



Prezzo di base in funzione dell'usura nel sistema dei prezzi delle tracce

Istruzioni per la determinazione dei prezzi dei veicoli

Impressum / coordinamento documenti

Editore:	Ufficio federale dei trasporti, 3003 Berna, Sezione Accesso al mercato
Nome documento:	Istruzioni per la determinazione dei prezzi dei veicoli
Distribuzione:	Pubblicazione sul sito web UFT
Altre versioni linguistiche:	Tedesco (originale), francese, inglese
Entrata in vigore:	Queste istruzioni entrano in vigore il 14 marzo 2022 e sostituiscono la versione V 1.0 del 23 agosto 2016.

Elenco delle modifiche

Versione	Data	Autore	Indicazioni sulle modifiche	Stato del documento
1.0	23.08.2016	FI/sn	Prima edizione	sostituito
1.1	14.03.2022	FI/mz	Versione riveduta della prima edizione	in vigore

Sommario

1.	Introduzione.....	4
2.	Basi del prezzo di base in funzione dell'usura	5
2.1.	Costi di riferimento del veicolo e prezzo del veicolo per il conteggio	6
3.	Procedura di determinazione dei prezzi dei veicoli	8
3.1.	Rinuncia alla determinazione dei prezzi dei veicoli	8
3.2.	Svolgimento temporale	8
3.3.	Procedura di definizione del prezzo	9
3.3.1.1.	Qualifica del servizio di calcolo competente	10
3.3.1.2.	Entità dei lavori da svolgere	10
3.3.1.3.	Documentazione	10
3.3.2.	Organo di controllo indipendente	11
3.3.2.1.	Riconoscimento da parte dell'UFT	11
3.3.2.2.	Entità della verifica	12
3.3.2.3.	Rapporto d'esame	12
3.3.3.	FFS Infrastruttura	12
3.3.4.	Commissione del trasporto ferroviario ComFerr	12
4.	Panoramica della procedura di calcolo	13
5.	Principi tecnici.....	15
5.1.	Categoria di veicolo.....	15
5.2.	Carico	15
5.3.	Famiglia di veicoli.....	15
5.4.	Tipo di veicolo	15
5.5.	Confronto di parametri.....	16
5.6.	Tipo di organi di rotolamento.....	17
5.7.	Telaio degli organi di rotolamento	18
5.8.	Sala montata rilevante ai fini del danneggiamento.....	18
6.	Calcolo del prezzo del veicolo	20
6.1.	Grandezze di input	20
6.2.	Calcolo delle grandezze di interazione.....	20
6.2.1.	Forza dinamica alla ruota $Q(V)$	20
6.2.1.1.	Velocità di riferimento in rettilineo	21
6.2.1.2.	Velocità di riferimento in curva	21
6.2.2.	Superficie di contatto	22
6.3.	Calcolo dei coefficienti di danneggiamento	23
6.3.1.	Danneggiamento massicciata / spostamento rotaie $D1 = \{Q^3\}$	24
6.3.2.	Difetto di rotaia del binario diritto $D2 = \{Q^{1,2}\}$	24
6.3.3.	Difetto di rotaia del binario diritto dovuto a trazione $D3 = \{T_{pv}\}$	24
6.3.4.	Difetto di rotaia e usura della rotaia in curva $D4.1, D4.2 = \{W_b\}$	24
6.3.6.	Potenziali di danneggiamento complessivi del veicolo	25
6.4.	Fattori di calibratura dei costi	26
6.5.	Calcolo dei prezzi dei veicoli	26
7.	Simulazione multicorpo.....	28
7.1.	Modello multicorpo	28
7.1.1.	Modellazione	28
7.1.2.	Peso / forza di contatto della ruota.....	28
7.1.3.	Modello di binario	28
7.1.4.	Contatto ruota-rotaia	29
7.1.4.1.	Profilo della ruota e della rotaia.....	29
7.1.4.2.	Misura dello scartamento e scartamento del binario.....	29
7.1.4.3.	Coefficiente d'attrito.....	29
7.2.	Simulazioni	29
7.2.1.	Simulazioni per la determinazione dell'energia specifica di attrito W_b	29
7.2.1.1.	Tracciato	29
7.2.1.2.	Anomalia della geometria del binario	30
7.2.1.3.	Velocità / forza di trazione	31
7.2.2.	Simulazione per la determinazione della forza trasversale sugli scambi YW185.....	31

7.2.2.1.	Tracciato	31
7.2.2.2.	Anomalia della geometria del binario	32
7.2.2.3.	Velocità / forza di trazione	32
7.2.3.	Modelli SIMPACK	32
7.3.	Valutazione	33
7.3.1.	Valutazione dell'energia specifica di attrito W_b	33
7.4.	Documentazione delle simulazioni multicorpo	35
7.4.1.	Descrizione del modello	35
7.4.2.	Set di parametri di modellazione	35
7.4.3.	Rapporto di calcolo	35
7.4.4.	File con i risultati	36
8.	Calcolo dei costi di gruppo	37
8.1.	Contesto e principi fondamentali	37
8.1.1.	Incertezze relative ai dati dei veicoli	37
8.1.2.	Effetti dell'incertezza dei dati sul calcolo dei costi	37
8.1.3.	Costi di gruppo iniziali del prezzo di base in funzione dell'usura con veicoli esistenti	38
8.1.4.	Attribuzione a gruppi di costi per nuovi veicoli	39
8.1.5.	Costi significativi all'interno di una famiglia di veicoli	40
8.2.	Attribuzione dei costi per un nuovo veicolo	41
9.	Abbreviazioni / simboli utilizzati nelle formule	44
10.	Bibliografia	45
11.	Contatti	46
11.1.	Conteggio del prezzo della traccia	46
11.2.	Servizio specializzato Prezzi dei veicoli	46
11.3.	UFT	46
12.	Allegato: Esempio di set di parametri	47
12.1.	Dati sulla massa	47
12.2.	Dati sulla geometria	48
12.3.	Dati caratteristici degli elementi di accoppiamento	49
12.4.	Curve caratteristiche degli elementi di accoppiamento	50
13.	Allegato: Riconoscimento come organismo di controllo indipendente da parte dell'UFT	51
13.1.	Requisiti fondamentali	51
13.2.	Domanda e verifica	51
13.3.	Modulo tipo	52

1. Introduzione

Con l'introduzione del prezzo di base in funzione dell'usura nel nuovo sistema dei prezzi delle tracce (SPT), ai sensi dell'ordinanza dell'Ufficio federale dei trasporti concernente l'accesso alla rete ferroviaria (OARF-UFT; RS 742.122.4)[1] si rende necessario il calcolo dei prezzi specifici dei veicoli. Il presente documento contiene le istruzioni per tale calcolo.

I capitoli seguenti definiscono le procedure necessarie per la valutazione di un veicolo. Il documento illustra le motivazioni del nuovo approccio e descrive le fasi di calcolo, spiegando le formule e gli strumenti utilizzati. Non vengono affrontate questioni tecniche legate al conteggio.

2. Basi del prezzo di base in funzione dell'usura

Affinché il prezzo della traccia rappresenti i costi di mantenimento dei binari secondo il principio di causalità, con il sistema dei prezzi delle tracce (SPT) 2017 si introduce il prezzo di base in funzione dell'usura. Le basi per il calcolo del prezzo sono illustrate nella Figura 2-1.

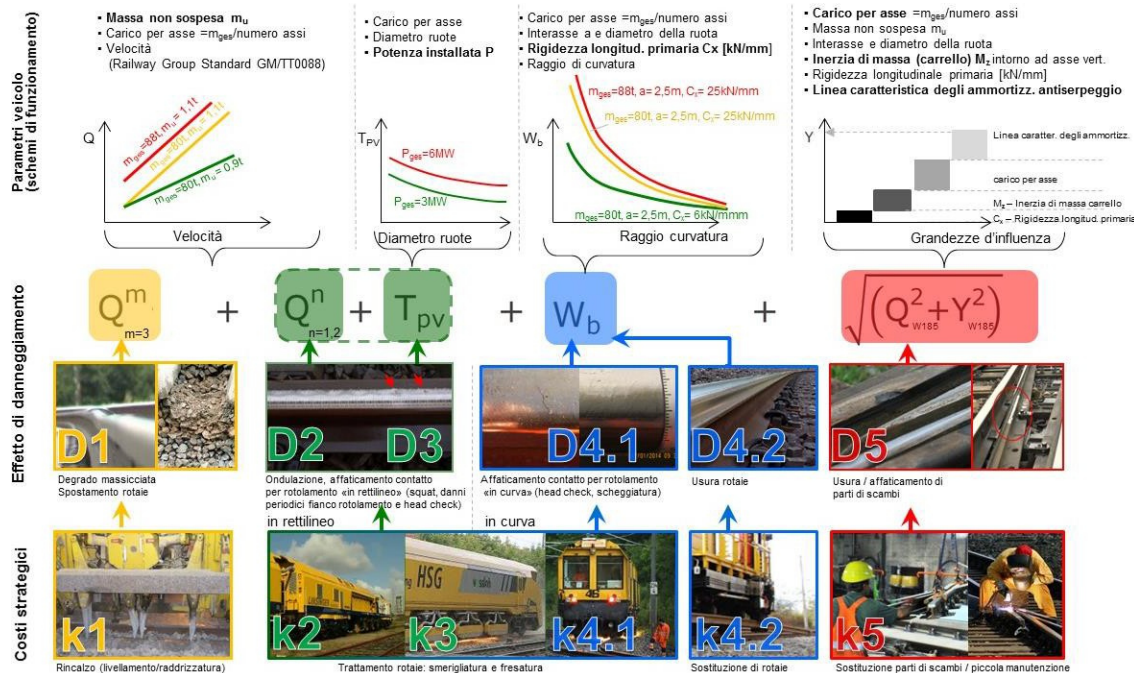


Figura 2-1: Associazione dei meccanismi di danneggiamento ai necessari lavori di mantenimento dei binari

I costi per il mantenimento dei binari sono generati da misure manutentive come rinalzature, trattamento delle rotaie, sostituzione delle rotaie e manutenzione degli scambi, rappresentate nella riga più in basso della figura. Si tratta di costi strategici per l'eliminazione dei danni o la prevenzione degli stessi. La somma di tali costi costituisce la spesa complessiva per il mantenimento di una sezione di binario. A tal fine bisogna distinguere se la sezione in questione si trova in rettilineo o in curva.

Il motivo delle misure manutentive risiede nei danni al binario rappresentati nella riga sopra. Si tratta di danni causati dai veicoli. Questi ultimi non contribuiscono però tutti in eguale misura al deterioramento dei binari in quanto le diverse caratteristiche dei veicoli comportano diversi livelli di interazione con essi. Ai fini dell'usura sono considerate rilevanti le seguenti grandezze.

- Q: forza dinamica di contatto della ruota
 T_{pv} : indice della forza di trazione («Traction power value»)
 W_b : energia specifica di attrito nel contatto ruota-rotaia
 Q_{W185} : forza verticale della ruota sulla rotaia durante il transito sugli scambi
 Y_{W185} : forza trasversale della ruota sulla rotaia durante il transito sugli scambi

Tali grandezze dipendono in parte dalla velocità e dal raggio di curvatura percorso. La loro influenza in termini di danneggiamento è definita dalle rispettive leggi, illustrate più in dettaglio nel capitolo 6.3.

Per mettere in relazione i danneggiamenti D_j con i costi si applicano i cosiddetti fattori di calibratura dei costi k_j , che dipendono in parte dal raggio di curvatura.

Nel sistema dei prezzi delle tracce 2017, le tracce vengono suddivise in diversi intervalli a seconda dei propri raggi di curvatura. Le sezioni con un raggio di curvatura > 1200 m sono considerate rettilinee e vengono divise in diversi intervalli di velocità. Queste ultime sono 10 in totale (Tabella 2-1).

Il prezzo di base in funzione dell'usura che un veicolo è tenuto a pagare al chilometro su una di queste sezioni si calcola dalla somma dei danneggiamenti moltiplicati per i fattori di calibratura dei costi

($\sum_j k_j \cdot D_j$, con $j=1, 2, 3, 4.1, 4.2, 5$).

L'ordinanza dell'UFT sull'accesso alla rete ferroviaria (OARF-UFT) ([1], allegato 1a) descrive il principio di calcolo con la seguente formula riassuntiva:

$$C(V,R)_i = (k_1 \cdot F_{RQ} \cdot Q_p^3 + k_2 \cdot Q_p^{1,2} + \alpha \cdot k_3 \cdot T_{pv} + k_4 \cdot F_{RW} \cdot W_{bf} + k_5 \cdot \sqrt{f5_1} \cdot Q_{W185}^2 + f5_2 \cdot Y_{W185}^2) \cdot S$$

Formula 2-1: Formula di principio per il calcolo del prezzo di base in funzione dell'usura secondo OARF-UFT [1]

$C(V,R)_i$ indica i costi dell'usura causata dal veicolo i alla velocità V e nel raggio di curvatura R . Tali costi determinano il prezzo del veicolo negli intervalli di velocità e di raggi di curvatura (abbreviati in intervalli V/R). Sulla base della dipendenza del danneggiamento dalla velocità e dal raggio di curvatura, per ciascun veicolo si ottiene un prezzo differenziato per intervallo, espresso nell'unità CHF/km.

L'importanza del fattore di scala S è spiegata nel prossimo paragrafo. Le ulteriori descrizioni verbali delle singole grandezze sono reperibili nell'OARF-UFT ([1], allegato 1a). Le esatte formule matematiche di calcolo sono descritte e illustrate nel capitolo 6.

2.1. Costi di riferimento del veicolo e prezzo del veicolo per il conteggio

Per il calcolo dei fattori di calibratura dei costi k_j è stato applicato un importo di riferimento fisso. Sulla base di tali costi di riferimento, per la rete a scartamento normale delle FFS sono stati calibrati i costi per livello di danneggiamento come somma sui chilometri della flotta, determinando in questo modo i fattori di calibratura dei costi [6]. La Figura 2-2 mostra nella parte sinistra le quote percentuali dei singoli livelli di danneggiamento sul totale dei costi di riferimento.

Nella parte destra della figura sono raffigurati i costi marginali (costi fatturati stabiliti dall'ordinanza), che costituiscono la somma degli introiti derivati dal prezzo di base in funzione dell'usura. Tramite il fattore di scala S si possono mettere in relazione fra loro i costi di riferimento e i costi marginali.

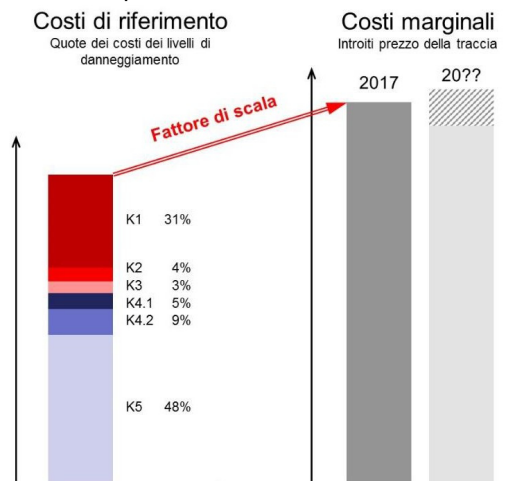


Figura 2-2: Fattore di scala per la conversione dei costi di riferimento in costi marginali

In riferimento a un singolo veicolo si distinguono due concetti: i costi di riferimento del veicolo e il prezzo del veicolo (per il conteggio sulla copertura dei costi marginali).

I costi di riferimento del veicolo $C_{relV/R}$ sono valori fissi che non cambiano più dopo il loro calcolo una tantum e che costituiscono la base per la comparabilità.

I prezzi dei veicoli $C_{V/R}$ sono i valori impiegati per il calcolo del prezzo della traccia. Sono determinati sulla base dei costi di riferimento del veicolo e del fattore di scala, che può cambiare a seconda dei costi marginali applicati.

La seguente tabella riassume le abbreviazioni e i concetti utilizzati in relazione ai prezzi.

Intervallo di prezzo	Costi di riferimento del veicolo	Prezzo del veicolo (= prezzo contabile) $= S * C_{relV/R}$
Raggio > 1200 m		
$V \leq 80$	$C_{relV0-80}$	C_{V0-80}
$80 < V \leq 100$	$C_{relV80-100}$	$C_{V80-100}$
$100 < V \leq 120$	$C_{relV100-120}$	$C_{V100-120}$
$120 < V \leq 140$	$C_{relV120-140}$	$C_{V120-140}$
$140 < V \leq 160$	$C_{relV140-160}$	$C_{V140-160}$
$160 < V \leq 200$	$C_{relV>160}$	$C_{V>160}$
Raggio ≤ 1200 m		
$R \leq 300$	$C_{relR<300}$	$C_{R<300}$
$300 < R \leq 400$	$C_{relR300-400}$	$C_{R300-400}$
$400 < R \leq 600$	$C_{relR400-600}$	$C_{R400-600}$
$600 < R \leq 1200$	$C_{relR600-1200}$	$C_{R600-1200}$

Tabella 2-1: Intervalli di velocità e raggi di curvatura per la differenziazione e denominazione dei prezzi

3. Procedura di determinazione dei prezzi dei veicoli

L'ingresso di un nuovo veicolo sulla rete ferroviaria svizzera è associato al rilascio di un'autorizzazione per l'accesso alla rete. A tale proposito, l'ITF o il proprietario del veicolo stesso ha la possibilità di delegare la classificazione del prezzo a Infrastruttura, rappresentata dalle FFS, per la rete gestita, dal suo punto di vendita delle tracce (OneStopShop).

3.1. Rinuncia alla determinazione dei prezzi dei veicoli

La determinazione dei prezzi specifici dei veicoli necessari per il calcolo del prezzo della traccia non è obbligatoria. In assenza di indicazioni sul prezzo viene applicato un calcolo tramite dei «prezzi standard». In linea di massima il prezzo della traccia da pagare risulta più elevato rispetto al calcolo effettuato sulla base di prezzi dei veicoli già noti e viene determinato come valore massimo relativo a gruppi di veicoli con le stesse caratteristiche maggiorato di un supplemento. I prezzi predefiniti validi sono ricalcolati annualmente. Dal momento che la determinazione dei prezzi dei veicoli comporta dei costi definiti, in alcune circostanze può aver senso rinunciarvi.

Per i veicoli storici, sulla base dell'ordinanza concernente l'accesso alla rete ferroviaria (OARF, RS 742.122), art. 19a cpv. 5a, valgono le disposizioni particolari secondo l'OARF-UFT art. 1 cpv. 4 lett. c.

3.2. Svolgimento temporale

La Figura 3-1 raffigura la classificazione temporale della determinazione del prezzo del veicolo nel processo di produzione e omologazione dello stesso. Quando un nuovo veicolo entra sulla rete a scartamento normale svizzera, è necessaria l'ammissione alla circolazione da parte dell'autorità di vigilanza. Già prima dell'omologazione definitiva sono possibili delle stime preliminari per la determinazione del prezzo, ma la verifica conclusiva e la definizione del prezzo vincolante (approvazione per il conteggio) avviene in linea di massima solo dopo l'ottenimento dell'omologazione stessa. Formazione dei prezzi e ammissione alla circolazione sono pertanto processi separati l'uno dall'altro.

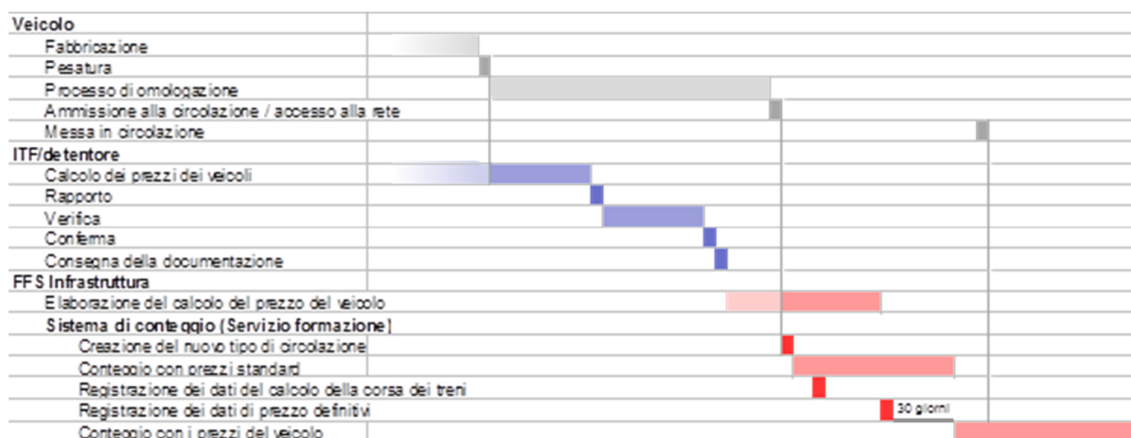


Figura 3-1: Svolgimento temporale della definizione del prezzo di un nuovo veicolo sulla rete a scartamento normale svizzera

Siccome la massa del veicolo ha una grande influenza sulla formazione del prezzo, il calcolo parte da una convalida minima dei dati del veicolo raffrontata alla pesatura di almeno un veicolo. Al momento

della pesatura il veicolo deve trovarsi in condizioni normali (con componenti e funzioni di serie) e adeguate al servizio (ovvero senza masse sostitutive al posto di elementi mancanti previsti nella sistemazione interna ecc.). Sulla base del peso misurato, vengono verificati i dati della massa per il calcolo del prezzo. Questi dati consentono di effettuare il calcolo dei prezzi del veicolo per intervallo V/R (capitolo 6).

Con l'ammissione alla circolazione avviene l'apertura di un cosiddetto tipo di veicolo nel Servizio formazione (FOS), che fornisce i dati necessari per il sistema di conteggio. Il veicolo può circolare liberamente, ma viene applicato il prezzo standard. Nel caso in cui nel quadro dell'ammissione alla circolazione di un veicolo siano previsti test di omologazione con un'estensione superiore ai 15 000 km è possibile eventualmente stipulare accordi bilaterali con FFS Infrastruttura per quanto riguarda il conteggio.

Dopo la presentazione della documentazione necessaria a FFS Infrastruttura viene elaborata la determinazione dei prezzi dei veicoli (capitolo 3.3.3). Al termine di questa verifica i prezzi definitivi del veicolo vengono inseriti nel sistema di conteggio. Dopo 30 giorni i prezzi vengono attivati e il calcolo del prezzo della traccia viene aggiornato con i prezzi specifici del veicolo. Non è previsto un rimborso della differenza fra i prezzi standard maggiorati e il prezzo reale del veicolo.

3.3. Procedura di definizione del prezzo

Figura 3-2 raffigura il processo di formazione del prezzo e gli organismi coinvolti.

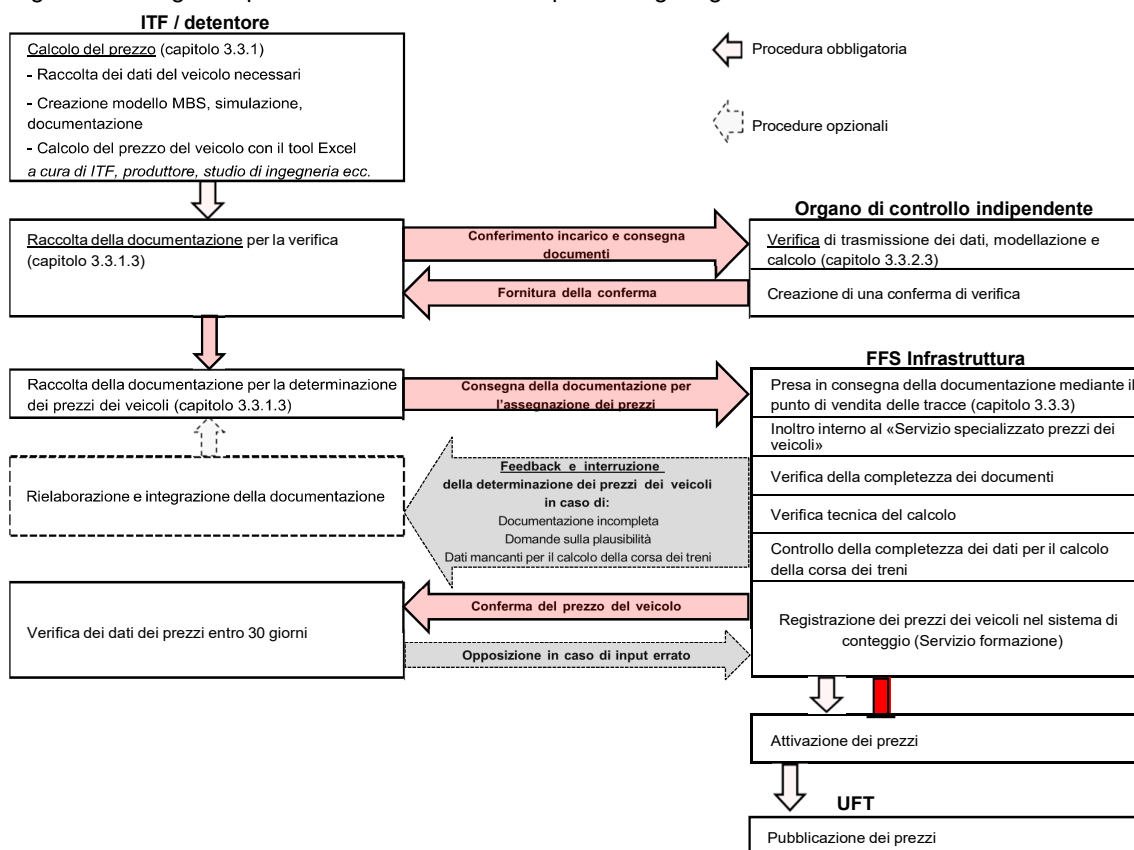


Figura 3-2: Svolgimento del processo di formazione del prezzo

ITF/detentore

Il calcolo del prezzo del veicolo viene avviato dall'ITF o dal detentore del veicolo stesso. Esso può essere effettuato autonomamente dall'ITF / dal detentore, qualora quest'ultimo disponga della relativa qualifica (v. 3.3.1.1) e sia a conoscenza dei dati. In assenza di tali requisiti il mandato relativo al calcolo può essere assegnato esternamente. In tal caso conviene che tale compito spetti al costruttore di un nuovo veicolo. In alternativa può essere incaricato uno studio di ingegneri oppure un'altra ITF che possa dimostrare le qualifiche necessarie.

A seguire il calcolo viene valutato da un organo di controllo indipendente (capitolo 3.3.2), che redige una corrispondente conferma dell'avvenuto controllo.

Successivamente viene presentata a FFS Infrastruttura una richiesta di determinazione del prezzo del veicolo corredata dalla necessaria documentazione (v. 3.3.1.3).

Con la consegna della documentazione di verifica (dati di input, documentazione di verifica), l'ITF assume l'impegno di correttezza dei dati. Con l'apertura della procedura di definizione del prezzo l'ITF o il costruttore assegnato risponde dell'organo di controllo incaricato della formazione del prezzo e dei suoi calcoli o dei calcoli di terzi.

3.3.1.1. Qualifica del servizio di calcolo competente

Il collaboratore responsabile per il calcolo dei prezzi dei veicoli presenta le seguenti qualifiche:

- titolo di studio universitario nel campo dell'ingegneria, della matematica o delle scienze naturali;
- esperienza superiore ai cinque anni nel campo dell'ingegneria dei carrelli e dell'omologazione dei veicoli;
- esperienza significativa e dimostrabile superiore ai cinque anni nella modellazione e nel calcolo di sistemi multicorpo (multibody).

In caso vi fosse assistenza a cura di personale con la corrispondente qualifica, è possibile anche effettuare il calcolo da parte di persone che non soddisfano pienamente i requisiti.

Per attestare le qualifiche, assieme alla documentazione va consegnata una breve presentazione dei collaboratori coinvolti nella procedura di calcolo.

3.3.1.2. Entità dei lavori da svolgere

Il servizio di calcolo raccoglie i parametri rilevanti del veicolo e li raggruppa in un set di dati.

L'effettuazione del calcolo è definita nei capitoli da 6 a 8, nei quali si illustra l'uso del calcolatore del prezzo del veicolo e si descrive come eseguire le simulazioni multicorpo.

Qualora a livello di parametri il veicolo presenti somiglianze con un altro veicolo per il quale sono già stati definiti i prezzi, è consentito un confronto dei parametri stessi (v. capitolo 5.5). Se si rispettano le tolleranze definite è possibile prescindere da un nuovo calcolo MBS.

I file necessari sono pubblicati sul sito www.onestopshop.ch [9].

3.3.1.3. Documentazione

Per la verifica del calcolo e la richiesta di determinazione del prezzo del veicolo è necessario raccogliere la relativa documentazione. La seguente tabella indica i documenti da presentare.

Documentazione / dati	Organo di controllo indipendente		FFS-I
	Consegna	Consulta- zione	Consegna
Disegni costruttivi			
Immagine del tipo del veicolo (con schema di posti a sedere)	✓		✓
Disegni degli organi di rotolamento			
- Panoramica			
- Livello primario, guida degli assi	✓		✓
- Livello secondario			
- Trasmissione			
Disegni delle casse dei veicoli			
- Collegamenti casse	✓		✓
- Articolazioni / respingenti			
Disegni dei componenti			
- Elementi elastici		✓	
- Ammortizzatori			
Risultati delle misurazioni			
Verbale di pesatura	✓		✓
Calcoli dei parametri			
Calcolo massa veicolo		✓	
Calcolo massa organo di rotolamento		✓	
Calcoli rigidezza		✓	
Calcoli MBS			
Descrizione modello MBS ^{a)}	✓		✓
Set di dati modello MBS ^{b)}	✓		✓
Rapporto di calcolo MBS ^{a)}	✓		✓
Modello MBS ^{c)}	(✓)	(✓)	
File dei risultati MBS ^{a)}	✓		✓
Calcolo del prezzo del veicolo			
Calcolatore del prezzo del veicolo compilato (Excel)	✓		✓
Documenti dell'organo di controllo			
Rapporto d'esame			✓
Rapporto di calcolo dell'organo di controllo ^{d)}			✓
Note			
a) Definizione del contenuto nel capitolo 7.4			
b) Esempio in allegato (capitolo 12)			
c) Consegna, consultazione e nuova modellazione in accordo con l'organo di controllo (v. capitolo 3.3.2.2)			
d) Nel caso in cui quest'ultimo abbia svolto una propria modellazione MBS e un proprio calcolo			

Tabella 3-1: Elenco della documentazione necessaria

L'elenco non è esaustivo. Qualora per la verifica del calcolo da parte dell'organo di controllo o del servizio specializzato di FFS Infrastruttura siano necessari ulteriori dati può eventualmente essere richiesta la consegna di ulteriori documenti.

3.3.2. Organo di controllo indipendente

La verifica della correttezza esecuzione dei lavori è svolta da un servizio esterno riconosciuto dall'UFT.

3.3.2.1. Riconoscimento da parte dell'UFT

Il riconoscimento come organo di controllo indipendente avviene in conformità all'allegato (capitolo 13).

3.3.2.2. Entità della verifica

Il compito principale dell'organo di controllo è verificare la correttezza dei parametri del veicolo utilizzati per il calcolo e la simulazione MBS. A tale scopo l'organo di controllo deve poter consultare disegni e calcoli dai quali sono stati derivati i dati di base del calcolo. Ciò dovrebbe essere possibile sulla base dei documenti elencati nella Tabella 3-1.

Per la verifica dei dati ottenuti mediante le simulazioni MBS è necessario verificare il modello e svolgere simulazioni di controllo. Per semplificare il processo, è consigliabile mettere a disposizione dell'organo di controllo il modello MBS.

Qualora il servizio che ha effettuato il calcolo non desideri divulgare il modello per motivi legati alla protezione del proprio know-how, i calcoli devono essere verificati sulla base di un modello allestito da parte dell'organo di controllo. Il set di dati consegnato deve essere configurato in maniera tale da consentire una riproduzione a posteriori del modello. I calcoli devono poi essere documentati come indicato nel capitolo 7.4.

Eventuali divergenze nei risultati o nella procedura di calcolo devono essere discusse con il servizio che ha effettuato il calcolo stesso. In caso di dubbi può essere coinvolto nella discussione il «Servizio specializzato prezzi dei veicoli» di FFS Infrastruttura (v. il capitolo 11.2 per i dati di contatto).

3.3.2.3. Rapporto d'esame

L'organo di controllo descrive le verifiche e i calcoli di controllo eseguiti in un rapporto, confermando il rispetto delle disposizioni normative per il calcolo e la determinazione dei prezzi dei veicoli.

3.3.3. FFS Infrastruttura

La presentazione della richiesta informale di determinazione dei prezzi dei veicoli e della relativa documentazione avviene mediante il punto vendita delle tracce (v. il capitolo 11.1 per i dati di contatto), che inoltra i documenti al «Servizio specializzato prezzi dei veicoli» interno alle FFS. Quest'ultimo verifica a sua volta se la documentazione è completa e sufficiente allo svolgimento di una verifica di plausibilità. In caso di reclami si prende contatto con il servizio che ha presentato la richiesta.

Nel corso del processo di definizione si verifica inoltre a livello interno se l'ITF ha consegnato tutti i dati sul materiale rotabile necessari per i sistemi di gestione dell'esercizio di FFS Infrastruttura. Tali dati sono necessari per il calcolo della corsa dei treni (ZLR) nei sistemi di gestione dell'esercizio e garantiscono un coordinamento del traffico privo di complicazioni. Maggiori informazioni in merito sono reperibili sul sito www.onestopshop.ch [10]. Qualora i dati siano insufficienti è possibile interrompere il processo finché non sono disponibili.

Una volta superata la verifica senza obiezioni, i prezzi calcolati vengono registrati nel sistema di gestione dei prezzi. L'ITF o il detentore ricevono una conferma della registrazione a scopo di verifica e possono presentare opposizione entro 30 giorni nel caso in cui i prezzi siano stati riportati nel sistema in maniera errata oppure qualora altri motivi impediscano la loro attivazione nel sistema di conteggio. Dopo 30 giorni i prezzi vengono attivati. L'UFT riceve i prezzi a scopo di pubblicazione.

Il «Servizio specializzato prezzi dei veicoli» ha la possibilità di richiedere, mediante l'UFT, la pubblicazione dell'attuale distribuzione quantitativa dei tipi di veicolo all'interno della flotta dell'ITF o del detentore.

3.3.4. Commissione del trasporto ferroviario ComFerr

In presenza di divergenze e diversi punti di vista nella definizione del prezzo dei veicoli, il «Servizio specializzato prezzi dei veicoli» entra per prima cosa in contatto con l'ITF / il detentore, il servizio che ha effettuato il calcolo e l'organo di controllo. Qualora il calcolo del prezzo non sia accettato e non sia possibile giungere a un accordo, è necessario trasmettere una corrispondente procedura di ricorso alla Commissione del trasporto ferroviario ComFerr. La ComFerr stabilisce i passi successivi.

4. Panoramica della procedura di calcolo

Il grafico nella Figura 4-1 riporta una panoramica sull'intera procedura di calcolo

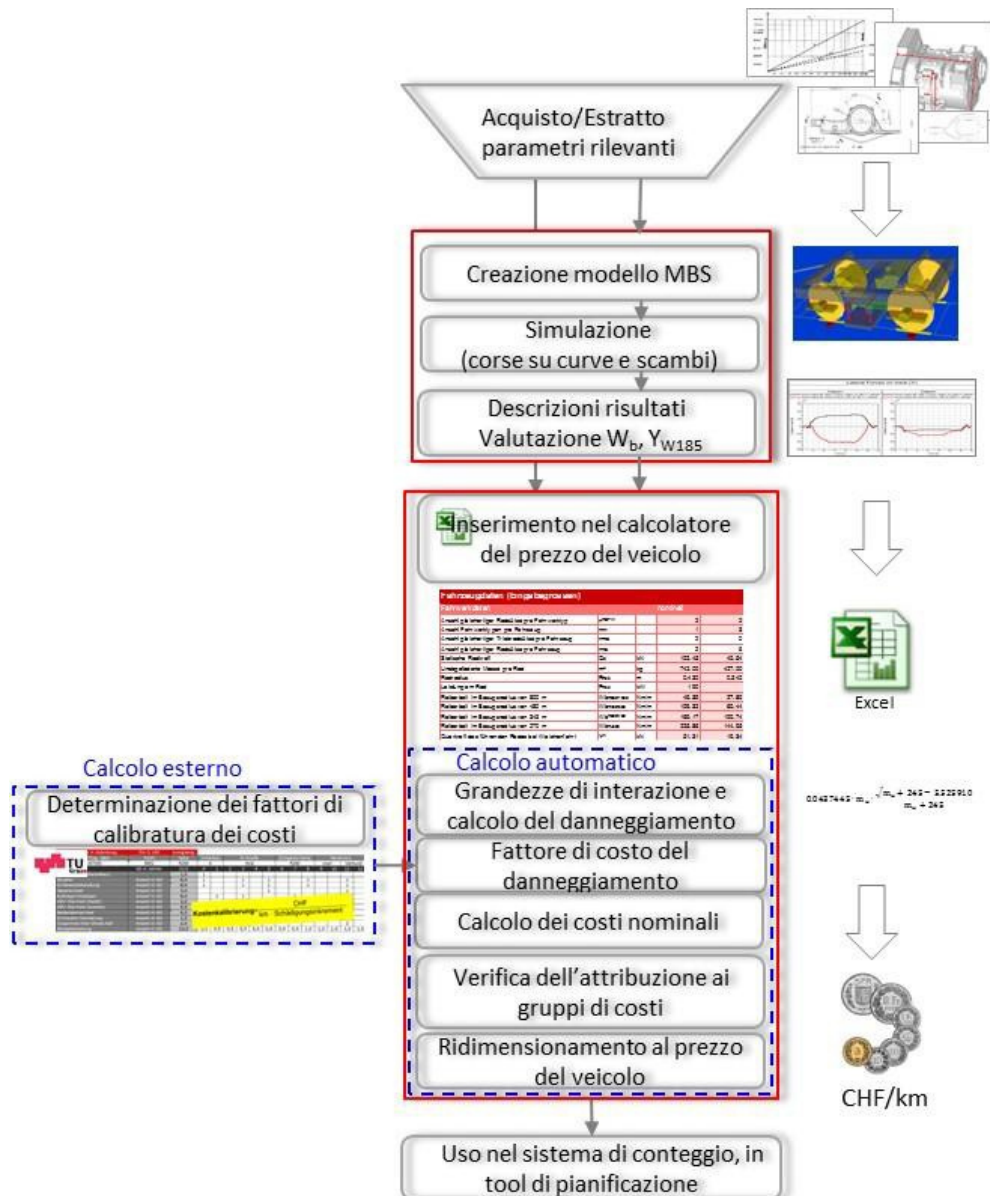


Figura 4-1: Panoramica della procedura di calcolo (dai dati del veicolo al prezzo)

Nella prima fase, sulla base dei dati del veicolo (disegni, calcoli di massa, curve caratteristiche dei componenti ecc.) vengono derivati i parametri rilevanti per il calcolo. Alcuni dati come la forza statica di contatto della ruota, la massa non sospesa, il raggio della ruota e la potenza possono essere riportati direttamente nel calcolatore del prezzo del veicolo (Excel) (capitolo 6.1). Al suo interno vengono calcolate in maniera analitica le grandezze di interazione Q e la superficie attiva di contatto per il calcolo T_p (capitolo 6.2).

Per la determinazione delle grandezze di interazione W_b e Y_{W185} sono necessarie simulazioni svolte mediante un software per il calcolo di sistemi multicorpo (MBS, per es. SIMPACK). Anche i dati necessari a tal fine vengono raccolti e viene allestito un modello di veicolo corrispondente (capitolo 7). I valori così ottenuti per W_b e Y_{W185} vengono anch'essi riportati nel calcolatore del prezzo del veicolo.

Il calcolo dei costi di riferimento del veicolo negli intervalli V e R avviene automaticamente. Le formule impiegate per le leggi di danneggiamento e il calcolo dei costi sono descritte nei capitoli da 6.3 a 6.5.

Successivamente (capitolo 8), i costi di riferimento del veicolo negli intervalli di raggio di curvatura e velocità vengono verificati sulla base di «affinità di categoria» non differenziabili (veicoli che presentano caratteristiche molto simili). A tal fine si analizza se, nel quadro dei possibili margini di incertezza delle grandezze di input, le fasce dei costi presentano una distanza sufficiente rispetto ai costi già definiti di altri veicoli. In assenza di tale differenziazione, al veicolo vengono assegnati costi di riferimento già esistenti.

Nell'ultima fase vengono calcolati i prezzi del veicolo determinanti per il conteggio moltiplicando i costi di riferimento del veicolo per il fattore di scala.

5. Principi tecnici

I seguenti paragrafi illustrano i principi più importanti. Siccome questi ultimi possono eventualmente non coprire tutti i casi speciali ipotizzabili, si rimanda al «Servizio specializzato prezzi dei veicoli» (v. capitolo 11.2 per i dati di contatto), che è disponibile a rispondere alle domande in caso di dubbi.

5.1. Categoria di veicolo

Per la categorizzazione dei veicoli si distinguono i seguenti sei tipi.

- Locomotive
- Automotrici (veicolo motore monocomponente con trasporto di viaggiatori)
- Veicoli leggeri
- Carri merci
- Treni automotori (veicolo motore a più componenti con trasporto di viaggiatori)
- Veicoli speciali

Ogni veicolo viene associato in maniera univoca a un tipo.

5.2. Carico

Per determinare la forza di contatto della ruota rilevante ai fini del calcolo del prezzo, fatta eccezione per i carri merci, vengono considerati i seguenti carichi.

- Peso in servizio con due terzi di tutti i carburanti
- Un terzo del grado di occupazione dei posti a sedere (se presenti) con 80 kg l'uno (per le carrozze con dotazione di prima e seconda classe bisogna considerare la seconda. I sedili pieghevoli non devono essere considerati)

Per i carri merci vengono definiti di regola cinque diversi livelli di carico, per ciascuno dei quali viene effettuato un calcolo del prezzo separatamente. La Tabella 5-1 illustra tali livelli e i pesi assiali sulla base dei quali avviene il calcolo.

Livello di carico	Peso assiale
	[t]
#AL4_8	Carro vuoto ¹
#AL8_12	10,0
#AL12_16	14,0
#AL16_20	18,0
#AL20_24	22,0

Tabella 5-1: Carichi di riferimento dei livelli di carico per i carri merci

Per i carri merci per i quali sulla base del tipo di costruzione o del campo di impiego possono essere supposti carichi definiti (ad esempio carri del treno auto o Saadkms della strada viaggiante), viene calcolato il prezzo per il carro vuoto e per questi carichi specifici.

5.3. Famiglia di veicoli

Una famiglia di veicoli definisce un complesso di veicoli della stessa casa che seguono una filosofia unitaria (carrozza unificata) o uno sviluppo della piattaforma. I veicoli di una famiglia si contraddistinguono per il gran numero di pezzi e/o componenti identici utilizzati.

5.4. Tipo di veicolo

I tipi di veicolo definiscono un veicolo nei sistemi operativi di esercizio delle infrastrutture. Prima di ef-

¹ Il peso assiale può essere diverso a seconda del tipo di carro (ad esempio a due o quattro assi). Per tanto si utilizza il carico effettivo del carro vuoto.

fettuare la corsa, un'impresa di trasporto ferroviaria deve trasmettere la formazione (tipi di veicolo e relativa disposizione) al servizio elettronico di formazione. Al tipo di veicolo è inoltre legata l'informazione del prezzo di base in funzione dell'usura rilevante per il prezzo del veicolo; il tipo di veicolo serve quindi al conteggio della traccia.

È possibile riunire singoli veicoli in un tipo di veicolo se oltre all'appartenenza a una famiglia di veicoli sono identici anche i seguenti elementi:

- l'attribuzione alla categoria di veicolo²
- il numero di sale montate
- la categoria di treno
- la categoria di trasmissione
- la categoria di freno

Le categorie di trasmissione sono:

- trasmissione completamente ammortizzata (ad albero cavo)
- trasmissione parzialmente ammortizzata (sopra l'assale)
- trasmissione non ammortizzata (sospensione a naso)

Fra le categorie di freno si distinguono:

- ruote frenate a ceppo
- ruote frenate a disco (dischi dei freni, dischi ondulati)

I parametri del veicolo devono inoltre rientrare nelle tolleranze valide per le famiglie di veicoli. Tale aspetto viene determinato attraverso un confronto di parametri (v. capitolo 5.5).

5.5. Confronto di parametri

Un confronto di parametri ha i seguenti obiettivi.

- Prevenire grandi oneri organizzativi per la definizione dei prezzi dei veicoli quando all'interno di una flotta vi sono differenze facilmente valutabili
- Ridurre gli oneri per le simulazioni MBS: limitazione del lavoro di modellazione o rinuncia alla simulazione in caso di necessità solo se condizionata

In caso di positiva verifica del rispetto delle fasce di tolleranza dei parametri di input, un confronto di parametri autorizza all'adozione dei prezzi di veicoli già presenti dello stesso tipo di veicolo. A tale scopo non è necessario il coinvolgimento di un organo di controllo indipendente.

I prezzi di nuovi veicoli individuali non possono essere determinati sulla base di confronti di parametri.

La procedura di confronto trasversale dell'affinità fra i veicoli segue la norma EN 14363 [2] nella valutazione della rinuncia alla prova in linea. Per l'interpretazione dei margini di scostamento del parametro X si applica per analogia la norma EN 14363:

$$\Delta X_{\%} = \frac{X_{\text{nuovo}} - X_{\text{esistente}}}{X_{\text{esistente}}} \text{ per uno scostamento percentuale}$$

²Deriva dall'appartenenza a una famiglia di veicoli. La categoria di veicolo viene utilizzata nel sistema di conteggio

$$\Delta X_{ass} = X_{nuovo} - X_{esistente} \text{ per uno scostamento assoluto}$$

La seguente tabella riporta i limiti degli scostamenti consentiti. A tal fine si distingue se il veicolo da valutare è un veicolo nuovo di una determinata famiglia oppure se si tratta di un veicolo esistente dopo un refit.

Parametro	Tolleranza consentita	
	Nuovo veicolo di una famiglia	Veicolo sottoposto a refit
Passo del carrello 2a*	da -20% a +10%	-
Interasse sale montate 2a+	da -5% a +2,5%	-
Forza di contatto della ruota Q_0	da -10% a +5%	da -10% a +5%
Massa non sospesa m_u	da -5% a +2,5% max. +50 kg per sala montata	da -10% a +5% max. +50 kg per sala montata
Guida degli assi (rigidezza)	da -10% a +0%	da -10% a +5%
Ammortizzazione antiserpeggio (costante di ammortizzazione e forza di sfiato)	da -100% a +25%	da -100% a +25%

Tabella 5-2: Panoramica degli scostamenti consentiti dei parametri per l'adozione di una determinazione dei prezzi dei veicoli

5.6. Tipo di organi di rotolamento

Gli organi di rotolamento, che si distinguono per parametri e peso assiale, hanno un diverso impatto in termini di danneggiamento. Siccome un veicolo può presentare diversi tipi di organi di rotolamento (per es. carrelli motrici e portanti) il calcolo del prezzo viene effettuato in maniera specifica per ciascutun tipo di organo di rotolamento. Il danneggiamento complessivo è dato dalla somma dei danneggiamenti di tutti i tipi di organi di rotolamento, considerando il numero delle relative sale montate.

Siccome anche organi dello stesso tipo possono presentare determinate differenze all'interno di uno stesso veicolo per quanto riguarda i propri parametri descrittivi, vengono definite delle tolleranze consentite. Se tali tolleranze vengono rispettate, gli organi di rotolamento che differiscono solo a livello di dettagli possono essere considerati appartenenti a uno stesso tipo di organi di rotolamento. In tal modo si limita il lavoro di modellazione.

La Tabella 5-3 mostra gli scostamenti consentiti fra i parametri degli organi di rotolamento dello stesso tipo.

Per tutti gli organi di rotolamento di un veicolo che devono essere raggruppati in un rispettivo tipo viene calcolata la media del parametro corrispondente. I valori singoli degli organi di rotolamento presi in esame devono rientrare nei limiti consentiti. Quelli che non li rispettano vengono considerati come un tipo di organi di rotolamento a parte, considerato separatamente nel calcolo.

Parametro	Scostamento consentito Rispetto alla media
Passo del carrello 2a*	da -20% a +10%
Interasse sale montate 2a+	da -5% a +2,5%
Forza di contatto della ruota Q_0	da -10% a +5%
Massa non sospesa m_u	da -10% a +5% max. +50 kg per sala montata
Guida degli assi (rigidezza) c_x	da -10% a +5%
Ammortizzazione antiserpeggio (costante di ammortizzazione e forza di sfiato)	da -100% a +25%

Tabella 5-3: Panoramica degli scostamenti consentiti dei parametri all'interno di un tipo di organi di rotolamento

La Figura 5-1 mostra l'esempio di un veicolo sul quale sei organi di rotolamento sono dello stesso tipo ma si distinguono per es. per la forza di contatto della ruota. Dopo aver calcolato il valore medio si nota che gli organi di rotolamento 3 e 4 non rientrano nella fascia di tolleranza. Gli organi di rotolamento vengono

pertanto suddivisi in due tipi. Come parametro determinante viene presa la media dei valori dei singoli. Ora gli scostamenti all'interno dei tipi di organi di rotolamento rispettano le tolleranze richieste.

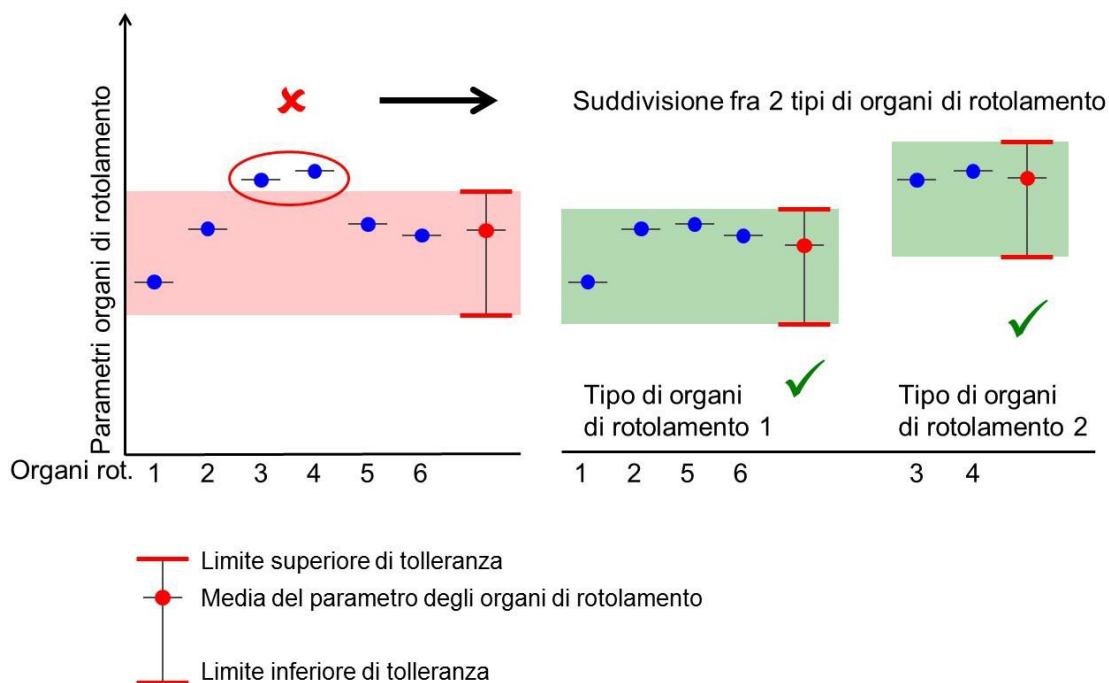


Figura 5-1: Limiti di somiglianza di organi di rotolamento dello stesso tipo

5.7. Telaio degli organi di rotolamento

Si considera telaio degli organi di rotolamento ciò che collega le sale montate fra di loro e queste ultime con la cassa del carro. Per un veicolo a due assi il telaio degli organi di rotolamento è la cassa del carro.

5.8. Sala montata rilevante ai fini del danneggiamento

Vige il principio semplificativo secondo cui, sulla sala montata anteriore il portatore del danneggiamento di un organo di rotolamento è la ruota di guida sul lato esterno della curva, anche se si verificano trasferimenti delle forze all'interno degli organi di rotolamento stessi a causa di una maggiore accelerazione laterale libera.

Se si tratta dello stesso tipo di organo di rotolamento, per maggiore semplicità il comportamento della prima sala montata di guida viene riportato su tutte le sale montate di guida successive considerando l'effetto complessivo dato dal loro numero (n_{FW}) sul veicolo. Per un veicolo con due carrelli dello stesso tipo il comportamento della prima sala montata vale anche per la sala montata di guida del secondo carrello (sala montata 3 con un carrello a due assi, sala montata 4 con un carrello a tre assi; v. Figura 5-2).

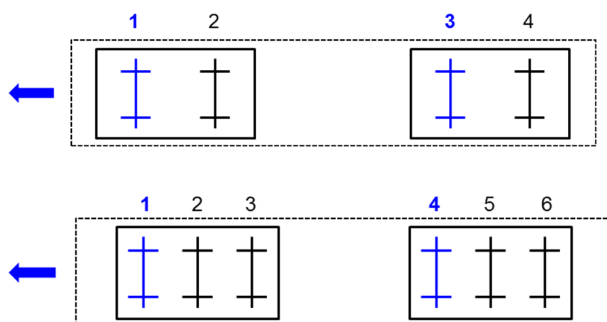


Figura 5-2: Sale montate equiparate su un veicolo con due carrelli

I tipi di organi di rotolamento simili non devono essere disposti l'uno dietro l'altro sul veicolo. Nell'esempio di veicolo con carrelli Jakobs nella Figura 5-3 le sale montate 1 e 7 sono – se il tipo di organo di rotolamento è identico – equiparate. Per i carrelli Jakobs si procede alla stessa maniera. Nell'esempio le sale montate 3 e 5 sono equiparate.

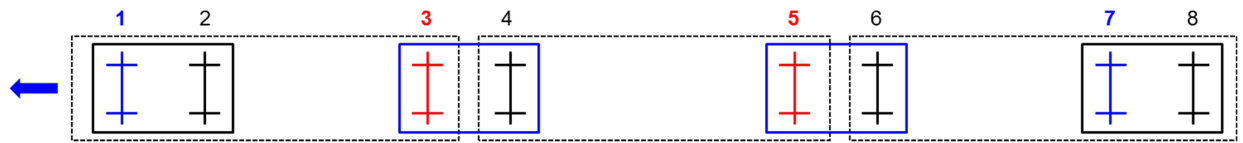


Figura 5-3: Sale montate equiparate su un veicolo con carrelli Jakobs

In caso di guida del telaio a più assi, snodata o rigida, le sale montate esterne sono considerate il portatore del danneggiamento. Nell'esempio del Saadkms (RoLa) le sale montate 3 e 5 sono equiparate.

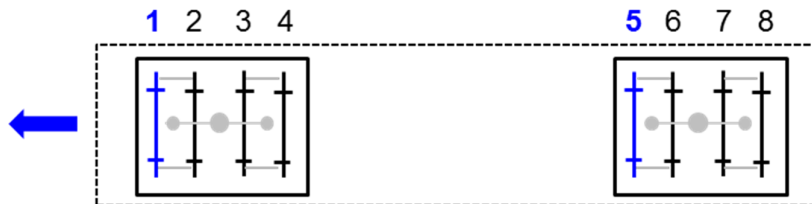


Figura 5-4: Sale montate equiparate su un carro RoLa

Con costruzioni speciali possono esserci incertezze riguardo alla classificazione delle sale montate. In quel caso bisogna scegliere quali sale montate considerare di guida sulla base dei risultati della simulazione MBS. Un veicolo con sala montata Jakobs rappresenta un esempio di un caso di questo tipo.

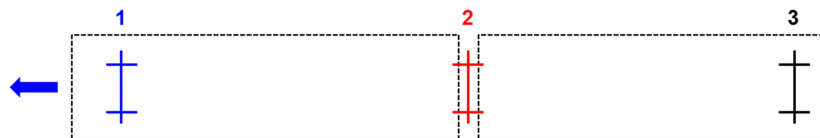


Figura 5-5: Veicolo con sale montate singole e Jakobs

6. Calcolo del prezzo del veicolo

Per il calcolo dei prezzi dei veicoli, sul sito www.onestopshop.ch [9] è disponibile un apposito calcolatore (Excel). Nei seguenti paragrafi il calcolo è spiegato in dettaglio.

6.1. Grandezze di input

Le grandezze di input necessarie per il calcolo dei prezzi dei veicoli negli intervalli V e R si trovano nella parte alta della tabella. Le celle di immissione sono di colore rosa. Devono essere inserite le caratteristiche del veicolo relative a massa, geometria e trazione, nonché al comportamento in corrispondenza di curve e scambi determinato mediante una simulazione MBS (v. capitolo 7). Inoltre, vanno riportate la velocità massima ammessa e la velocità massima di transito su scambi in deviazione da 40 km/h. La categoria di veicolo e la categoria di treno per cui deve essere effettuato il calcolo del prezzo vengono selezionate da un elenco. Per i veicoli che circolano in diverse categorie si esegue un calcolo del prezzo separatamente per ciascuna di esse.

Nella colonna «Veicolo» vengono calcolate le somme di alcune grandezze. In questo modo è possibile verificare se siano stati presi in considerazione tutti gli organi di rotolamento e tutte le sale montate e se la massa complessiva e la potenza del veicolo siano corrette.

La seguente figura mostra i dati, utilizzati nella tabella esemplificativa, relativi a un'automotrice con due diversi organi di rotolamento.

RABe 5xx 4/8				Motor Bogie	Trailer Bogie				Veicolo	
Descrizione	Simbolo	Unità	Osservazione o formula di calcolo	Inserimento e calcolo						
Dati del veicolo (grandezze di input)										
Dati di base										
Categoria di veicolo			Locomotiva (Lok), motrice (TWg), carrozza (PWg), carro merci (GWg), automotrice (TZ), veicolo speciale (S)						TZ	
Velocità massima ammessa	V _{adm}	km/h		140	140	140	140	140	140	
Categoria di treno									R	
Velocità ammissibile su scambi da 40 km/h	V _{Wsd}	km/h	40 km/h, in assenza di limitazioni	40	40	40	40	40	40	
Dati organo di rotolamento				nominale						totale
Numero di sale montate affini per tipo di organi di rotolamento	n _{res} /FW			2	2					
Numero di organi di rotolamento per tipo per veicolo	n _{rw}			2	2				4	
Numero di ruote motrici affini per veicolo	n _{rrs}			4	0	0	0	0	4	
Numero di sale montate affini per veicolo	n _{res}			4	4	0	0	0	8	
Forza statica di contatto della ruota	Q ₀	kN		75.00	50.00				101.94 t	
Massa non sospesa per ruota	m _u	kg		800.00	500.00					
Raggio della ruota (valore nominale per ruote nuove)	R _{rad}	m		0.450	0.400					
Potenza massima sulla ruota	P _{Rad}	kW		150					1200	
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 270 m	W ₀ R<300	Nm/m	da simulazione MBS	230.00	150.00					
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 343 m	W ₀ R300-400	Nm/m	da simulazione MBS	170.00	100.00					
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 480 m	W ₀ R400-600	Nm/m	da simulazione MBS	100.00	60.00					
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 800 m	W ₀ R600-1200	Nm/m	da simulazione MBS	50.00	25.00					
Forza trasversale della ruota di guida durante il transito su uno scambio	Y _{W185}	kN	da simulazione MBS	50.00	20.00					

Figura 6-1: Grandezze di input per il calcolo del prezzo del veicolo

In un'ulteriore area d'immissione vengono riportate le indicazioni sull'incertezza dei dati del veicolo che confluiscono nel calcolo e nella simulazione MBS. Tali dati sono necessari per il calcolo dei limiti inferiori di prezzo, impiegati per un'eventuale attribuzione a un gruppo di prezzi già esistente. Questa sezione è spiegata con maggiore dettaglio nel capitolo 8.

6.2. Calcolo delle grandezze di interazione

Sulla base delle grandezze di input vengono calcolate nella fase successiva grandezze intermedie che influenzano il danneggiamento del binario.

6.2.1. Forza dinamica alla ruota Q(V)

La forza dinamica alla ruota dipende dalla velocità V. Si applica la seguente relazione:

$$Q(V) = a_Q \cdot V + b_Q, \quad \text{con } V \text{ [kmh}^{-1}\text{]}$$

Come punto di partenza per la determinazione dei coefficienti a_Q e b_Q si applica il Railway Group Standard GM/TT0088 [3], laddove Q è equiparato alla forza P2 dello standard. Vengono applicate tutte le costanti (A_z, M_z, C_z, K_z) di cui allo standard GM/TT0088:

The P2 force shall be calculated using the following formula:

$$P_2 = Q + (A_z \cdot V_m \cdot M \cdot C \cdot K)$$

where

$$M = \left[\frac{M_v}{M_v + M_z} \right]^{0.5}$$

$$C = 1 - \left[\frac{\pi \cdot C_z}{4[K_z(M_v + M_z)]^{0.5}} \right]$$

$$K = (K_z \cdot M_v)^{0.5}$$

Q = maximum static wheel load (N)

V_m = maximum normal operating speed (m/s)

M_v = effective vertical unsprung mass per wheel (kg)

A_z = 0.020 rad
(total angle of vertical ramp discontinuity)

M_z = 245 kg
(effective vertical rail mass per wheel)

C_z = 55.4 x 10³ Ns/m
(effective vertical rail damping rate per wheel)

K_z = 62.0 x 10⁶ N/m
(effective vertical rail stiffness per wheel)

Formula 6-1: Direttiva di calcolo per P2 secondo GM/TT0088 [3]

Le equazioni e le costanti contenute nello standard GM/TT0088 possono essere riassunte in una formula nella quale vengono inserite la massa non sospesa per ruota m_u e la forza statica alla ruota Q₀.

Si ottengono così i coefficienti per la descrizione della forza dinamica alla ruota Q(V) in funzione dellavelocità.

$$Q(V) = Q_0 + V \cdot 0,0437445 \cdot \frac{\sqrt{m_R + 245} - 5,525910}{m_R + 245} \text{ in kN}$$

I coefficienti a_Q e b_Q per la formula

$$Q(V) = a_Q \cdot V + b_Q, \text{ con } V \text{ [kmh}^{-1}\text{]}$$

ammontano quindi a:

$$a_Q = 0.0437445 \cdot m_R \cdot \frac{\sqrt{m_R + 245} - 5,525910}{m_R + 245}, \text{ con } m_R \text{ [kg]}$$

$$b_Q = Q_0, \text{ con } Q_0 \text{ [kN]}$$

Formula 6-2: Calcolo dei coefficienti per la forza dinamica alla ruota Q(V)

6.2.1.1. Velocità di riferimento in rettilineo

Per il calcolo del prezzo relativo a sezioni con raggi di curvatura > 1200 m vengono impiegati sei intervalli di velocità. La velocità di riferimento da applicare per ciascun intervallo è definita nella seguente tabella.

Intervallo di velocità	Velocità di riferimento
[km/h]	[km/h]
V ≤ 80	75
80 < V ≤ 100	90
100 < V ≤ 120	110
120 < V ≤ 140	130
140 < V ≤ 160	150
160 < V ≤ 200	200

Tabella 6-1: Velocità di riferimento degli intervalli di velocità (R > 1200 m)

6.2.1.2. Velocità di riferimento in curva

Per le sezioni con raggi di curvatura ≤ 1200 m vengono definiti degli intervalli di raggi. I raggi di riferimento per i diversi intervalli sono calcolati sulla base della curvatura media delle stesse. Le velocità di riferimento per il calcolo della forza dinamica alla ruota dipendono dalla categoria di treno per la quale bisogna calcolare i prezzi dei veicoli. Nella tabella Excel vengono calcolati automaticamente per una sopraelevazione di 150 mm e sono documentati nella seguente tabella assieme alle accelerazioni trasversali applicate non equilibrate e/o le insufficienze di sopraelevazione.

Intervallo di raggi di curvatura	Raggio di riferimento	Velocità di riferimento		
		Categoria R, A, D aq 0,85 m/s ² (is 130 mm)	Categoria W aq 1,32 m/s ² (is 200 mm)	Categoria N aq 1,80 m/s ² (is 275 mm)
[m]	[m]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
R ≤ 300	270	80,04	89,73	98,65
300 < R ≤ 400	343	90,22	101,14	111,19
400 < R ≤ 600	480	106,73	119,64	131,53
600 < R ≤ 1200	800	137,78	154,46	169,80

Tabella 6-2: Velocità di riferimento per diversi intervalli di raggi e categorie di treno

La tabella Excel calcola la forza dinamica alla ruota massima in curva in relazione alla velocità massima ammessa del veicolo. Ciò significa che nell'intervallo $600 < R \leq 1200$ per un veicolo con $V_{amm} = 120$ km/h la velocità di riferimento ammonta quindi a 120 km/h anziché 137,63 km/h.

6.2.2. Superficie di contatto

Per valutare l'influsso della trazione si calcola la superficie di contatto al di sotto delle ruote condotte. Il calcolo si basa sulla semplice teoria di Hertz di validità generale descritta nel Dubbel [4]. Per la riproduzione delle incertezze dovute al sistema (come per es. lo sviluppo delle densità di trazione e la validità del risultato in curve con grandi raggi) il valore è ridotto del fattore 2/3.

Per il calcolo analitico della superficie di contatto si considera il veicolo fermo su binario rettilineo (raggio fungo della rotaia = 300 mm). È quindi possibile rinunciare al calcolo speciale delle penetrazioni elastiche per i contatti non ellittici e ricorrere, per maggiore semplicità, a un'apposita equazione sufficientemente precisa.

La superficie di contatto ellittica si calcola dalla grandezza dei due semiassi a e b:

$$A_{ruota} = \pi \cdot a \cdot b$$

I raggi principali di curvatura della rotaia sono R_{rot} e ∞ , quelli della ruota sono R_{ruota} e ∞ .

Ne deriva la seguente formula per il calcolo delle superfici:

$$A_{ruota} = \pi \cdot \xi \cdot \eta \cdot \left(\frac{3 \cdot Q_0}{E^* \left(\frac{1}{R_{rot}} + \frac{1}{R_{ruota}} \right)} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ con } E^* = \frac{E}{(1 - \nu^2)}$$

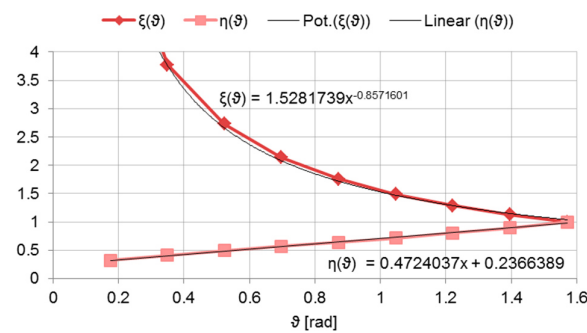
L'angolo ausiliario ϑ per il calcolo dei coefficienti ξ ed η si ottiene dai corrispondenti raggi di curvatura:

$$\vartheta = \arccos \left(\frac{|R_{ruota} - R_{rot}|}{R_{ruota} + R_{rot}} \right)$$

I valori nella tabella per ξ ed η possono essere indicativamente descritti tramite funzioni:

$$\xi(\vartheta) = \frac{1,5281739}{\vartheta^{0,8571601}}$$

$$\eta(\vartheta) = 0,4724037 \cdot \vartheta + 0,2366389$$



Con l'applicazione dei seguenti valori

$$R_{rot} = 0,3 \text{ m}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\nu = 0,3$$

e dopo l'inserimento delle funzioni si ottiene una formula per il calcolo della superficie di contatto. Quest'ultima viene a sua volta ancora moltiplicata per il fattore $\frac{2}{3}$ da applicare per il calcolo T_{pv} . Il valore di Q_0 va indicato in kN, quello di R_{ruota} in m. Si ottiene la superficie $A_{ruota,eff}$ in mm^2 .

$$A_{ruota,eff} = \frac{8,3593707 \cdot \vartheta + 4,1874191}{\vartheta^{0,8571601}} \cdot \left(\frac{Q_0}{0,3 + R_{ruota}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{con } \vartheta = \arccos \left(\frac{|R_{ruota} - 0,3|}{(R_{ruota} + 0,3)} \right), \quad Q_0 [\text{kN}], \quad R_{ruota} [\text{m}], \quad A_{ruota,eff} [\text{mm}^2]$$

Formula 6-3: Calcolo analitico della superficie di contatto ridotta

6.3. Calcolo dei coefficienti di danneggiamento

Nella fase successiva si applicano alle grandezze di interazione le diverse leggi di danneggiamento per calcolare i coefficienti di danneggiamento da D1 a D5.

6.3.1. Danneggiamento massiciata / spostamento rotaie D1= {Q³}

Per la relazione fra forza alla ruota verticale dinamica Q(V) e danneggiamento massiciata / spostamento rotaie vale quale conoscenza consolidata a livello internazionale il rapporto $D1 \sim Q^3$ [6]. Attraverso la scrittura dei coefficienti è possibile calcolare la grandezza di interazione e successivamente il danneggiamento per ogni velocità e ogni raggio di curvatura. Il potenziale di danneggiamento complessivo si ottiene dalla moltiplicazione per il numero di sale montate dello stesso tipo.

Per D1 ogni sala montata è considerata rilevante per il danneggiamento.

La formula di D1 è quindi:

$$D1 = n_{RS} \cdot Q(V)^3$$

Formula 6-4: Legge di danneggiamento D1 (danneggiamento massiciata e spostamento rotaie)

6.3.2. Difetto di rotaia del binario diritto D2= {Q^{1.2}}

Il rapporto fra la forza alla ruota verticale dinamica Q(V) e il valore di affaticamento da contatto per rotolamento in caso di sollecitazione mobile dei contatti $D2 \sim Q^{1.2}$ è una grandezza empirica accettata a livello internazionale [6]. Come per D1, il valore di D2 può essere calcolato. Il potenziale di danneggiamento complessivo si ottiene dalla moltiplicazione per il numero di sale montate dello stesso tipo.

Per D2 ogni sala montata è considerata rilevante per il danneggiamento.

La formula di D2 è quindi:

$$D2 = n_{RS} \cdot Q(V)^{1.2}$$

Formula 6-5: Legge di danneggiamento D2 (difetto di rotaia del binario diritto)

6.3.3. Difetto di rotaia del binario diritto dovuto a trazione D3= {T_{pv}}

Empiricamente l'indice della forza di trazione o Traction power value (T_{pv}) è considerato un indicatore dell'affaticamento da contatto per rotolamento indotto dalla trazione [6] sotto la ruota condotta. In primo piano è posta la densità di potenza che viene trasferita attraverso la superficie d'applicazione (somma delle superfici di contatto delle ruote condotte) con la massima potenza installata del veicolo. Non vengono messe in conto forze di trazione effettive o simili. Il potenziale di danneggiamento complessivo di una ruota e di un veicolo rimane inalterato, pertanto è possibile prescindere dalla moltiplicazione delle sale montate rilevanti per il danneggiamento.

La formula di D3 è quindi:

$$D3 = \alpha \cdot T_{pv} = \alpha \cdot \frac{P_{ruota}}{A_{ruota,eff}}$$

Salvo diversa indicazione, il coefficiente di sfruttamento α ha valore 1. In una successiva fase di precisazione, esso consente di considerare lo sfruttamento della potenza, quando per es. lo stesso veicolo circola come IR o S-Bahn. Al momento per il calcolo di D3 si procede come segue.

$$D3 = T_{pv} = \frac{P_{ruota}}{A_{ruota,eff}}, \text{ con } P_{ruota} [\text{kW}], A_{ruota,eff} [\text{mm}^2]$$

Formula 6-6: Legge di danneggiamento D3 (difetto di rotaia del binario diritto dovuto a trazione)

6.3.4. Difetto di rotaia e usura della rotaia in curva D4.1, D4.2 = {W_b}

Empiricamente l'energia di attrito applicata nel contatto ruota/rotaia è considerata un meccanismo comprovato che provoca l'affaticamento da contatto per rotolamento D4.1 (HeadChecking) o l'usura D4.2 in curva [6], [7]. L'energia specifica di attrito determinata mediante simulazioni MBS (v. capitolo 7) viene suddivisa mediante una funzione di valutazione fra usura, affaticamento da contatto per rotolamento o forme miste.

Il potenziale di danneggiamento complessivo si ottiene dalla moltiplicazione per il numero di sale montate di guida di uno stesso telaio degli organi di rotolamento, poiché solo queste sono considerate rilevanti per il danneggiamento.

Le formule di D4.1 e D4.2 sono:

$D4.1 = 0$,	per $W_b < 15 \text{ Nm/m}$ e $W_b \geq 175 \text{ Nm/m}$	
$D4.1 = n_{FW} \cdot (0.02 \cdot W_b - 0.3)$	per $15 \text{ Nm/m} \leq W_b < 65 \text{ Nm/m}$	
$D4.1 = n_{FW} \cdot (-W_b + 175)/110$	per $65 \text{ Nm/m} \leq W_b < 175 \text{ Nm/m}$	

Formula 6-7: Legge di danneggiamento D4.1 (affaticamento da contatto per rotolamento in curva)

$D4.2 = 0$,	per $W_b < 65 \text{ Nm/m}$	
$D4.2 = n_{FW} \cdot \frac{W_b - 65}{110}$	per $W_b \geq 65 \text{ Nm/m}$	

Formula 6-8: Legge di danneggiamento D4.2 (usura in curva)

6.3.5. Degrado dello scambio dovuto a forze verticali e orizzontali $D5 = \{Q_{W185}^2 + Y_{W185}^2\}^{0.5}$

Come indicazione delle sollecitazioni delle parti di scambi si considerano le sollecitazioni combinate degli scambi, composte da forze orizzontali (Y) e verticali (Q) [6].

La forza trasversale Y_{W185} della ruota principale esterna si ottiene dalla simulazione MBS di una corsa lungo una curva a S di 185 m (v. capitolo 7).

La forza verticale Q_{W185} viene definita per la massima velocità ammissibile V_{Wamm} per il transito su scambi in deviazione da 40 km/h (di norma 40 km/h) sulla base dei coefficienti della grandezza di interazione Q ($Q_{W185} = Q(V_{Wamm})$).

Il potenziale di danneggiamento complessivo si ottiene dalla moltiplicazione di D5 per il numero di sale montate di guida di uno stesso telaio degli organi di rotolamento. Queste sono considerate rilevanti per il danneggiamento.

La formula di D5 è:

$D5 = n_{FW} \cdot \sqrt{f5_1 \cdot Q(V_{Wamm})^2 + f5_2 \cdot Y_{W185}^2}$ I fattori $f5_1, f5_2$ consentono diverse ponderazioni del danno; attualmente sono impostati su 0,5. $D5 = n_{FW} \cdot \sqrt{0,5 \cdot Q(V_{Wamm})^2 + 0,5 \cdot Y_{W185}^2}$
--

Formula 6-9: Legge di danneggiamento D5 (danneggiamento scambio)

6.3.6. Potenziali di danneggiamento complessivi del veicolo

I coefficienti di danneggiamento da D1 a D5 vengono calcolati per ciascun tipo di organi di rotolamento del veicolo. I potenziali di danneggiamento complessivi per i diversi intervalli di velocità e di raggi di curvatura per il veicolo nel complesso (con eccezione di D3) si ottengono dalla somma di tutti i coefficienti di danneggiamento di tutti i tipi di organi di rotolamento (colonna O nel foglio di calcolo Excel).

$D_{J,I/R-Fascia,totale} = \sum_k D_{J,I/R-fascia,k}$ con j: 1, 2, 4.1, 4.2, 5, k: indice del tipo di organo di rotolamento

Formula 6-10: Calcolo del danneggiamento complessivo (D1, D2, D4.1, D4.2, D5) per intervallo

Se il veicolo dispone di organi di rotolamento a diversa trazione e da ciò derivano diversi valori per D3(T_{pv}), il calcolo del valore complessivo avviene con una media che considera il numero in questione di assi motori n_{TRS} .

$$T_{pv, totale} = \frac{\sum_k (n_{TRSk} T_{pv,k})}{\sum_i n_{TRSk}}, \text{ con } k: \text{indice del tipo di organo di rotolamento}$$

Formula 6-11: Calcolo del valore complessivo per T_{pv} (= D3)

6.4. Fattori di calibratura dei costi

A ogni tipo di danneggiamento (da D1 a D5) sono associati un intervento di manutenzione e i relativi costi di lavoro ed eliminazione (capitolo 2, Figura 2-1). Si tratta di costi strategici per l'eliminazione dei danni o la prevenzione degli stessi. Per la determinazione dei fattori di calibratura dei costi (da k1 a k5) si rimanda a [6]. I fattori di calibratura dei costi (colonna AE del calcolatore Excel del prezzo del veicolo) sono riassunti nella seguente tabella.

Inter- vallo	Fattori di calibratura dei costi					
	k1	k2	k3	k4.1	k4.2	k5
Conversione ai prezzi dei veicoli						
R<300	0,000000010785	0	0	0,081359599719	0,058656594313	0,000234518869
R300-400	0,000000002667	0	0	0,010953481857	0,023825333808	0,000234518869
R400-600	0,000000001556	0	0	0,010953481857	0,023825333808	0,000234518869
R600-1200	0,000000000949	0	0	0,010953481857	0	0,000234518869

Tabella 6-3: Panoramica dei fattori di calibratura dei costi

6.5. Calcolo dei prezzi dei veicoli

Per il calcolo dei costi di riferimento dei veicoli, i danneggiamenti complessivi da D1 a D5 vengono moltiplicati per i corrispondenti fattori di calibratura dei costi da k1 a k5 (colonna AC della tabella di calcolo Excel) e successivamente sommati per ciascun intervallo (v. Figura 6-2).

Per gli intervalli di velocità in rettilineo superiori alla velocità ammissibile per il veicolo non vengono calcolati i prezzi.

Successivamente i costi di riferimento dei veicoli vengono moltiplicati per il fattore di scala (v. capitolo 2.1). Il risultato corrisponde ai prezzi dei veicoli determinanti per il conteggio del prezzo della traccia.

Calcolo dei costi di riferimento del veicolo							
		addendi					nominale
T_{pv}	Cre_{Tpv}	CHF/km		k.D3			0.0074883
V0-80	Cre_{V0-80}	CHF/km	k.D1 _{V0-80}	k.D2 _{V0-80}	k.D3		0.0943495
V80-100	$Cre_{V80-100}$	CHF/km	k.D1 _{V80-100}	k.D2 _{V80-100}	k.D3		0.0994179
V100-120	$Cre_{V100-120}$	CHF/km	k.D1 _{V100-120}	k.D2 _{V100-120}	k.D3		0.1074675
V120-140	$Cre_{V120-140}$	CHF/km	k.D1 _{V120-140}	k.D2 _{V120-140}	k.D3		0.1171442
V140-160	$Cre_{V140-160}$	CHF/km	k.D1 _{V140-160}	k.D2 _{V140-160}	k.D3		
V>160	$Cre_{V>160}$	CHF/km	k.D1 _{V>200}	k.D2 _{V>200}	k.D3		
R<300	$Cre_{R<300}$	CHF/km	k.D1 _{R<300}			k.D4.1 _{R<300}	0.5511231
R300-400	$Cre_{R300-400}$	CHF/km	k.D1 _{R300-400}			k.D4.1 _{R300-400}	0.1966341
R400-600	$Cre_{R400-600}$	CHF/km	k.D1 _{R400-600}			k.D4.2 _{R400-600}	0.1573680
R600-1200	$Cre_{R600-1200}$	CHF/km	k.D1 _{R600-1200}			k.D4.2 _{R600-1200}	0.1257581

Fattore di scala	S			2.35
------------------	---	--	--	------

Calcolo dei prezzi dei veicoli				
				nominale
T_{pv}	C_{Tpv}	CHF/km	$Cre_{Tpv} * S$	0.0175975
V0-80	C_{V0-80}	CHF/km	$Cre_{V0-80} * S$	0.2217213
V80-100	$C_{V80-100}$	CHF/km	$Cre_{V80-100} * S$	0.2336321
V100-120	$C_{V100-120}$	CHF/km	$Cre_{V100-120} * S$	0.2525486
V120-140	$C_{V120-140}$	CHF/km	$Cre_{V120-140} * S$	0.2752889
V140-160	$C_{V140-160}$	CHF/km	$Cre_{V140-160} * S$	
V>160	$C_{V>160}$	CHF/km	$Cre_{V>160} * S$	
R<300	$C_{R<300}$	CHF/km	$Cre_{R<300} * S$	1.2951393
R300-400	$C_{R300-400}$	CHF/km	$Cre_{R300-400} * S$	0.4620901
R400-600	$C_{R400-600}$	CHF/km	$Cre_{R400-600} * S$	0.3698148
R600-1200	$C_{R600-1200}$	CHF/km	$Cre_{R600-1200} * S$	0.2955315

Figura 6-2: Costi di riferimento dei veicoli e prezzi dei veicoli per un veicolo esemplificativo nel calcolatore del prezzo in Excel

Nella prima riga della tabella dei prezzi dei veicoli il prezzo $C_{T_{pv}}$ generato da T_{pv} viene indicato separatamente. Si tratta di un componente sommario dei prezzi dei veicoli in rettilineo. L'indicazione separata consente il rimborso per i veicoli rimorchiati nel sistema di conteggio per il prezzo della traccia.

Se dalla verifica per la formazione dei costi di gruppo (v. capitolo 8) non emerge nessuna ulteriore attribuzione dei prezzi, questi sono i prezzi validi per il veicolo in questione.

7. Simulazione multicorpo

I seguenti paragrafi descrivono l'esecuzione di simulazioni multicorpo necessarie per determinare i valori dell'energia specifica di attrito W_b e la forza di guida sugli scambi Y_{W185} , che devono essere inseriti nel foglio di calcolo Excel (v. capitolo 6.1).

7.1. Modello multicorpo

7.1.1. Modellazione

Per il calcolo delle grandezze necessarie, il veicolo deve essere modellato in maniera tale da riprodurre tutte le sue caratteristiche rilevanti per il prezzo della traccia. Di norma, un modello realizzato per calcoli di verifica sotto il profilo della tecnica della circolazione soddisfa tali requisiti. Può eventualmente essere necessario modificare lo stato di carico.

In caso di veicoli con sistema ad assetto variabile o compensazione del rollio il dispositivo di regolazione attivo non deve essere considerato nelle simulazioni.

7.1.2. Peso / forza di contatto della ruota

Il modello corrisponde al carico definito nel capitolo 5.2 e per quanto riguarda le sale montate in esame presenta la forza di contatto della ruota (valore medio della ruota destra e sinistra, con una tolleranza dell'1%) impiegata nel calcolo del prezzo (capitolo 6.1).

7.1.3. Modello di binario

Un binario elastico con parametri secondo ERRI B176 [5].

La Figura 7-1 mostra i valori impiegati come standard per l'uso del modello di binario elastico.

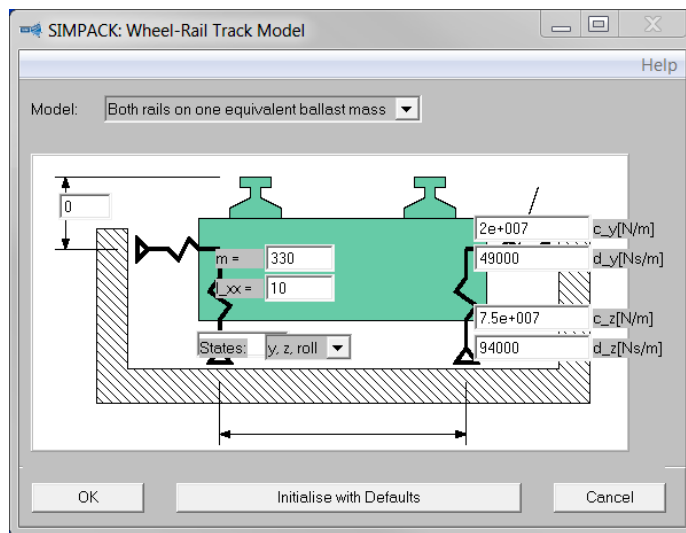


Figura 7-1: Modellazione del binario elastico (per es. in SIMPACK 8.9)

7.1.4. Contatto ruota-rotaia

La modellazione del contatto ruota-rotaia può variare a seconda del software di simulazione impiegato. Deve corrispondere allo stato della tecnica. Il contatto ruota-rotaia ellittico e non ellittico usato in SIMPACK da Dassault Systèmes³ può essere considerato come un punto di riferimento

Le seguenti condizioni quadro per il contatto ruota-rotaia valgono per tutte le simulazioni.

7.1.4.1. Profilo della ruota e della rotaia

La combinazione del profilo della ruota EN 13715 – **S 1002 / e32.5** con il profilo della rotaia EN 13674 – **60E1** è attualmente considerato lo standard in Svizzera. Affinché per tutti i veicoli valgano le stesse condizioni quadro, le simulazioni vengono svolte sempre con questa coppia di profili (nuovi profili teorici).

7.1.4.2. Misura dello scartamento e scartamento del binario

La misura dello scartamento delle sale montate ammonta a 1425 mm. Per lo scartamento del binariosi adotta la misura nominale di 1435 mm (l'allargamento dello scartamento nelle curve con $R \leq 275$ m viene trascurato).

7.1.4.3. Coefficiente d'attrito

Si applica un coefficiente d'attrito pari allo 0,3 fra ruota e rotaia (costante sull'intero profilo).

7.2. Simulazioni

Per le simulazioni va impiegato un sample rate a 100 Hz o maggiore.

7.2.1. Simulazioni per la determinazione dell'energia specifica di attrito W_b

7.2.1.1. Tracciato

I calcoli vengono eseguiti per diversi raggi di curvatura. Per la determinazione dell'energia specifica di attrito nei raggi di riferimento (v. Tabella 6-2) è necessario effettuare una simulazione degli stessi (270 m, 343 m, 480 m e 800 m). Per ottenere una migliore impressione sull'andamento dell'energia di attrito in funzione del raggio di curvatura, il rispettivo valore viene calcolato inoltre anche per i raggi che costituiscono i limiti dei quattro intervalli: 250 m, 300 m, 400 m, 600 m e 1200 m.

Viene simulata la corsa lungo curve a destra e a sinistra con una sopraelevazione pari a 150 mm.

Per il calcolo con SIMPACK sono disponibili in allegato i file dei tracciati (*track_cartographic/SBB_S-Curve_R250_u150.trc* ecc.). Le due curve sono raggruppate in un tracciato. Sono separate da un rettilineo intermedio e hanno entrambe tratti rettilinei all'inizio e alla fine. Il diagramma nella Figura 7-2 illustra l'andamento.

Il tratto rettilineo iniziale ha una lunghezza minima di 200 m. Le curve costanti hanno sempre una lunghezza di 600 m. Il rettilineo intermedio fra la curva a destra e la curva a sinistra ha una lunghezza di almeno 100 m, così come il tratto rettilineo alla fine del tracciato. La lunghezza delle curve di transizione delle rampe di sopraelevazione varia in funzione del raggio di curvatura.

³ www.simpack.com

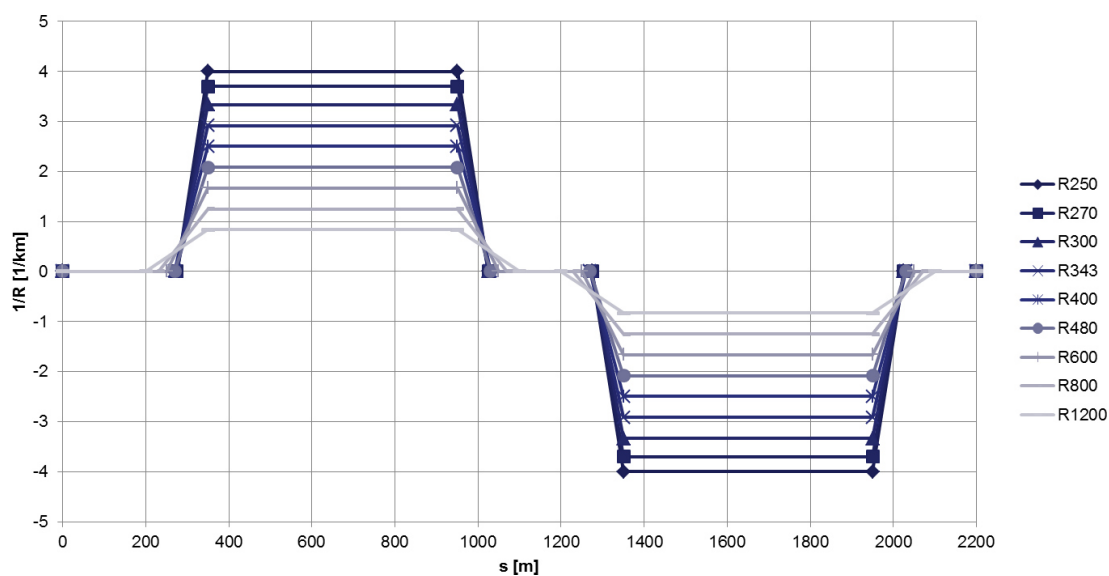


Figura 7-2: Andamento di curvatura dei tracciati proposti

La seguente tabella documenta nel dettaglio le caratteristiche dei singoli tratti del tracciato.

Raggio di cur- vatura	Lunghezze dei tratti				
	Inizio	Passaggio	Curva piena	Rettilineo inter- medio	Fine
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
250	275	75	600	250	175,0
270	275	75	600	250	175,0
300	275	75	600	250	175,0
343	270	80	600	240	170,0
400	270	80	600	240	170,0
480	270	80	600	240	170,0
600	250	100	600	200	150,0
800	230	120	600	160	130,0
1200	200	150	600	100	100,0

Tabella 7-1: Lunghezze degli elementi del tracciato

7.2.1.2. Anomalia della geometria del binario

La simulazione delle corse in curva avviene con anomalia della geometria del binario. Quest'ultima viene definita nel modulo (*track_excited/SBB_TrackExcitation_2000m.tre*) in formato SIMPACK quale anomalia relativa al binario (track-related) e può presentare i seguenti segni iniziali.

Posizione direzione (impulso laterale):
verticale):
sull'asse X):
Modifica scartamento:

positivo verso destra
positivo verso il basso
positivo in senso orario
non rilevante perché costantemente zero

La geometria del binario inizia dopo 200 m e presenta una distanza di fade in e fade out pari a 20 m.

È disponibile una sintesi del file di tracciato e dell'anomalia della geometria del binario in un database delle tracce (track-database-file, per es. *mbs_db_track/SBB_S-Curve_R250_u150_excited.sys*).

7.2.1.3. Velocità / forza di trazione

Le simulazioni vengono effettuate a velocità costante senza l'applicazione di coppie motrici sulle sale montate.

Per i diversi raggi di curvatura, a seconda della categoria di treno (R, A, D, W, N) per la quale il veicolo è omologato, vi sono disposizioni specifiche relative all'accelerazione trasversale non equilibrata (aq) e quindi alla velocità (v. anche capitolo 6.2.1.2). Tali disposizioni sono riportate nella Tabella 6-2.

La velocità massima di simulazione corrisponde alla velocità massima ammessa del veicolo; ciò significa che nella simulazione, in deroga alla Tabella 6-2 un veicolo di categoria A con una velocità massima pari a 120 km/h percorrerà le curve da 800 e 1200 m solo a 120 km/h.

Nel caso in cui il veicolo circoli in diverse categorie di treno, le simulazioni vengono effettuate per tutte le categorie rilevanti.

Intervallo di raggi di curvatura	Raggio Raggio di rif.	Velocità		
		Categoria R, A, D aq 0,85 m/s², (is 130 mm)	Categoria W aq 1,32 m/s², (is 200 mm)	Categoria N aq 1,80 m/s², (is 275 mm)
[m]	[m]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
R≤300	250	77,02	86,34	94,92
	<u>270</u>	80,04	89,73	98,65
	300	84,37	94,58	103,98
300<R≤400	<u>343</u>	90,22	101,14	111,19
	400	97,43	109,22	120,07
400<R≤600	<u>480</u>	106,73	119,64	131,53
	600	119,32	133,76	147,05
600<R≤1200	<u>800</u>	137,78	154,46	169,80
	1200	168,75	189,17	207,97

Tabella 7-2: Velocità di riferimento per diversi intervalli di raggi e categorie di treno

7.2.2. Simulazione per la determinazione della forza trasversale sugli scambi Y_{W185}

7.2.2.1. Tracciato

Il calcolo viene effettuato su una curva a S con raggi di 185 m senza curve di transizione e sopraelevazione e un rettilineo intermedio di 6 m. Ciò rappresenta il caso di un tipico collegamento dello scambio. Questo tracciato trova applicazione anche nei test per la valutazione del comportamento del veicolo sugli scambi in conformità all'allegato F della norma FprEN14363:2015 [2].

Per il calcolo con SIMPACK sono disponibili in allegato un file del tracciato (*track_carto- graphic/SBB_S-Curve_Switch_R185_u000.trc*) e un database dei tracciati (*mbs_db_track/SBB_S-Curve_Switch_R185_u000.sys*).

Il tratto rettilineo iniziale ha una lunghezza di 200 m. Si allaccia a una curva a destra con una lunghezza di 20,5 m. Dopo un rettilineo intermedio di 6 m segue una curva a sinistra, anch'essa lunga 20,5 m. Il tracciato termina con un tratto rettilineo lungo 100 m. Il seguente diagramma ne illustra l'andamento.

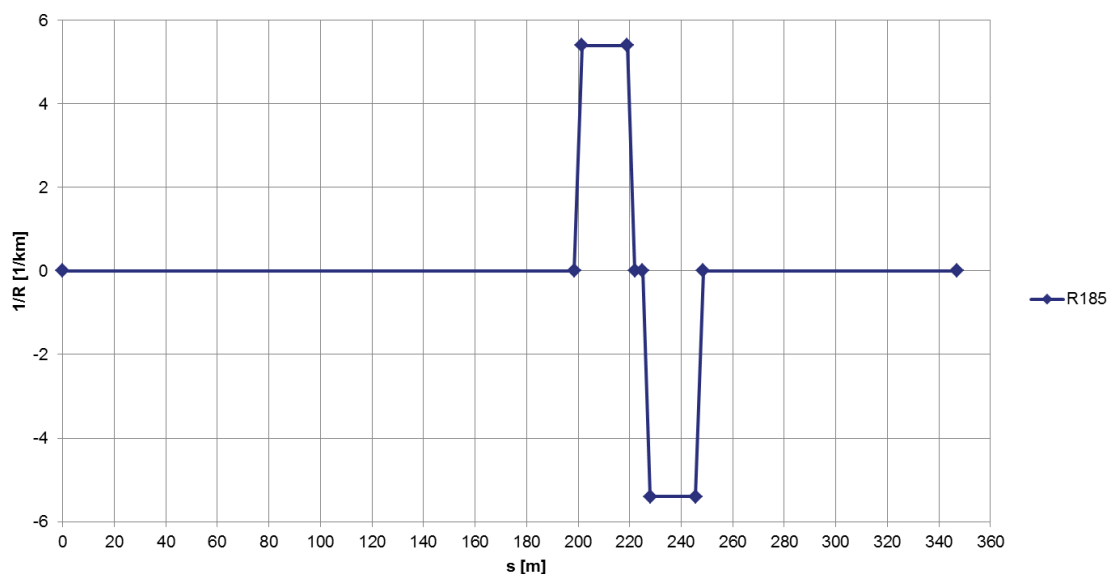


Figura 7-3: Andamento della curvatura del tracciato sugli scambi

Sul tracciato non sono modellate curve di transizione. Il passaggio fra rettilineo e curva è realizzato in SIMPACK con una «smoothing section», per la cui mezza lunghezza viene selezionato un valore pari a 1,5 m.

7.2.2.2. Anomalia della geometria del binario

Non viene considerata alcuna anomalia della geometria del binario.

7.2.2.3. Velocità / forza di trazione

Le simulazioni vengono effettuate alla velocità costante di 40 km/h senza l'applicazione di coppie motrici sulle sale montate.

Nel caso in cui per il veicolo sia prevista una limitazione della velocità di esercizio per il transito sugli scambi (per es. massimo 30 km/h) è possibile utilizzare questa velocità ridotta.

7.2.3. Modelli SIMPACK

La seguente tabella riporta i file relativi al presente documento.

Cartella	Nome del file	Descrizione
track_cartographic	SBB_S-Curve_R250_u150.trc	Dati dei tracciati per le simulazioni per la determinazione dell'energia specifica di attrito W_b
	SBB_S-Curve_R270_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R300_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R343_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R400_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R480_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R600_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R800_u150.trc	
	SBB_S-Curve_R1200_u150.trc	
track_cartographic	SBB_S-Curve_Switch_R185_u000.trc	File del tracciato per la simulazione per la determinazione della forza trasversale sugli scambi Y_{W185}
track_excitated	SBB_TrackExcitation_2000m.tre	Anomalia della geometria del binario per tutte le simulazioni a eccezione della corsa sugli scambi

mbs_db_track	SBB_S-Curve_R250_u150_excitated.sys	SIMPACK «track database file» per le simulazioni per la determinazione dell'energia specifica di attrito W_b (tracciato e anomalia della geometria del binario)
	SBB_S-Curve_R270_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R300_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R343_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R400_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R480_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R600_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R800_u150_excitated.sys	
	SBB_S-Curve_R1200_u150_excitated.sys	
mbs_db_track	SBB_S-Curve_Switch_R185_u000.sys	SIMPACK «track database file» per la simulazione per la determinazione della forza trasversale sugli scambi Y_{W185}

Tabella 7-3: Elenco dei modelli SIMPACK

Si tratta di file di testo che possono essere utilizzati direttamente per le simulazioni con SIMPACK. In altri programmi di simulazione i tracciati e la geometria del binario devono essere realizzati secondo i modelli. Lo stesso vale nel caso in cui si desideri un'altra descrizione del binario in SIMPACK.

Qualora il modello di veicolo richieda lunghezze diverse rispetto ai modelli all'inizio e alla fine del tracciato, queste ultime possono essere modificate. Le modifiche devono essere considerate per le valutazioni.

7.3. Valutazione

7.3.1. Valutazione dell'energia specifica di attrito W_b

L'energia specifica di attrito W_b (definita anche T_y nella bibliografia) è il prodotto di forze di slittamento T_e slittamenti v nel contatto ruota-rotaia ed è espressa nell'unità di misura Nm/m. Il calcolo è fatto secondo la formula: $W_b = |T_{xvx}| + |T_{yvy}|$. La coppia di perforazione e lo slittamento di perforazione non sono presi in considerazione, poiché il calcolo non è disponibile in tutti i modelli di contatto. Così, una comparabilità dei calcoli è possibile.

La valutazione dell'energia specifica di attrito avviene senza applicazione di filtri nei settori delle curve piene. Per la curva a destra viene preso in considerazione il tratto da 400 a 900 m, mentre per la curva a sinistra quello da 1400 m a 1900 m (in caso di applicazione del tracciato descritto nel capitolo 7.2.1.1). Su ciascuno di questi tratti viene calcolato il valore medio per la ruota esterna.

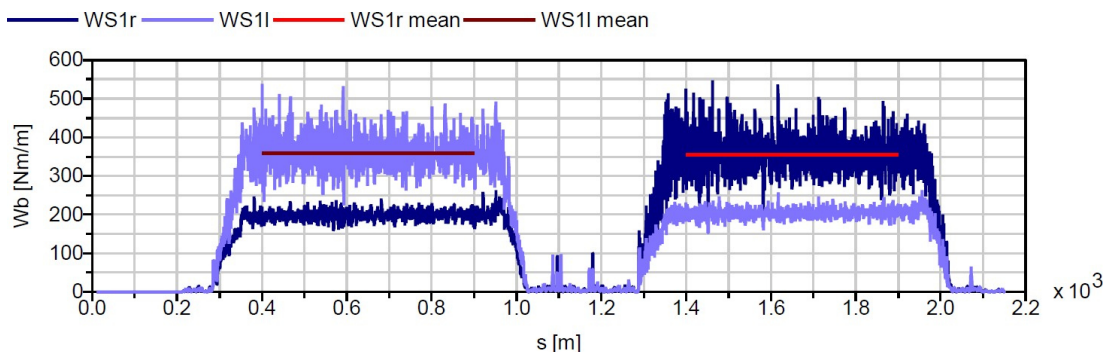


Figura 7-4: Risultato di una simulazione per la valutazione di W_b

Si calcola la media dei due valori per la curva a destra e la curva a sinistra. In questo modo, sulla base dei calcoli delle nove simulazioni si ottengono nove valori di W_b per ogni sala montata rilevante. Tali valori vengono documentati in una tabella dei risultati e raffigurati in un diagramma lungo il raggio di curvatura (Figura 7-5).

Per il calcolo dei prezzi dei veicoli sono necessari valori W_b per i raggi di riferimento di 270, 343, 480 e 800 m (evidenziati in rosso nella Figura 7-5). I risultati per gli altri raggi di curvatura servono a scopo di verifica. In caso di comportamento normale del veicolo i valori W_b dei raggi di riferimento si collocano all'incirca fra

i valori calcolati per i rispettivi raggi limite degli intervalli (per es. $W_{b,R270} \approx (W_{b,R250} + W_{b,R300})/2$). In questo caso i valori W_b dei raggi di riferimento vengono utilizzati direttamente per il calcolo del prezzo.

Nel caso in cui il valore medio dei valori W_b dei raggi limite dovesse scostarsi significativamente dal valore calcolato per il raggio di riferimento, i risultati vengono analizzati in maniera più approfondita, definendo un valore plausibile di W_b per gli intervalli di raggi corrispondente. Questo caso potrebbe eventualmente essere ipotizzabile in presenza di strutture degli organi di rotolamento in cui speciali elementi influenzano l'impostazione radiale delle sale montate in funzione del raggio di curvatura, producendo in questo modo discontinuità nella funzione W_b . Per un'analisi più precisa di questo comportamento speciale potrebbero essere necessarie ulteriori simulazioni con altri raggi di curvatura.

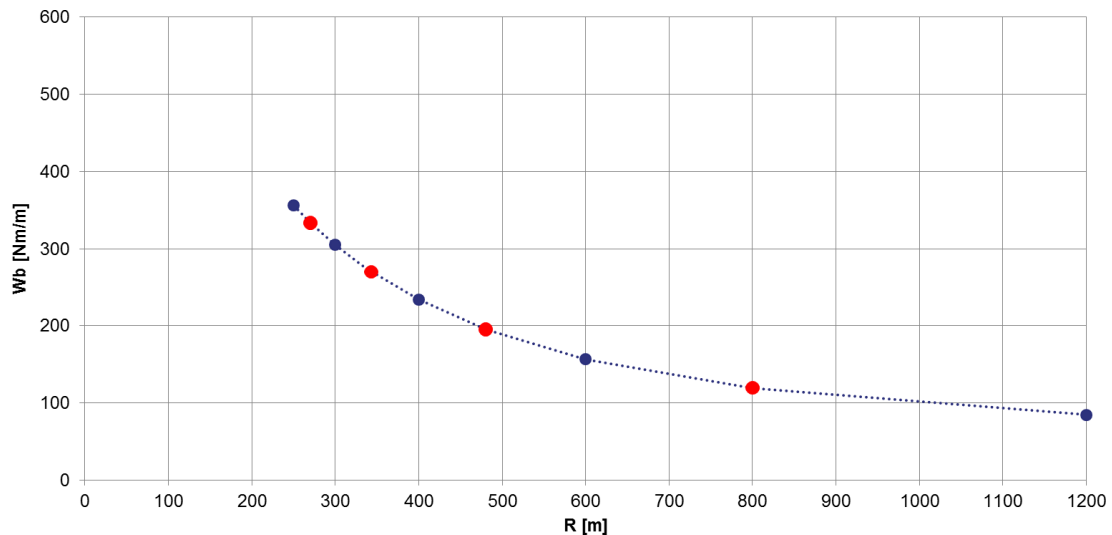
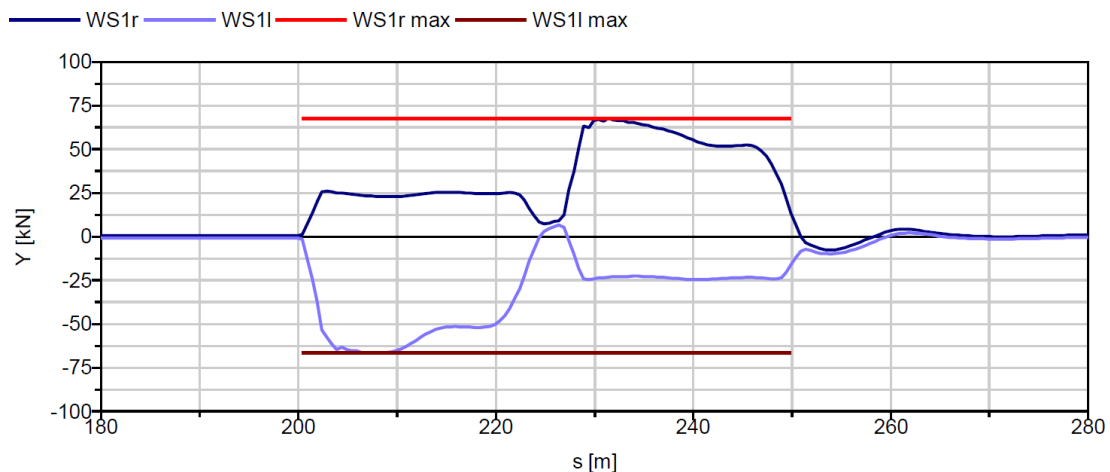


Figura 7-5: Risultati di W_b per diversi raggi di curvatura (raggi di riferimento evidenziati in rosso)

All'occorrenza i valori possono essere utilizzati per calcolare in maniera approssimativa l'andamento di W_b attraverso un'apposita funzione. Qualora in futuro il calcolo del prezzo dovesse rendere necessaria una diversa suddivisione degli intervalli di raggi, grazie a questa funzione sarebbe possibile calcolare nuovi valori per altri raggi di riferimento.

7.3.2. Valutazione della forza trasversale sugli scambi Y_{W185}

Per determinare Y_{W185} vengono valutate le forze Y della sala montata di guida. A tal fine le forze vengono filtrate mediante la procedura della media mobile con una lunghezza media pari a 2,0 m e una lunghezza di avanzamento pari a 0,5 m. La Figura 7-6 mostra l'andamento delle forze per la ruota destra e sinistra della sala montata di guida. Per entrambe le ruote viene determinato il valore massimo assoluto. Y_{W185} è il maggiore dei due valori.



7.4. Documentazione delle simulazioni multicorpo

7.4.1. Descrizione del modello

Nella descrizione del modello viene indicato il software di simulazione multicorpo impiegato (inclusa la versione) e viene illustrato il modello MBS. Nel caso in cui i calcoli non vengano effettuati con SIM- PACK, può essere necessario descrivere dettagliatamente il programma e in particolare la modellazione del contatto ruota-rotaia impiegata al suo interno. Bisogna dimostrare che il software utilizzato corrisponde allo stato della tecnica nel campo delle simulazioni dei veicoli ferroviari (per es. mediante simulazioni benchmark).

Anche quando si usa SIMPACK, le impostazioni selezionate per il contatto ruota-rotaia sono documentate (ad esempio "elastico equivalente" o "elastico discreto") e giustificate se necessario.

In riferimento al modello viene descritto il livello di modellazione. Occorre spiegare se vengono adottate semplificazioni tecniche, per es. mediante la sintesi di elementi e la determinazione di rigidità sostitutive. Nello specifico vengono descritte le particolarità della guida degli assi come navigatori, ancoraggi a croce ecc. Nel caso degli elementi meccatronici (per es. per l'inclinazione della cassa o il controllo degli organi di rotolamento) si affronta la relativa modellazione.

7.4.2. Set di parametri di modellazione

Il set di parametri di modellazione descrive tutti gli elementi impiegati nel modello con i relativi parametri. Sulla base di questa descrizione deve essere possibile ricostruire a posteriori la modellazione. Mediante i risultati della simulazione del modello è possibile verificare la plausibilità dei valori calcolati.

In allegato (capitolo 12) è riportato un esempio di set di dati di questo tipo.

7.4.3. Rapporto di calcolo

Il rapporto di calcolo documenta le forze di contatto delle ruote del modello (vedi 7.1.2) e le confronta con i risultati del verbale di pesatura. Per i veicoli per cui bisogna considerare un carico si effettua un confronto sulla pesatura con un modello del veicolo vuoto. Vengono documentate le forze di contatto delle ruote del veicolo vuoto e carico.

Il controllo della plausibilità del modello viene effettuato mediante un'analisi degli autovalori. Gli autovalori (frequenze smorzamento di Lehr) vengono documentati fino a 20 Hz.

Nel caso in cui il tracciato sia stato modificato per le simulazioni specifiche del prezzo della traccia (capitolo 7.2), questo viene spiegato.

I risultati delle simulazioni vengono fra l'altro raffigurati in diagrammi come quelli riportati nel capitolo 7.3. Sono attese le seguenti rappresentazioni dei risultati.

- Grafici con i risultati delle sale montate di guida rilevanti:
 - $W_b(s)$ (simile a Figura 7-4)
 - $Y_{W185}(s)$ (simile a Figura 7-6)
- Rappresentazione $W_b(R)$ (simile a Figura 7-5)
- Tabella riepilogativa dei risultati W_b

Il rapporto contiene informazioni sulle persone coinvolte nel calcolo:

- nome
- dati di contatto
- qualifica (v. anche capitolo 3.3.1.1)
- progetti di riferimento

7.4.4. File con i risultati

I risultati di tutte le simulazioni vengono consegnati in formato digitale come dati ASCII, file SIMPACK-sbr o MATLAB-mat. Le grandezze simulate contenute senza filtri al loro interno sono elencate nella Tabella 7-4.

Grandezze di simulazione	Denominazione	Unità
Grandezze globali		
Coordinata temporale	t	s
Coordinata spaziale	s	m
Velocità relativa	vrel	m/s
Grandezze ruota-rotaia (per tutte le sale montate)		
Angolo di attacco	alpha	ruota
Forza verticale	Q	N
Forza laterale	Y	N
Forza laterale / forza verticale	Y/Q	-
Forza di slittamento longitudinale	Tx	N
Forza di slittamento trasversale	Ty	N
Slittamento longitudinale	nux	-
Slittamento trasversale	nuy	-
Accelerazioni		
Accelerazione trasversale a livello del binario	aq	m/s ²
Accelerazione trasversale nella cassa sopra l'organo di rotolamento	ay	m/s ²
Accelerazione verticale nella cassa sopra l'organo di rotolamento	az	m/s ²

Tabella 7-4: Elenco delle grandezze di simulazione nei file con i risultati

L'eventuale ricorso a denominazioni o unità di misura diverse viene per es. documentato nel rapporto di calcolo.

8. Calcolo dei costi di gruppo

8.1. Contesto e principi fondamentali

8.1.1. Incertezze relative ai dati dei veicoli

Il calcolo dei costi richiede la conoscenza dei parametri dei veicoli. Quest'ultima non è tuttavia caratterizzata dalla stessa qualità per ogni veicolo. In particolare per il parco rotabile esistente meno recente i dati di input possono eventualmente presentare un'attendibilità ridotta, visto che i parametri dei veicoli necessari per il calcolo non sono completamente documentati. I dati sono pertanto spesso soggetti a una stima qualificata. Quanto più recenti sono i veicoli, tanto minore è la problematica dello stato della documentazione. Un costruttore di veicoli ha un accesso preferenziale ai dati del proprio veicolo. Nel corso degli anni di esercizio, tuttavia, alcune grandezze possono discostarsi dalle indicazioni originali del costruttore. La sostituzione dei componenti può ad esempio comportare una modifica del peso in servizio.

I seguenti parametri presentano le massime incertezze o la massima influenza sul calcolo dei costi e la loro attendibilità deve pertanto essere controllata con particolare attenzione.

- Massa del veicolo (peso in servizio)
- Massa non sospesa
- Rigidezza longitudinale della guida degli assi
- Ammortizzazione antiserpeggio
- Momento di inerzia di massa degli organi di rotolamento attorno all'asse verticale
- Coefficienti d'attrito dei componenti interessati

Vengono creati gruppi di veicoli con costi identici quando in tutti gli intervalli di velocità e raggi i relativi costi di riferimento sono molto vicini. Il motivo di questa procedura è la considerazione secondo cui non è possibile escludere con certezza che le differenze marginali dei costi non siano motivate a livello tecnico ma derivino piuttosto dall'incertezza o dall'oscillazione dei parametri di input.

8.1.2. Effetti dell'incertezza dei dati sul calcolo dei costi

Per quanto riguarda la forza di contatto della ruota Q_0 e la massa non sospesa m_u , l'influenza che la loro modifica ha sui costi può essere ricostruita direttamente nei calcoli analitici. Per le grandezze ottenute dalla simulazione MBS, gli effetti di una modifica del parametro su W_b e Y_{W185} sono stati definiti sulla base dei veicoli di riferimento e di simulazioni selezionate. Nel caso in cui una modifica del parametro comporti una riduzione del danneggiamento si ottengono i fattori indicati nella Tabella 8-1 per le grandezze di input.

I fattori complessivi per W_b e Y_{W185} vengono calcolati moltiplicando i fattori parziali rilevanti. In questo modo si accetta che nella stima dei valori nominali di tutti i parametri di influenza sia stato compiuto un errore a svantaggio del veicolo. Attraverso la moltiplicazione per i fattori, le grandezze di input vengono cambiate tanto da far sì che un nuovo calcolo dei costi determini un limite inferiore per i costi di riferimento dei veicoli.

Mediante la stessa procedura è possibile anche determinare un limite superiore per i costi di riferimento dei veicoli. Il fattore per il limite superiore è simmetrico a 1 e viene calcolato con la formula $f_o = 2 - f_u$ (per es. il fattore superiore per Q_0 con uno scostamento del 2,5% è pari a: $2 - 0,975 = 1,025$).

Questo limite superiore è stato utilizzato per la creazione di gruppi di costo in cui vengono riuniti veicoli con caratteristiche simili.

Parametro di influenza		Fattori per le grandezze di input			
		Q_0	m_u	W_b	Y_{W185}
Scostamento peso in servizio					
- Nessuna differenza fra le serie, nuova costruzione	1,0%	0,99000		0,99236	0,99500
- Veicoli vecchi con refit	2,5%	0,97500		0,98090	0,98750
- Veicoli vecchi con refit, diverse ITF	5,0%	0,95000		0,96180	0,97500
Incertezza della massa non sospesa					
- Sala portante con freno a ceppo	0%		1,00000		
- Sala portante con freno a disco	5%		0,95000		
- Trasmissione completamente ammortizzata	8%		0,92000		
- Trasmissione parzialmente ammortizzata / non ammortizzata	15%		0,85000		
Rigidità longitudinale della guida degli assi					
- $c_x \geq 30$ kN/mm				0,98000	1,00000
- $15 \text{ kN/mm} \leq c_x < 30 \text{ kN/mm}$				0,97900	1,00000
- $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15 \text{ kN/mm}$				0,93200	1,00000
- $c_x < 8 \text{ kN/mm}$				0,88700	0,99200
Ammortizzazione antiserpeggio					
- Nessun ammortizzatore antiserpeggio o curva caratteristica nota con precisione					1,00000
- Curva caratteristica stimata					0,97400
Momento di inerzia di massa degli organi di rotolamento attorno all'asse verticale					
- Dati esatti da CAD					0,98860
- Dati stimati					0,98340
Coefficiente d'attrito degli elementi di frizione					
- Nessun elemento di frizione				1,00000	1,00000
- $\mu < 0,08$				0,97000	0,95730
- $0,08 \leq \mu < 0,15$				0,94700	0,92980
- $\mu \geq 0,15$				0,91600	0,90720

Tabella 8-1: Matrice per i fattori delle grandezze di input per il calcolo del limite inferiore dei costi dei veicoli

8.1.3. Costi di gruppo iniziali del prezzo di base in funzione dell'usura con veicoli esistenti

Per i veicoli di un gruppo di costo valgono i seguenti principi.

- La categoria di veicolo (v. capitolo 5.1) è identica,
- Il numero di sale montate è identico,
- La categoria di treno e la velocità massima sono identiche,
- In tutte le categorie di velocità e raggi di curvatura presentano un comportamento di danneggiamento simile e quindi costi di riferimento del veicolo simili.

Per determinare i costi dei veicoli esistenti i veicoli che soddisfacevano questi criteri sono stati analizzati per quanto riguarda i relativi limiti superiori e inferiori dei costi di riferimento. Sono stati loro assegnati nuovi costi di riferimento quando i loro costi nominali rientravano – in tutti e dieci gli intervalli di velocità e raggi di curvatura – nei limiti dei costi massimi e minimi di un altro veicolo.

La Figura 8-1 illustra questa procedura: i costi nominali del veicolo B si situano all'interno dei limiti di costo del veicolo A e i costi nominali del veicolo D all'interno dei limiti del veicolo B. Tale situazione è rappresentata a titolo esemplificativo negli intervalli 1 (V0-80) e 2 (V80-100) e si verifica anche in tutti gli altri intervalli. Nel caso dei veicoli E ed F i costi nominali rientrano all'interno dei limiti di un altro veicolo solo nell'intervallo 1. Per l'intervallo 2 la condizione non è soddisfatta. Il veicolo C non trova alcuna corrispondenza con altri veicoli.

I nuovi costi di gruppo sono la relativa media ponderata sotto il profilo chilometrico dei singoli costi di riferimento dei veicoli. I costi di gruppo vengono fissati unicamente per i veicoli in circolazione e non vengono più modificati dai nuovi veicoli.

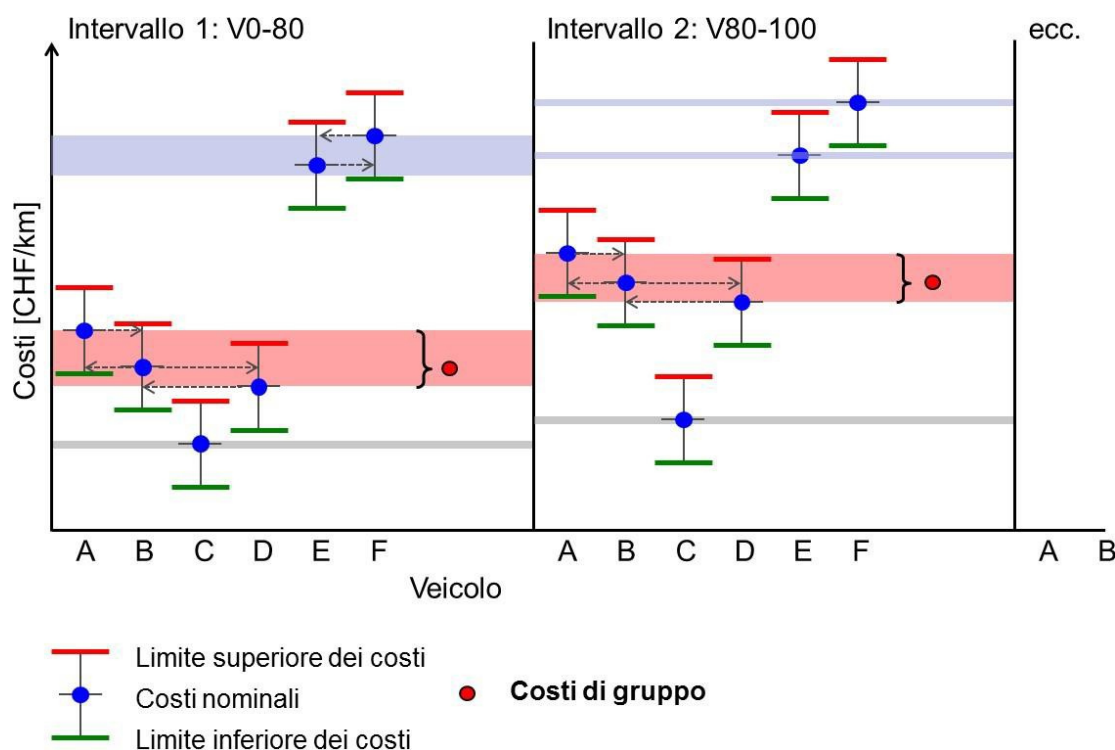


Figura 8-1: Regola per la definizione dei costi di gruppo

8.1.4. Attribuzione a gruppi di costi per nuovi veicoli

Per un veicolo per il quale i costi di riferimento vengono ricalcolati vi è la possibilità di recuperare i costi di riferimento di un veicolo esistente. A differenza dei costi di gruppo iniziali, nell'esercizio operativo del parco rotabile esistente i limiti superiori e inferiori di costo non vengono pubblicati. La verifica della composizione dei costi avviene pertanto in maniera semplificata sulla base delle sole grandezze distintive del veicolo nuovo.

Se sono rispettati i primi due principi dei gruppi di costo (stessa categoria e stesso numero di sale montate) si verifica se i costi di riferimento di un veicolo esistente rientrano all'interno del 50% del limite superiore e del 100% di quello inferiore del veicolo in esame. Se ciò vale per tutte e dieci le gli intervalli, il nuovo veicolo assume i costi del veicolo esistente.

Nell'esempio riportato nella Figura 8-2, nell'intervallo 1 i costi dei veicoli B e D rientrano fra il 50% del limite superiore e il 100% del limite inferiore del nuovo veicolo; nell'intervallo 2 ciò vale per i veicoli A e

D. La condizione viene pertanto soddisfatta in entrambi gli intervalli solo dai costi del veicolo D. Pre-supponendo che ciò avvenga anche negli altri intervalli, al nuovo veicolo vengono assegnati i costi del veicolo D.

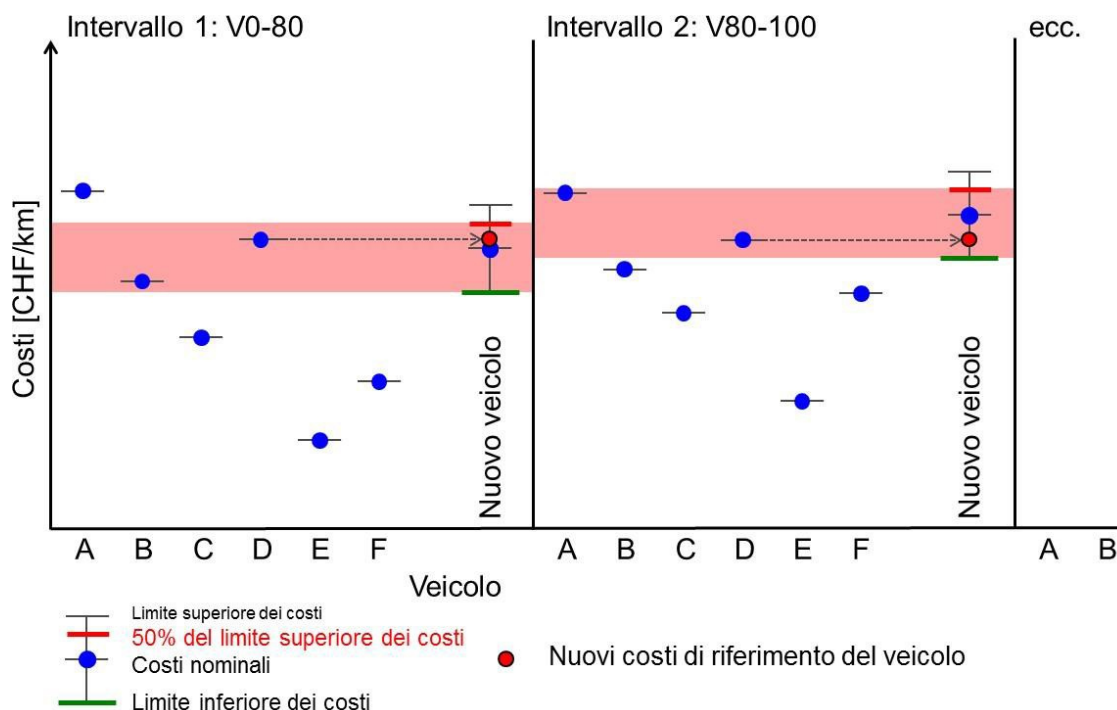


Figura 8-2: Regola per l'adozione dei costi di riferimento di un veicolo esistente in caso di veicoli nuovi

Il motivo della barra asimmetrica è il seguente: se un veicolo nuovo può adottare i costi di riferimento di un veicolo esistente con costi nominali più bassi, Infrastruttura sostiene al 100% la differenza tra i due costi nominali. Il veicolo ottiene un prezzo migliore di quanto dovrebbe (v. Figura 8-2: intervallo 2, nuovo veicolo). Per contro, un veicolo può anche ottenere un prezzo più elevato rispetto a quanto dovrebbe essere a livello nominale. In questo caso devono essere suddivisi in parti uguali i rischi che si verifichino i massimi scostamenti, così come la differenza per ITF e GI.

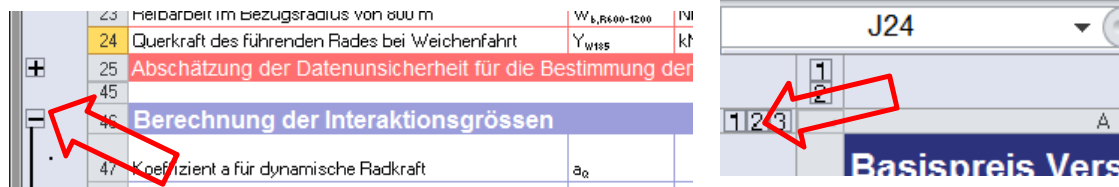
8.1.5. Costi significativi all'interno di una famiglia di veicoli

Il prezzo di base in funzione dell'usura incentiva i piani veicoli, ma non le caratteristiche di dotazione. Sulla base di questo principio, i veicoli con la stessa progettazione vengono raggruppati in una famiglia con un tipo di veicolo. Così fra l'altro non avviene alcuna differenziazione fra la 1^a e la 2^a classe di carrozza per i treni passeggeri. Una suddivisione più dettagliata è esclusa già solo dal conteggio ancora controllabile dei carri merci con salti di classe di 4 t di carico per asse. In linea di principio, tuttavia, anche all'interno di una famiglia di veicoli gli scostamenti (per es. dei pesi degli stessi) possono diventare tanto significativi da rendere insostenibile un raggruppamento.

Se la somma di tutti i costi di riferimento basati su intervalli di velocità e raggi di curvatura di un singolo veicolo della famiglia differisce di oltre il 5% dai costi raggruppati della famiglia è giustificata l'introduzione di un tipo di veicolo a parte. Il principio non vale quando vengono realizzati provvedimenti costruttivi sull'organo di rotolamento nell'ottica della riduzione delle sollecitazioni. Se gli effetti sui costi sono inferiori al 5%, devono essere adottati accordi bilaterali con il servizio specializzato Prezzi dei veicoli.

8.2. Attribuzione dei costi per un nuovo veicolo

Per determinare i limiti di costo inferiori e superiori è necessario l'inserimento dell'incertezza dei dati. Nello strumento Excel questa sezione è nascosta tramite raggruppamento affinché la tabella rimanga chiara per il calcolo dei costi nominali. La sezione può essere aperta



lateralmente cliccando su **+** o **2** (Figura 8-3).

Figura 8-3: Apertura dei raggruppamenti nascosti in Excel

Nella sezione relativa alle informazioni sull'incertezza dei dati (Figura 8-4) si trovano elenchi di sele-zione con cui definire i dati rilevanti.

Stima dell'incertezza dei dati per la determinazione dei limiti di prezzo				
Scostamento peso in servizio		- nessuna differenza fra le serie, nuova costruzione: 1% - veicoli vecchi con refit: 2.5% - veicoli vecchi con refit, diverse ITF: 5%	2.5%	2.5%
Incertezza relativa alla massa non sospesa in base al tipo di trasmissione / sala montata		Disponibili dati di misurazione precisi: 0%		
		Dati esatti non disponibili: - sala portante con freno a ceppo: 0% - sala portante con freno a disco: 5% - trasmissione completamente ammortizzata: 8% - trasmissione parzialmente ammortizzata / non ammortizzata: 15%	8%	5%
Rigidità longitudinale della guida degli assi		- $c_x \geq 30$ kN/mm: 40 kN/mm - $15 \text{ kN/mm} \leq c_x < 30$ kN/mm: 20 kN/mm - $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15$ kN/mm: 10 kN/mm - $c_x < 8$ kN/mm: 5 kN/mm	20 kN/mm	10 kN/mm
		- nessun ammortizzatore antiserpeggio: 0% - curva caratteristica nota con precisione: 0% - curva caratteristica stimata: 20%	20%	0%
Incertezza relativa all'ammortizzazione antiserpeggio Incertezza relativa al momento di inerzia di massa dell'organo di rotolamento attorno all'asse verticale		- dati esatti da CAD: 20% - dati stimati: 40%	40%	40%
		- nessun elemento di frizione: 0.00 - $\mu < 0.08$: 0.05 - $0.08 \leq \mu < 0.15$: 0.10 - $\mu \geq 0.15$: 0.20	0.00	0.00
Coefficiente d'attrito degli elementi di frizione				

Figura 8-4: Inserimento dell'incertezza dei dati nel foglio di calcolo Excel

Sono disponibili le seguenti possibilità di selezione:

Parametro di influenza	Descrizione	Selezione
Scostamento peso in servizio	- Nessuna differenza fra le serie, nuova costruzione	1,0%
	- Veicoli vecchi con refit	2,5%
	- Veicoli vecchi con refit, diverse ITF	5%
Incertezza relativa alla massa non sospesa in base al tipo di trasmissione / sala montata	- Sono disponibili dati di misurazione precisi	0%
	- Sala portante con freno a ceppo	0%
	- Sala portante con freno a disco	5%
	- Trasmissione completamente ammortizzata	8%
	- Trasmissione parzialmente ammortizzata / non ammort.	15%
Rigidità longitudinale della guida degli assi	- $c_x \geq 30$ kN/mm	40 kN/mm
	- $15 \text{ kN/mm} \leq c_x < 30$ kN/mm	20 kN/mm
	- $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15$ kN/mm	10 kN/mm
	- $c_x < 8$ kN/mm	5 kN/mm
Incertezza relativa all'ammortizzazione antiserpeggio	- Nessun ammortizzatore antiserpeggio	0%
	- Curva caratteristica nota con precisione	0%
	- Curva caratteristica stimata	20%
Incertezza relativa al momento di inerzia di massa degli organi di rotolamento attorno all'asse verticale	- Dati esatti da CAD	20%
	- Dati stimati	40%

Parametro di influenza	Descrizione	Selezione
Coefficiente d'attrito degli elementi di frizione	- Nessun elemento di frizione	0,00
	- $\mu < 0,08$	0,05
	- $0,08 \leq \mu < 0,15$	0,10
	- $\mu \geq 0,15$	0,20

Tabella 8-2: Possibilità di selezione per l'inserimento dell'incertezza dei dati

I fattori per la modifica delle grandezze di input vengono definiti automaticamente, utilizzando i valori della Tabella 8-1. I fattori per W_b e Y_{W185} vengono determinati moltiplicando i fattori parziali. Per visualizzare quest'area è necessario aprire il raggruppamento.

		fattore fu		fattore fo	
Fattore per Q0	$f_{u0}Q_0$	0.9750	0.9750	1.0250	1.0250
Fattore per mu	$f_{u0}m_u$	0.9200	0.9500	1.0800	1.0500
Fattore parziale per Wb da scostamento peso in servizio	$f_{u0}W_b\Sigma m$	0.9809	0.9809	1.0191	1.0191
Fattore parziale per Wb da guida degli assi	$f_{u0}W_bC_x$	0.9790	0.9320	1.0210	1.0680
Fattore parziale per Wb da elementi di frizione	$f_{u0}W_b\mu$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Fattore per Wb	$f_{u0}W_b$	0.9603	0.9142	1.0405	1.0884
Fattore parziale per YW185 da scostamento peso in servizio	$f_{u0}Y_{W185}\Sigma m$	0.9875	0.9875	1.0125	1.0125
Fattore parziale per YW185 da guida degli assi	$f_{u0}Y_{W185}C_x$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Fattore parziale per YW185 da ammortizzazione antiserpeggio	$f_{u0}Y_{W185}SD$	0.9740	1.0000	1.0260	1.0000
Fattore parziale per YW185 da momento di inerzia di massa	$f_{u0}Y_{W185}J_{zz}$	0.9834	0.9834	1.0166	1.0166
Fattore parziale per YW185 da elementi di frizione	$f_{u0}Y_{W185}\mu$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Fattore per YW185	$f_{u0}Y_{W185}$	0.9459	0.9711	1.0561	1.0293

Figura 8-5: Fattori delle grandezze di input per il calcolo del limite inferiore e superiore dei costi

Le grandezze di input vengono moltiplicate per questi fattori. Nella Figura 8-6 sono confrontati i valorinominali e modificati della tabella di Excel.

Dati organo di rotolamento			nominale		nominale * fattore fu		nominale * fattore fo	
Numero di sale montate affini per tipo di organi di rotolamento	n_{RS}/FW		2	2	2	2	2	2
Numero di organi di rotolamento per tipo per veicolo	n_{FW}		2	2	2	2	2	2
Numero di ruote motrici affini per veicolo	n_{TRS}		4	0	4	0	4	0
Numero di sale montate affini per veicolo	n_{RS}		4	4	4	4	4	4
Forza statica di contatto della ruota	Q_0	kN	75.00	50.00	73.13	48.75	76.88	51.25
Massa non sospesa per ruota	m_u	kg	800.00	500.00	736.00	475.00	864.00	525.00
Raggio della ruota (valore nominale per ruote nuove)	R_{Rad}	m	0.450	0.400	0.450	0.400	0.450	0.400
Potenza massima sulla ruota	P_{Rad}	kW	150		150	0	150	0
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 270 m	$W_{b,R<300}$	Nm/m	230.00	150.00	220.87	137.13	239.32	163.26
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 343 m	$W_{b,R300-400}$	Nm/m	170.00	100.00	163.25	91.42	176.89	108.84
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 480 m	$W_{b,R400-600}$	Nm/m	100.00	60.00	96.03	54.85	104.05	65.30
Lavoro di attrito relativo ad un raggio di 800 m	$W_{b,R600-1200}$	Nm/m	50.00	25.00	48.02	22.85	52.03	27.21
Forza trasversale della ruota di guida durante il transito su uno scambio	Y_{W185}	kN	50.00	20.00	47.29	19.42	52.80	20.59

Figura 8-6: Valori nominali e modificati delle grandezze di input

Con queste grandezze di input modificate è possibile determinare il limite inferiore e superiore dei costi con le stesse formule del calcolo dei costi nominali (v. capitolo 6). I relativi valori sono a fianco dei valori nominali (Figura 8-7). Sulla base dei costi nominali e dei limiti superiori dei costi vengono inoltrcalcolati i valori per il 50% del limite superiore.

	addendi				nominale	limite inferiore	limite superiore	50% limite superiore	definitivo
CrelTpv	CHF/km			k.D3	0.0074883				0.0074883
Crelv0-80	CHF/km	k.D1 _{v0-80}	k.D2 _{v0-80}	k.D3	0.0943495	0.0903792	0.0983900	0.0963698	0.0931379
Crelv80-100	CHF/km	k.D1 _{v80-100}	k.D2 _{v80-100}	k.D3	0.0994179	0.0948773	0.1040592	0.1017386	0.0979107
Crelv100-120	CHF/km	k.D1 _{v100-120}	k.D2 _{v100-120}	k.D3	0.1074675	0.1019921	0.1130954	0.1102815	0.1054641
Crelv120-140	CHF/km	k.D1 _{v120-140}	k.D2 _{v120-140}	k.D3	0.1171442	0.1105127	0.1239948	0.1205695	0.1145140
Crelv140-160	CHF/km	k.D1 _{v140-160}	k.D2 _{v140-160}	k.D3					
Crelv>160	CHF/km	k.D1 _{v>200}	k.D2 _{v>200}	k.D3					
CrelR<300	CHF/km	k.D1 _{R<300}		k.D4.1 _{R<300}	0.5511231	0.5243518	0.5790318	0.5650775	0.5419830
CrelR300-400	CHF/km	k.D1 _{R300-400}		k.D4.1 _{R300-400}	0.1966341	0.1846714	0.2093946	0.2030144	0.1934358
CrelR400-600	CHF/km	k.D1 _{R400-600}		k.D4.1 _{R400-600}	0.1573680	0.1470910	0.1679331	0.1626506	0.1546429
CrelR600-1200	CHF/km	k.D1 _{R600-1200}		k.D4.1 _{R600-1200}	0.1257581	0.1168522	0.1349822	0.1303702	0.1228913

Figura 8-7: Costi di riferimento nominali dei veicoli, costi per il limite inferiore e superiore e costi di riferimento definitivi

La verifica della somiglianza con un veicolo già esistente avviene sulla base del foglio «Check», dovesono riportati i costi di riferimento di tutti i veicoli già inseriti nel sistema di conteggio. Le informazioni sul nuovo veicolo necessarie per la verifica (categoria di veicolo, categoria di treno e numero di sale montate) così come i relativi costi inferiori e superiori (50%) vengono recuperati automaticamente (righe 5 e 6) dal foglio «Calculation» mediante un collegamento.

Le celle dell'elenco dei tipi di veicolo hanno una formattazione condizionata. In presenza delle concordanze necessarie per l'attribuzione del prezzo, la cella viene evidenziata in blu. Quando tutti i criteri sono soddisfatti, la denominazione del veicolo nella prima colonna viene evidenziata (Figura 8-8) e viene posto un segno di spunta nella colonna di verifica.

										Costi di riferimento del veicolo									
Categoria di Categoria di Numero di																			
Veicolo	veicolo	treno	assi		V0-80	V80-100	V100-120	V120-140	V140-160	V>160	R<300	R300-400	R400-600	R600-1200					
RABe 5xx 4/8		TZ	R	8	0.0963698	0.1017386	0.1102815	0.1205695			0.5650775	0.2030144	0.1626506	0.1303702	50% limite superiore				
					0.0903792	0.0948773	0.1019921	0.1105127			0.5243518	0.1846714	0.1470910	0.1168522	limite inferiore				
															Verifica				
Veicolo 1	Lok	R	6	0.1510871	0.1635836	0.1837253	0.2082606				1.0107505	0.3967308	0.2893000	0.2270954					
Veicolo 2	Lok	R	4	0.1464876	0.1664992	0.1999846	0.2422003				1.2209357	0.4526667	0.3196579	0.2552310					
Veicolo 3	Lok	R	4	0.1206865	0.1297126	0.1441466	0.1615986	0.1823628	0.2507528		0.8254640	0.3066815	0.2064778	0.1597997					
Veicolo 4	PWg	R	4	0.0520682	0.0562905	0.0632168	0.0718009	0.0822351	0.1176794	0.4382514	0.1669084	0.1163389	0.0860851						
Veicolo 5	PWg	R	4	0.0474380	0.0505427	0.0555383	0.0616193				0.3424486	0.1385076	0.0992857	0.0705639					
Veicolo 6	PWg	R	4	0.0503859	0.0543582	0.0609105	0.0690738	0.0790404	0.1131098		0.3823754	0.1482373	0.1047794	0.0789117					
Veicolo 7	GWg	A	4	0.0581551	0.0616642	0.0671318					0.1960293	0.0864004	0.0748735	0.0659798					
Veicolo 8	GWg	A	4	0.0711102	0.0754558	0.0821320					0.2745221	0.1117063	0.0942799	0.0814529					
Veicolo 9	GWg	A	6	0.0361309	0.0383223	0.0419756					0.2306887	0.0619675	0.0484851	0.0395127					
Veicolo 10	GWg	A	8	0.1481907	0.1568620	0.1702344					0.8272116	0.3372819	0.2580901	0.1932251					
Veicolo 11	TZ	R	6	0.0662868	0.0694036	0.0742626	0.0800005				0.4152971	0.1658172	0.1200641	0.0851562					
Veicolo 12	TZ	R	8	0.0931379	0.0979107	0.1054641	0.1145140				0.5419830	0.1934358	0.1546429	0.1228913					
Veicolo 13	TZ	N	28	0.3360144	0.3557232	0.3872966	0.4255709	0.4712559	0.6225597	1.9256344	0.7106315	0.4939941	0.3940132						
Veicolo 14	TZ	R	16	0.2425713	0.2630215	0.2962891	0.3371856				1.8521284	0.7175811	0.5174221	0.3973726					
Veicolo 15	TZ	R	8	0.0801446	0.0836931	0.0893308	0.0961142				0.4522671	0.1914501	0.1422814	0.1032014					
Veicolo 16	TZ	R	10	0.0964468	0.1007025	0.1074541	0.1158673				0.5581133	0.2342828	0.1732180	0.1252778					
Veicolo 17	TZ	R	24	0.3103196	0.3327239	0.3610510	0.4135872	0.4672441			2.1253057	0.8530115	0.6038495	0.4573685					
Veicolo 18	TZ	R	8	0.0800067	0.0835925	0.0891918					0.5077586	0.2031229	0.1463229	0.0955132					
Veicolo 19	TZ	R	26	0.4324829	0.4653983	0.5184514	0.5831016	0.6605744	0.9184107	5.5763298	2.1930876	1.3455838	0.8757673						
Veicolo 20	TZ	R	4	0.0887816	0.0970709	0.1105639	0.1271543				0.8296564	0.3280981	0.2200207	0.1262102					
Veicolo 21	TZ	R	60	0.8966278	0.9762953	1.1067946	1.2682587	1.4642065	2.1280719	7.4470752	2.9457661	2.1194967	1.5323820						

Figura 8-8: Elenco dei tipi di veicolo con concordanze evidenziate per l'attribuzione dei costi

Nell'esempio riportato nella Figura 8-8 vengono soddisfatti tutti i criteri relativi al veicolo 12. I costi di riferimento di questo veicolo sono i costi validi per il nuovo veicolo. Vengono ripresi sul foglio «Calculation» nella colonna «Definitivo» (v. Figura 8-7).

Moltiplicando i costi di riferimento definitivi del veicolo per il fattore di scala si ottengono i prezzi definitivi del veicolo (Figura 8-9), che vengono utilizzati ai fini del conteggio nel sistema dei prezzi delle tracce.

S					2.35				2.35
C _{tpv}	CHF/km	Crel _{tpv} * S			0.0175975				0.0175975
C _{v0-80}	CHF/km	Crel _{v0-80} * S			0.2217213				0.2188741
C _{v80-100}	CHF/km	Crel _{v80-100} * S			0.2336321				0.2300901
C _{v100-120}	CHF/km	Crel _{v100-120} * S			0.2525486				0.2478406
C _{v120-140}	CHF/km	Crel _{v120-140} * S			0.2752889				0.2691079
C _{v140-160}	CHF/km	Crel _{v140-160} * S							
C _{v>160}	CHF/km	Crel _{v160-200} * S							
C _{R<300}	CHF/km	Crel _{R1-300} * S			1.2951393				1.2736601
C _{R300-400}	CHF/km	Crel _{R300-400} * S			0.4620901				0.4545741
C _{R400-600}	CHF/km	Crel _{R400-600} * S			0.3698148				0.3634108
C _{R600-1200}	CHF/km	Crel _{R600-1200} * S			0.2955315				0.2887946

Figura 8-9: Calcolo dei prezzi definitivi del veicolo

Il calcolo del prezzo è così terminato.

9. Abbreviazioni / simboli utilizzati nelle formule

Sigla	Significato
aq	accelerazioni trasversali applicate non equilibrate
A_{ruota}	Superficie di contatto della ruota (superficie di contatto, nei rettilinei)
A_{ruota,eff}	Superficie di contatto della ruota applicata per il calcolo di T _{pv}
C_{rel}	Costi di riferimento del veicolo
C	Prezzo del veicolo
c_x	Rigidezza longitudinale della guida degli assi
D_j	Danneggiamento (Damage)
ITF	Impresa di trasporto ferroviaria
GI	Gestore dell'infrastruttura
k_j	Fattore di calibratura dei costi
MBS	Sistema multicorpo
m_u	Massa non sospesa
n_{FW}	Numero di sale montate di guida = numero di organi di rotolamento
n_{RS}	Numero di sale montate rilevanti per il danneggiamento
n_{TRS}	Numero di sale montate condotte rilevanti per il danneggiamento
P_{ruota}	Potenza trasmessa nel punto di contatto della ruota
Q	Forza dinamica di contatto della ruota
Q₀	Forza statica di contatto della ruota
R	Raggio di curvatura
R_{ruota}	Raggio della ruota
R_{rot}	Raggio della rotaia
S	Fattore di scala
SPT	Sistema di definizione dei prezzi delle tracce
T_{pv}	Indice della forza di trazione o Traction Power Value (densità di potenza sulla superficie attiva di contatto della ruota)
T_x	Forza di slittamento longitudinale
T_y	Forza di slittamento trasversale
ü	sopraelevazione
üf	insufficienze di sopraelevazione
V	Velocità di corsa
V_{amm}	Velocità massima ammessa del veicolo
V_{wamm}	Velocità ammissibile su scambi da 40 km/h
W_b	Energia d'attrito (dissipazione di energia sulla sala montata di guida in curva) Prodotto di forza d'attrito T _x , T _y e scorrimento)
X	Parametro generale
Y_{W185}	Forza dinamica di guida su uno scambio EW185
μ	Coefficiente d'attrito degli elementi di frizione impiegati nel modello multicorpo
v_x	Slittamento longitudinale
v_y	Slittamento trasversale
2a*	Passo del carrello
2a⁺	Distanza fra gli assi
Indice	
i	Veicolo
j	Effetto di danneggiamento
k	Tipo di organi di rotolamento

10. Bibliografia

- [1] Ordinanza dell'UFT concernente l'accesso alla rete ferroviaria (OARF-UFT), 21.09.2016, allegato 1a
- [2] EN 14363:2016: "Railway applications - Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests; English version, CEN European Committee for Standardization, marzo 2016
- [3] GM/TT0088, Permissible Track Forces for Railway Vehicles, Revision: A, Date: OCT 1993
- [4] Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau (Dubbel – Manuale di ingegneria meccanica), edizione 21, ISBN: 3540221425 Springer Verlag, 2004
- [5] ERRI B176 «Bogies with steered or steering wheelsets» European Rail Research Institute (ERRI), 1989
- [6] Abschlussbericht Verschleissfaktor-Fahrbahn, SBB Infrastruktur - Anlagenmanagement Fahrbahn, 2016
- [7] I. Nerlich, «Wie wirtschaftlich ist gleisschonendes Rollmaterial... wie einen Verkehr von morgenin der zukünftigen Auswirkung auf Gleisinstandhaltungen beziffern?» (Quanto è economico un materiale rotabile che rispetti i binari? Come quantificare la circolazione di domani rispetto ai futuri effetti sulla manutenzione dei binari?)
Atti del convegno ZEV Rail SFT Graz 2014, p. 138 ss.
- [8] www.onestopshop.ch / Servizi & prezzi / Conteggio delle tracce
- [9] www.onestopshop.ch / Servizi & prezzi / Determinazione dei prezzi dei veicoli
- [10] www.onestopshop.ch / Technischer Netzzugang / Rollmaterialdaten (pagine disponibili solo in tedesco)

11. Contatti

11.1. Conteggio del prezzo della traccia

Per tutte le questioni relative al conteggio del prezzo della traccia, il referente principale per ITF e detentori è:

FFS Infrastruttura, sezione Punto di vendita delle
tracceonestopshop@sbb.ch

11.2. Servizio specializzato Prezzi dei veicoli

Per tutte le questioni relative al calcolo del prezzo del veicolo, il referente per ITF, detentori, costruttoriecc. è:

FFS Infrastruttura, sezione Tracciati
ferroviarios.vehiclepricing@sbb.ch

11.3. UFT

Ufficio federale dei trasporti, Sezione Accesso al mercato
marktzugang@bav.admin.ch
Tel. +41 58 462 05 50

12. Allegato: Esempio di set di parametri

Riportiamo di seguito un esempio di massima di set di parametri di modellazione per un veicolo fittizio (locomotiva a 4 assi). Esso riporta i dati di base necessari per la simulazione di un semplice modello.

Il formato del set di parametri scelto per l'esempio non è vincolante. Nei modelli dettagliati la quantità di dati può essere notevolmente maggiore.

12.1. Dati sulla massa

I dati sulla massa forniscono le informazioni necessarie sui corpi coinvolti nel modello MBS. Oltre alla massa, comprendono anche il baricentro e i momenti di inerzia di massa. È importante l'indicazione del sistema di riferimento per le coordinate.

		Massa	Coordinate baricentro				Momenti di inerzia di massa attorno al baricentro		
		m [kg]	x [m]	y [m]	z [m]		Jxx [kgm ²]	Jyy [kgm ²]	Jzz [kgm ²]
Massa non sospesa									
Sala montata inclusi dischi dei freni, ruota grande	1, 3	2600,0	1,420	-0,072	-0,623	1)	1 300,00	300,00	1 300,00
	2, 4	2600,0	-1,420	0,072	-0,623	1)	1 300,00	300,00	1 300,00
Boccola della sala montata inclusa sospensione primaria 50% ecc.	1, 3	220,0	1,450	+/-1,000	-0,500	1)	2,00	5,00	5,00
	2, 4	220,0	-1,450	+/-1,000	-0,500	1)	2,00	5,00	5,00
Massa parzialmente sospesa									
Motore e trasmissione	1, 3	3385,0	0,968	0,0846	-0,625	1)	1 330,00	330,00	1 330,00
	2, 4	3385,0	-0,968	-0,0846	-0,625	1)	1 330,00	330,00	1 330,00
Massa con sospensione primaria									
Telaio degli organi di rotolamento incl. sospensione 50%, freni ecc.	1	4000,0	5,000	0	-0,500	2)	3000,00	4700,00	7600,00
	2	4000,0	-5,000	0	-0,500	2)	3000,00	4700,00	7600,00
Massa con sospensione secondaria									
Cassa del veicolo con masse proporzionali del carrello		50 000,0	0,000	0	-1,820	2)	80 000,00	850 000,00	800 000,00
Sistemi di riferimento delle coordinate									
1) Filo superiore rotaia (FSR), nel mezzo dell'organo di rotolamento									
2) Filo superiore rotaia (FSR), nel mezzo della cassa del carro									

Tabella 12-1: Dati sulla massa

12.2. Dati sulla geometria

I dati sulla geometria comprendono le informazioni sulla posizione dei punti d'attacco degli elementi di accoppiamento con cui i corpi vengono collegati. Anche in questo caso sono necessarie indicazioni sul sistema di riferimento.

Punto di accoppiamento	Coordinate					
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
Sala montata	1, 3			2, 4		
Punto di riferimento (FSR rel., nel mezzo dell'organo di rotolamento)	1,400	0,000	-0,500	-1,400	0,000	-0,500
Boccola della sala montata dx	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000
Boccola della sala montata sx	0,000	-1,000	0,000	0,000	-1,000	0,000
Boccola d'assale	0,000	-0,530	0,000	0,000	0,530	0,000
Sospensione a naso	0,000	0,550	0,000	0,000	-0,550	0,000
Corpo della boccola	1, 3			2, 4		
Punto di riferimento (FSR rel., nel mezzo dell'organo di rotolamento)	1,400	1,000	-0,500	-1,400	1,000	-0,500
Guida degli assi dx	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Guida degli assi sx	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sospensione primaria dx	0,000	0,200	-0,170	0,000	0,200	-0,170
Sospensione primaria sx	0,000	-0,200	-0,170	0,000	-0,200	-0,170
Motore, trasmissione	1, 3			2, 4		
Punto di riferimento (FSR rel., nel mezzo dell'organo di rotolamento)	0,900	0,000	-0,500	-0,900	0,000	-0,500
Sostegni del momento torcente	-0,500	-0,200	0,400	0,500	0,200	0,400
Boccola d'assale	0,500	-0,530	0,000	-0,500	0,530	0,000
Sospensione a naso	0,500	0,550	0,000	-0,500	-0,550	0,000
Organo di rotolamento	1			2		
Punto di riferimento (FSR rel., nel mezzo della cassa)	5,000	0,000	0,000	-5,000	0,000	0,000
Guida degli assi 1r	1,500	1,000	-0,500	1,500	1,000	-0,500
Guida degli assi 1l	1,500	-1,000	-0,500	1,500	-1,000	-0,500
Guida degli assi 2r	-1,500	1,000	-0,500	-1,500	1,000	-0,500
Guida degli assi 2l	-1,500	-1,000	-0,500	-1,500	-1,000	-0,500
Sospensione primaria 1 dx	1,500	1,200	-1,150	1,500	1,200	-1,150
Sospensione primaria 1 sx	1,500	-1,200	-1,150	1,500	-1,200	-1,150
Sospensione primaria 2 dx	-1,500	1,200	-1,150	-1,500	1,200	-1,150
Sospensione primaria 2 sx	-1,500	-1,200	-1,150	-1,500	-1,200	-1,150
Sospensione secondaria dx est.	0,000	1,180	-0,900	0,000	1,180	-0,900
Sospensione secondaria dx int.	0,000	0,900	-0,900	0,000	0,900	-0,900
Sospensione secondaria sx est.	0,000	-1,180	-0,900	0,000	-1,180	-0,900
Sospensione secondaria sx int.	0,000	-0,900	-0,900	0,000	-0,900	-0,900
Ammortizzatore verticale dx	0,300	1,300	-0,450	0,300	1,300	-0,450
Ammortizzatore verticale sx	-0,300	-1,300	-0,450	-0,300	-1,300	-0,450
Sospensione trasversale	0,000	0,600	-0,400	0,000	0,600	-0,400
Biella di trazione longitudinale, perno della ralla	0,000	0,000	-0,600	0,000	0,000	-0,600
Ammortizzatore antiserpeggio dx	-0,200	1,300	-0,700	-0,200	1,300	-0,700
Ammortizzatore antiserpeggio sx	0,200	-1,300	-0,700	0,200	-1,300	-0,700
Sostegno del momento torcente 1	0,400	-0,200	-0,900	0,400	-0,200	-0,900
Sostegno del momento torcente 2	-0,400	0,200	-0,900	-0,400	0,200	-0,900
Arresto trasversale	0,000	0,000	-0,900	0,000	0,000	-0,900
Cassa della locomotiva						
Punto di riferimento (FSR rel., nel mezzo della cassa)	0,000	0,000	0,000			
Sospensione secondaria 1 dx est.	5,000	1,200	-1,500			
Sospensione secondaria 1 dx int.	5,000	0,900	-1,500			
Sospensione secondaria 1 sx est.	5,000	-1,200	-1,500			

Punto di accoppiamento	Coordinate					
Sospensione secondaria 1 sx int.	5,000	-0,900	-1,500			
Sospensione secondaria 2 dx est.	-5,000	1,200	-1,500			
Sospensione secondaria 2 dx int.	-5,000	0,900	-1,500			
Sospensione secondaria 2 sx est.	-5,000	-1,200	-1,500			
Sospensione secondaria 2 sx int.	-5,000	-0,900	-1,500			
Ammortizzatore verticale secondario 1 dx	5,200	1,400	-1,000			
Ammortizzatore verticale secondario 1 sx	4,600	-1,400	-1,000			
Ammortizzatore verticale secondario 2 dx	-4,600	1,400	-1,000			
Ammortizzatore verticale secondario 2 sx	-5,250	-1,400	-1,000			
Ammortizzatore antiserpeggio 1 dx	3,800	1,450	-0,800			
Ammortizzatore antiserpeggio 1 sx	6,100	-1,450	-0,800			
Ammortizzatore antiserpeggio 2 dx	-6,100	1,450	-0,800			
Ammortizzatore antiserpeggio 2 sx	-3,800	-1,450	-0,800			
Sospensione trasversale 1	5,000	0,200	-0,300			
Sospensione trasversale 2	-5,000	-0,200	-0,300			
Perno della ralla 1	5,000	0,000	-0,500			
Perno della ralla 2	-5,000	0,000	-0,500			
Arresto trasversale	5,000	0,000	-0,900			

Tabella 12-2: Coordinate di accoppiamento degli elementi di forza

12.3. Dati caratteristici degli elementi di accoppiamento

I parametri relativi agli elementi di accoppiamento sono in gran parte informazioni su rigidezza e smorzamento. A seconda della modellazione si tratta di valori singoli dei componenti in questione o valori complessivi in cui confluiscono le rigidzze e gli smorzamenti attivi di diversi componenti (rigidezze di sistema, rigidzze parassitarie). Ulteriori informazioni possono riguardare i parametri degli elementi di frizione.

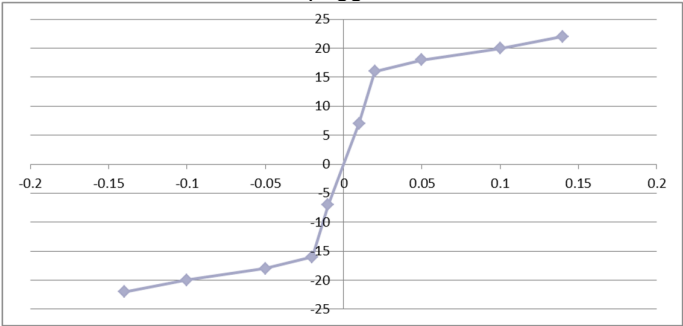
Elemento di accoppiamento	Unità	Direzione		
		x	y	z
Livello primario (valori per lato sala montata)				
Rigidezza	kN/mm	20,0	15,0	20,0
Sospensione primaria				
Smorzamento ammortizzatore verticale	kNs/m			45,0
Rigidezza complessiva attiva	kN/mm			22,0
Livello secondario (valori per lato carrello)				
Rigidezza	kN/mm	0,025	0,4	1,4
Sospensione trasversale				
Smorzamento sospensione trasversale	kNs/m		60	
Rigidezza complessiva attiva	kN/mm		10	
Ammortizzatore verticale secondario				
Smorzamento ammortizzatore verticale	kNs/m			70
Rigidezza complessiva attiva	kN/mm			15
Ammortizzazione antiserpeggio				
Smorzamento valore nominale	kNs/m	900		
Rigidezza complessiva attiva	kN/mm	10		
Sostegni del momento torcente				
Rigidezza (lineare) [kN/mm]	kN/mm			175

Tabella 12-3: Dati dei parametri degli elementi di accoppiamento

12.4. Curve caratteristiche degli elementi di accoppiamento

Se i componenti presentano un comportamento non lineare, le loro proprietà vengono descritte con una curva caratteristica.

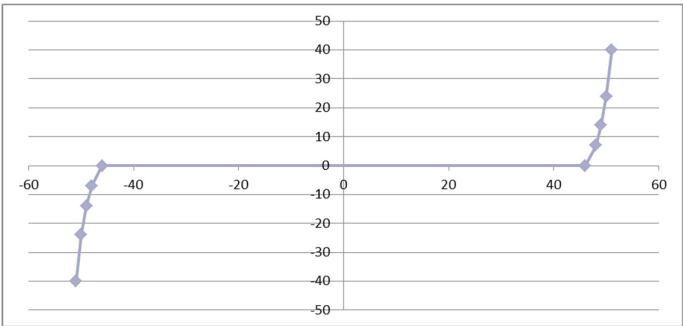
Ammortizzazione antiserpeggio



Velocità	m/s	-0,14	-0,1	-0,05	-0,02	-0,01	0,01	0,02	0,05	0,1	0,14
Forza	kN	-22	-20	-18	-16	-7	7	16	18	20	22

Figura 12-1: Esempio di curva caratteristica non lineare di un ammortizzatore

Arresto trasversale



Percorso	mm	-51	-50	-49	-48	-46	46	48	49	50	51
Forza	kN	-40	-24	-14	-7	0	0	7	14	24	40

Figura 12-2: Esempio di curva caratteristica non lineare di arresto

Biella di trazione longitudinale

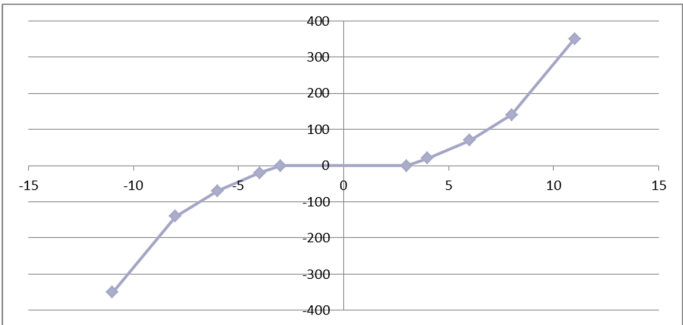


Figura 12-3: Esempio di curva caratteristica non lineare di rigidità

Percorso	mm	-11	-8	-6	-4	-3	3	4	6	8	11
Forza	kN	-350	-140	-70	-20	0	0	20	70	140	350

13. Allegato: Riconoscimento come organismo di controllo indipendente da parte dell'UFT

13.1. Requisiti fondamentali

L'UFT ha la facoltà di riconoscere degli organi di controllo indipendenti, autorizzandoli al calcolo dei prezzi dei veicoli ai sensi dell'art. 1 cpv. 4 dell'ordinanza dell'UFT concernente l'accesso alla rete ferroviaria (OARF-UFT; RS 742.122.4), purché questi soddisfino i requisiti di competenza tecnica e indipendenza sotto specificati.

a. Competenza tecnica

La persona responsabile del controllo del calcolo possiede almeno le seguenti qualifiche:

- titolo di studio universitario nel campo dell'ingegneria, della matematica o delle scienze naturali;
- esperienza superiore ai cinque anni nel campo dell'ingegneria dei carrelli e dell'omologazione dei veicoli;
- esperienza significativa e dimostrabile superiore ai cinque anni nella modellazione e nel calcolo di sistemi multibody (multibody).

b. Indipendenza

La persona responsabile del controllo del calcolo

- non deve svolgere, in relazione all'oggetto della prova (veicolo), alcun tipo di attività che esuli dagli incarichi di prova specificati nella presente istruzione;
- non deve avere alcun interesse personale nel risultato della prova, non deve mai essersi occupato in precedenza dell'oggetto della prova nello svolgimento di altre funzioni o essere in altro modo di parte;
- non deve avere alcun legame con persone che abbiano un interesse nel risultato.

Il committente deve rispettare la sua indipendenza e, in particolare, non deve esercitare alcun tipo di pressione in merito al risultato atteso.

13.2. Domanda e verifica

La domanda di riconoscimento deve essere indirizzata all'UFT, divisione Finanziamento (vedere 11.3 Contatti) e contenere almeno il modulo tipo di autocertificazione sottostante, debitamente compilato.

L'UFT verifica la plausibilità della domanda e, se necessario, si riserva la facoltà di chiedere ulteriori informazioni al richiedente, alle referenze indicate e ad altre fonti appropriate per comprovarne l'idoneità. Se l'esito è positivo l'UFT conferma per iscritto il proprio riconoscimento.

L'UFT pubblica una lista di esaminatori riconosciuti sul suo [sito web](https://www.bav.admin.ch/bav/it/home/modi-di-trasporto/ferrovia/informazioni-specifiche/prezzi-delle-tracce.html)⁴.

⁴ <https://www.bav.admin.ch/bav/it/home/modi-di-trasporto/ferrovia/informazioni-specifiche/prezzi-delle-tracce.html>

13.3. Modulo tipo

Ragione sociale

	Dati (compilazione a cura del richiedente)
Ragione sociale	
Indirizzo postale	Via NPA Località Paese
Telefono	
Fax	
e-mail	
URL /	

Persona di contatto responsabile

	Dati (compilazione a cura del richiedente)
Cognome e nome	
Funzione / in azienda dal	
Reparto e funzione	
Formazione rilevante	
Esperienze rilevanti	
Telefono	
Fax	
URL / e-mail	
Referenze	

Autocertificazione

Con la presente dichiaro/dichiariamo di confermare i punti sotto elencati.

a. Competenza tecnica

La persona responsabile del controllo del calcolo dei prezzi dei veicoli è competente e possiede almeno le seguenti qualifiche:

- titolo di studio universitario nel campo dell'ingegneria, della matematica o delle scienze naturali;
- esperienza superiore ai cinque anni nel campo dell'ingegneria dei carrelli e dell'omologazione dei veicoli;
- esperienza significativa e dimostrabile superiore ai cinque anni nella modellazione e nel calcolo di sistemi multicorpo (multibody).

b. Indipendenza

L'azienda assicura che gli incarichi di prova vengono eseguiti in modo indipendente.

c. Cura

L'azienda assicura che gli incarichi di prova assunti vengono eseguiti con la massima cura e coscienziosità. Qualora dovessero emergere divergenze con il committente o con il fornitore dei dati, L'UFT sarà debitamente informato.

Data e firma:

.....