



Data: 3 aprile 2018
Versione: 1.2

N. registrazione/dossier: / BAV-511.5-00027/00004/00005/00004

Direttiva

Attestato di sicurezza concernente il comporta- mento dinamico di ferrovie a scartamento metrico o spe- ciale e a cremagliera

Nota editoriale

Editore:	Ufficio federale dei trasporti, 3003 Berna
Autore:	Thomas Schlusemann
Diffusione:	pubblicazione sul sito Internet dell'UFT
Lingue:	tedesco (originale), francese, italiano

Gestione del documento all'interno dell'UFT

Livello piano Q:	Dir., pubblico
Connessione QM-SI:	BAV-Ril_Nachweis-sicheres-Fahrverhalten_Meterspur+Spezialspur+Zahnradbahnen_V1.1
Campo d'applicazione processi UFT:	processo UFT 42

La presente direttiva entra in vigore il 3 aprile 2018; sostituisce la direttiva omonima, versione 1.0, del 7 ottobre 2014.

Ufficio federale dei trasporti
Divisione Infrastruttura

Divisione Sicurezza

Anna Barbara Remund, Vicedirettrice

Dott. Rudolf Sperlich, Vicedirettore

Edizioni / documentazione delle modifiche

Versione	Data	Autore	Modifiche	Stato ^x
1.1	21.2.2018	Th. Schlusemann	Rielaborazione generale,	in revisione
1.2	03.4.2018	Th. Schlusemann	semplificazioni	in vigore

^x Stati previsti: in elaborazione / in revisione / in vigore (con visto) / sostituito.

Indice

1	Scopo della direttiva	3
2	Stabilità di marcia.....	4
2.1	Svolgimento	4
2.2	Obbligo della prova della stabilità di marcia	4
2.2.1	Metodi di prova	4
2.3	Rollio	5
3	Sicurezza contro il deragliamento.....	5
3.1	Ferrovie ad aderenza.....	5
3.1.1	Metodo 1 (procedura diretta)	6
3.1.2	Metodo 2 (procedura indiretta).....	6
3.1.3	Metodo 3 (procedura indiretta semplificata)	6
3.1.4	Metodo B (procedura diretta basata su simulazione)	7
3.2	Ferrovie a cremagliera	7
4	Stabilità in presenza di venti laterali	7
5	Bibliografia.....	8

1 Scopo della direttiva

Scopo della presente direttiva è definire le basi per fornire l'attestato di sicurezza concernente il comportamento dinamico dei veicoli a scartamento metrico o speciale e a cremagliera.

Essa si prefigge di precisare le leggi, le ordinanze, le disposizioni d'esecuzione e le norme applicabili alla prova della sicurezza di marcia.

Le basi legali della presente direttiva sono costituite dalle prescrizioni della legge federale sulle ferrovie (Lferr), stato 1° gennaio 2017, dall'ordinanza sulla costruzione e l'esercizio delle ferrovie (Oferr), stato 1° luglio 2016, dalle disposizioni d'esecuzione dell'Oferr (DE-Oferr), stato 1° luglio 2016, e dalla direttiva concernente l'omologazione di veicoli ferroviari nella sua versione del 1° gennaio 2016.

La presente direttiva non ha la stessa valenza di una legge o di un'ordinanza, ma è più vincolante di una semplice raccomandazione. Sono ammesse deroghe, purché l'obiettivo perseguito dalla legge, dall'ordinanza e dalla direttiva sia comunque raggiunto.

Il richiedente che si attiene alla direttiva ha la certezza che l'autorità accetti sul piano metodologico la documentazione fornita. Diversamente, corre il rischio che la sua domanda venga respinta.

2 Stabilità di marcia

Per le ferrovie ad aderenza naturale e per le ferrovie ad aderenza mista (naturale e cremagliera) occorre fornire la prova della stabilità di marcia d'intesa con l'UFT, in analogia con quanto previsto dalla norma SN EN 14363:2016.

Se la velocità massima ammessa del veicolo è inferiore a 100 km/h, di norma non occorre fornire alcuna prova concernente la stabilità di marcia.

Qualora sul veicolo siano installati sistemi che in caso di guasto o di malfunzionamento potrebbero pregiudicare la sicurezza di marcia o la sagoma limite, il loro stato deve essere verificato in modo completo durante i test di marcia.

2.1 Svolgimento

I test di marcia vanno svolti in condizione di tara con le rotaie asciutte e senza lubrificazione del bordino, arrivando fino al 110 per cento della velocità massima ammessa del veicolo.

Le misurazioni vanno effettuate seguendo la procedura semplificata descritta nella norma SN EN 14363:2016:

- è necessario effettuare la misurazione dei valori di accelerazione laterale ypp^+ sul telaio degli organi di rotolamento in corrispondenza delle sale montate;
- per la valutazione del rollio, è consigliabile effettuare la misurazione dei valori di accelerazione ypp^+ e zpp^+ nella cassa del veicolo in corrispondenza degli organi di rotolamento.

Per l'esame e la verifica del rispetto dei valori limite di $ypp^+_{rms,lim}$ occorre attenersi alla norma SN EN 14363:2016.

2.2 Obbligo della prova della stabilità di marcia

In base ai risultati di verifiche precedenti, la prova della stabilità di marcia risulta obbligatoria nei seguenti casi:

- per i carrelli motore (potenziali infossature causate dalla trazione) e gli organi di rotolamento non convenzionali (carrelli a scartamento variabile e carrelli intercarro), nel caso di una velocità massima ammessa del veicolo $v_{adm} \geq 100$ km/h;
- per i carrelli portanti (basso momento d'inerzia), nel caso di una velocità massima ammessa del veicolo $v_{adm} \geq 120$ km/h.

2.2.1 Metodi di prova

D'intesa con l'UFT può essere impiegato uno dei seguenti metodi.

Metodo 1: verifica della stabilità di marcia mediante test di marcia.

- Corse di prova su una tratta di riferimento con profili delle ruote nuovi (in assenza di un profilo di usura noto) (misurazione del profilo delle ruote + esame della conicità).
- Corse di prova su una tratta di riferimento con profili delle ruote usurati (dopo il primo anno di esercizio, ovvero precedentemente alla prima riprofilatura programmata) oppure profilo di usura noto (ad es. FR W03) (misurazione del profilo delle ruote + esame della conicità).

Metodo 2: monitoraggio permanente della stabilità di marcia.

- Registrazione quotidiana dei valori massimi di accelerazione laterale ypp^+_{rms} nonché della prestazione chilometrica effettiva di un veicolo di riferimento nell'esercizio normale.
- Monitoraggio mensile fino alla prima riprofilatura programmata (ca. 80 000–120 000 km).

- Soglia di allarme: valori limite $ypp^+_{rms,lim,red}$ ridotti del 20 per cento.

2.3 Rollio

Il valore limite per il coefficiente di inclinazione è definito nelle DE-Oferr, DE 18.2/47.2. Se viene superato, occorre verificare il calcolo delle riduzioni.

Il coefficiente di inclinazione va ricavato conformemente alla norma SN EN 14363:2016 dalla:

- misurazione o simulazione di un test di stabilità statico (rollio verso il lato interno della curva); oppure
- misurazione o simulazione di una corsa quasi-statica in curva (rollio verso il lato esterno della curva).

3 Sicurezza contro il deragliamento

3.1 Ferrovie ad aderenza

A prescindere dalla velocità di marcia prevista, occorre fornire la prova di calcolo della sicurezza contro il deragliamento su sghebbi di binario, in analogia con quanto previsto dalla norma SN EN 14363:2016, ossia determinando il valore limite Y/Q , ovvero il sormonto della ruota Δz , e confrontandolo con i valori limite ammessi (adeguati rispetto alla norma).

Nel caso delle ferrovie ad aderenza, si considera una condizione sfavorevole l'uscita da una curva so-praelevata (sghebbi di binario); ciò corrisponde a uno sgravio del carico sulla ruota di guida sul lato esterno della curva.

Dei quattro metodi di seguito descritti, solo i due metodi diretti 1 e B¹ sono applicabili alle ferrovie a scartamento ridotto.

Per queste ferrovie le procedure di verifica sono state adeguate alle condizioni specifiche della rete.

Gli esami vanno eseguiti con profili delle ruote rappresentativi e con i profili delle rotaie specifici della rete, nonché con le condizioni di posa nominali (scartamento, inclinazione della rotaia).

Inoltre, per ottenere un ulteriore margine di sicurezza i calcoli vanno eseguiti con **torsioni di prova maggiorate del 10 per cento**. In questo caso è sufficiente che il veicolo percorra l'intera sezione di prova senza un effettivo deragliamento (sormonto sopra l'altezza del bordino), anche superando i valori limite.

¹ Abbreviazione di «metodo secondo la norma EN 14636:2016, allegato B».

3.1.1 Metodo 1 (procedura diretta)

Prova diretta sulla base degli sforzi Y/Q su curva di binario sghembo (CBS).

3.1.1.1 Condizioni di verifica adeguate per il metodo 1

Parametro		Definizione	Valori usuali	Valori scart. normale	Condizione	Nota
Condizioni di verifica CBS	Raggio del binario di verifica	R = 100 m R = R _{min}		150 m		
	Sopraelevazione	u = ±45 mm				Scarsa influenza del rollio
	Torsione di prova primaria	g* = specifico alla rete	6,0 ‰	7,0 ‰	FR 20879D	
	Torsione di prova secondaria	g* = specifico alla rete	3,0 ‰	3,0 ‰ .. (4,0 ‰)	R RTE 22546, FR 20879D	
	Differenza di carico su ruota	Δq ₀ = 5 %			DE-Oferr:2016, DE 47.1	Valore massimo ammesso
	Velocità	v = 1 m/s				A passo d'uomo
	Coefficiente di attrito del fianco del bordino	μ _r = 0,40				
Coefficiente di attrito della superficie di rotolamento	T _{max} = μ _r (Q ₀ , α)	0,42 .. 0,52			2Q ₀ = 20 t .. 5 t, EN 14363:2016	α angolo di impulso
	τ = Y/Q _l - γ _t					γ _t angolo di contatto
lim	Valore limite diretto 1	Y/Q _{l,lim} (γ _F , μ _F)	0,85 .. <u>1,44</u>	1,2 (γ _F = 70°)	μ _F = 60° .. 70° .. <u>75°</u>	Attrito del bordino Angolo dei fianchi del bordino
	Valore limite indiretto 2	Δz _{lim} = 5 mm			In caso di superamento del valore limite 1	Sormonto della ruota
	Altro valore limite 3	ΔQ/Q ₀		-	Solo osservazione	Sgravio relativo del carico su ruota

Le due condizioni *influenza del rollio* e *coefficiente di attrito* sono evidenziate in blu perché sostanzialmente differenti rispetto al metodo B.

3.1.2 Metodo 2 (procedura indiretta)

Derivazione dall'andamento della curva (Y) e dallo sgravio del carico su ruota (Q).

Il metodo 2 consente di ottenere indicazioni fondate, ma richiede oneri di verifica e di valutazione sproporzionati. È quindi **da escludere**.

3.1.3 Metodo 3 (procedura indiretta semplificata)

Derivazione dalla rigidità alla rotazione misurata sugli organi di rotolamento e dallo sgravio del carico rilevato sulle ruote del veicolo.

Dato che la maggior parte dei veicoli a scartamento ridotto è dotata di organi di rotolamento a corona girevole, l'applicazione di questo metodo **non è ragionevole**.

Il metodo 3 consente di ottenere indicazioni fondate, ma richiede oneri di verifica e di valutazione sproporzionati. È quindi **da escludere**.

3.1.4 Metodo B (procedura diretta basata su simulazione)

Prova diretta sulla base degli sforzi Y/Q su una curva di uscita tracciata in modo analogo al servizio effettivo con depressione locale (CUD).

3.1.4.1 Condizioni di verifica adeguate per il metodo B

Parametro	Definizione	Valori usuali	Valori scart. normale	Condizione	Nota	
Condizioni di verifica CUD	Raggio del binario di verifica	R = 100 m R = R _{min}		200 m .. 100 m		
	Sopraelevazione	u = 105 mm u = u _{max} (R _{min})		150 mm .. 50 mm	R RTE 22546	Piena influenza del rollio
	Depressione	l _{depr} = 2a ⁺		6 m		Mezza larghezza del sostegno
	Torsione di prova primaria	g ⁺ = specifico alla rete	6,0 ‰	6,7 ‰	FR 20879D	
	Torsione di prova secondaria	g ⁺ = specifico alla rete	3,0 ‰	3,3 ‰	R RTE 22546, FR 20879D	g [*] _{eff} cfr. più avanti
	Differenza di carico su ruota	Δq ₀ = 5%			DE-Oferr:2016, DE 47.1	Valore massimo ammesso
	Velocità	v = 1 m/s				A passo d'uomo
	Coefficiente di attrito del fianco del bordino	μ _r = 0,32		0,32	EN 14363:2016	Valore ridotto secondo la norma
	Coefficiente di attrito della superficie di rotolamento	μ _t = 0,32		0,32	EN 14363:2016	Valore ridotto secondo la norma
lim	Valore limite diretto 1	Y/Q _{a,lim} (γ _F , μ _F)	0,91 .. 1,55	1,2 (γ _F > 68°)	μ _F = 0,32 γ _F = 60° .. 70° .. 75°	Attrito del bordino Angolo dei fianchi del bordino
	Valore limite indiretto 2	Δz _{lim} = 5 mm		-	In caso di superamento del valore limite 1	Sormonto della ruota
	Altro valore limite 3	ΔQ/Q ₀		-	Solo osservazione	Sgravio relativo del carico su ruota

A differenza del metodo 1, in questo caso si specificano la piena influenza del rollio e un coefficiente di attrito ridotto.

3.2 Ferrovie a cremagliera

Occorre fornire la prova di calcolo della sicurezza contro il deragliamento («stabilità longitudinale» e «sicurezza contro il deragliamento») secondo le disposizioni delle DE-Oferr, DE 54.1. Maggiori dettagli al riguardo sono contenuti nel commento 8 alle DE-Oferr.

Nel caso delle ferrovie a cremagliera, si considera una condizione sfavorevole una doppia frenatura in curva durante la discesa e venti trasversali verso il lato esterno della curva; le forze di frenatura, inerziali, di accoppiamento, dei venti e di spinta delle ruote dentate determinano uno sgravio del carico sulle ruote.

La prova va fornita applicando un metodo riconosciuto dall'Ufficio federale, ad esempio la procedura secondo Borgeaud (cfr. Bibliografia).

4 Stabilità in presenza di venti laterali

Per le ferrovie ad aderenza, se si prevede la presenza di condizioni di vento laterali rilevanti per la sicurezza durante l'esercizio occorre fornire la prova di calcolo della stabilità in presenza di venti laterali per il veicolo da omologare (ad es. secondo le prescrizioni DB Ril 807.04). Dalla prova si ricaverà un valore limite di velocità del vento fino al quale il gestore della ferrovia può garantire un esercizio sicuro.

Per le ferrovie a cremagliera vanno obbligatoriamente rispettate le disposizioni delle DE-Oferr, DE 54.1.

5 Bibliografia

Autore	Titolo
Borgeaud, Dr. Gaston (SLM Winterthur)	«Stand- und Entgleisungssicherheit bei Bergbahnen», «Schweizer Bauzeitung» anno 1996, numeri 27/28, 30/31, 32, 35 e 37, 1978 Integrazioni e correzioni in «Schweizer Ingenieur und Architekt», nu- mero 29, 1980
Pribnow, Hans-Hermann (Schindler Waggon Schlieren)	«Zur Entgleisungssicherheit von Zahnradbahn-Fahrzeugen», «Eisen- bahntechnische Rundschau», numero 1/2, 1983
D RTE 29700	«Ingénierie de système Chemins de fer à crémaillère» Unione dei trasporti pubblici (UTP), stato 31 marzo 2010
R RTE 22546	«Conception géométrique de la voie ferrée, Voie métrique» Unione dei trasporti pubblici (UTP), 15 gennaio 2012
SN EN 14363:2016	«Applicazioni ferroviarie - Prove e simulazioni per l'accettazione delle caratteristiche di marcia dei veicoli ferroviari - Prove di comporta- mento dinamico e statico» Comitato europeo di normazione (CEN), ottobre 2016
DB Ril 807.04, Moduli 0439, ovvero 0433	«Richtlinie Aerodynamik / Seitenwind» Deutsche Bahn AG, aprile 2006