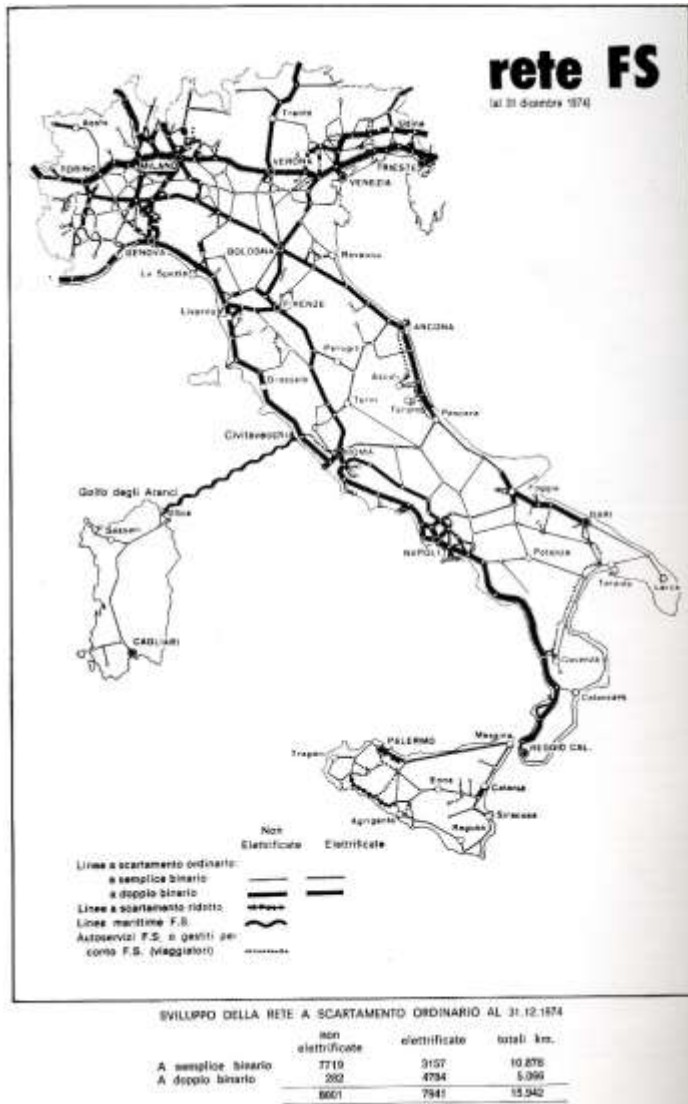


Le ferrovie in Italia: origini (5)



CARTA DELLA RETE F.S. DOPO L'INTEGRAZIONE AL 1° LUGLIO 1906
Linee a doppio binario km 1.917 - Linee a semplice binario km 11.157 - Sviluppo totale delle linee
km 13.074 - Linee elettrificate km 178, di cui 40 a doppio binario.

Le ferrovie in Italia: origini (6)



		1905/1906	31/12/2005	
Fattori di produzione	Rete	km	11.230	16.225
	Doppio binario	km	1.886	7.069
	Linee Elettrificate	km	178	11.659
	Gestione in telecomando (DCO)	km	—	9.590
	Dirigenza Centrale	km	—	4.485
	Dirigenza Locale e al	km	11.230	2.150
	Blocco automatico	km	—	14.567
	Blocco elettromeccanico	km	—	968
	Blocco telefonico/altri	km	11.230	690
	Ripetizione segnali in macchina	km	—	5.526
	Controllo marcia treno (SCMT)	km	—	5.844
	Parco Locomotive	n.	2.664 (a vapore)	2.667 (elettriche e diesel)
	Parco Carrozze	n.	6.985	8.559
	Parco Carri	n.	52.778	46.844
	Materiale Treni:	n.	—	—
	- ETR		—	98
	- TAF		—	99
- Minuetto		—	106	
- Mezzi leggeri		—	1780	
Passaggi a Livello		12.695	6.819	
Personale		118.341	99.057	
Offerta	Treni - km viaggiatori	10 ⁹	43.072	262.658
	Treni - km merci	10 ⁹	28.406	68.547
	Treni - km totali	10 ⁹	71.478	331.205
Domanda soddisfatta	Viaggiatori - km	10 ⁹	4.178	46.143
	Tonn. - km	10 ⁹	4.893	22.408
	U T (Unità di Traffico)	10 ⁹	9.071	68.551
	Viaggiatori trasportati	10 ⁹	85.100	516.768
	Tonn. Trasportate	10 ⁹	23.404	75.856
Indicatori Produttività	Treni - km / addetto		604	3.344
	U T / addetto		76.651	692.036
	Treni - Km/Km di rete		6.365	20.413
	U T / km di rete	10 ⁹	808	4.225
Valore Produzione			338,9 x 10 ⁹ €	10079,5 x 10 ⁹ €

La gestione della rete ferroviaria (1)

La gestione negli anni è stata:

Dal 1839 al 1865 fu privata a ditte italiane ed estere;

Dal 1866 al 1876 fu affidata a 4 compagnie private italiane

Dal 1876 al 1885 fu parzialmente dello Stato

Dal 1886 al 1895 divenne privata affidata a 3 compagnie

Dal 1905 fu completamente affidata allo Stato

Dal 1945 Azienda Autonoma Ferrovie dello Stato

Dal 1986 Ente ferrovie dello stato (Ente pubblico economico)

Dal 1992 Ferrovie dello Stato SPA

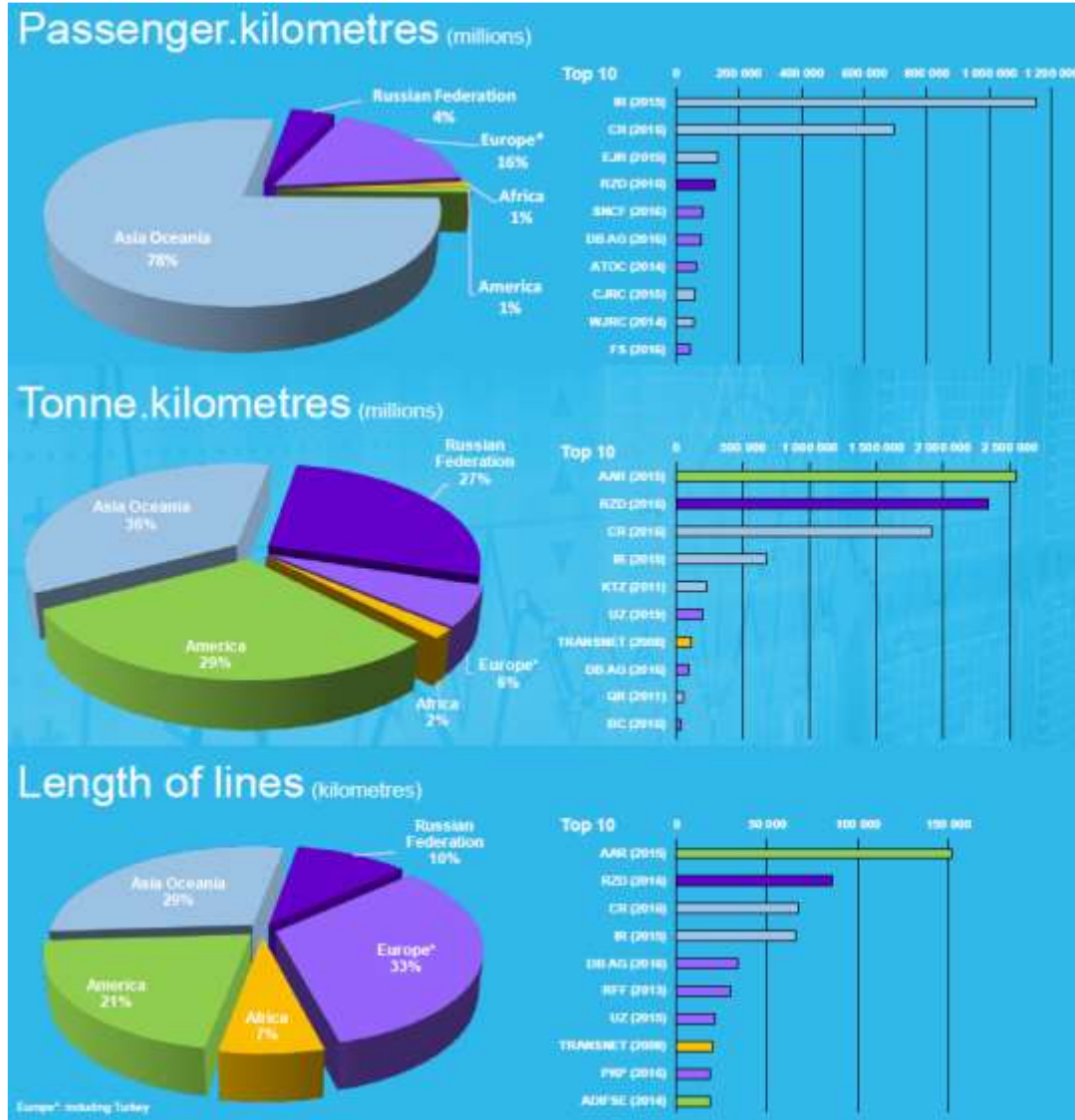
Dal 21.6.2011 Ferrovie dello Stato Italiane spa (Holding)

La gestione della rete ferroviaria (2)

Ferrovie dello Stato Italiane spa (Holding)
Trenitalia (società gestione commerciale)
RFI rete ferroviaria italiana (società di gestione infrastruttura)



Confronti internazionali (1)



Confronti internazionali (2)

PAESI	SUPERFICIE (1000 kmq)	ABITANTI (1996-milioni)	RETE FERROVIARIA (1996)	DENSITÀ FERROVIARIA (su superficie)	Km di ferrovia per milione di abitanti
ITALIA	301,2	57,30	16.014	53,17	279,48
GRAN BRETAGNA	244,0	58,39	a) 16.564	67,89	283,68
GERMANIA	357,0	81,34	40.826	114,36	501,92
SPAGNA	504,8	39,21	12.284	24,33	313,29
FRANCIA	547,0	58,02	31.851	58,23	548,97
SVIZZERA	41,3	7,11	2.989	72,37	420,39
BELGIO	30,5	10,17	3.380	110,82	332,35

a) dato 1994

Caratteristiche trasporto ferroviario (1)

- Resistenza specifica al moto per 1 tonn. di peso trasportata è pari a:
- 2,5 Kg/t per le ferrovie
- 10 –30 Kg/t per i veicoli stradali

$$K = \frac{R_{strada}}{R_{ferrovia}} \cong 10$$

Efficienza energetica $f = (Qp * D)/E$

<i>Mezzo di trasporto</i>	<i>Utilizzo dell'energia (f)</i>
Automobile, aeroplano	1
Autobus	3,5
Treno passeggeri	5
Autotreno	7
Treno merci	12
Nave portacontainer	20

Caratteristiche trasporto ferroviario (2)

Anni		Ferrovie dello Stato	Ferrovie in concessione	Autobus	Autovetture private	Navigazione di cabotaggio	Navigazione aerea	Totale
1970	v. a.	32 457	2 406	22 748	130 174	872	1 439	190 096
	% sul totale	17,07	1,26	11,97	68,48	0,46	0,76	100
1975	v. a.	36 332	2 834	32 558	175 385	1 039	2 189	250 339
	% sul totale	14,51	1,13	13,01	70,06	0,42	0,87	100
1980	v. a.	39 587	3 026	46 366	202 530	1 519	2 867	295 895
	% sul totale	13,38	1,02	15,67	68,45	0,51	0,97	100

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti - Ministero dei Trasporti - Direzione Generale P.O.C.

$$\text{densità di traffico} = \frac{\text{viagg.} * \text{Km}}{\text{Km}_{\text{linea}}}$$

Densità di traffico = numero medio annuo di viaggiatori
* Km / Km di linea statistica

Incidentalità ferroviaria Italia (1)

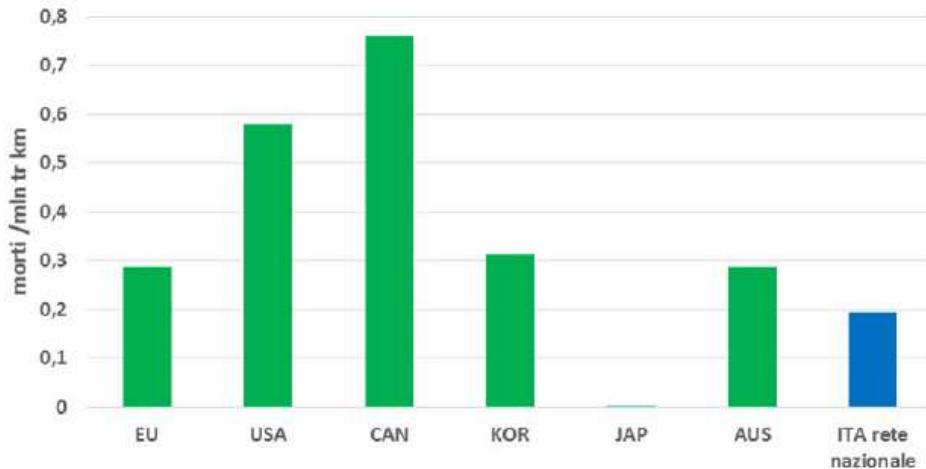
MORTI NEL PERIODO 2010-2015 PER MODALITA' DI TRASPORTO *

ANNO	STRADALE	MARITTIMO	AEREO	FERROVIARIO	TOTALE
2010	4114	12	13	84	4223
2011	3860	227	21	69	4177
2012	3753	39	7	79	3878
2013	3385	359	8	73	3825
2014	3381	38	20	56	3495
2015	3419	9	13	60	3501
totale	21912	684	82	421	23099

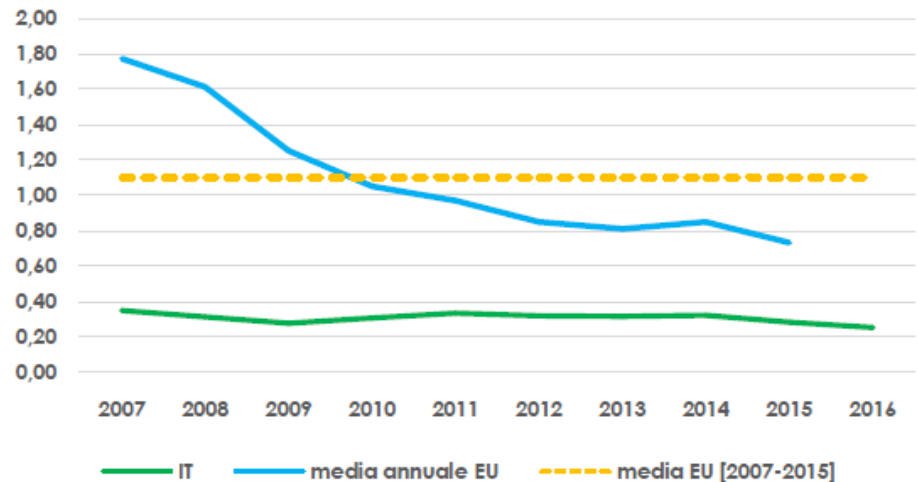
* Fonte: Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti anni 2014 e 2015, integrati con quanto riportato nella banca dati ISTAT.

Incidentalità ferroviaria Italia (2)

mortalità in ferrovia 2010-2014



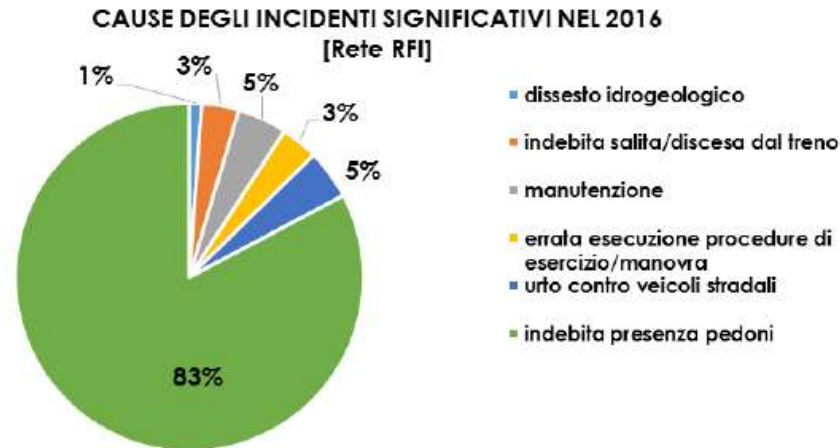
INCIDENTI SIGNIFICATIVI/Min tr-km



Incidentalità ferroviaria Italia (3)

INCIDENTI	MORTI E FERITI GRAVI IN INCIDENTI SIGNIFICATIVI [rete RFI]											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Collisioni ai treni	58	2	2	1	1	1	0	0	2	1	0	0
Deragliamenti di treni	22	0	0	0	43	0	0	1	2	0	0	0
Incidenti ai PL (compresi quelli che coinvolgono i pedoni)	23	31	18	8	5	15	18	22	17	16	16	9
Incidenti alle persone, provocati dal materiale rotabile in movimento (eccetto i suicidi)	92	80	83	83	73	82	80	83	73	76	67	74
Incendi di materiale rotabile	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altri	6	4	1	0	4	2	0	1	0	1	0	0
TOTALE	202	117	104	92	126	100	98	107	94	94	83	83

* Dato non consolidato



Normativa ferroviaria (1)

Ordine prioritario di applicazione

- **Disposizioni legislative vigenti**
- **Normative aventi effetto di Legge**
- **Eurocodici adottati in ambito nazionale**
- **Manuali di progettazione approvati da RFI**
- **Disposizioni emanate da RFI (o da FS precedentemente)**
- **Disposizioni tecniche contenute nelle voci di tariffa**
- **Capitolato tecnico di appalto per opere realizzate dalle FS**
- **Disposizioni emanate da altri organismi**
- **Raccomandazioni europee anche se non ancora recepite**
- **Tutte le norme di buona tecnica**

Normativa ferroviaria (2)

Decreto interministeriale dd 08/06/1908 disposizioni in materia di Unità tecnica delle Strade Ferrate

D.R. n. 1447 09/05/1912 – “Testo Unico delle disposizioni di legge per le ferrovie concesse all’industria privata, le tramvie a trazione meccanica e gli automobili”

Decreto Interministeriale dd 24/08/1939 disposizioni in materia di Unità tecnica delle Ferrovie

DPR 753 dd 18/07/1980 Nuove Norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell’esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto.

Direttive 49-50-51/2004/CE - Pacchetto sicurezza

Regolamento 881/2004 Agenzia Europea della Sicurezza

RFI 25/07/2006 - Documentazione tecnica: RFI TCAR IT AR 01 001 A - Norme tecniche per la progettazione dei tracciati ferroviari

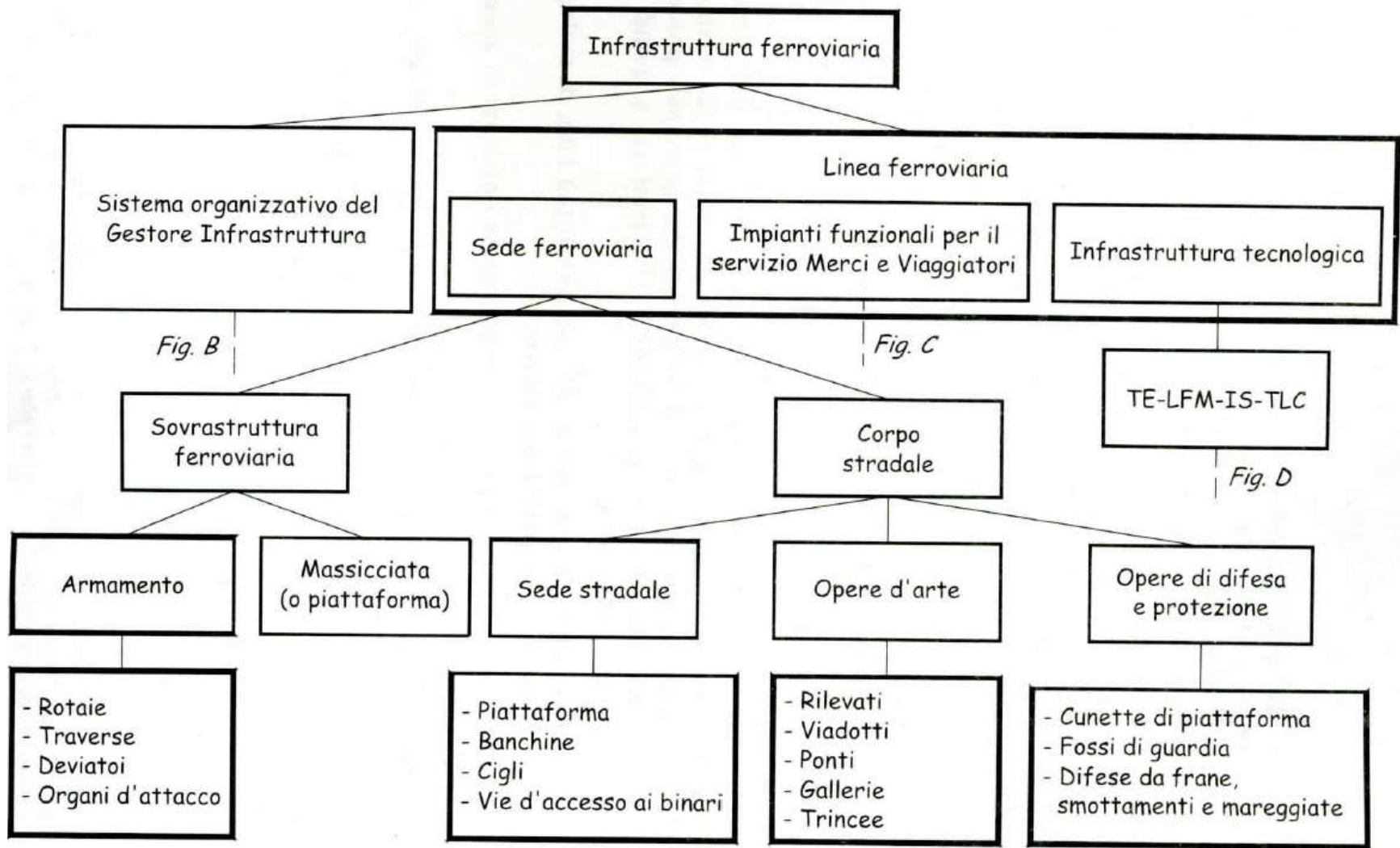
Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI) del sistema ferroviario comunitario, Regolamento (UE) N. 1299/2014. Gazzetta Ufficiale Europea L 356

Norme UNI EN 13803 (2017)

Comitato europeo di normalizzazione (CEN) EN 13803-1 STANDARD EUROPEI Opere ferroviarie - Parametri di progettazione dei tracciati ferroviari

UIC (Unione internazionale delle ferrovie) Codice 703 - caratteristiche geometriche delle linee ad alta velocità;

Infrastruttura ferroviaria



Rete ferroviaria Italiana



Dati al 31 dicembre 2017

LINEE FERROVIARIE IN ESERCIZIO 16.787 km (1)

CLASSIFICAZIONE	
Linee fondamentali	6.497 km
Linee complementari	9.337 km
Linee di nodo	953 km
TIPOLOGIA	
Linee a doppio binario	7.696 km
Linee a semplice binario	9.091 km
ALIMENTAZIONE	
Linee elettrificate	12.022 km
- a doppio binario	7.619 km
- a semplice binario	4.403 km
Linee non elettrificate (diesel)	4.765 km

LUNGHEZZA COMPLESSIVA DEI BINARI 24.483 km

linea convenzionale	23.016 km
linea AV (2)	1.467 km

IMPIANTI FERROVIARI

Stazioni con servizio viaggiatori attivo/possibile	2.201
Impianti di traghettamento	3
Impianti merci (3)	200

TECNOLOGIE INNOVATIVE DI TELECOMANDO E PROTEZIONE MARCIA TRENO (4)

Sistemi di telecomando della circolazione	12.786 km
SCMT, per il controllo della marcia del treno	12.210 km (di cui 175 con doppio attrezzaggio SCMT-SSC)
SSC, per il supporto alla guida	3.892 km (di cui 175 con doppio attrezzaggio SCMT-SSC)
ERTMS, per l'interoperabilità su rete AV/IAC	709 km
GSM-R, per la telecomunicazione mobile	11.445 km

▲ Torna su

Note

- (1) di cui 70 Km di rete estera
 (2) riferiti alle tratte attrezzate con ERTMS (escluso la Treviglio-Brescia) e ai loro collegamenti con le località di servizio
 (3) impianti con centri intermodali, scali, raccordi, ecc
 (4) tutte le linee della rete sono attrezzate con uno o più sistemi di protezione marcia treno

(ultimo aggiornamento 17 gennaio 2018)

Classificazione ferrovie (1)

caratteristiche tecniche

Tipo traffico	Misto (passeggeri e merci)
Velocità max	300 km/h
Raggio di curvatura minima	5.450 m
Pendenza massima	18‰
Sopraelevazione massima	10,5 cm
Raggio minimo raccordi altimetrici	20 km
Carico massimo per asse	25 t
Larghezza della sede	13,6 m
Interasse binari	4,5-5 m
Sezione gallerie naturali	82 m ²
Alimentazione nuove linee	25 kV c.a. 50 Hz
Alimentazione tratti penetrazione urbana	3 kV c.c.
Distanza media tra sottostazioni elettriche	50 km
Distanza media tra due posti di comunicazione	24 km
Distanza media tra due posti di movimento	48 km



Classificazione ferrovie (2)



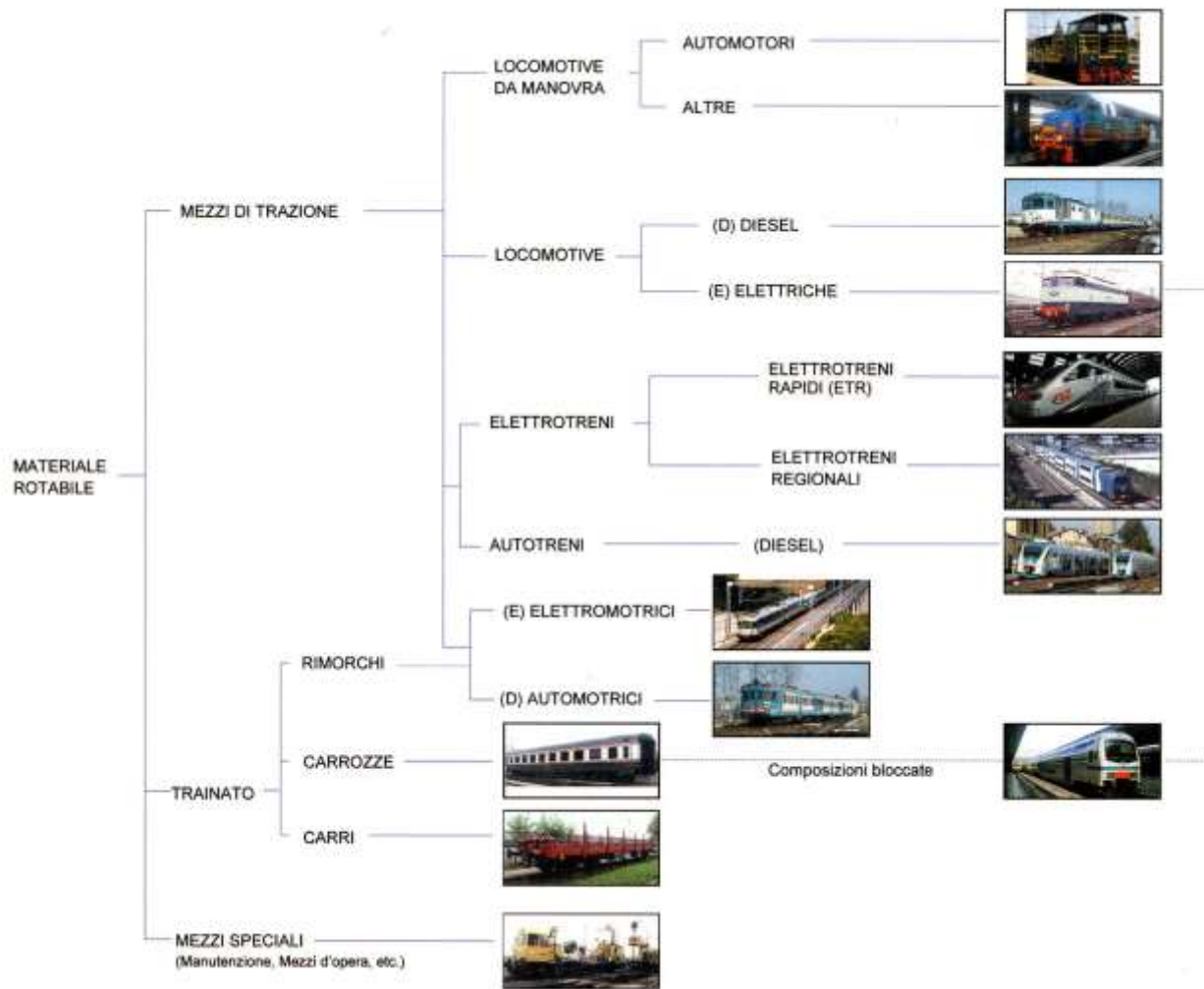
Classificazione ferrovie (3)



Classificazione ferrovie (4)



Classificazione Veicoli ferroviari



Parti Veicoli ferroviari

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI VEICOLI FERROVIARI

PRINCIPALI CARATTERISTICHE MECCANICHE

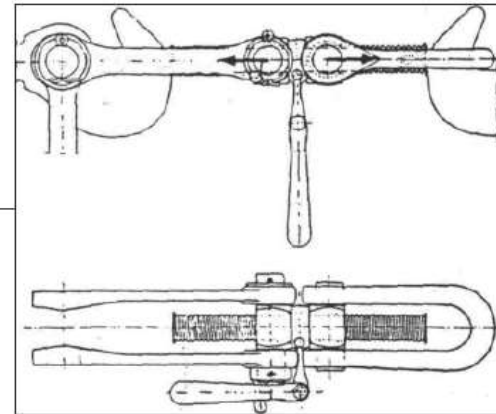
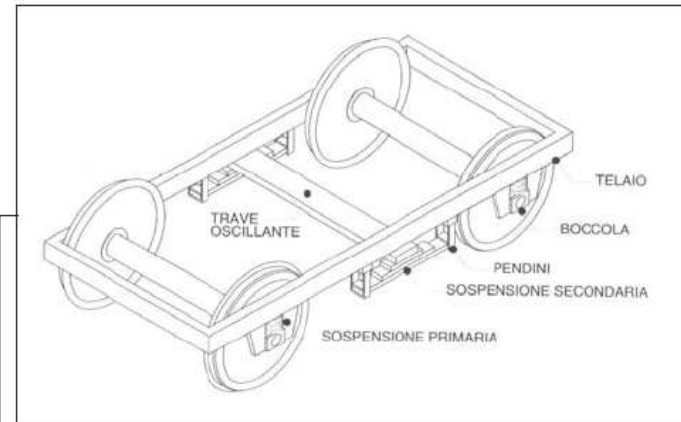
RODIGGIO:
complesso costituito dagli assi e dalle ruote del veicolo

SOSPENSIONI:
elementi con funzione di molleggio e di smorzamento delle oscillazioni dovute alle sollecitazioni dinamiche che si manifestano durante il moto

TELAIO:
parte metallica collegata attraverso le sospensioni al rodiggio

CASSA:
ambiente costruito sul telaio destinato ai viaggiatori e alle merci




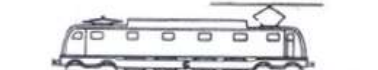

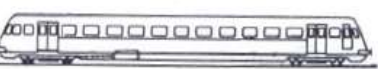
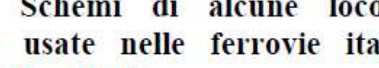
ORGANI DI TRAZIONE E REPULSIONE:
rispettivamente gancio e respingenti



Veicoli ferroviari

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI VEICOLI FERROVIARI

Caratteristiche del rodiggio

GRUPPO	SCHEMA	RODIGGIO
	● Sala motrice ○ Sala portante 	1-C-1
685		0-C-0
835 e 851		2-Co-2
E 326		2-Bo + Bo-2
E 428		Bo + Bo + Bo
E 636 ed E 646		B-2
ALn 990		

Tab. 2 – Schemi di alcune locomotive e automotrici usate nelle ferrovie italiane con riferimento al rodiggio.

LEGENDA

Lettera maiuscola dell'alfabeto = *numero di assi motori consecutivi* ($A=1, B=2$ ecc.);

Numero = *numero di assi portati consecutivi*

Indice zero = *assi motori indipendenti*

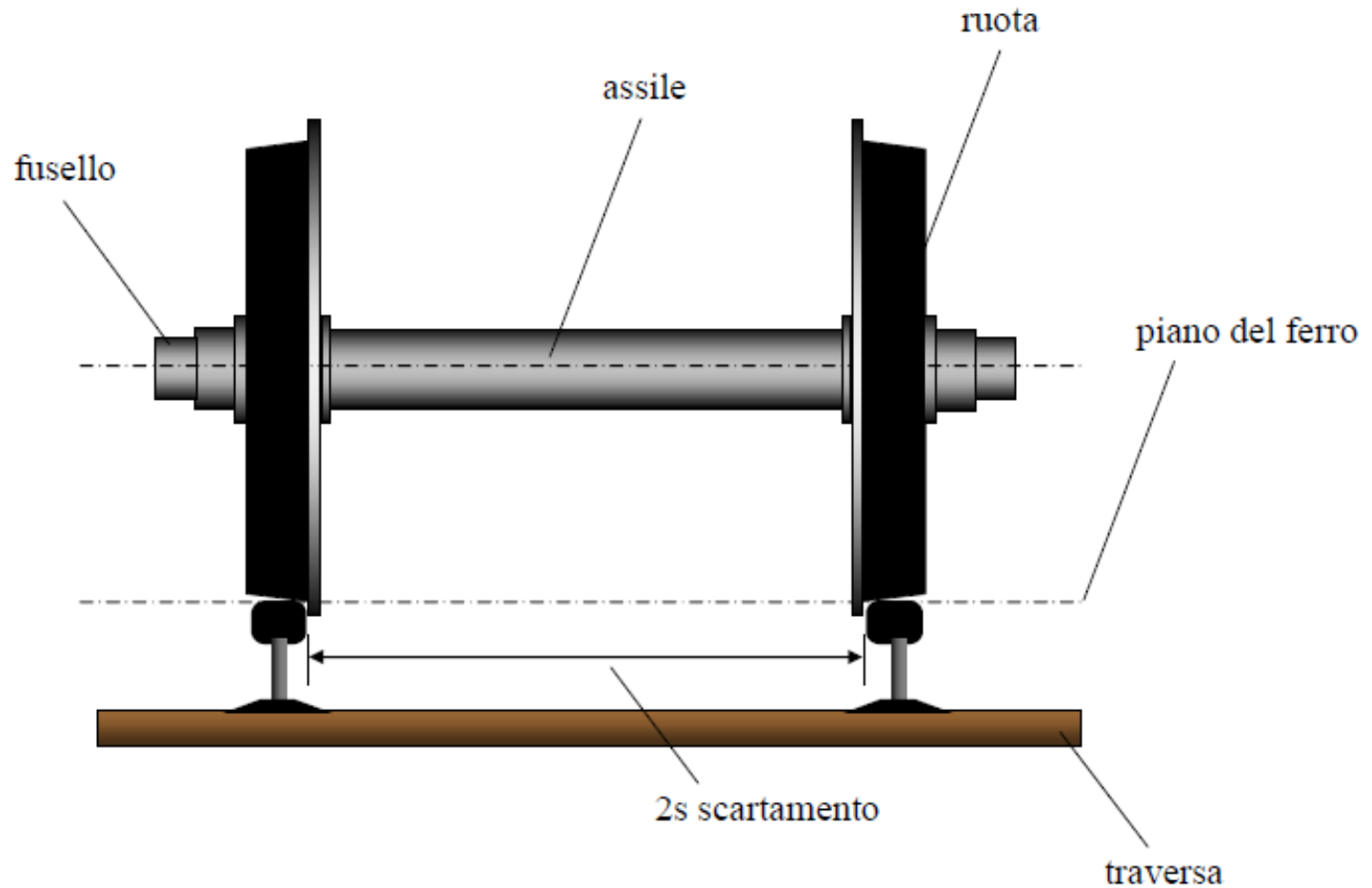
Trattino - interposto = *appartenenza a carrelli o telai parziali*

Segno + interposto = *appartenenza a carrelli o telai diversi*

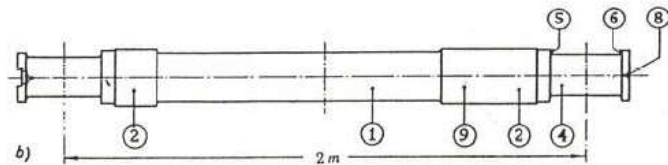
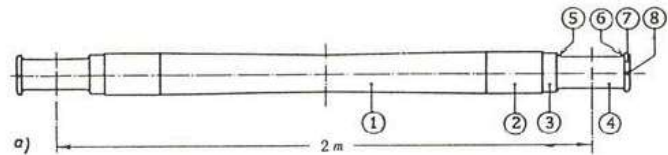
Esempio

$2-B_0 + 2-B_0$ = locomotiva (o automotrice) a due carrelli, ognuno formato da due assi portati e due assi motori indipendenti.

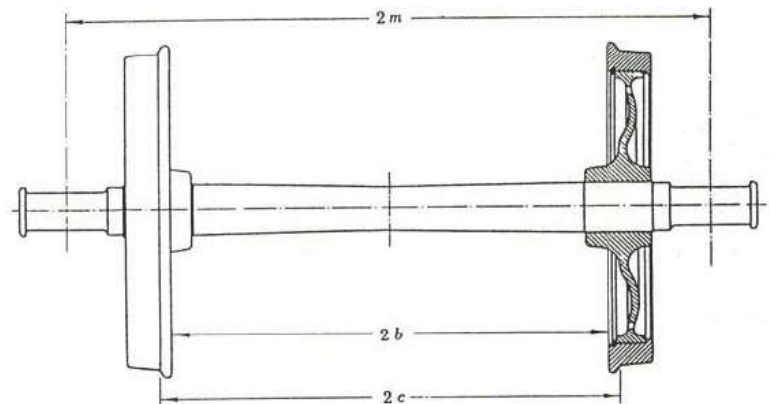
La ruota ferroviaria (1)



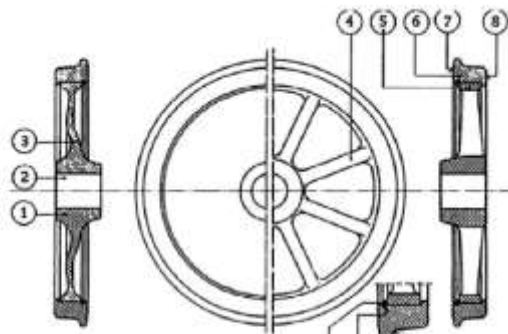
La ruota ferroviaria (2)



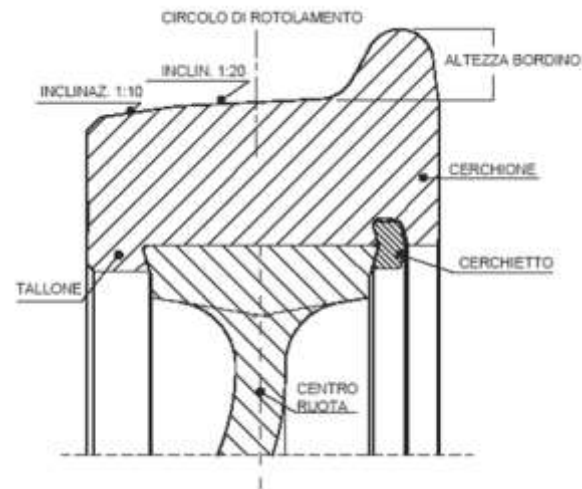
- | | |
|---|--|
| 1 - Corpo della sala | 6 - Gola anteriore del fusello |
| 2 - Portata di calettamento della ruota | 7 - Bordino del fusello |
| 3 - Portata d'otturatore | 8 - Centro di tomitura |
| 4 - Fusello | 9 - Portata di calettamento dell'ingranaggio |
| 5 - Gola posteriore del fusello | 2 m - Scartamento dei centri dei fuselli. |



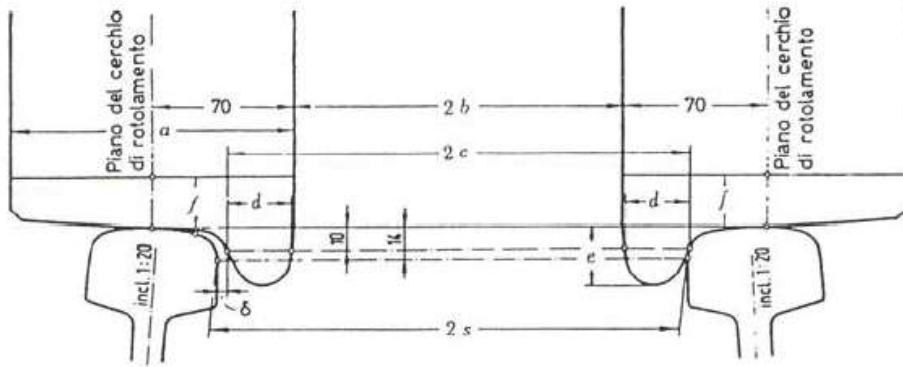
- 2 m - Scartamento dei centri dei fuselli
- 2 b - Scartamento interno delle ruote della sala montata
- 2 c - Scartamento dei bordini



- | | |
|--------------------------|---|
| 1 - Mozzo | 7 - Faccia interna del cerchione |
| 2 - Foro di calettamento | 8 - Faccia esterna del cerchione |
| 3 - Disco | 9 - Gola del bordino |
| 4 - Raza | 10 - Bordino del cerchione |
| 5 - Corona | 11 - Scanalatura per il cerchietto di sicurezza |
| 6 - Cerchione | 12 - Cerchietto di sicurezza. |

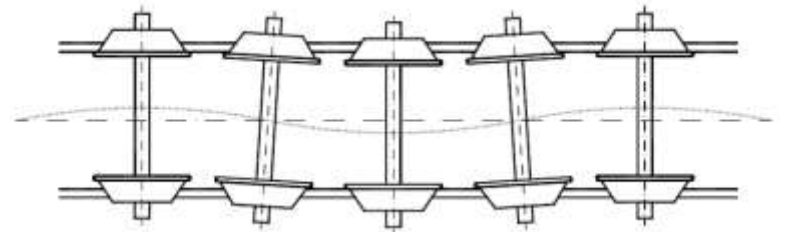
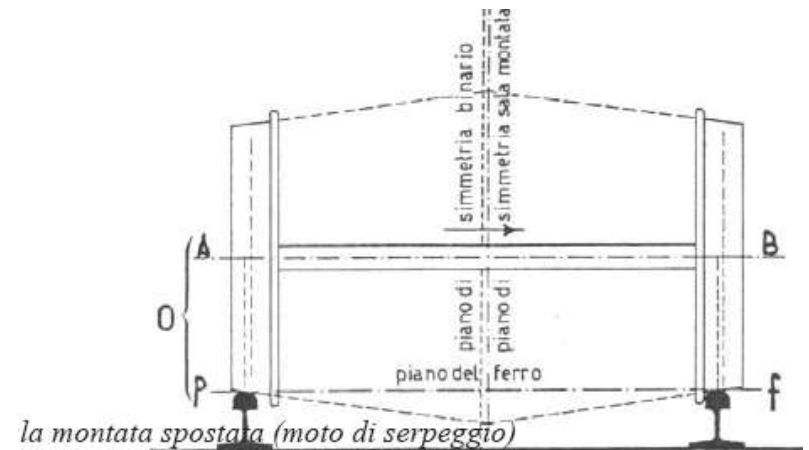


La ruota ferroviaria (4)



	Valori	a		$2b$	$2c$	d	e	f	δ	$2s$
Unità Tecnica delle Ferrovie edizione 1938	min.	130	130	1357	1410	20	25	25	6	1432
	max.	140*	150**	1363	1426	—	36	—	60*	1470
F.S. italiane Locomotive	min.	139,3		1357	1402	22	27,65	35	3	1433
	max.	140,7		1366	1430	31,35	36	75,5	68*	1470
Elettrotreni ed Elettromotrici	min.	135		1357	1402	22	27,65	40	3	1433
	max.	140,5		1366	1430	31,35	36	65,5	68*	1470
Automotrici	min.	—		1361	1406	22	28	22	2	1433
	max.	140,5		1366	1431	32	36	65	64*	1470
Veicoli	min.	134,5		1359	1400	20	27,65	20	6	1433
	max.	140,5		1361	1427	32,35	36	65,5	70*	1470

* Per le ruote da costruire
 ** Per le ruote costruite prima del 1939
 * Col max. allargamento in curva.



Veicoli ferroviari dimensioni (1)

	Carrozze	Carri merci
Numero assi	4	2 oppure 4
Lunghezza totale [m]	17,8÷26,4	10,58÷19,9
Larghezza cassa [m]	2,85÷2,9	2,68÷3,03
Passo carrelli* [m]	2,15÷2,50	1,80
Peso a pieno carico [tonn]	31÷42	36÷80
Peso per asse (max) [tonn/asse]	7,8÷10,5	18÷20

* Si definisce *passo* la distanza tra le sale estreme di un carrello.

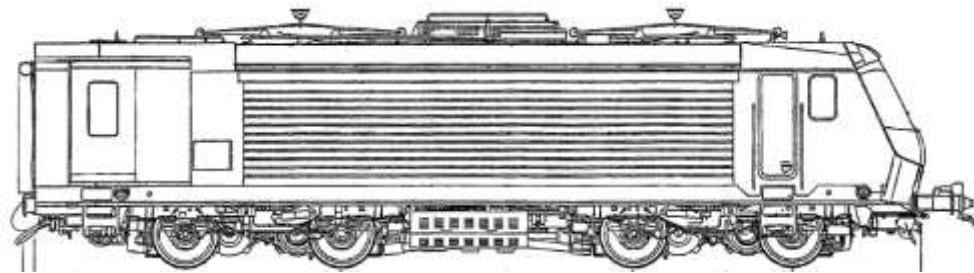
Carrozze e carri



Veicoli ferroviari dimensioni (2)

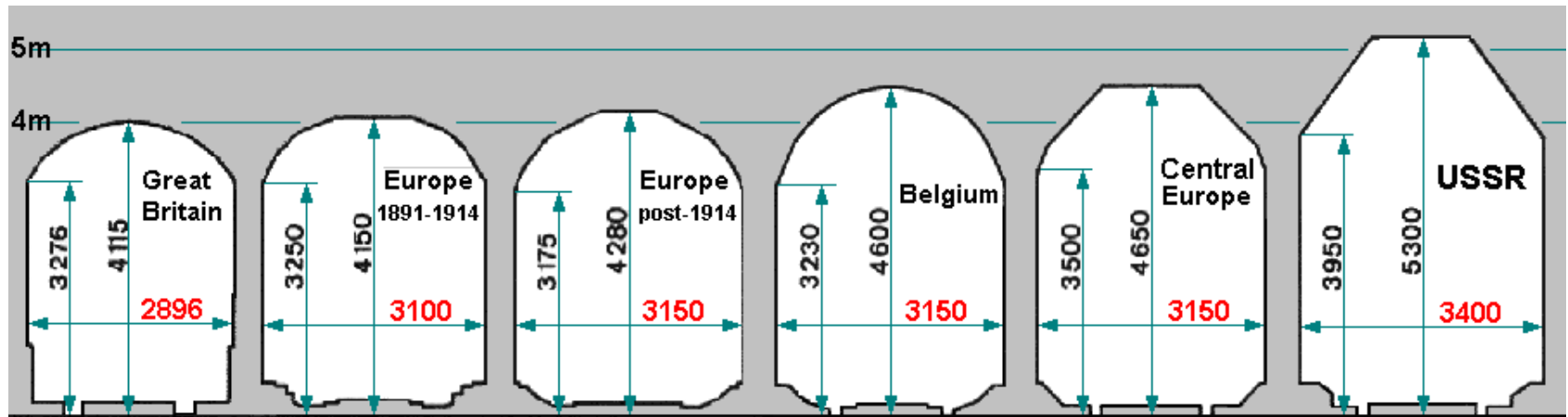
	Elettrica	Diesel-elettrica
Numero assi	4 ÷ 6	4
Lunghezza totale [m]	16,8 ÷ 18,3	14,1
Peso [tonn]	82 ÷ 120	76
Peso per asse (max) [tonn/asse]	20 ÷ 20,5	19
Numero motori	4 ÷ 6	2
Velocità massima [km/h]	150 ÷ 200	130
Sforzo di trazione massimo [kN]	215 ÷ 240	216

Locomotive

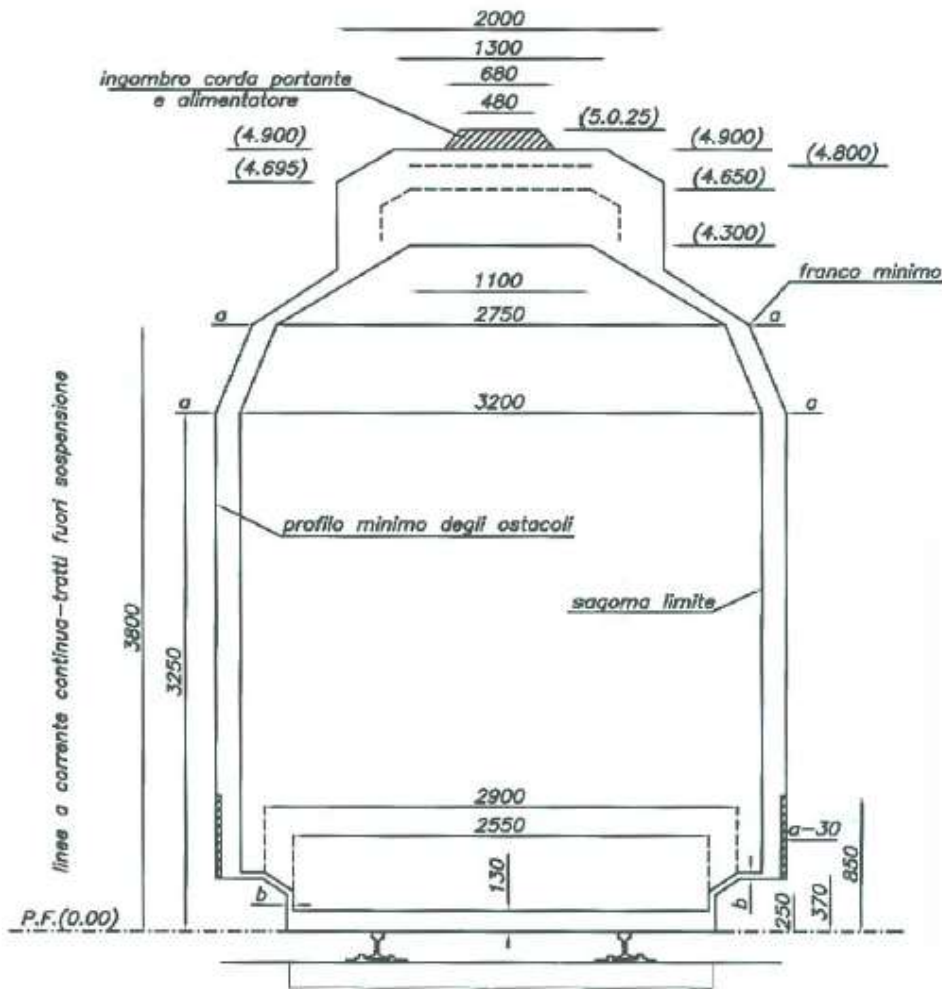


Veicoli ferroviari Sagoma limite (1)

Si definisce sagoma limite (gabarit) di un veicolo ferroviario la linea poligonale che racchiude la figura rappresentante una sezione trasversale tipo del veicolo stesso.

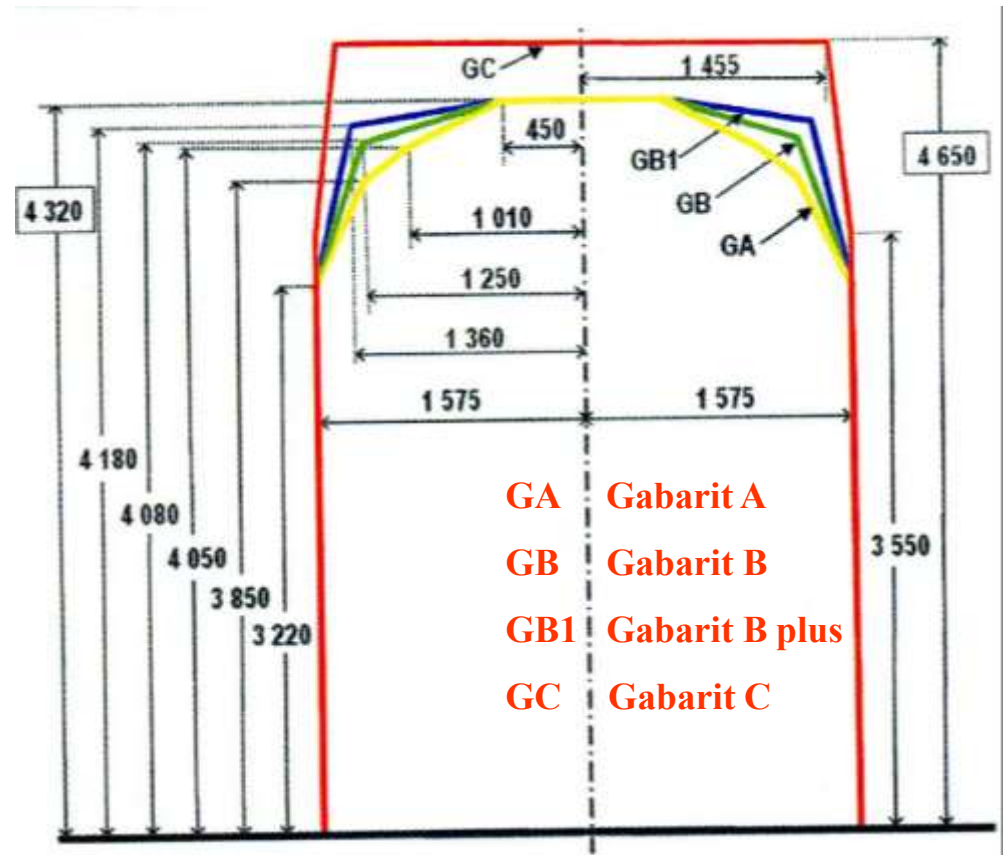
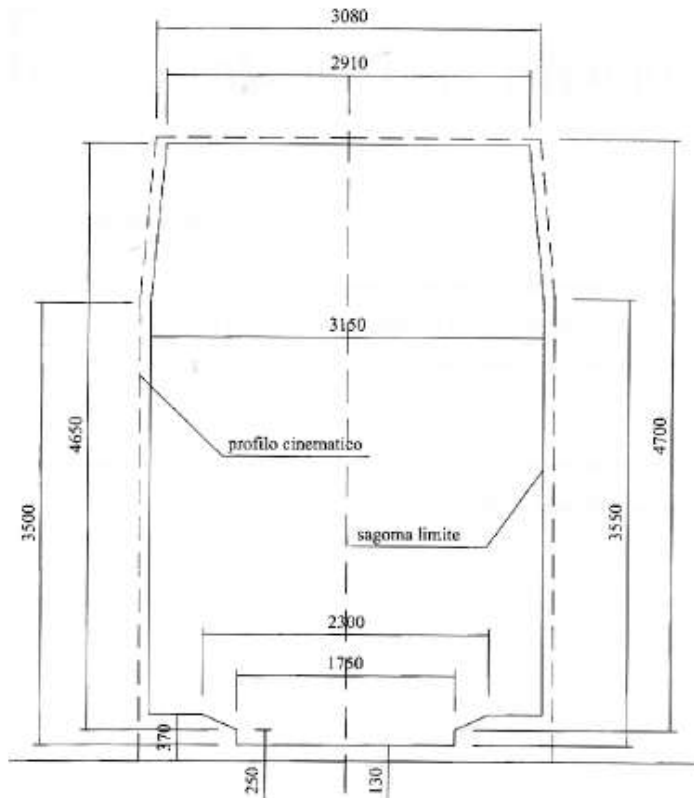


Veicoli ferroviari Sagoma limite (2)



In figura è riportata la sagoma limite per le linee ferroviarie italiane. Essa include una maggiorazione nella parte superiore per consentire anche il passaggio dei pantografi e l'installazione della linea elettrica di contatto, della relativa fune portante e degli organi di sostegno della linea stessa, lasciando anche, rispetto alle apparecchiature sotto tensione, opportuni franchi, detti franchi elettrici (il Gabarit è dunque riferito anche alle linee elettrificate).

Veicoli ferroviari Sagoma limite (3)



Veicoli ferroviari Sagoma limite (4)

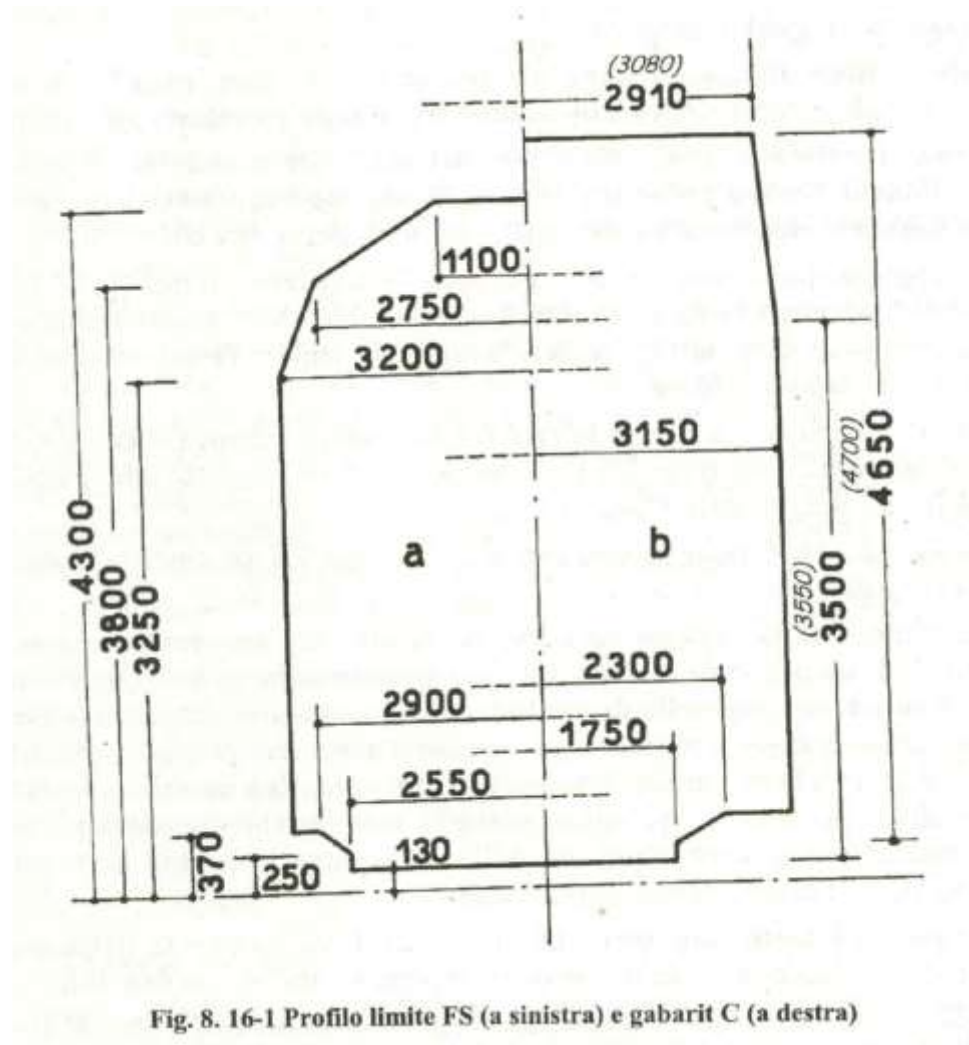


Fig. 8. 16-1 Profilo limite FS (a sinistra) e gabarit C (a destra)

Linea di contatto trazione elettrica (2)

Specifica RFI «La progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria»

1.1.3.1 Cavalcavia su linee elettrificate a corrente continua

Tra l'intradosso del cavalcavia e gli impianti della trazione elettrica si deve assicurare un franco elettrico minimo di 30 cm.

Di conseguenza si dovrà assicurare un'altezza minima di 6,90 mt, tra il piano del ferro e l'intradosso dell'impalcato. Tale valore è calcolato a partire dalle seguenti ipotesi:

- linea in orizzontale;
- libero passaggio delle condutture sotto il cavalcavia;
- filo di contatto a m 5,20 dal PF;
- distanza tra la corda portante e filo di contatto, in corrispondenza di un palo della TE, pari a m 1,40.

1.1.3.2 Cavalcavia su linee elettrificate a corrente alternata a 25 Kv

Tra l'intradosso del cavalcavia e gli impianti della trazione elettrica si deve assicurare un franco elettrico minimo di 50 cm.

Di conseguenza l'altezza libera H minima da assicurare tra l'intradosso del cavalcavia ed il piano del ferro è pari a 7,20 mt. Tale valore è calcolato a partire dalle seguenti ipotesi:

- linea in orizzontale;
- libero passaggio delle condutture sotto il cavalcavia;
- filo di contatto a m 5,30 dal PF;
- distanza tra la corda portante e filo di contatto, in corrispondenza di un palo della TE, pari a m 1,40.

Veicoli ferroviari pesi massimi (2)

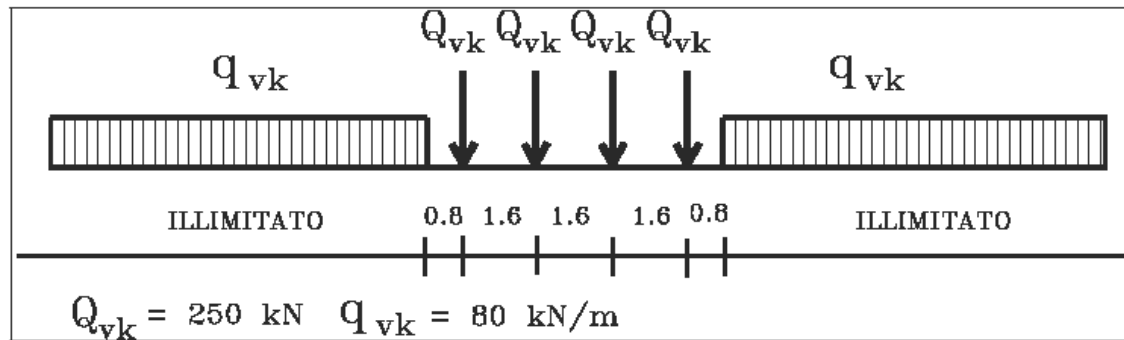


Fig. 1.4.1.2-1 - Treno di carico LM 71

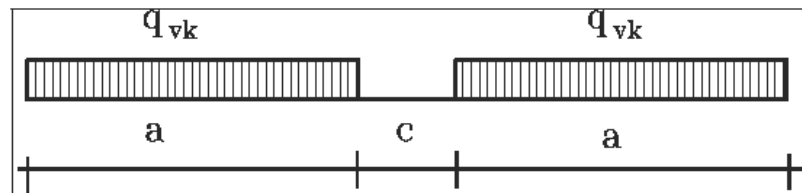


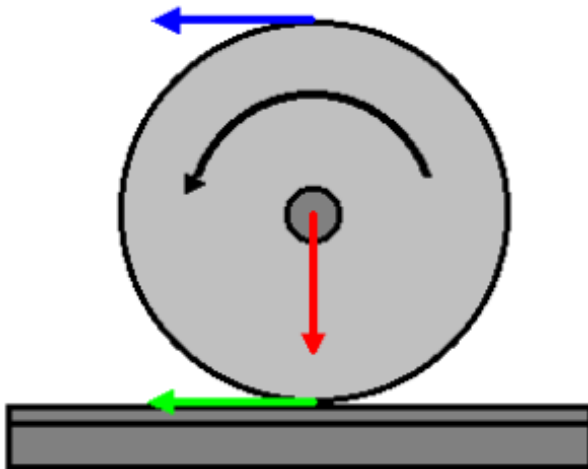
Fig. 1.4.1.2-2 - Treno di carico SW

Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Tab.1.4.1.2 Caratteristiche Treni di Carico SW

Aderenza Veicoli ferroviari (1)

L'aderenza è un termine che indica il **massimo sforzo F** che può essere trasmesso in fase di avviamento, di mantenimento della velocità e di frenata attraverso il contatto ruota - rotaia



$$F < f P$$

f = coefficiente di aderenza

P = peso sull'asse

$f P = A$ (aderenza)

Aderenza Veicoli ferroviari (2)

Coefficiente di aderenza è il rapporto tra lo sforzo di trazione ed il Peso che grava sulla ruota

$$f_{ad} = \frac{T}{P}$$

Ossia lo sforzo di trazione massimo deve essere in ogni istante:

$$\bar{T} \leq f_{ad} * P_{aderente}$$

F E R R O V I A	Trazione elettrica assi accoppiati	0,25 - 0,30
	Trazione elettrica assi liberi	0,20
	Trazione Diesel assi accoppiati	0,20
	Trazione Diesel assi liberi	0,167
	Trazione a vapore	0,167
STRA DA	Asfalto	0,65 - 0,70
	Calcestruzzo liscio	0,65 - 0,70
	Calcestruzzo ruvido	0,80 - 0,85

Aderenza Veicoli ferroviari (3)

f aumenta con:

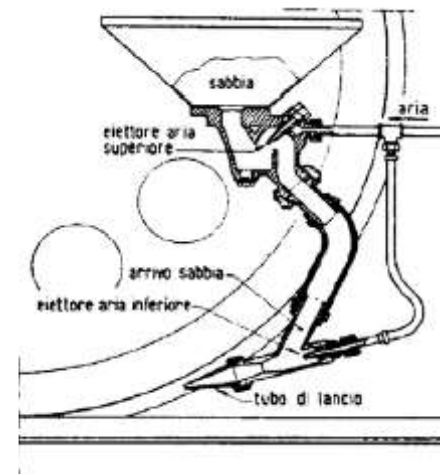
- l'aumentare del peso sull'asse;
- l'interposizione di materiale (sabbia) tra ruota e rotaia;
- Il passaggio di corrente sulla rotaia di ritorno (T.E.).

f varia \pm

- per le caratteristiche dei materiali rotaia-ruota;
- con l'umidità presente sulla rotaia.

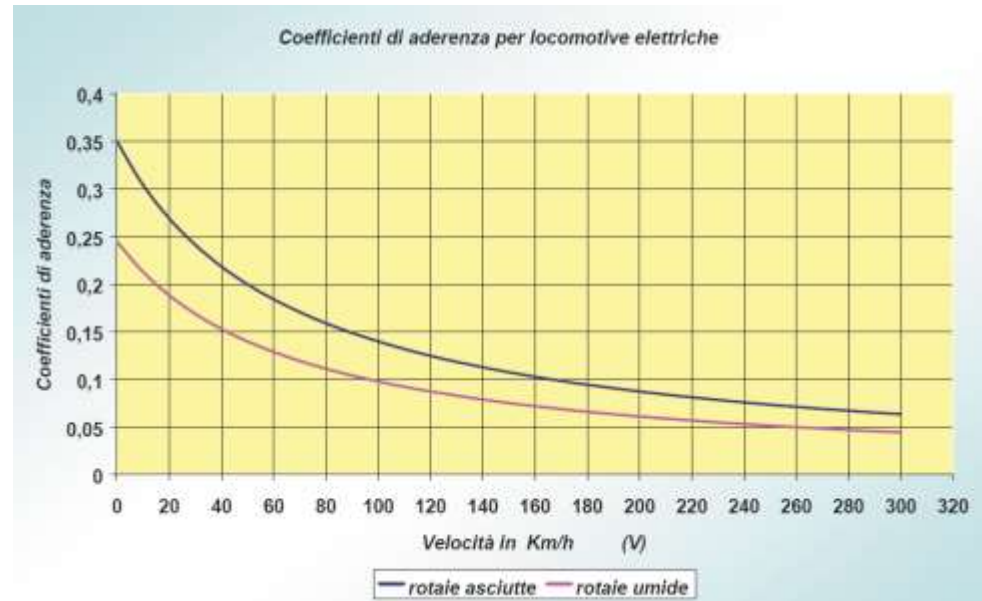
f diminuisce

- al crescere della velocità;
- in curva.



Aderenza Veicoli ferroviari (4)

VALORE DEL COEFFICIENTE LIMITE D'ADERENZA α_1 SENZA RITORNO DI CORRENTE LUNGO IL BINARIO	
CONDIZIONI AMBIENTALI E DEL BINARIO	COEFFICIENTE D'ADERENZA α_1
- binario molto asciutto con coppia motrice uniforme	$1/3 = 0,33$
- binario ampiamente dilavato dalla pioggia con coppia motrice uniforme	$1/3 = 0,33$
- binario asciutto in buone condizioni di manutenzione con coppia motrice uniforme	$1/3,5 = 0,2857$
- binario asciutto in buone condizioni di manutenzione con coppia motrice disuniforme	$1/4 = 0,25$
- binario asciutto in condizioni medie di manutenzione con coppia motrice uniforme	$1/4,5 = 0,222$
- binario asciutto in condizioni medie di manutenzione con coppia motrice disuniforme	$1/5 = 0,20$
- binario poco bagnato dalla pioggia con coppia motrice disuniforme	$1/7 = 0,14$
- binario in presenza di brina con coppia motrice disuniforme	$1/8 = 0,125$
- binario sporco con nebbia e con coppia motrice disuniforme	$1/9 = 0,11$
- binario ingrassato	$1/10 = 0,10$
- binario ingombro di foglie secche	$1/12,5 = 0,08$



L'espressione sperimentale di Muller che ci permette di quantificare il coefficiente d'aderenza vale:

$$f_{ad} = \frac{f_{ad}^*}{1 - 0,01 \cdot V}$$

dove f_{ad}^* è il coefficiente di aderenza in corrispondenza a $V = 0$ [km/h]

Aderenza Veicoli ferroviari (5)

Durante la fase di trazione, la ruota deve rotolare senza slittare e la forza da applicare alla ruota dovrà essere

$$F < f P$$

Durante la fase di frenatura, il sistema frenante non dovrà provocare il bloccaggio delle ruote (pattinamento)

$$-F < f P$$

Aderenza Veicoli ferroviari (6)

In realtà ho *sempre* una *percentuale di scorrimento* s

Ruota motrice: “la ruota gira di più di quanto avanzi”.

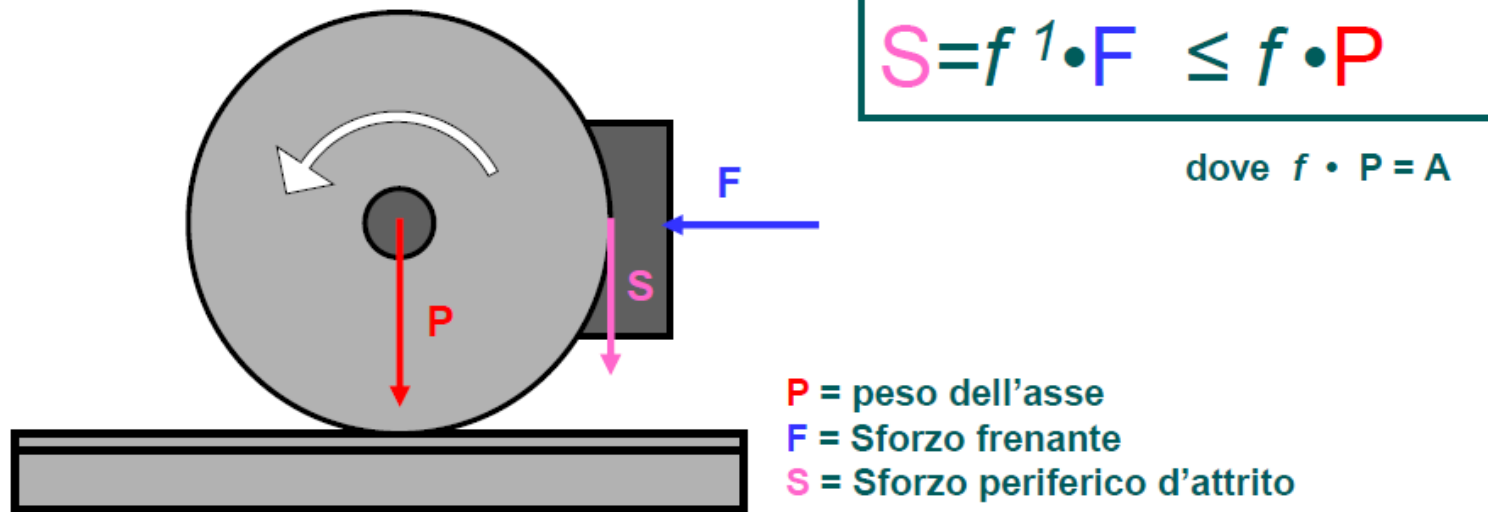
$$s = \frac{n\pi D - L}{n\pi D} = 1 - \frac{L}{n\pi D}$$

Ruota frenata: “la ruota avanza di più di quanto giri”.

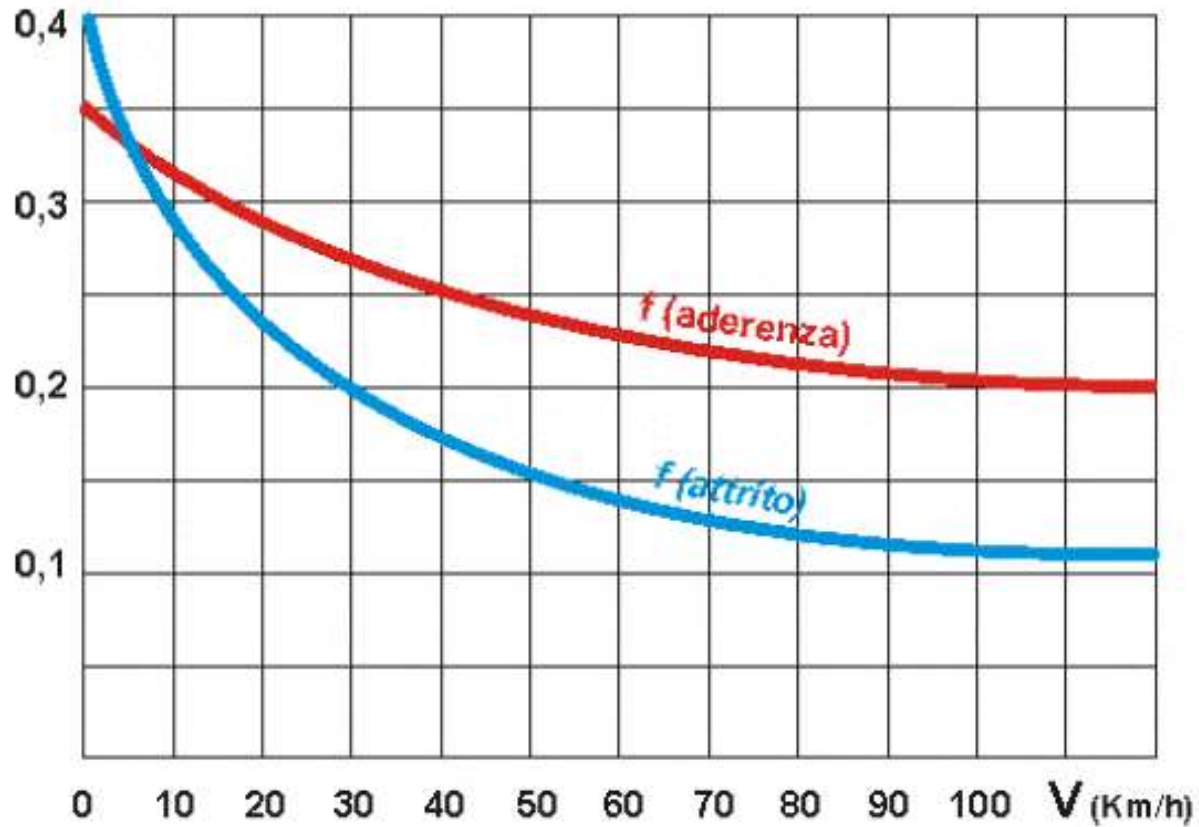
$$s = \frac{L - n\pi D}{L} = 1 - \frac{n\pi D}{L}$$

Aderenza Veicoli ferroviari (7)

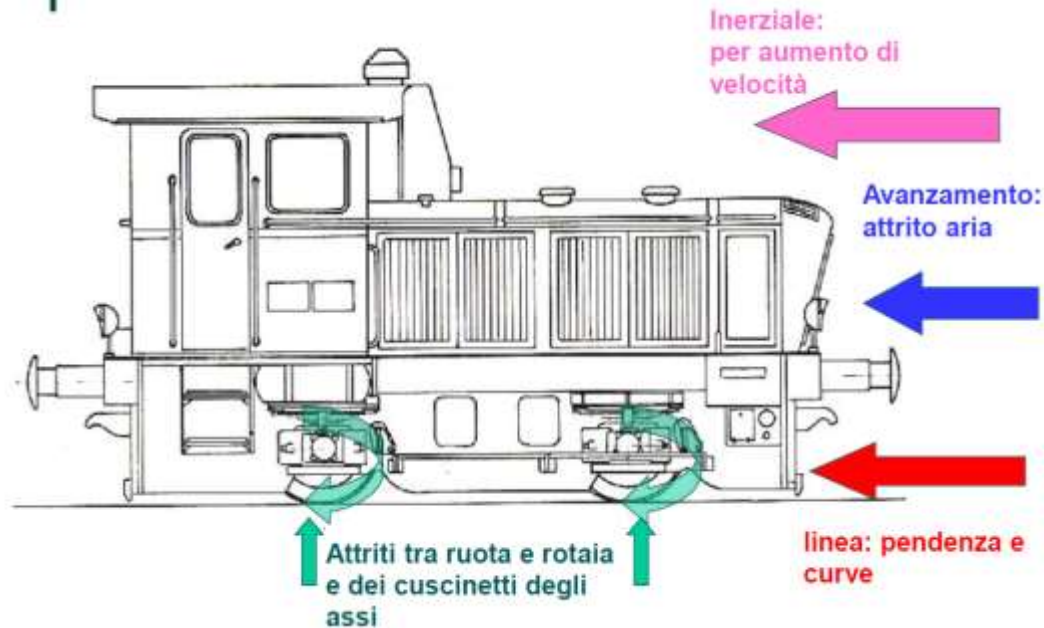
- f^1 = coefficiente di **attrito** ceppo-ruota
- f = coefficiente di **aderenza** ruota-rotaia



Aderenza Veicoli ferroviari (8)



Resistenze veicoli ferroviari



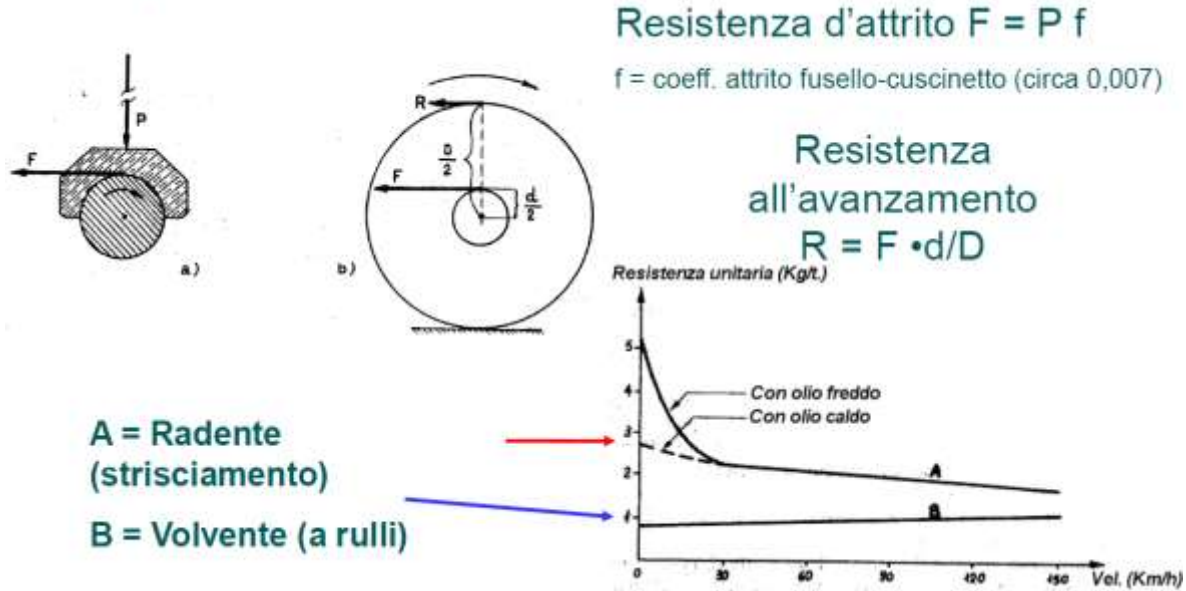
Resistenze ordinarie: sono le resistenze sempre presenti in ogni istante del moto:

- Resistenza di attrito nei perni (tra cuscinetto e asse ruota)
- Resistenza al rotolamento (tra zona di contatto ruota e strada)
- Resistenza aerodinamica (resistenza del fluido che deve essere spostato dal veicolo in moto)

Resistenze accidentali: sono le resistenze che compaiono solo in determinate circostanze:

- Resistenza in curva (dovuta ad urti e strisciamenti delle ruote sul binario quando si affronta una curva)
- Resistenza di pendenza (dovuta alla componente del peso che si oppone (salita) o favorisce il moto (discesa))
- Resistenza di inerzia (dovuta alla accelerazione o decelerazione del veicolo)

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (1)



1. Perno cuscinetto $R_1 = f \cdot (d/D) \cdot 1000 \cdot P$ [daN];

f coefficiente d'attrito pari a circa 1/70

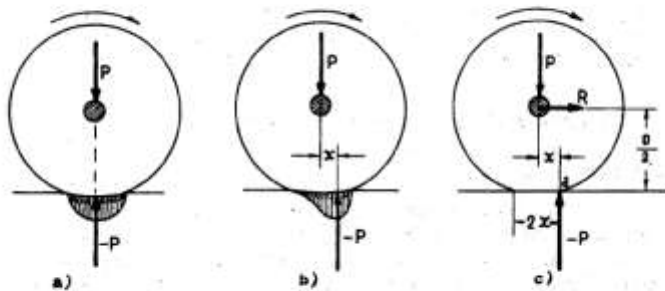
d diametro del fusello pari a circa 10 – 12 cm

D diametro ruota pari a circa 100 cm

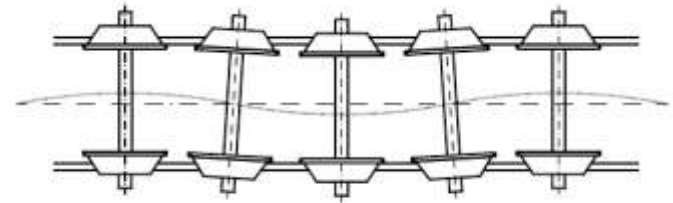
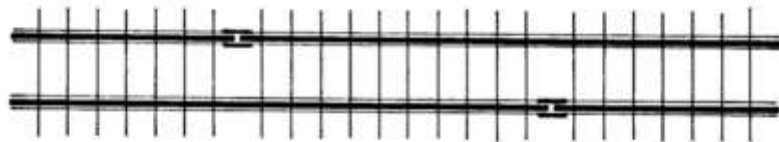
P peso che si scarica sul cuscinetto, espresso in tonnellate di peso

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (2)

La reazione d'appoggio, per effetto dell'isteresi elastica dei materiali, non agisce sulla stessa retta d'azione della forza Peso.



Ciò ingenera un momento resistente
 $Mr = -P \cdot x$



Moto di serpeggio



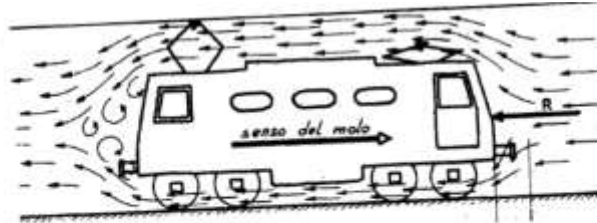
2. Ruota rotaia R_2 (= res. attrito volvente + res. serpeggiamento + res. giunzioni rotaie)

1,5 – 1,6 [daN/t]

$R_s = f_s * V * P$ [daN]

0,5 [daN/t]

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (3)



Dipende dalla sezione frontale S , dal fluido in cui ci si muove (aria) k , dalla velocità V e dall'aerodinamicità C .

$$R = k S C V^2$$

dove:

$k = 0,0065$ per l'aria valore costante

$C = 1$ per rotabili non sagomati, $0,35 + 0,5$ per m.d.t o Ale

$S = 9 \text{ m}^2$ per loc.; 7 m^2 per Ale e Aln

3. Dell'aria R_a (= res. frontale + res. laterale) = $0,001 * v^2 * S * P$ [daN]

v = velocità relativa espressa in [m/s]

S = superficie convenzionale = $7 + 0,84 * n$ [m²] con "n" numero carri

P = peso espresso in tonnellate peso

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (4)

Formule globali per le resistenze ordinarie

$$r = a + bV + cV^2 \quad (N / KN)$$

Formula *trinomia*

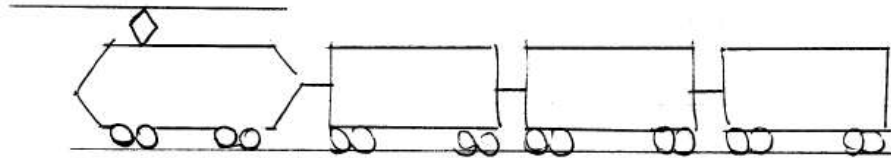
$$r = a + bV^2 \quad (N / KN)$$

Formula *binomia*

Le formule sono in termini di *resistenze specifiche*: quindi ipotizzano che le resistenze siano proporzionali al peso del veicolo.

Sono utilizzate soprattutto nel caso ferroviario: in questo caso comunque la resistenza dell'aria è proporzionale alla lunghezza e perciò al peso del veicolo.

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (5)



Misuro la corrente assorbita: I .

C'è una relazione che lega I alla coppia alle ruote $C(I)$

$$T = \frac{C(I)}{\mathcal{R}}$$

← Coppia alle ruote
↙ Raggio delle ruote

Equazione generale del moto: $T - R = M_e \frac{dv}{dt}$

Nel caso di moto uniforme: $\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow T = R$

Misurando T misuro R .

Resistenze ordinarie veicoli ferroviari (6)

Per velocità espresse in Km/h e fino a velocità massime di 140÷150 Km/h, si ha:

Per treni viaggiatori ordinari

$$r_0 = 1,94 + 2,65 \cdot \left(\frac{V}{100} \right)^2 \quad [\text{daN / t}]$$

Per treni merci

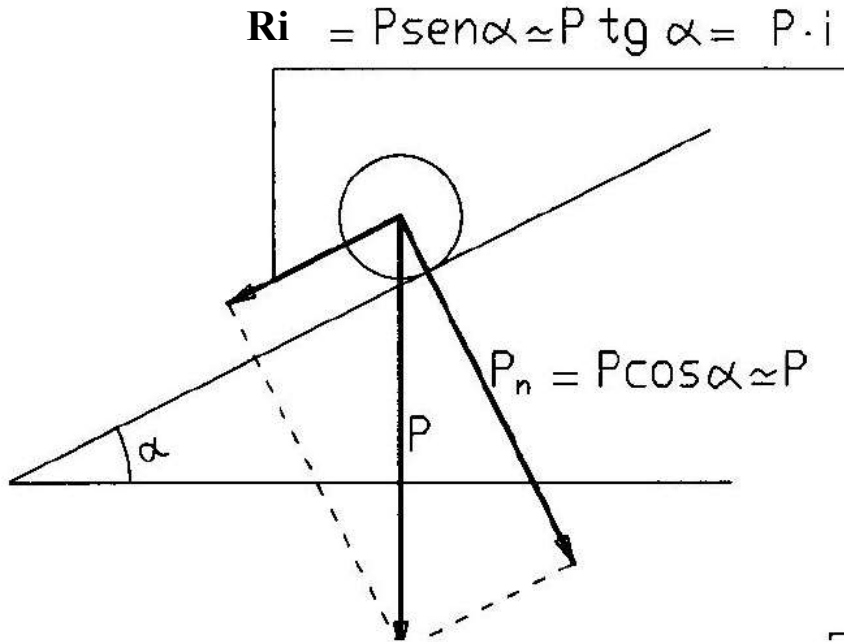
$$r_0 = 2,04 + 5,01 \cdot \left(\frac{V}{100} \right)^2 \quad [\text{daN / t}]$$

Per Treni specifici

Tipo di CONVOGLIO	Resistenze al moto in Kg/tonn	
	All'aperto	In galleria
2 ALE 601+Rimorchio	$0,99684 + 0,00025 V^2$	$0,62017 + 0,00046 V^2$
Locomotore+4 vetture	$1,3845 + 0,00021 V^2$	$1,60348 + 0,00035 V^2$
Treno merci delle DB	$1,6952 + 0,00027 V^2$	$1,24463 + 0,00051 V^2$
ETR 500	$0,90404 + 0,00012 V^2$	$0,83300 + 0,00021 V^2$

Resistenze accidentali veicoli ferroviari (1)

Resistenza al moto in salita



$$R_i = P \frac{a * i_1 + b * i_2}{l}$$

Valida se il treno è più lungo della livelletta:

l = lunghezza treno

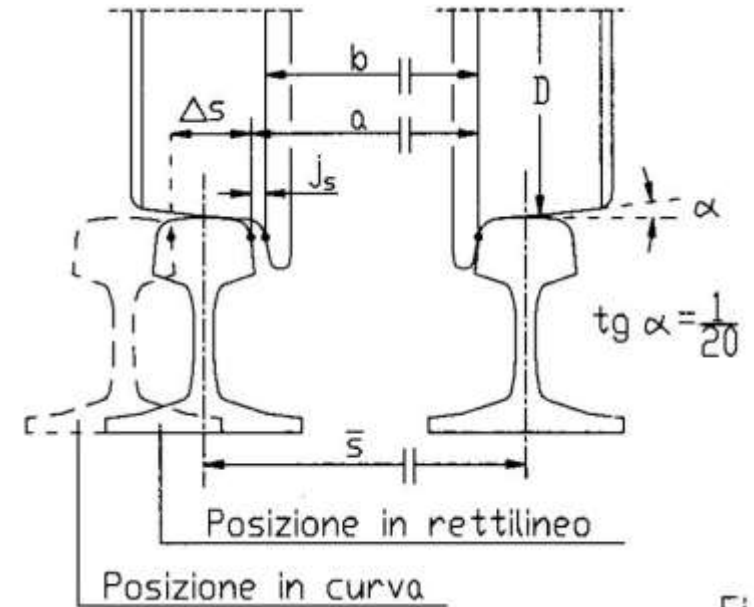
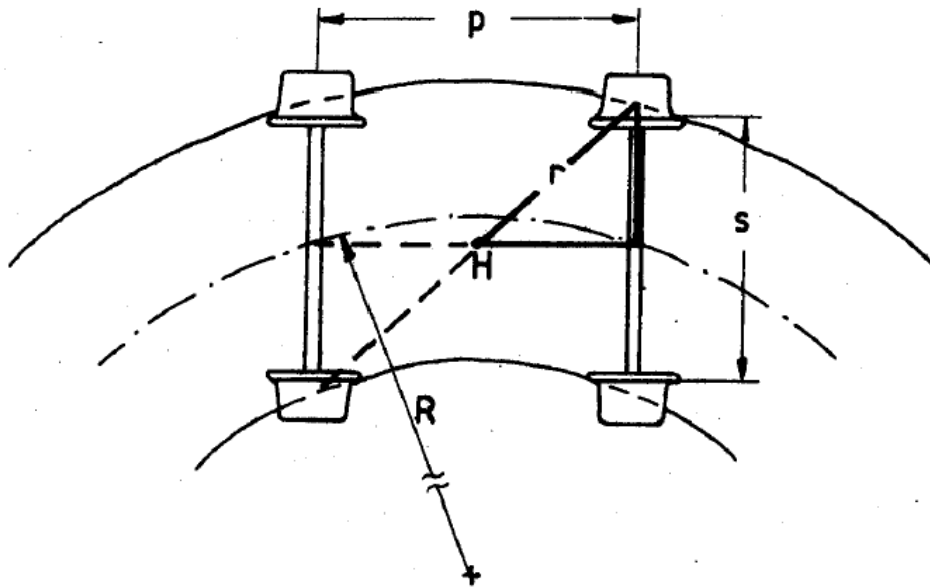
a e b lunghezze parti treno sulle diverse livellette i_1 e i_2

1. per pendenze $R_i = 1000 * P * i$ [daN];

P = peso espresso in tonnellate peso

i = pendenza della ferrovia (espressa in valore assoluto)

Resistenze accidentali veicoli ferroviari (2)



2. In curva $R_c = r_c * P$ [daN/t]; P espresso in tonnellate

Raggio (m)	1.000	900	800	700	600	500	450
r_c (kg/t) ⁽¹⁾	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	1,70
Raggio (m)	400	350	300	250	200	180	
r_c (kg/t)	2,00	2,40	2,80	3,40	4,20	4,50	

Resistenze accidentali veicoli ferroviari (1)

3. $d'inerzia = M * (1+\mu) * a$

M massa treno in [kg]

“a” accelerazione in [m/s²]

μ coefficiente di maggiorazione per masse rotanti = 0,07-0,08 per veicoli rimorchiati; 0,18-0,20 per locomotive elettriche in c.c.; 0,35-0,45 per locomotive elettriche monofase

Grado di prestazione linea (1)

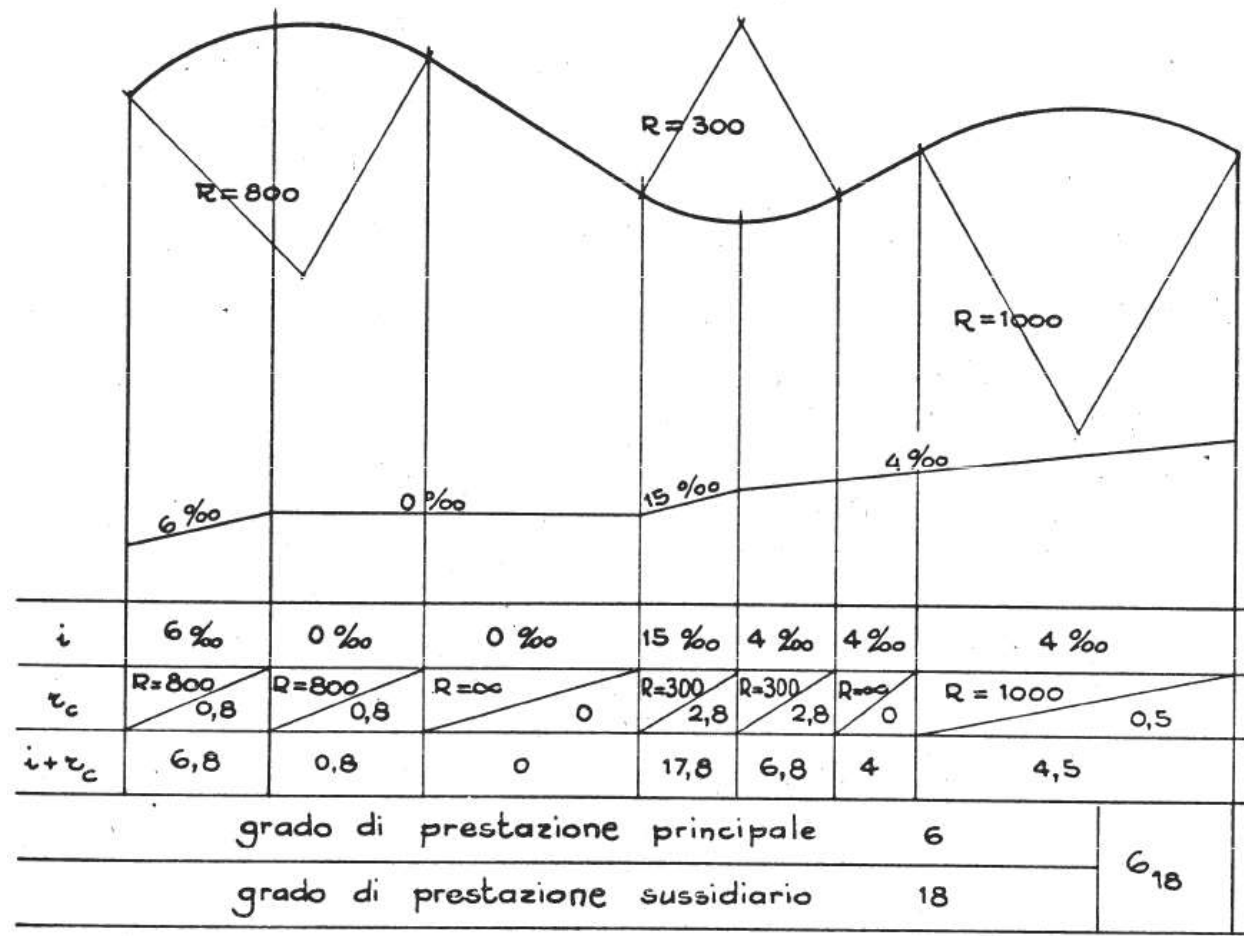
$$I = i + rc$$

i espressa in 0/00

rc in kg/t

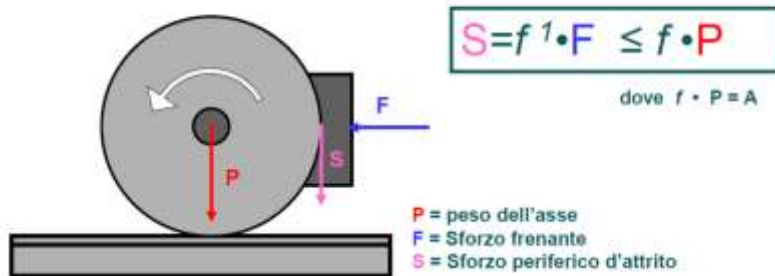
GRADI DI PRESTAZIONE IN R.F.I.			
Grado di Prestazione	I ‰ [Kg/tonn]	Grado di Prestazione	I ‰ [Kg/tonn]
1	4,50	17	17,00
2	5,00	18	18,40
3	5,50	19	19,80
4	6,00	20	20,90
5	6,50	21	21,90
6	7,00	22	22,70
7	7,70	23	24,60
8	8,40	24	25,70
9	9,20	25	27,80
10	10,00	26	29,80
11	11,00	27	30,80
12	12,00	28	32,50
13	12,90	29	34,20
14	13,80	30	37,50
15	14,60	31	40,50
16	15,80		

Grado di prestazione linea (2)



Peso frenato e gradi di frenatura (1)

- f^1 = coefficiente di attrito ceppo-ruota
- f = coefficiente di aderenza ruota-rotaia



$$\frac{v^2 - 0^2}{2 \cdot l} = a$$

$$f \cdot B = \frac{P}{g} \cdot a = \frac{Q \cdot f^1}{f \cdot g} \cdot a$$

$$B = \frac{Q \cdot f^1}{f^2 \cdot g} \cdot a$$

$$B_{\%} = \frac{B}{P} \cdot 100$$

B = peso frenato, il peso che gli viene attribuito agli effetti della frenatura; esso rappresenta l'efficacia del freno

P = peso del treno

F = forza radiale del ceppo (<Q)

Q = forza radiale massima del ceppo

B_% = percentuale peso frenato

g = accelerazione gravità

a = decelerazione treno

l = spazio frenatura

Peso frenato e gradi di frenatura (2)

TABELLA DI FRENATURA

TABELLA A

Percentuali minime di massa frenata normalmente attribuita ai treni di materiale ordinario serviti da freno continuo	
Tipo del treno	Massa frenata con freno continuo tipo viaggiatori
Treni viaggiatori e merci con orario programmato.....	Percentuale prevista in Orario
Treni viaggiatori e merci con velocità massima fino a 120 km/h	90%
Treni merci con velocità massima fino a 100 km/h	75%
Altri treni merci con velocità massima fino a 90 km/h	70%
Tipo di treno	Massa frenata con freno continuo tipo merci (1)
Treni merci con orario programmato	Percentuale prevista in Orario
Treni merci con velocità massima fino a 120 km/h (2).....	75%
Treni merci con velocità massima fino a 100 km/h (2)..... Treni merci con velocità massima fino a 90 km/h	70%
Locomotive isolate	
Treni merci con velocità massima fino a 80 km/h	60%
Tradotte	50%

(1) Tali treni sono individuati in orario da apposito segno convenzionale.

(2) Treni merci serviti da mezzi di trazione provvisti di ripetizione dei segnali, circolanti su linee o tratti di linea attrezzate con il blocco automatico a correnti codificate.

Peso frenato e gradi di frenatura (3)

GRADI DI FRENATURA E PENDENZE DELLE LINEE

Gradi di frenatura	I _a		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
	dal	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al	ol- tre	al
Pendenze per mille	0	4	4	6	6	8	8	11	11	13	13	16	16	20	20	25	25	30	30	35

TRENI SERVITI DA FRENO CONTINUO TIPO VIAGGIATORI

compresi i treni di mezzi leggeri e treni di locomotive isolate

(Tabella B - Quadro 1° del Cap. VII della Prefazione Generale all'Orario di Servizio)

Velocità massima assoluta ammessa																										
Gradi di frenatura della linea	Percentuale di peso frenato esistente nel treno																									
	150	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25
I _a	150	150	150	150	150	150	145	145	140	140	135	130	125	120	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60
I	150	150	150	150	150	145	145	140	135	135	130	125	120	115	110	105	100	95	90	90	85	80	70	65	60	55
II	150	150	150	150	145	140	140	135	130	130	125	120	115	110	105	100	100	95	90	85	80	75	70	65	55	50
III	150	150	145	145	140	135	135	130	125	120	115	115	110	105	100	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	45
IV	140	140	135	135	130	130	125	125	120	115	110	110	105	100	95	95	90	85	80	75	70	65	60	55	45	40
V	135	130	130	125	125	120	120	115	110	110	105	105	100	95	90	90	85	80	75	70	65	60	55	50	40	35
VI	125	125	120	120	115	115	110	105	105	100	100	95	95	90	85	80	80	75	70	65	60	55	50	40	35	—
VII	115	115	110	110	105	105	100	100	95	95	90	90	85	85	80	75	70	70	65	60	55	45	40	35	—	—
VIII	100	100	100	100	95	95	95	90	90	85	85	80	80	75	70	65	65	60	55	50	45	40	35	—	—	—
IX	90	90	90	90	85	85	85	80	80	75	75	70	70	65	65	60	55	50	45	40	35	30	—	—	—	—

Peso frenato e gradi di frenatura (4)

TABELLA SPECIALE DI FRENATURA PER TRENI MUNITI DI FRENO CONTINUO TIPO VIAGGIATORI, SERVITI DA MEZZI DI TRAZIONE EQUIPAGGIATI CON APPARECCHIATURE SPECIALI DI SICUREZZA, CIRCOLANTI SU LINEE ATTREZZATE CON IL BLOCCO AUTOMATICO A CORRENTI CODIFICATE — SPAZIO DI FRENATURA: 2 700 METRI

Gradi di frenatura della linea	(1) Velocità massima assoluta (1)																										
	Frenatura combinata										Frenatura con solo freno continuo																
	Percentuale di peso frenato elettrico										Percentuale di peso frenato con freno continuo																
	60	50	40	35	30	25	20	15	10																		
	Percentuale di peso frenato con freno continuo																										
125 e superiori										120	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
I _a	200	190	185	180	180	175	170	170	165	160	155	150	150	140	135	130	125	120	120	115	110	105	100	95	85	80	75
I	200	190	185	180	180	175	170	170	165	160	155	150	150	140	135	130	125	120	120	115	110	105	100	95	85	80	75
II	190	185	180	180	175	175	170	165	165	160	150	150	145	140	135	130	120	120	120	115	110	105	100	95	80	75	70
III	180	180	180	175	170	170	165	160	160	155	145	145	140	135	130	125	120	120	120	115	110	105	100	95	80	75	70
IV	170	170	170	165	160	160	160	150	150	145	140	140	140	130	125	120	115	110	110	110	100	100	90	85	75	70	60
V	160	160	160	155	150	150	150	140	140	135	130	130	130	125	120	110	105	100	100	100	90	90	80	80	70	60	50

(1) Velocità massima per i treni viaggiatori impostati a velocità superiore a 150 km/h, serviti da mezzi di trazione (ETR o ALe 601 senza rimorchi) provvisti di frenatura elettrica, ripetizione dei segnali in cabina di guida e controllo automatico della velocità efficienti.
L'apporto della frenatura elettrica (frenatura combinata) va considerato solamente qualora siano soddisfatte le due condizioni seguenti:
a) La percentuale di peso frenato con freno continuo risulti $\geq 125\%$;
b) La percentuale di peso frenato elettrico non risulti inferiore al 10%.
In mancanza anche di una sola di tali condizioni valgono le velocità massime indicate per il solo freno continuo.
Prescrizioni particolari:
In caso di guasto alla apparecchiatura di ripetizione dei segnali la velocità massima deve essere contenuta entro i limiti previsti dalla normale Tabella B di frenatura.
La frenatura meccanica deve essere utilizzata, salvo casi di emergenza, a velocità minore od uguale a 160 km/h.
La riduzione di velocità dalla V max a 160 km/h deve essere attuata, salvo casi di emergenza, con la sola frenatura elettrica.

(1) Velocità massima per i treni serviti da mezzi di trazione provvisti di ripetizione dei segnali in cabina di guida, efficiente.

Trazione ferroviaria (1)

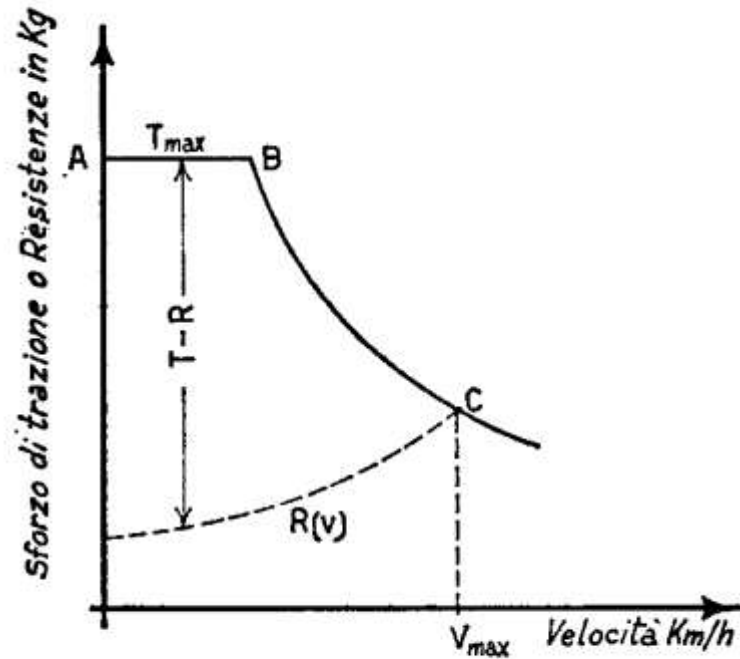
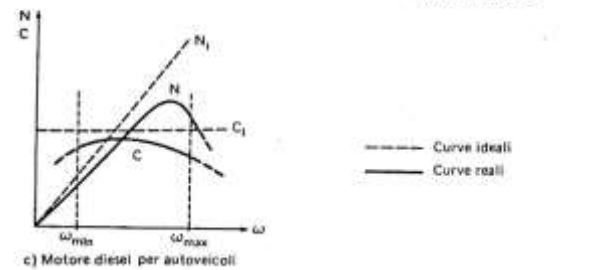
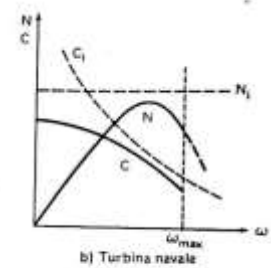
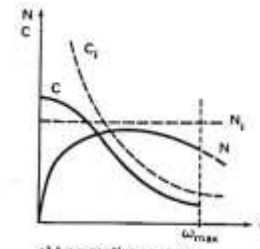
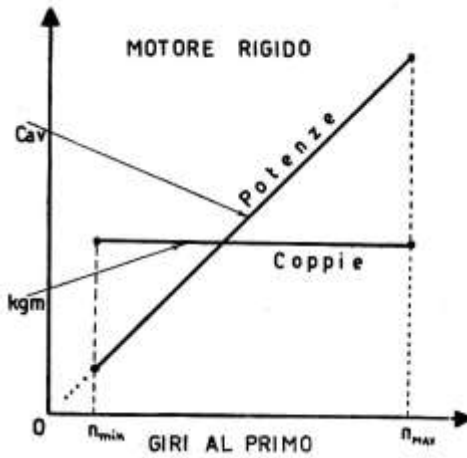
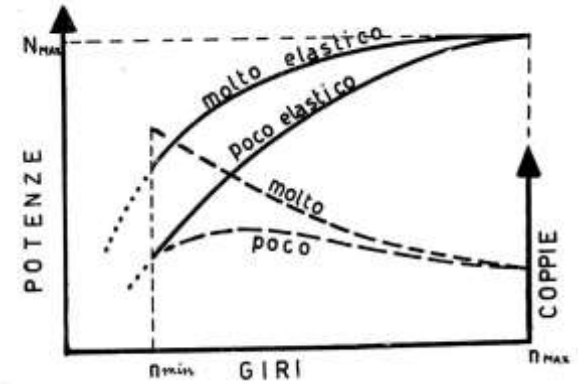
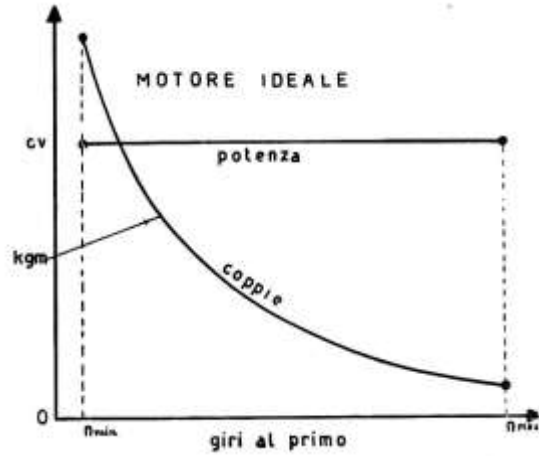


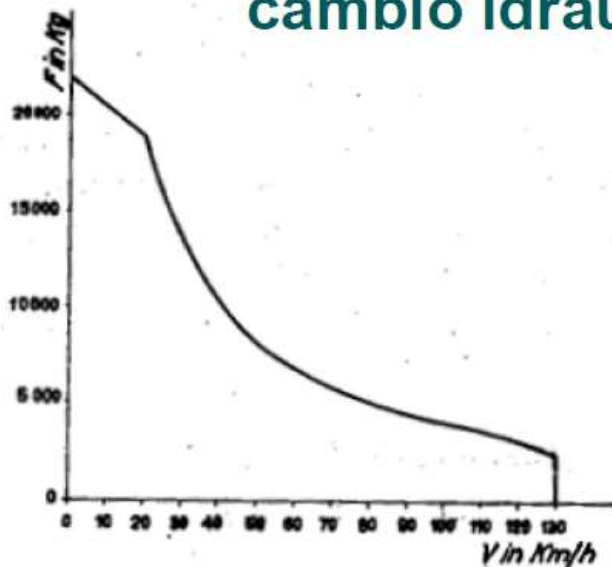
FIG. II.17 - Caratteristica di trazione (trattore a potenza costante).

Trazione Ferroviaria (2)



Trazione Ferroviaria (3)

- Le curve caratteristiche per le migliori condizioni di funzionamento ferroviario sono delle iperboli equilateri, ottenibili con i motori elettrici a c.c. o con i Diesel con interposto cambio idraulico.



10. Caratteristica meccanica della locomotiva Diesel - elettrica D 443

Sforzo di trazione (1)

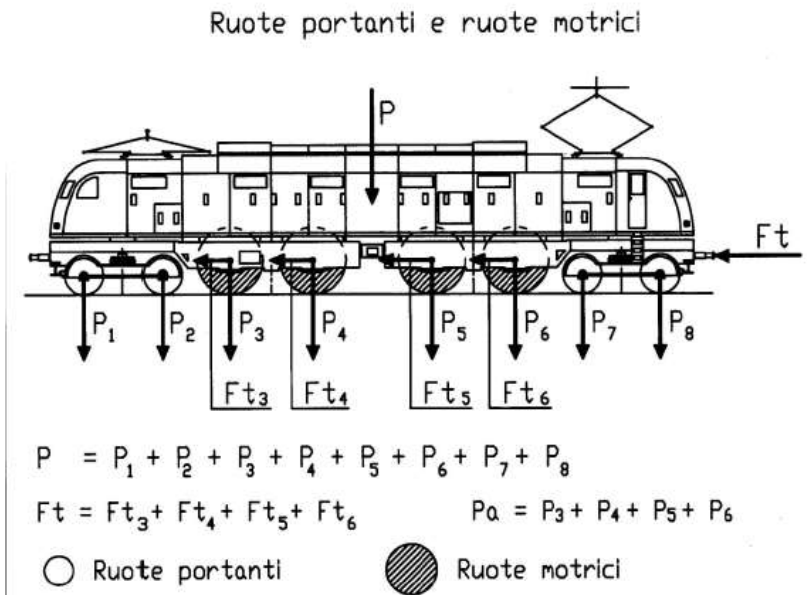
E' la forza che bisogna imprimere al veicolo per avere moto.

Per ottenere il moto si deve avere al massimo

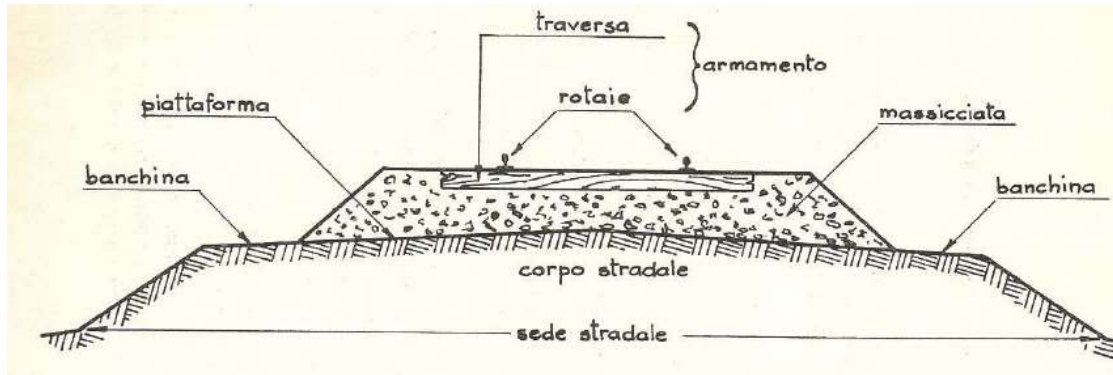
$$\bar{T} \leq f_{ad} P_{aderente}$$

Tale sforzo deve anche essere tale da vincere le resistenze al moto:

$$T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + \frac{P}{g} a \leq T_{\max}$$



Sede ferroviaria (1)



Sede ferroviaria (2)

Elementi caratteristici del sistema ferroviario tradizionale:

Rotaia: l'elemento d'acciaio che costituisce il supporto e la guida del veicolo; la sua parte superiore, sulla quale avviene il moto delle ruote, prende il nome di superficie di rotolamento.

Binario: l'insieme delle due rotaie; il piano tangente a esse (in sommità) prende il nome di piano del ferro.

Traversa: l'elemento su cui sono fissate le rotaie; possono essere in acciaio, in legno e in cemento armato semplice o precompresso.

Organi di attacco: i dispositivi che consentono il collegamento delle rotaie alle traverse.

Armamento ferroviario: l'insieme delle rotaie, delle traverse e degli organi di attacco.

Ballast (o massicciata): è lo strato di pietrisco sul quale poggiano le traverse.

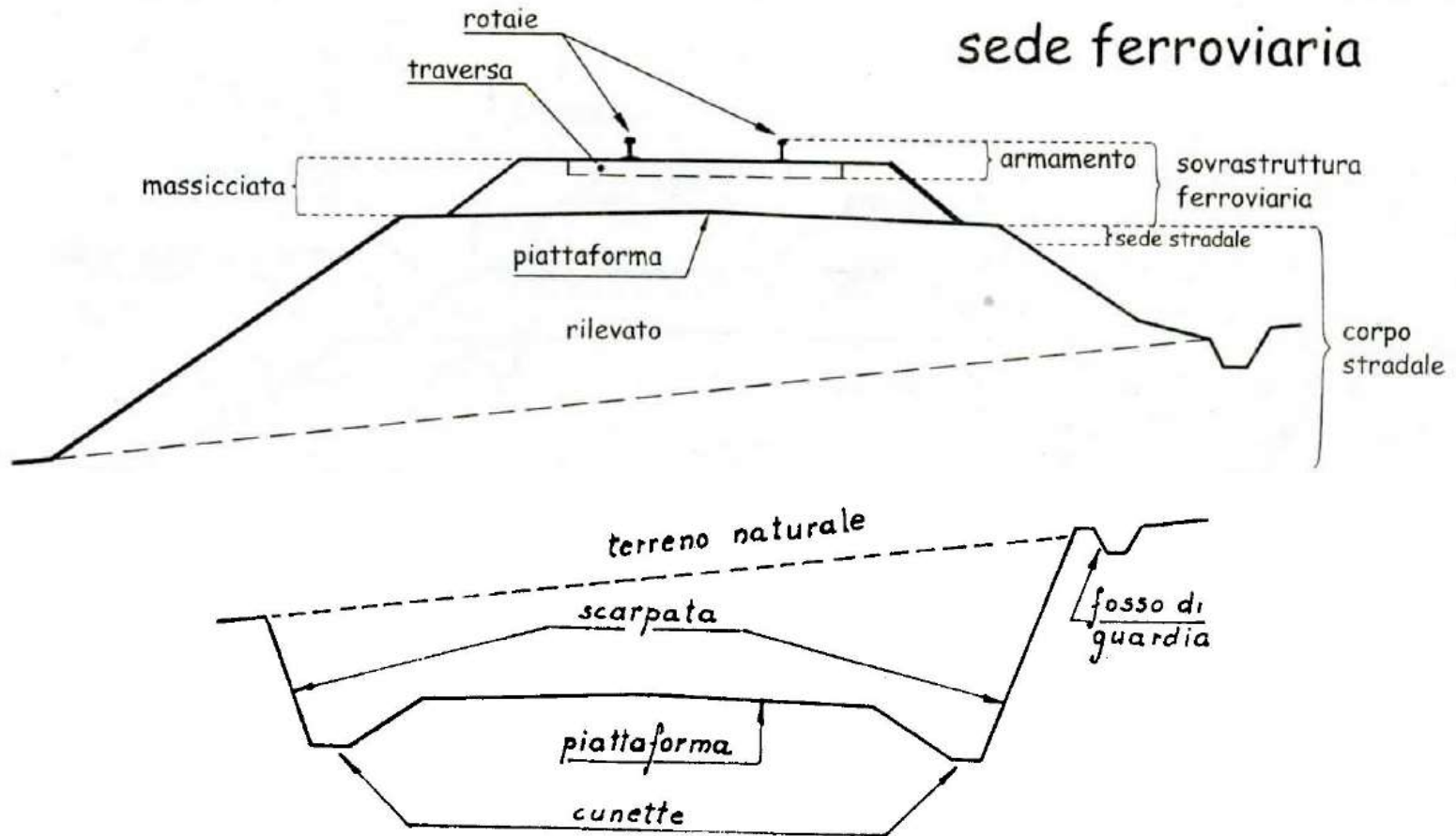
Strati di sub-ballast: sono strati di fondazione, in genere formati da materiali legati al bitume o a cemento; sono sempre presenti nelle nuove linee ad alta velocità.

Piattaforma di posa: detta anche piattaforma stradale o piano di regolamento o piano di formazione, rappresenta il terreno su cui poggia la sovrastruttura ferroviaria, per lo spessore entro cui praticamente sono misurabili gli effetti prodotti dal passaggio dei veicoli (variabile in genere fra 30 cm e 1 metro).

Banchine: parti estreme della piattaforma di posa, destinate al transito pedonale di servizio.

Corpo stradale: il solido geometrico delimitato dalla piattaforma di posa, dalle scarpate dei rilevati o delle trincee (o da eventuali muri di sostegno), dalla superficie del terreno (sede stradale) e dalle sezioni trasversali terminali del tronco che si considera.

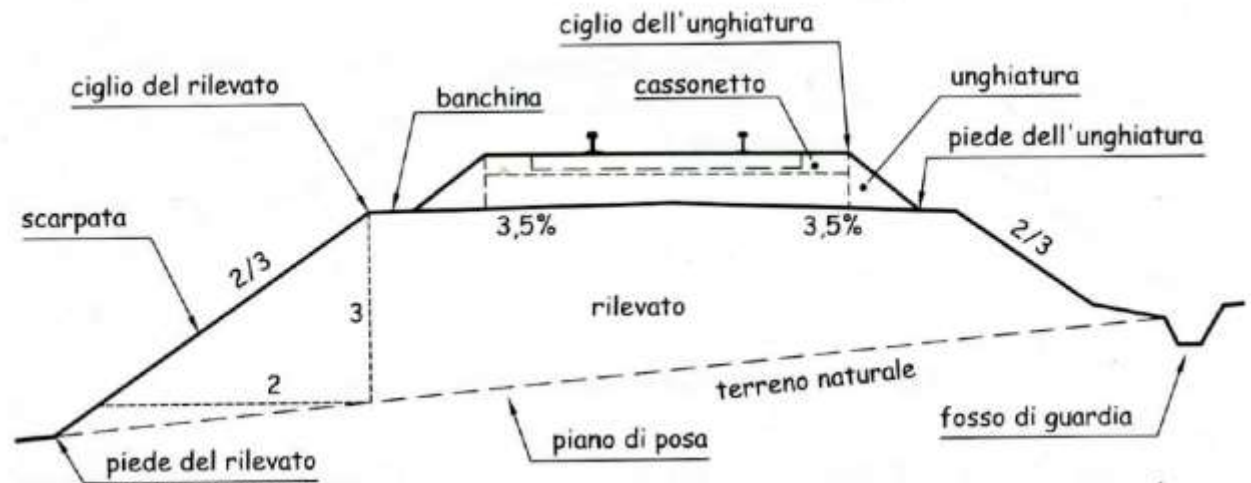
Sede ferroviaria (3)



Massicciata ferroviaria (1)

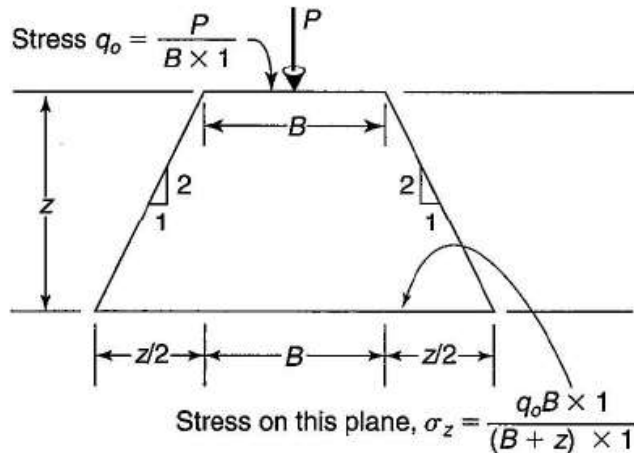


Scopi: distribuire i carichi verticali sul piano del corpo stradale; consentire di realizzare le condizioni geometriche di posa del binario sia in fase di costruzione che di esercizio; consentire la correzione dei difetti di geometria indotti dai carichi dinamici e da eventuali piccole alterazioni del corpo stradale.



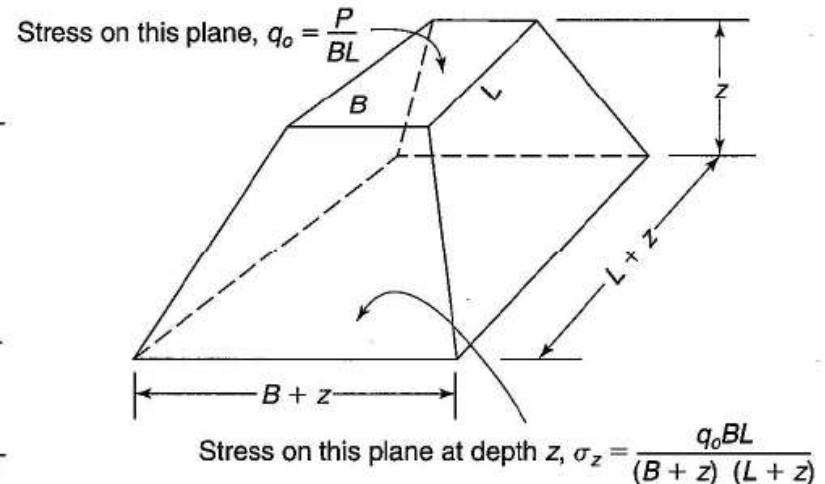
Massicciata ferroviaria (2)

(1) Fondazione continua



(a)

(2) Fondazione isolata



(b)

Con $P = 20000 \text{ kgf}$ $B = 26 \text{ cm}$ $L = 260 \text{ cm}$ $z = 50 \text{ cm}$ $\sigma_z \cong 0,9 \text{ kgf/cm}^2$

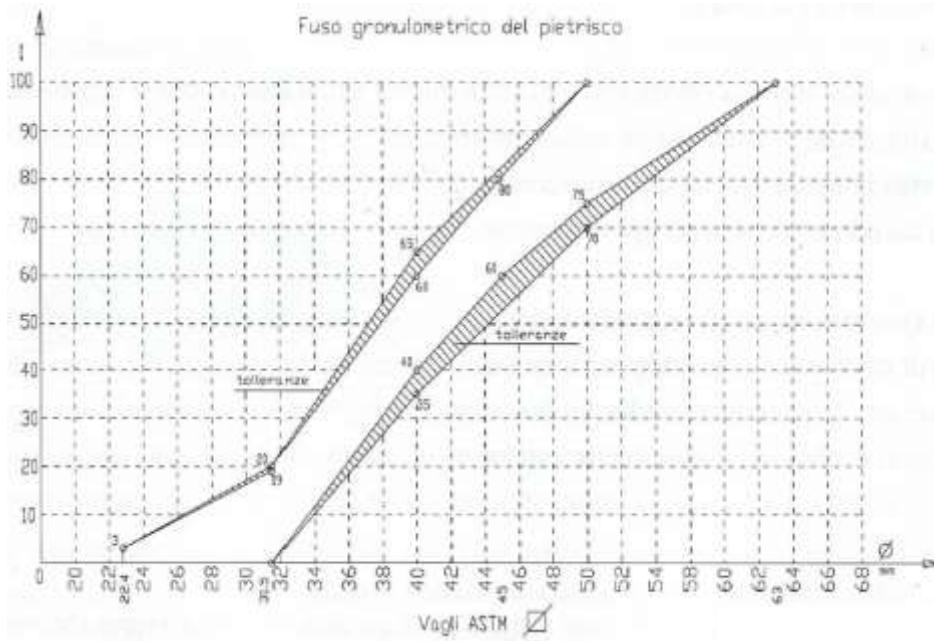
Il modulo di reazione della massicciata [C] può variare tra i 5 e 25 kgf/cm³

Il modulo elastico $E = 2100 \cdot \gamma_m - 2350$ [kg/cm²] γ_m densità massicciata in t/m³, per $\gamma_m = 1,5$ $E = 800$.

In fase progettuale si può assumere $E = 1300$; modulo di Poisson $\nu = 0,2$ coesione $c = 0$

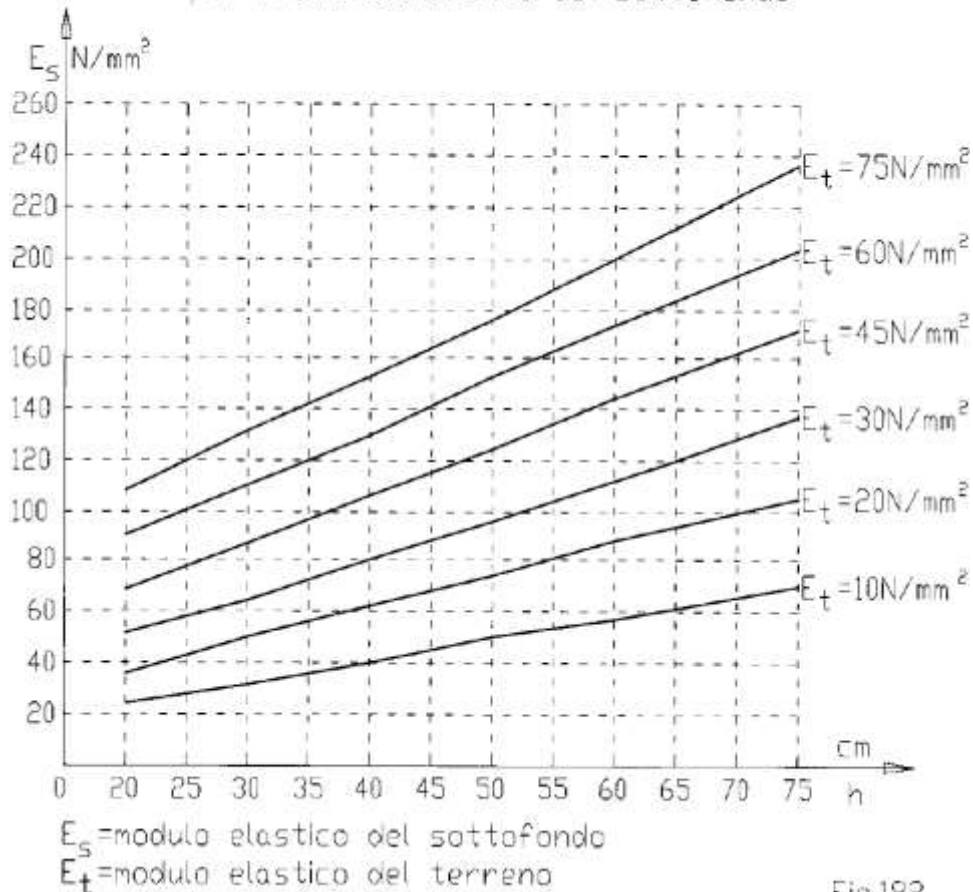
Angolo di attrito $\varphi = 45^\circ$

Massicciata ferroviaria (3)



Massicciata ferroviaria (4)

Abaco delle ferrovie tedesche
per il dimensionamento del sottofondo



Nel caso di subballast per le linee della direttissima Roma Firenze si è utilizzato:

- un $E_d = 7000 \text{ kg/cm}^2$ per il conglomerato bituminoso;
- un $E_d = 800 \text{ kg/cm}^2$ per la fondazione (strato supercompattato);
- un $E_d = 400 \text{ kg/cm}^2$ per il terreno del corpo stradale.

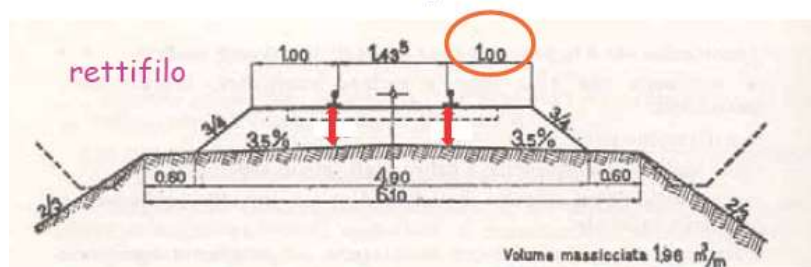
Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (1)

CATEGORIA
DI LINEA

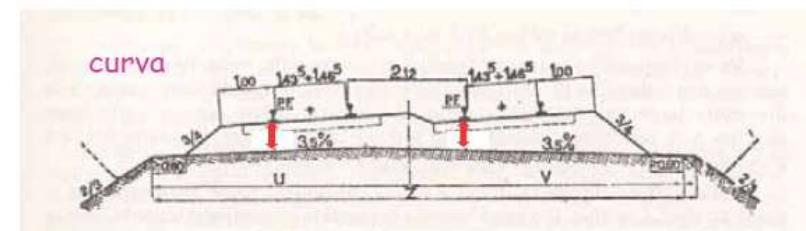
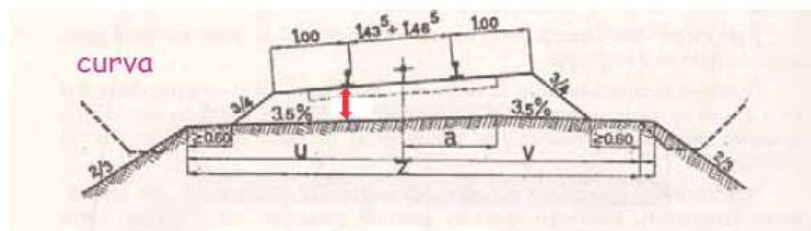
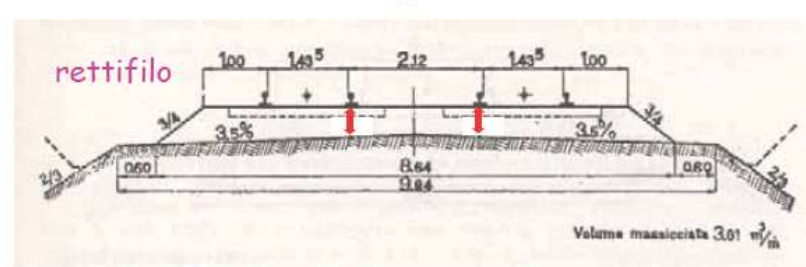
LINEE TIPO A	50 cm
LINEE TIPO B	35 cm

SPESSORE MINIMO
DELLA MASSICCIATA

Linee a semplice binario

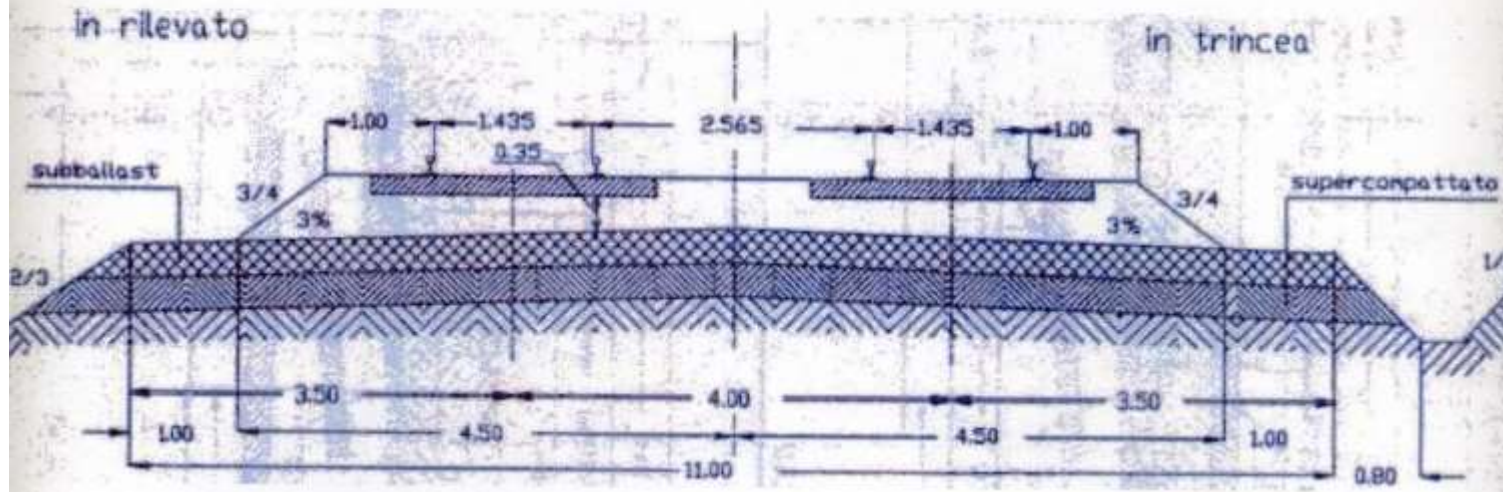


Linee a doppio binario



Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (2)

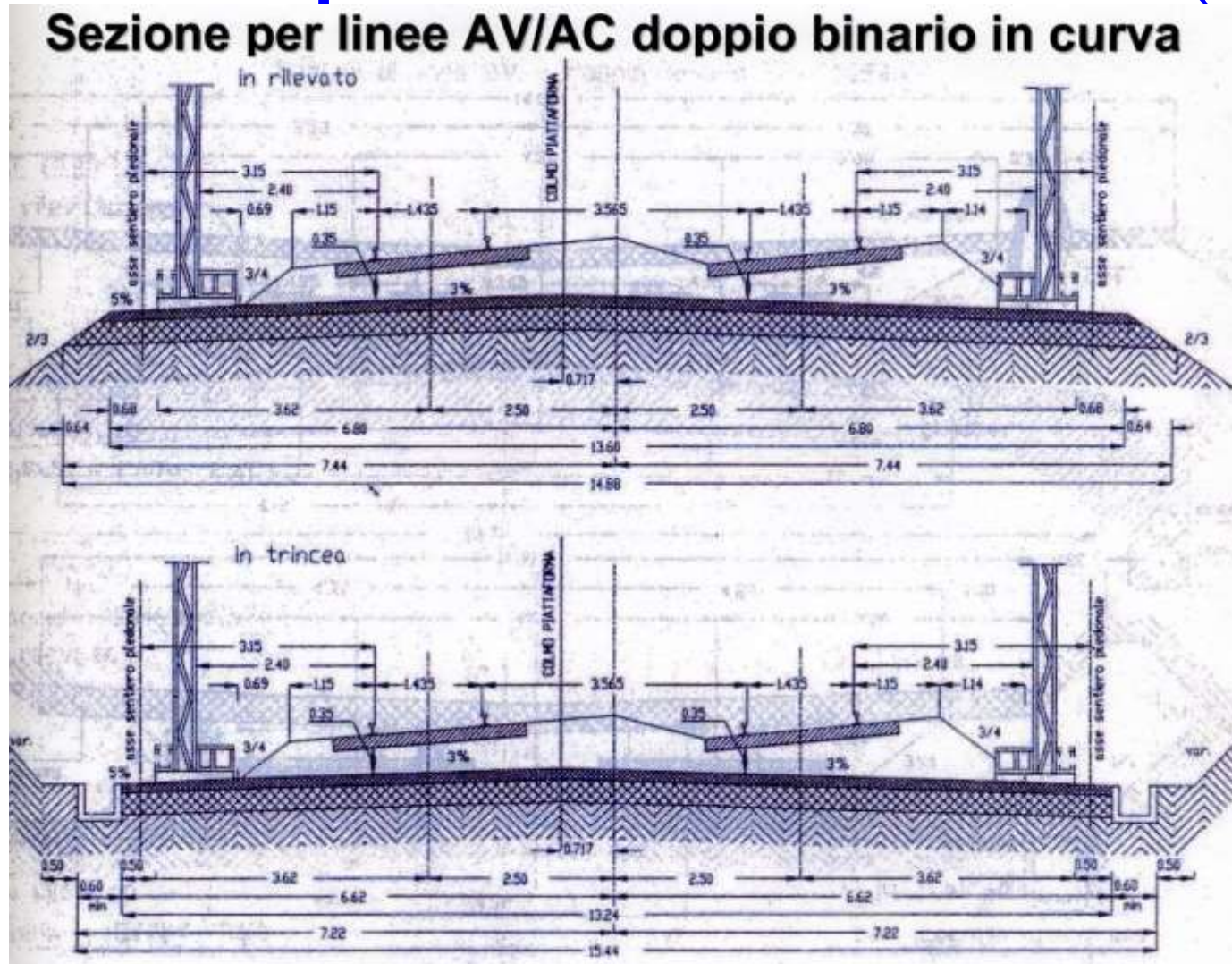
Sezione per linee di nuova costruzione e per raddoppi



Tipi di subballast

	Misto Cementato	Conglomerato bituminoso
Granulometria	0 - 40 mm	0 - 20 mm
Contenuto legante	3%	4,4%
Resistenza a trazione	10,4 bar	23 bar
Modulo elastico E	3.000 bar	40.000 bar a 30°C 90.000 bar a 20°C
Spessore	20 cm	12 cm

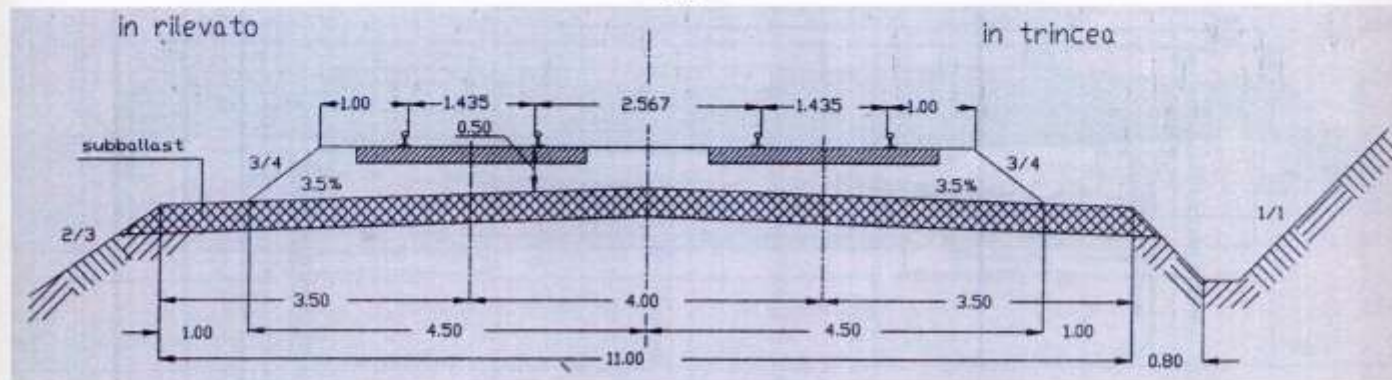
Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (4)



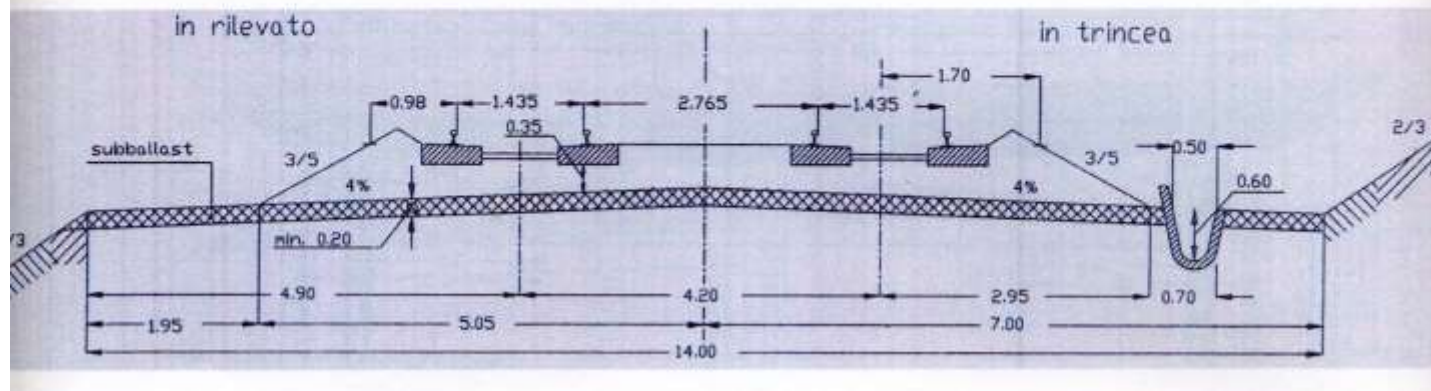
Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (5)

Sezione per linee AV a doppio binario in rettilineo (Giapponese e Francese)

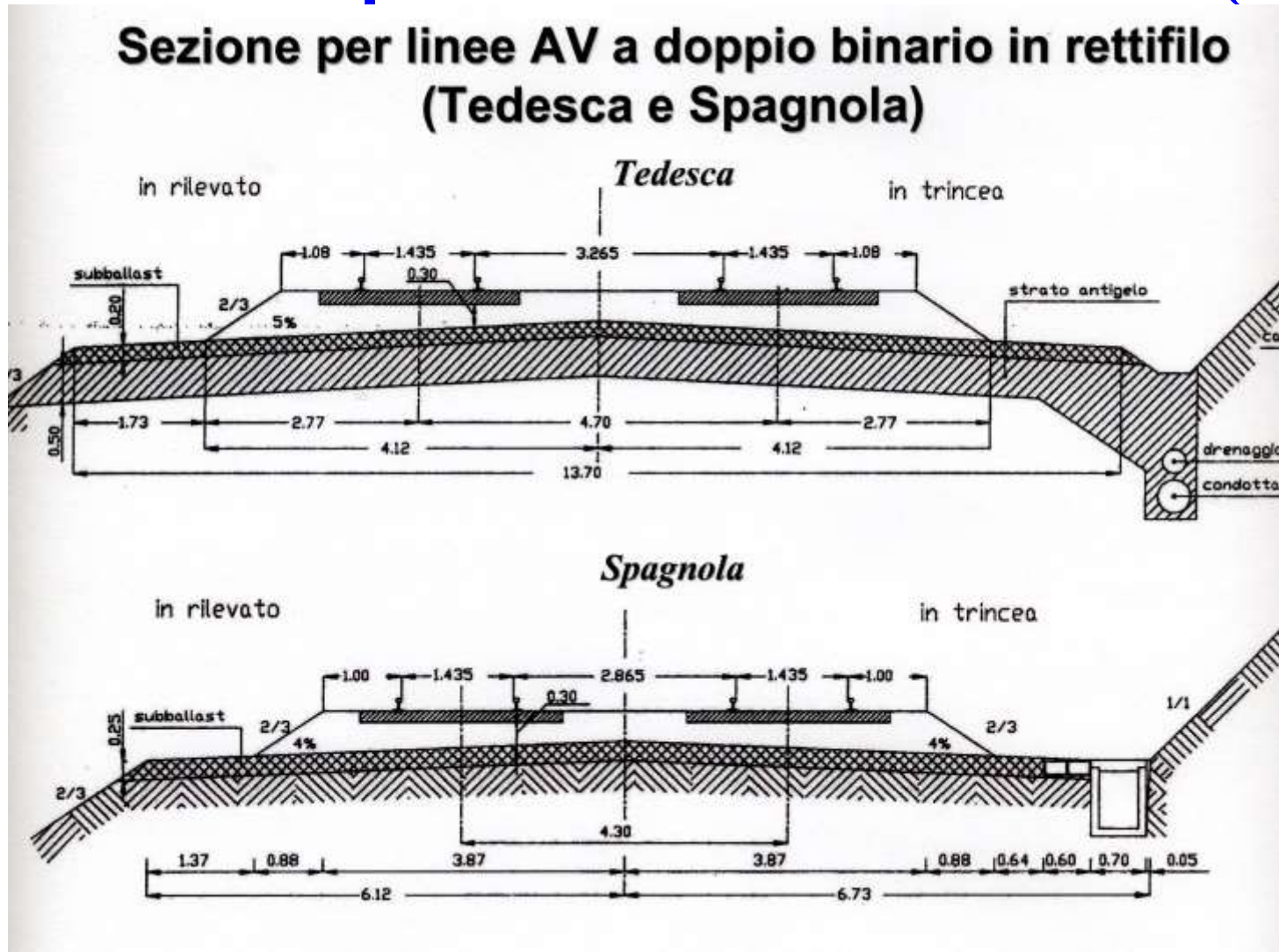
Giapponese



Francese

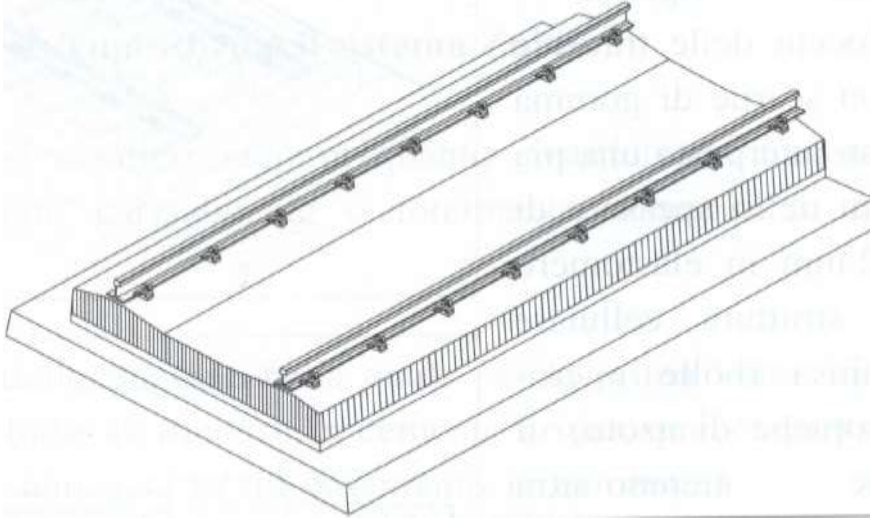


Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (6)

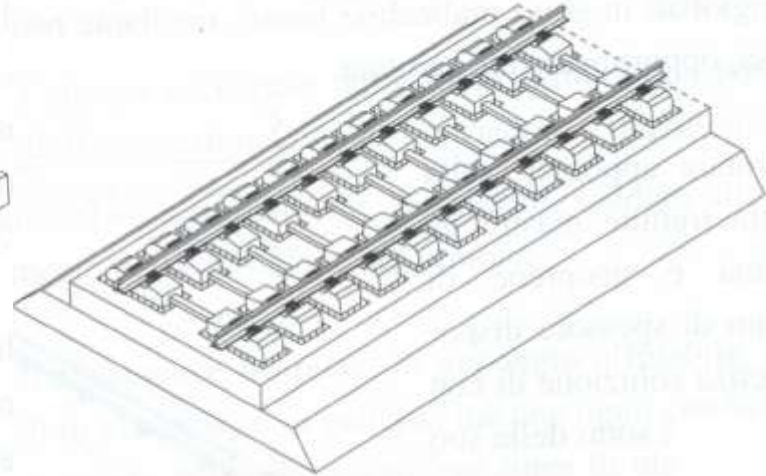


Binario senza Massicciata (1)

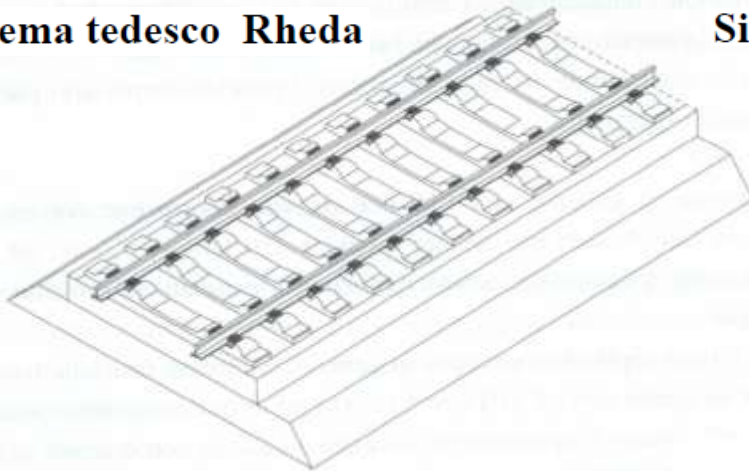
Sistema inglese PACT - Assonometria



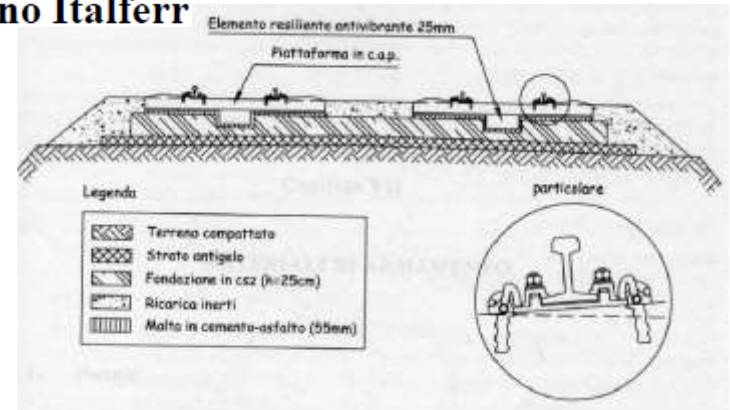
Sistema francese STEDEF



Sistema tedesco Rheda



Sistema italiano Italferr

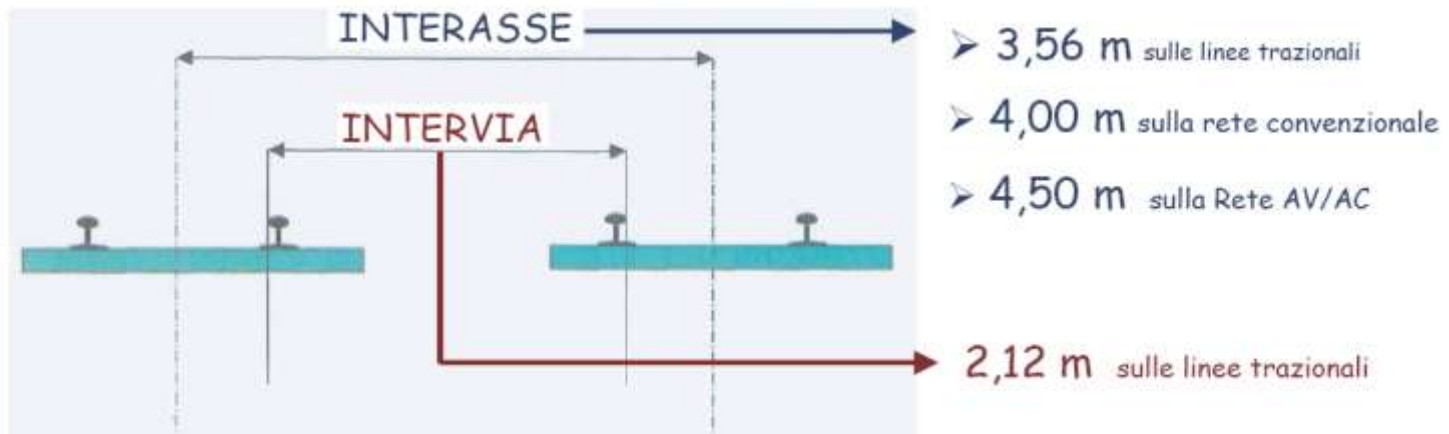


Interasse e intervìa

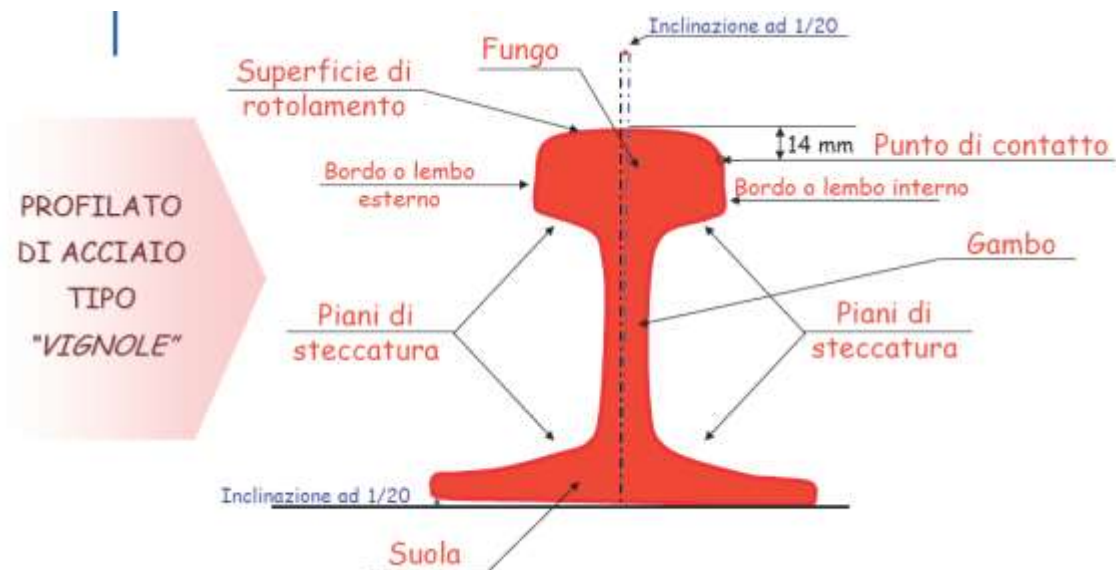
Nelle linee a doppio binario

INTERASSE: distanza, misurata normalmente all'asse del binario, fra gli assi dei due binari adiacenti

INTERVÌA: distanza, misurata normalmente all'asse del binario, fra i bordi interni delle due rotaie interne



Rotaie (1)



direttamente le ruote ferroviarie
 quale poggiano

SUOLA = parte inferiore, tramite la quale la rotaia poggia sulle traverse

GAMBO = parte centrale, posta tra fungo e suola, sede delle forature per la giunzione di due rotaie consecutive

SUPERFICIE DI ROTOLAMENTO = parte superiore del fungo

PIANI DI STECCATURA = piani di raccordo tra fungo e gambo e tra gambo e suola; sono detti così perché tra di essi sono sistemate le "stecche" o "ganasce" in prossimità delle estremità delle rotaie ed in corrispondenza delle giunzioni tra 2 rotaie consecutive

Rotaie (2)

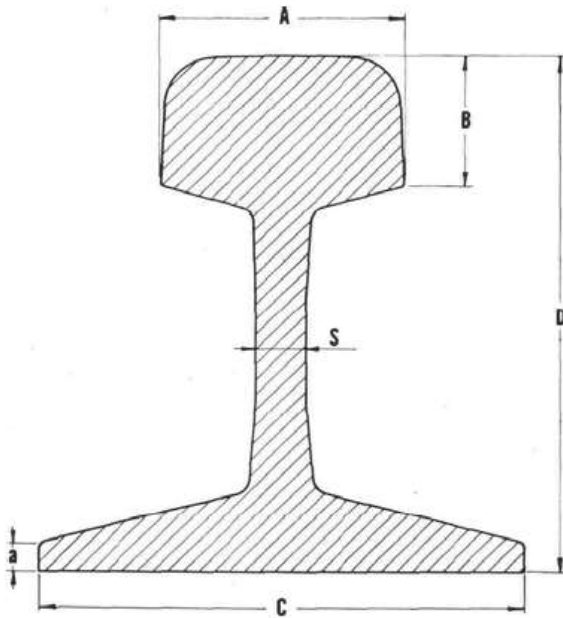


fig. 7 – Dimensioni fondamentali della rotaia

Tipo	kg/ml	A mm	B mm	C mm	D mm	a mm	S mm
RA 36S	36,00	60,0	29,00	100	130	9,00	14,0
FS 46 ³	46,30	65,0	36,87	135	145	8,12	14,0
49	49,00	70,0	38,80	125	148	10,50	14,0
FS 506	50,60	65,0	38,87	135	149	10,12	16,0
50 UNI	49,86	70,0	38,80	135	148	10,00	14,0
60 UNI	60,36	74,3	37,50	150	172	11,50	16,5

Caratteristiche geometriche di alcuni tipi di rotaia

Rotaia	Peso kg	Altezza mm	Lar- ghezza suola mm	Area mm ²	J_x cm ⁴	J_v cm ⁴	W_x cm ³	W_v cm ³	y_c mm
FS 46	46,3	145	135	5.926	1.018		217,3		76,52
UIC 50	49,85	148	135	6.350	1.797	362	242	54	76,2
UIC 60	59,458	172	150	7.686	3.055	512,9	335,5	68,4	91,05
UIC 71	71,27	186	160	9.079	4.151,66	735,06	499,73	91,9	83,07

TABELLA 39

$$M = 0,00786 F$$

Con M massa rotaia in kg/ml, F
sezione rotaia in mm²

Rotaie (3)

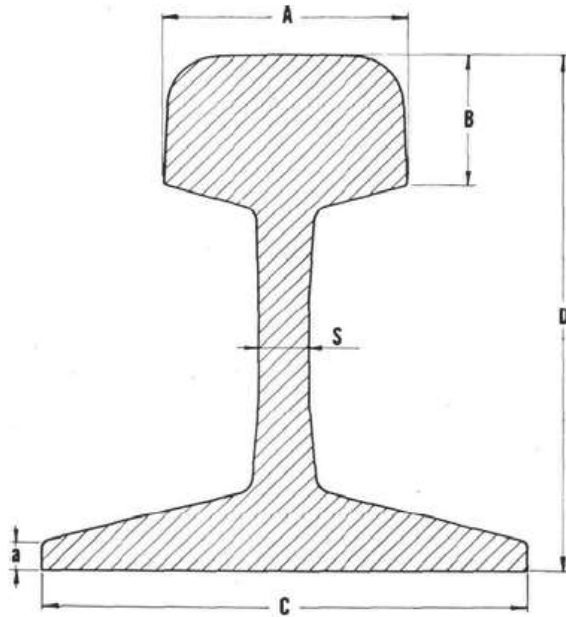


fig. 7 – Dimensioni fondamentali della rotaia

Classi dell'acciaio da rotaia

Tipo	C%	Mn%	Si%	Cr%	P%	S%	Carico Rottura N/mm ²	Tensione Esercizio N/mm ²
700	min 0,40 max 0,60	0,8 1,25	0,05 0,35	-	0,05	0,05	680 830	230
900A	min 0,60 max 0,80	0,8 1,3	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
900B	min 0,55 max 0,75	1,3 1,7	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
1.100	min 0,60 max 0,82	0,8 1,3	0,30 0,90	0,8 1,3	0,03	0,03	1.110	330

Calcolo della Rotaia (1)

Tradizionalmente la rotaia viene considerata come una trave a sezione costante, ancorata alle traverse configurate come vincoli cedevoli.

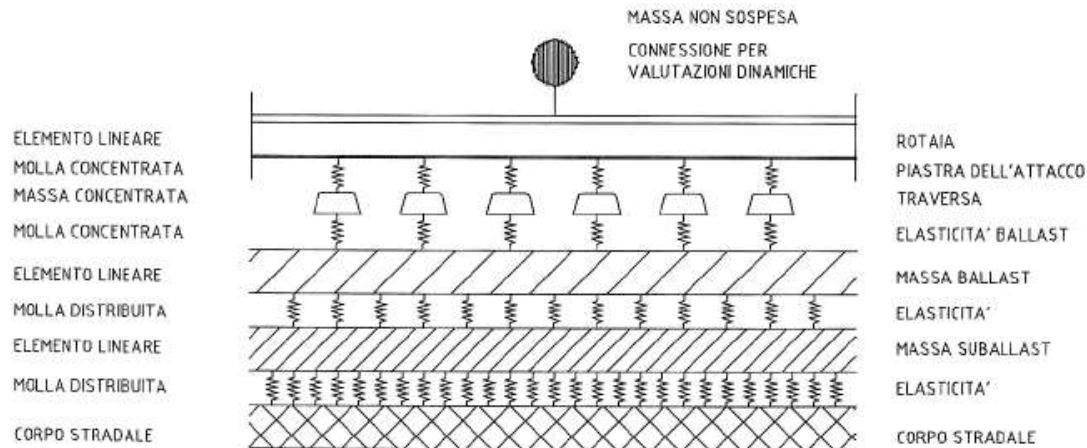
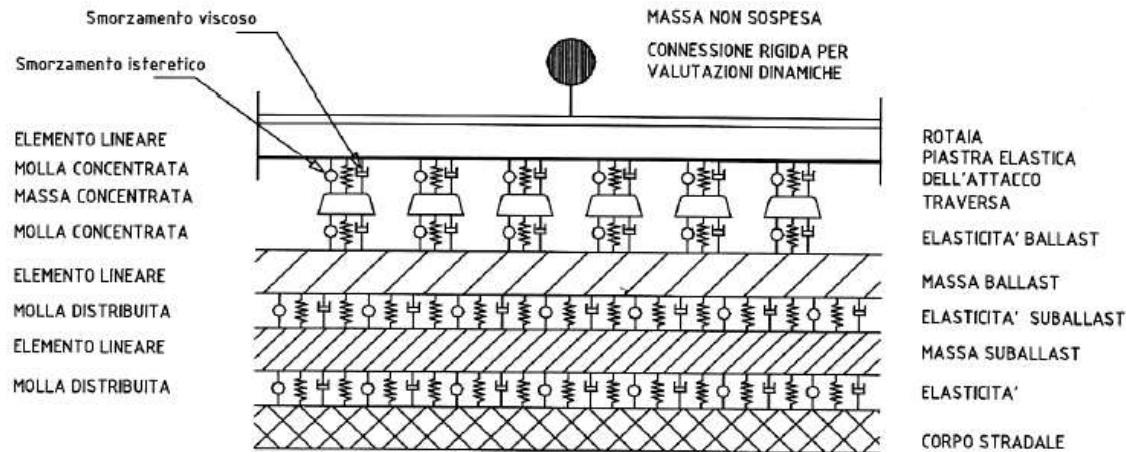
La rotaia risulta sollecitata da forze normali e parallele al proprio asse geometrico ed in particolare le forze normali sono costituite da:

- **carichi verticali trasmessi dalle ruote;**
- **reazioni delle traverse;**
- **forze provocate dal moto di serpeggio;**
- **forze generate dalle oscillazioni trasversali del materiale rotabile;**

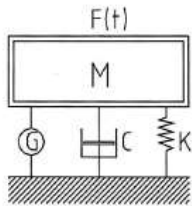
mentre quelle parallele sono rappresentate da:

- **trazione alle ruote;**
- **forzo di frenatura;**
- **forze generate dalle variazioni termiche.**

Calcolo della Rotaia (2)



Calcolo della Rotaia (3)



M= massa non sospesa del treno +
 massa rotaia + massa piattaforma
 G = smorzamento isteretico
 C = smorzamento viscoso
 K = rigidezza dinamica

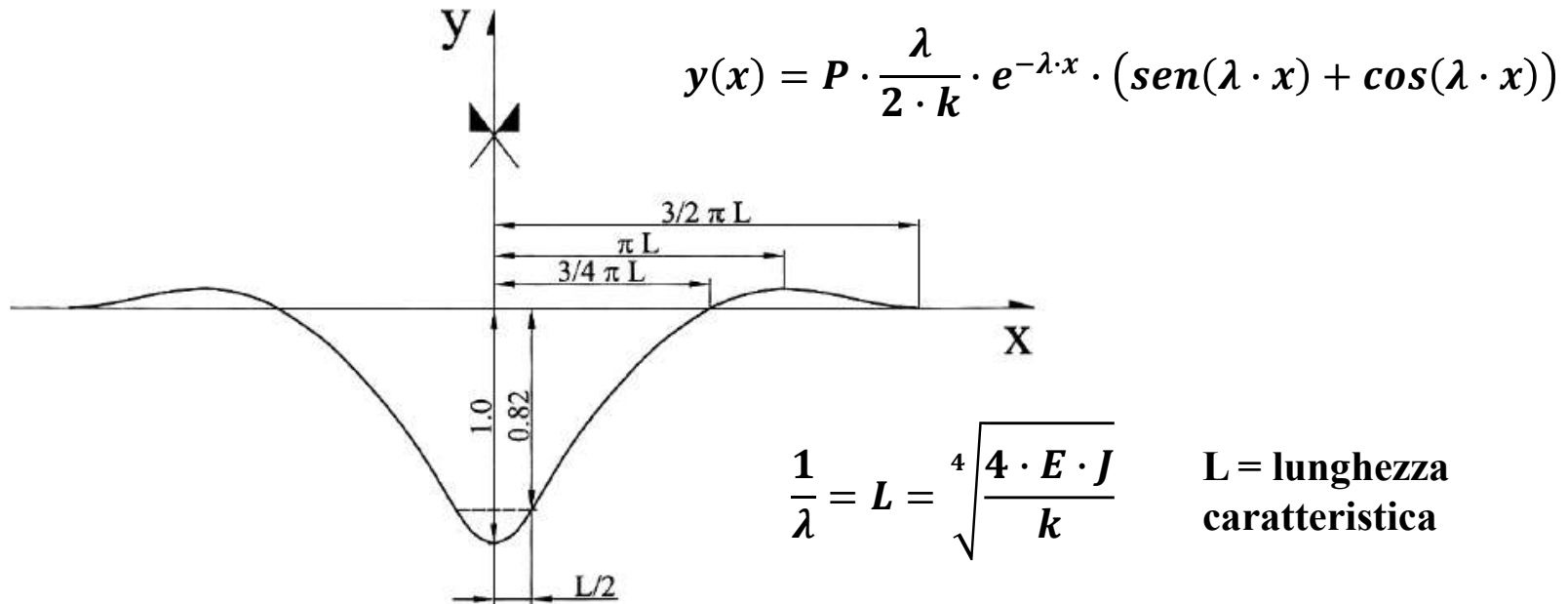
$$R(t) = F(t) - M \ddot{X}(t)$$

In Figura è riportato lo schema di un oscillatore semplice elasto-viscoso-isteretico, che è alla base del modello. In particolare esso è caratterizzato da legami:

- elastici: per i quali sussiste la relazione lineare fra sollecitazione e deformazione, individuata mediante la rigidezza elastica K misurata in kN/mm;
- viscosi: in grado di dissipare energia al crescere della velocità di applicazione dei carichi. Tale capacità è espressa mediante il coefficiente di smorzamento viscoso C , misurato in kN/mm s;
- isteretici: in grado di dissipare energia proporzionalmente alla deformazione in un ciclo di deformazione in fase con la velocità. Tale capacità è espressa mediante il coefficiente di smorzamento isteretico G , misurato in kN/mm.

	Modulo di elasticità (daN/cm ²)	Coefficiente di Poisson	Coefficiente di elasticità	Smorzamento critico	Peso (kg)	Densità (kg/m ³)	Momento d'inerzia (cm ⁴)
Corpo stradale	-	-	16.500	0.15	-	-	-
Subballast	$1.0 \cdot 10^5$	0.40	$1.375 \cdot 10^7$	-	-	-	18.857
	$1.5 \cdot 10^5$	0.38	$2.062 \cdot 10^7$	-	-	$2.3 \cdot 10^3$	18.513
	$2.0 \cdot 10^5$	0.35	$2.750 \cdot 10^7$	-	-	-	18.051
Massicciata	$1.0 \cdot 10^1$	0.35	$4.7 \cdot 10^4$	0.25	-	$1.25 \cdot 10^3$	$4.48 \cdot 10^5$
Traversa	-	-	-	-	195	-	-
Piastra sottorotaia	-	-	$2.0 \cdot 10^5$	0.18	-	-	-
Rotaia	$2.1 \cdot 10^6$	-	-	-	-	$7.8 \cdot 10^3$	3.055

Calcolo della Rotaia (4)



E = modulo elastico rotaia

J = momento d'inerzia rotaia

k_v = costante di Winkler

S = superficie reagente sotto la traversa in corrispondenza rotaia

I_t = interasse traverse

$$k = \frac{k_v \cdot S}{I_t}$$

Calcolo della Rotaia (5)

Metodo di Timoschenko

$$\bar{b} = \frac{b \cdot u}{I_t}$$

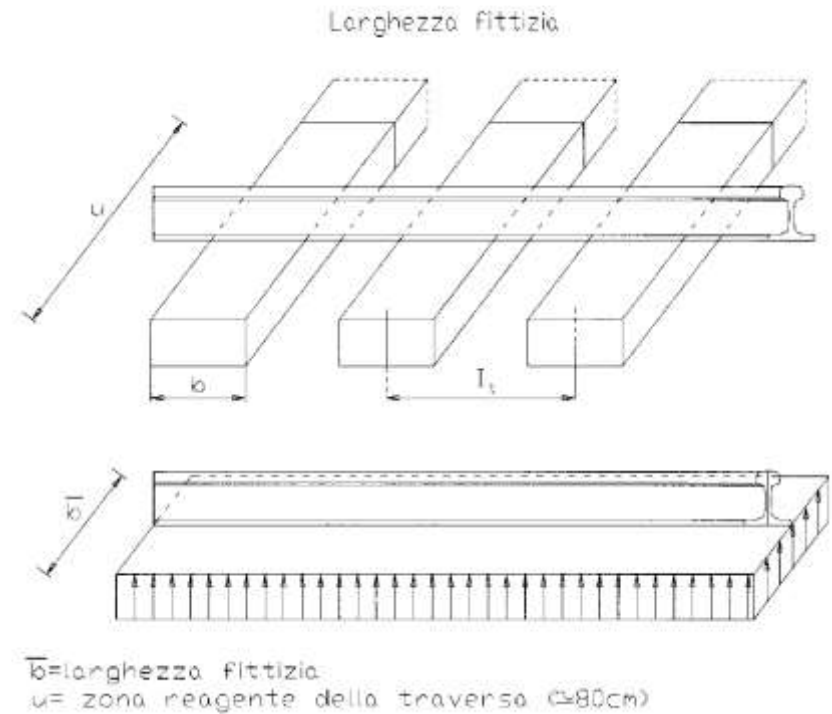
$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{\bar{b} \cdot k_v}}$$

$$M = C_d \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{4}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Momento

Sollecitazione



Linea di tipo D4 caratterizzata da Peso asse $P = 22500$ daN; rotaia 60UIC con $J = 3055$ cm⁴ $W = 335,5$ cm³ $\sigma_{amm} = 2800$ daN/cm²

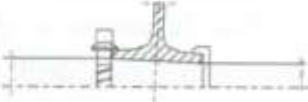
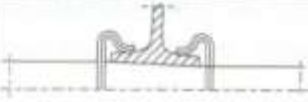
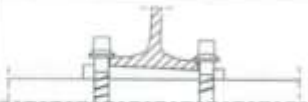

Larghezza traversa $b = 30$ cm con interasse $I_t = 60$ cm ed un $u = 80$ cm $k_v = 7$ daN/cm³
 C_d (incremento dinamico) = 1,75

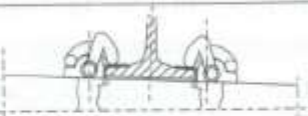
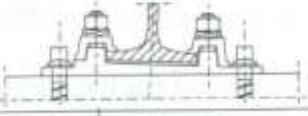
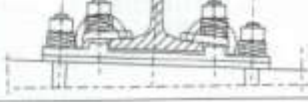
Si ottiene: $L = 98$ cm ed un $M = 482.343,75$ daN*cm $\sigma = 1438$ daN/cm²

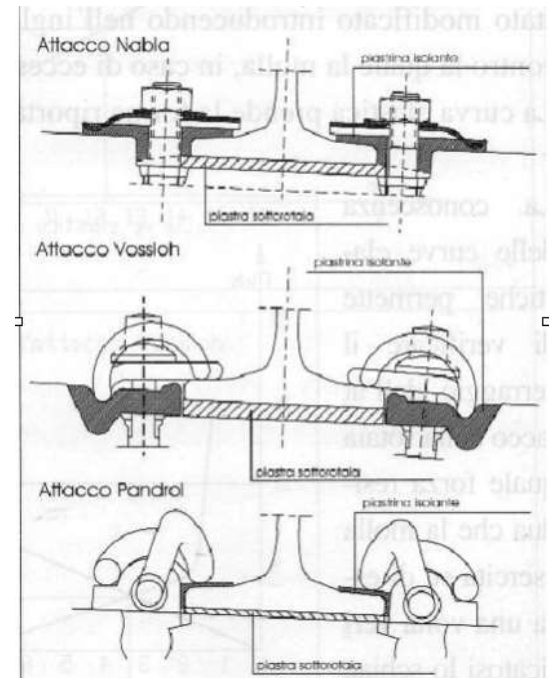
Attacchi (1)

		POSA	
		diretta	indiretta
ATTACCO	diretto		
	indiretto		

Attacchi (2)

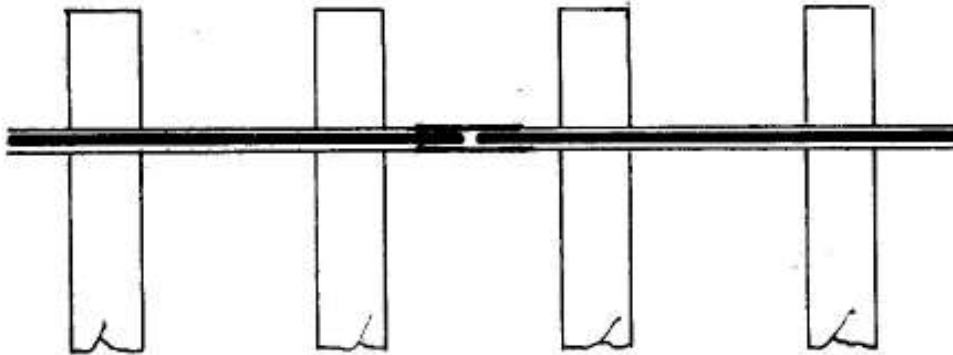
Panorama degli attacchi				
Colleg. rotaia/trav.	Posa	Deformabilita'	Traversa	Esempio
Diretto	Diretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	
	Indiretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	

Indiretto	Diretta	Rigido	-----	
		Elastico	c.a.p.	
	Indiretta	Rigido	Legno / c.a.p.	
		Elastico	c.a.p.	

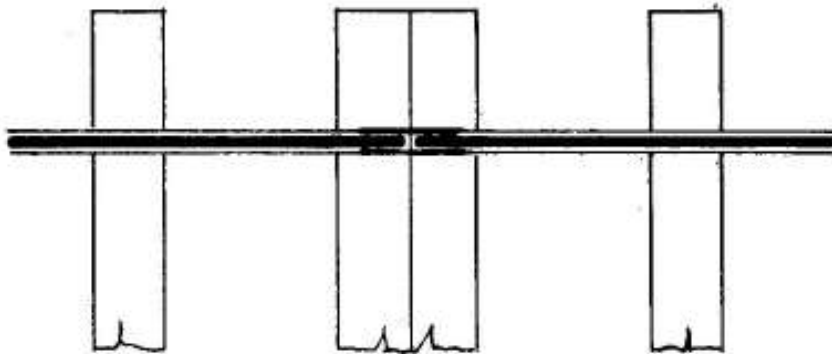


Giunzioni (1)

Giunto sospeso o appoggiato

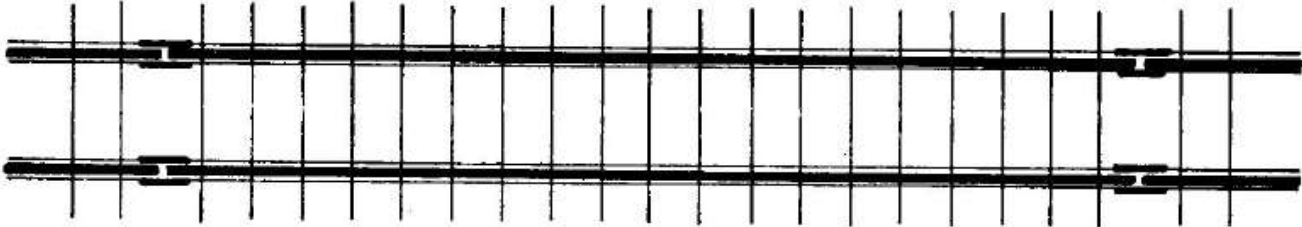


a

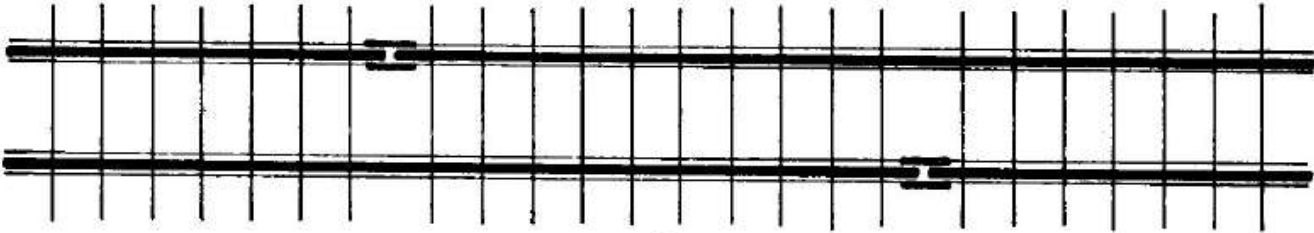


Giunzioni (2)

Giunzioni affacciate e sfalsate



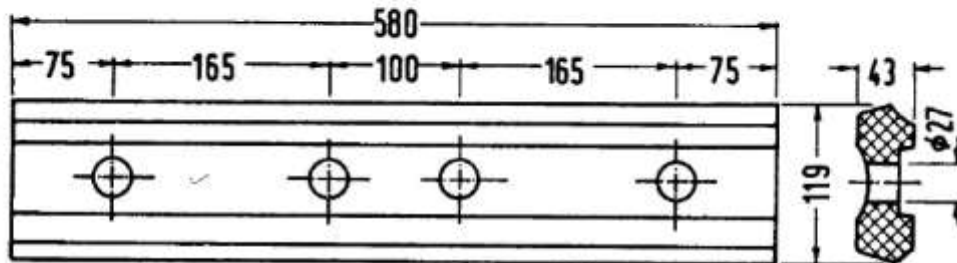
a



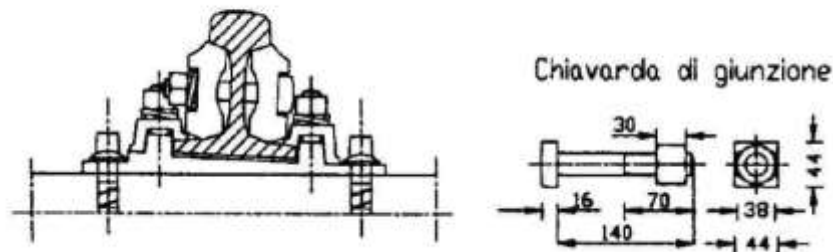
b

Giunzioni (3)

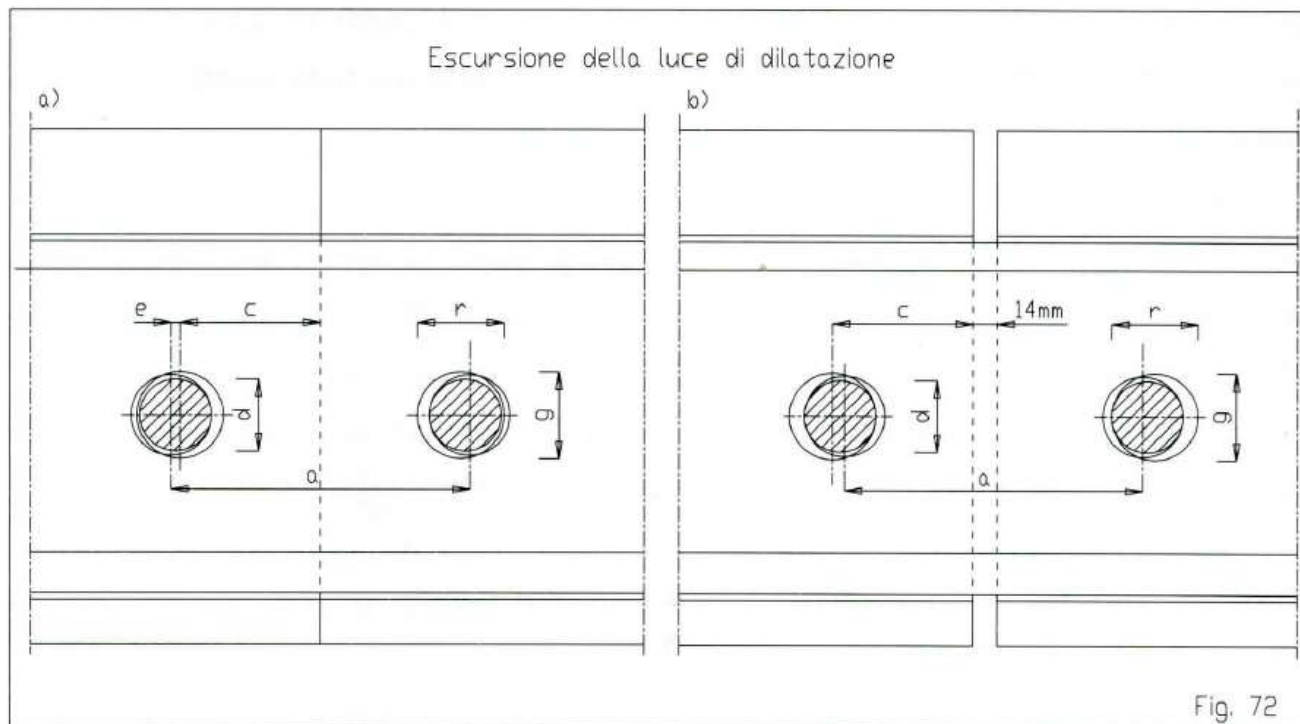
Ganascia per giunzioni tra rotaie



Le rotaie hanno lunghezza di 12,00 metri in funzione della dilatazione massima ammissibile (per una escursione di temperatura pari a 70° si ha una dilatazione di 10 mm; le FS indicano in 14 mm la dilatazione massima ammissibile).



Giunzioni (4)



Massima dilatazione ammessa da FS $L_{max} = 2 \cdot (g + r - 2 \cdot d - 1) = 2 (27+29 - 2 \cdot 24-1) = 14 \text{ mm}$

Reciproco legame tra le diverse grandezze $0,5 \cdot (g+r) - d = 0,5 \cdot a - c + 1$

Dove: g diametro foro ganascia, r diametro foro rotaia, d diametro chiavarda, a distanza fra i centri dei fori centrali delle ganasce, c distanza del centro del foro estremo della rotaia dall'estremità della rotaia stessa, e (= 3 mm) disassamento tra i fori mediani delle ganasce ed i fori delle rotaie

La termica del binario (1)

Legge di dilatazione della rotaia al variare della temperatura:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) = L_0 + \Delta L$$

L_0 : lunghezza rotaia alla temperatura di riferimento

Δt : variazione della temperatura

α : coefficiente di dilatazione (acciaio laminato: $11,5 \times 10^{-6} / 12 \times 10^{-6} [1/C^\circ]$)

Lunghezza rotaia	ΔL per $^\circ C$
12 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 12.000 = 0,144 [mm]$
18 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 18.000 = 0,216 [mm]$
24 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 24.000 = 0,288 [mm]$
30 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 30.000 = 0,360 [mm]$
36 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 36.000 = 0,432 [mm]$
48 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 48.000 = 0,576 [mm]$

Allungamento delle rotaie corrispondente ad un'escursione di $70^\circ C$

l (m)	12	18	24	30	36	48
Δl (mm)	9,66	14,49	19,39	24,16	28,98	38,64

TABELLA 80

Max escursione termica rotaie in Italia = $t_{max} - t_{min} = 60 - (-10) = 70^\circ$

$$t_0 = t_m + 6 = \left(\frac{60 + 10}{2} - 10 \right) + 6 = 31^\circ \quad t_0 = \text{Temperatura di posa a luce zero, } t_m \text{ temperatura media}$$

$$\Delta L = 1,4 = \alpha \cdot L \cdot \Delta t_q \quad \Delta t_q = t_0 - t_q = \frac{1,4}{\alpha \cdot L} \quad t_q \text{ temperatura di massima apertura (14 mm) in assenza di vincoli, con L espresso in cm.}$$

La termica del binario (2)

Luci di posa

Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)							Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)						
	48	36	30	24	18	12	9		48	36	30	24	18	12	9
- 10				12	9	6	4	11	11	9	7	6	4	3	2
- 9			14	11	9	6	4	12	11	8	7	5	4	3	2
- 8			14	11	8	6	4	13	10	8	6	5	4	3	2
- 7			14	11	8	5	4	14	10	7	6	5	4	3	2
- 6			13	11	8	5	4	15	9	7	6	5	4	3	2
- 5			13	10	8	5	4	16	9	6	5	4	3	2	2
- 4			13	10	8	5	4	17	8	6	5	4	3	2	2
- 3			12	10	7	5	4	18	7	6	5	4	3	2	2
- 2	14	12	9	7	5	4		19	7	5	4	3	3	2	1
- 1	14	11	9	7	5	3		20	6	5	4	3	3	2	1
0	13	11	9	7	4	3		21	6	4	4	3	2	1	1
1	13	11	9	6	4	3		22	5	4	3	3	2	1	1
2	12	10	8	6	4	3		23	5	3	3	2	2	1	1
3	12	10	8	6	4	3		24	4	3	2	2	2	1	1
4	12	10	8	6	4	3		25	3	3	2	2	2	1	1
5	11	9	7	6	4	3		26	3	2	2	1	1	1	1
6	14	11	9	7	5	4	3	27	2	2	1	1	1	1	0
7	14	10	9	7	5	3	2	28	2	1	1	1	1	0	0
8	13	10	8	7	5	3	2	29	1	1	1	1	0	0	0
9	13	9	8	6	5	3	2	30	0	0	0	0	0	0	0
10	12	9	8	6	5	3	2	31	0	0	0	0	0	0	0

TABELLA 81

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (t_0 - t_p)$$

Δl = luce di posa

t_p = temperatura di posa

La termica del binario (3)

L'effetto della variazione di temperatura sullo stato della tensione interna σ della rotaia con dilatazione totalmente impedita è dato dalle seguenti:

$$\alpha \cdot L \cdot \Delta t = \Delta L = \varepsilon \cdot L = (N \cdot L) / (E \cdot A)$$

$$N/A = \sigma = \varepsilon \cdot E = (\Delta L/L) \cdot E = (\alpha \cdot \Delta t \cdot L/L) \cdot E = \alpha \cdot E \cdot \Delta t = 237 \cdot \Delta t \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

E: modulo elastico (per l'acciaio 20.601.000 N/cm²);

α : coefficiente di dilatazione (per acciaio 11,5x10⁻⁶/ 12·10⁻⁶ [1/C°])

$$\alpha \cdot E = 237 \div 247 \text{ [N / cm}^2 \cdot \text{C}^\circ\text{]}$$

$$N = \alpha \cdot E \cdot A \cdot \Delta t = 247 A \cdot 1^\circ \text{ [N]} \\ = 247 A \cdot 1^\circ / 9,81 \text{ [kgf]}$$

Tipo di rotaia	Forza di compressione o trazione per ogni °C
36 UNI	1105 kg
46 UNI	1500 kg
50 UNI	1525 kg
60 UNI	1845 kg

La termica del binario (4)

Resistenze alla dilatazione libera

Le rotaie giuntate poste in opera subiscono una serie di resistenze che si oppongono alla dilatazione libera.

Le resistenze alla dilatazione/contrazione libera sono:

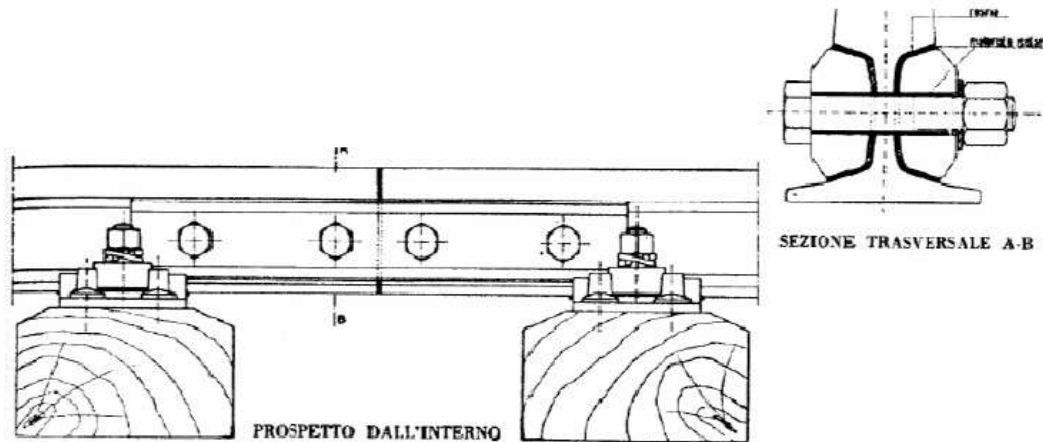
- 1. Resistenza di attrito che si sviluppa nelle giunzioni tra le ganasce e le testate delle rotaie giuntate, per la pressione imposta dalle chiavarde.**
- 2. Resistenza degli appoggi che comprende due aliquote: quella degli attacchi rotaia-traversa, e quella, della massicciata (attrito tra il ballast e la traversa cui sono ancorate le rotaie per mezzo degli organi di attacco).**

La termica del binario (5)

1. Resistenza di attrito che si sviluppa nelle giunzioni tra le ganasce e le testate delle rotaie giuntate, per la pressione imposta dalle chiavarde.

Il valore di tale resistenza dipende soprattutto dall'entità del serraggio delle chiavarde, dalla ruvidezza dei piani a contatto e dalla loro lubrificazione. In media si può ritenere che tale resistenza sia circa $R_g = 58.860 \text{ N}$ (6.000 kgf) per ciascuna coppia di ganasce a condizione che le superfici di contatto siano lubrificate come prescritto e che le chiavarde siano state strette con le normali chiavi in dotazione.

$$R_g = 58.860 = \Delta t_g \cdot 237 \cdot A \quad \text{con } \Delta t_g \text{ salto termico per vincere la resistenza delle ganasce}$$
$$\Delta t_g = 58.860 / (237 \cdot A)$$

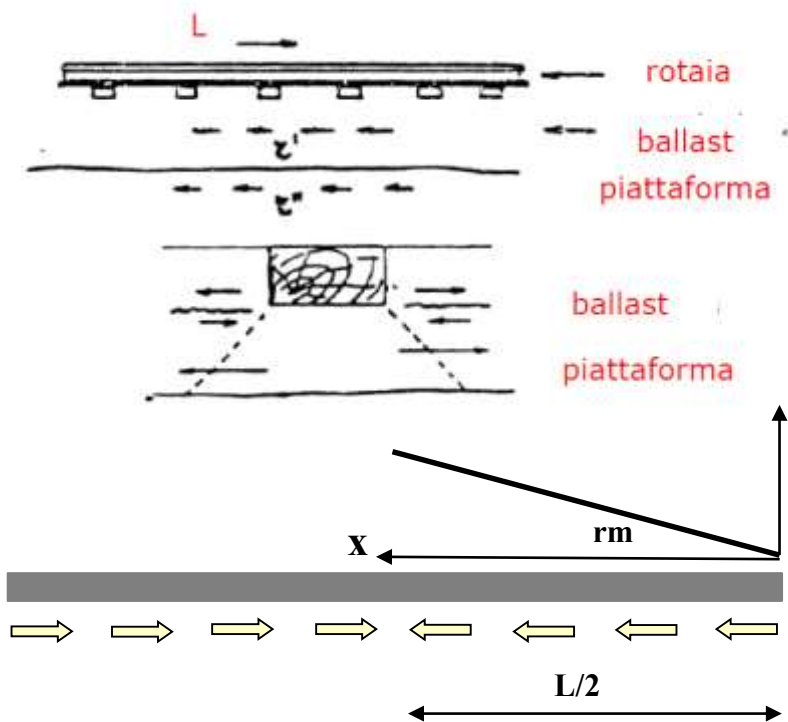


La termica del binario (6)

2. Resistenza degli appoggi che comprende due aliquote: quella degli attacchi (circa 7,5 kN per attacco indiretto elastico, $r_a=2 \cdot 7,5/0,6=25$ kN/m = 2.500 kgf/m), e quella, r_m , della massicciata (attrito tra il ballast e la traversa cui sono ancorate le rotaie per mezzo degli organi di attacco). Sono molti gli elementi da considerare nella determinazione del valore di tale resistenza. Esperienze di campo hanno permesso di stabilire valori variabili sui quali basare il calcolo: $r_m = 300 \div 880$ kgf/m ($3 \div 8,8$ kN/m) per metro di rotaia, si possono adottare anche valori diversi in funzione del tipo di traversa, attacco, e materiale massicciata:

- **8,8 kN/m per binario armato con attacchi indiretti od elastici su traverse in cemento armato precompresso, annegate in massicciata di pietrisco;**
- **5,9 kN/m per binario armato con attacchi indiretti od elastici su traverse in legno, annegate in massicciata di pietrisco;**
- **3,0 kN/m per binario armato con attacchi diretti su traverse in legno, annegate in massicciata di ghiaiosa;**

La termica del binario (7)



$$d(\Delta l) = (\alpha \cdot dx \cdot \Delta t) - (r_m \cdot x / EA) dx$$

$d(\Delta l)$ = allungamento del trattino elementare dx di rotaia alla distanza x dalla testata

$$\Delta l_x = \int_0^x \left(\alpha \cdot \Delta t - \frac{r_m}{E \cdot A} \cdot x \right) dx = \alpha \cdot \Delta t \cdot x - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot x^2$$

Δl_x = allungamento del tratto di rotaia di lunghezza x

$$d(\Delta l) = (\alpha \cdot dx \cdot \Delta t) - (r_m \cdot x / EA) dx = 0$$

$x = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A / r_m$ distanza dalla testata con $\Delta l = 0$

$$\frac{L}{2} = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{E \cdot A}{r_m} \quad \Delta t_m = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot \alpha \cdot E \cdot A} = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot 237 \cdot A}$$

Δt_m = salto termico per annullare lo spostamento in mezzeria

$$R_{m,L/2} = N = \Delta t_m \cdot \alpha \cdot E \cdot A = r_m \cdot L/2$$

$$\Delta l_{L/2} = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{2} - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{4}$$

$\Delta l_{L/2}$ = allungamento testata per salto termico Δt_m

La termica del binario (8)

Variando la temperatura, fra l'inizio e la fine del salto termico, la rotaia si libera gradualmente, dal centro verso la testata, dal vincolo costituito dalla resistenza agli appoggi, passando al regime di dilatazione libera. La rotaia subir , quindi, una variazione di lunghezza diversa da punto a punto, massima in testata, nulla al centro. In definitiva la variazione di lunghezza della rotaia, alla fine del salto termico, risulta pari alla met  di quella che si avrebbe in assenza di vincolo.

Per esempio, in una rotaia di 36 metri del tipo 60 UNI per superare la resistenza degli appoggi occorre un salto di temperatura di circa 6 C:

$$\Delta t_m = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot 237 \cdot A} = \frac{59 \cdot 3600}{2 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 5,8^\circ \cong 6,0^\circ$$

La variazione di lunghezza della rotaia per  C, in regime di dilatazione libera sar :

$$\Delta l(L) = 2 \cdot [\alpha \cdot (L/2) \cdot \Delta t_m] = 2 \cdot 0,0000115 \cdot 18.000 \cdot 1 = 0,414 \text{ mm.}$$

La variazione di lunghezza della rotaia con vincolo della massicciata alla fine del salto termico Δt_m sar :

$$\begin{aligned} \Delta l(L) &= 0,5 \times 0,414 \times 5,8 = 1,20 \text{ mm} \\ &= 2 \cdot \left[\frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[\frac{59}{2 \cdot 20601000 \cdot 76,86} \cdot \left(\frac{3600}{2} \right)^2 \right] = 0,120 \text{ [cm]} = 1,2 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

La termica del binario (9)

Tabella Salti termici limite

Profilo rotaia e sezione in [cm ²] ↓	Δt_g [°C]	r_m [N/cm]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]
Lunghezza → barra [m]			12	18	24	36	48
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	30	1,3	1,9	2,6	3,8	5,1
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	59	2,6	3,8	5,1	7,6	10,1
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	88	3,7	5,6	7,5	11,2	15,0
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	30	1,2	1,8	2,4	3,6	4,7
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	59	2,4	3,5	4,7	7,1	9,4
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	88	3,5	5,3	7,0	10,6	14,1
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	30	1,0	1,5	2,0	3,0	3,9
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	59	2,0	2,9	3,9	5,8	7,8
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	88	2,9	4,3	5,8	8,7	11,6

**Salto termico
giunzioni**

**resistenza
massicciata**

Salti termici massicciata

La termica del binario (10)

$R_g = 58860 \text{ N}$	Resistenza di attrito degli organi di giunzione
$r_a = 25 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito fra piastra e suola di appoggio della rotaia ripartita sull'interasse delle traverse
$r_m = 8,8 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata di pietrisco sotto traverse in c.a.p. con attacchi indiretti o elastici
$r_m = 5,9 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata di pietrisco sotto traverse in legno con attacchi indiretti o elastici
$r_m = 3 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata ghiaiosa sotto traverse in legno con attacchi diretti

La termica del binario (11)

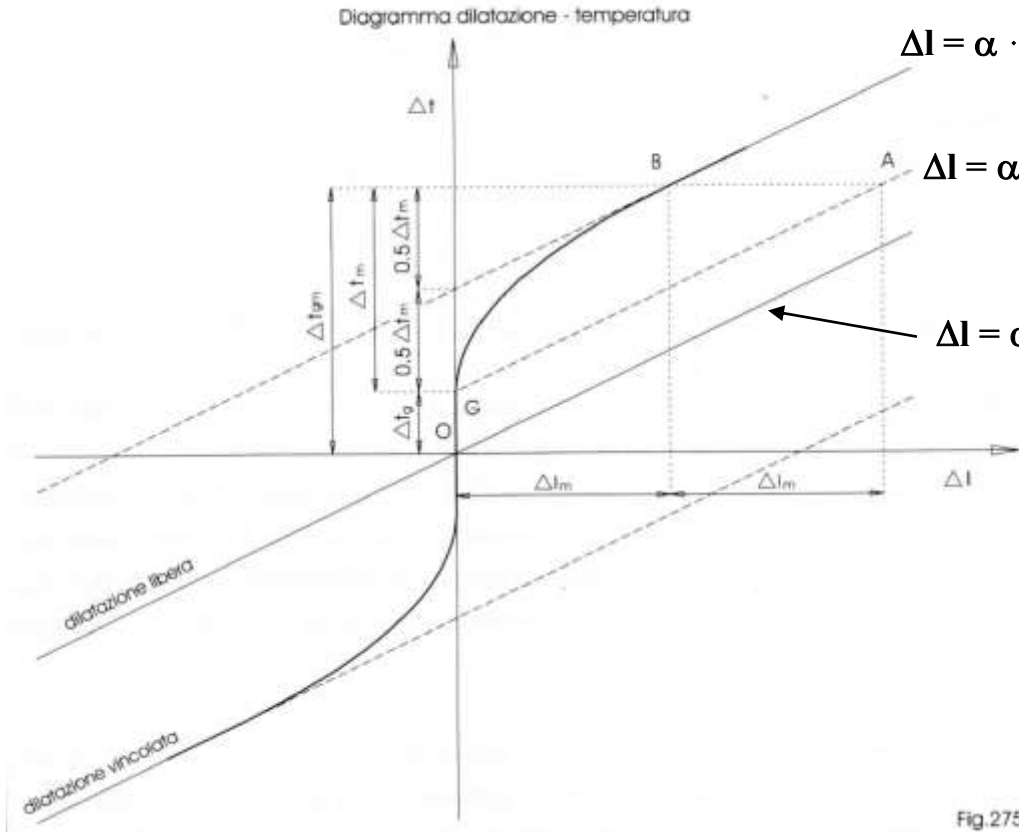


Fig.275

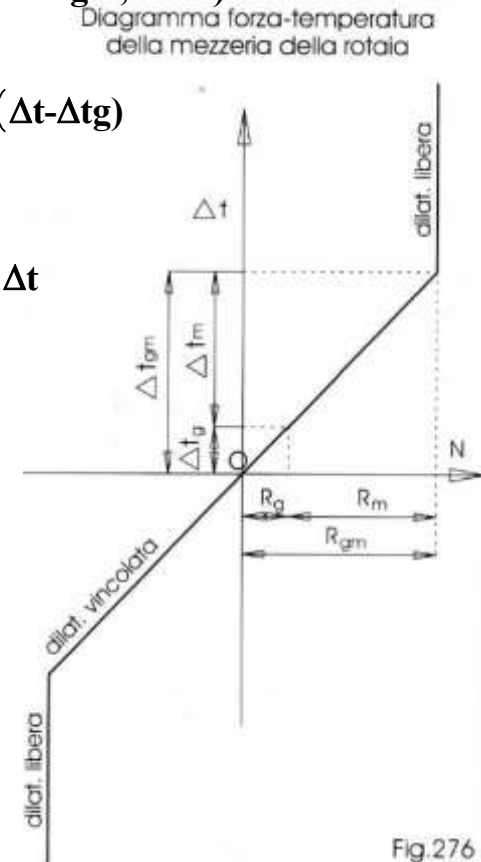


Fig.276

Alla fine del tratto (G-B)
$$\Delta l_m = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{2} - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{4}$$

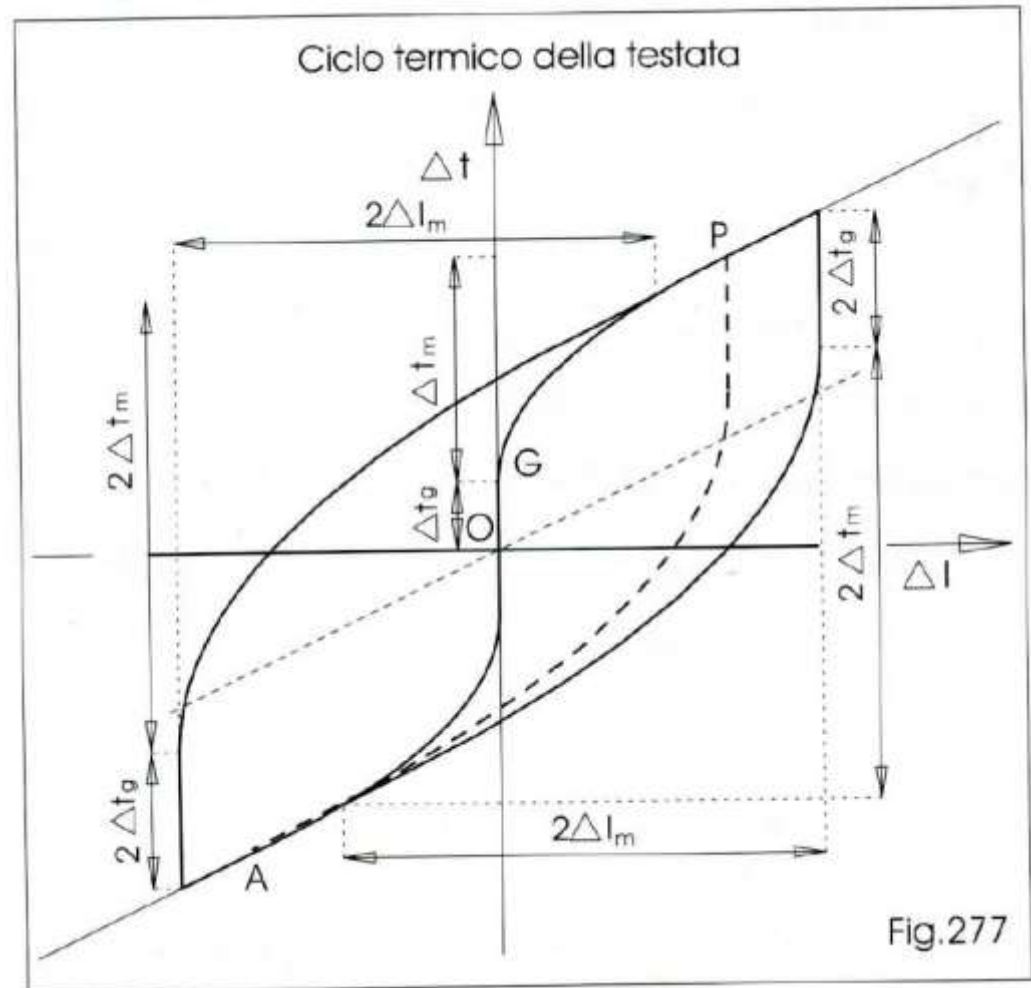
Oltre B
$$\Delta l = \alpha \cdot (L/2) \cdot (\Delta t - 0,5 \cdot \Delta t_m - \Delta t_g)$$

La termica del binario (12)

Movimenti e sollecitazioni in una rotaia sottoposta ad un salto termico in diverse condizioni di vincolo

Dilatazione	Δl	$\sigma(N)$
libera	$\alpha l \Delta t$	0
parzialmente impedita	$0,5 \alpha l \Delta t$	$237 \Delta t$
impedita	0	$237 \Delta t$

TABELLA 79



La termica del binario (14)

Temperatura di chiusura luce
in condizioni vincolate

$$t_c = t_0 + \Delta t_g + 0,5 \cdot \Delta t_m$$

$$= t_0 + (Rg/237 \cdot A) + (rm \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$$

Temperatura di completa
apertura luce in condizioni
vincolate

$$t_a = t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - \Delta t_g - 0,5 \cdot \Delta t_m$$

$$= t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - (Rg/237 \cdot A) - (rm \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$$

Temperatura di massima
apertura senza vincoli

Per UNI 60 $rm = 88$ [N/cm] $L=36$ [m]

$$t_c = 31 + \frac{58860}{237 \cdot 76,86} + \frac{88 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 38,5$$

$$t_a = 31 - \frac{1,4}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} - \frac{58860}{237 \cdot 76,86} - \frac{88 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong -10,4$$

Per UNI 60 $rm = 59$ [N/cm] $L=36$ [m]

$$t_c = 31 + \frac{58860}{237 \cdot 76,86} + \frac{59 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 37,2$$

$$t_a = 31 - \frac{1,4}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} - \frac{58860}{237 \cdot 76,86} - \frac{59 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong -8,9$$

Temperature di chiusura e di massima apertura delle luci

Temperatura di completa apertura (°C) l (m)		Tipo	r (N/cm)	t ₀ (°C)	Temperatura di chiusura (°C) l (m)				
36	48				12	18	24	36	48
-12,6	- 6,0	FS 46.3	88	31	37	38	38,9	40,8	42,7
-10,7	- 3,6		59	31	36,5	37,5	37,8	39,0	40,3
- 4,9	2,9		30	35	39,9	40,2	40,5	41,1	41,8
-12,0	- 5,3	50 UNI	88	31	36,6	37,5	38,4	40,2	41,9
-10,3	- 3,0		59	31	36,1	36,7	37,3	38,5	39,6
-10,4	- 3,4	60 UNI	88	31	35,6	36,3	37,1	38,5	40,0
- 8,9	- 1,5		59	31	35,2	35,7	36,2	37,2	38,1

N. B.: Per le lunghezze non riportate la temperatura di completa apertura è inferiore a - 10° e va considerata uguale a - 10°.

TABELLA 82

La termica del binario (15)

Ciclo teorico della luce di dilatazione

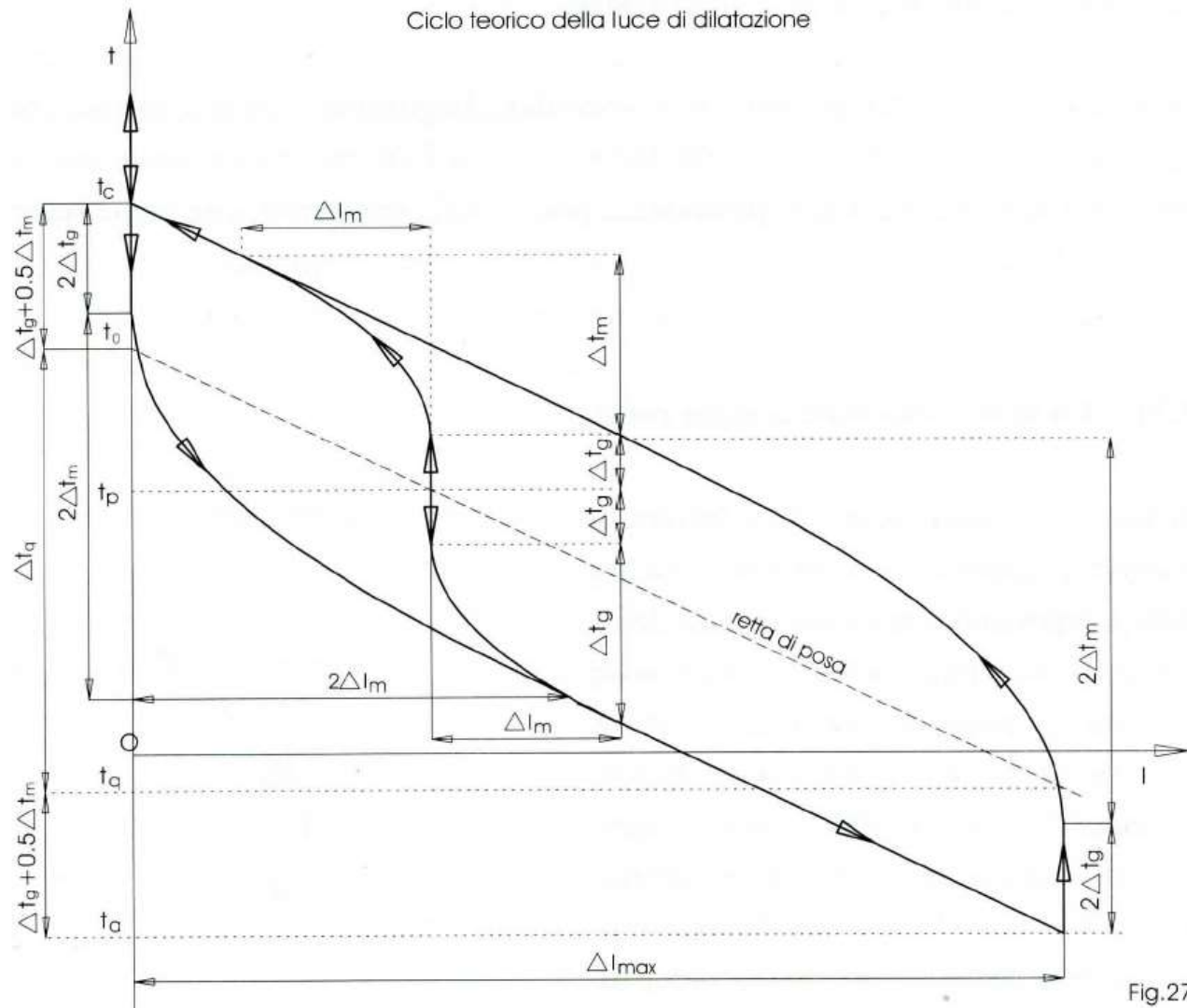
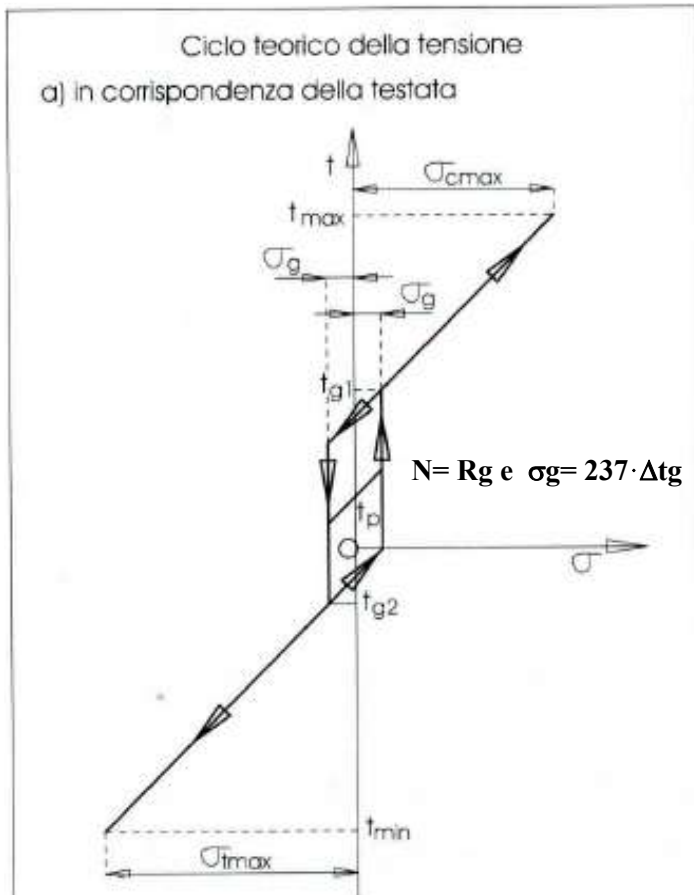


Fig.279

La termica del binario (16)



b) nella mezzeria della rotaia

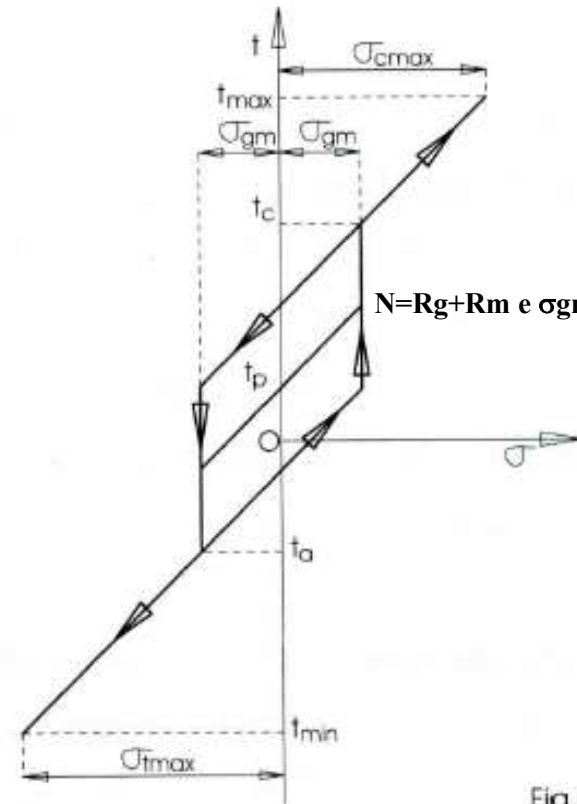


Fig. 280

La termica del binario (17)

Si consideri un binario con rotaie del tipo 60 UNI da 36 metri, posate alla temperatura di 20°C, su traverse in c.a. precompresso, con resistenza della massicciata di 88 N/cm.

Esaminare il ciclo delle rotaie allorquando la temperatura salga fino a 60 ° scenda fino a -10 ° e quindi risalga fino alla temperatura di chiusura.

Luci di posa

Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)							Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)						
	48	36	30	24	18	12	9		48	36	30	24	18	12	9
-10				12	9	6	4	11	11	9	7	6	4	3	2
-9			14	11	9	6	4	12	11	8	7	5	4	3	2
-8			14	11	8	6	4	13	10	8	6	5	4	3	2
-7			14	11	8	5	4	14	10	7	6	5	4	3	2
-6			13	11	8	5	4	15	9	7	6	5	4	3	2
-5			13	10	8	5	4	16	9	6	5	4	3	2	2
-4			13	10	8	5	4	17	8	6	5	4	3	2	2
-3			12	10	7	5	4	18	7	6	5	4	3	2	2
-2	14	12	9	7	5	4	4	19	7	5	4	3	3	2	1
-1	14	11	9	7	5	3	3	20	6	5	4	3	3	2	1
0	13	11	9	7	4	3	3	21	6	4	4	3	2	1	1
1	13	11	9	6	4	3	3	22	5	4	3	3	2	1	1
2	12	10	8	6	4	3	3	23	5	3	3	2	2	1	1
3	12	10	8	6	4	3	3	24	4	3	2	2	2	1	1
4	12	10	8	6	4	3	3	25	3	3	2	2	2	1	1
5	11	9	7	6	4	3	3	26	3	2	2	1	1	1	1
6	14	11	9	7	5	4	3	27	2	2	1	1	1	1	0
7	14	10	9	7	5	3	2	28	2	1	1	1	1	0	0
8	13	10	8	7	5	3	2	29	1	1	1	1	0	0	0
9	13	9	8	6	5	3	2	30	0	0	0	0	0	0	0
10	12	9	8	6	5	3	2	31	0	0	0	0	0	0	0

TABELLA 81

Temperature di chiusura e di massima apertura delle luci

Temperatura di completa apertura (°C) l (m)	Tipo	r (N/cm)	t ₀ (°C)	Temperatura di chiusura (°C) l (m)				
				12	18	24	36	48
36	48							
-12,6	- 6,0	88	31	37	38	38,9	40,8	42,7
-10,7	- 3,6	59	31	36,5	37,5	37,8	39,0	40,3
- 4,9	2,9	FS 46.3	35	39,9	40,2	40,5	41,1	41,8
-12,0	- 5,3	88	31	36,6	37,5	38,4	40,2	41,9
-10,3	- 3,0	50 UNI	31	36,1	36,7	37,3	38,5	39,6
-10,4	- 3,4	88	31	35,6	36,3	37,1	38,5	40,0
- 8,9	- 1,5	60 UNI	31	35,2	35,7	36,2	37,2	38,1

N. B.: Per le lunghezze non riportate la temperatura di completa apertura è inferiore a - 10° e va considerata uguale a - 10°.

TABELLA 82

$$l_p = 2 \cdot \alpha \cdot L / 2 \cdot \Delta t = \alpha \cdot L \cdot (t_0 - t_p) = 0,0115 \cdot 36 \cdot (31 - 20) = 4,5 \cong 5,0 \text{ [mm]}$$

La termica del binario (18)

Salti termici limite

Profilo rotaie e sezione in cm ²	Δt_g °	r_m N/cm	Δt_m °									
			Δt_m °					$\Delta t_g + \Delta t_m$ °				
			12	18	24	36	48	12	18	24	36	48
			m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
FS 46 (A = 59,60)	4,2	30	1,3	1,9	2,6	3,8	5,1	5,5	6,1	6,8	8,0	9,3
		59	2,6	3,8	5,1	7,6	10,1	6,8	8,0	9,3	11,8	14,3
		88	3,7	5,6	7,5	11,2	15,0	7,9	9,8	11,7	15,4	19,2
50 UNI (A = 63,50)	3,9	30	1,2	1,8	2,4	3,6	4,7	5,1	5,7	6,3	7,5	8,6
		59	2,4	3,5	4,7	7,1	9,4	6,3	7,4	8,6	11,0	13,3
		88	3,5	5,3	7,0	10,6	14,1	7,4	9,2	10,9	14,5	18,0
60 UNI (A = 76,86)	3,2	30	1,0	1,5	2,0	3,0	3,9	4,2	4,7	5,2	6,2	7,1
		59	2,0	2,9	3,9	5,7	7,8	5,2	6,1	7,1	9,1	11,0
		88	2,9	4,3	5,8	8,7	11,6	6,1	7,5	9,0	11,9	14,9

TABELLA 78

$$\Delta t_g = \frac{R_g}{237 \cdot A} = \frac{58860}{237 \cdot 76,86} \cong 3,2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta t_m = \frac{r_m \cdot l}{2 \cdot 237 \cdot A} = \frac{88 \cdot 3600}{2 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 8,7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Alla temp. $(20+3,2)=23,2^\circ$ $N_B = R_g = 237 \cdot A \cdot \Delta t_g = 237 \cdot 76,86 \cdot 3,2 \cong 58860$ [N]

Alla temp. $23,3 + \Delta t_m = 23,2 + 8,7 = 31,9$ [°C], termine tratto parabolico

Forza compressione sulla testata $N_t = 58860$ [N]

Forza compressione in mezzeria $N_{mez.} = 58860 + 8800 \cdot (L/2) = 217.260$ [N]

Avvicinamento testate a $31,9^\circ$ $(\alpha \cdot L \cdot \Delta t_m / 2) = 2 \cdot (0,0115 \cdot 36 \cdot 8,7 / 2) = 1,8$ [mm]

con luce libera $l_1 = 4,5 - 1,8 = 2,7$ [mm].

La chiusura luci avverrà alla temp. $t_c = 31,9 + (2,7 / \alpha \cdot L) = 31,9 + 6,6 = 38,5$ [°C],

mentre le forze sia in mezzeria che in testata non cambieranno.

Alla temp. 60° in testata lo sforzo sarà $58860 + 237 \cdot (t_{max} - t_c) \cdot A = 58860 + 237 \cdot (60 - 38,5) \cdot 76,86 = 450.500$ [N]

in mezzeria sarà $217.260 + 237 \cdot (t_{max} - t_c) \cdot A = 217.260 + 237 \cdot (60 - 38,5) \cdot 76,86 = 608.900$ [N].

Esempio di ciclo teorico della luce di dilatazione

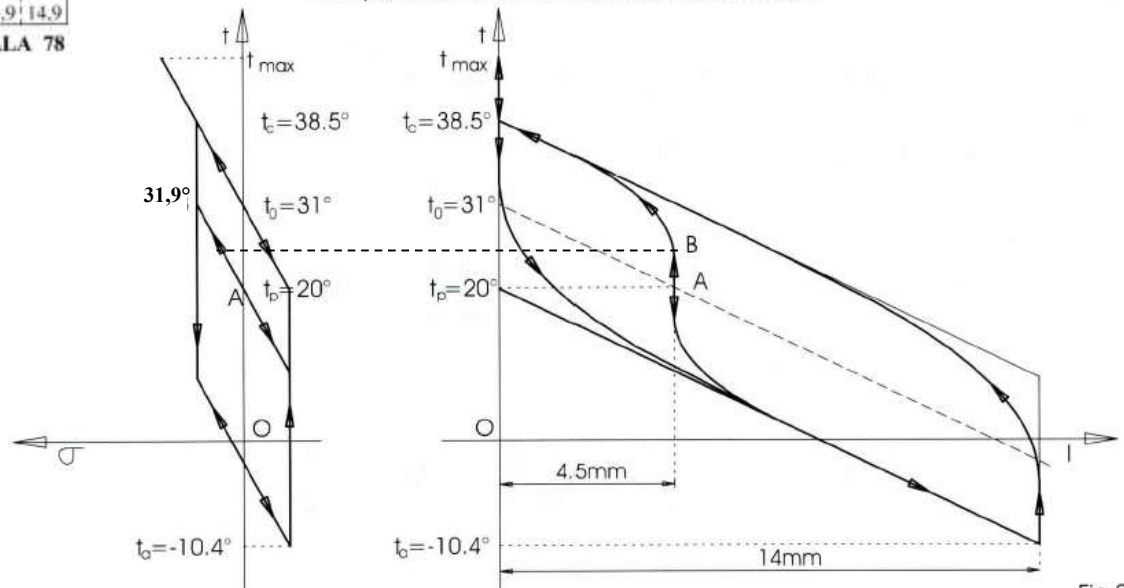
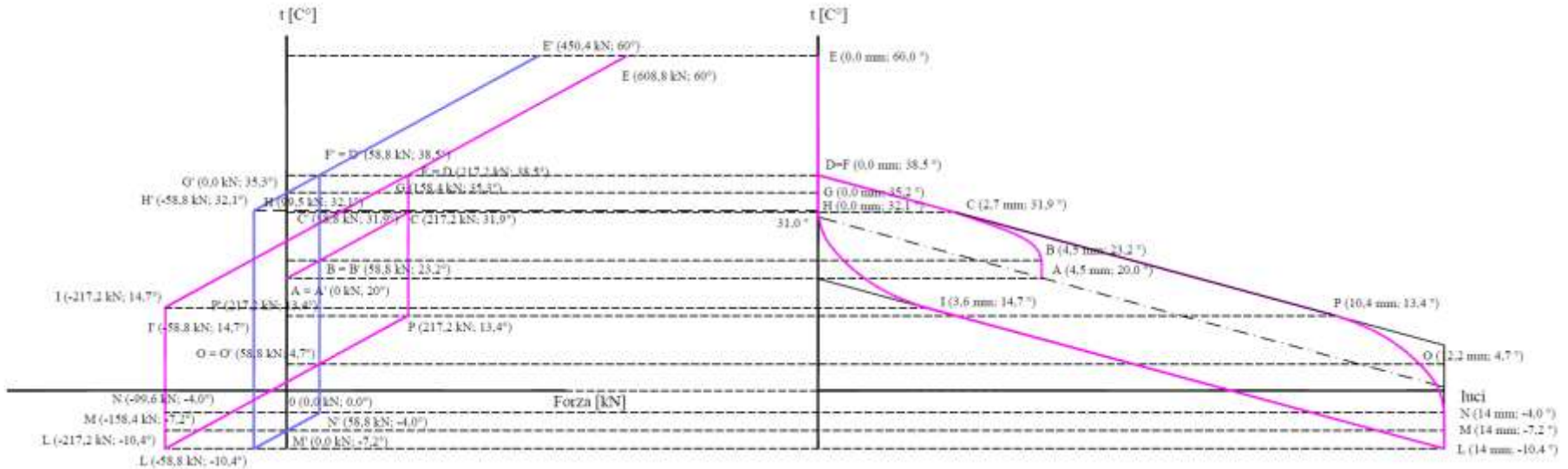


Fig.282

La termica del binario (19)



Ritornando alla temp. di 38, 5° la Forza compressione sulla testata $N_t = 58.860$ [N]

mentre Forza compressione in mezzeria $N_{mez.} = 217.260$ [N]

Alla temp. di 38,5-3,2=35,3° le testate saranno scariche, $N_t = 58.860 - 58.860 = 0$ [N] mentre in mezzeria si avrà una $N_{mez.} = 217.260 - 58860 = 158.400$ [N], con luci nulle.

Alla temp. di 38,5-2x3,2=32,1° le testate avranno una forza di trazione $N_t = -58.860$ [N] mentre in mezzeria si avrà una forza di compressione $N_{mez.} = 158.400 - 58860 = 99.540$ [N]

Alla temp. 32,1-2x8,7=14,7° $N_t = -58.860$ [N] $N_{mez.} = 99.540 - 2x(L/2)x(rm) = 99.540 - 2x18x8800 = -217.260$ [N], con allontanamento delle testate $2 \cdot (\alpha \cdot L \cdot \Delta t m / 2) = 2 \cdot (0,0115 \cdot 36 \cdot 8,7 / 2) = 3,6$ [mm], e quindi con luce libera $l_1 = 0 + 3,6 = 3,6$ [mm].

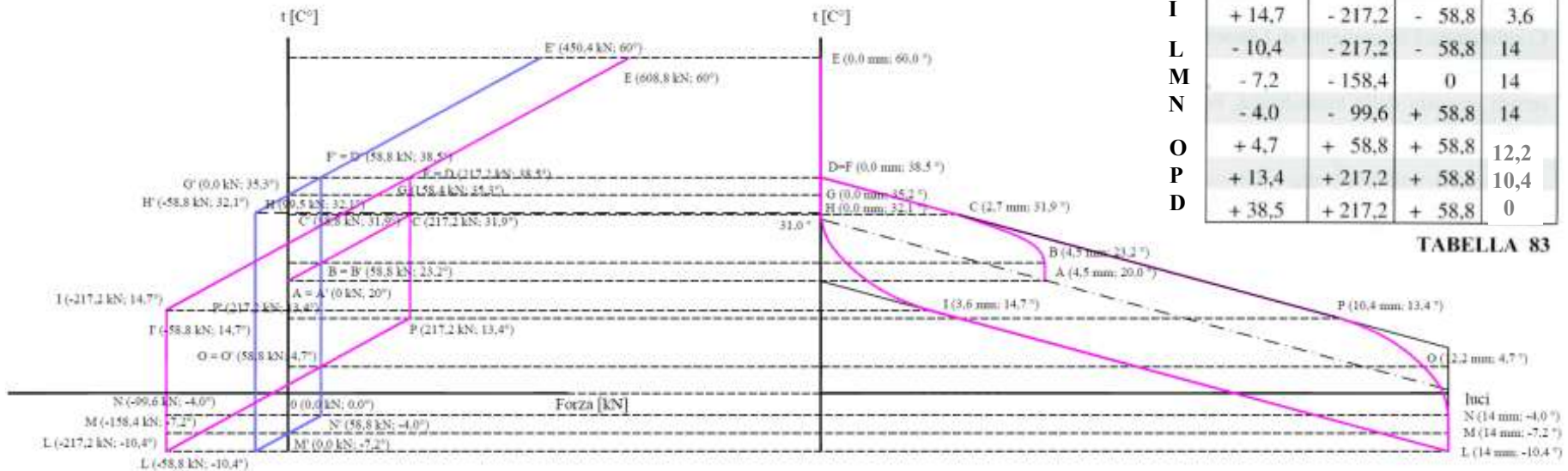
La diminuzione di temperatura porterà ad un aumento della luce fino al massimo consentito 14 che si avrà per un salto termico $\Delta t = (14 - 3,6) / (\alpha \cdot 2 \cdot L / 2) = 25,1$ e quindi con temp. $t_a = 14,7 - 25,1 = -10,4^\circ$ con forze interne che rimarranno le stesse.

La termica del binario (20)

Forze in mezzzeria ed in testata e luci di dilatazione relativi al ciclo termico teorico di un binario con rotaie 60 UIC, $l = 36 \text{ m}$, $r_m = 88 \text{ N/cm}$
 $t_p = 20^\circ \text{ C}$, $t_0 = 31^\circ \text{ C}$

Temperature ($^\circ \text{ C}$)	N_{mez} (kN)	N_t (kN)	Luce (mm)
A	0	0	4,5
B	+ 58,8	+ 58,8	4,5
C	+ 217,2	+ 58,8	2,7
D	+ 217,5	+ 58,8	0
E	+ 608,8	+ 450,4	0
F	+ 217,2	+ 58,8	0
G	+ 158,4	0	0
H	+ 99,6	- 58,8	0
I	- 217,2	- 58,8	3,6
L	- 217,2	- 58,8	14
M	- 158,4	0	14
N	- 99,6	+ 58,8	14
O	+ 4,7	+ 58,8	12,2
P	+ 13,4	+ 58,8	10,4
D	+ 38,5	+ 217,2	0

TABELLA 83



La termica del binario (21)

Lunghe rotaie saldate

All'aumentare della lunghezza della rotaia aumenta la resistenza di attrito e la rotaia così può non essere tutta interessata alla variazione di lunghezza.

Si definisce lunghezza limite o critica L_b la lunghezza della rotaia per la quale la somma delle resistenze d'attrito eguaglia la forza termica indotta dal massimo valore dell'escursione stagionale.

La lunghezza critica L_b è quella lunghezza per cui si ha:

$$R_g + r_m \cdot (L_b/2) = N_{\max} = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \cdot A$$

$$L_b = 2 \cdot (237 \cdot \Delta t \cdot A - R_g) / r_m$$

Dove: $\Delta t = t_{\max} - t_{\text{med}}$ escursione massima rispetto al valore medio della temperatura di esercizio, $t_{\text{med}} = (t_{\max} - t_{\min})/2$, oppure al posto di t_{med} si mette t_r , temperatura di regolazione

R_g resistenza alle giunzioni

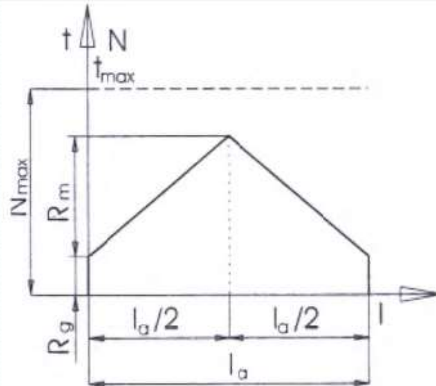
r_m resistenza di attrito agli appoggi per metro lineare

Temperatura di regolazione: $t_r = t_{\text{med}} + 5$ per linee ordinarie (<200 km/h)

Temperatura di regolazione: $t_r = t_{\text{med}} + 10$ per linee ad alta velocità (>200km/h)

La termica del binario (22)

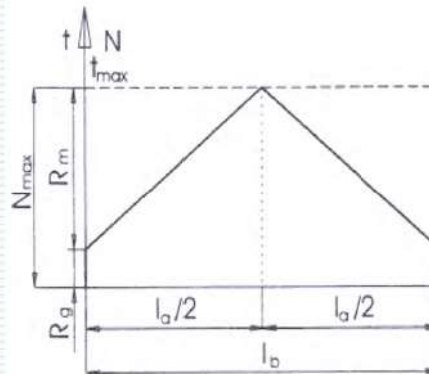
BINARIO GIUNTATO



IL BINARIO SUBISCE
SPOSTAMENTI PER
EFFETTO DELLE
ESCURSIONI TERMICHE
QUANDO

$$N_{MAX} > R_g + R_m$$

CONDIZIONE DI
EQUILIBRIO



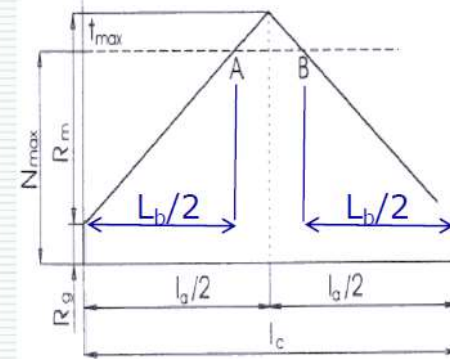
$$N_{MAX} = R_g + R_m$$

DETERMINIAMO L_b

$$R_g + R_m = F = \alpha \cdot E \cdot A \cdot (t_{max} - t_{med})$$

$$R_g + R_m = 2370000 \cdot A \cdot (60^\circ - 25^\circ)$$

LRS



$$N_{MAX} < R_g + R_m$$

TRATTO AB
IMMOBILE

La termica del binario (23)

$$L_b = 2 \cdot [237 \cdot (t_{\max} - t_r) \cdot A - R_g] / r_m$$

Lunghezze limiti l. r. s.

Rotaia	r_m (N/cm)	l_{lim}
FS 46	30	249
	59	124
50 UNI	59	133
	88	89
60 UNI	59	165
	88	111

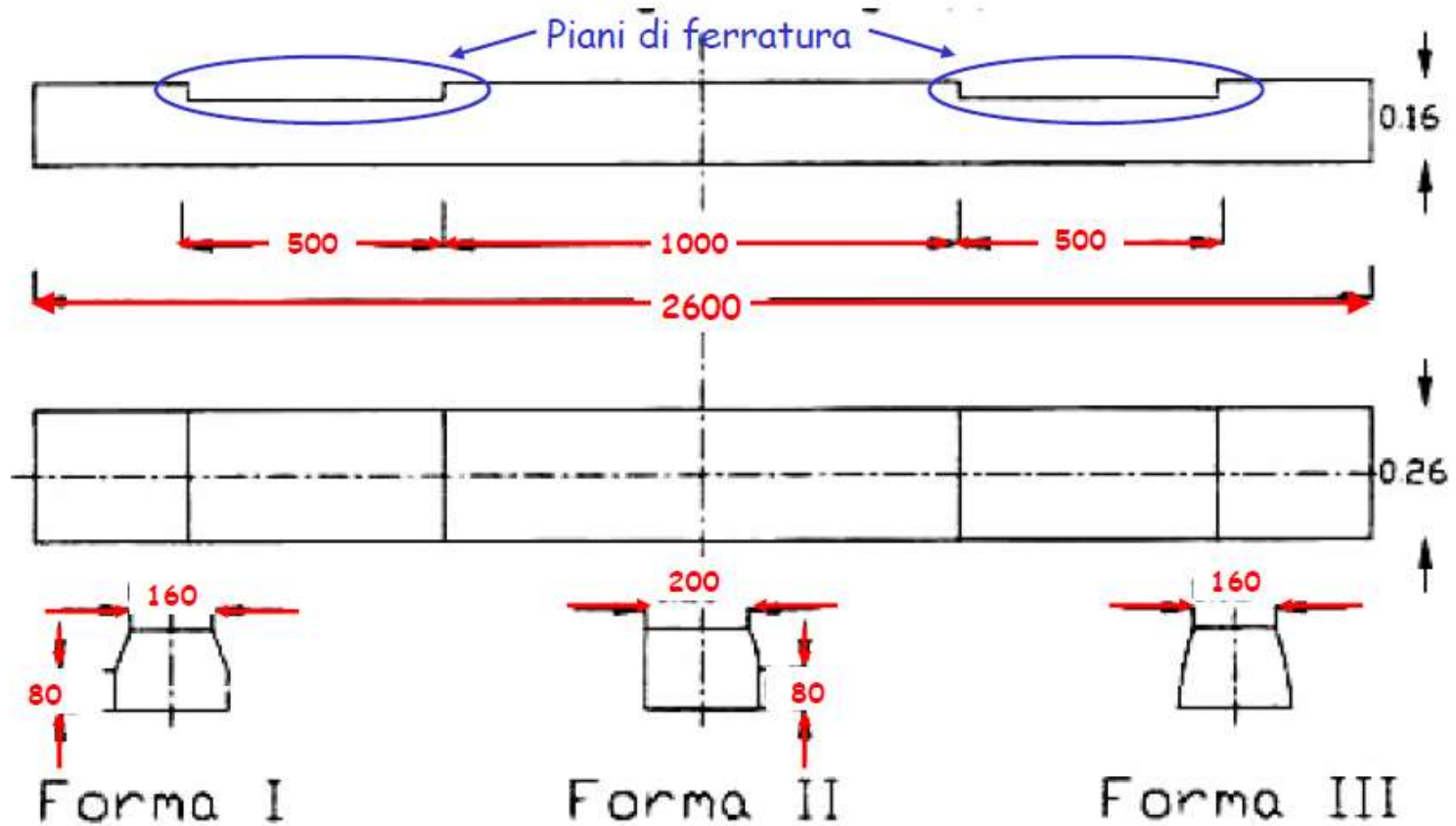
TABELLA 85

LUNGHEZZA MINIMA DEL TRATTO DI BINARIO DA REGOLARE	PROFILO ROTAIE	TIPO TRAVERSE
144 m	60E1	CAP
115 m	50E5	CAP
200 m	60E1	LEGNO
150 m	50E5	LEGNO

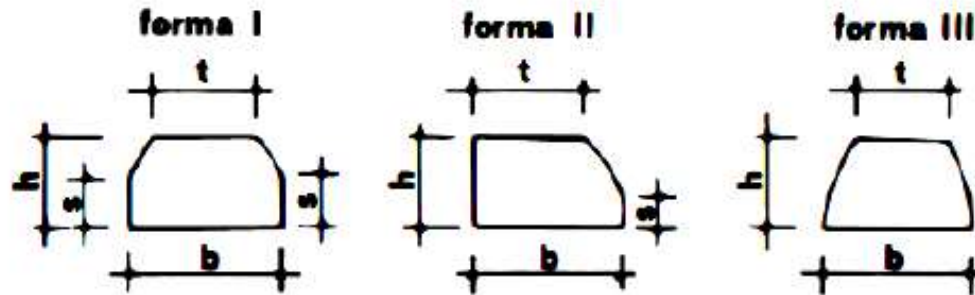
Traverse Ferroviarie (1)



Traverse Ferroviarie (2)

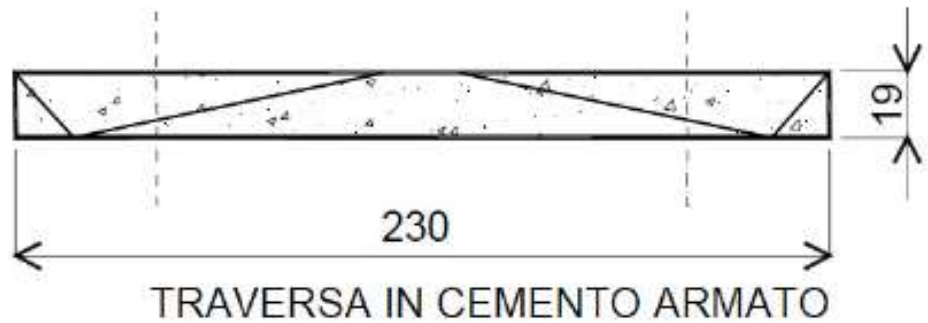
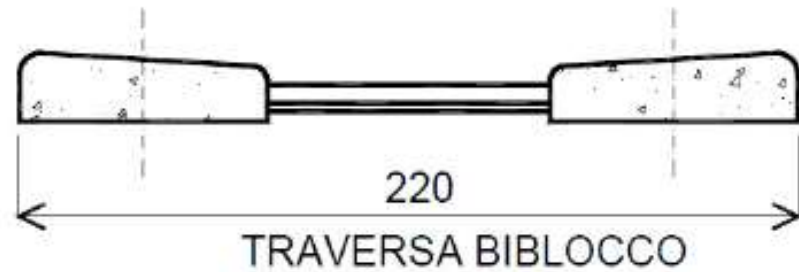


Traverse Ferroviarie (3)

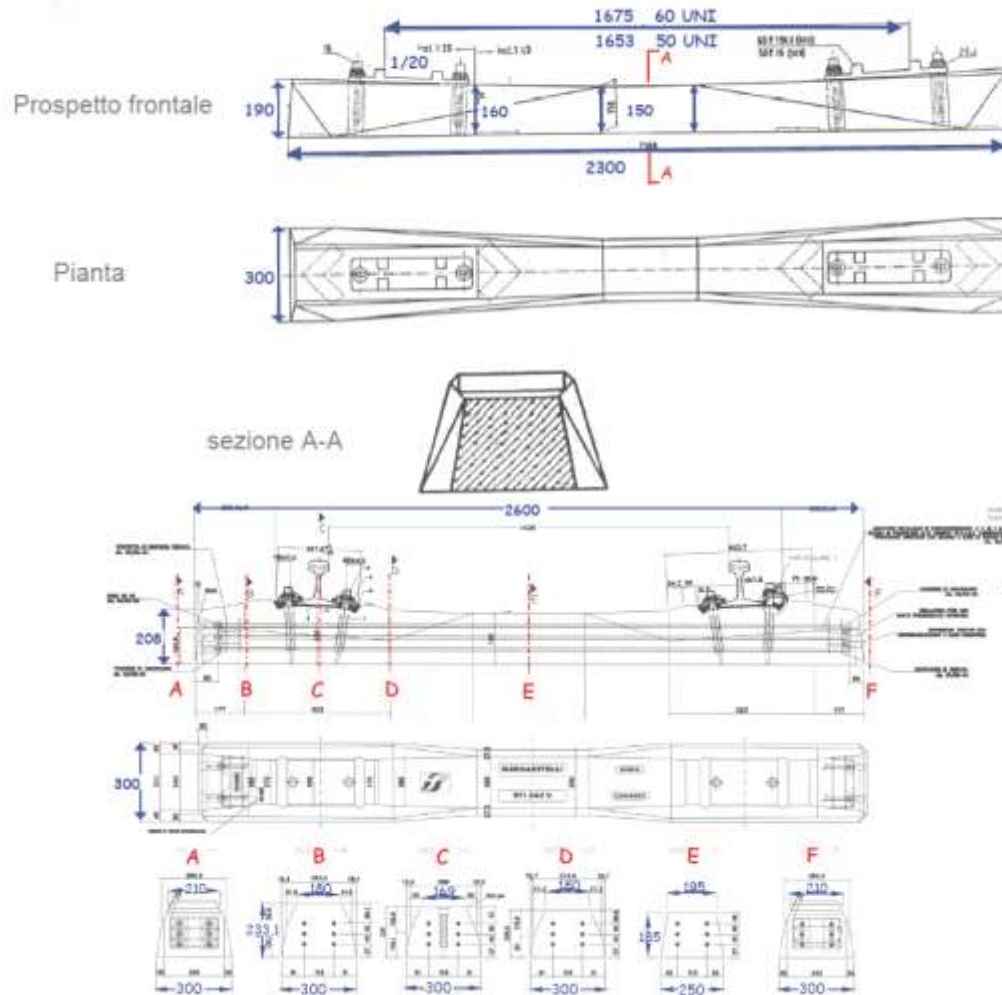


Gruppo	b (cm)	h (cm)	t (cm)		s (cm)
			Forme I e III	Forma II	Forme I e II
1	26	16	16	20	8
2	26	15	17	20	8
3	26	13	13	17	6
4	24	15	16	18	7
5	24	14	16	18	7
6	24	13	13	17	6
7	22	13	13	16	5

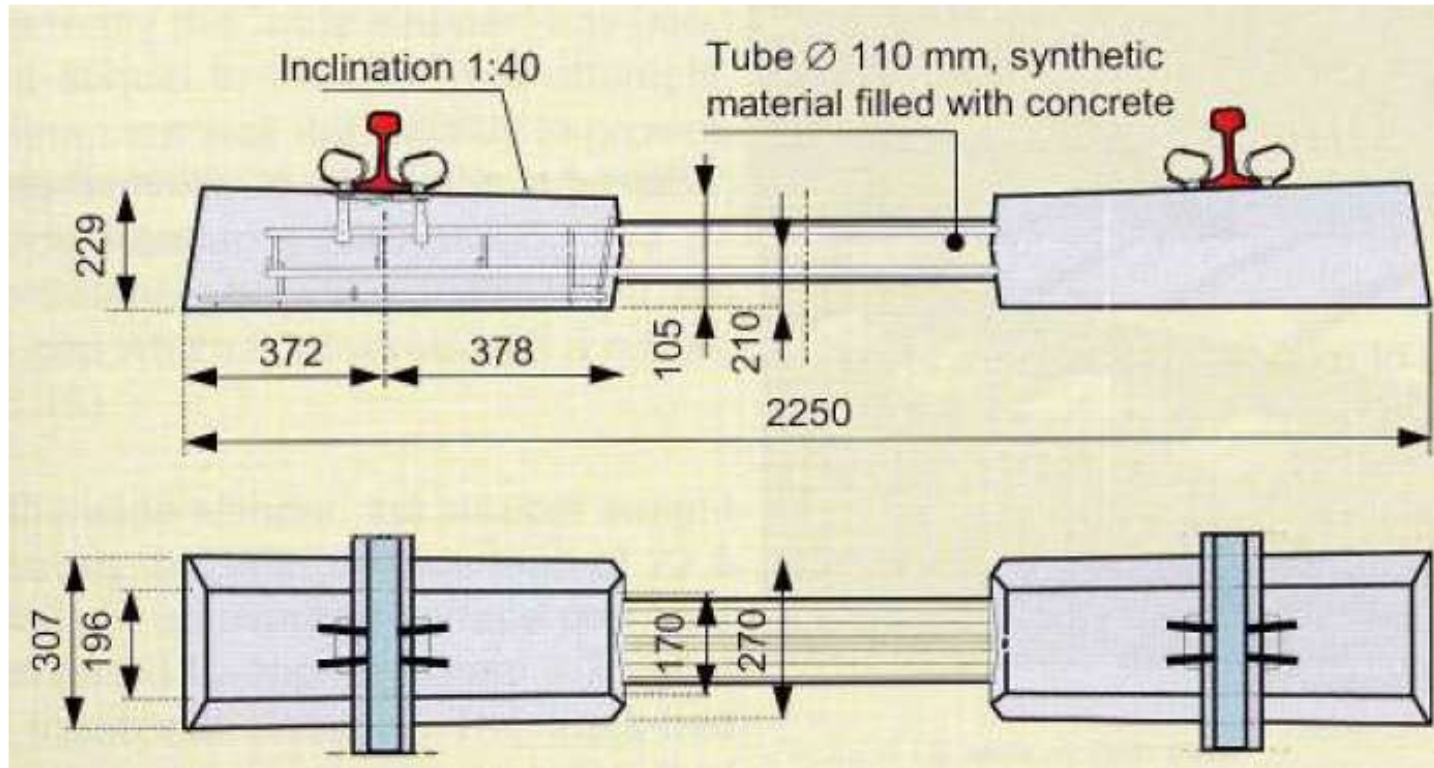
Traverse Ferroviarie (4)



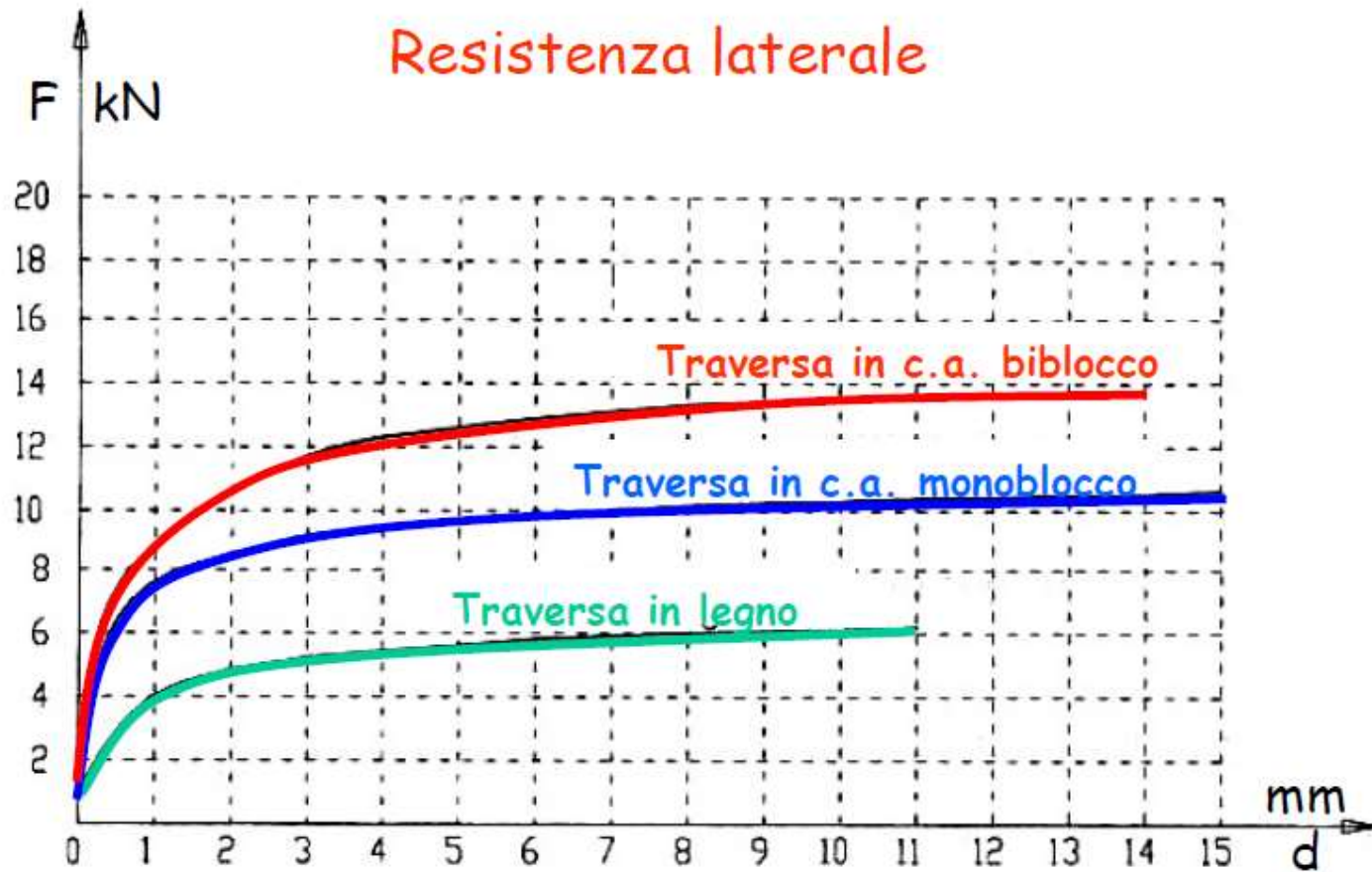
Traverse Ferroviarie (5)



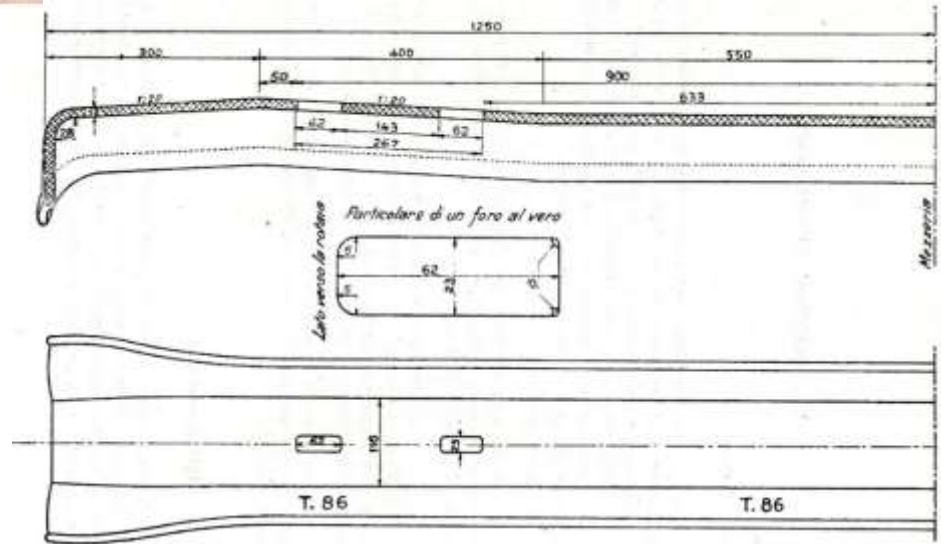
Traverse Ferroviarie (6)



Traverse Ferroviarie (7)



Traverse Ferroviarie (8)



Traverse Ferroviarie (9)

Numero e distribuzione appoggi

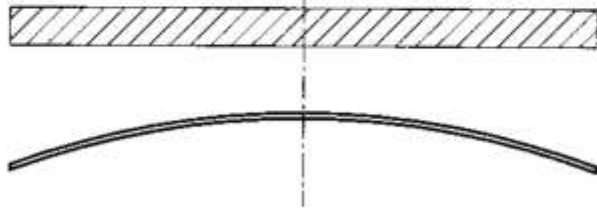
Moduli adottati da FS:

- modulo di 6/10 di metro (60 cm), cioè 10 traverse ogni 6 metri (adottato sui binari con rotaie pesanti, con massimi pesi degli assi sui veicoli e velocità più elevate);
- modulo di 6/9 di metro (66,66 cm), cioè 9 traverse ogni 6 metri (adottato su linee con caratteristiche uguali al punto precedente, ma con velocità minori);
- modulo di 6/8 di metro (75 cm), cioè 8 traverse ogni 6 metri (adottato su linee armate con rotaie appartenenti alle categorie precedenti o, eccezionalmente, con armamento leggero, con limiti alle velocità di percorrenza e ai pesi).

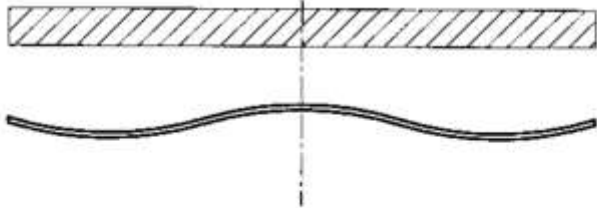
Traverse Ferroviarie (10)

Deformazione longitudinale di traverse di lunghezza diversa

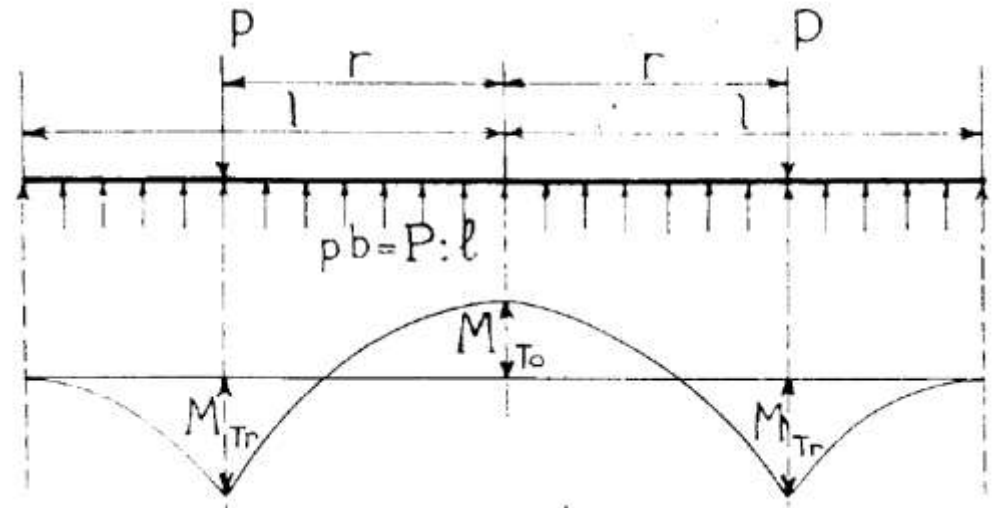
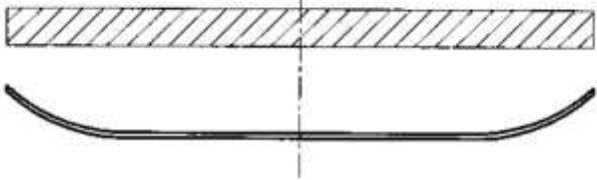
a) di lunghezza insufficiente



b) di lunghezza corretta



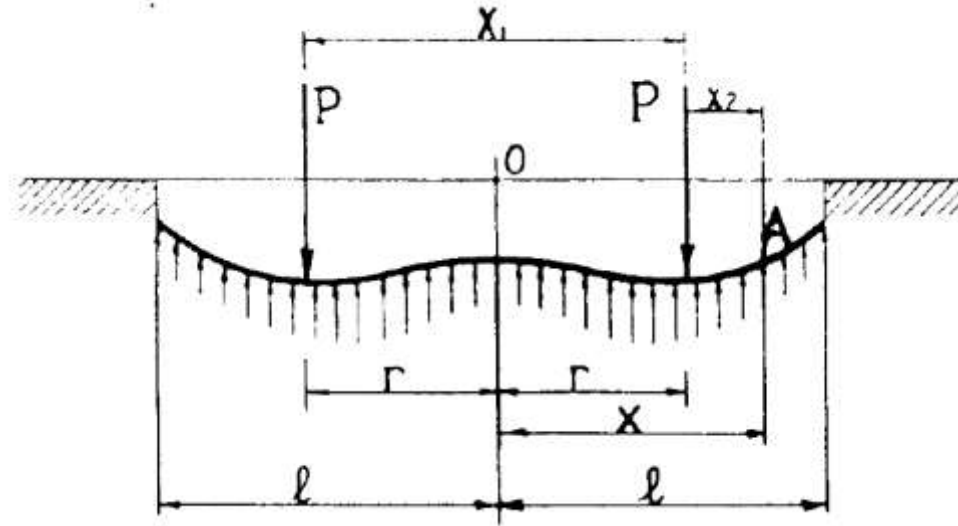
c) di lunghezza eccessiva



$$M_{T0} = P \cdot \left(\frac{l}{2} - r \right)$$

$$M_{Tr} = P \cdot \frac{(l - r)^2}{2 \cdot l}$$

Traverse Ferroviarie (11)



Formule di Zimmermann

$$M_{T0} = \frac{P \cdot L}{2} \cdot [\mu_0] \quad \text{In mezzeria}$$

$$M_{Tr} = \frac{P \cdot L}{2} \cdot [\mu_\rho] \quad \text{Sotto i carichi}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{C \cdot b}}$$

μ_0 e μ_ρ dipendono da $\rho=r/L$ e $\lambda=l/L$

Traverse Ferroviarie (12)

Valori di $[\mu_s]$

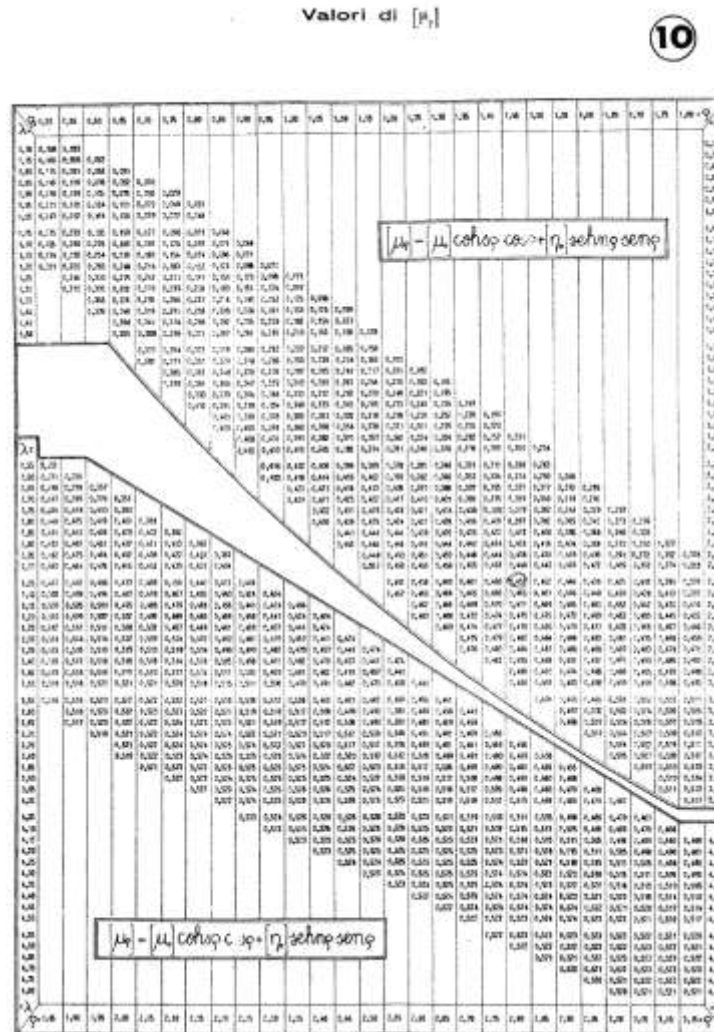
8

λ_1	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	λ_2
0,01	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,01
0,02	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,02
0,03	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,03
0,04	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,04
0,05	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,05
0,06	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,06
0,07	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,07
0,08	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,08
0,09	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,09
0,10	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,10
0,12	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,12
0,15	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,15
0,20	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,20
0,25	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,25
0,30	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,30
0,40	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,40
0,50	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,50
0,60	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,60
0,80	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,80
1,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	1,00

$$\mu_s = \mu_T - V_T$$

$$\mu_s = \mu_T - V_T$$

Traverse Ferroviarie (13)



Approfondimenti e Riflessioni



**Sed fugit, interea fugit irreparabile tempus
(Virgilio, Georgiche, III, 284), Ma fugge
intanto, fugge irreparabilmente il tempo.**

