

II. IL SISTEMA DI TRASPORTO FERROVIARIO

Mario Olivari

1. DATE STORICHE

- 1804 - R. Trevithick (UK) - 1^a locomotiva a vapore: *Tram-Waggon*, carico trainato 25t, 8km/h
- 1825 - G. Stephenson (UK) - 1^a linea ferroviaria: Darlington-Stockton, 43km, locomotiva *Locomotion*, 2a.m., 20CV, carico trainato 12 carri da 6,5t a 19km/h
- 1830 - G. & R. Stephenson (UK) - 1^a linea pax: Liverpool-Manchester, 48km, locomotiva *Rocket* da 10t, carico trainato 14t a V_{max} 46km/h
- 1839 - 1^a linea italiana: Napoli-Portici/Granatello, 7,4km
- 1840 - Milano-Monza, 12,8km
- 1876 - Primi locomotori elettrici negli US
- 1881 - Primi locomotori elettrici in Francia e in Europa
- 1890 - Prime esperienze di trazione elettrica in Italia: tramvia Fi-Fiesole
- 1900 - 1^a linea elettrificata in Italia: Lecco-Sondrio
- 1905 - Inizio esercizio di Stato - costituzione Azienda Autonoma Fs (15.741 km di linee)
- 1920 - Inizio trazione diesel-elettrica
- 1926 - Unificazione alimentazione della rete Fs a 3000V cc.
- 2006 - Esercizio Alta Velocità a 25kV ca, a 300km/h: Roma-Napoli, Torino-Novara

2. UNITÀ DI MISURA DEL TRAFFICO

passaggeri	pax-km	n° di persone trasportate x lunghezza dello spostamento
merci	t-km	quantità di merce trasportata x lunghezza dello spostamento
mezzo	tr-km	quantità di treni inoltrati x lunghezza spostamento.

3. RETE FERROVIARIA ITALIANA

Il layout generale deriva dalla fusione delle reti regionali pre-unità d'Italia che ha comportato disuniformità e irrazionalità di vario genere: dalla geometria del tracciato allo scartamento, ecc. La struttura della rete, immutata da quasi un secolo, è quella disegnata nella 2^a metà dell'800 e nei primi decenni del '900: linee longitudinali tirrenica e adriatica, trasversale padana, centrale e meridionale, reti locali isolate (Sicilia e Sardegna).

Le cifre dell'attuale rete gestita da Rfi sono date nelle tabb. seguenti.

Tab. II.1 - Infrastrutture - rete Fs-Rfi

	UM	1995	2000	2004
Estesa linee	km	16.005	15.974	15.915
doppio b. elettrificato (100%)	"	5.911	6.156	6.298
semplice b. elettrificato	"	4.293	4.558	4.746
Totale elettrificato	"	10.204	10.714	11.044
semplice b. non elettrificato		5.688	5.260	4.871
Incidenza d.b.	%	37,6	38,5	39,5
Incidenza elettrificato	%	63,8	67,1	69,3
linee con blocco automatico	km	4.774	5.372	5.505
Passaggi a livello	N	9.102	7530	?

Nota. Dal 2004 il 100% delle linee a d.b. è elettrificato

Tab. II.2/3 - Traffico viaggiatori e merci - rete Fs - Trenitalia-Rfi

TRAFFICO PAX	UM	1993	2000	2001	2002	2003	2004
Pax trasportati	Mu	438,0	478,2	482,8	491,9	497,9	504,3
pax 1 ^a classe	%	5,2	-			-	?
pax m/l percorrenza	Mu		70,0			67,6	69,3
Ricavo tot pax	M€		1.983			2.149	?
Load factor m/l percorr.	%	-	57			51	?
Load factor t. locale	%	-	-			30,3	-
pax-km	M	42.720	47.1330			45.222	45.577
Percorrenza media pax	km	107,5	99,0			90,7	-
Puntualità media 0-15 ^{min}	%					96,0	96,0
Incidenti/Mtr-km	-					0,20	0,21
TRAFFICO MERCI	UM	1993	2000			2003	2004
Merchi trasportate vendute	Mt	64,8	87,5			82,1	83,1
Ricavi merci	M€	-	729			713	-
t-km	M	19.981	24.995			22.457	23.271
Percorrenza media della t	km	308,2	285			274	
Carico medio per carro	t	29,1	?-			?-	

Nota. Il 50% della rete assorbe l'83% dei treni-km effettuati e oltre il 94% delle Unità di Traffico complessive; riferita alle sole t-km la concentrazione sfiora il 98%. Inoltre, 5.000km di linee danno il 76% del ricavo totale e 8.000km ne danno solo il 7% (dati 1993).

Tab. II.4 - Traffico navi traghetto Fs-Trenitalia

	UM	SICILIA			SARDEGNA		
		1995	2000	2003	1995	2000	2003
Corse effettuate	n.	64.622	63.296	59.422	3.171	1.932	688
Carri (carichi e vuoti)	"	180.138	137.067	102.132	63.193	37.993	22.254
Passeggeri	"	6.931.093	6.489.113	5.088.407	287.888	155.446	0
Autovetture	"	373.997	337.176	361.586	74.805	38.311	0
Gommato pesante	"	244.473	275.458	249.648	22.624	18.391	0

Nota. I terminali (invasi) delle N.T. della linea Sicilia-Continente sono Messina e Villa S. Giovanni, di quella Sardegna-Continente sono Golfo Aranci e Civitavecchia.

4. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E FUNZIONALI

CARATTERISTICHE STRUTTURALI:

- DIMENSIONE NAZIONALE DELLA RETE INFRASTRUTTURALE, DI PROPRIETÀ DI UN UNICO ENTE (FS SPA-RFI)
- GESTORE UNICO (TRENITALIA), MA RECENTI LEGGI (2000) PREVEDONO PLURALITÀ DI GESTORI CONCESSIONARI¹
- INTEGRAZIONE DEL SERVIZIO SU SCALA NAZIONALE E INTERNAZIONALE
- OMOGENEITÀ DEI SERVIZI OFFERTI SU TUTTO IL TERRITORIO NAZIONALE IN TERMINI DI LIVELLO DI SERVIZIO.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- SICUREZZA D'ESERCIZIO, OTTENUTA CON NORMATIVE RIGIDE E APPROPRIATI SISTEMI DI SEGNALAMENTO
- CAPACITÀ DI TRASPORTO ELEVATA, SUPERIORE A QUELLA DI UN'AUTOSTRADA A 4 CORSIE
- RAPIDITÀ: V_c DI 120km/h E OLTRE SONO USUALI (+VELOCE DELL'AEREO FINO A 500km)
- REGOLARITÀ E PUNTUALITÀ
- RIGIDITÀ D'ESERCIZIO: IMPOSSIBILITÀ DI ADEGUAMENTO A VARIAZIONI DI DOMANDA DI BREVE PERIODO.

VINCOLO DEL SISTEMA: COME PUBBLICO SERVIZIO DEVE EFFETTUARE CORSE ANCHE A DOMANDA NULLA.

¹ v. allegato: Liberalizzazione Ferroviaria

5. INFRASTRUTTURE DEL SISTEMA: LINEE - NODI - STAZIONI

Linea: Percorso infrastrutturato atto alla marcia dei treni e collegante stazioni. La linea può avere un solo binario (semplice binario), due binari (doppio binario), quattro binari (quadruplo b.). La circolazione è alterna sul s.b., unidirezionale a sx o banalizzata sul d.b., unidirezionale a sx sul q.b.

Nodo: luogo ove convergono più linee collegate da una linea di cintura (es., Bologna) ove la marcia è regolata con apparati centralizzati (CTC - Centralized Traffic Control).

Stazioni: località da cui si regola la circolazione dei treni in linea e all'interno delle S. con appositi apparati centrali, con servizi ai pax (nei *Fabbricati Viaggiatori*) e alle merci (negli *Scali Merci*); delimitate da segnali di protezione, dotate di impianti x precedenza e incroci, arrivi e partenze, composizione e scomposizione di treni, manutenzione, ecc.

5.1. CIRCOLAZIONE TRENI IN LINEA - DISTANZIAMENTO - POTENZIALITÀ

Il sistema di circolazione attuale è basato sulla divisione della linea in *sezioni di blocco* (SDB) ove si può trovare un solo treno per volta. Gli estremi di una sezione possono coincidere con stazioni adiacenti; se la distanza tra le stazioni lo consente e la domanda di traffico lo richiede, la tratta può essere opportunamente suddivisa in sezioni d'ampiezza adeguata al fine di incrementare la *potenzialità* della linea, max n° di treni che possono circolare in un tempo dato per V. e lunghezza di treno assegnate; essa dipende dal sistema di distanziamento, dal n° e dalla lunghezza delle sezioni e dal numero di binari.

5.1.1. DISTANZIAMENTO CON MARCIA A VISTA

Questo sistema, usato solo in emergenza, è stato da tempo abbandonato ma qui lo si riporta al fine di evidenziare le relazioni di base per il calcolo della potenzialità di una linea. Peraltro sono in sperimentazione sistemi avanzati di D. (marcia a vista elettrica nei metrò, ad es.) che consentirebbero di raggiungere potenzialità max prossime a quelle teoriche con marcia omotachica.

DISTANZIAMENTO FISSO: i treni, vincolati a marciare accodati in un binario, mantengono costante la spaziatura D al variare della velocità U . La curva di prestazione del sistema è data in Fig. 1 ove si nota che al crescere della V . cresce la potenzialità con tasso inversamente proporzionale a D .

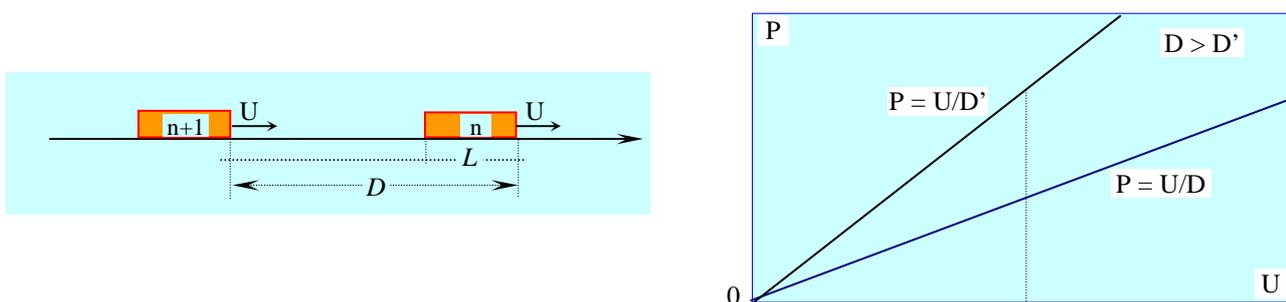


Fig. 1 - Relazione portata-velocità con treni a distanziamento uguale e costante (circolazione omotachica)

La relazione potenzialità-velocità (D in km/tr, U in km/h):

$$\text{Eq. fondamentale} \quad P = U/D = U K \quad [\text{tr/h}] \quad 1$$

$K = 1/D = P/U$, densità di treni in linea, in tr/km-linea

La potenzialità in funzione dell'intervallo di tempo tra i treni T [h/tr] o τ [s/tr]:

$$P = 1/T = 3600/\tau = 1/(D/U) \quad [\text{tr/h}] \quad 2$$

Nota. Se D e T sono i minimi realizzabili, la potenzialità, per una data velocità, è max.

DISTANZIAMENTO VARIABILE CON LO SPAZIO D'ARRESTO: i treni marciano accodati mantenendo il distanziamento minimo l (inclusa la lunghezza del treno L) per assicurare l'arresto in sicurezza del treno $n+1$ in relazione al possibile arresto istantaneo di quello di testa n (Fig. 2).

Il caso è puramente teorico in quanto l'arresto istantaneo del treno di testa è impossibile; se esso frena, anche quello accodato frenerà, sia pure dopo aver percorso lo spazio ut^* prima d'iniziare l'azione frenante.

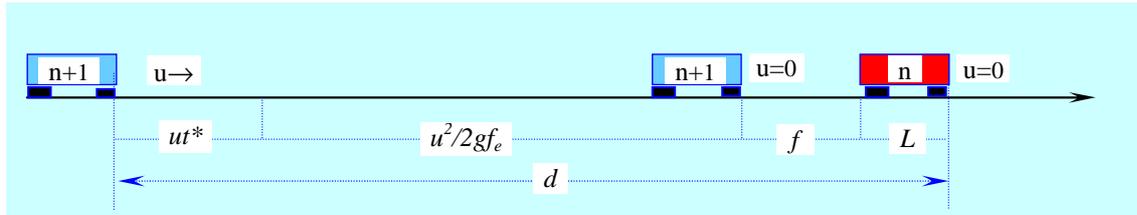


Fig. II.2 - Spaziatura minima tra due treni a distanza di sicurezza completa

La spaziatura minima l tra treni successivi è funzione di u e vale:

$$d = ut^* + (u^2/2\delta) + (f+L) \quad [\text{m/tr}] \quad 3$$

u = velocità treno [m/s]	f_e = coefficiente d'aderenza equivalente, $f_e=f(u)$
t^* = tempo psicotecnico [s]	f = franco sicurezza [m/tr]
$\delta = gf_e$, decelerazione media [m/s ²]	L = lunghezza treno [m/tr]
g = accelerazione di gravità [m/s ²]	d = distanziamento [m/tr]

Poiché $u=U/3,6$, posto $f+L=B$, la 3, con approssimazione (dovuta alla variazione di f_e con "u"), diviene:

$$d = (Ut^*/3,6) + (U^2/25,9\delta) + B \quad [\text{m/tr}] \quad 4$$

o

$$D = [(Ut^*/3,6)+(U^2/25,9\delta)+B]/1000 \quad [\text{km/tr}] \quad 5$$

il d. temporale:

$$\tau = d/u = t^* + u/2\delta + B/u \quad [\text{s/tr}] \quad 6$$

dalla 2

$$P = 1/\tau = 1/(t^* + u/2\delta + B/u) \quad [\text{tr/s}] \quad 7$$

dalle 2, 5

$$P = 1000U/[(Ut^*/3,6) + (U^2/25,9\delta) + B] \quad [\text{tr/h}] \quad 8$$

$$P = 1000/[(t^*/3,6) + (U/25,9\delta) + B/U] \quad [\text{tr/h}] \quad 8'$$

Le 7, 8 sono le curve di deflusso o di potenzialità. Il massimo di P (ove $dP/dU=0$) si ha per un valore di velocità (detta ottima o critica):

$$U_o = \sqrt{25,9 \delta B} \quad [\text{km/h}] \quad 9$$

cui corrisponde la P_{\max}

$$P_o = 3600/(t^* + \sqrt{2B/\delta}) \quad [\text{tr/h}] \quad 10$$

l'headway ottimo:

$$T_o = 1/P_o = (t^* + \sqrt{2B/\delta})/3600 \quad [\text{h/tr}] \quad 11$$

la densità ottima:

$$K_o = P_o/U_o = 1/D_o = 1000/(t^* \sqrt{2\delta B} + 2B) \quad [\text{tr/km}] \quad 12$$

la spaziatura ottima:

$$D_o = 1/K_o = U_o T_o = (t^* \sqrt{2\delta B} + 2B)/1000 \quad [\text{km/tr}] \quad 13$$

Per $\delta=1,1\text{m/s}^2$, $B=300\text{m}$ è: $U_o \approx 92\text{km/h}$; se $t^*=3\text{s}$ è: $P_o \approx 135\text{tr/h}$, $K_o=1,4\text{tr/km}$, $D_o=0,7\text{km/tr}$.
In Fig. 3 è dato l'andamento della 8 per i valori succitati.

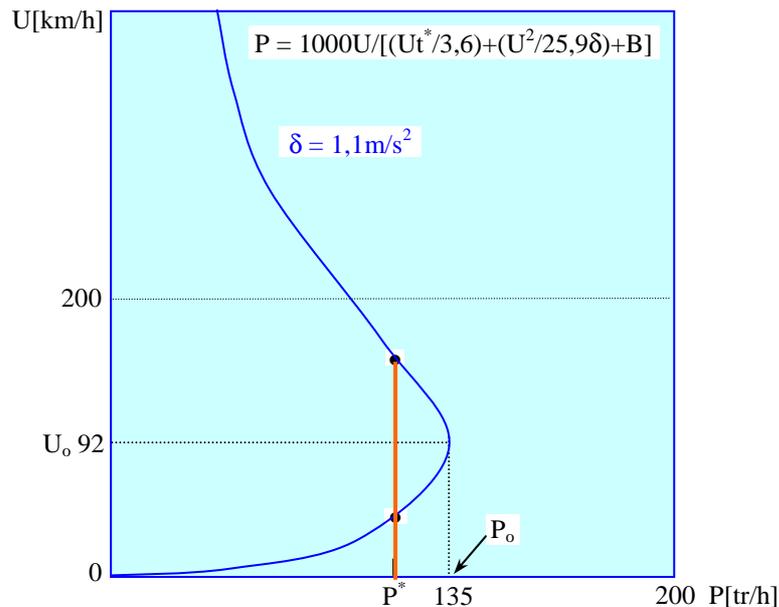


Fig. 3 - Curva di potenzialità con spaziatura di sicurezza e decelerazione standard-confortevole

Per un flusso P^* sono possibili due valori di velocità $\leq U_o$: se $V > U_o$ con una riduzione di V . si ha un incremento di P .; se $V < U_o$ l'incremento di P . si ha con un aumento di velocità.

La P . dipende dalla V .: a basse V . la P cresce al crescere di V .; a alte V . la P . decresce al crescere di V . Infatti, dalla 7: a basse V . il 2° term. al denominatore è trascurab. rispetto al 3°, perciò P cresce con V .; a V . alte è trascurab. il peso del 3° term. rispetto al 2° per cui P decresce con V .

La curva di potenzialità indica la max frequenza di treni x una data V . per marcia omotachica di treni tutti uguali e presuppone un'informazione continua della distanza tra treni successivi.

DISTANZIAMENTO VARIABILE CON LO SPAZIO/TEMPO PSICOTECNICO: se i treni marciano alla stessa velocità u il loro spazio di frenatura sarà \approx uguale: se il leader frena, quello accodato necessita solo dello spazio percorso nel tempo psicotecnico t^* a velocità u più un franco per non collidere.

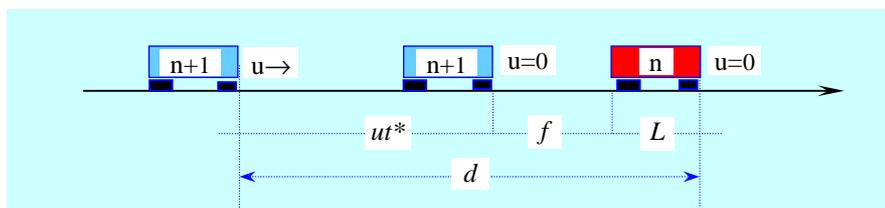


Fig. 4 - Spaziatura minima tra due treni a distanza di sicurezza ridotta

In quest'ipotesi il distanziamento minimo tra treni successivi, funzione della velocità, vale:

$$d = ut^* + (f+L) \quad [\text{m/tr}] \quad 14$$

Nell'espressione della P. (8) si può trascurare il termine $U^2/25,9\delta$

$$P = 3600 U / (Ut^* + 3,6B) \quad [\text{tr/h}] \quad 15$$

La P_{\max} :

$$dP/dU = 3600 \cdot 3,6 B / (3,6B + Ut^*)^2$$

La $dP/dU=0$ per $B=0$ o per $U \rightarrow \infty$; la P. non ha un massimo intermedio tra due valori limite, tende asintoticamente al suo max al crescere della V. Passando al limite per $U \rightarrow \infty$ nella 15:

$$\lim_{U \rightarrow \infty} P(U) = \lim_{U \rightarrow \infty} [3600 U / (3,6B + Ut^*)] = \infty / \infty$$

applicando Höpital: *lim* del rapporto tra le derivate del num.re e denomin. della 15:

$$\lim_{U \rightarrow \infty} P(U) = (dP/dU) / (dP/dU) = 3600/t^* = P_0$$

La P_{\max} (P_0) dipende dal valore del tempo psicotecnico e non è possibile stabilirne un valore fisso: più è piccolo t^* più elevata sarà la P_{\max} . La 15 è data in Fig. 5 per $t^*=3\text{s}$ e $B=300\text{m}$ cui corrisponde un flusso massimo tendenziale di 1200tr/h raggiungibile a $V = \infty$.

Questo tipo di d. è realizzabile con la cosiddetta *marcia a vista elettrica*.

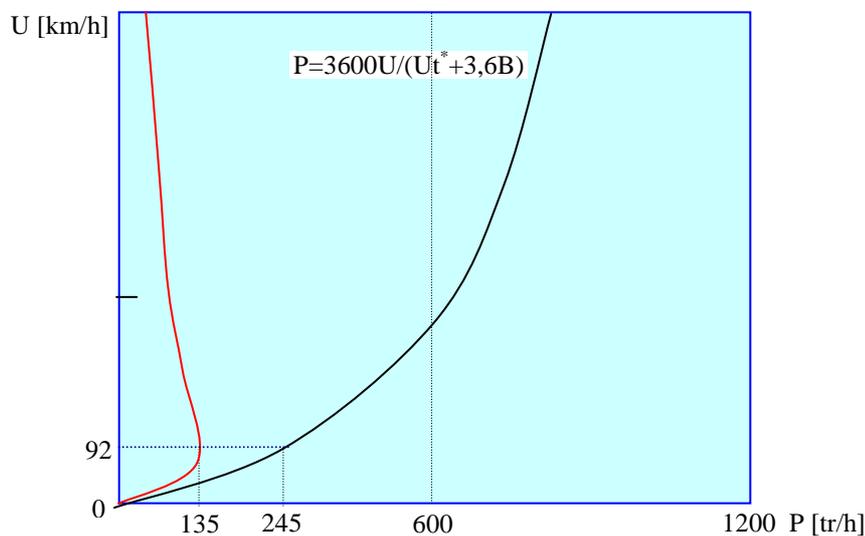


Fig. 5 - Diagrammi delle curve di potenzialità dei modelli a distanziamento funzione della velocità

5.1.2. SISTEMI DI DISTANZIAMENTO PROGRAMMATO

I sistemi di distanziamento attualmente in uso, basati sulle *sezioni di blocco*, informano sulla posizione del treno che precede con una precisione che dipende dalla lunghezza di queste.

Il sistema di circolazione con distanziamento spaziale dei treni comporta la divisione della linea in *sezioni* delimitate da segnali semaforici e deve soddisfare alla condizione fondamentale: in ogni sezione deve trovarsi un solo treno per volta (Fig. 6).

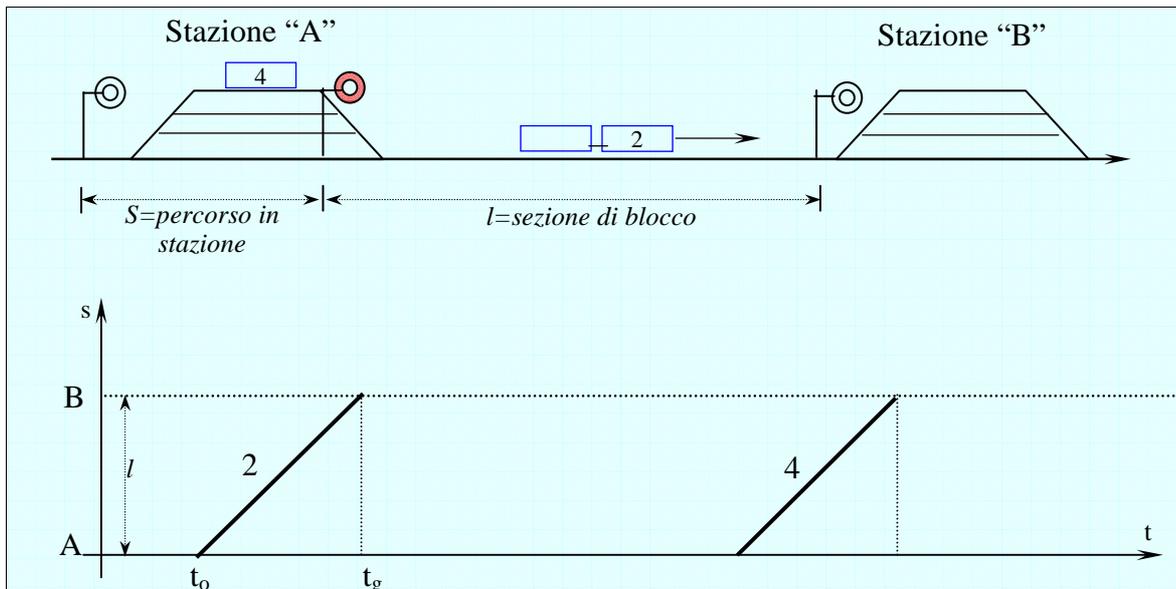


Fig. 6 - Schema di linea con sezione di blocco

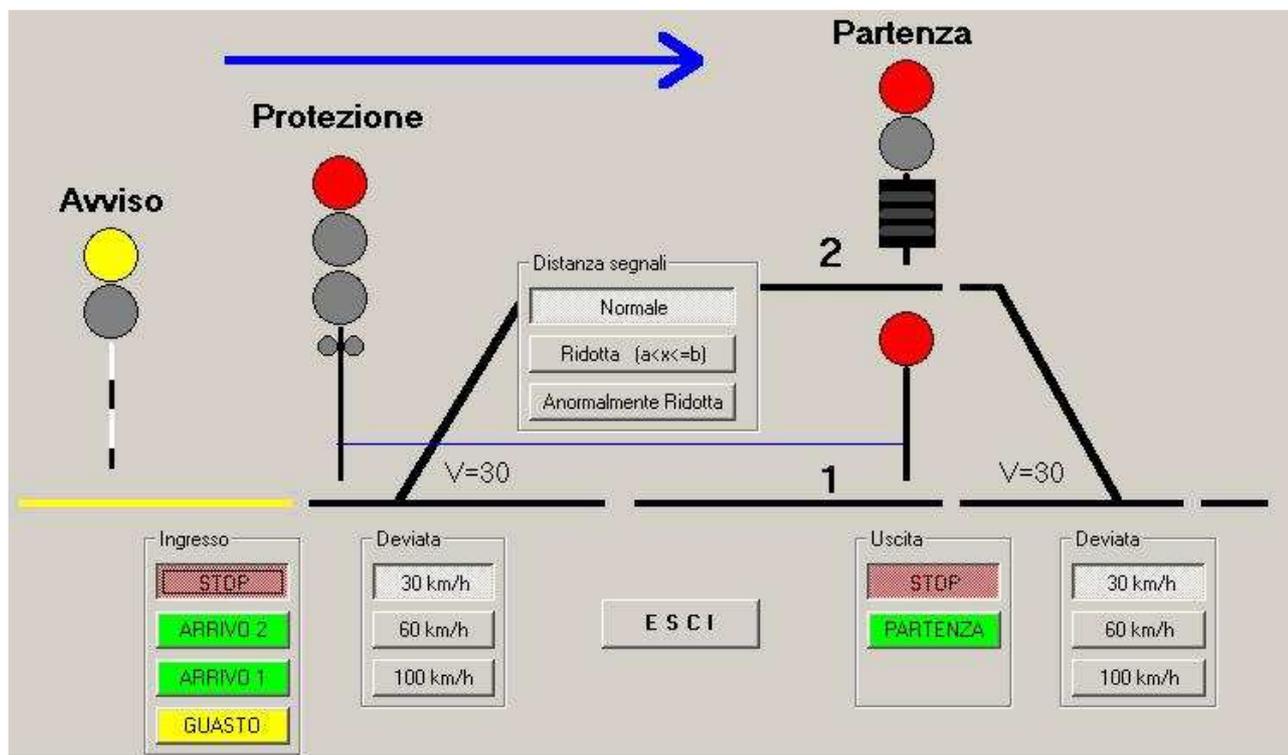


Fig. 6a - Schema di movimento in stazione con segnalamento

5.1.3. I REGIMI DI CIRCOLAZIONE IN LINEA

I criteri di sicurezza per la circolazione in linea si basano fondamentalmente sulla verifica della libertà della tratta da percorrere e sulla compatibilità del verso di percorrenza.

La circolazione è regolata da rigidi sistemi di sicurezza mirati a evitare collisioni; la linea è suddivisa in *sezioni* che possono essere occupate da un treno alla volta previa autorizzazione concessa da terra tramite il sistema di segnalamento che deve assicurare al treno in arrivo che nella sezione non si trovi un altro treno o una sua parte, cioè che sia libera. Ciò è realizzato con apposite apparecchiature e procedure che identificano i regimi di circolazione in linea.

La verifica delle condizioni di sicurezza e la conseguente autorizzazione ad utilizzare la sezione di linea

possono effettuarsi in modi diversi in funzione del criterio di regolazione adottato e del livello di automazione del sistema di segnalamento.

Le apparecchiature esistenti seguono due diverse logiche: un tipo di procedura parte dal presupposto che la sezione ove deve immettersi il treno sia libera o *sbloccata* e che venga bloccata solo per il tempo necessario al treno a percorrerla; l'altra presuppone che la sezione sia *bloccata* e che venga sbloccata solo per il tempo necessario ad immettervi un dato treno (Fig. 6).

Quanto sopra viene attuato con i seguenti regimi di circolazione:

- giunto telefonico (GT) → blocco elettrico automatico - BEA
- blocco telefonico (BT) → blocco elettrico manuale - BEM.

GIUNTO TELEFONICO

- L'addetto in "B" accerta l'interezza del treno 2 mediante riconoscimento del "segnale di coda"
- Trasmette fonogramma di "giunto treno 2" all'addetto del PB di monte in "A"; da questo momento "A" può dare via libera ad un altro treno, ad es il 4
- La sezione è normalmente sbloccata; si blocca solo x il tpo $t_g - t_o$ necessario al treno 2 a percorrere la sezione
- È meno sicuro del BT ma il perditempo per le operazioni di marcia è + contenuto.

BLOCCO TELEFONICO

- L'addetto al PB della stazione "A" chiede a quello in "B" c/fonogramma il consenso per l'invio di un dato treno, ad es. il 4; "B" dà il consenso scritto c/fonogramma solo se ha verificato l'arri-vo e l'interezza dell'ultimo treno che ha percorso la sezione (il 2)
- La sezione è normalmente bloccata; si sblocca solo x il tempo necessario a dare "via libera" al dato treno (il 4)
- È più sicuro del GT ma comporta un perditempo maggiore (~3÷4min).

Il sistema normale di blocco, salvo guasti che esigono il blocco telefonico, è di tipo elettrico e può essere:

- Manuale-semiautomatico (blocco Fs) - agli estremi di ogni sezione è situato un PB presenziato che normalmente coincide con la stazione (o intermedio tra 2 stazioni) e che dialoga con quelli adiacenti; importanti funzioni (manipolazione di apposite apparecchiature e accertamento interezza treni) restano affidate all'uomo.
- Automatico - tutte le operazioni richieste per la sicurezza della circolazione si attuano senza intervento umano; il sistema è + evoluto in quanto non richiede il presenziamento dei PB; consente l'aumento della potenzialità della linea con la suddivisione delle tratte da stazione a stazione in + sezioni con PB intermedi; nella realizzazione a circuiti di binario consente il controllo dell'integrità fisica del binario e la ripetizione dei segnali a bordo.

BLOCCO ELETTRICO MANUALE = BLOCCO TELEFONICO

- I PB sono tutti collegati elettricamente
- L'addetto al PB della stazione "A" (di monte) chiede a quello in "B" (di valle) c/impulso elettrico il consenso per l'invio di un dato treno e "B" dà il consenso c/impulso elettrico
- Il PB di valle "B" non può dare il consenso se non dopo che il treno in sezione non ne abbia superato l'estremo agendo sul dispositivo di liberazione (pedale), ma il controllo dell'integrità del treno è affidato a un addetto
- La sezione è normalmente bloccata, si sblocca solo x il tempo necessario a dare via libera al dato treno
- Appena il treno entra in sezione si protegge agendo sul dispositivo di occupazione che manda a via impedita il segnale di protezione oltrepassato
- Il perditempo x la richiesta e concessione del consenso è ridotto ($\approx 12s$).

BLOCCO ELETTRICO AUTOMATICO = GIUNTO TELEFONICO

Per immettere in sicurezza un treno in una SDB, dopo che la stessa è stata liberata dal treno precedente, è necessario:

- accertare, ad es. mediante *circuiti di binario* (CDB) permanentemente alimentati a c.c. o c.a. ricoprenti l'intera tratta, che nessun asse del primo treno sia rimasto nella sezione,

ovvero:

- accertare, a mezzo di contatori differenziali, fatti avanzare da impulsi elettrici inviati da pedali *conta-assi* ubicati all'entrata e all'uscita della sezione di blocco, la parità tra assi entrati e usciti dalla sezione durante il transito del treno precedente.

Esistono sistemi di BEA basati sia sul 1° che sul 2° principio; entrambi i sistemi conseguono un livello di sicurezza superiore a quello dei sistemi di blocco semiautomatico in quanto si elimina anche l'ultima necessità di intervento umano: l'accertamento della completezza del treno transitato.

La linea ha le sezioni sbloccate: esse vengono bloccate dal passaggio del 1° asse della motrice del treno su un relais di binario (normalmente eccitato, alimentato dalla corrente che circola nei binari) che chiude il circuito elettrico e diseccita il relais che aziona il segnale a VIA IMPEDITA.

Il perditempo del sistema è minimo, circa 2s.

- BA CONTA-ASSI: è + economico e ritenuto anche + affidabile del sistema a *circuiti di binario*. Tra gli svantaggi si citano: limiti al n° di SDB realizzabili, no ripetizione segnali a bordo, no controllo continuità binari, no linee A.V. (necessitano ripetizione segnali a bordo)

- BEA A CIRCUITI DI BINARIO A CORRENTI FISSE: non consente la ripetizione dei segnali in macchina e non si adotta nelle nuove realizzazioni.

Nelle linee a d.b. è sistematico il massimo sfruttamento dell'incremento di potenzialità mediante l'inserzione di PB intermedi tra 2 stazioni successive. Il limite si raggiunge quando la lunghezza delle SDB coincide con lo spazio d'arresto relativo alla V_{max} ammessa.

In tale situazione-limite ogni segnale di blocco occupa la posizione in cui deve essere ubicato il segnale d'avviso della SDB successiva; i due segnali, coincidenti, vengono accoppiati in uno solo che fornisce le tre indicazioni fondamentali di verde, rosso e giallo. Tale tipo di blocco è detto *blocco a tre aspetti* (rosso, giallo, verde) o anche a *sezioni concatenate*.

La lunghezza adottata per le SDB è di 1350 m che corrisponde allo spazio d'arresto per $V \approx 160 \text{ km/h}$.

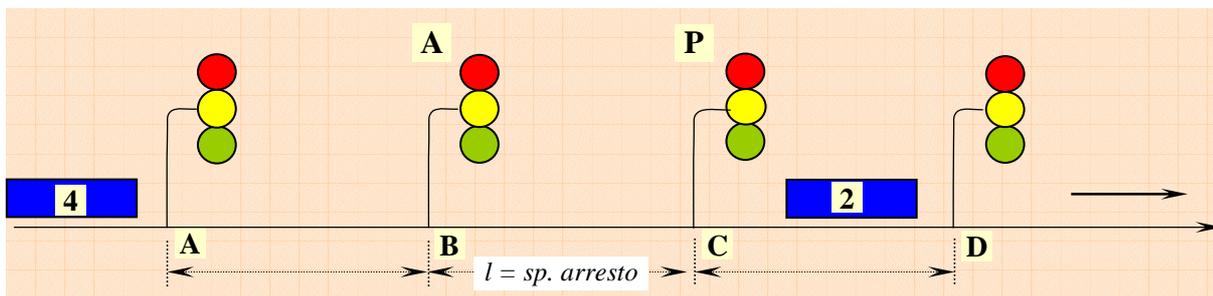


Fig. .7 - Schema di linea con BEA e SDB a distanza d'arresto e segnali accoppiati

A = segnale d'avviso; P = segnale di protezione

- BEA A CORRENTI CODIFICATE

I circuiti di binario sono alimentati con correnti *codificate*: il codice si ottiene interrompendo la corrente con frequenze prestabilite. I codici-base sono: AC = assenza codice, 75 periodi/min (2 emiperiodi, emiss/pausa), 180 periodi/min, 270 periodi/min.

Ad es, il Codice 120 si ottiene interrompendo la corrente 120 volte al minuto ottenendo periodi ON-OFF della durata di 0,5 secondi.

Tab. II.5 - Codici e significati - Corrispondenza tra codice sul CDB ed aspetto del segnale a monte del CDB interessato

Codice	aspetto segnale
AC	rosso
75	giallo
120	Giallo-Verde fisso o lamp
180	Giallo lamp. o Verde
270	Verde

Nell'esempio in Fig. 8 la SDB B-C (valle) è libera ma ne precede una occupata (C-D); l'assenza di codice dietro il treno 2 manda al rosso il segnale in C; da C perviene un 75 al PDB in B che andrà al giallo (pre-

avviso di SDB occupata); da B si invia a monte un 180 che manda al verde (o giallo lamp.) il semaf. in A da cui si invia a monte un cod. 270 che è quello che incontra il treno 4.

I vantaggi: + sicurezza - la condizione di assenza di treni nella SDB è data dalla regolare pulsazione di un relè e non dalla sua eccitazione che potrebbe aversi per un guasto.

È però sempre possibile che un segnale al rosso venga oltrepassato per errore umano; un superamento del problema si ottiene con la ripetizione a bordo dei segnali fissi di linea accoppiata a segnali acustici e frenatura automatica.

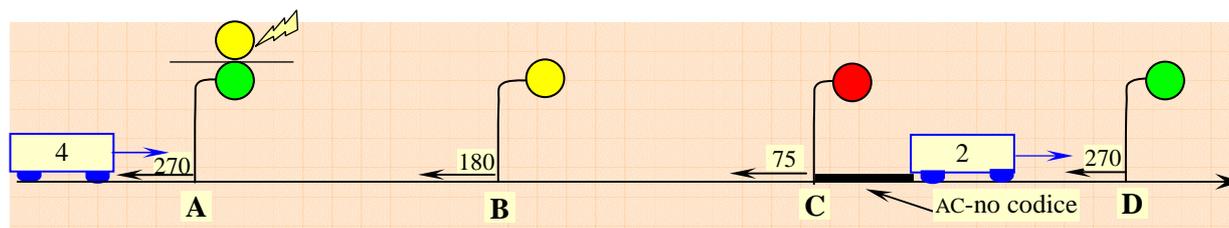
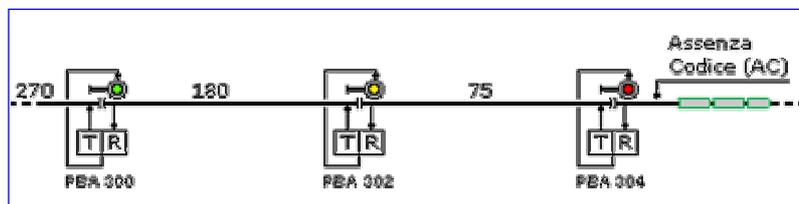


Fig. 8 - Schema di linea con BEA a correnti codificate

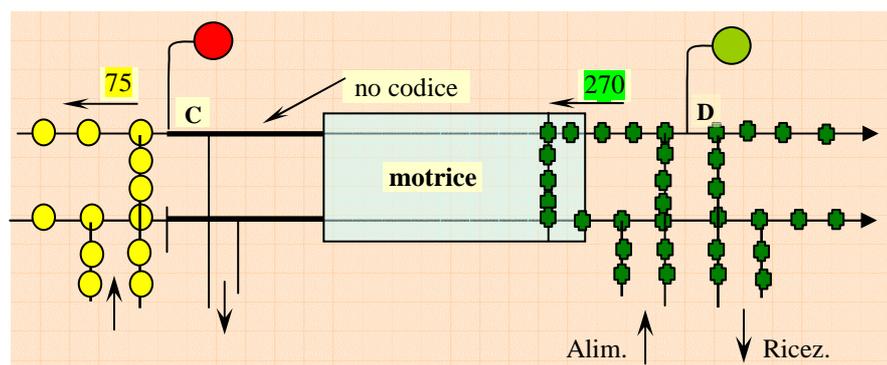


Fig. 9 - Schema di BEA a co.co c/ripetizione a bordo, particolare sezione C-D.

● BEA A CO.CO. CON RIPETIZIONE A BORDO

La motrice, entrando in SDB, cortocircuita il codice il quale è captato e inviato a bordo da una bobina posta sull'asse anteriore; lascia dietro di sé assenza di codice che manda al rosso il segnale oltrepassato. Si veda lo schema in Fig. 10.

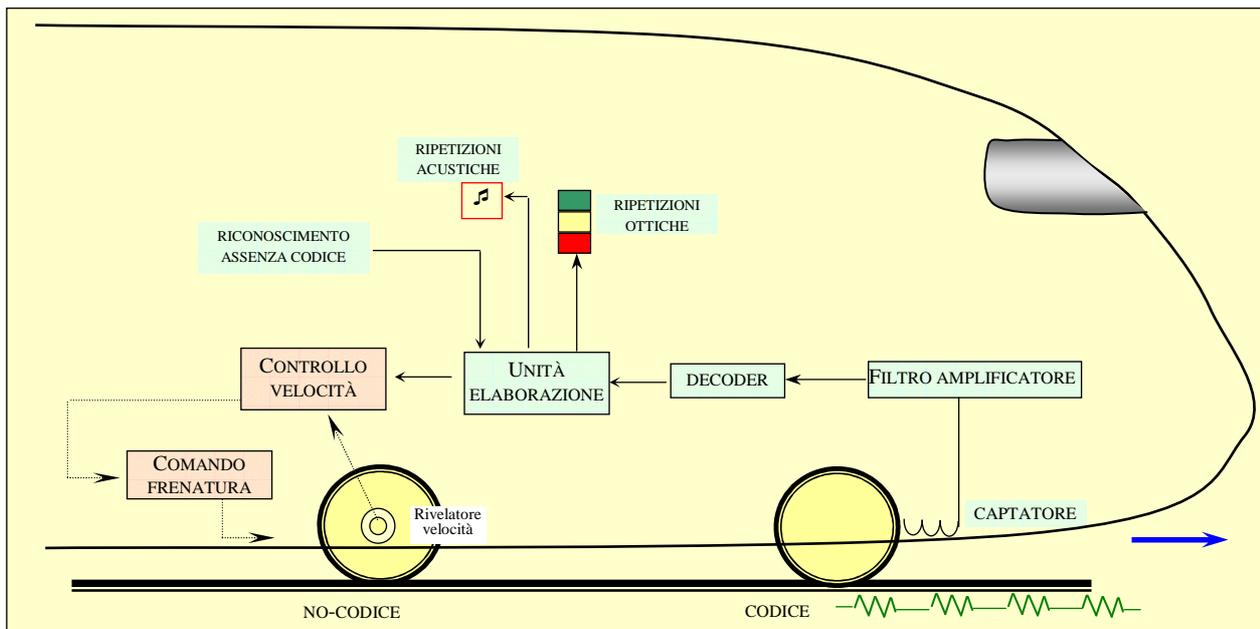


Fig. 10 - Schema della ripetizione a bordo dei segnali

5.1.4. La potenzialità nelle linee con SDB e BEA

Perché i treni non subiscano limitazioni alla loro marcia per la presenza di altri convogli, devono essere distanziati del doppio dello spazio d'arresto l aumentato della lunghezza del treno L ; tale condizione consente ai treni che si seguono in circolazione omotachica di marciare alla V_{max} consentita. In questo caso la potenzialità max di un binario è:

$$P = U/(2l+L) \quad [\text{tr/h-senso}] \quad \text{II.16}$$

U = velocità dei treni, km/h
 l = lunghezza min SDB, km/tr
 L = lunghezza treno, km/tr.

Per $U=150\text{km/h}$, $l=1,35\text{km}$, $L=0,15\text{km}$, la potenzialità teorica è di $\approx 53\text{tr/h}$ ($7,9\text{km-tr/h}$). Il valore è teorico perché sussistono altre limitazioni determinanti (es. circolazione eterotachica) per stabilire la potenzialità max di una linea ferroviaria.

Variando la velocità d'impostazione dei treni in linea si percorre praticamente la curva di prestazione data in precedenza dalla formula 1 che esprime la P . per distanziamento fisso e circolazione omotachica. Poiché $L+l$ è costante, si ha un incremento lineare di P . all'aumentare della V . di marcia fino ad arrivare alla potenzialità max che si ha quando si raggiunge la V . corrispondente allo spazio d'arresto che definisce la lunghezza minima della SDB (l).

Bibliografia

Malavasi G., Ricci S., *Effetti dei diversi sistemi di sicurezza comando e controllo e della loro affidabilità sulla circolazione*, Giornale del Genio Civile, n° unico, CSLP, Roma, 1995.
Mayer L., *Impianti ferroviari*, 1° Vol., CIFI, Roma, 2003.
Vicuna G., *Organizzazione e Tecnica ferroviaria*, CIFI, Roma, 1993.

Siti web

www.miaferrovia.it
www.trenitalia.com
www.rfi.it