

LO 3.2.1-3

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur
Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene
Modul: 3 Kontaktmechanische Interaktion

Catalogo dei danni Interazione – Superfici di contatto ruota e rotaia



ID:	RAILplusSF-00119	
Data / Stato:	19.03.2026 / Freigegeben	Numero di pagine 65
Livello di diffusione	Öffentlich	
Autore:	Alessandro Bianchi / Rhätische Bahn AG Lukas Sing / Rhätische Bahn AG	
Verificato:	Roland Müller / Gleislauftechnik Müller	-
Approvato:	Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn	

Registro delle modifiche

Versione	Data	Responsabile	Descrizione
0.1	06.10.2023	Alessandro Bianchi	Prima bozza
0.2	19.12.2024	Alessandro Bianchi	Bozza revisionata
0.3	24.02.2025	Roland Müller	Verificato
1.0	13.04.2025	Friedrich-Christian Walther	Revisione finale e approvazione da parte del responsabile di progetto

Management Summary

Situazione di partenza

In precedenza, non esisteva alcun documento che riassume in modo chiaro, mediante descrizioni di difetti codificate, i danni causati dal contatto tra ruota e rotaia sulle superfici di rotolamento delle ruote e sulle superfici di corsa delle rotaie delle ferrovie a scartamento metrico. Questo documento servirà come strumento operativo per ingegneri e specialisti nel settore dell'interazione ruota-rotaia, permettendo loro di confrontare e valutare i diversi danni sulle superfici di rotolamento delle ruote e delle rotaie tramite immagini, nonché di individuare le loro cause.

Risultati principali e conclusione

Poiché l'argomento è già stato trattato e pubblicato in numerosi lavori di ricerca, norme e regolamenti, in particolare per la rete a scartamento normale, il presente documento li riassume e rimanda alle varie fonti. I danni e le caratteristiche derivanti prevalentemente dal settore dello scartamento normale sono stati qui adottati e, se necessario, adattati al contesto dello scartamento metrico.

In questo catalogo dei danni si considerano quelli causati dall'interazione tra ruota e rotaia. Sono trattati come danni l'usura eccezionalmente elevata e le cricche sulle superfici di corsa di ruote e rotaie che possono propagarsi. Tali danni incidono in modo significativo sui costi di lavorazione delle superfici di corsa (rettifica e fresatura delle rotaie e riprofilatura delle ruote) e sui costi dovuti alla riduzione della durata dei componenti. L'usura non può essere evitata tra i due partner di contatto; finché essa rimane nella cosiddetta fascia "morbida", gli effetti restano accettabili. Molti danni sulle superfici di contatto derivano dalla fatica del materiale e sono quindi riconducibili alla meccanica di contatto ruota-rotaia. Essi si manifestano attraverso la formazione di cricche. Se queste cricche sono suscettibili di crescita e non vengono ostacolate dalla rimozione dovuta all'usura, devono essere individuate e eliminate in una fase precoce. Le cricche non suscettibili di crescita possono invece essere lasciate sulle superfici di corsa.

A differenza delle cricche dovute alla meccanica di contatto, le cricche termiche originate dall'interazione tra freno a pattino e ruota sono sempre suscettibili di crescita e, in fase avanzata, conducono inevitabilmente alla rottura della ruota. I danni derivanti esclusivamente dalla fabbricazione di ruote e rotaie, dall'usura eccessiva (ad es. usura cava), dagli agenti atmosferici (ad es. corrosione) o dalla lavorazione (ad es. saldatura delle rotaie) non vengono considerati, poiché la causa non risiede nella meccanica di contatto ruota-rotaia, ma in fattori esterni.

Sulla base della letteratura è stato adottato anche il codice di errore, per stabilire una codifica univoca dei danni alle ruote (codice errore R-xxxx) e alle rotaie (codice errore S-xxxx). Questo consente di uniformare la terminologia tecnica nel settore e facilita lo scambio di informazioni e opinioni per le ferrovie a scartamento metrico. Il documento fornisce inoltre indicazioni su quali danni possano essere attribuiti, ad esempio, alle caratteristiche della tracciatura, all'uso del veicolo, alla qualità dei materiali di ruote e rotaie o ad altre cause. In questo modo, il personale delle ferrovie a scartamento metrico può essere formato e adottare misure mirate per ridurre questo tipo di danni.

Raccomandazioni

Grazie alla collaborazione attiva delle ferrovie a scartamento metrico e agli esempi concreti forniti (ad es. descrizioni o immagini), il catalogo rappresenta in modo sempre più preciso i danni sulle superfici di contatto tra ruota e rotaia nell'ambito specifico delle ferrovie a scartamento metrico, grazie al costante feedback dall'esperienza pratica. Il coinvolgimento diretto delle ferrovie mira anche a rafforzare il know-how all'interno del settore. Il presente catalogo dei danni costituisce una documentazione viva e dinamica, che viene mantenuta aggiornata mediante una continua revisione. Il catalogo dei danni Interazione – Superfici di contatto ruota e rotaia si concentra consapevolmente solo sulle aree in diretto contatto tra loro. Le altre zone delle ruote e delle rotaie nell'ambito delle ferrovie a scartamento metrico sono trattate in altri documenti, già esistenti o in fase di elaborazione.

Inhalt

1	Introduzione.....	7
1.1	Definizione del problema.....	7
1.2	Obiettivi del lavoro.....	7
1.3	Delimitazioni.....	7
1.4	Concetto di approccio.....	7
2	Meccanismi di danno derivanti dalla meccanica di contatto	9
2.1	Innesco delle cricche.....	10
2.1.1	<i>Innesco delle cricche sotto la superficie</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Innesco delle cricche sulla superficie</i>	<i>11</i>
2.2	Crescita delle cricche	12
3	Danni alle ruote	16
3.1	Localizzazione del danno da meccanica di contatto sulla superficie di rotolamento della ruota	16
3.2	Codifica dei danni da meccanica di contatto sulle superfici di rotolamento delle ruote.....	19
3.3	Raccolta dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di contatto della ruota.....	21
3.3.1	<i>Deviazioni di rotondità</i>	<i>21</i>
3.3.2	<i>Accumulo di materiale [Codice errore: R-1108].....</i>	<i>29</i>
3.3.3	<i>Rullatura [Codice errore: R-1109].....</i>	<i>30</i>
3.3.4	<i>Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110].....</i>	<i>31</i>
3.3.5	<i>Delaminazione [Codice errore R-1111].....</i>	<i>32</i>
3.3.6	<i>Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112]..</i>	<i>33</i>
3.3.7	<i>Pelle a buccia d'arancia [Codice errore: R-1113].....</i>	<i>34</i>
3.3.8	<i>Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114].....</i>	<i>35</i>
3.3.9	<i>Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa [Codice errore R-1115].....</i>	<i>36</i>
3.3.10	<i>Groove e avvallamenti [Codice errore: R-1116].....</i>	<i>37</i>
3.3.11	<i>Danno alla smussatura [Codice errore: R-1118].....</i>	<i>38</i>
3.3.12	<i>Scoppi (Shelling) [Codice errore: R-1119]</i>	<i>39</i>
3.3.13	<i>Distacco del materiale sotto la superficie di corsa / Delaminazione [Codice errore R-1201].</i>	<i>40</i>
3.3.14	<i>Cricca trasversale sulla smussatura [Codice errore R-1208]</i>	<i>41</i>
3.3.15	<i>Cricche sul bordo del cerchione [Codice errore R-1210]</i>	<i>42</i>
3.3.16	<i>Danno alla sommità del bordo del cerchione [Codice errore: R-1211]</i>	<i>43</i>
3.3.17	<i>Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Codice errore: R-1212].....</i>	<i>44</i>
3.3.18	<i>Tracce di contatto radiali e danni sulla superficie frontale interna del bordo del cerchione [Codice errore: R-1213] [Codice errore: R-1213].....</i>	<i>45</i>
4	Danni alle rotaie.....	46
4.1	Localizzazione e codifica dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di corsa delle rotaie.....	46
4.2	Codifica dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di corsa delle rotaie.....	47
4.3	Raccolta dei danni da meccanica di contatto sulle superfici di corsa delle rotaie.....	50
4.3.1	<i>Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211]</i>	<i>50</i>
4.3.2	<i>Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221].....</i>	<i>51</i>

4.3.3	<i>Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]</i>	52
4.3.4	<i>Deformazione plastica (Rullatura–Schiacciamento–Formazione di bava) [Codice errore S-123 / S-223]</i>	53
4.3.5	<i>Punto di slittamento isolato / singolo [Codice errore S-125 / S-2251]; Più punti di slittamento [Codice errore S-2252]</i>	54
4.3.6	<i>Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]</i>	55
4.3.7	<i>Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]</i>	56
4.3.8	<i>Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]</i>	57
4.3.9	<i>Indentazioni / Schiacciamenti [Codice errore S-301]</i>	58
4.4	Metodi di verifica per la rilevazione dei danni alle rotaie	59
4.4.1	<i>Controllo visivo</i>	59
4.4.2	<i>Ultrasuoni (UT)</i>	59
4.4.3	<i>Corrente parassita (ET)</i>	59
5	Assegnazione dei danni alla superficie di contatto tra ruota e rotaia	60
5.1	Danni derivanti dalle caratteristiche del tracciato	60
5.2	Danni derivanti dall'esercizio dei veicoli	61
5.3	Danni dovuti alle proprietà dei materiali	62
5.4	Danni dovuti ad altre cause	63
6	Conclusioni	64
6.1	Riassunto dei risultati principali	64
6.2	Raccomandazioni	64
7	Elenchi	65
7.1	Riferimenti	65
7.2	Figure	65
7.3	Tabelle	65

Elenco delle abbreviazioni

AB-EBV	Norme di esecuzione del regolamento ferroviario
ET	Prova a correnti parassite (Eddy-current testing)
EVU	Impresa ferroviaria
R0	Riprofilatura delle ruote
RCF	Fatica da contatto rotolante (Rolling contact fatigue)
RT	Sostituzione del carrello
SPG	Apparecchio di controllo delle rotaie
SPZ	Treno di controllo delle rotaie
SPZ-ET	Treno di controllo delle rotaie con apparecchiatura per prova a correnti parassite
SPZ-UT	Treno di controllo delle rotaie con apparecchiatura per prova ultrasonica
UT	Prova ultrasonica (Ultrasonic testing)

1 Introduzione

1.1 Definizione del problema

Attualmente, nelle ferrovie a scartamento metrico si riscontra una carenza di conoscenze necessarie sulla meccanica di contatto tra ruota e rotaia. La creazione di know-how specifico è quindi uno degli obiettivi principali della direzione di sistema di RAILplus.

La meccanica di contatto, quale fattore di grande rilevanza nell'interazione ruota/rotaia, può essere la causa di numerosi effetti sulle superfici di corsa delle ruote e delle rotaie.

La maggior parte dei danni causati dalla meccanica di contatto è descritta in norme, regolamenti di settore, disposizioni aziendali e nella letteratura tecnica diffusa. Gli studi e le esperienze su cui si basano provengono esclusivamente dallo scartamento normale, con larghezza di 1435 mm. Per quanto riguarda le linee a scartamento ridotto (scartamento metrico e cape gauge), sono quasi assenti documenti di riferimento sulla meccanica di contatto.

Alcuni dei danni causati dal contatto tra ruota e rotaia sono noti nelle ferrovie a scartamento metrico, ma talvolta sono indicati con termini differenti o contraddittori. È quindi necessario creare un documento specifico per le ferrovie a scartamento metrico, accessibile a tutti, che garantisca in futuro una terminologia chiara e uniforme.

Il presente documento è redatto in lingua tedesca e dovrà essere successivamente tradotto nelle due altre lingue nazionali.

1.2 Obiettivi del lavoro

L'obiettivo consiste nel raccogliere in un unico documento i danni causati dalla meccanica di contatto nelle ferrovie a scartamento metrico sulle superfici di corsa di ruote e rotaie. Questo documento fornirà agli specialisti dei carrelli delle ferrovie a scartamento metrico uno strumento operativo, con il quale potranno confrontare i diversi danni riscontrabili durante l'esercizio utilizzando immagini e descrizioni, e valutarne gli effetti. In tal modo sarà possibile individuare le possibili cause e applicare raccomandazioni per la loro eliminazione. Questo catalogo dei danni consente anche di stabilire una terminologia tecnica, facilitando lo scambio di informazioni e opinioni e uniformando i termini tecnici per tutte le ferrovie a scartamento metrico. Nel documento viene inoltre fatta una distinzione tra danni dovuti alle caratteristiche del tracciato, all'esercizio dei veicoli, ai materiali di ruote e rotaie e ad altre cause. In questo modo è possibile formare miratamente il personale delle ferrovie e adottare ulteriori misure per ridurre questo tipo di danni.

1.3 Delimitazioni

In questo rapporto tecnico si prendono in considerazione i danni causati dall'interazione tra ruota e rotaia. I danni derivanti dalla fabbricazione di ruote e rotaie, dall'usura eccessiva (ad es. corsa cavo), dagli agenti atmosferici (ad es. corrosione) o dalla lavorazione (ad es. saldatura o rettifica delle rotaie) non vengono considerati, poiché la loro causa non risiede nella meccanica di contatto tra ruota e rotaia, ma in fattori estrinseci.

I danni riguardano principalmente le zone di contatto tra ruota e rotaia su rettilinei, in curve e durante il transito su scambi. I danni al disco/mozzo della ruota o alla testa della rotaia o al piede della rotaia non sono trattati in questo documento. I danni in queste aree di ruota e rotaia sono trattati in altri documenti.¹

^{2 3}.

1.4 Concetto di approccio

Inizialmente viene effettuata una raccolta dei danni sulle superfici di rotolamento delle ruote e sulle superfici di corsa delle rotaie basata su letteratura, norme e settore industriale. Poiché la maggior parte della letteratura e delle norme proviene dallo scartamento normale, è necessario creare un documento corrispondente per le ferrovie a scartamento metrico. Da un lato viene esaminato cosa può essere

¹ R RTE 41500: Instandhaltung Radsätze Meterspur.

² R RTE 41000: Instandhaltung Radsätze Normalspur

³ RAILplus LO P4.2: Fahrbahn, Schädigungskatalog

adottato dallo scartamento normale per lo scartamento metrico e dall'altro quali aspetti aggiuntivi devono essere considerati per lo scartamento metrico. Le esperienze delle ferrovie vengono raccolte dai loro feedback. A seconda dei risultati, vengono aggiunti danni specifici per lo scartamento metrico e quelli mai riscontrati nelle ferrovie a scartamento metrico vengono esclusi.

Attraverso l'allineamento della prima versione del documento con i feedback di esperti esterni, esperti nei settori infrastruttura e materiale rotabile delle ferrovie e con le conoscenze acquisite nell'ambito dell'interazione ruota/rotaia, verranno create diverse versioni fino alla redazione del catalogo definitivo dei danni. La *Figura 1* mostra il concetto di approccio per l'elaborazione del documento.

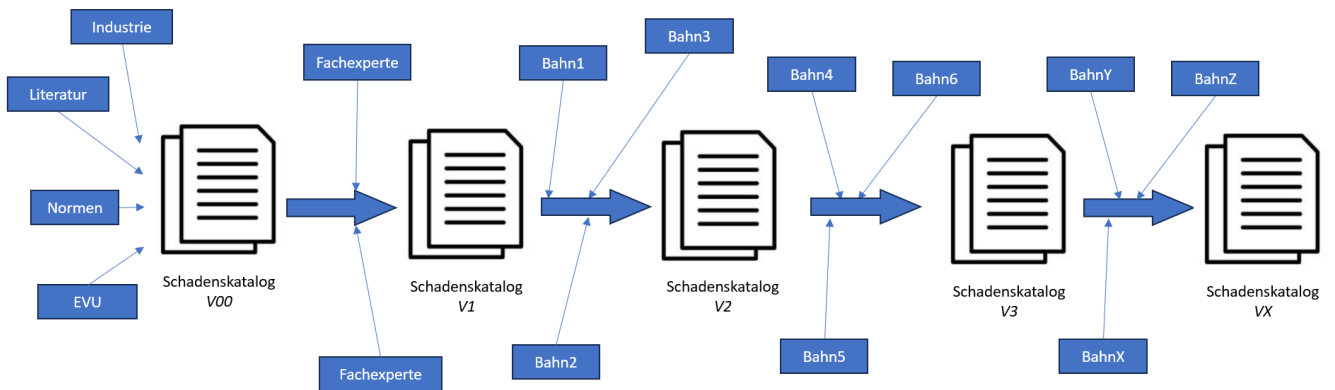


Figura 1: Concetto di approccio

2 Meccanismi di danno derivanti dalla meccanica di contatto

Quando due corpi interagiscono per contatto sotto carico, non si crea un contatto puntiforme, ma una penetrazione dei due corpi. A causa della deformazione elastica dei due corpi (ruota e rotaia) si forma una superficie di contatto comune a entrambi i corpi. I centri dei corpi vengono compressi l'uno contro l'altro dalla distanza δ , nota come avvicinamento.

Ciò vale anche per l'interazione tra ruota e rotaia ed è illustrato nella *Figura 2*. A causa del carico verticale (peso del veicolo) si genera la deformazione del corpo 1 (rotaia u_{z2}) e del corpo 2 (ruota ferroviaria u_{z1}), formando così la superficie di contatto comune e la zona di penetrazione. La somma $u_z = |u_{z1}| + |u_{z2}|$ viene definita deformazione elastica.

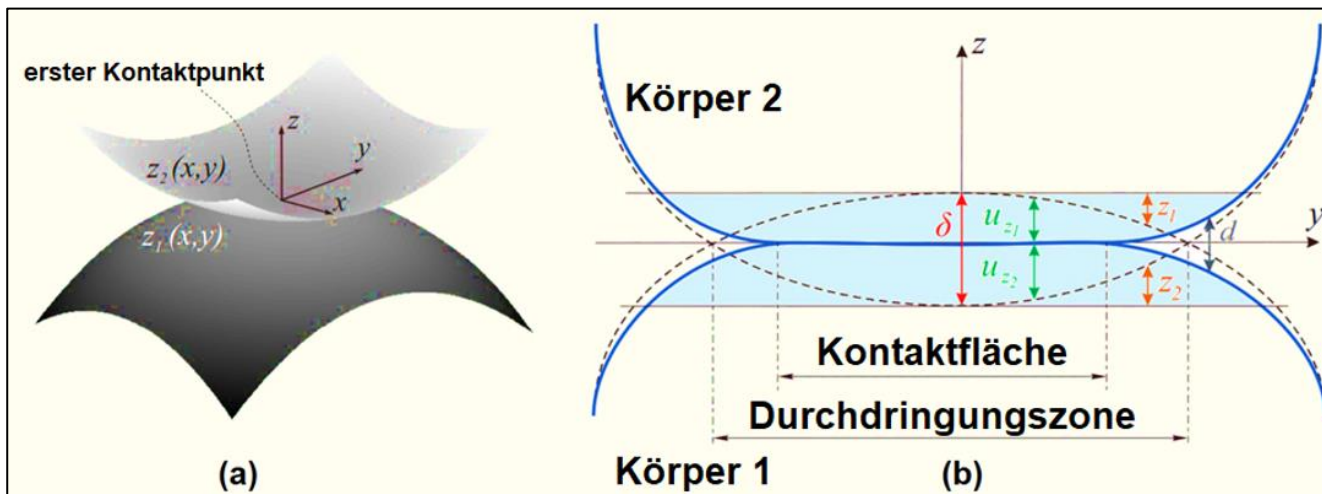


Figura 2: Superficie di contatto e zona di penetrazione tra corpo 1 (rotaia) e corpo 2 (ruota)

La superficie di contatto può essere approssimata ad un'ellisse secondo la teoria di Hertz. Nella *Figura 3* la superficie di contatto calcolata secondo la teoria di Hertz (ellisse virtuale, in verde) viene confrontata con la superficie di contatto calcolata con il metodo a linee (in blu). In grigio è rappresentata la zona di penetrazione.

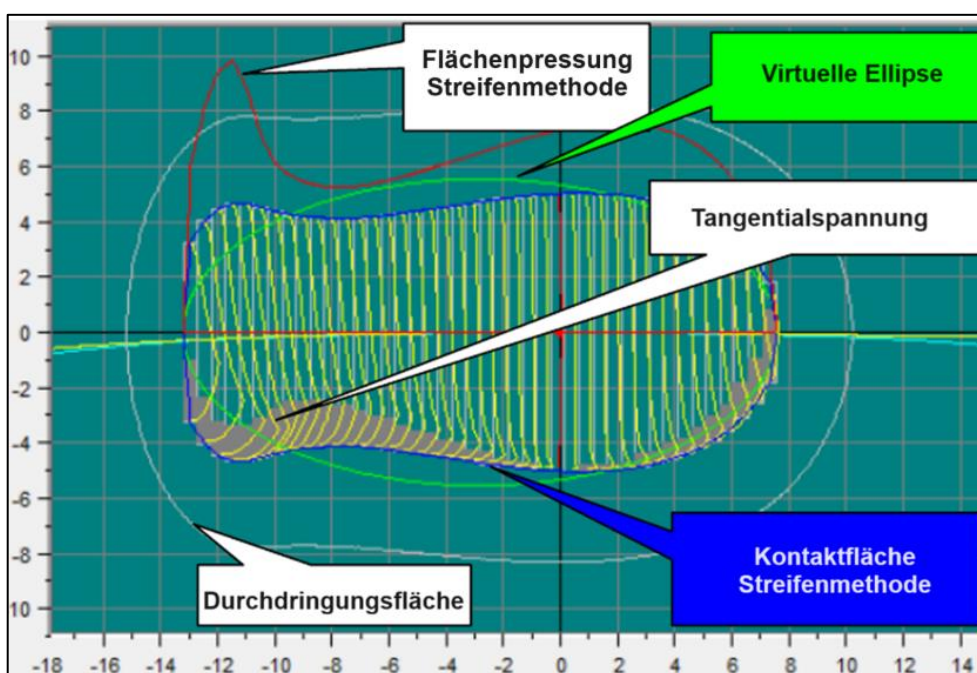


Figura 3: Confronto tra superficie di contatto secondo la teoria di Hertz e superficie di contatto calcolata con il metodo a strisce

Proprio sulla superficie di contatto agiscono tutte le forze esterne, rappresentate nella *Figura 4*:

- Forza verticale Q dovuta al peso del veicolo
- Forza di aderenza T_1 in direzione trasversale dovuta alle curve strette e forza di aderenza T_2 in direzione longitudinale dovuta alle forze di trazione e frenatura, nonché alla differenza dei raggi di rotolamento tra le due ruote dello stesso carrello.

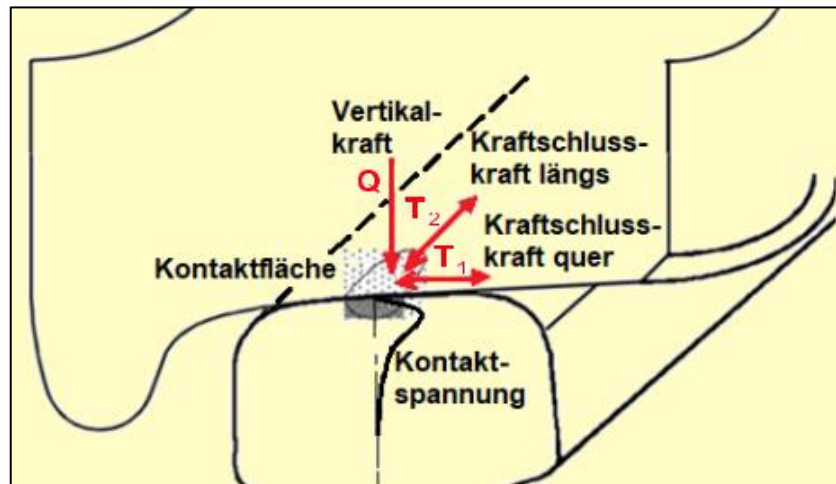


Figura 4: Rappresentazione delle forze sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia

L'azione delle forze esterne sulla superficie di contatto comporta quindi tensioni di contatto all'interno della superficie stessa.

2.1 Innesco delle cricche

A seconda dell'intensità della risultante di queste forze, si generano tensioni locali nel materiale (ruota e rotaia), che possono portare a deformazioni elastiche o plastiche della microstruttura. In particolare, se le tensioni locali – semplificando, il limite di snervamento o il limite di scorrimento del materiale – non vengono superate, la zona di contatto si deforma elasticamente e ritorna al suo stato originale non appena il carico cessa. Se le tensioni superano il limite di snervamento del materiale, la zona di contatto si deforma plasticamente, ossia in modo irreversibile. Queste deformazioni rimangono parzialmente anche dopo la rimozione del carico: il materiale rimane quindi plasticamente deformato. La *Figura 5* mostra come la microstruttura si deforma nella zona di contatto a causa delle forze esterne. La *Figura 5 (a)* mostra la microstruttura non deformata, mentre le immagini (b) e (c) mostrano microstrutture progressivamente deformate.

A seconda della riorganizzazione della microstruttura, possono rimanere tensioni residue nel materiale. La presenza di inclusioni o difetti nella microstruttura può inoltre aumentare questo stato di tensione (effetto intaglio).

L'innesco di una cricca può avvenire sotto o sulla superficie.

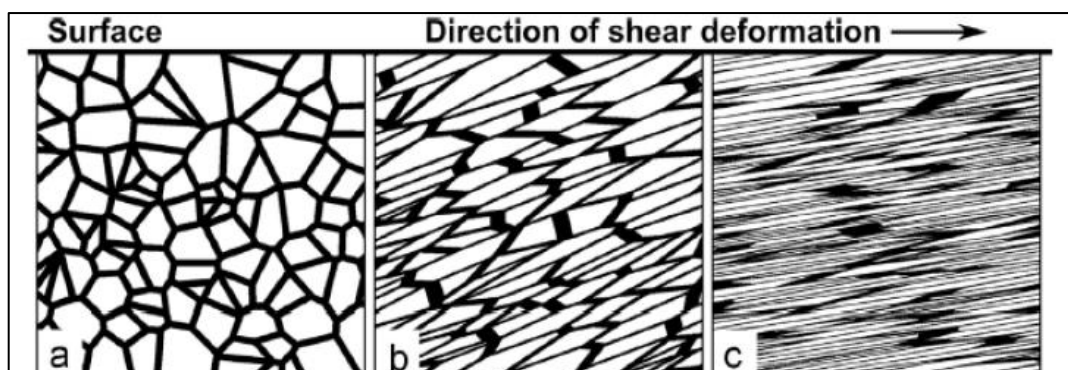


Figura 5: Esempio di deformazione plastica nella struttura del materiale

2.1.1 Innesco delle cricche sotto la superficie

Se viene applicata soltanto una forza verticale dovuta al peso del veicolo dalla ruota sulla rotaia, si genera uno stato di tensione nella ruota e nella rotaia. Come mostrato nella *Figura 6* (nella rotaia), la massima tensione di taglio τ_{max} non si verifica sulla superficie di contatto, ma al di sotto della superficie della rotaia. Uno stato di tensione simile si manifesta anche sotto la superficie della ruota.

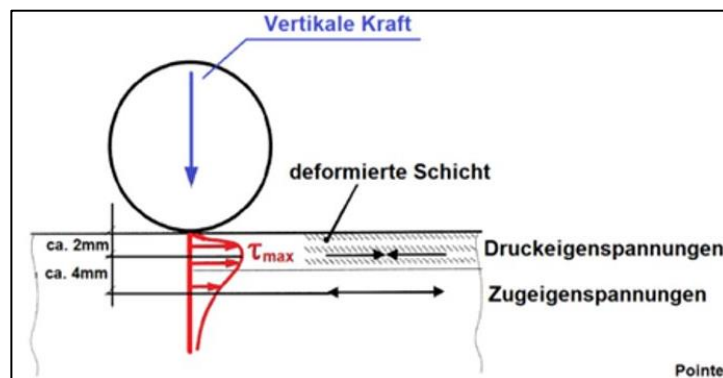


Figura 6: Stato di tensione sotto la superficie di ruota e rotaia

Il diagramma seguente mostra che lo stato massimo di tensione si raggiunge al di sotto della superficie (sotto il centro del contatto $z/a=0$).

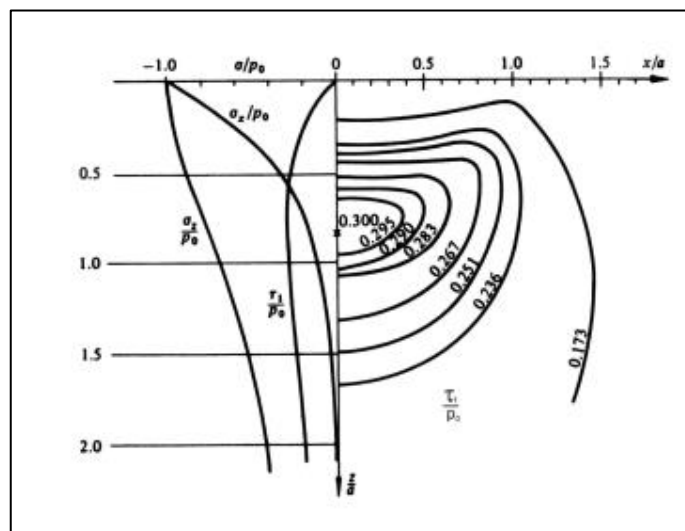


Figura 7: Stato di tensione sotto la superficie

2.1.2 Innesco delle cricche sulla superficie

A causa della combinazione di forze verticali e tangenziali (Figura 8) sulla superficie di contatto agiscono due componenti di tensione: tensione normale e tensione tangenziale.

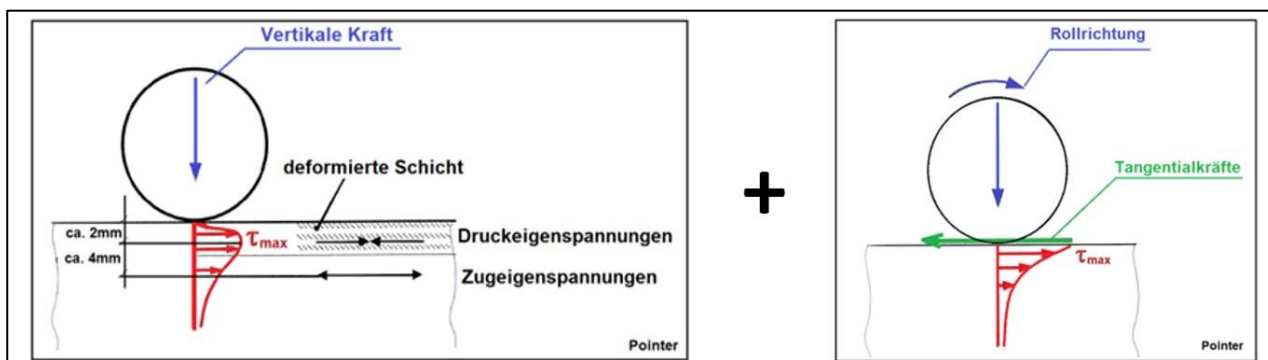


Figura 8: Tensioni dovute alla forza verticale (sinistra) e alla forza tangenziale (destra)

Se oltre alle forze normali agiscono anche forze tangenziali, le tensioni massime di taglio di confronto si spostano nella direzione della superficie di contatto.

Il diagramma seguente mostra che, con l'azione simultanea di queste due componenti di forza, si raggiunge una tensione di taglio di confronto molto elevata anche sulla superficie ($z/a=0$).

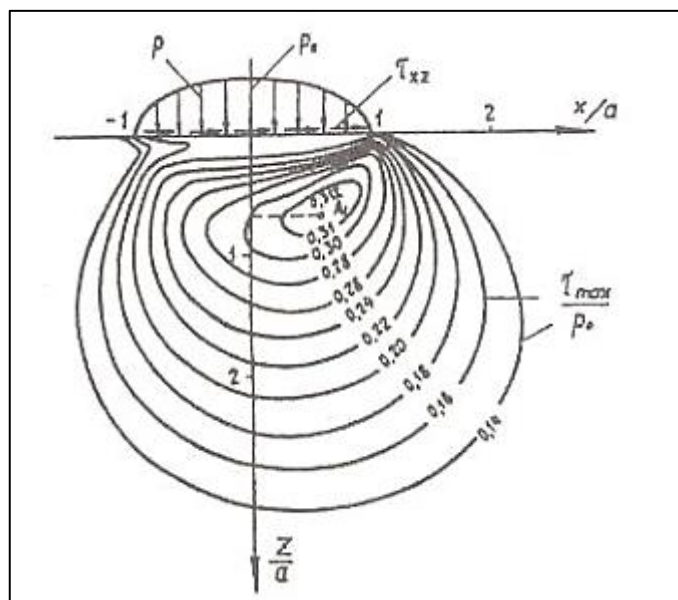


Figura 9: Stato di tensione sulla superficie

2.2 Crescita delle cricche

Sollecitazioni esterne (meccaniche o termo-meccaniche) fanno sì che lo stato di tensione di una cricca già presente nel materiale superi il limite massimo di tensione, anche se il carico applicato è inferiore al carico consentito (fatica da contatto rotolante). Ciò provoca un'ulteriore deformazione plastica, permettendo alla cricca di propagarsi.

Le forze di aderenza in direzione longitudinale dovute all'accelerazione o alla frenatura provocano compressione e trazione del materiale di ruota e rotaia. Questi fenomeni di compressione e trazione possono essere illustrati chiaramente con l'esempio del pneumatico di veicoli stradali, come mostrato nella Figura 10.

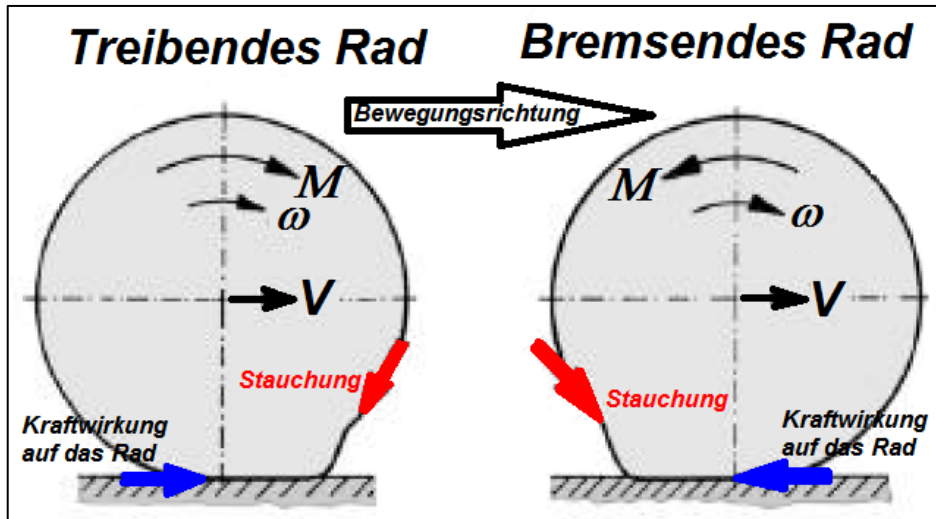


Figura 10: Compressione e trazione del pneumatico dei veicoli stradali durante l'accelerazione e la frenata

Durante l'accelerazione, l'area di contatto della ruota si comprime prima di entrare in contatto con la rotaia, mentre l'area di contatto già in contatto con la rotaia si estende. Le forze reattive della ruota sulla rotaia (rappresentate in rosso, Figura 11) agiscono con la stessa intensità ma in direzione opposta sul materiale della rotaia. La superficie di contatto della rotaia già in contatto con la ruota viene compressa, mentre l'area della rotaia che deve ancora entrare in contatto con la ruota si estende. Durante la frenata, le tensioni agiscono nello stesso modo, ma in direzione opposta.

La Figura 11 mostra le forze e le tensioni che agiscono su ruota e rotaia durante l'accelerazione (trazione a sinistra) e la decelerazione (frenatura a destra).

Questo alternarsi di trazione e compressione sulle superfici di contatto di ruota e rotaia dovuto alle forze di aderenza, prima che una cricca (su ruota e/o rotaia) entri nella zona di contatto o dopo che una cricca esca dalla zona di contatto, è illustrato qui, per semplicità, per i casi di trazione e frenatura. Se su una cricca agisce una tensione di trazione prima che essa entri nella zona di contatto ruota/rotaia, la cricca si apre. Se su una cricca agisce una tensione di compressione prima che entri nella zona di contatto ruota/rotaia, la cricca si chiude. Se nel frattempo nella cricca aperta, prima che entri nella zona di contatto, penetra acqua o lubrificante, la cricca si chiude durante il passaggio sulla superficie di contatto. In questo stato, il mezzo penetrato non può fuoriuscire e, a causa della sua incomprimibilità, la cricca si espande e si allunga (vedi Figura 12). Questo fenomeno durante trazione e frenatura si verifica in modo analogo anche durante la percorrenza di curve, a causa delle forze di aderenza (T_1 e T_2 Figura 4).

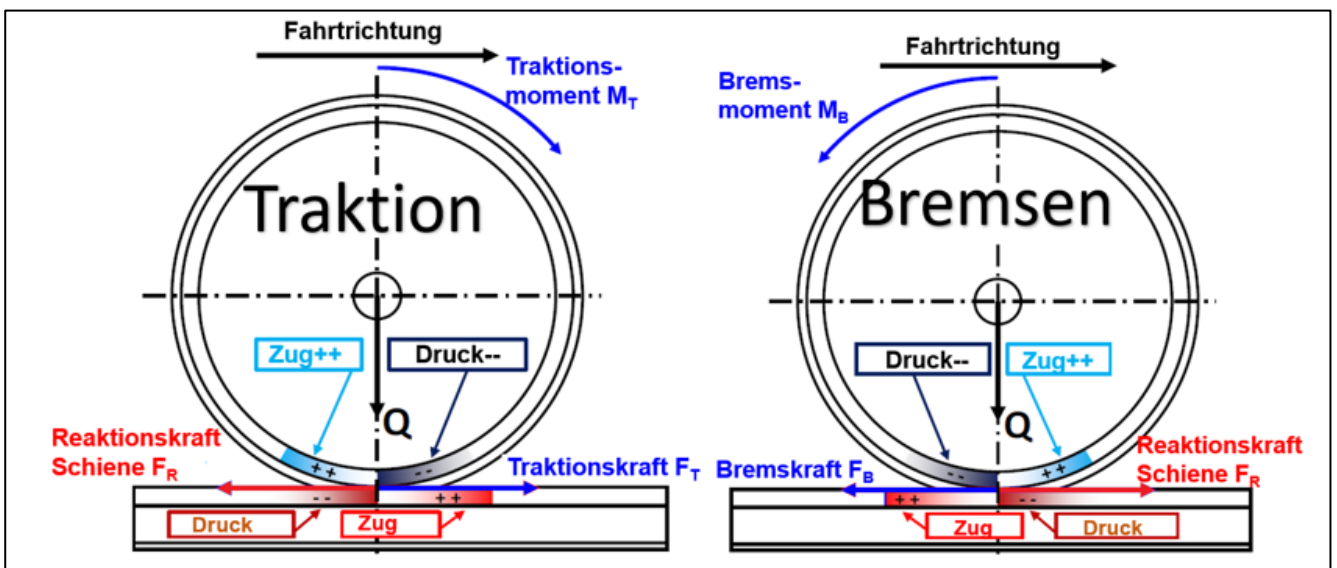


Figura 11: Sollecitazioni di trazione e compressione su ruota e rotaia durante l'accelerazione (sinistra) e la frenata (destra)

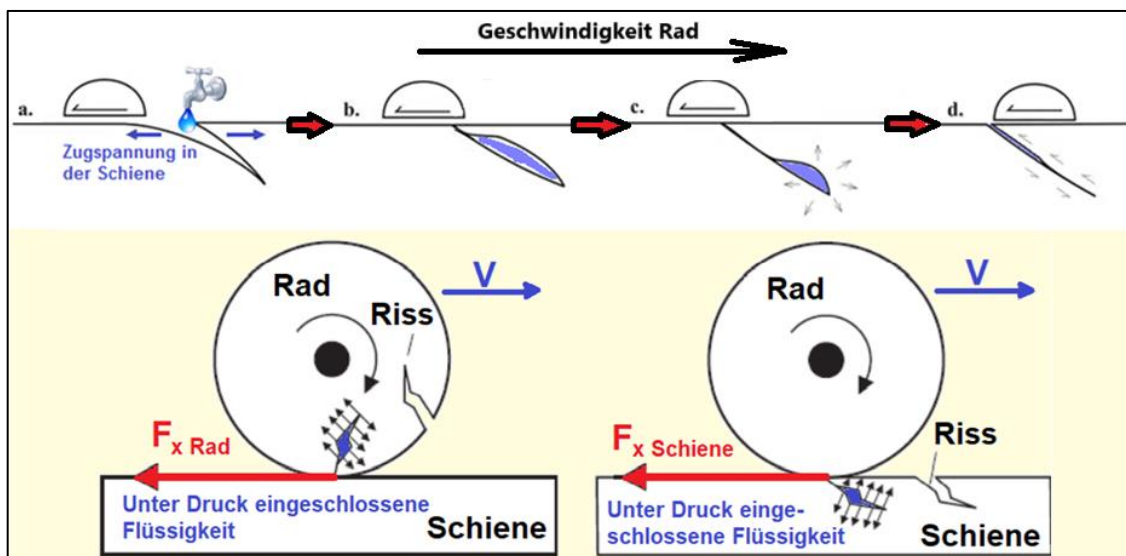


Figura 12: Effetto idrodinamico come fattore di avanzamento della cricca

In caso di trazione (vedi Figura 11) la cricca sulla rotaia si apre a causa delle forze di aderenza (forza di trazione) prima che venga passata sopra dalla ruota. Durante il passaggio della ruota, la cricca si chiude e cresce a causa del cosiddetto effetto idrodinamico. Durante la frenatura, questo fenomeno si verifica sulla ruota. Per questo motivo, le cricche sulle ruote crescono soprattutto durante la frenatura, parallele all’asse nella Zona 3 (vedi Figura 16). Se tali cricche sono presenti, possono crescere solo se non vengono ostacolate dall’usura. Nella Figura 13 nell’area del piano del cerchio di misura (Zona 3, RCF 3) sono visibili cricche parallele all’asse e in parte già delle cavità. Queste cricche appaiono affilate, indicativo di una scarsa usura in questa zona. Se vi fosse sufficiente usura, le cricche apparirebbero smussate, indicando un equilibrio tra progressione della cricca e usura. Con la prova tattile può essere valutato se le cricche sono in grado di crescere o meno (affilate = capaci di crescere, smussate = incapaci di crescere).



Figura 13: Direzione di apertura della cricca ed esempio di cricche RCF 3 (a sinistra, Roland Müller e a destra, EN 15313); la freccia rossa indica il piano di misura (Zona 3)

In curve strette, oltre alle forze di aderenza in direzione longitudinale (dovute all'accelerazione e alla frenatura del veicolo), si manifestano anche le forze di aderenza in direzione trasversale. Nella *Figura 14* sono rappresentate le cricche che si sviluppano durante il transito in curva nelle Zone 1 e 2. A differenza della Zona 3, queste cricche si dispongono con un angolo rispetto all'asse del carrello. L'angolo aumenta al diminuire del raggio della curva. Il telaio (con guida rigida del carrello) si comporta nelle curve strette come segue: La combinazione delle forze di aderenza in direzione longitudinale (in parte dovute ad accelerazione e decelerazione) e delle forze di aderenza in direzione trasversale, dovute al transito in curva, genera una forza risultante inclinata su ciascuna ruota. Questa forza risultante agisce perpendicolarmente alle cricche ed è la causa dell'apertura delle cricche nella Zona 1 per la ruota interna alla curva e nella Zona 2 per la ruota esterna alla curva.

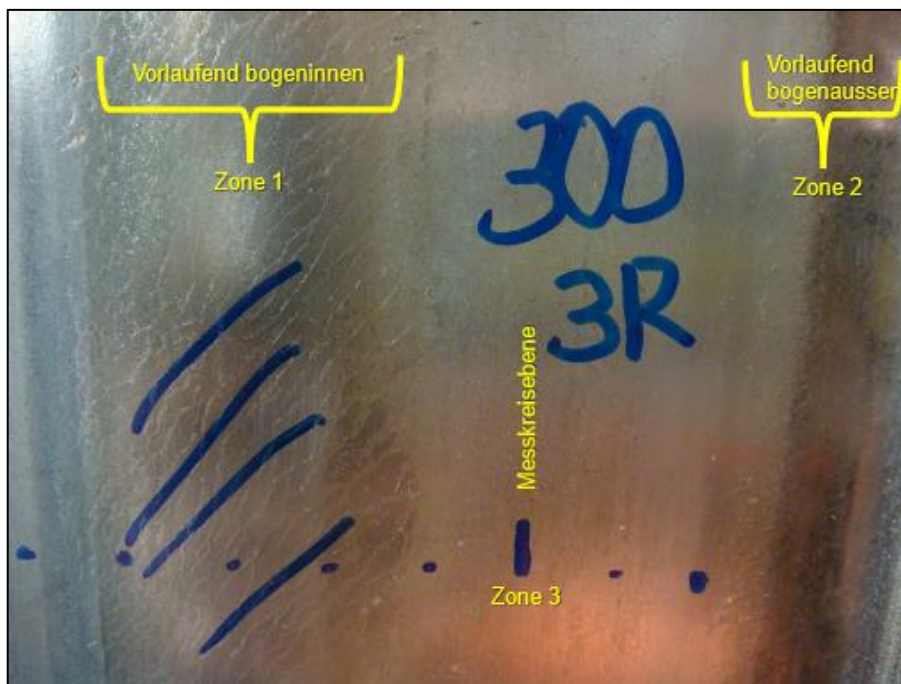


Figura 14: Zone 1 e 2 del carrello anteriore nelle curve

La *Figura 15* mostra le forze di aderenza e la direzione tipica delle cricche nelle Zone 1 e 2, prendendo come esempio le ruote. Nelle rotaie, le cricche sono inclinate nella direzione opposta rispetto alle ruote. Questi raggruppamenti di cricche sono spesso indicati anche come motivo a spina di pesce.

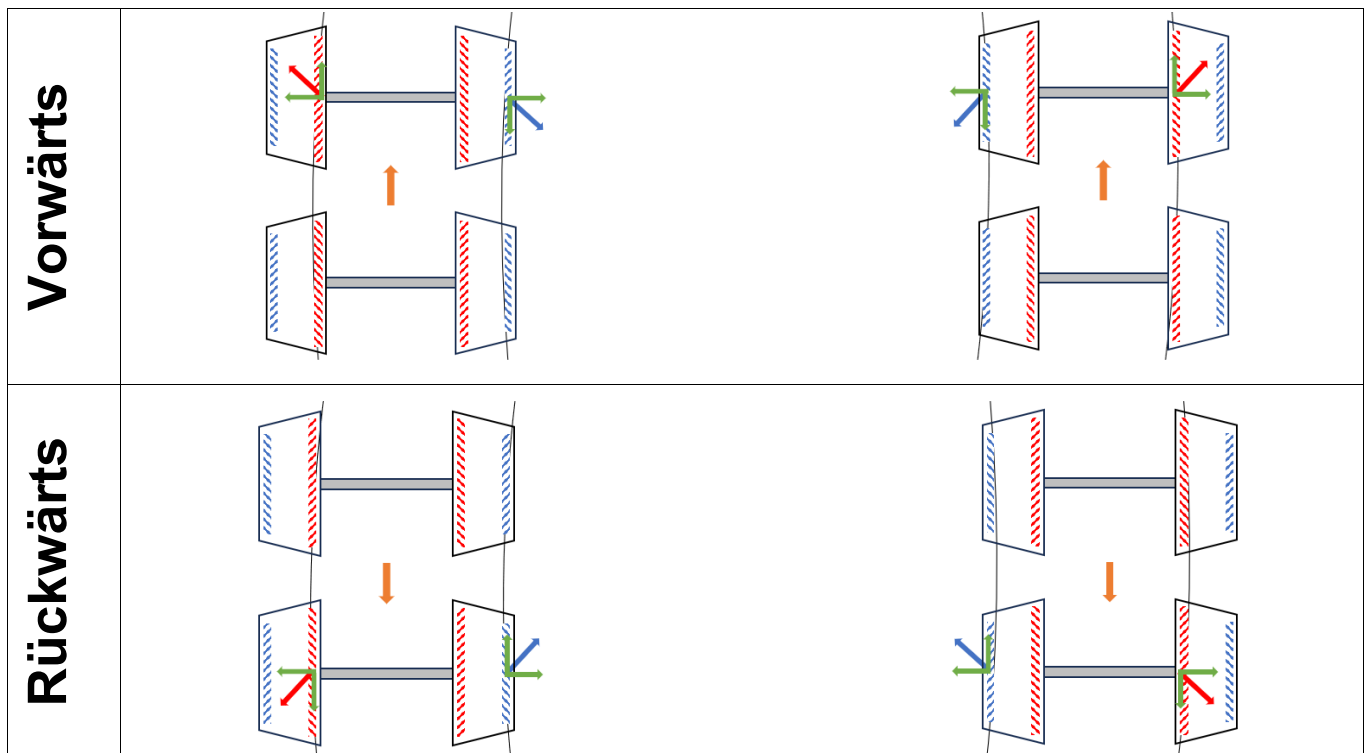


Figura 15: Forze di aderenza e formazione di cricche in curva

Nello scartamento metrico, queste cricche si riscontrano soprattutto nella Zona 1. Di norma non crescono e non provocano quindi cavità marcate sulle superfici di corsa. Nelle rotaie, queste cricche sono denominate Head-Checks. In curve a raggio ridotto sono quasi invisibili, poiché vengono asportate dall'elevata usura. In curve a raggio maggiore, nelle ferrovie a scartamento metrico sono stati rilevati Head-Checks sulle rotaie esterne alla curva, che sembrano qui capaci di crescita.

3 Danni alle ruote

3.1 Localizzazione del danno da meccanica di contatto sulla superficie di rotolamento della ruota

Per identificare il tipo di danno sulla superficie di rotolamento, a volte è necessario determinare la zona in cui il danno si verifica. Le zone di contatto (definite per identificare i diversi tipi di danni da fatica da contatto rotolante) sono descritte nella *Figura 16* e nella *Tabella 1*.

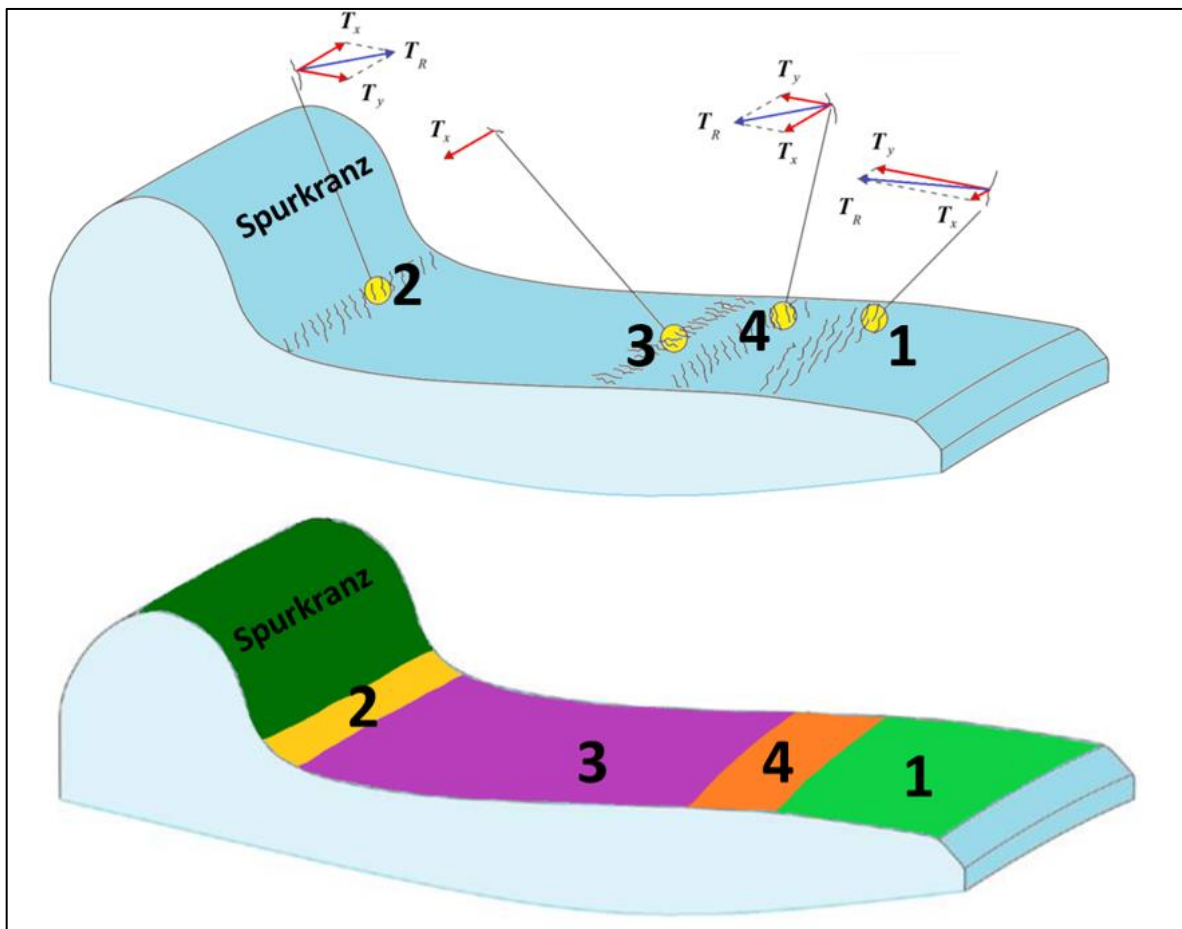


Figura 16: Zona di contatto della ruota

Zona 1	La Zona 1 è la parte esterna (a partire da circa 30 mm dal piano del cerchio di misura verso la faccia del bordo della ruota) della superficie di rotolamento. Questa zona è di particolare importanza durante il transito in curve molto strette (ruota interna alla curva, asse anteriore) e sugli scambi.
Zona 2	La Zona 2 è definita dalla gola concava. La Zona 2 è particolarmente sollecitata durante il transito delle ruote esterne anteriori nelle curve strette e molto strette. Questa zona si trova a partire da circa 30 mm dal piano del cerchio di misura verso il bordo del cerchione.
Zona 3	La Zona 3 è la parte centrale della superficie di rotolamento della ruota e comprende un'area di ± 30 mm dal piano del cerchio di misura. Questa zona è particolarmente sollecitata durante il transito dei carrelli posteriori nelle curve, ma anche per tutte le ruote sui rettilinei.
Zona 4	La Zona 4 è l'area compresa tra le Zone 1 e 3. In questa zona avviene il contatto della ruota interna alla curva soprattutto nei raggi di curva medi e grandi.
Bordo del cerchione	La faccia del bordo del cerchione è particolarmente sollecitata durante il transito delle ruote esterne anteriori nelle curve strette e molto strette, nonché durante il passaggio di tutte le ruote sugli scambi.

Tabella 1: Descrizione delle zone di contatto della ruota

Per facilitare l'identificazione, la localizzazione e l'analisi dei danni, si raccomanda di contrassegnare le ruote durante le prove operative e in caso di rilevazioni particolari come segue:

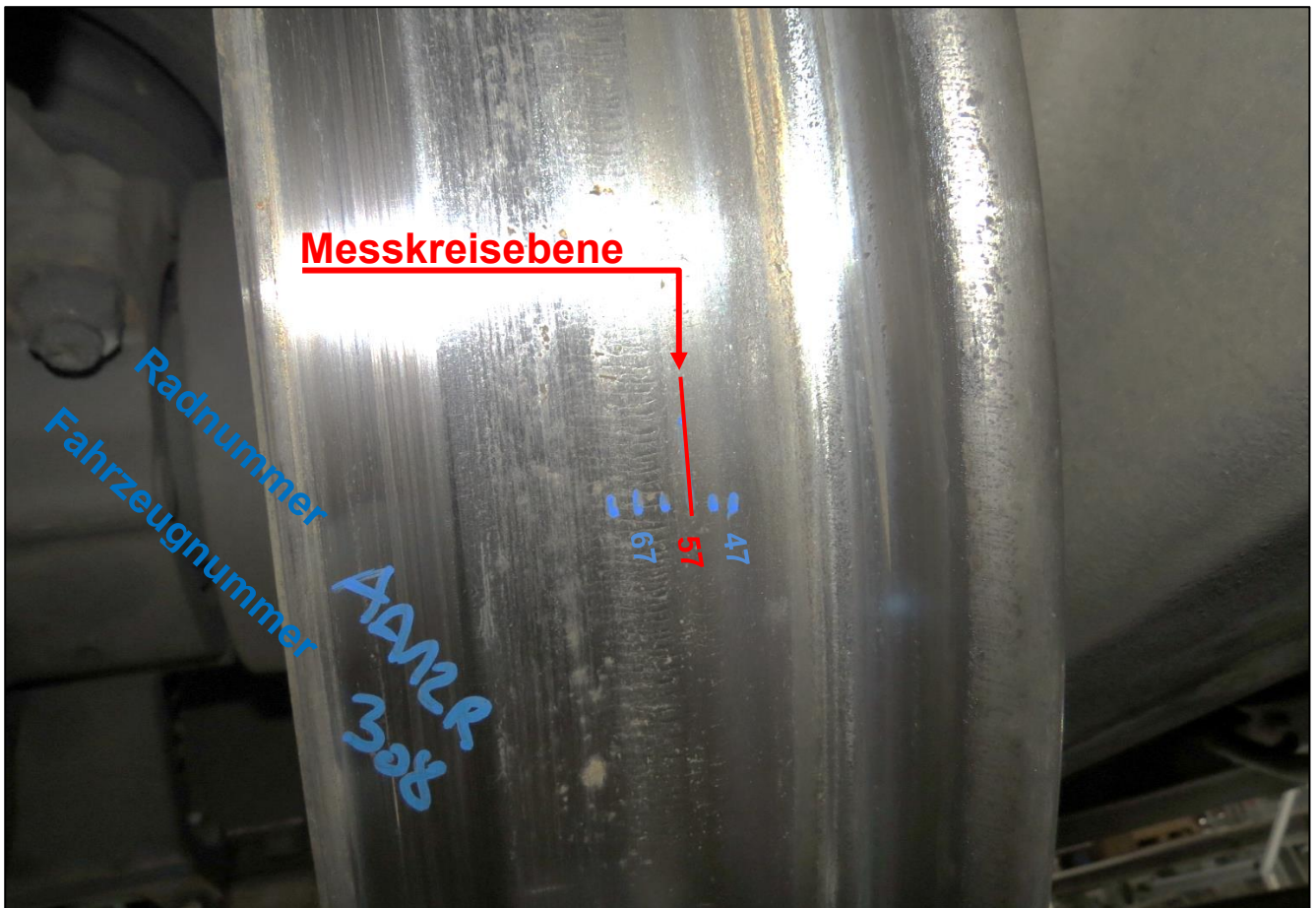


Figura 17: Marcatura delle ruote

3.2 Codifica dei danni da meccanica di contatto sulle superfici di rotolamento delle ruote

La codifica dei danni sulle ruote nel Catalogo dei danni Interazione per lo scartamento metrico è stata sviluppata facendo riferimento al documento tecnico *UIC B 169/DT 405*⁴.

Poiché nel presente documento vengono trattati solo i danni sulla superficie di rotolamento e sul bordo del cerchione causati dall'interazione tra ruota e rotaia, vengono considerati solo alcuni dei danni presenti nel documento *UIC B 169/DT 405*. La *Tabella 2* fornisce una panoramica dei danni inclusi in questo catalogo.

Oltre alla codifica secondo *UIC B 169/DT 405*, il codice di errore della ruota viene distinto dal codice di errore della rotaia:

- I codici di errore preceduti dalla lettera **R** si riferiscono ai **difetti della ruota**
- I codici di errore preceduti dalla lettera **S** si riferiscono ai **difetti della rotaia**

La codifica per i difetti della ruota è definita come segue:

Codice errore: **R**-_ _ _ _

La prima cifra (da sinistra) distingue il tipo di difetto:

- (1) Difetto sul carrello

La seconda cifra specifica l'area del carrello in cui si verifica il difetto:

- (1) Difetto sulla superficie di rotolamento
- (2) Difetto sul bordo del cerchione/pneumatico della ruota

La terza e la quarta cifra distinguono i singoli difetti all'interno delle aree.

⁴ UIC B 169/DT 405 – *Schadenskatalog Räder / Radsatzwellen / Radsätze – Teil 1: Einleitung, Terminologie, Klassierung der Fehler, Fehlerarten am Radsatz*

R-11__	Superficie di rotolamento della ruota	UIC B 169/DT 405	Catalogo dei danni Interazione - Superfici di contatto Ruota e Rotaia
R-1101	Punto piatto	✓	✓
R-1102	Appiattimento singolare	✓	✓
R-1103	Eccentricità	✓	✓
R-1104	Ovalità	✓	✓
R-1105	Poligoni	✓	✓
R-1106	Poligoni – Deviazioni periodiche di rotondità a corta lunghezza d'onda	✓	✓
R-1107	Deviazioni di rotondità stocastiche	✓	✓
R-1108	Accumulo di materiale	✓	✓
R-1109	Rullatura	✓	✓
R-1110	Scagliamenti (Spalling)	✓	✓
R-1111	Delaminazione	✓	✓
R-1112	Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota	✓	✓
R-1113	Pelle a buccia d'arancia	✓	✓
R-1114	Head Checks – RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche	✓	✓
R-1115	Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa	✓	✓
R-1116	Groove e avvallamenti	✓	✓
R-1117	Rotolamento concavo	✓	
R-1118	Danno alla smussatura	✓	
R-1119	Scoppi (Shelling)		✓
R-12__	Sul bordino / cerchione della ruota	✓	✓
R-1201	Distacco del materiale sotto la superficie di corsa / Delaminazione	✓	✓
R-1202	Sovraccarico termomeccanico delle ruote piene	✓	
R-1203	Sovraccarico termomeccanico delle ruote con pneumatico	✓	
R-1204	Cerchione allentato/ruotato	✓	
R-1205	Cricche da intaglio di tensione sul lato inferiore del bordo del cerchione	✓	
R-1206	Danno derivante dalle marcature	✓	
R-1207	Danni dovuti alla equilibratura	✓	
R-1208	Cricca trasversale sulla smussatura		
R-1209	Danni nel foro del cerchione, inclusi quelli dovuti all'anello di sicurezza	✓	
R-1210	Cricche sul bordo del cerchione	✓	✓
R-1211	Danno alla sommità del bordo del cerchione		✓
R-1212	Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo)		✓
R-1213	Tracce di contatto radiali e danni sulla superficie frontale interna del bordo del cerchione		✓
R-13__	Sulla ruota disco / sul corpo della ruota	✓	
R-14__	Sull'asse del carrello	✓	

Tabella 2: Danni adottati dalla colonna grigia del catalogo UIC B 169/DT 405 per lo scartamento metrico. Classificazione dei danni alle ruote secondo UIC B 169/DT 405

3.3 Raccolta dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di contatto della ruota

3.3.1 Deviazioni di rotondità

Per deviazioni di rotondità si intendono tutti i tipi di scostamento del raggio rispetto al cerchio. In contrasto con il termine spesso utilizzato “irregolarità” (Δr massimo su tutto il perimetro della ruota), qui si utilizza il termine deviazioni di rotondità, che permette di descrivere l’ampiezza e la forma dello scostamento. La differenza tra il raggio massimo e minimo lungo il perimetro è denominata irregolarità Δr . Tra le deviazioni di rotondità si distinguono le seguenti forme:

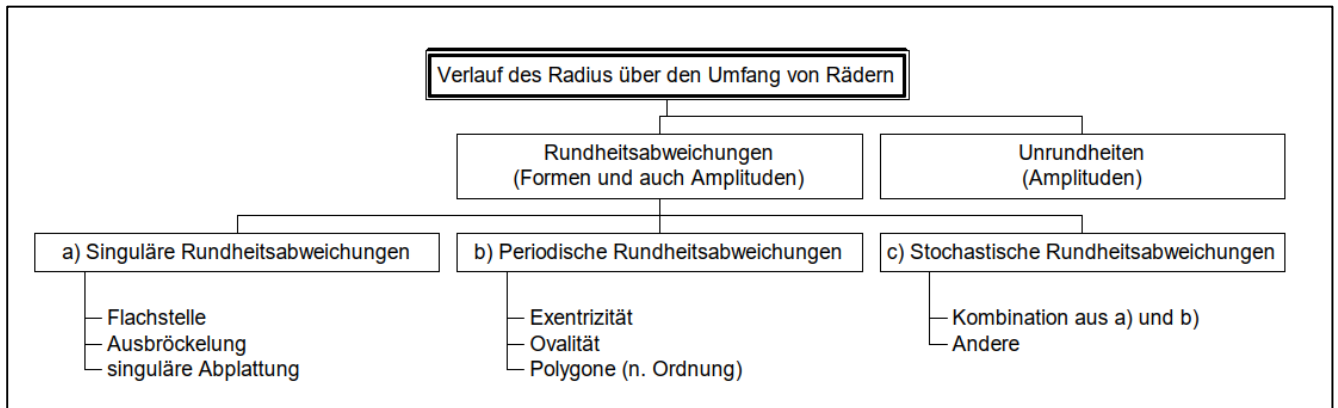


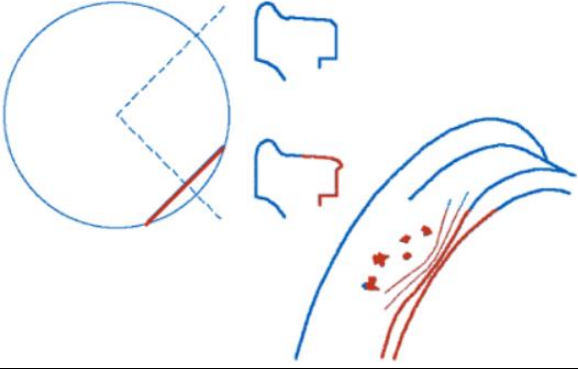


Figura 18: Andamento del raggio lungo la circonferenza delle ruote secondo UIC B 169/DT 405

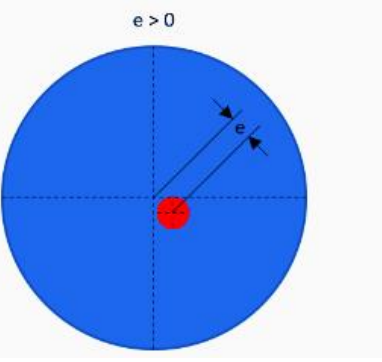
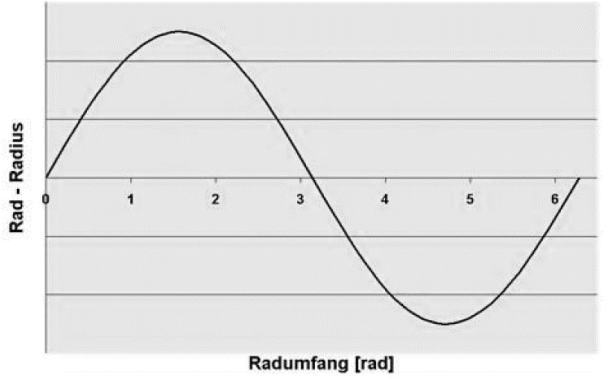
3.3.1.1 Punto piatto [Codice errore: R-1101]

Caratteristica	La superficie di rotolamento è appiattita e sono visibili una o più aree ovali. Ciò significa che può comparire una o più piattezze lungo la circonferenza della ruota. Sul bordo perimetrale della piattezza può essere presente una transizione netta (piattezza “fresca”) oppure graduale (piattezza “consumata”).		
Rappresentazione grafica EN-15313 [4]			
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - In generale, le piattezze si presentano su entrambi i lati di un asse, nelle zone 3 e 4. Talvolta, tuttavia, può manifestarsi una piattezza solo su una ruota dell'assile (frenatura unilaterale con zeppe) 		
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102], quando la lunghezza ammessa della piattezza viene ampiamente superata. 		
Possibile causa	<p>Una piattezza è causata dallo slittamento della ruota bloccata sulla rotaia.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Freno bloccato (piattezza visibile su entrambe le ruote esattamente opposte) - Guasto al sistema antislittamento (piattezza visibile su entrambe le ruote esattamente opposte) - Freno a mano inserito (piattezza su entrambe le ruote esattamente opposte) - Frenatura con zoccolo su un solo lato (piattezza solo su una ruota) 		
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo (direttamente sulla superficie di rotolamento della ruota o tramite segni secondari come spine lucide, tracce d'olio sul disco ruota o fuoriuscita di grasso) - Con l'udito - Con impianti di rilevamento fissi installati sulla linea - Segnalazione da parte del personale di locomotiva/treno (ticket) - Controllare sempre entrambe le ruote dello stesso assile (vedi «Possibili cause») 		
Misura correttiva	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riprofilatura - Nei veicoli con freni a ceppi, le piccole zone piatte possono essere eliminate durante l'esercizio grazie all'azione delle ganasce sul battistrada della ruota. <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Migliorare il sistema di antislittamento 		
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quando viene superata la lunghezza consentita (lunghezza limite): componenti del carrello allentati, rottura delle molle <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quando viene superata la lunghezza consentita (lunghezza limite): rottura della rotaia, soprattutto a basse temperature <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 		
Raccomandazione	<p>Diametro della ruota [mm]</p> <p>Da EN 15313 [4]</p> <p>Valori per scartamento normale</p> <p>- Carico per carrello < 18 t</p> <p>- Vmax ≤ 160 km/h</p>	<p>Lunghezza limite [mm] ></p>	<p>Messere immediatamente fuori servizio e riprofilare le ruote (R0) oppure, se necessario, sostituire il carrello (RT). Vedere anche: Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102]</p>
	1000 < d	80	
	840 < d ≤ 1000	60	
	630 < d ≤ 840	40	
	550 < d ≤ 630	35	
	d < 550	30	
	Lunghezza ≤ Lunghezza limite		Continuare la marcia e monitorare.

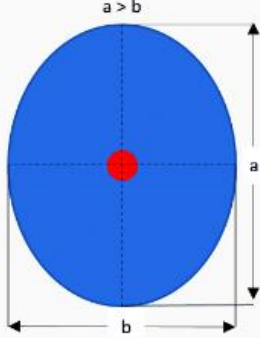
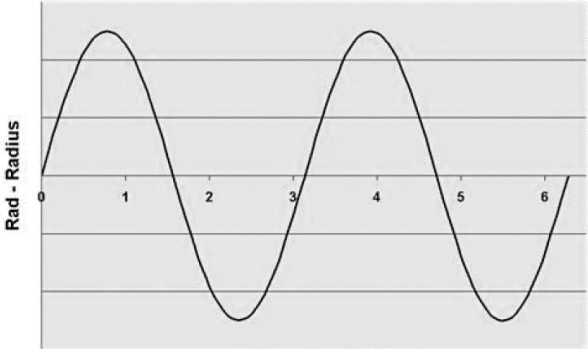
3.3.1.2 Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102]

Caratteristica	Appiattimenti singoli lungo la circonferenza della ruota sono conseguenza di disturbi nel sistema frenante o di proprietà materiali non omogenee. Ogni rotazione della ruota genera un carico d'urto, causando rumore, danni alla superficie di rotolamento e al carrello, oltre a un peggioramento del comfort. Simili sono gli effetti quando sulla superficie di rotolamento si verificano maggiori scheggiature. La profondità di un tipico appiattimento è maggiore di quella di una flangia piatta e può raggiungere 4-5 mm.	
Rappresentazione grafica Sinistra: EN-15313 [4] Destra: Roland Müller		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, zone 1, 3 e 4	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Punto piatto [Codice errore: R-1101] - Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza del materiale insufficiente o proprietà del materiale difformi nella zona danneggiata - In rari casi, formazione di appiattimenti unilaterali - Formazione di separazioni del materiale sotto la superficie di rotolamento 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo direttamente sulla superficie di rotolamento della ruota e tramite segni secondari (perni lucidi, tracce di olio sul mozzo della ruota/perdita di grasso) - Con dispositivi di rilevamento fissi lungo la rotaia (Radlast-Check Points) - Misurazione della rotondità - Attraverso l'udito - In caso di grandi deformazioni parziali o rigonfiamenti – a occhio nudo - Segnalazione dal personale di locomotiva/treno (ticket) - Deformazione laterale locale presente; di norma solo su una delle due ruote dello stesso asse 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura - In caso di ampiezze molto elevate (da definire): controllo del veicolo e del carrello <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superamento della lunghezza massima consentita delle appiattiture (lunghezza limite): componenti del carrello allentati, rottura delle molle <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superamento della lunghezza limite: rottura della rotaia, soprattutto a basse temperature <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Se presenti. Le appiattimenti singoli non sono misurabili.	Mettere immediatamente fuori servizio e riprofilare le ruote (R0) oppure, se necessario, sostituire il carrello (RT).

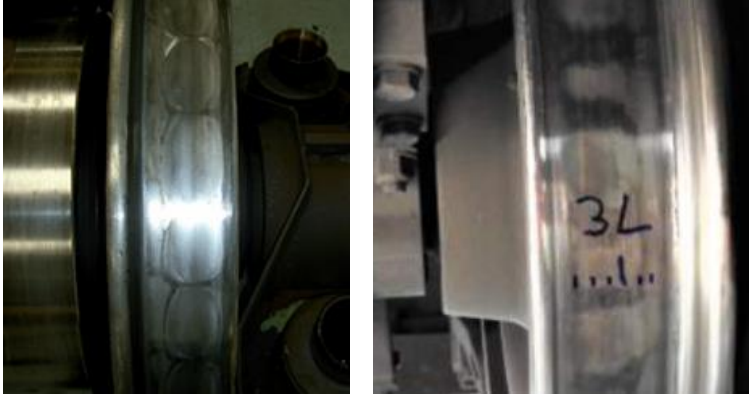
3.3.1.3 Eccentricità [Codice errore R-1103]

Caratteristica	<p>Le eccentricità appartengono al gruppo delle deviazioni periodiche della circolarità. L'eccentricità rappresenta una deviazione del raggio con una lunghezza d'onda corrispondente alla circonferenza della ruota. Srotolata, questa deviazione della circolarità appare come un'onda sinusoidale lungo la circonferenza della ruota. La presenza di eccentricità implica una distribuzione di massa non uniforme rispetto al centro dinamico di rotazione del carrello, il che corrisponde alla presenza di uno squilibrio.</p>	
Rappresentazione grafica Sinistra: RAILplus Destra: UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Tutta la circonferenza della ruota	
Possibili confusioni	- Se durante la misurazione della circolarità viene rilevata solo l'ampiezza, esiste il rischio di confusione con altri tipi di deviazioni di rotondità	
Possibile causa	Produttivo - Eccentricità del foro del mozzo - Eccentricità della sede della ruota - Eccentricità del foro di centraggio sul lato dell'albero - Sbilanciamento eccessivo	
Metodo di rilevamento	- Misurazione della circolarità - Vibrazioni strutturali del carrello (prima frequenza propria di flessione)	
Misura correttiva	Misura correttiva: - Reprofilatura - Equilibratura in caso di eccessivo sbilanciamento Misura preventiva: - Garantire il centraggio del gruppo ruota durante la lavorazione	
Conseguenze	Material rotabile - Influenza sul comfort di marcia se la combinazione tra eccentricità e velocità di marcia genera una frequenza vicina alla frequenza propria della cassa del veicolo Infrastruttura - Nessuna Ambiente - Nessuna	
Raccomandazione Da EN 13262 [6] Valori per scartamento normale - $V_{max} \leq 120$ km/h	Max. Sbilanciamento 125 gm	Proseguire la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) se possibile, oppure pianificare la sostituzione del gruppo ruota (RT). Durante la lavorazione garantire il centraggio del gruppo ruota, eliminare lo sbilanciamento e verificare nuovamente la circolarità.


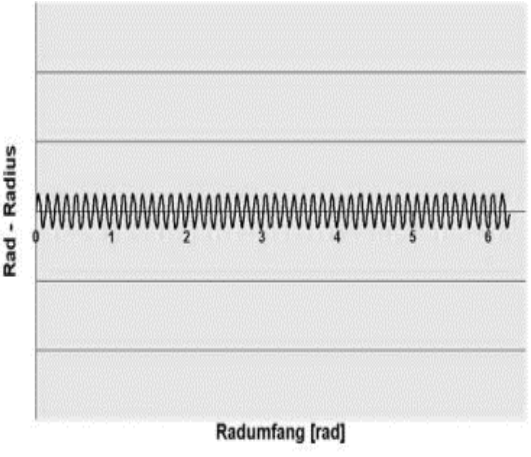
3.3.1.4 Ovalità [Codice errore R-1104]

Caratteristica	Le ovalità appartengono al gruppo delle deviazioni periodiche della rotondità. L'ovalità ("a forma d'uovo") rappresenta una deviazione del raggio con una lunghezza d'onda pari alla metà della circonferenza della ruota. Nella distesa si manifesta come due onde sinusoidali lungo la circonferenza della ruota.	
Rappresentazione grafica Sinistra: RAILplus Destra: UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Tutta la circonferenza della ruota	
Possibili confusioni	- Se nella misurazione della cilindricità viene rilevata solo l'ampiezza, esiste il rischio di confusione con altri tipi di deviazioni della rotondità	
Possibile causa	- Dovuto alla produzione, ad esempio a causa della serraggio a due ganasce durante la profilatura e la riprofilatura	
Metodo di rilevamento	- Misurazione della cilindricità	
Misura correttiva	Misura correttiva: - Riprofilatura Misura preventiva: - Miglioramento del processo di profilatura	
Conseguenze	Material rotabile - Influenza sul comfort di marcia, se la combinazione di ovalità e velocità di marcia porta a una frequenza vicina alla frequenza propria della cassa del veicolo Infrastruttura - Nessuna Ambiente - Nessuna	
Raccomandazione	Se presente	proseguire la marcia, pianificare la riprofilatura delle ruote (R0) – se possibile – oppure pianificare la sostituzione del carrello (RT). Dopo la riprofilatura, misurare nuovamente la rotondità.

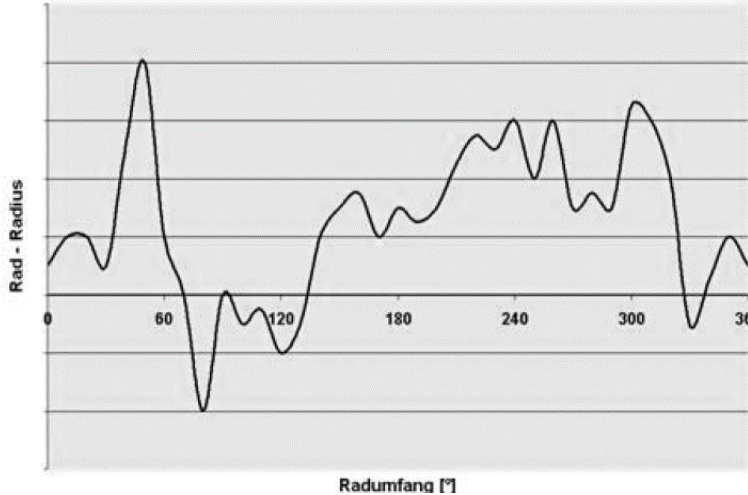
3.3.1.5 Poligoni [Codice errore: R-1105]

Caratteristica	Sulla circonferenza della ruota si presentano deviazioni periodiche della rotondità, visibili nella rappresentazione della cilindricità come curve sinusoidali approssimativamente periodiche lungo la circonferenza. La determinazione delle componenti periodiche è possibile mediante un'analisi di Fourier della registrazione della cilindricità. La lunghezza d'onda della deviazione della rotondità varia da pochi centimetri fino a circa un metro. Rappresentanti classici delle deviazioni periodiche della rotondità sono i poligoni a 3 punte (tripla onda sinusoidale lungo la circonferenza della ruota) o i poligoni da 5 fino a 28 punte.	
Rappresentazione grafica Sinistra: RTE 41500 [1] Destra: RAILplus		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, zone 3 e 4	
Possibili confusioni	- Se nella misura della cilindricità viene rilevata solo l'ampiezza, c'è il rischio di confusione con altri tipi di deviazioni della rotondità.	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Carrucole disallineate - Con l'eccezione dei poligoni a tre punte, i poligoni multipli sono causati dalle forze di slittamento tra ruota e rotaia. - Frequenti passaggi in curve strette 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - Misura della cilindricità - Con impianti fissi di rilevamento sui binari - Con l'udito (rumore all'interno del veicolo e nell'ambiente) - In stadio avanzato, a occhio nudo (scheggiature) - A occhio nudo (direttamente sulla superficie di rotolamento o tramite caratteristiche secondarie, ad es. perni lucidi, tracce di olio sul mozzo/filtrazioni di grasso) - Con l'udito - Segnalazioni da personale locomotiva/treno (ticket) - Rumore e vibrazioni 	
Misura correttiva	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura - Manutenzione del telaio Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Regolabilità radiale dei carrelli - Condizionamento della testa rotaia - Uso di materiali di ruota dure 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, vibrazioni nella cassa del veicolo Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Con frequenze di 60-80 Hz (a seconda del numero, dimensione dei poligoni e velocità) vibrazioni nella sovrastruttura Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 	
Raccomandazione	Forte vibrazione e forte rumore	Immediata fuori servizio e reprofilatura delle ruote (R0) o, se necessario, sostituzione del carrello (RT)
	Dopo segnalazioni di rumore o impatti sul comfort di marcia → controllare il veicolo. Il poligono è visibile durante il controllo visivo	Proseguire la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) - se possibile - o la sostituzione del carrello (RT)


3.3.1.6 Poligoni – Deviazioni di rotondità a breve lunghezza d'onda [Codice errore: R-1106]

Caratteristica	Le deviazioni della rotondità periodiche a corta lunghezza d'onda sono generalmente caratterizzate da una piccola ampiezza. La lunghezza d'onda della deviazione della rotondità è al massimo di pochi centimetri (circa 5–8 cm). Rappresentante classico delle deviazioni della rotondità a corta lunghezza d'onda sono le scanalature da frenata causate dalle ganasce in ghisa.	
Rappresentazione grafica Sinistra: Roland Müller Destra: UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, zone 3 e 4	
Possibili confusioni	- Se durante la misurazione della circolarità viene rilevata solo l'ampiezza, esiste il rischio di confusione con altri tipi di deviazioni della rotondità (ad es. poligoni a lunga onda)	
Possibile causa	- Scanalature da frenata causate da freni a ceppo con ganasce in ghisa	
Metodo di rilevamento	- Controllo visivo - Impianto di rilevamento delle emissioni sonore - Con l'udito (rumore di rotolamento aumentato)	
Misura correttiva	Misura correttiva: - Reprofilatura (dopo la reprofilatura le scanalature da frenata si ripresenteranno) Misura preventiva: - Considerare la sostituzione delle ganasce in ghisa con ganasce composite - A lungo termine (se possibile) passaggio a freni a disco	
Conseguenze	Material rotabile - Rumore all'interno del veicolo Infrastruttura - Analogamente alle scanalature sulle rotaie. A differenza dei Poligoni [Codice errore: R-1105] l'ampiezza del danno è troppo piccola per generare frequenze rilevanti nella sovrastruttura Ambiente - Aumento delle emissioni sonore	
Raccomandazione	In caso di rumore elevato all'interno del veicolo o nell'ambiente circostante, controllare il veicolo. Le scanalature da frenata sono visibili durante il controllo visivo	- Continuare la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) se possibile o sostituire il carrello (RT) - Conversione delle ganasce in ghisa in ganasce composite

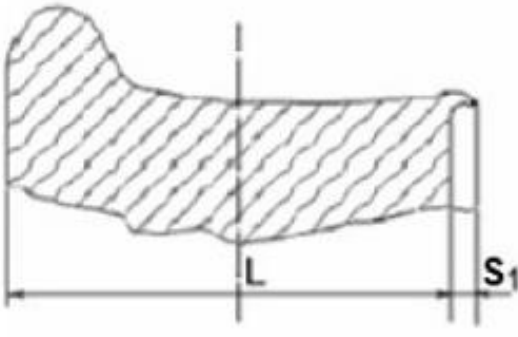

3.3.1.7 Deviazioni di rotondità stocastiche [Codice errore R-1107]

Caratteristica	Le deviazioni stocastiche della rotondità si manifestano nella rappresentazione del profilo di circolarità come fluttuazioni irregolari del raggio lungo la circonferenza. Una scomposizione di Fourier della deviazione stocastica della rotondità non fornisce informazioni significative.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		Poiché questo tipo di deviazione della rotondità non è riconoscibile a occhio nudo, nella figura accanto è mostrato un esempio di questo danno alla ruota. Nella figura è visibile l'errore stocastico della deviazione dal raggio nominale in funzione della circonferenza della ruota.
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, zone 3 e 4	
Possibili confusioni	- Se durante la misurazione della circolarità viene rilevata solo l'ampiezza, esiste il rischio di confusione con altri tipi di deviazioni della rotondità	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Disomogeneità nel comportamento di usura e resistenza lungo la circonferenza della ruota - Sollecitazioni eccezionali di breve durata 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - Misurazione della circolarità - Impianti di rilevamento fissi lungo il binario - Con l'udito 	
Misura correttiva	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso di materiali migliorati - Evitare sollecitazioni eccezionali 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, vibrazioni nel carrello passeggeri <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni nella sovrastruttura con frequenze di 60-80 Hz (a seconda del numero, dimensione dei poligoni e velocità di marcia) <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rumore, vibrazioni 	
Raccomandazione	Se presente	<p>È riconoscibile un pattern con difetti singoli dominanti o difetti periodici?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Punto piatto [Codice errore: R-1101] - Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102] - Eccentricità [Codice errore R-1103] - Ovalità [Codice errore R-1104] - Poligoni [Codice errore: R-1105] - Poligoni – Deviazioni di rotondità a breve lunghezza d'onda [Codice errore: R-1106] <p>Vedere le raccomandazioni per la correzione di questo errore</p>



3.3.2 Accumulo di materiale [Codice errore: R-1108]

Caratteristica	<p>La superficie di rotolamento presenta accumuli di materiale sotto forma di sovrastrutture di materiale dei pattini dei freni o della rotaia.</p> <p>Gli accumuli di materiale possono comparire singolarmente o più volte (spesso a distanza regolare) lungo la superficie di rotolamento. Gli accumuli di materiale indicano sovraccarichi termici delle ruote.</p>	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto Zone 3 e 4 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Punto piatto [Codice errore: R-1101] con spostamento di materiale - Appiattimenti singolari [Codice errore R-1102] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Scorrimento della ruota sulla rotaia (slittamento, rotazione a scatti o lenta) - Materiale della ruota, della rotaia o dei pattini dei freni surriscaldato e staccato, che provoca saldature puntiformi nei punti localmente surriscaldati della superficie di rotolamento - Flusso del materiale della ruota a causa dell'azione dei freni - Irregolarità nel sistema frenante, inclusi errori di manovra - Errori di trasmissione nella gestione della forza di trazione e frenatura nei treni reversibili - Coppia di materiali non idonea tra i pattini dei freni e il materiale della ruota o del cerchio 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - A udito - Attraverso sistemi di rilevamento fissi 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura - Gli accumuli di materiale di piccola entità possono essere eliminati dall'azione dei pattini dei freni <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Individuare la causa (es. pattino dei freni non idoneo) e correggerla 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, componenti del carrello allentati, rottura molle, rottura della ruota <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simile ai punti piatti singolari <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rumore, vibrazioni 	
Raccomandazione	Se presente	Mettere immediatamente fuori servizio e reprofilarle le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT). Vedere anche Appiattimenti singolari [Codice errore R-1102]


3.3.3 Rullatura [Codice errore: R-1109]

Caratteristica	Spostamento del materiale verso la parte esterna del cerchio/ del bordo del cerchione lungo tutta la circonferenza oltre l'area della smussatura (smussatura non più visibile o solo parzialmente riconoscibile). Le sovrappressioni/rigonfiamenti si presentano frequentemente in combinazione con il cavo di rotolamento.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]	 	
Localizzazione	- Inclinazione esterna, smussatura, faccia frontale del bordo del cerchio e del cerchione	
Possibili confusioni	- Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102]	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Elevato slittamento laterale dell'assale (per la marcia in curve strette) - Errata posizione dell'assale - Resistenza del materiale troppo bassa rispetto al carico e al diametro della ruota - Geometria sfavorevole del profilo della ruota - Sovraccarico permanente - Materiale della ruota troppo morbido - Differenze eccessive di diametro tra le due ruote dello stesso assale 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Misurazione della larghezza del bordo del cerchio / cerchione 	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Riprofilatura delle ruote - Tornitura delle sovrappressioni / rigonfiamenti Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Eventuale modifica del materiale della ruota 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Le rigonfiature possono staccarsi e volare durante la marcia, provocando lesioni alle persone Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Le rigonfiature possono staccarsi e volare durante la marcia, provocando lesioni alle persone Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Rigolatura / Rigonfiamento ($s_1 \geq 5\text{mm}$)	Immediata messa fuori servizio e riprofilatura delle ruote (R0) o, se necessario, sostituzione dell'assale (RT)
	Rigolatura / Rigonfiamento ($s_1 < 5\text{mm}$)	Proseguire la marcia e osservare


3.3.4 Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110]

Caratteristica	Dalla superficie di rotolamento si distaccano, a causa di fatica del materiale o di sovraccarico, piccole porzioni di materiale. Da singoli difetti possono svilupparsi scheggiature più profonde e cavità. Le scheggiature si presentano prevalentemente singolarmente o in modo circonferenziale nella zona centrale della superficie di rotolamento. Le cavità possono svilupparsi da scheggiature e in corrispondenza di danni dovuti a punti piatti o appiattimenti singolari. Le scheggiature si originano principalmente da una singola fessura sotto la superficie della ruota. Nella zona in cui si manifesta questo tipo di danneggiamento non sono presenti cricche da fatica da contatto (RCF).	
Rappresentazione grafica Sinistra e centro: Roland Müller Destra: EN-15313 [4]Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.	<i>Scheggiature locali / Scheggiature circonferenziali</i> 	<i>Scheggiature e cavità</i> 
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto nelle zone 3 e 4	
Possibili confusioni	- Delaminazione [Codice errore R-1111] - Punto piatto [Codice errore: R-1101] - Appiattimenti singolari [Codice errore R-1102] - Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112]	
Possibile causa	- Le scheggiature si formano come conseguenza di danneggiamenti della superficie di rotolamento dovuti a sollecitazioni meccaniche – fatica da contatto volvente RCF (sovraccarico, fatica del materiale)	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo - Con l'udito - Con impianti di rilevamento fissi nella via - Comfort di marcia, rumore, vibrazioni	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: - Riprofilatura Misura preventiva: - Miglioramento delle proprietà del materiale - Miglioramento della meccanica del contatto ruota-rotaia - Evitare sovraccarichi meccanici	
Conseguenze	Material rotabile - Comfort di marcia, componenti del carrello allentati e rottura delle molle Infrastruttura - Da chiarire Ambiente - Rumore, vibrazioni	
Raccomandazione	Scheggiature chiaramente visibili	Immediata messa fuori servizio e riprofilatura delle ruote (R0) o, se necessario, sostituzione dell'assale (RT)
	Scheggiature con potenziale di crescita	Proseguire la marcia, pianificare la riprofilatura delle ruote (R0) – se possibile – oppure la sostituzione dell'assale (RT)

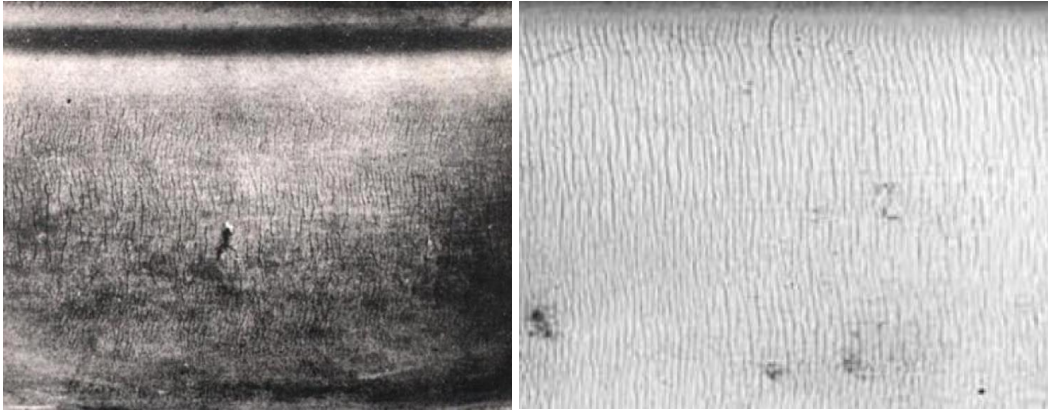
3.3.5 Delaminazione [Codice errore R-1111]

Caratteristica	<p>Si tratta di un difetto che si manifesta prevalentemente lungo l'intera circonferenza della ruota, nella zona di contatto con la rotaia, caratterizzato dalla presenza di cricche a forma di spina di pesce o a forma di "C". Con l'evoluzione di questi difetti si formano scaglie metalliche saldate, che successivamente si staccano dalla superficie di rotolamento. Queste scaglie distaccate risultano talvolta saldate e sovrapposte tra loro e possono accumularsi a pacchetti sul ceppo frenante. Nello stadio finale, l'aspetto del danno da sfogliatura somiglia molto a quello delle scheggiature.</p>	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto nelle zone 3 e 4 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110] - Punto piatto [Codice errore: R-1101] - Appiattimenti singolari [Codice errore R-1102] - Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Danneggiamenti della superficie di rotolamento dovuti a sollecitazioni termiche e/o meccaniche <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sollecitazioni termiche (effetto del calore dovuto a slittamento, pattinamento o eccessivo slittamento) ▪ Sollecitazioni meccaniche dovute, ad esempio, a: <ul style="list-style-type: none"> ➔ Carichi eccessivi per il diametro della ruota ➔ Qualità inadeguata dell'acciaio del bordino o del cerchione ➔ Alte sollecitazioni da slittamento 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - All'udito - Con impianti di rilevamento fissi nel binario 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riprofilatura <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento delle proprietà del materiale - Miglioramento della meccanica di contatto ruota-rotaia - Evitare sollecitazioni meccaniche eccessive 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, componenti allentati del carrello nella parte non sospesa e rotture delle molle <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rumore, vibrazioni 	
Raccomandazione	Appena rilevato	Mettere immediatamente fuori servizio e riprofilare le ruote (R0) oppure, se necessario, sostituire il assile montato (RT)

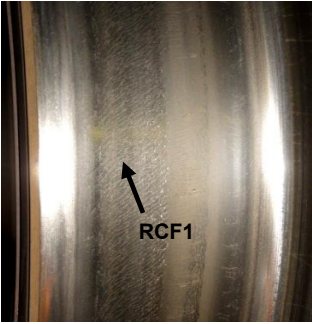
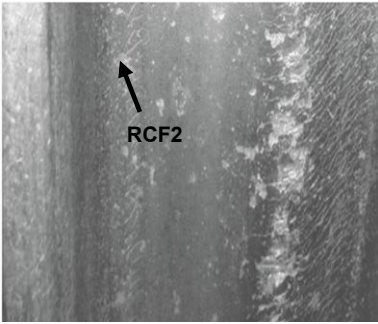

3.3.6 Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112]

Caratteristica	Sulla superficie di rotolamento sono presenti cavità di forma irregolare o lineare. Queste possono comparire singolarmente, ma spesso si estendono anche lungo l'intera circonferenza della ruota.	
Rappresentazione grafica Sinistra e centro: Arbeitsanweisung Laufflächenbeurteilung Radsätze [7] Destra: RTE 41000 [2]		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto nelle zone 3 e 4	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110] - Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa [Codice errore R-1115] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Corpi estranei vengono pressati nella superficie di rotolamento durante il passaggio, causando deformazioni plastiche - Durante il passaggio su giunti o dislivelli, la superficie di rotolamento viene compressa trasversalmente alla direzione di marcia - Difetti della rotaia - Nelle impronte puntiformi (sabbia, piccoli sassi negli attraversamenti stradali) 	
Metodo di rilevamento	- Ad occhio nudo	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Verifica con l'infrastruttura (saldature difettose, giunti, attraversamenti stradali) - Miglioramento delle proprietà del materiale 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della ruota Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Per le incisure (immagine in alto a sinistra / centro)	Fermare immediatamente il servizio e reprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)
	Per le impronte puntiformi (immagine in alto a destra)	Proseguire la marcia e pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) o, se possibile, la sostituzione del carrello (RT)


3.3.7 Pelle a buccia d'arancia [Codice errore: R-1113]

Caratteristica	La formazione della “pelle di rospo”: l'insieme delle microfessure superficiali termiche che si sviluppano sulla superficie di rotolamento nell'area di contatto tra ruota e rotaia, formando un mosaico in tutte le direzioni. Le fessure a reticolo sulla superficie di rotolamento sono visivamente particolarmente evidenti su ruote frenate con pattini termicamente aggressivi, ad esempio con pattini sinterizzati. In altri accoppiamenti ruota-pattino si osservano scagliamenti senza evidenza visiva della “pelle di rospo”.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto nelle Zone 3 e 4	
Possibili confusioni	- Crevasse meccanicamente iniziate, ad es. superficie di rotolamento con motivo a lisca di pesce	
Possibile causa	- Le crevasse si sviluppano a causa dell'azione del calore da frenata con grandi differenze di temperatura locali, ad es. hot-spot sulla superficie di rotolamento - Accoppiamento non idoneo tra materiale del pattino e materiale della ruota o del cerchione (es. pattino organico)	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo - Controllo non distruttivo, ad es. prova con particelle magnetiche	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: - Reprofilatura e successivo controllo delle crepe Misura preventiva: - Accoppiamento idoneo tra pattino e ruota o cerchione	
Conseguenze	Material rotabile - Scagliamenti e rottura della ruota Infrastruttura - Nessuna Ambiente - Nessuna	
Raccomandazione	Se presente	Mettere immediatamente fuori servizio e reprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)

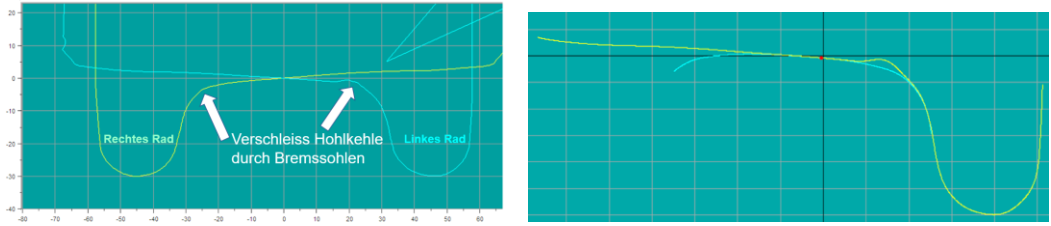
3.3.8 Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114]

Caratteristica	Head Checks sono cricche sottili distribuite regolarmente lungo l'intera circonferenza della ruota. Nel caso di ruote frenate con pattini, queste cricche vengono solitamente asportate dai pattini stessi durante la frenata. Se non vengono eliminate, le cricche si propagano in profondità e, con il tempo, portano alla formazione di scagliamenti. I Head Checks sono causati dalle forze d'aderenza tra ruota e rotaia e dipendono dal principio del carrello (assi radialmente orientabili) e dal campo di impiego (curve o tratti rettilinei). Poiché il punto di contatto ruota-rotai varia tra tratti rettilinei e curve, i Head Checks si manifestano in forme diverse.		
	<i>RCF 1</i>	<i>RCF 2</i>	<i>RCF 3</i>
	Orientamento: inclinazione di 45° rispetto all'asse dell'assile. Campo di impiego: curve medie fino a molto strette	Orientamento: inclinazione di 45° rispetto all'asse dell'assile. Campo di impiego: curve medie fino a molto strette	Orientamento: parallelo all'asse dell'assile. Campo di impiego: curve molto ampie e tratti rettilinei
Rappresentazione grafica RCF1: RTE 41000 [2] RCF2: Roland Müller RCF3: Roland Müller			
Localizzazione	Ruota: anteriore, lato intern curva Zona: Zone 1	Ruota: anteriore, lato interno curva Zona: Zone 2	Ruota: anteriore, lato interno curva Zona: Zone 3
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa [Codice errore R-1115] - Cricche termiche e Pelle a buccia d'arancia [Codice errore: R-1113] 		
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - I cricchi si sviluppano a seguito di sollecitazioni dovute allo slittamento nella zona di contatto, ad esempio per: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Affaticamento del materiale per sovrasollecitazione ▪ Sollecitazioni di slittamento elevate ▪ Proprietà del materiale insufficienti ▪ Sovraccarico dei veicoli ▪ Principi di carrello sfavorevoli (assi rigidi non radialmente orientabili) ▪ Inclinazione degli assi 		
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A vista - Controllo non distruttivo, ad esempio con magnetoscopia 		
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Assi radialmente orientabili - Miglioramento delle proprietà del materiale - Miglioramento / ottimizzazione della geometria di contatto 		
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Scagliature, rottura della ruota Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 		
Raccomandazione	Se le cricche sono affilate (RCF 3)	Mettere immediatamente fuori servizio e riprofilare le ruote (R0) oppure, se necessario, sostituire il complesso ruota-asse (RT)	
	Se le cricche non sono affilate (RCF 1 & 2)	Se c'è tendenza alle scagliature: pianificare la riprofilatura delle ruote (R0), se possibile, oppure pianificare la sostituzione del complesso ruota-asse (RT)	
	Se le cricche non sono affilate (RCF 1 & 2)	Se non c'è tendenza alle scagliature: continuare la marcia e monitorare	


3.3.9 Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa [Codice errore R-1115]

Caratteristica	La superficie di rotolamento presenta cricche ad un angolo di circa 90° rispetto alla direzione di rotolamento. Le cricche trasversali si sviluppano sulla superficie generalmente in linea retta o leggermente incurvate. In profondità le cricche trasversali possono estendersi radialmente (principalmente di origine termica) oppure ramificarsi nella direzione circonferenziale (principalmente di origine meccanica). Si presentano come cricche isolate e possono essere distribuite più volte lungo la circonferenza della ruota.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto nelle zone 3 e 4	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Lineari Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112] - Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114] 	
Possibile causa	<p>Caso A – Cricche termiche: le cricche trasversali della superficie di corsa a sviluppo radiale si verificano prevalentemente su veicoli frenati a pattino e possono essere causate da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sovraccarico termico dovuto a frenata eccessiva / surriscaldamento del cerchio / corona della ruota - Punti caldi (Hot Spots) - Accoppiamento inadeguato dei materiali tra pattino e cerchio / corona della ruota <p>Caso B – Cricche meccaniche: cricche trasversali che si diramano sotto la superficie di corsa sono prevalentemente di origine meccanica e possono essere causate da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sovraccarico meccanico - Proprietà meccaniche del materiale sfavorevoli 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - Individuazione delle cricche trasversali <ul style="list-style-type: none"> ▪ A occhio nudo ▪ Con prove non distruttive dei materiali, ad es. controllo con polvere magnetica, ultrasuoni - Determinazione della direzione di propagazione possibile tramite analisi distruttiva del materiale (prova di tornitura, macrosezione) 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura e successivo controllo delle cricche - Sostituzione della ruota <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento delle proprietà del materiale 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Scaffiture, rottura della ruota <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Se presente e veicolo con freno a pattino	Portare immediatamente fuori servizio e reprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)





3.3.10 Groove e avvallamenti [Codice errore: R-1116]

Caratteristica	<p>Le scanalature e le conche si verificano lungo tutto il perimetro della ruota e possono interessare l'intera larghezza della superficie di rotolamento.</p> <p>Le conche si caratterizzano per un contorno arrotondato senza spigoli vivi. Le conche si presentano parzialmente sulla larghezza della superficie di corsa e di norma non superano una larghezza di 40-50 mm.</p> <p>Le scanalature si caratterizzano per transizioni a spigolo vivo.</p> <p>Possibile deposito stratificato di materiale sulla superficie di attrito del pattino del freno.</p> <p>La formazione di scanalature e conche può verificarsi con tutti i materiali dei pattini, ma è più frequente nell'impiego di pattini in materiale composito o sinterizzato.</p>	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Fascia, zona 1 o zona 3	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Espulsioni lineari lungo il perimetro - Grafi di rotazione dalla lavorazione - Accumulo di materiale lungo il perimetro - Scanalatura concava 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Punti eterogenei sulla superficie di attrito del pattino del freno - Coppia materiale pattino – ruota o cerchione inadeguata - Pessima posizione del pattino nel profilo trasversale 	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva: Reprofilatura in funzione della tipologia di danno e in base ai dati di esperienza disponibili</p> <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso di materiali appropriati per i pattini del freno - Ottimizzazione della geometria del pattino 	
Conseguenze	<ul style="list-style-type: none"> - Effetto sul comportamento del veicolo (valutabile solo tramite analisi della geometria di contatto) - Effetti sull'usura di ruota e rotaia 	
Raccomandazione	Profondità > 1 mm	Reprofilatura e controllo dell'area di intervento del pattino
	Profondità < 1 mm	Continuare la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0)

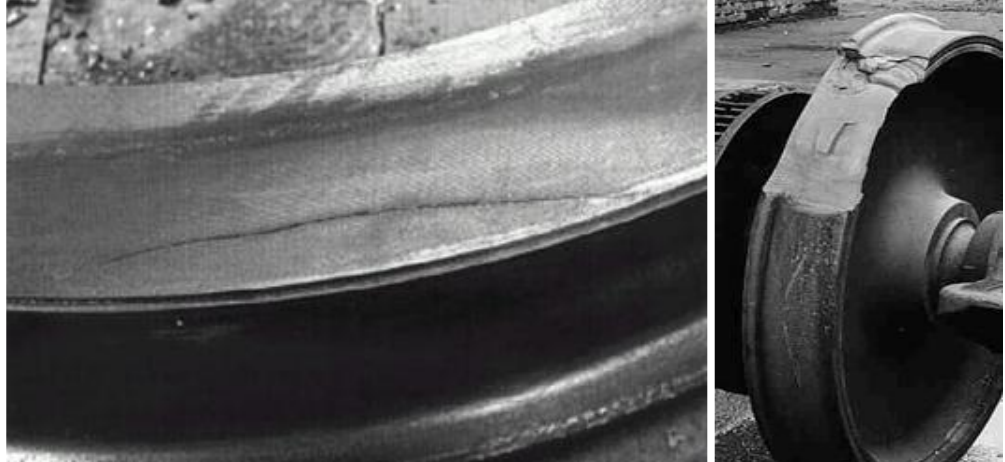
3.3.11 Danno alla smussatura [Codice errore: R-1118]

Caratteristica	Corni del cerchione o cerchione: superficie frontale esterna nella zona della smussatura con segni di usura lungo il perimetro (abrasioni, scanalature) e talvolta crepe o scheggiature lungo la circonferenza	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Fascia, Zona 1	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Parziale Rullatura [Codice errore: R-1109] - Cricca trasversale sulla smussatura [Codice errore R-1208] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Questo tipo di danno si verifica durante la frenata del rotabile mediante un freno a rotaia che agisce lateralmente sulle ruote (favorito da sovrastampa della superficie di rotolamento e/o da freno a rotaia difettoso) - Altre cause possono essere deragliamenti o disposizione errata di elementi costruttivi negli scambi 	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Riprofilatura - Sostituzione del carrello (RT) Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Verifica con l'infrastruttura (geometria di contatto difettosa nell'area dello scambio) 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Pericolo di rottura della ruota in caso di uso di freni a pattino Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Danni durante la percorrenza degli scambi, soprattutto nell'area del cuore dello scambio Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Dimensione > 10 mm	Mettere immediatamente fuori servizio e riprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)
	Dimensione tra 5 e 10 mm	Continuare la marcia, pianificare riprofilatura delle ruote (R0) se possibile o sostituzione del carrello (RT)
	Dimensione < 5 mm	Continuare la marcia e osservare

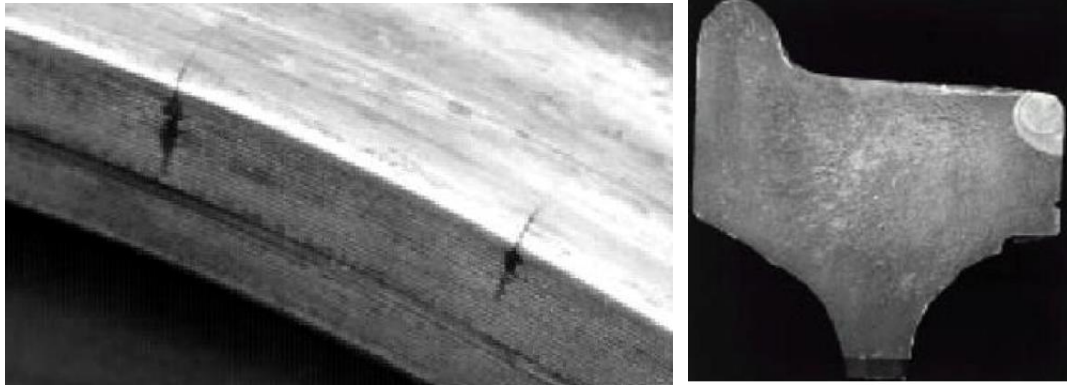
3.3.12 Scoppi (Shelling) [Codice errore: R-1119]

Caratteristica	I cricche con distacco del materiale rappresentano una forma avanzata di cricche da fatica da contatto (RCF). Se non trattate tempestivamente, le cricche crescono fino a provocare il distacco del materiale dalla superficie di rotolamento. I distacchi si sviluppano in corrispondenza delle forze tangenziali di aderenza, poiché crescono sulla superficie della ruota.			
Rappresentazione grafica	<i>Distacco singolo</i>			<i>Multipli distacchi lungo la circonferenza della superficie di rotolamento</i>
Immagine 1: Roland Müller Immagine 2: Roland Müller Immagine 3: UIC B 169/DT 405 [5] Immagine 4: UIC B 169/DT 405 [5]	1 	2 	3 	4 
Localizzazione	- Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 1, 3 und 4			
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Delaminazione [Codice errore R-1111] - Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102] - Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112] 			
Possibile causa	- I cedimenti si verificano a seguito di RCF e di elevate forze tangenziali di aderenza			
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Con l'udito - Con sistemi di rilevamento fissi sui binari 			
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura e successivo controllo dell'eliminazione dei danni - Sostituzione del carrello (RT) Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento delle proprietà del materiale - Miglioramento della meccanica di contatto ruota-binario - Evitare sovraccarichi meccanici/termici 			
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, componenti del carrello allentati e rottura delle molle Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Rottura del binario, soprattutto a basse temperature Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Rumore, vibrazioni 			
Raccomandazione	Figure 3 e Figure 4	Mettere immediatamente fuori servizio e reprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)		
	Figure 1 e Figure 2	Proseguire la marcia e pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) o la sostituzione del carrello (RT)		

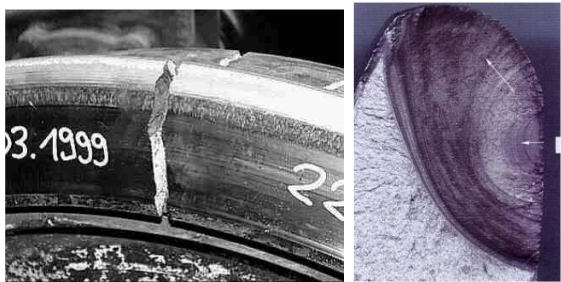
3.3.13 Distacco del materiale sotto la superficie di corsa / Delaminazione [Codice errore R-1201]

Caratteristica	<p>Paralleli alla superficie di rotolamento si verificano separazioni del materiale (cricche) sotto la superficie di rotolamento nel bordo della ruota / cerchione. Queste separazioni del materiale inizialmente non sono visibili esternamente. Nello stadio avanzato del danno le cricche si estendono fino alla faccia esterna/interna della ruota e comportano il distacco su larga scala di parti del bordo della ruota / flangia. L'estensione di grandi superfici di rottura permanente fino alla perdita di parti del bordo della ruota è stata osservata principalmente su assi non frenati a pattini secondo le esperienze finora. Questo è probabilmente dovuto ai percorsi di reprofilatura significativamente maggiori di questi assi. Durante le reprofileture le separazioni del materiale sotto la superficie di rotolamento possono diventare visibili. L'estensione della superficie di rottura permanente è dell'ordine di circa 20–30 cm in lunghezza e può estendersi sull'intera larghezza del bordo della ruota.</p>	
Rappresentazione grafica Immagine a sinistra: UIC B 169/DT 405 [5] Immagine a destra: UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Lungo la circonferenza della ruota, soprattutto zone 1, 3 e 4 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Difetti di fabbricazione (inclusioni non metalliche, irregolarità della struttura) - Separazioni del materiale sotto la superficie di rotolamento possono anche essere causate da sovraccarichi, senza che vengano riscontrati difetti di fabbricazione 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - Controllo non distruttivo del materiale, ad esempio prova UT - Nello stadio avanzato visibile ad occhio nudo tramite la fuoriuscita laterale della cricca o eventuali scheggiature locali sulla superficie di rotolamento - Nello stadio avanzato scheggiature locali sulla superficie di rotolamento - Con impianti di rilevamento fissi nella sede ferroviaria 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della ruota <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sostituzione dell'asse (RT) <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento del processo di fabbricazione - Miglioramento delle proprietà del materiale - Miglioramento della meccanica di contatto ruota-binario - Evitare sovraccarichi meccanici / termici 	
Raccomandazione	Non appena presente	Immediatamente fuori servizio e sostituzione dell'asse (RT)

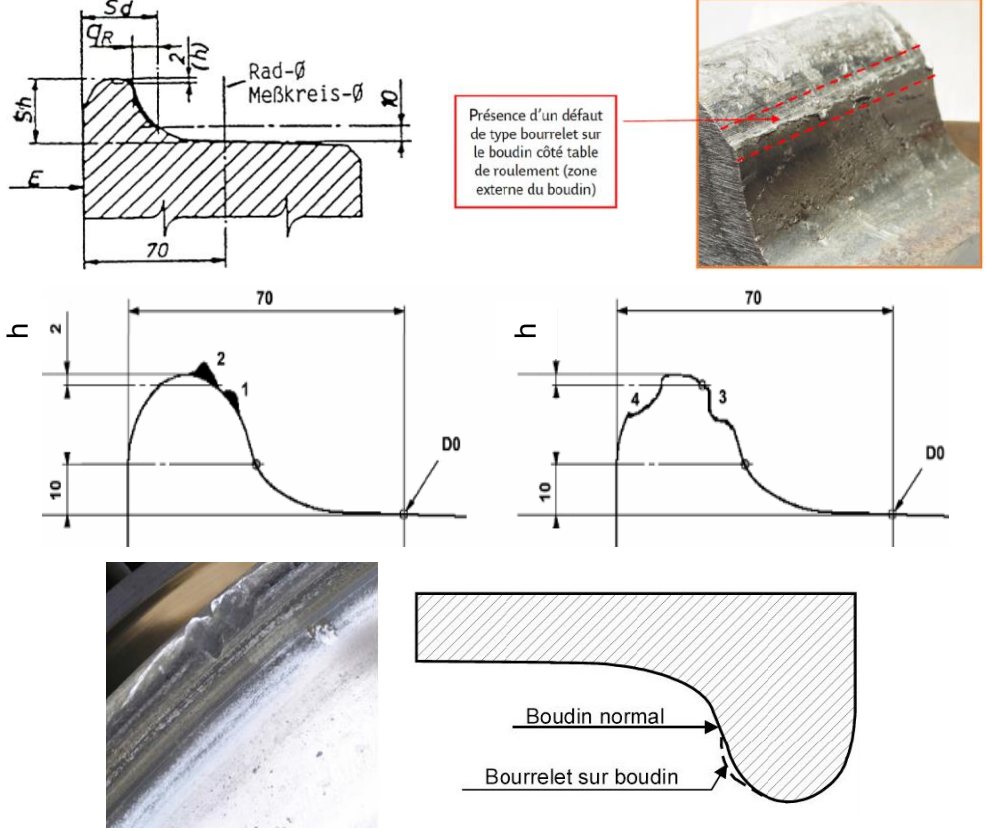
3.3.14 Cricca trasversale sulla smussatura [Codice errore R-1208]

Caratteristica	Il punto di origine delle cricche trasversali del bisello si trova sulla superficie frontale esterna della corona o del cerchione della ruota, nella zona di transizione verso la superficie di rotolamento. Le cricche trasversali del bisello possono manifestarsi in più punti lungo l'intero perimetro della ruota.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Smusso, zona 1	
Possibili confusioni	- Danno alla smussatura [Codice errore: R-1118]	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Blocchi freno che sfregano eccessivamente - Sollecitazione termica eccessiva dovuta al freno a ceppi 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Controllo non distruttivo, ad es. UT 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura e successivo controllo delle cricche - Sostituzione del sale montato (RT) <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riparazione dei blocchi freno che sfregano eccessivamente - Controllo delle cricche 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della ruota <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Non appena presente	<ul style="list-style-type: none"> - Mettere immediatamente fuori servizio e reprofilare le ruote (R0) oppure, se necessario, sostituire il sale montato (RT) - Controllo UT per assenza di cricche

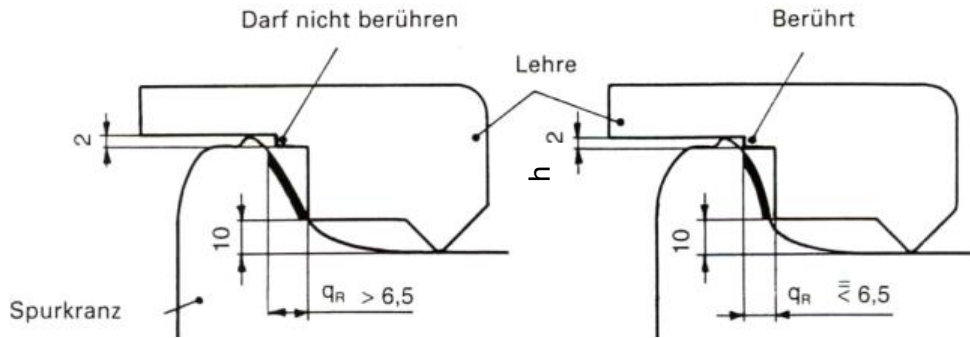
3.3.15 Cricche sul bordo del cerchione [Codice errore R-1210]

Caratteristica	Formazione di cricche sulla superficie posteriore e/o sul fianco del bordino. Le cricche possono comparire singolarmente o multiple lungo tutto il perimetro della ruota.	
Rappresentazione grafica UIC B 169/DT 405 [5]		
Localizzazione	- Bordo del cerchione	
Possibili confusioni	-	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Formazione di cricche sul fianco esterno del bordino a causa di elevate forze di slittamento nel contatto tra bordino e fianco della rotaia nelle curve - Formazione di cricche sul fianco interno del bordino a causa di elevate forze d'attrito tra bordino e dispositivi di guida forzata del binario (ad es. controrotaie) - Saldature di riporto eseguite in modo errato 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Controllo non distruttivo, ad es. UT 	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Sostituzione del carrello (RT) Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della ruota Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Non appena presente	Mettere immediatamente fuori servizio e sostituire il carrello (RT)


3.3.16 Danno alla sommità del bordo del cerchione [Codice errore: R-1211]

Caratteristica	Danni alla sommità del bordino. I danni possono comparire singolarmente o multiple lungo tutto il perimetro della ruota.	
Rappresentazione grafica Immagine in basso a sinistra: SN-EN 15313 [4] Altre immagini: AVV [8]		
Localizzazione	- Bordo del cerchione	
Possibili confu- sioni	- Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Co- dice errore: R-1212]	
Possibile causa	- Colpi di corpi estranei - Altre cause possono essere deragliamenti o disposizione errata di elementi costruttivi negli scambi - Flusso del materiale sul fianco del bordino	
Metodo di rileva- mento	- Ad occhio nudo	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: - Reprofilatura - Sostituzione del carrello (RT) Misura preventiva: - Verifica con l'infrastruttura (geometria di contatto difettosa nella zona degli scambi)	
Conseguenze	Material rotabile - Deragliamenti Infrastruttura - Danni durante il transito negli scambi Ambiente - Nessuna	
Empfehlung Da AVV [8][8], valori per scartamento nor- male	$h \geq 2\text{mm}$ $1\text{mm} \leq h < 2\text{mm}$ $h < 1\text{mm}$	Fermare immediatamente e reprofilare le ruote (R0) o, se nec- cessario, sostituire il carrello (RT) Continuare la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) o, se possibile, la sostituzione del carrello (RT) Continuare la marcia e osservare

3.3.17 Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Codice errore: R-1212]

Caratteristica	Il bordo del cerchione mostra una sovra-rullatura dovuta a un forte consumo del bordo del cerchione. A causa delle elevate forze di contatto tra ruota e rotaia, il materiale si deforma plasticamente verso la sommità del bordo del cerchione, generando una formazione di bava.	
Rappresentazione grafica	Spurkranz annehmbar	Spurkranz nicht annehmbar
AVV [8]		
Localizzazione	- Bordo del cerchione	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Danno alla sommità del bordo del cerchione [Codice errore: R-1211] - Accoppiamento sfavorevole profilo ruota/rotaia 	
Possibile causa	- Usura del bordo del cerchione (punta del bordo)	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura (se possibile) - Sostituzione del carrello (RT) <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della regolazione radiale dei carrelli - Miglioramento del materiale della ruota - Verifica dell'efficacia della lubrificazione del bordo del cerchione 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deragliamento <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Danni durante il passaggio in scambi <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	$h \geq 2$ & $q_R \leq 4.5$	Mettere immediatamente fuori servizio e reprofilare le ruote (R0) o, se necessario, sostituire il carrello (RT)
Da AVV [8], valori per scartamento normale	$1 \leq h < 2$ & $q_R > 4.5$	Proseguire la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) se possibile o la sostituzione del carrello (RT)
	$h < 1$ & $q_R > 4.5$	Proseguire la marcia e osservare

3.3.18 Tracce di contatto radiali e danni sulla superficie frontale interna del bordo del cerchione [Codice errore: R-1213] [Codice errore: R-1213]

Caratteristica	Questi segni di contatto (graffi, incisioni o impronte) sono dovuti ai meccanismi di guida durante il transito sugli scambi, come ad esempio il guidarotaia.	
Rappresentazione grafica SN-EN-15313 [4]		
Localizzazione	- Bordo del cerchione	
Possibili confusioni	-	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Corpi estranei nelle guide del cerchione - Geometria del gruppo ruota, del profilo della ruota o dello scambio al di fuori delle tolleranze operative 	
Metodo di rilevamento	- A occhio nudo	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilatura - Sostituzione del gruppo ruota (RT) Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Verifica con l'infrastruttura (geometria di contatto scadente nella zona dello scambio) 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Deragliamento Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Danni durante il transito sugli scambi Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	Non appena presente e a spigolo vivo	Fermare immediatamente il servizio e reprofilarle le ruote (R0) – se rispettate le dimensioni ammissibili dell'AR (vedi R RTE 29500 [9] – oppure sostituzione del gruppo ruota (RT)
	Se non a spigolo vivo	Proseguire la marcia, pianificare la reprofilatura delle ruote (R0) – se possibile – oppure la sostituzione del gruppo ruota (RT)

4 Danni alle rotaie

4.1 Localizzazione e codifica dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di corsa delle rotaie

Per identificare il tipo di danno sulla rotaia, è prima necessario determinare la zona che è in diretto contatto con la superficie di rotolamento della ruota e in cui il danno si verifica:

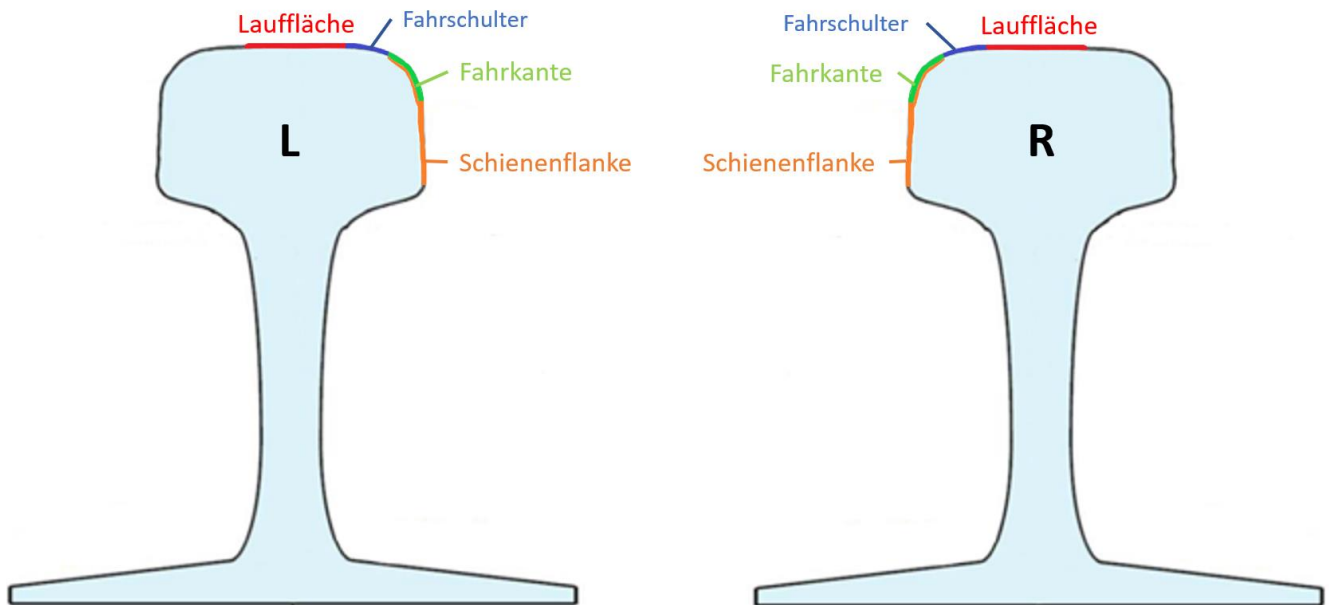


Figura 19: Sezione trasversale della rotaia (L: rotaia sinistra, R: rotaia destra)

Superficie di rotolamento

È la parte centrale della testa della rotaia. Per la rotaia 46E1, questa zona è delimitata dai due raggi R300 mm e R80 mm.

Spalla di corsa

È la parte della testa della rotaia che collega la superficie di rotolamento al bordo di corsa. Per la rotaia 46E1, questa zona è delimitata dai due raggi R300 mm e R80 mm.

Bordo di corsa

Il bordo di corsa si riferisce alla parte interna della flangia della rotaia (di cui fa parte) che entra in contatto con la ruota. Per la rotaia 46E1, questa zona è delimitata dai due raggi R80 mm e R13 mm.

Flangia della rotaia

La flangia della rotaia si riferisce alle estremità laterali della testa della rotaia. Nelle flangie si distingue tra quelle verso il centro del binario e quelle verso l'esterno del binario. Il termine flangia della rotaia comprende anche il bordo di corsa. Per la rotaia 46E1, questa zona è definita a partire dal raggio R13 mm.

4.2 Codifica dei danni da meccanica di contatto sulla superficie di corsa delle rotaie

La *Tabella 3* fornisce una panoramica della codifica secondo EN-17397-1¹⁰.

- Il primo numero distingue la situazione del difetto.
- Il secondo numero distingue la posizione del difetto.
- Il terzo numero distingue il modello, il tipo o l'origine, la causa del difetto.
- Il quarto numero serve per proprietà aggiuntive e ulteriori distinzioni dei difetti.

1. numero	2. numero	3. numero	4. numero
Situazione	Posizione	Modello, tipo	
1. Estremità della rotaia 2. Rotaia piena	0. Sezione piena 1. Testa della rotaia 3. anima 5. piede	0. Origine sconosciuta 1. Trasversale 2. Orizzontale 3. Verticale in direzione longitudinale 4. Corrosione 5. Passante attraverso un foro 6. Non passante attraverso un foro 9. Sovraccarico / laminazione	Proprietà aggiuntive e ulteriori distinzioni
Situazione	Posizione	Modello, tipo	Nessuna 4. cifra
3. Difetti causati da danni alla rotaia	0. Sezione piena	1. Schiacciamento 2. Lavorazione meccanica difettosa 3. Deformazione permanente	
Situazione	Posizione	Modello, tipo	Proprietà aggiuntive e ulteriori distinzioni
4. Difetti di saldatura e di saldatura aggiuntiva	1. Saldatura a fusione con manicotto 2. Saldatura aluminotermica 3. Saldatura ad arco elettrico 4. Saldatura autogena 5. Saldatura a gas sotto pressione 6. Saldatura a induzione 7. Saldatura di aggiunta 8. Altri procedimenti di saldatura	1. Trasversale 2. Orizzontale o sfogliamento 5. Punti di slittamento 7. Formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa	

Tabella 3: Sistema di codifica dei difetti delle rotaie secondo EN-17397-1

La codifica per il Catalogo dei danni Interazione è effettuata in conformità a EN-17397-1.

Oltre alla codifica secondo EN-17397-1, il codice dei difetti delle ruote è distinto dal codice dei difetti delle rotaie:

- I codici dei difetti con prefisso **R** si riferiscono ai **difetti delle ruote**
- I codici dei difetti con prefisso **S** si riferiscono ai **difetti delle rotaie**

La codifica per i difetti delle rotaie è definita come segue:

→ Codice errore: **S-_____**

La *Tabella 4* fornisce una panoramica dei danni considerati da EN-17397-1 nel presente Catalogo dei danni Interazione – Superfici di contatto per le rotaie:

¹⁰ EN-17397-1 Bahnanwendungen – Schienenfehler Teil 1: Handhabung von Schienenfehlern, 2021 [10]

S-1_ _ _	Difetti alle estremità della rotaia		SN-EN-17397	Catalogo dei danni Interazione – Superfici di contatto
	S-11_ _ S-12_ _	Testa	✓	
		S-111_ Cricca trasversale	✓	
		S-112_ Cricca orizzontale	✓	
		S-113_ Cricca verticale in direzione longitudinale	✓	
		S-114_ Corrosione	✓	
		S-121_ Difetto superficiale	✓	
		S-1211 Distacco di strati	✓	✓
		S-1212 Scanalatura longitudinale	✓	
		S-1213 Laminazione della superficie di rotolamento	✓	
		S-122_ Sfogliamento della superficie di rotolamento	✓	
		S-1221 Scheggiatura del bordo di corsa «Shelling»	✓	✓
		S-1222 Sfogliamento / Distacco dei bordi di corsa «Flaking»	✓	
		S-1223 Head Check	✓	✓
		S-123_ Compressione	✓	✓
		S-124_ Inclinazione locale della superficie di corsa	✓	
		S-125_ Punto di slittamento isolato / singolo	✓	✓
		S-127_ Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa	✓	✓
		S-128_ Cricca verticale nella sezione della rotaia	✓	
		S-129_ Laminazione continua (inclinazione) della superficie di corsa	✓	
	S-13_ _	Anima	✓	
	S-15_ _	Piede	✓	
S-2_ _ _	Difetti nelle rotaie piene			
	S-20_ _	Sezione piena	✓	
	S-21_ _ S-22_ _	Testa	✓	
		S-211_ Cricca trasversale	✓	
		S-212_ Cricca orizzontale	✓	
		S-213_ Cricca verticale in direzione longitudinale	✓	
		S-220_ Usura	✓	
		S-2201 Righettatura	✓	✓
		S-2202 Onde da slittamento	✓	✓
		S-2203 Usura laterale eccessiva	✓	
		S-2204 Usura verticale eccessiva	✓	
		S-221_ Difetti della superficie di corsa	✓	
		S-2211 Distacco di strati	✓	✓
		S-2212 Scanalatura longitudinale	✓	
		S-2213 Laminazione della superficie di rotolamento	✓	
		S-222_ Difetti del bordo di corsa	✓	
		S-2221 Scheggiatura del bordo di corsa «Shelling»	✓	✓
		S-2222 Sfogliamento / Distacco dei bordi di corsa «Flaking»	✓	
		S-2223 Head Check	✓	✓
		S-223_ Compressione	✓	✓
		S-224_ Inclinazione locale della superficie di corsa	✓	


	S-225_	Punto di slittamento	✓	
	S-2251	Punto di slittamento isolato / singolo	✓	✓
	S-2252	Più punti di slittamento	✓	✓
	S-227_	Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa	✓	✓
	S-228_	Laminazione continua	✓	
	S-228_	Abbassamento locale della superficie di corsa dovuto a gocce d'acqua in galleria	✓	
	S-23_ _	Anima	✓	
	S-25_ _	Piede	✓	
3	Difetti causati da danni alla rotaia		✓	
	S-30_ _	Sezione piena	✓	
	S-301_	Impronte / schiacciamenti	✓	✓
	S-302_	Lavorazione meccanica difettosa	✓	
	S-303_	Deformazione permanente	✓	
4	Difetti di saldatura e di saldatura aggiuntiva		✓	

Tabella 4: Danni provenienti da EN-17397 adottati nella colonna grigia del catalogo per lo scartamento metrico. Classificazione dei danni alle rotaie secondo EN-17397


4.3 Raccolta dei danni da meccanica di contatto sulle superfici di corsa delle rotaie

Poiché questo oggetto di fornitura si concentra esclusivamente sui difetti dovuti alla meccanica del contatto, non tutti i difetti sono riportati e codificati nella *Tabella 3*.


4.3.1 Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211]

Caratteristica	<p>Lo spalling, riconducibile a fatica da contatto rotolante, forma inizialmente una deformazione apparentemente ondulata della superficie di rotolamento.</p> <p>Nei punti con scarso consumo e maggiori sollecitazioni, il distacco dovuto alla fatica da contatto rotolante inizia di solito sulla superficie di rotolamento delle rotaie interne nelle curve, ma può manifestarsi anche su binari rettilinei.</p> <p>Iniziano sulla superficie di rotolamento delle rotaie e progrediscono con la perdita di materiale della superficie della rotaia.</p> <p>Sono visibili e in generale di ridotta profondità, tendono ad estendersi in direzione longitudinale e a collegarsi in una rete di crepe; talvolta vengono anche chiamate “pelle di serpente”.</p>	
Rappresentazione grafica Sinistra e centro: EN-17397-1 [10] Destra: Rhätische Bahn		
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie di rotolamento delle rotaie interne in curva, superficie di rotolamento in linea retta 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221] a differenza dello Spalling, è caratterizzato da distacchi di materiale sul bordo e sulla spalla di rotolamento 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Pressioni di contatto molto elevate - Forze di aderenza longitudinali elevate - Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223] 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - (Prova a ultrasuoni) o a correnti parassite 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lavorazione della rotaia (molatura, fresatura) - Sostituzione della rotaia <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manutenzione preventiva (molatura della rotaia ai primi segni) - Miglioramento del materiale della rotaia 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia, componenti del carrello allentati, rottura delle molle, rottura delle ruote <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della rotaia <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 	
Raccomandazione	Spalling in stadio avanzato Profondità > 5 mm	Fresare o sostituire immediatamente la rotaia
	Spalling in stadio iniziale Profondità nettamente inferiore a 5 mm	Se possibile pianificare la molatura o la fresatura della rotaia. Se non possibile, pianificare la sostituzione della rotaia.


4.3.2 Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221]

Caratteristica	Il difetto della rotaia denominato <i>Shelling</i> mostra distacchi di materiale sul bordo di rotolamento, che si originano all'interno della testa della rotaia. Le fessure si formano in direzione orizzontale sotto la superficie, lungo il bordo di rotolamento. Si manifestano distacchi longitudinali irregolari lungo tale bordo. Le fessure si propagano all'interno della rotaia verso la superficie, causando nelle fasi avanzate il distacco del materiale dal bordo di rotolamento e abbassamenti locali della superficie di rotolamento.	
Rappresentazione grafica Immagine in alto: Engineering Manual Tracks [11] Immagine in basso: Roland Müller		
Localizzazione	- Bordo di rotolamento della testa della rotaia, di solito sulle rotaie esterne in curva	
Possibili confusioni	- Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]	
Possibile causa	- Programmi di rettifica inadeguati - Programmi di lubrificazione non idonei - Affaticamento da contatto volvente - Alta pressione di contatto superficiale	
Metodo di rilevamento	- Ad occhio nudo - Ispezione ottica automatica - Controllo ad ultrasuoni (in caso di fessure) - Controllo a correnti parassite	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: A seconda della profondità del distacco del bordo di rotolamento: - Osservare la rotaia - Sostituire la rotaia - Sostituire immediatamente la rotaia Misura preventiva: - Ottimizzare i programmi di lubrificazione - Migliorare l'accoppiamento tra ruota e rotaia (profili, acciaio della rotaia)	
Conseguenze	Material rotabile - Comfort di marcia, componenti del carrello allentati, rottura delle molle, rottura della ruota Infrastruttura - Rottura della rotaia Ambiente - Vibrazioni, rumore	
Raccomandazione	Distacco del bordo di rotolamento in fase avanzata	Fresare immediatamente la rotaia (con controllo delle fessure) o sostituirla
	Distacco del bordo di rotolamento in fase iniziale	Pianificare, se possibile, la rettifica o la fresatura della rotaia (con controllo delle fessure). Se non possibile, pianificare la sostituzione della rotaia.



4.3.3 Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]

Caratteristica Richtlinie 821.2007 [12]	<p>Le cricche di tipo <i>Head Check</i> si formano prevalentemente nelle rotaie fortemente sollecitate, nei tratti in curva di ampio raggio, sulla spalla di rotolamento della rotaia esterna. Una volta che la profondità della cricca raggiunge i 3–5 mm, la sua crescita accelera progressivamente. Quando le cricche si uniscono, possono generare fenomeni di <i>spalling</i> (distacchi di materiale) o, nei casi più gravi, portare alla rottura della rotaia. La velocità di propagazione delle cricche è sempre superiore alla perdita di materiale dovuta all'usura della rotaia; pertanto, le cricche non vengono eliminate tramite il normale consumo della rotaia. Nei tratti in curva stretta, le <i>Head Checks</i> non si formano o non si sviluppano a causa dell'elevata u: <i>Abbildung: Richtlinie 821.2007 [12]</i></p> 		
Rappresentazione grafica EN-17397-1 [10]	Head Checks di 1° stadio Lunghezza visibile dei Head Checks inferiore a 20 mm	Head Checks di 2° stadio Lunghezza visibile dei <i>Head Checks</i> superiore a 20 mm. Formazione di zone nere lungo le cricche. Le cricche si propagano all'interno della testa della rotaia	Head Checks di 3° stadio Si osservano punti con distacchi di materiale (<i>Shelling</i>). I distacchi sono causati dalla fusione delle cricche più lunghe sotto la superficie
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - In curve: al bordo della rotaia / spalla della rotaia esterna - In linea retta: sulla superficie di rotolamento di entrambe le rotaie 		
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221] 		
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Fatica da contatto rotolante - Aumento delle forze tangenziali nel contatto tra ruota e rotaia 		
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo in ogni stadio - Prima del distacco, in stadio iniziale e fino a profondità di 5 mm con prova ad correnti parassite - Controllo ultrasuoni, se le cricche sono più profonde di 5 mm. La valutazione corretta della profondità può essere influenzata da schermature dovute a cricche adiacenti 		
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - Osservare la rotaia - Reprofilatura (rettifica o fresatura) o sostituzione, a seconda della profondità - Fissaggio di emergenza Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della coppia materiali ruota / rotaia - Coppie di assi regolabili radialmente 		
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Nessuno (Head Check stadio 1) fino a impatto sul comfort di marcia, componenti del carrello allentate, rottura delle molle, rottura della ruota (Head Check stadio 2 e 3) Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Intervalli intensivi di rettifica e fresatura Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Nessuno (Head Check stadio 1) fino a impatto su rumore e vibrazione (Head Check stadio 2 e 3) 		
Raccomandazione	Head Checks di 3° stadio	Rettifica o sostituzione immediata della rotaia. Se non possibile, prova a velocità ridotta e/o fissaggio di emergenza fino alla risoluzione del problema	
	Head Checks di 1° e 2° stadio	Se possibile, pianificare rettifica o fresatura della rotaia. Se non possibile, pianificare la sostituzione della rotaia	

4.3.4 Deformazione plastica (Rullatura–Schiacciamento–Formazione di bava) [Codice errore S-123 / S-223]

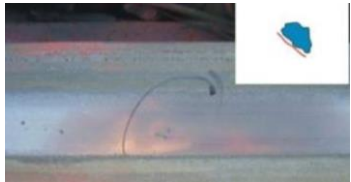




Caratteristica	Si osserva un abbassamento della superficie di rotolamento e un allargamento del corridoio di rotolamento. Il materiale viene talvolta spostato lateralmente e verso la fine della rotaia in corrispondenza di giunti. Nel caso più estremo può formarsi una bavatura, che tende a staccarsi dalla rotaia.	
Rappresentazione grafica Immagine a sinistra: EN-17397 [10] Immagine a destra: Rhätische Bahn		
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie di rotolamento - Spalla di corsa - Bordo della rotaia - Solitamente alla fine della rotaia dietro la giunzione, nel senso di marcia - Alle saldature termitiche - Rotaia a flange e rotaia di stock - Punta del cuore 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Eccessivo consumo verticale 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Carico d'urto - Flusso plastico - Sollecitazioni d'urto soprattutto nelle punte dei deviatori - Punti di slittamento - Materiale della rotaia troppo morbido - Cambiamento della microstruttura alle saldature termitiche (alte temperature) 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Attraverso il rumore durante il passaggio dei treni (Misurazione del profilo) 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osservare la rotaia - Eventuale raschiatura della bavatura - Riparazione tramite saldatura - Sostituzione della rotaia <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valutare la qualità dell'acciaio della rotaia - Migliorare il processo di saldatura - Eliminare le irregolarità nella superficie di corsa 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rottura della rotaia, assi cedevoli, forte sollecitazione del ballast <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 	
Raccomandazione	Deformazione plastica in fase avanzata	Sostituzione immediata della rotaia
	Deformazione plastica in fase iniziale	Se possibile programmare la rettifica o la fresatura della rotaia. Se non possibile, pianificare la sostituzione della rotaia

4.3.5 Punto di slittamento isolato / singolo [Codice errore S-125 / S-2251]; Più punti di slittamento [Codice errore S-2252]

Caratteristica	<p>Punti di slittamento possono verificarsi su tutte le linee, soprattutto nelle zone di avvio e frenata, a causa dello slittamento di uno o più assi motorizzati dei veicoli/convogli. I punti di slittamento si trovano di norma in posizione opposta su entrambe le rotaie. Lo slittamento singolo o ripetuto provoca una macchia indurita con contorno ovale o estensione allungata. I cricchi derivanti dalla sollecitazione termomeccanica nei punti di slittamento possono unirsi e causare distacchi di materiale dalla superficie di corsa. Sotto l'effetto del traffico si verifica progressivamente un incavo della superficie di corsa, che porta a un aumento delle sollecitazioni dinamiche.</p> <p>I singoli cricchi possono propagarsi verso il piede della rotaia e, specialmente nei periodi di freddo, provocare una frattura verticale permanente.</p> <p>I punti di slittamento possono di norma essere eliminati con una riparazione locale mediante saldatura. Solo in caso di danni estremi o frequente ricorrenza dei difetti è necessaria la sostituzione della rotaia.</p> <p>I punti di slittamento devono essere eliminati il prima possibile mediante saldatura di ripristino.</p>	
Rappresentazione grafica Immagine a sinistra: EN 17397 [10] Immagine a centro: IRS 70712 [13] Immagine a destra: RhB	<p style="text-align: center;"><i>Punto di slittamento (trazione)</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>Punto di slittamento (freno rapido)</i></p> 
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie di rotolamento - Spalla di corsa - In generale su rotaie vicino ai segnali di arresto 	
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211] - Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227] 	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Assenza o insufficiente regolazione della trazione o protezione dallo slittamento - Slittamento della ruota - Gestione della frizione (cattive condizioni di aderenza) 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osservare la rotaia con aspetto ondulato - Eventuale asportazione tramite fresatura delle leggere zone di slittamento - Sostituire le rotaie con «cricche a rete» che si estendono vicino al punto di slittamento fino al bordo di corsa <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione del controllo di trazione e protezione dallo slittamento - Formazione del personale di guida 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 	
Raccomandazione	Zona di slittamento in stadio avanzato	Fresatura immediata o sostituzione della rotaia


	Zona di slittamento in stadio iniziale	Se possibile, pianificare fresatura o rettifica della rotaia. Se non possibile, pianificare la sostituzione della rotaia.
--	--	---

4.3.6 Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]

Caratteristica	<p>Questo difetto si manifesta sulla superficie di rotolamento come un allargamento e un abbassamento locale della spalla di corsa (allargamento a forma di rene del piano di rotolamento), accompagnato da una macchia scura e da crepe arcuate o a forma di V. In inglese “to squat” significa “accovacciarsi” o “mettersi in posizione accovacciata”. Poiché i squat non sono mai stati rilevati in gallerie, si è ipotizzata anche una certa quota di crescita delle crepe accelerata idraulicamente. Queste crepe si propagano all’interno della testa della rotaia. La crescita della crepa avviene inizialmente con un angolo basso rispetto alla superficie di rotolamento. Dopo aver raggiunto una profondità di 3-5 mm, si piegano trasversalmente verso il basso e possono provocare la rottura della rotaia.</p> <p>I squat possono essere classificati in tre classi in base alla forma e possono comparire singolarmente o più volte sulla rotaia.</p>		
Rappresentazione grafica Singoli Squat: Schienenfehlerkatalog [14] Multipli Squat: Zentralbahn	<i>Squat singolo</i>		
	Classe 1/A/leggero	Classe 2/B/media	Classe 3/C/grave
	<ul style="list-style-type: none"> - Piccola impronta - Crepa sulla superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - Allargamento del piano di rotolamento - Crepa a V sulla superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - Allargamento marcato del piano di rotolamento - Crepa a V e crepa opposta - Distacchi della superficie
			
<i>Mehrfach Squats</i>			
			
Localizzazione	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie di rotolamento - Spalla della rotaia - Su binari rettilinei o in curve ampie 		
Possibili confusioni	<ul style="list-style-type: none"> - White Etching Layers – WEL - Studs 		
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Fatica da contatto rotolante - Bassa resistenza del materiale - Molto ancora sconosciuto 		
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo - Controllo ultrasonico per determinare la profondità delle cricche 		
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sostituzione del binario - Fresatura del binario <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna misura preventiva conosciuta, poiché la comparsa sulla maggior parte delle ferrovie a scartamento metrico è finora stata rara 		
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rottura del binario <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 		


Raccomandazione	Squat in stadio avanzato o squats multipli	Sostituire immediatamente il binario. Marcia lenta fino alla sostituzione
	Squat in stadio iniziale	Se possibile, pianificare la rettifica o la fresatura del binario. Se non possibile, pianificare la sostituzione del binario

4.3.7 Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]

Caratteristica	Le corrugazioni sono difetti della superficie di rotolamento delle rotaie che si manifestano lungo la testa della rotaia su entrambe le rotaie, principalmente su tratti rettilinei o quasi rettilinei. Si caratterizzano per un aspetto ondulato, con creste chiare e lucide. Sono contraddistinte da un indurimento della superficie della rotaia. Le valli delle onde sono generalmente scure, più morbide e spesso presentano tracce di corrosione. Le corrugazioni sono state riscontrate soprattutto nelle linee a scartamento normale, con una lunghezza d'onda compresa tra circa 10 e 100 mm. Ciò comporta un aumento del rumore di rotolamento e, a causa di carichi e vibrazioni maggiori, un incremento delle attività di manutenzione della sede ferroviaria.	
Rappresentazione grafica Schienenfehlerkatalog [14]		
Localizzazione	- Superficie di rotolamento su entrambe le rotaie	
Possibili confusioni	- Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Le corrugazioni si generano a causa di sollecitazioni dinamiche nel contatto ruota-rotaia in interazione con la trasformazione del materiale e l'asportazione di materiale dovuta all'usura - Slittamento longitudinale delle ruote motrici 	
Metodo di rilevamento	- Ad occhio nudo, ascolto all'interno del veicolo	
Misura correttiva immediata	Misura correttiva: <ul style="list-style-type: none"> - A seconda della profondità delle onde e di eventuali altri danni: rettifica / fresatura Misura preventiva: <ul style="list-style-type: none"> - Nel settore a scartamento metrico ancora nessuna misura nota 	
Conseguenze	Material rotabile <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia (rumore) Infrastruttura <ul style="list-style-type: none"> - Intervalli di rettifica ridotti Ambiente <ul style="list-style-type: none"> - Rumore 	
Raccomandazione dalla linea a scartamento normale	Profondità maggiore di 0,15 mm ¹	Se possibile pianificare rettifica o fresatura delle rotaie. Se non possibile, pianificare sostituzione delle rotaie.
	Profondità maggiore di 0,07 mm ¹	Rettifica preventiva delle rotaie


¹ I limiti per il settore a scartamento metrico vengono definiti nell'ambito dei progetti di ricerca RAILplus.

4.3.8 Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]

Caratteristica	<p>Le onde da slittamento sono difetti della superficie di rotolamento delle rotaie che si sviluppano lungo il profilo della testa della rotaia. Principalmente il difetto ondulatorio si manifesta sulla rotaia interna della curva in curve strette (fino a circa R=300 m). Caratteristico è che sulla cresta dell'onda la superficie di rotolamento è molto liscia, mentre nel valle dell'onda la superficie appare ruvida, più chiara e più ampia rispetto alla cresta.</p> <p>Si riscontrano lunghezze d'onda fino a 300 mm nel settore a scartamento normale e fino a 200 mm nel settore a scartamento metrico. La causa delle onde da slittamento è lo slittamento trasversale e le conseguenti forze tangenziali nelle curve strette e molto strette. Si verificano emissioni sonore maggiori all'interno del veicolo e nella zona circostante. A causa di carichi e vibrazioni più elevati, aumenta anche la manutenzione della sede ferroviaria (vuoti sotto le traverse, polvere di ballast). La mancata lavorazione della superficie di rotolamento delle rotaie può provocare danni consequenziali, la cui rimozione può comportare un elevato impegno.</p>	
Rappresentazione grafica RAILplus		
Localizzazione	Principalmente sulla superficie di rotolamento della rotaia interna della curva e occasionalmente sulla rotaia esterna	
Possibili confusioni	- Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Usura dinamica principalmente dovuta a slittamento trasversale - Alte forze di contatto dovute a cattiva accoppiatura profilo ruota-rotaia, elevati carichi per asse e guide di carrello rigide - Deformazione plastica dell'intera superficie di rotolamento della rotaia - Forze di contatto ruota-rotaia non ottimizzate eventualmente a causa del tipo di traversa, fissaggi o strati intermedi 	
Metodo di rilevamento	<ul style="list-style-type: none"> - A occhio nudo, udito all'interno del veicolo - Carro misuratore del binario - Misuratore di rugosità delle rotaie 	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A seconda della profondità delle onde da slittamento e di altri segni di danno (polvere di ballast): necessaria fresatura / molatura o sostituzione della rotaia <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento/ottimizzazione della rigidità della massicciata tramite strati intermedi più morbidi, aumento della durezza della rotaia, sottofondi delle traverse o modifiche ai veicoli (es. regolazione radiale dei carrelli o condizionamento della testa della rotaia, ecc.) 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comfort di marcia <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalli di molatura o fresatura ridotti <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrazioni, rumore 	
Raccomandazione dalla linea a scartamento normale	Profondità > 0,4 mm ¹¹	Se possibile pianificare molatura o fresatura della rotaia. Se non possibile, pianificare sostituzione della rotaia
	Profondità > 0,2 mm ¹¹	Molatura preventiva della rotaia

¹¹ I limiti per il settore a scartamento metrico vengono definiti nell'ambito dei progetti di ricerca RAILplus.

4.3.9 Indentazioni / Schiacciamenti [Codice errore S-301]

CaratteristicaV	<p>Si forma una depressione a causa di un corpo estraneo sulla rotaia (pezzi di metallo, ballast, sabbia grossolana, ecc.). Possono comparire in modo continuo, singolo o irregolare. La corrosione avanza più rapidamente nelle depressioni se non viene rimossa da un'usura sufficiente. La rotaia è sottoposta a carichi maggiori quando compaiono queste increspature, il che può portare alla formazione di crepe e, con il loro progredire, alla rottura della rotaia.</p>	
Rappresentazione grafica EN-17397 [10]		
Localizzazione	- Superficie di rotolamento	
Possibili confusioni	-	
Possibile causa	<ul style="list-style-type: none"> - Corpi estranei sulla superficie di rotolamento - Effetto di corpi estranei provenienti da cantieri 	
Metodo di rilevamento	- Visivamente	
Misura correttiva immediata	<p>Misura correttiva: A seconda della profondità del danno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rettifica della rotaia (asportazione materiale: profondità del danno +0,3 mm) - Fresatura della rotaia (asportazione materiale: profondità del danno +0,3 mm) - Saldatura di riparazione per difetti singoli (asportazione materiale: profondità del danno +0,3 mm) - Sostituzione della rotaia <p>Misura preventiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controllo visivo delle rotaie per danni dopo lavori sui binari - Prevenzione del vandalismo - Controllo visivo dopo deragliamenti 	
Conseguenze	<p>Material rotabile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Infrastruttura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna <p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nessuna 	
Raccomandazione	<ul style="list-style-type: none"> - Non c'è sufficiente margine di usura sulla rotaia - Il difetto si è esteso su una superficie maggiore tramite depressioni o formazione di crepe - Segnalazione ultrasuoni del difetto 	<p>Subito:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sostituzione della rotaia - Passaggio a velocità ridotta - Collegamento di emergenza delle giunzioni
	<ul style="list-style-type: none"> - Margine di usura sufficiente sulla rotaia - Diffusione limitata del difetto tramite depressioni o formazione di crepe - Nessuna segnalazione ultrasuoni 	<ul style="list-style-type: none"> - Pianificare rettifica, fresatura o saldatura di riparazione
	<ul style="list-style-type: none"> - Difetti minori 	<ul style="list-style-type: none"> - Osservare

4.4 Metodi di verifica per la rilevazione dei danni alle rotaie

4.4.1 Controllo visivo

I difetti delle rotaie vengono solitamente individuati visivamente durante le ispezioni del binario da parte del personale di linea. Poiché le ispezioni del binario nelle ferrovie a scartamento metrico avvengono frequentemente, un difetto della rotaia può generalmente essere rilevato facilmente. Oltre a una buona formazione del personale di linea, è importante garantire una buona illuminazione in condizioni di scarsa luce o in galleria, in modo che i difetti siano chiaramente visibili. Si consiglia di alternare le ispezioni tra diversi membri del personale di linea e altri responsabili, come i capocantiere o i capi squadra, affinché il principio delle quattro occhi venga applicato anche durante le ispezioni dei binari.

4.4.2 Ultrasuoni (UT)

Le ispezioni delle rotaie mediante ultrasuoni vengono frequentemente effettuate dagli operatori ferroviari. Nelle ferrovie a scartamento normale vengono utilizzati convogli di prova delle rotaie (CPR), che mediante misurazioni ultrasoniche su larga scala (CPR-UT) possono rilevare difetti all'interno della rotaia (difetti a più di 6 mm sotto la superficie della testa della rotaia). I difetti rilevati dal CPR vengono poi verificati manualmente con uno strumento portatile di controllo delle rotaie (SPG); se necessario, la rotaia deve essere messa in sicurezza mediante giunzioni e di norma sostituita.

Nelle ferrovie a scartamento metrico non esistono convogli di prova delle rotaie comparabili. Ciò è dovuto al fatto che, a causa delle minori velocità e carichi, si verificano tendenzialmente meno difetti delle rotaie e che le ispezioni del binario avvengono con una frequenza relativamente maggiore rispetto alle ferrovie a scartamento normale.

Un futuro impiego dei convogli di prova delle rotaie sarà necessario in particolare se le ferrovie intendono ridurre le ispezioni effettuate dal personale di linea.

Per le rotaie o i tratti in cui è stato rilevato un numero elevato di difetti o difetti difficili da valutare, si raccomanda un controllo con uno SPG. In questo modo, le cricche che non possono essere valutate o rilevate visivamente possono essere identificate in modo affidabile e, ad esempio, può essere avviata la sostituzione della rotaia.

4.4.3 Corrente parassita (ET)

Nelle ferrovie a scartamento normale vengono impiegati anche convogli di prova delle rotaie equipaggiati con dispositivi per prove a correnti parassite (CPR-ET). Le misurazioni a correnti parassite sulle rotaie servono a rilevare difetti superficiali e permettono quindi di identificare principalmente il difetto "Head-Check", con un'indicazione precisa della profondità della cricca. Da questa profondità è possibile dedurre fino a quale livello le rotaie devono essere fresate per eliminare il difetto. Poiché finora non è noto il verificarsi di Head-Checks nelle ferrovie a scartamento metrico svizzere (a causa dei tratti prevalentemente a binario unico con circolazione in entrambe le direzioni), attualmente non sussiste la necessità di tale controllo.

5 Assegnazione dei danni alla superficie di contatto tra ruota e rotaia

5.1 Danni derivanti dalle caratteristiche del tracciato

I seguenti danni possono essere causati principalmente dalle caratteristiche della tracciatura. Per una spiegazione più dettagliata delle cause, si veda la descrizione dei danni nei capitoli 3.3 e 4.3 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Superficie di contatto della ruota
Poligoni [Codice errore: R-1105]
Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112]
Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114]
Danno alla smussatura [Codice errore: R-1118]
Cricche sul bordo del cerchione [Codice errore R-1210]
Danno alla sommità del bordo del cerchione [Codice errore: R-1211]
Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Codice errore: R-1212]
Superficie di contatto della rotaia
Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211]
Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221]
Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]
Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]
Incrispature (Riffel) [Codice errore S-2201]
Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]

Tabella 5: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti alle caratteristiche del tracciato

5.2 Danni derivanti dall'esercizio dei veicoli

I seguenti danni possono essere causati principalmente dall'esercizio dei veicoli (ad esempio a causa di trazione o frenata). Per una spiegazione più dettagliata delle cause, si veda la descrizione dei danni nei capitoli 3.3 e 4.3.

Superficie di contatto della ruota
Punto piatto [Codice errore: R-1101]
Poligoni [Codice errore: R-1105]
Accumulo di materiale [Codice errore: R-1108]
Rullatura [Codice errore: R-1109]
Delaminazione [Codice errore R-1111]
Pelle a buccia d'arancia [Codice errore: R-1113]
Cricche sul bordo del cerchione [Codice errore R-1210]
Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Codice errore: R-1212]
Tracce di contatto radiali e danni sulla superficie frontale interna del bordo del cerchione [Codice errore: R-1213] [Codice errore: R-1213]
Superficie di contatto della rotaia
Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211]
Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221]
Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]
Deformazione plastica (Rullatura–Schiacciamento–Formazione di bava) [Codice errore S-123 / S-223]
Punto di slittamento isolato / singolo [Codice errore S-125 / S-2251]; Più punti di slittamento [Codice errore S-2252]
Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]
Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]
Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]

Tabella 6: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti all'esercizio dei veicoli

5.3 Danni dovuti alle proprietà dei materiali

I seguenti danni possono essere causati principalmente dalle proprietà dei materiali della ruota e della rotaia. Per una spiegazione più dettagliata delle cause, si veda la descrizione dei danni nei capitoli 3.3 e 4.3.

Superficie di contatto della ruota
Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102]
Poligoni – Deviazioni di rotondità a breve lunghezza d'onda [Codice errore: R-1106]
Accumulo di materiale [Codice errore: R-1108]
Rullatura [Codice errore: R-1109]
Delaminazione [Codice errore R-1111]
Pelle a buccia d'arancia [Codice errore: R-1113]
Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114]
Bordo del cerchione con formazione di bava (Rullatura della sommità del bordo) [Codice errore: R-1212]
Superficie di contatto della rotaia
Delaminazione e scoppi sulla superficie di corsa «Spalling» [Codice errore S-1211 / S-2211]
Head Check [Codice errore S-1223 / S-2223]
Deformazione plastica (Rullatura–Schiacciamento–Formazione di bava) [Codice errore S-123 / S-223]
Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]
Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]
Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]

Tabella 7: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti alle proprietà dei materiali

5.4 Danni dovuti ad altre cause

I seguenti danni possono essere causati principalmente da altri diversi fattori. Per una spiegazione più dettagliata delle cause, si veda la descrizione dei danni nei capitoli 3.3 e 4.3.

Superficie di contatto della ruota
Appiattimenti singoli [Codice errore R-1102]
Eccentricità [Codice errore R-1103]
Ovalità [Codice errore R-1104]
Poligoni [Codice errore: R-1105]
Poligoni – Deviazioni di rotondità a breve lunghezza d'onda [Codice errore: R-1106]
Deviazioni di rotondità stocastiche [Codice errore R-1107]
Accumulo di materiale [Codice errore: R-1108]
Rullatura [Codice errore: R-1109]
Scagliamenti (Spalling) [Codice errore: R-1110]
Delaminazione [Codice errore R-1111]
Impronte (Indentazioni) sulla superficie di rotolamento della ruota [Codice errore: R-1112]
Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Cricche [Codice errore R-1114]
Cricche sulla superficie di rotolamento / Cricche trasversali della superficie di corsa [Codice errore R-1115]
Danno alla smussatura [Codice errore: R-1118]
Scoppi (Shelling) [Codice errore: R-1119]
Distacco del materiale sotto la superficie di corsa / Delaminazione [Codice errore R-1201]
Cricca trasversale sulla smussatura [Codice errore R-1208]
Cricche sul bordo del cerchione [Codice errore R-1210]
Danno alla sommità del bordo del cerchione [Codice errore: R-1211]
Tracce di contatto radiali e danni sulla superficie frontale interna del bordo del cerchione [Codice errore: R-1213] [Codice errore: R-1213]
Superficie di contatto della rotaia
Scoppi sul bordo della rotaia «Shelling» [Codice errore S-1221 / S-2221]
Deformazione plastica (Rullatura–Schiacciamento–Formazione di bava) [Codice errore S-123 / S-223]
Punto di slittamento isolato / singolo [Codice errore S-125 / S-2251]; Più punti di slittamento [Codice errore S-2252]
Squat, formazione di cricche e abbassamento locale della superficie di corsa [Codice errore S-127 / S-227]
Increspature (Riffel) [Codice errore S-2201]
Ondulazioni da slittamento [Codice errore S-2202]
Indentazioni / Schiacciamenti [Codice errore S-301]

Tabella 8: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti ad altre cause

6 Conclusioni

6.1 Riassunto dei risultati principali

Dalla letteratura esistente sulla rete a scartamento normale sono stati ripresi i codici di errore per l'identificazione dei danni a ruote e binari.

In questo catalogo dei danni ai codici di errore sono stati anteposti le abbreviazioni R e S, in modo da distinguere, nella codifica, i difetti sulle ruote da quelli sui binari. Il codice di errore corrisponde a:

- **R-_____** per i danni alle ruote
- **S-_____** per i danni ai binari

In questo documento non sono stati considerati tutti i difetti, ma solo quelli causati dalla meccanica di contatto e che si manifestano sulle superfici di contatto tra ruota e rotaia.

Il catalogo dei danni è rivolto principalmente agli ingegneri delle ferrovie a scartamento metrico, per valutare e registrare i danni nelle officine o lungo la linea, utilizzando immagini di riferimento e descrizioni.

Per ogni tipo di danno sono inoltre indicate le possibili cause e le azioni correttive o preventive per evitarlo. Vengono fornite anche raccomandazioni sul trattamento di ciascun difetto.

6.2 Raccomandazioni

Si raccomanda che gli ingegneri delle ferrovie a scartamento metrico vengano familiarizzati con il documento.

Questa prima versione del catalogo dei danni Interazione può già essere utilizzata come documento di lavoro. Tuttavia, è di grande importanza che il documento venga aggiornato grazie ai feedback delle ferrovie: ulteriori difetti specifici dello scartamento metrico possono essere aggiunti e altri difetti, se non diffusi nel contesto metrico, possono essere eliminati in futuro.

In questo modo, il catalogo dei danni Interazione può essere utilizzato per diffondere la conoscenza sui danni meccanici da contatto nelle ferrovie a scartamento metrico.

7 Elenchi

7.1 Riferimenti

- [1] R RTE 41500: Instandhaltung Radsätze Meterspur
- [2] R RTE 41000: Instandhaltung Radsätze Normalspur
- [3] RAILplus Lieferobjekt P4.2: Fahrbahn
- [4] EN 15313: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzinstandhaltung
- [5] UIC B 169/DT 405 – Schadenskatalog Räder / Radsatzwellen / Radsätze – Teil 1: Einleitung, Terminologie, Klassierung der Fehler, Fehlerarten am Radsatz
- [6] EN 13262: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Räder - Produkthanforderungen
- [7] SBB CFF FFS: Arbeitsanweisung Laufflächenbeurteilung Radsätze
- [8] AVV: *Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen*
- [9] R RTE 29500: Standardisierung Radsätze und Weichen Meterspur
- [10] EN-17397-1: Bahnanwendungen – Schienenfehler Teil 1: Handhabung von Schienenfehlern
- [11] Engineering Manual Track: TMC 227 Surface Defects in Rails
- [12] Richtlinie 821.2007 Anhang 02 Schienenfehlerkatalog, Beurteilungsmasstäbe
- [13] IRS 70712: Schienenfehler
- [14] Schienenfehlerkatalog: Häufige Schienen- und Schweißfehler

7.2 Figure

Figura 1: Concetto di approccio	8
Figura 2: Superficie di contatto e zona di penetrazione tra corpo 1 (rotaia) e corpo 2 (ruota)	9
Figura 3: Confronto tra superficie di contatto secondo la teoria di Hertz e superficie di contatto calcolata con il metodo a strisce	9
Figura 4: Rappresentazione delle forze sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia	10
Figura 5: Esempio di deformazione plastica nella struttura del materiale	11
Figura 6: Stato di tensione sotto la superficie di ruota e rotaia	11
Figura 7: Stato di tensione sotto la superficie	11
Figura 8: Tensioni dovute alla forza verticale (sinistra) e alla forza tangenziale (destra)	12
Figura 9: Stato di tensione sulla superficie	12
Figura 10: Compressione e trazione del pneumatico dei veicoli stradali durante l'accelerazione e la frenata	13
Figura 11: Sollecitazioni di trazione e compressione su ruota e rotaia durante l'accelerazione (sinistra) e la frenata (destra)	13
Figura 12: Effetto idrodinamico come fattore di avanzamento della cricca	14
Figura 13: Direzione di apertura della cricca ed esempio di cricche RCF 3 (a sinistra, Roland Müller e a destra, EN 15313); la freccia rossa indica il piano di misura (Zona 3)	14
Figura 14: Zone 1 e 2 del carrello anteriore nelle curve	15
Figura 15: Forze di aderenza e formazione di cricche in curva	16
Figura 16: Zona di contatto della ruota	17
Figura 17: Marcatura delle ruote	18
Figura 18: Andamento del raggio lungo la circonferenza delle ruote secondo UIC B 169/DT 405	21
Figura 19: Sezione trasversale della rotaia (L: rotaia sinistra, R: rotaia destra)	46

7.3 Tabelle

Tabella 1: Descrizione delle zone di contatto della ruota	17
Tabella 2: Danni adottati dalla colonna grigia del catalogo UIC B 169/DT 405 per lo scartamento metrico. Classificazione dei danni alle ruote secondo UIC B 169/DT 405	20
Tabella 3: Sistema di codifica dei difetti delle rotaie secondo EN-17397-1	47
Tabella 4: Danni provenienti da EN-17397 adottati nella colonna grigia del catalogo per lo scartamento metrico. Classificazione dei danni alle rotaie secondo EN-17397	49
Tabella 5: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti alle caratteristiche del tracciato	60
Tabella 6: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti all'esercizio dei veicoli	61
Tabella 7: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti alle proprietà dei materiali	62
Tabella 8: Danni sulla superficie di contatto tra ruota e rotaia dovuti ad altre cause	63