




Landquart, 07 luglio 2016

Gestione del sistema ZBMS

Determinazione delle curve dinamiche di frenatura

per i treni di imprese ferroviarie, che usano un controllo della marcia dei treni conforme allo standard ZBMS

Versione	No. 1.1
Validità:	07.07.2016
Numero del documento:	21186

Ferrovia retica Autore: 07.07.2016  Pierre-Yves Kalbfuss P-PE-VZ	Controllato / verificato:  Martin Kessler P-PE-VZ	Deliberato:  Uwe Hartmann Capo P-PE
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Informazioni relative al documento

Versione	Data	Autore	Aggiornamenti
1.0	13.05.2016	Pierre-Yves Kalbfuss	prima edizione
1.1	07.07.2016	Pierre-Yves Kalbfuss	Cifra 4.3: Aggiunta alle note esplicative

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Obiettivo del regolamento	5
1.2	Ambito di applicazione	6
2	Nozioni di base	6
2.1	DE-Oferr	6
2.2	Determinazione del rapporto di frenatura di un veicolo	7
2.3	Standard ZBMS	8
2.4	Distanza del segnale avanzato	8
3	Determinazione del comportamento di frenatura	9
3.1	Principio	9
3.2	Disinserimento della trazione	9
3.3	Tempo di reazione	9
3.3.1	Tempo di propagazione nel treno	10
3.3.2	Tempo di incremento in ogni veicolo	10
3.3.3	Conteggio parziale	10
3.4	Decelerazione durante la frenatura	11
3.4.1	Influsso della pendenza	11
3.5	Percorso totale di frenatura	12
4	Decelerazione a dipendenza della categoria di freno	12
4.1	Principio	12
4.2	Metodica	13
4.3	Esempi	13
5	Esito delle prove dei freni	16
5.1	Prove di frenatura con veicoli singoli	16
5.2	Prove di frenatura con treni interi	20
6	Conclusioni	25

1 Introduzione

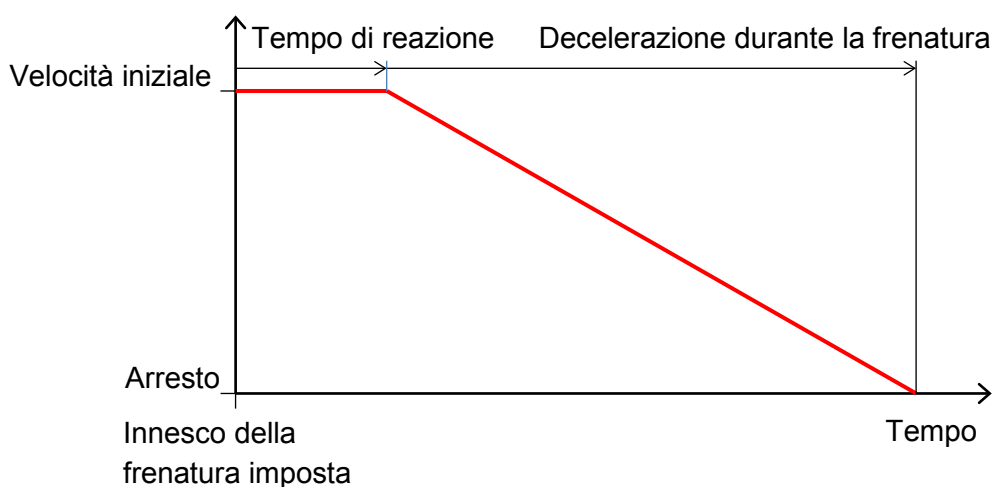
1.1 Obiettivo del regolamento

Le caratteristiche di frenatura di veicoli a scartamento metrico e a scartamento speciale sono definite conformemente alle DE-Oferr, DE 52.2. Queste disposizioni preminenti contengono le basi per stabilire il rapporto di frenatura e il peso freno di un veicolo.

Un sistema moderno di controllo della marcia dei treni definisce una curva di frenatura, che esclude il superamento del punto d'arresto programmato. I dati necessari non possono però essere determinati direttamente in base al metodo di calcolo di frenatura di cui alle disposizioni d'esecuzione dell'ordinanza sulle ferrovie (DE-Oferr), DE 52.2. Per il calcolo delle curve d'applicazione del freno di moderni sistemi di controllo della marcia dei treni come pure per le analisi dei rischi viene usata una procedura che concilia le proprietà fisiche di un veicolo o di un intero treno con il rapporto di frenatura stabilito secondo le DE-Oferr.

La procedura di calcolo da verificare si basa sul seguente principio:

- dopo l'attivazione della frenatura imposta, durante il tempo di reazione il treno procede a velocità costante;
- in seguito, la frenatura avviene con una decelerazione costante fino all'arresto.



Con il presente documento si intende dimostrare l'applicabilità di questa procedura. Sono qui illustrate le relazioni con i rapporti di frenatura determinanti nella circolazione dei treni e con i fattori influenti, come la lunghezza del treno.

Il presente documento non serve però per verificare un algoritmo impiegato in un sistema specifico.

1.2 Ambito di applicazione

Il presente documento è applicabile sulle tratte ad aderenza delle imprese ferroviarie a scartamento metrico e a scartamento speciale. I calcoli della distanza d'arresto sono validi nell'ambito ad aderenza. Non sono considerate le particolarità delle ferrovie a cremagliera.

2 Nozioni di base

2.1 DE-Oferr

Le DE-Oferr, edizione 01.07.2016, contengono i seguenti articoli e prescrizioni riguardanti i freni in generale e in special modo i freni dei locomotori ad aderenza:

Art.	Capitolo	Sezione	Articolo
52	Veicoli	Veicoli non interoperabili	Sistemi di frenatura
76	Esercizio ferroviario	Formare e servire i treni	Regimi di velocità
77	Esercizio ferroviario	Formare e servire i treni	Ordinamento di frenatura

In questi articoli viene trattata, in vari capoversi, la concezione dei freni e la loro efficacia. In linea di massima si distinguono quattro sistemi di frenatura: il freno automatico ad azione indiretta, il freno di manovra ad azione diretta, il freno di stazionamento e il freno di sicurezza. Per lo più vi è anche un freno elettrico (freno motore). Ai fini della sorveglianza della velocità tramite il controllo automatico della marcia dei treni sono rilevanti solo il freno automatico e gli altri sistemi di frenatura da considerare come freni di sicurezza; tuttavia solo in determinati casi è consentito tener conto proporzionalmente del freno di sicurezza (DE 77.2, cifra 4.2).

Nel presente documento non si entra ulteriormente nel merito dei freni da non considerare o da considerare solo a determinate condizioni. La procedura di calcolo di frenatura da convalidare è basata unicamente sull'effetto del freno automatico.

Nelle DE-Oferr (DE 52.2, n. 4) il percorso di frenatura viene definito mediante una formula basata sui seguenti principi:

- corsa a velocità costante durante il tempo d'incremento del freno;
- decelerazione durante la frenatura fino all'arresto.

Tuttavia questa formula è valida solo approssimativamente. A seconda della qualità dei ceppi del freno o dei ferodi, il coefficiente d'attrito fra ceppo e ruota (μ_k) varia in funzione della velocità momentanea. Per motivi fisici, la resistenza dell'aria dipende dal quadrato della velocità.

$$X = v_0 \cdot t_n + \frac{\frac{1000}{2} \cdot v_0^2 \cdot (1 + \xi)}{\mu_k \cdot \frac{P}{G} \cdot \frac{\lambda}{100} + w + s}$$

X	Percorso di frenatura dall'attimo di scatto della frenatura imposta fino all'arresto [m]
v_0	Velocità iniziale [m/s]
t_n	Perdita di tempo $=0.39 \cdot t_1$ [s]
t_1	Tempo di riempimento del cilindro del freno fino al 95% della pressione massima [s]
P	Somma delle forze di pressione ai ceppi del veicolo [N]
G	Massa del veicolo compreso il carico [t]
w	Resistenza di marcia (valore medio) [N/t]
s	Resistenza d'inclinazione, positiva in salita, negativa in discesa [N/t]
μ_k	Coefficiente di attrito ceppo – ruota (valore medio) [-]
ξ	Supplemento per massa rotante [-]
λ	Centesimi del peso-freno [-]

Le prove di frenatura eseguite hanno dimostrato che la maggioranza dei veicoli presenta un comportamento di frenatura con decelerazione quasi costante. Solo nella fascia più bassa di velocità la decelerazione momentanea aumenta in misura rilevabile per certi tipi di veicoli in seguito all'aumento del coefficiente d'attrito fra il ceppo e la ruota. Essa agisce quindi a favore della sicurezza (il percorso di frenatura risulta in effetti più breve rispetto a quello che si ottiene ipotizzando una decelerazione costante su tutto il settore).

La decelerazione media di un veicolo durante il processo di frenatura diminuisce man mano che la velocità iniziale si abbassa. Ciò accade in caso di tempi di riempimento più lunghi del cilindro del freno e si constata solo se l'intero percorso di frenatura, dall'inizio fino all'arresto, viene considerato in modo indifferenziato. Nella fascia di velocità bassa, il tempo di reazione dall'inizio della frenatura fino al raggiungimento della pressione nel cilindro del freno ha un influsso relativamente più elevato su tutto il percorso di frenatura rispetto alla fascia di velocità alta.

2.2 Determinazione del rapporto di frenatura di un veicolo

Il rapporto di frenatura di un veicolo viene determinato secondo le DE-Oferr, DE 52.2. I centesimi del peso-freno sono determinati in funzione del percorso risultante delle prove di frenatura e si desumono dal diagramma di valutazione dei freni riportato alle DE 52.2, foglio 9.

Queste prove sono di regola eseguite con veicoli nuovi o appena revisionati. In questi casi lo stato degli apparecchi di frenatura è ottimale. Nell'esercizio giornaliero l'efficienza della timoneria del freno può peggiorare, e l'inevitabile sporcizia è un'ulteriore causa d'attrito. Anche in presenza di unità di ceppi frenanti compatte si può avere una perdita di forza di frenatura. Le prove di frenatura eseguite con ceppi nuovi e cerchi profilati a nuovo presentano invece percorsi di frenatura maggiori rispetto a quelli ottenuti con ceppi usurati.

I valori desunti direttamente dalle curve di valutazione della frenatura indicano il rapporto di frenatura effettivo, relativo allo stato del veicolo in quel momento. Come stabilito nell'Oferr, l'effetto frenante deve essere mantenuto su tutta la gamma di usura ammessa (Oferr, ad art. 52.3 n. 1). Se ne deduce che le diciture sul veicolo devono essere corrette in modo che nell'esercizio giornaliero il rapporto di frenatura calcolato sia sempre rispettato. Rientra nell'ambito di responsabilità dell'impresa ferroviaria definire, in base alle condizioni operative e allo standard di manutenzione, un fattore di correzione per tener conto della dispersione dei percorsi di frenatura tra veicoli della stessa serie considerato lo stato di manutenzione del momento.

2.3 Standard ZBMS

Ai fini di un calcolo esatto delle curve e distanze di frenatura nell'unità di bordo, devono essere programmate le corrispondenti caratteristiche di frenatura del veicolo.

Soltanto la curva di frenatura per la frenatura imposta è rilevante per la sicurezza: in caso di errore del macchinista, l'arresto prima del punto programmato deve essere sempre garantito. Le curve di avvertimento e, se programmate, anche le curve di frenatura di sistema servono da supporto al macchinista e non devono soddisfare esigenze rilevanti per la sicurezza.

Deve essere pertanto convalidato solo il comportamento di frenatura in caso di frenatura imposta.

2.4 Distanza del segnale avanzato

In linea di principio, per determinare le distanze dei segnali avanzati si parte dal presupposto di una frenatura completa che il macchinista esegue all'altezza del segnale avanzato. L'arresto di tutti i treni dopo una frenatura imposta innescata dal sistema deve però avvenire su una distanza minore, poiché il sistema agisce in remoto e non deve intervenire se il comportamento del macchinista è conforme alle prescrizioni. Se la distanza del segnale avanzato è troppo breve, la curva di azionamento del freno da parte del sistema imporrà una riduzione della velocità già prima di superare tale segnale. In certi casi questa problematica si può riscontrare solo in presenza di rapporti di frenatura inferiori. Se è troppo breve, la distanza del segnale avanzato deve essere corretta o mediante lo spostamento del segnale avanzato o con la riduzione della velocità durante l'avvicinamento a tale segnale.

La distanza del segnale avanzato non influisce sul comportamento di frenatura dei veicoli. Nel presente documento non viene quindi ulteriormente considerata.

3 Determinazione del comportamento di frenatura

3.1 Principio

Il processo di frenatura dal momento dell'inscasso di una frenatura imposta fino all'arresto comprende le seguenti fasi:

- disinserimento della trazione;
- tempo di reazione;
- decelerazione durante la frenatura.

Ogni processo va considerato separatamente poiché le proprietà possono variare in funzione del veicolo o della lunghezza del treno. Questo principio vale sia per un solo veicolo sia per un intero treno.

3.2 Disinserimento della trazione

Per il calcolo delle curve di frenatura si presuppone che il veicolo motore acceleri al massimo fino al momento del disinserimento della forza di trazione. Questo fa sì che la frenatura imposta debba essere iniziata tempestivamente. In caso di frenatura imposta, la forza di trazione in un locomotore elettrico viene immediatamente interrotta ad esempio mediante disinserimento dell'interruttore principale o blocco del convertitore. In questo caso, nella concezione del controllo automatico della marcia dei treni, il tempo di riduzione della forza di trazione ossia il tempo che intercorre fino all'inizio dell'incremento della forza frenante, deve essere programmato con il minor valore possibile. Questo vale per tutti i modelli di frenatura programmati.

Per i veicoli in cui la trazione non può essere interrotta immediatamente, (veicoli a trazione termica) questo valore non deve essere trascurato, e va determinato caso per caso.

Se nel treno vi sono più locomotori serviti singolarmente, la trazione viene disinserita immediatamente dal sistema di controllo della marcia dei treni solo sul locomotore di testa. Sugli altri locomotori il disinserimento avviene solo dopo che è stato rilevato un abbassamento della pressione nella condotta principale o un aumento della pressione nel cilindro del freno.

La distanza percorsa durante il disinserimento della forza di trazione non è considerata nei calcoli illustrati nel presente documento. Essa va considerata caso per caso.

3.3 Tempo di reazione

Il ritardo temporale dall'inscasso della frenatura fino al raggiungimento della massima forza freno si ottiene sommando il tempo d'incremento della forza frenante su ogni veicolo e il tempo di propagazione fino in coda al treno. Durante questo intervallo di tempo, il modello di frenatura calcola una velocità costante.

La forza di frenatura aumenta gradualmente con l'aumento della pressione nel cilindro del freno dopo l'innescio della frenatura, fino al completo riempimento del cilindro del freno nell'ultimo veicolo del treno. Quindi il tempo di reazione risulta dalla somma del tempo di propagazione e del tempo di incremento.

3.3.1 Tempo di propagazione nel treno

Il tempo di propagazione nel treno è il tempo che decorre dall'innescio della frenatura imposta fino al momento in cui la pressione nella condotta principale dell'ultimo veicolo si abbassa a un valore tale da provocare l'attivazione dei freni. Ciò corrisponde a un abbassamento di 0,5 bar rispetto alla pressione nominale. In caso di freno a vuoto si considera un abbassamento di 15 cm/Hg rispetto alla pressione di allentamento.

Durante le prove, la condotta principale va svuotata con la valvola di frenatura imposta. Il tempo di propagazione rispetto a una frenatura rapida può essere molto più lungo. Ciò accade se il passaggio nella valvola di frenatura imposta non è ottimale oppure, nei veicoli più vecchi, se l'alimentazione della condotta principale non viene interrotta.

Il tempo di propagazione può essere determinato mediante prove effettuate su un treno fermo della lunghezza massima.

Il tempo di propagazione può essere ridotto al minimo con l'impiego di acceleratori della frenatura rapida oppure, in caso di freno a vuoto, mediante valvole di frenatura rapida.

3.3.2 Tempo di incremento in ogni veicolo

Il tempo necessario per riempire il cilindro del freno fino all'80 per cento è più rappresentativo del riempimento totale dello stesso. Verso la fine l'afflusso d'aria viene strozzato.

Il tempo di incremento può essere determinato mediante prove effettuate su un singolo veicolo fermo.

Durante le prove la condotta principale va svuotata il più rapidamente possibile con il mezzo più appropriato.

In presenza di vari tipi di veicoli, occorre tener conto di quelli che necessitano di un tempo di incremento maggiore (ad es. i carri merci).

3.3.3 Conteggio parziale

Poiché i cilindri del freno si riempiono progressivamente, il tempo di incremento nei singoli veicoli può eventualmente essere considerato solo parzialmente. Una decelerazione si crea già prima che la pressione del cilindro del freno abbia raggiunto il valore massimo.

Nella fascia di velocità più bassa l'influsso del tempo di reazione sull'intero percorso di frenatura è relativamente più alto che alla velocità massima. Una sottovalutazione del tempo di reazione può causare, in caso di frenatura imposta a bassa velocità, un per-

corso di frenatura maggiore di quello calcolato dal sistema di controllo della marcia dei treni, e quindi un superamento del punto di pericolo. Di conseguenza, in caso di conteggio parziale del tempo di reazione i percorsi di frenatura calcolati mediante prove di frenatura imposta devono essere verificati a basse velocità.

3.4 Decelerazione durante la frenatura

Il calcolo delle curve di frenatura avviene alla decelerazione media programmata "a" in [m/s²]. Questa decelerazione media non può essere equiparata alla percentuale di frenatura (centesimi del peso-freno) poiché il valore percentuale di frenatura comprende un tempo per l'incremento dell'effetto frenante. Conformemente alle DE-Oferr ad articolo 52.2 n 6.1.1, 100 centesimi di peso-freno corrispondono a una decelerazione media di 1 m/s² in caso di frenatura a partire da 50 km/h su una tratta orizzontale, calcolata in base alla velocità iniziale e al percorso di frenatura fino all'arresto. Viene così considerato il percorso totale di frenatura dal momento dell'inesco della frenatura fino all'arresto del treno. Se il tempo di riempimento del cilindro del freno è di 2,5 secondi, la conseguente decelerazione deve ammontare in media a 1,6 m/s² per poter mantenere lo stesso percorso di frenatura di 96 m.

La decelerazione media viene ipotizzata come decelerazione costante fino all'arresto.

Sono rilevanti i seguenti parametri:

v_0 = velocità iniziale [m/s]

s_b = percorso di frenatura [m]

a = decelerazione media di frenatura [m/s²]

st = salita [‰] (in discesa per il parametro "st" va inserito un valore negativo)

Si applica la formula:

$$a = \frac{v_0^2}{2s_b} + \frac{9.81 \cdot st}{1000}$$

3.4.1 Influsso della pendenza

Per considerare la pendenza, nei calcoli si ipotizza una semplificazione:

$$\sin \alpha = tg \alpha$$

α = angolo d'inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]

Questa ipotesi consente un'importante semplificazione dei calcoli. In caso di inclinazioni fino all'80 ‰ o con un angolo d'inclinazione α fino a 4,57° ossia quelle che presentano le tratte ad aderenza, tale semplificazione porta a una deviazione dello 0,3 per cento dei valori calcolati che risulta trascurabile su tutte le tratte ad aderenza.

Applicando la suddetta semplificazione, in base all'accelerazione terrestre e alla tangente dell'angolo di inclinazione si ottiene una decelerazione calcolata.

$$a_n = \frac{9.81 \cdot st}{1000}$$

a_n = decelerazione di frenatura media [m/s²]

st = salita [‰] (in discesa per il parametro "st" va inserito un valore negativo)

In questo caso occorre prestare attenzione all'indicazione (+/-). Una salita provoca una decelerazione durante la frenatura del treno, ossia un'accelerazione negativa. Una discesa viene rilevata come pendenza negativa, poiché provoca un'accelerazione del treno che si contrappone alla frenatura.

Un treno che in pianura frena con una decelerazione di 0,8 m/s²

- in una salita del 50 ‰ decelera di ca. 1,3 m/s²
- in una discesa del 50 ‰ decelera solo di 0,3 m/s² ca. Rispetto a una tratta pianeggiante il percorso di frenatura è più che raddoppiato.

L'influsso di una forte inclinazione sul percorso di frenatura è massiccio, ma si può determinare facilmente.

3.5 Percorso totale di frenatura

Il percorso totale di frenatura è la somma del percorso coperto durante il tempo di reazione e della decelerazione durante la frenatura:

$$s_b = v_0 \cdot t_v + \frac{v_0^2}{2 \cdot \left(a + \frac{9.81 \cdot st}{1000}\right)}$$

t_v = tempo di sviluppo della forza di frenatura, somma del tempo di propagazione nel treno e del tempo di incremento nei veicoli del convoglio [s]

v_0 = velocità iniziale [m/s]

s_b = percorso di frenatura [m]

a = decelerazione media di frenatura [m/s²]

st = salita [‰] (in discesa per questo parametro va inserito un valore negativo).

4 Decelerazione a dipendenza della categoria di freno

4.1 Principio

Il rapporto di frenatura definisce l'efficacia del freno automatico di un veicolo o di un intero treno. Mediante il calcolo di servizio della frenatura si calcola un rapporto di frena-

tura per ogni treno formato diversamente. Al treno viene inoltre assegnata una categoria di freno.

La velocità massima che figura nelle tabelle di tratta è definita in base alla categoria di freno, alla distanza del segnale avanzato e alla pendenza della tratta.

La categoria di freno è il valore di base per poter determinare la decelerazione di qualsiasi composizione di treno.

4.2 Metodica

I percorsi di frenatura conformi al diagramma di valutazione dei freni riportato alle DE-Oferr 52.2, foglio 9 considerano il percorso di frenatura di un singolo veicolo, incluso il tempo di incremento, con una pendenza dello 0 ‰. In base a tale diagramma, a ogni rapporto di frenatura può essere associata un'equivalente decelerazione media. Secondo il diagramma summenzionato il percorso di frenatura comprende il tempo di incremento della forza di frenatura nel singolo veicolo. Questo parametro deve essere considerato nel calcolo della decelerazione. In linea di principio, il calcolo deve essere effettuato considerando la velocità massima del veicolo sulla tratta

$$a = \frac{v_0^2}{2(s - v_0 \times t_0)}$$

a decelerazione media [m/s²]

v_0 velocità iniziale [m/s]

t_0 tempo di incremento [s]

s percorso di frenatura [m]

Se il treno comprende veicoli di diverso tipo, il calcolo si riferisce alla categoria di freno. La velocità iniziale v_0 è la velocità massima della relativa categoria di freno sulla rete ferroviaria. Il tempo di incremento t_0 è il valore relativo all'intero treno con la composizione più sfavorevole.

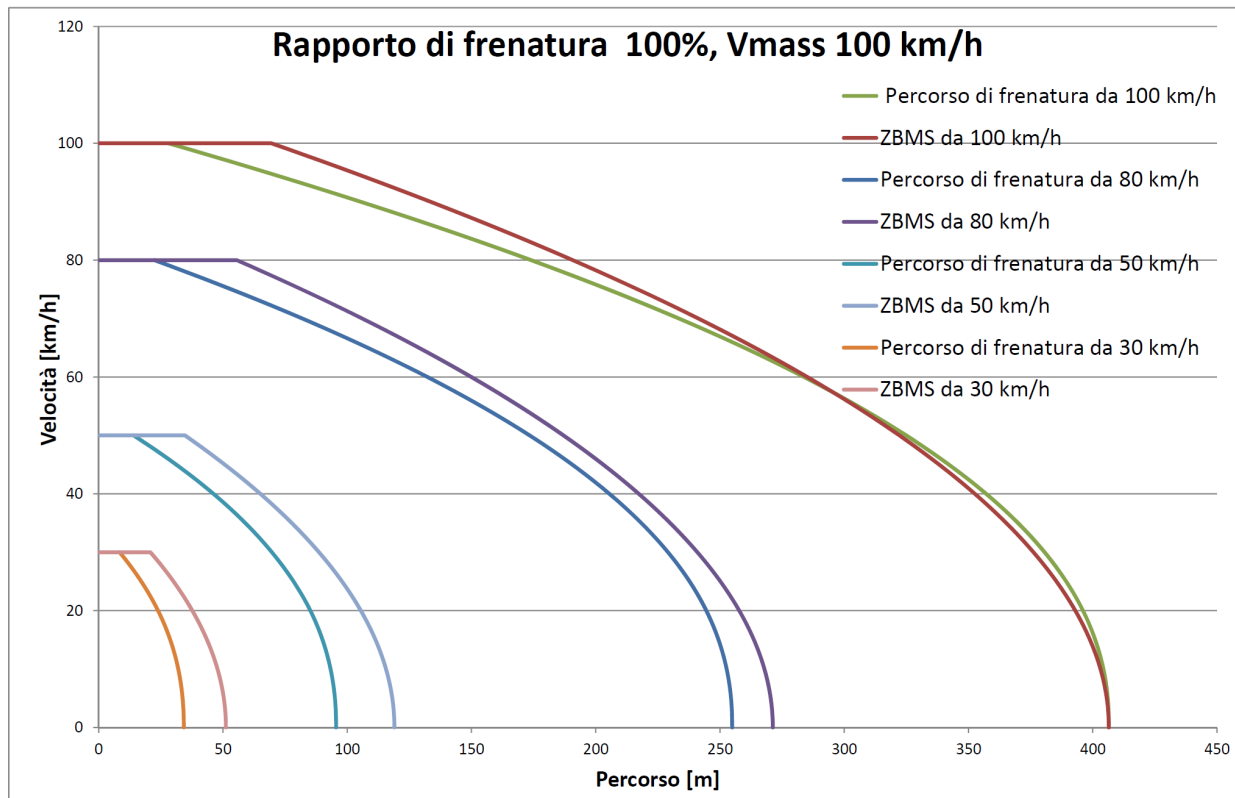
Con questa procedura, in caso di frenatura a velocità inferiore rispetto alla velocità massima del veicolo o della categoria di freno si calcola sempre un percorso di frenatura più lungo rispetto a quello risultante in base al diagramma di valutazione dei freni alla stessa velocità. Di conseguenza, la frenatura imposta prima di un punto di pericolo viene innescata sempre in anticipo rispetto al percorso di frenatura minimo risultante dal diagramma summenzionato. L'arresto tempestivo prima del punto di pericolo è garantito a qualsiasi velocità iniziale.

4.3 Esempi

Il percorso di frenatura è stato tracciato per vari rapporti di frenatura e velocità massime sia secondo il diagramma di valutazione dei freni sia in base al relativo calcolo tramite il controllo automatico della marcia dei treni. Si tiene sempre conto di un tempo di reazione di 2,5 s.

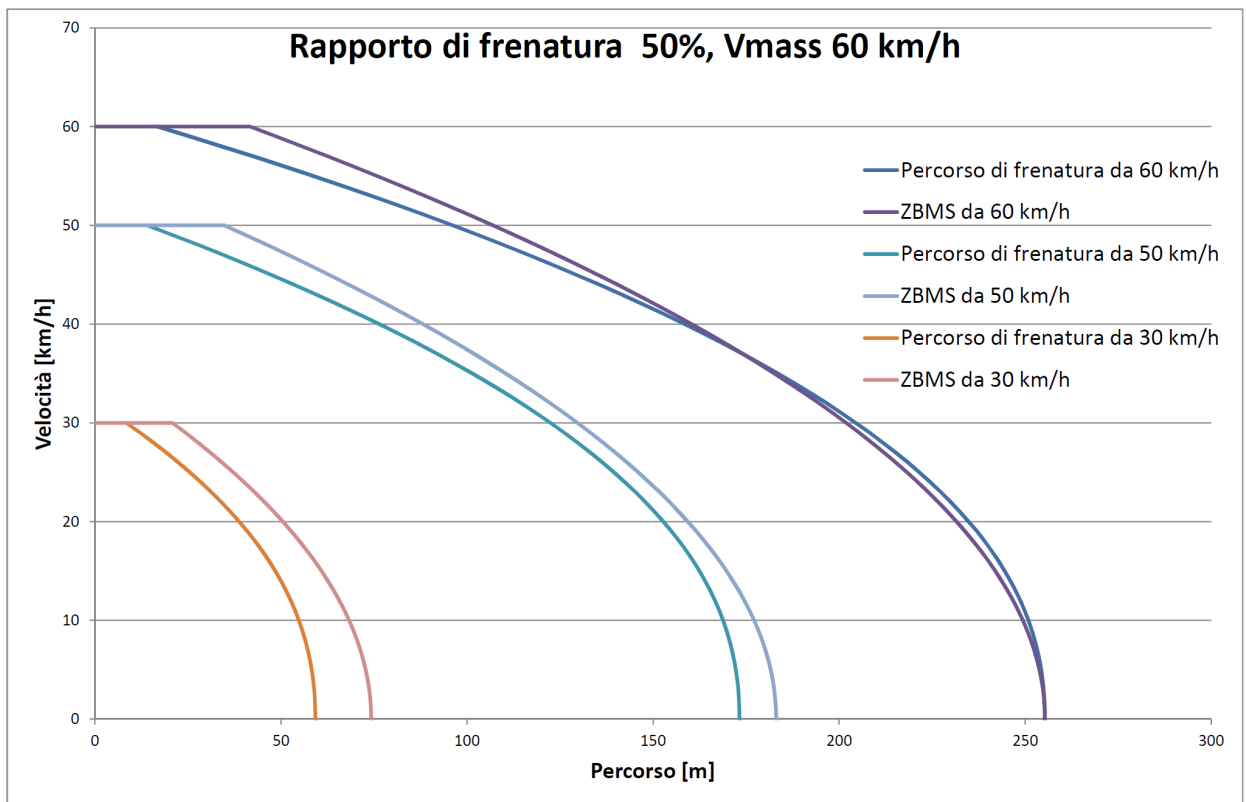
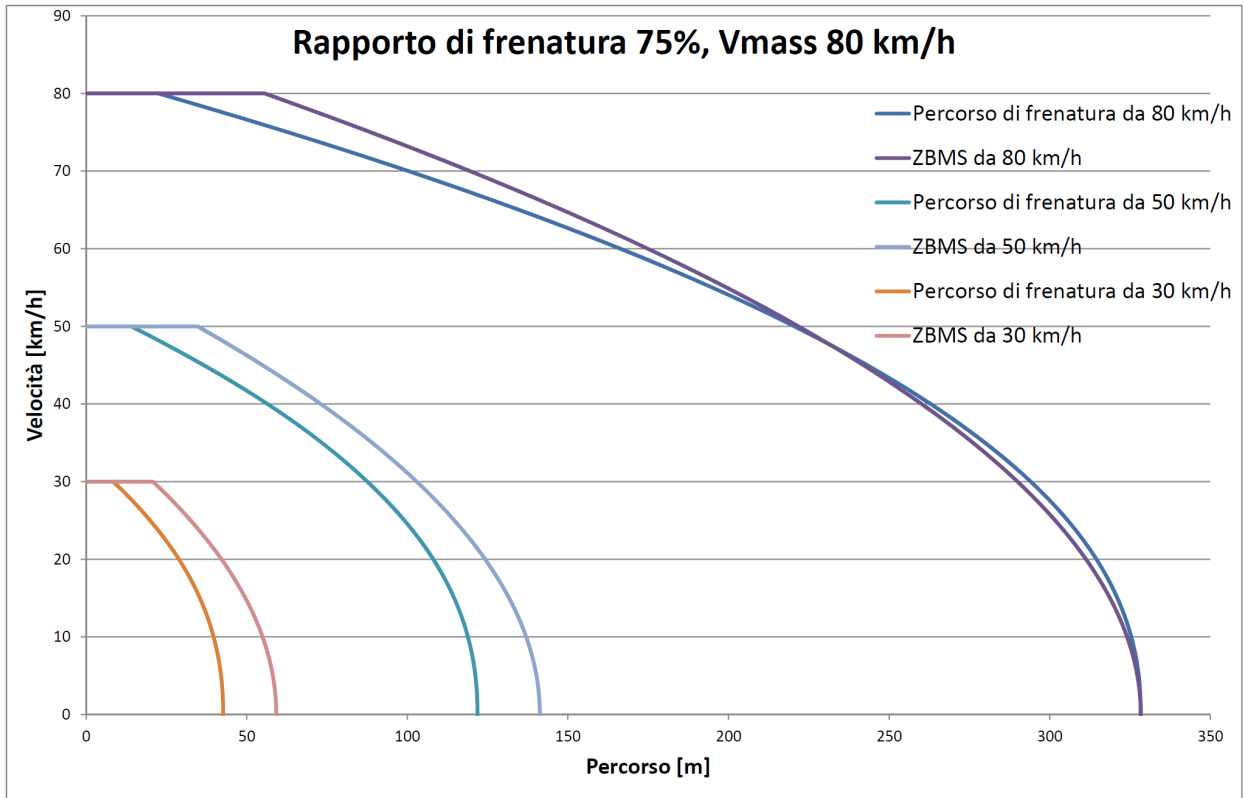
Le curve "Percorso di frenatura" mostrano il percorso di frenatura determinato in base al diagramma di valutazione dei freni di cui alle DE-Oferr, DE 52.2 foglio 9.

Le curve "ZBMS" mostrano il percorso di frenatura calcolato tramite la formula di cui al capitolo 3.5 del presente documento.



Il percorso di frenatura determinato in base al diagramma summenzionato è dedotto in base al comportamento dinamico di un veicolo dotato di ceppi del freno in ghisa (GG P10). In seguito al rapido aumento del coefficiente d'attrito dei ceppi di ghisa verso la fine della corsa, l'andamento delle due curve non è parallelo. Per una velocità di riferimento compresa tra 10 e 50 km/h si calcola un percorso leggermente inferiore rispetto a quello determinato secondo il diagramma. Una frenatura imposta alla velocità massima, con velocità di riferimento di 10 – 50 km/h, potrebbe portare a un leggero superamento della soglia di velocità (fino a circa 5 km/h). Questo superamento, che si riscontrerebbe solo per i treni dotati di ceppi di ghisa, non è da considerare pericoloso.

I percorsi di frenatura determinati in base al diagramma di valutazione dei freni di cui alle DE-Oferr, DE 52.2 foglio 9 sono rispettati per il fatto che il rapporto di frenatura dei veicoli è definito in base a tale diagramma. Questi percorsi di frenatura sono sempre più brevi rispetto a quelli calcolati con la formula di cui al capitolo 3.5 del presente documento. Ciò assicura, in caso di superamento della curva di sorveglianza, che la frenatura imposta innescata dal controllo automatico della marcia dei treni garantisca un arresto sicuro prima del punto d'arrivo programmato.



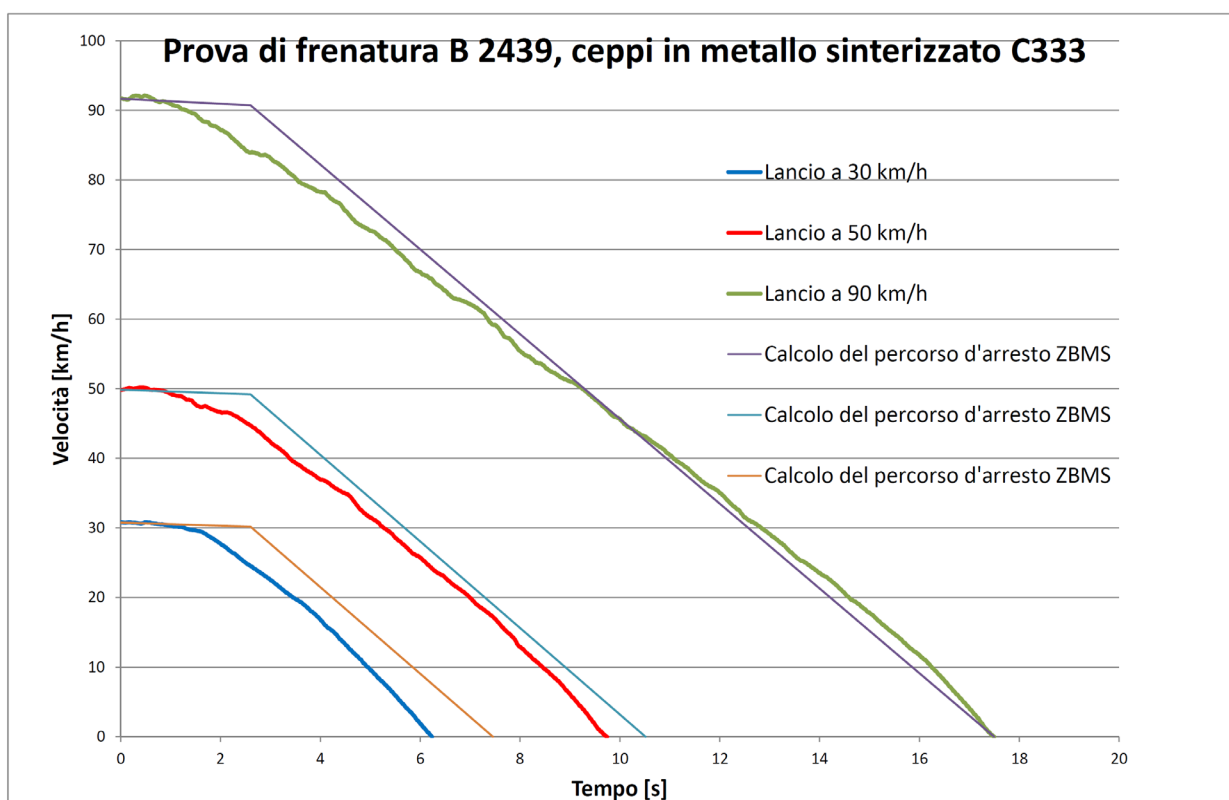
5 Esito delle prove dei freni

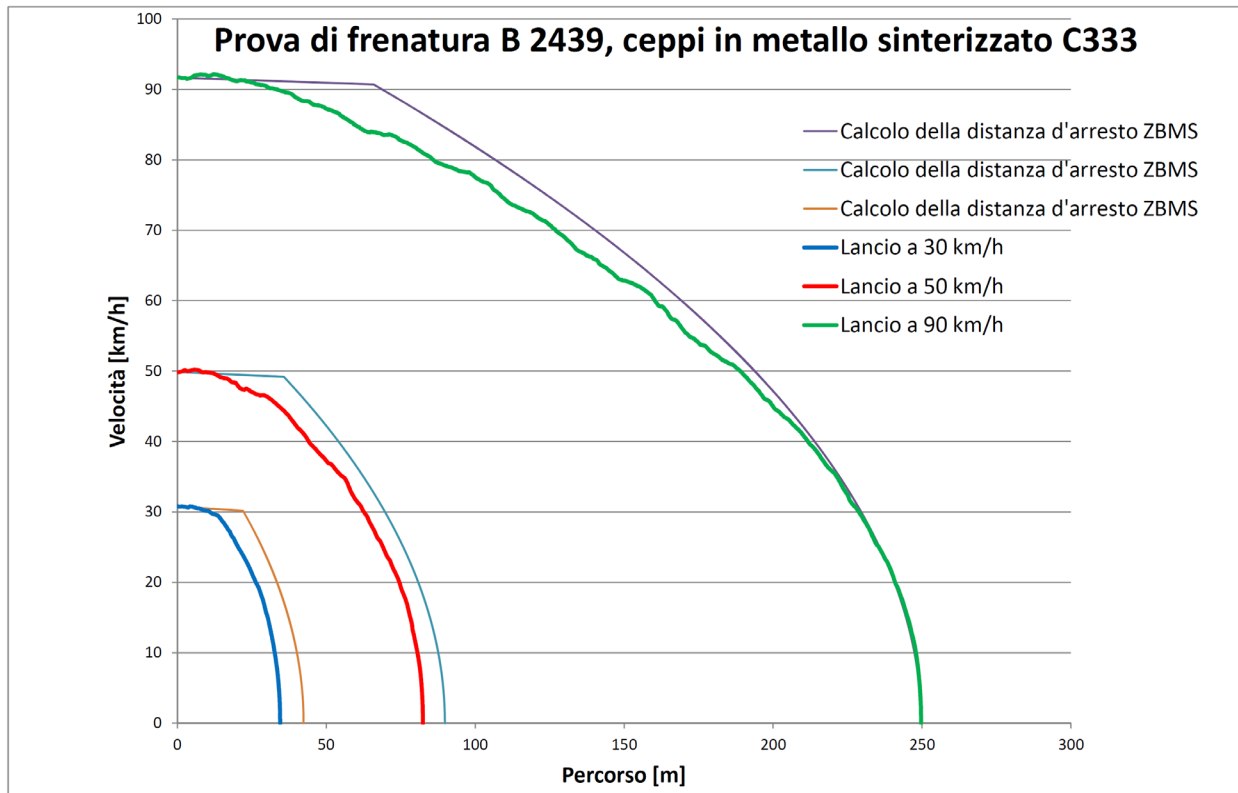
5.1 Prove di frenatura con veicoli singoli

Sono qui esposti i risultati di prove di lancio effettuate con veicoli singoli a velocità iniziali di 30, 50 e 90 km/h. I diagrammi mostrano l'andamento della velocità dal momento d'innescò della frenatura completa; per offrire una visione d'insieme è indicata solo una frenatura per ogni velocità iniziale. Le prove sono state effettivamente eseguite quattro volte ciascuna e hanno mostrato un'ottima riproducibilità. L'andamento della velocità è stato misurato dall'innescò della frenatura tramite radar. La frenatura è stata innescata manualmente, mentre un contatto fissato alla valvola di frenatura ha attivato simultaneamente la misurazione della velocità. Le prove sono state eseguite con carrozze passeggeri delle serie esistenti:

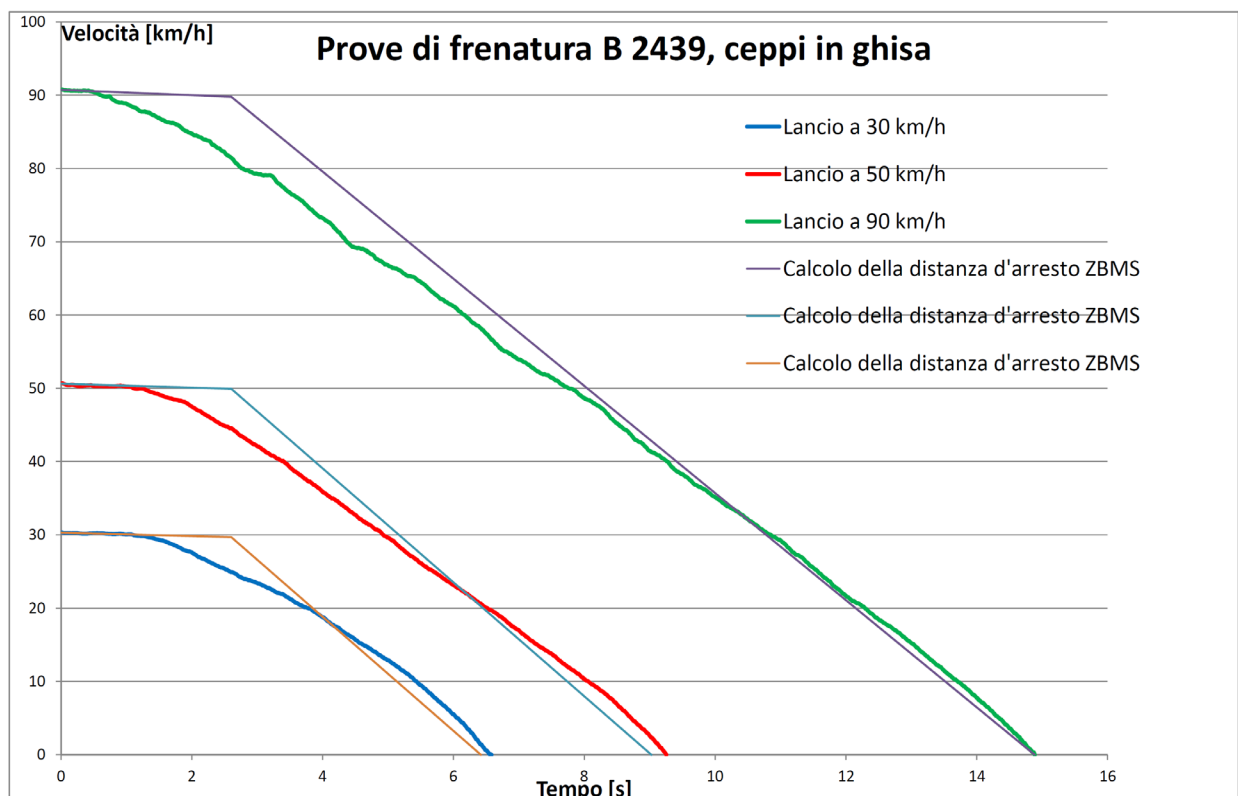
- B 2439 (EW II), dotata di freno ad aria compressa azionato con il vuoto;
- D 4209, bagagliaio dotato di un puro freno a vuoto.

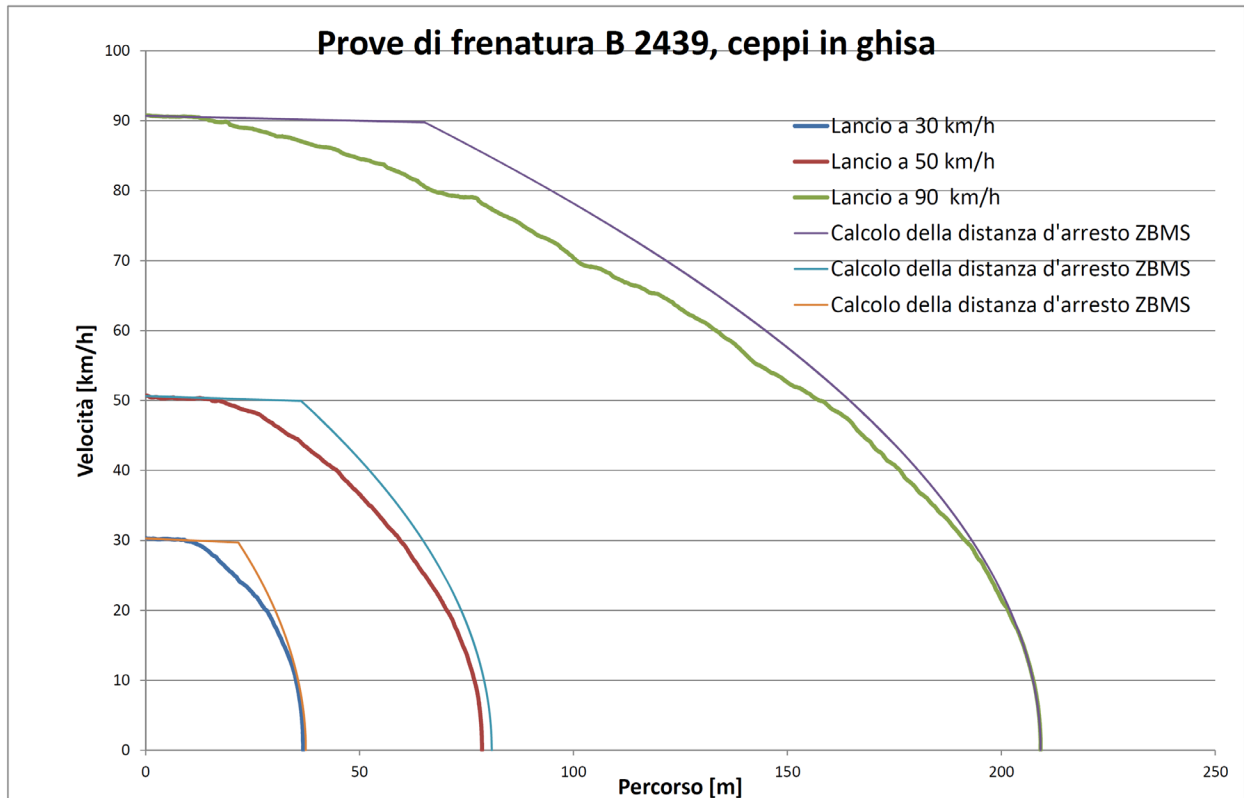
È inoltre indicata la curva di frenatura come sarebbe calcolata dal controllo della marcia dei treni; essa presenta dapprima una linea retta leggermente inclinata verso il basso in corrispondenza della corsa con il freno allentato. La leggera decelerazione è dovuta alla resistenza dell'aria e al rotolamento come pure alla salita del 5 ‰ sul posto delle prove. Dopo il tempo di riempimento del cilindro del freno fino all'80% pari a 2,6 s, è indicata la frenatura con decelerazione costante fino all'arresto. Ai fini della prova, i calcoli sono stati effettuati ipotizzando una velocità massima di 90 km/h e una decelerazione di $1,73 \text{ m/s}^2$. Applicando gli stessi parametri, nelle prove effettuate a partire da velocità iniziali di 30 e 50 km/h il percorso di frenatura risulta leggermente superiore rispetto alla misurazione.



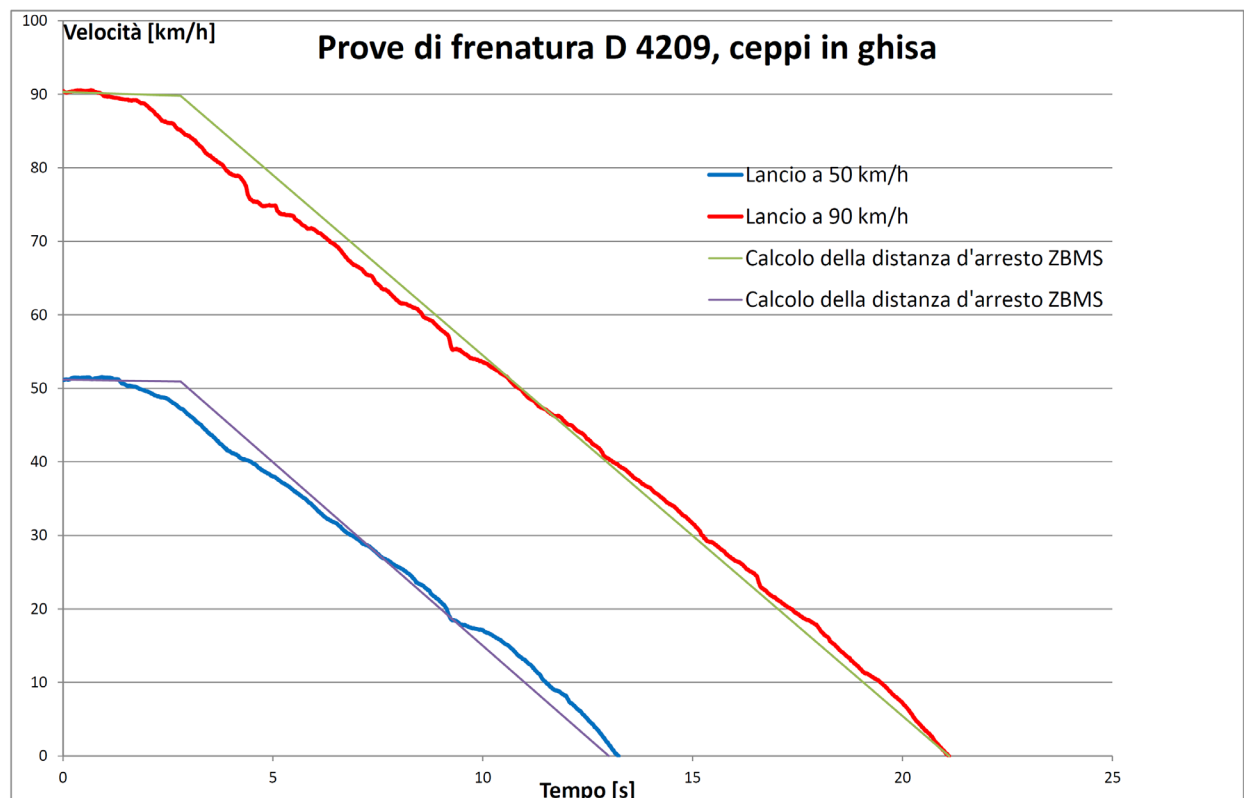


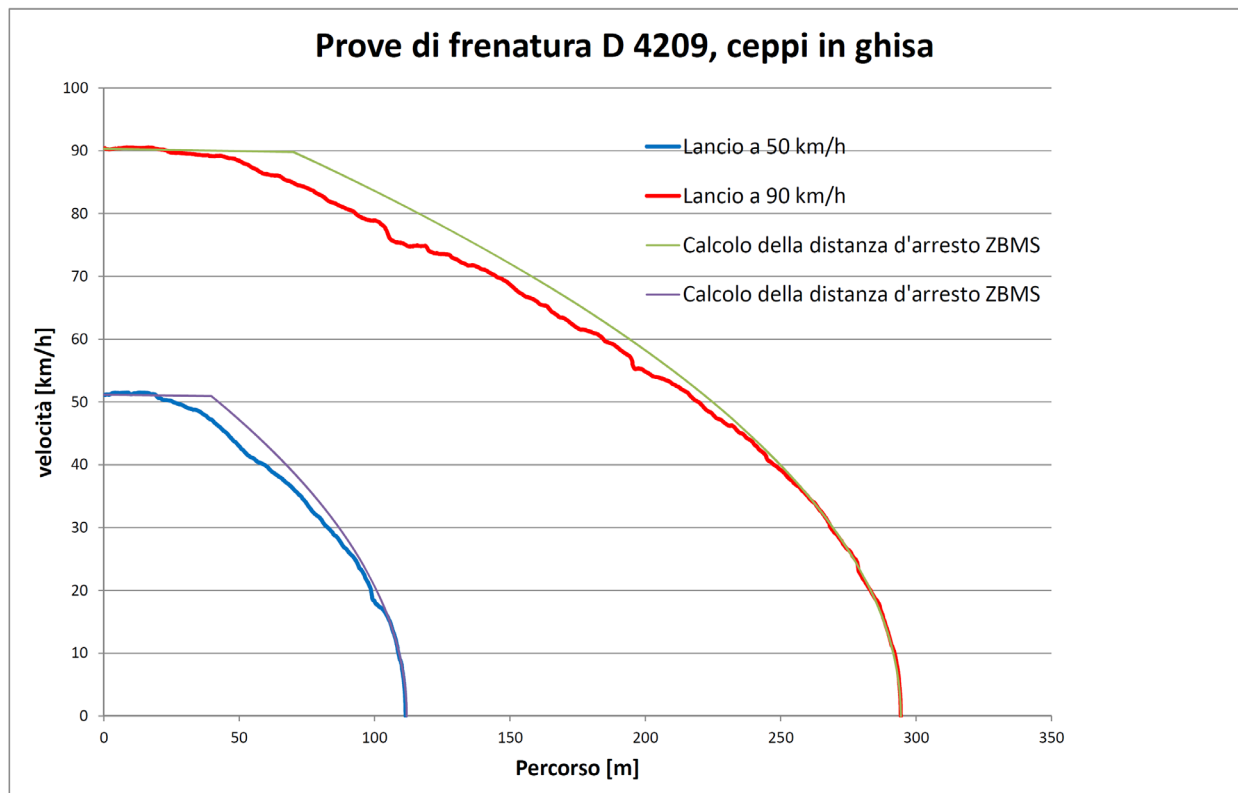
Lo stesso veicolo è stato equipaggiato con ceppi in ghisa Samson (GG P30). Il tempo di riempimento del cilindro del freno fino all'80 per cento è di 2,6 s. Ai fini della prova, i calcoli sono stati effettuati ipotizzando una velocità massima di 90 km/h e una decelerazione di 1.73 m/s^2 . Applicando questi parametri, dalle prove effettuate a partire da 30 e 50 km/h i percorsi di frenatura risultano pressoché identici.





Il bagagliaio D 4209 dotato di un freno a vuoto puro e di ceppi in ghisa Samson (GG P30) è stato spinto a velocità massime di 90 km/h e di 50 km/h. I parametri calcolati presentano un tempo di reazione di 2,8 s e una decelerazione di 1,39 m/s². Le prove sono state eseguite su una tratta orizzontale.





Queste prove rispecchiano gli esempi creati sulla base di calcoli e presentati nel capitolo 4.2. Nell'andamento delle curve si riscontrano le seguenti divergenze:

- per le frenate eseguite a una velocità iniziale più bassa i percorsi di frenatura risultano simili alle curve di frenatura calcolate;
- nel capitolo 4.2, applicando il diagramma di valutazione dei freni di cui alle DE-Oferr, DE 52.2 foglio 9, si ottengono, a una velocità iniziale più bassa, percorsi di frenatura più brevi rispetto alle curve di frenatura calcolate.

Questa divergenza è giustificata dal fatto che il diagramma summenzionato si basa su un tempo di riempimento del cilindro del freno molto breve o su un conteggio parziale dello stesso. Il diagramma non tiene conto di tempi diversi di riempimento del cilindro del freno.

Tutti i diagrammi della velocità misurata in funzione del tempo a partire dall'innesco della frenatura imposta presentano approssimativamente una linea retta indicante la decelerazione durante la frenatura. Una linea retta deriva da una decelerazione costante. Solo verso la fine della frenatura, al di sotto di 15 km/h ca., la decelerazione aumenta parallelamente al coefficiente di attrito del materiale impiegato per i ceppi del freno. La decelerazione misurata, approssimativamente costante, e il metodo di calcolo corrispondono. L'applicabilità del metodo di calcolo è indicata dall'andamento simile delle curve ottenute in base alle prove e di quelle calcolate.

5.2 Prove di frenatura con treni interi

Sono state eseguite prove di frenatura con treni interi di diversa lunghezza. Tutte le frenature imposte sono state innescate in avvicinamento al segnale d'uscita B12 a Schiers. La corsa verso il segnale indicante *arresto* è stata eseguita a velocità costante e con il freno ad aria allentato finché il controllo della marcia dei treni ha innescato la frenatura imposta. L'intera sezione di tratta fra il segnale avanzato d'uscita B*12 e il segnale d'uscita B12 è in discesa, con una pendenza del 15 ‰ e priva di curve. Di conseguenza, la decelerazione del treno rispetto a una tratta pianeggiante è ridotta e il percorso di frenatura è più lungo. Sono state eseguite prove di frenatura a velocità iniziali diverse. I diagrammi indicano l'andamento della velocità dall'innescamento della frenatura imposta fino all'arresto; per migliorare la visione d'insieme, viene indicata una sola frenatura per ogni velocità iniziale. In realtà le prove sono state ripetute più volte e hanno mostrato una riproducibilità ottimale. L'andamento della velocità è stato misurato tramite radar. Nel dispositivo di comando del locomotore, il segnale per la frenatura imposta è stato prelevato e impiegato come impulso (trigger) per la misurazione della velocità.

Sono indicati l'andamento misurato della velocità del treno e l'andamento teorico della velocità del modello di frenatura.

Il modello di frenatura corrispondente al rapporto di frenatura del 100 per cento è stato definito per una lunghezza massima del treno di 200 m. I parametri sono:

- tempo di reazione 2,0 s;
- decelerazione durante la frenatura 0,98 m/s²

Ai fini dell'esame del modello di frenatura, il treno di prova era composto come segue:

- locomotiva Ge 4/4^{II};
- peso rimorchiato: 40 assali carrozze passeggeri / 169 t;
- lunghezza del treno: 185 m;
- rapporto di frenatura del treno dopo aver eseguito il calcolo di frenatura: 100%.

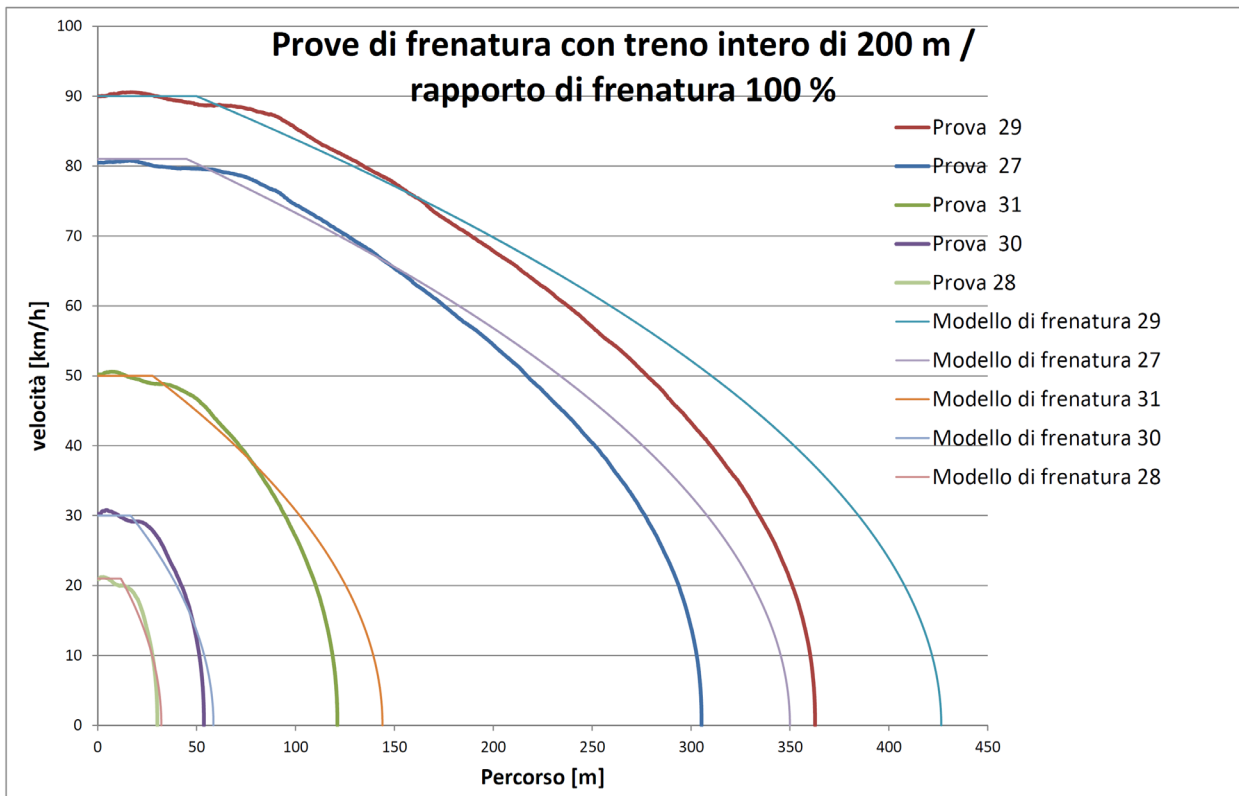
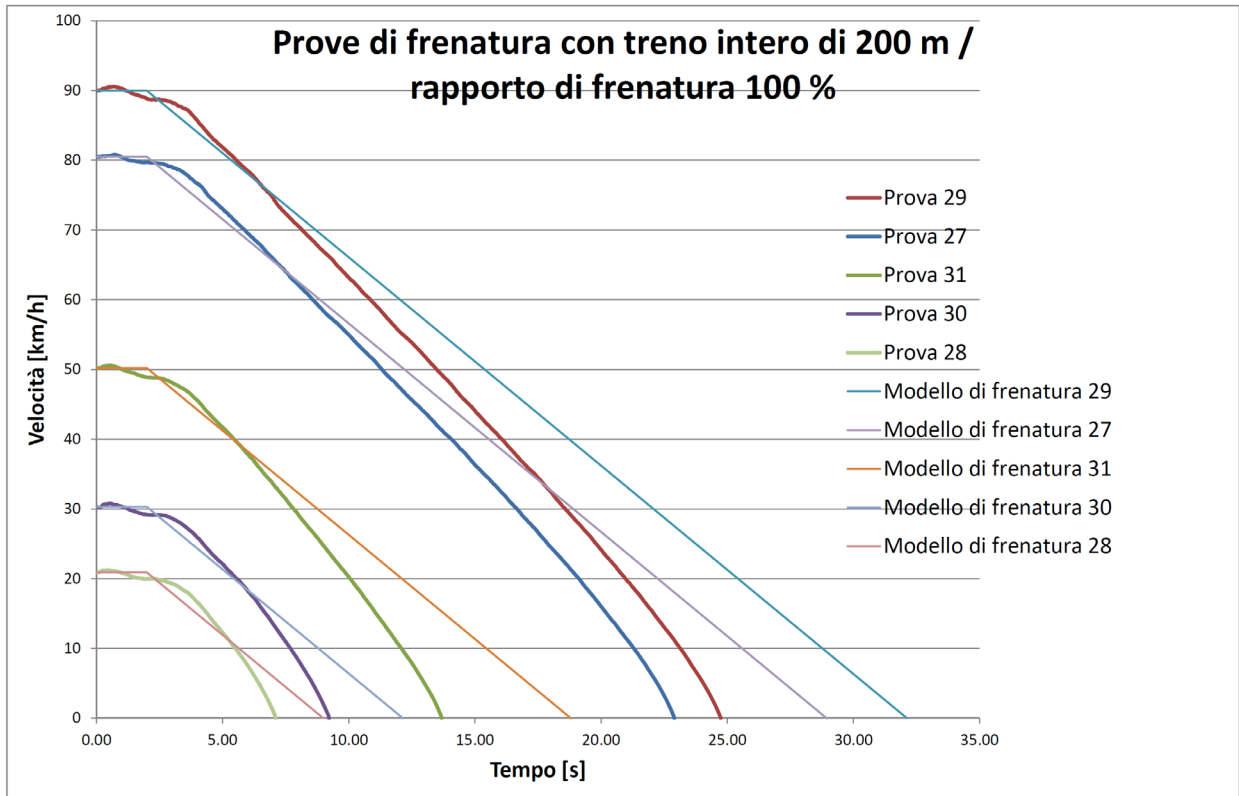
Il modello di frenatura corrispondente al rapporto di frenatura del 75% è stato definito per una lunghezza massima del treno di 350 m. I parametri sono:

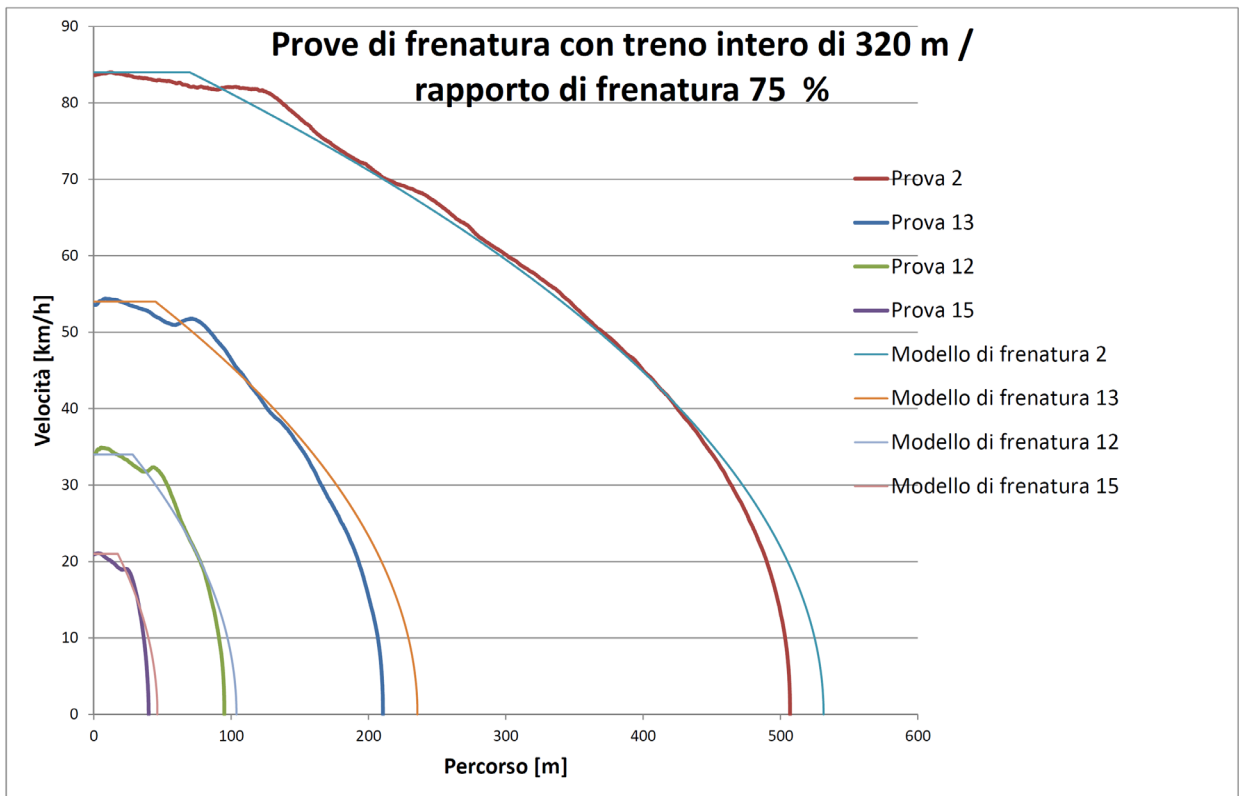
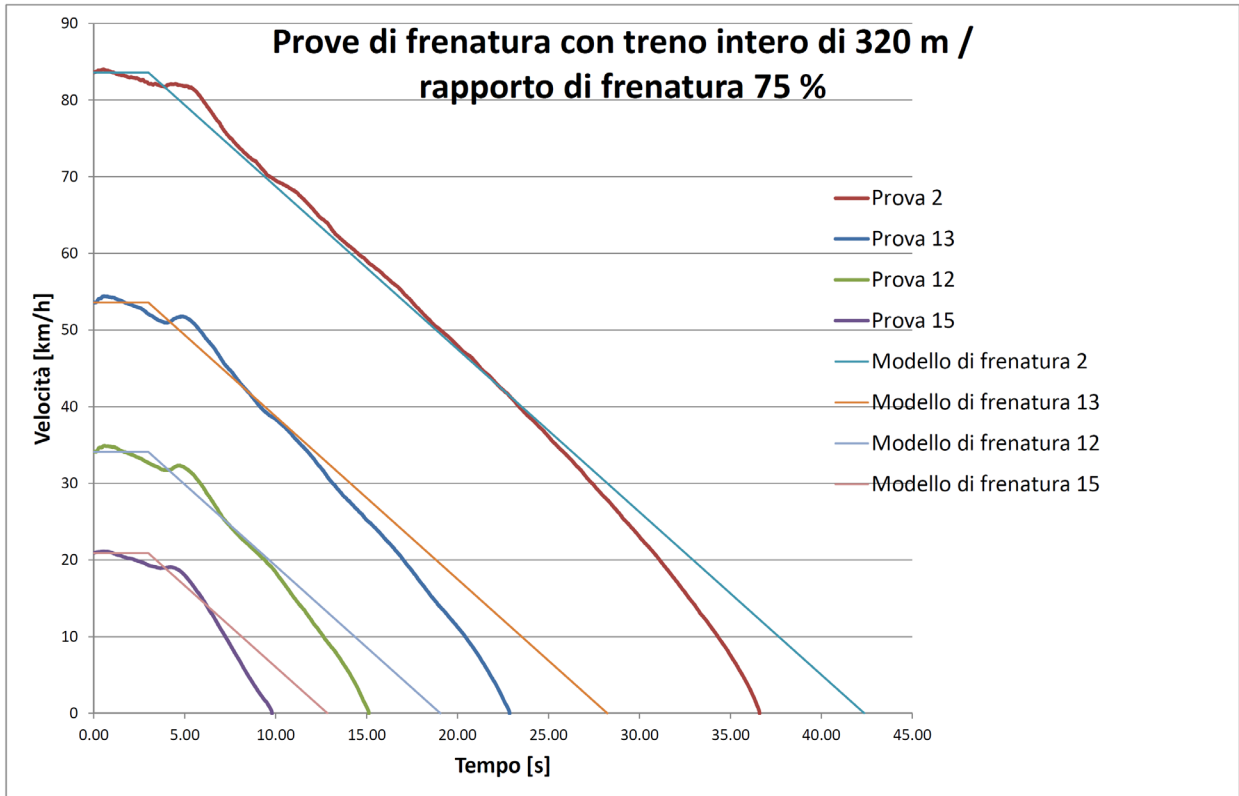
- tempo di reazione: 3,0 s;
- decelerazione durante la frenatura: 0,74 m/s².

Ai fini dell'esame del modello di frenatura, il treno di prova era composto come segue:

- locomotiva Ge 4/4^{II};
- peso rimorchiato: 76 assali carrozze passeggeri e carri merci / 363 t;
- lunghezza del treno: 319 m;
- rapporto di frenatura del treno secondo il calcolo di frenatura: 73%.

Le rappresentazioni grafiche mostrano l'andamento in funzione del tempo e del percorso di frenature rappresentative scelte dall'innescamento della frenatura imposta.





La forza di frenatura viene progressivamente incrementata dal riempimento del cilindro del freno. Quindi la piegatura dell'andamento della velocità, fra tempo di reazione e frenata completa è progressiva.

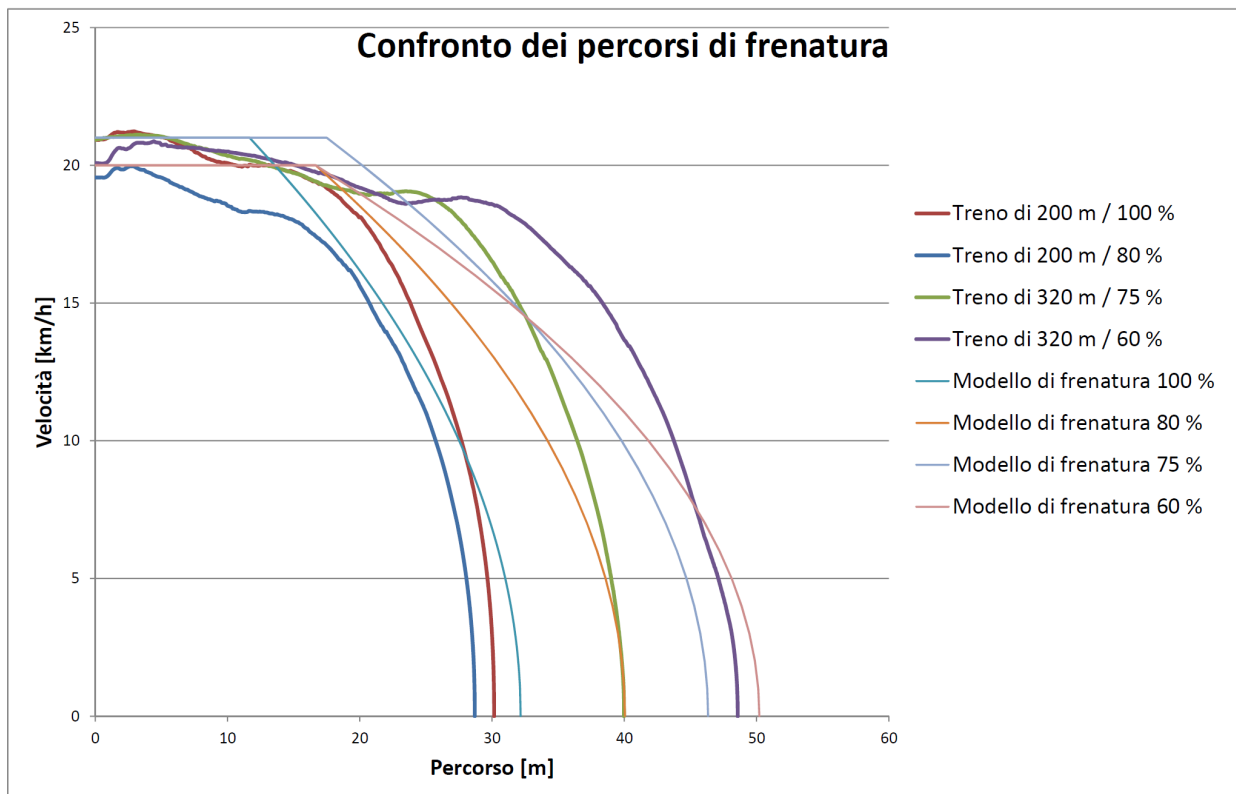
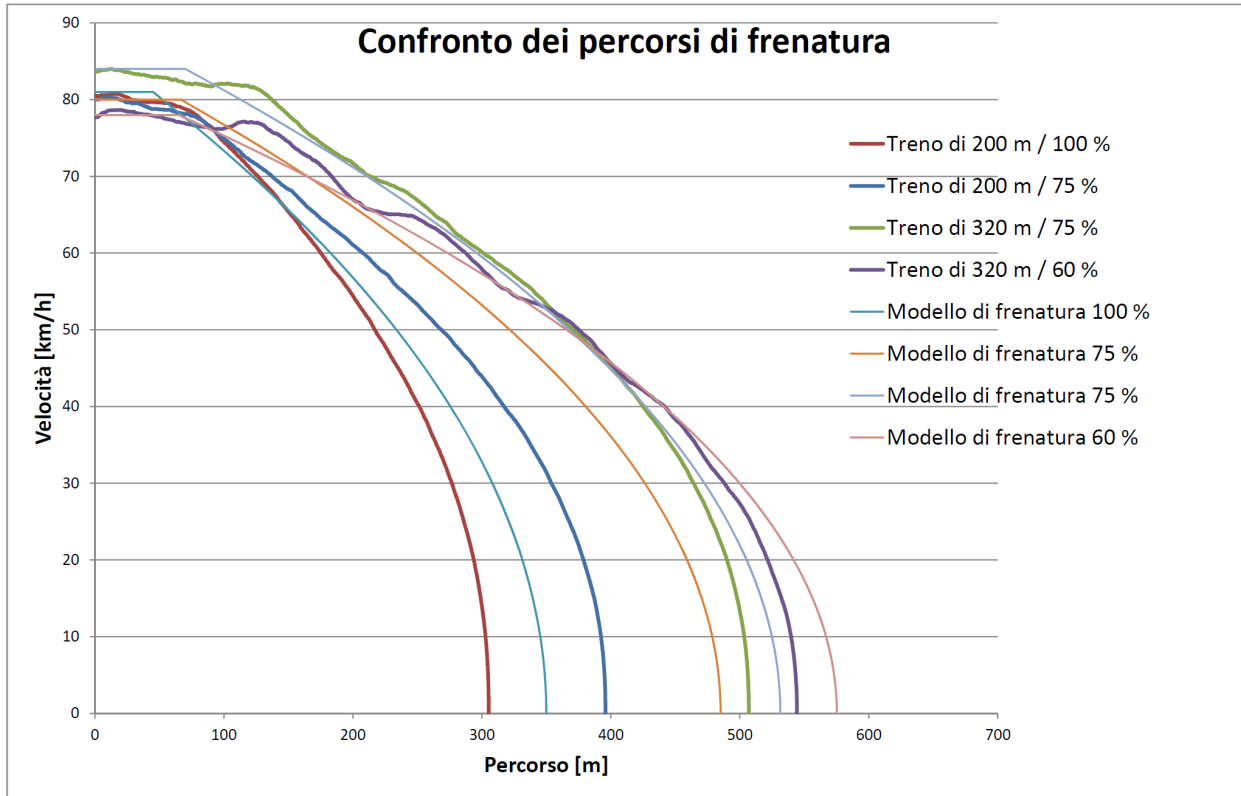
È pure visibile un leggero aumento della velocità durante i primi 0,5 s dopo l'innesco della frenatura imposta. Dopo 1,5 s al massimo la velocità corrisponde di nuovo alla velocità iniziale. Nel periodo che intercorre tra il disinserimento del freno elettrico e l'incremento della pressione nel cilindro del freno del locomotore, in discesa il treno accelera.

Il tempo di reazione del modello di frenatura è stato minimizzato rispetto al tempo effettivo di propagazione nel treno e al tempo di incremento nei veicoli. In tutte le prove a velocità iniziale più bassa (30 e 20 km/h), i percorsi di frenatura conformi al modello di frenatura sono stati rispettati o sono risultati leggermente inferiori. Si è così dimostrato che il tempo di reazione programmato è attuabile tenendo conto delle formazioni determinanti dei convogli.

Per il treno più lungo, la curva dell'andamento della velocità si innalza bruscamente 5 secondi dopo l'innesco della frenatura imposta. Ciò è dovuto alla reazione dinamica nel treno lungo.

Le prove sono state eseguite con treni frenati con il vuoto. Con questo sistema di frenatura il tempo di propagazione fino in coda al treno in caso di frenatura rapida è ridotto al minimo, poiché tutti i veicoli sono dotati di valvole di frenatura rapida. Tuttavia i tempi di riempimento dei cilindri di frenatura sono relativamente lunghi.

Nei grafici seguenti è indicato l'andamento della velocità in funzione del percorso in caso di frenatura imposta con diverse formazioni del treno. Il rapporto di frenatura del treno è stato adeguato mediante il disinserimento mirato del freno di singoli veicoli, senza modificare la composizione del treno. Va tuttavia tenuto presente che la velocità iniziale delle singole prove differisce leggermente.



6 Conclusioni

Gli algoritmi di calcolo impiegati nelle analisi dei rischi si basano sui seguenti principi:

- corsa a velocità costante dopo l'innescio della frenatura imposta, durante il tempo d'incremento del freno;
- in seguito, frenatura con decelerazione costante fino all'arresto.

Gli algoritmi impiegati in caso di sistemi di controllo della marcia dei treni si basano sullo stesso principio, ma tengono conto più esattamente di ulteriori fattori d'influsso, ad esempio la pendenza della tratta. La verifica esatta del processo di calcolo di un determinato sistema supera però i limiti del presente rapporto.

Un metodo di calcolo semplificato indica quanto esposto qui di seguito. In base all'effettivo comportamento dei veicoli

- la forza di frenatura effettiva si incrementa progressivamente man mano che la pressione nel cilindro del freno aumenta;
- dopo l'incremento della pressione nel cilindro del freno, la forza di frenatura è costante. La decelerazione invece cambia, poiché il coefficiente di attrito tra ceppo e ruota rispettivamente tra ferodi e disco del freno cambia in funzione della velocità;
- l'andamento del coefficiente d'attrito varia a seconda della velocità e del materiale impiegato;
- alle condizioni presenti in Svizzera, un eventuale disinserimento ritardato della trazione rappresenta un'eccezione e pertanto non viene considerato. Deve essere eventualmente esaminato caso per caso.

Il metodo di calcolo qui esposto differisce dal diagramma di valutazione dei freni di cui alle DE-Oferr, DE 52.2 foglio 9, poiché tale diagramma:

- si basa sul comportamento dei ceppi in ghisa grigia del freno, generalmente non più in uso;
- non tiene conto dei diversi tempi di riempimento del cilindro del freno.

Anche per questi motivi il diagramma summenzionato differisce dal comportamento effettivo dei vari tipi di veicoli.

Il metodo di calcolo qui esposto permette di rappresentare sia il comportamento di ogni tipo di veicolo sia le basi stabilite nelle DE-Oferr. È decisiva la corretta considerazione dei parametri specifici dei veicoli, in modo che le divergenze derivanti dalla semplificazione del modello vadano ad aumentare la sicurezza.

Il metodo di calcolo fondato sul principio "Rotolamento durante il tempo d'incremento della forza frenante – decelerazione costante durante la frenatura" è adatto per i sistemi di controllo della marcia dei treni e le analisi dei rischi.