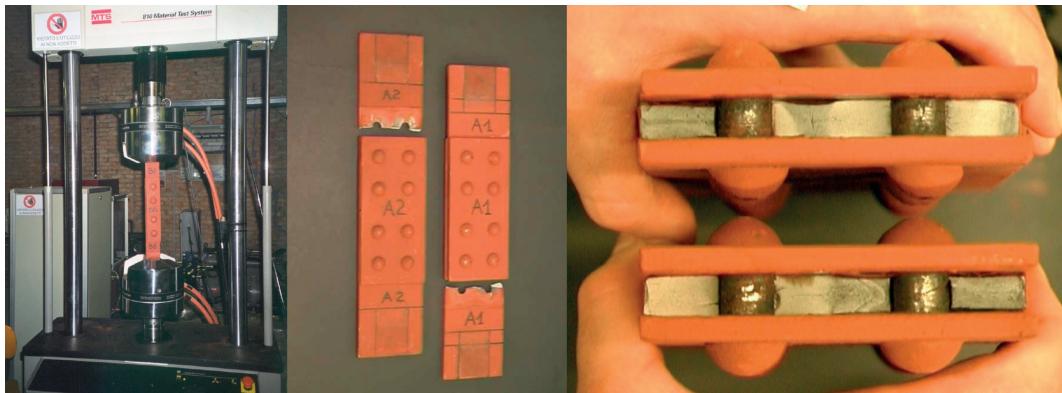


## SCIENZA E TECNICA



### Presentazione della Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari

### Presentation of the Specification for fatigue assessment of railway bridges

Dott. Ingg. Alessandro F. ANNICCHIARICO<sup>(\*)</sup> - Gianluca SILVESTRI<sup>(\*\*)</sup> - Giovanni SORRENTINO<sup>(\*)</sup> - Angelo VITTOZZI<sup>(\*)</sup>

**Sommario** – L’emanazione nel 2008 del Decreto Ministeriale del Ministro delle Infrastrutture del 14.1.2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” e della Circolare del 02.02.2009 n. 617: Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” ha costituito un passo risolutivo, nel nostro Paese, per l’allineamento delle regole tecniche nazionali agli Eurocodici. La progettazione delle infrastrutture, quelle ferroviarie in particolare, ha risentito sensibilmente del nuovo quadro normativo ed ha richiesto un sostanziale aggiornamento delle Istruzioni ferroviarie.

In tale ambito si inserisce la revisione dell’istruzione 44F relativa alla fatica dei ponti ferroviari.

Nel presente articolo, che ha lo scopo di introdurre alla lettura della versione integrale del testo della “Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari”, si illustreranno le principali novità introdotte nel campo delle verifiche a fatica.

**Summary** – The adoption in 2008 of Ministerial Decree of the Minister of Infrastructure dated 14.1.2008 “Approval of new technical standards for constructions” and of the Circular Letter of 02.02.2009 N. 617: Instructions for the application of New technical standards for constructions” has constituted a decisive step, in our country, for the alignment of national technical rules to the Eurocodes. The design of infrastructures, particularly the railway ones, suffered considerably from the new regulatory framework and demanded a substantial upgrading of railway Instructions.

The revision of the 44F instruction relating to fatigue of railway bridges is introduced in this context.

In this article, that aims at introducing the reading of the complete version of the text of the “Specification for fatigue testing of railway bridges”, the main innovations introduced in the field of fatigue assessment will be illustrated.

<sup>(\*)</sup> R.F.I. - Direzione Tecnica, Infrastruttura Civile - S.O. Ponti e Strutture.

<sup>(\*\*)</sup> Italferr - Direzione Tecnica, U.O. Strutture.

**N.B.** - Gli articoli riguardanti le “Norme Tecniche” possono essere consultati sul sito del CIFI [www.cifi.it](http://www.cifi.it) collegandosi al link: <http://www.cifi.it/Normetecniche.asp>

<sup>(\*)</sup> R.F.I. - Technical Direction, Civil Infrastructures - Bridges and structures operational Division.

<sup>(\*\*)</sup> Italferr - Technical Management, Structures Operational Unit.

**N.B.** - The articles on “Technical Regulations” can be found on the website of CIFI [www.cifi.it](http://www.cifi.it) connecting to the link: <http://www.cifi.it/Normetecniche.asp>

### 1. Premessa

Il fenomeno della fatica ha da sempre rivestito un ruolo di primo piano nella progettazione dei ponti ferroviari metallici, influenzandone in taluni casi in maniera significativa il dimensionamento.

La fatica, come noto, è un fenomeno meccanico per il quale un materiale sottoposto a carichi ciclici raggiunge la rottura per tensioni inferiori alla tensione di rottura e di snervamento del materiale stesso.

Il fenomeno della fatica è un “classico” per le ferrovie. Tanti contributi allo studio di questo fenomeno sono stati forniti dal mondo ferroviario, studi per comprendere la causa della rottura improvvisa di assi di locomotive che originarono veri e propri disastri (ad es. a Versailles l'8 maggio 1842 – fig. 1).



Fig. 1 – Deragliamento di una locomotiva per rottura improvvisa di un asse. *Derailment of a locomotive due to sudden breakage of an axle.*

I primi studi furono condotti da WOHLER, ingegnere delle ferrovie tedesche, intorno alla fine del 1800, e correavano su base statistica la massima ampiezza di sollecitazione con il numero di cicli che il componente meccanico è in grado di sopportare prima della rottura. Tali curve opportunamente aggiornate costituiscono ancora oggi la base della progettazione a fatica e conseguentemente di ciascun componente di un'opera ferroviaria metallica. Nella fig. 2 si riporta un esempio delle curve di WOHLER, usualmente rappresentate su un piano bilogaritmico.

### 2. Quadro normativo

Il DM 14 gennaio 2008 (nel seguito brevemente richiamato anche come NTC08) e la Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 non hanno mutato in maniera sostanziale l'approccio progettuale rispetto alle indicazioni fornite dal DM 19.01.1996 e dalla CNR 10011. Tali norme, tuttavia, hanno introdotto alcuni aspetti che vale la pena sottolineare.

In maniera analoga a quanto prescritto dalla CNR 10011, il DM 14 gennaio 2008 prevede che, per le strutture soggette a carichi ciclici, la verifica dello stato limite di fatica sia effettuata imponendo che l'escursione di tensio-

### 1. Preamble

The fatigue phenomenon has always played a leading role in the design of metal railway bridges, in some cases significantly influencing dimensioning.

As known, fatigue is a mechanical phenomenon in which material subjected to cyclic loads breaks due to strengths below the tensile strength and the yield strength of the material itself.

The fatigue phenomenon is a “classic” phenomenon for railways. The railway world has given many contributions to the study of this phenomenon, studies to understand the cause of the sudden breaking of locomotive axles that originated real disasters (e.g. at Versailles on May 8, 1842 – fig. 1).

The first studies were conducted by WOHLER, a German railways engineer, around the end of 1800, and correlated on a statistical basis the maximum stress amplitude with the number of cycles that the mechanical component is able to withstand before breaking. These curves properly updated today still constitute the basis of fatigue design and consequently of each component of a metal rail construction. Fig. 2 shows an example of WOHLER's curves, usually represented on a bi-logarithmic plan.

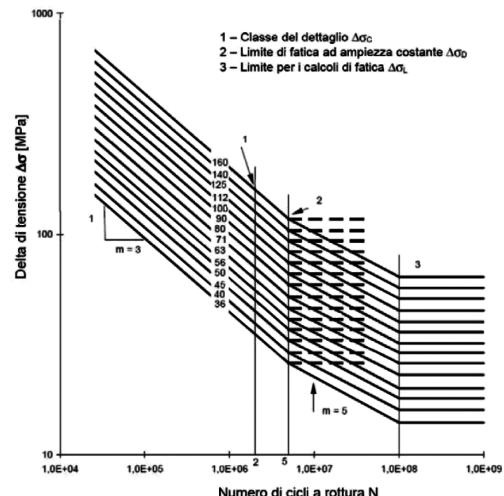


Fig. 2 – Curve di WOHLER. *WOHLER curves.*

### 2. Regulatory framework

Ministerial Decree dated January 14, 2008 (hereinafter briefly referred to as NTC08) and Circular n. 617 of February 2, 2009 have not substantially changed the design approach in relation to the indications set out by Ministerial Decree of 19.01.1996 and by CNR 10011. Nev-

## SCIENZA E TECNICA

ne, effettiva o equivalente allo spettro di tensione, prodotta dalle azioni cicliche di progetto ( $\Delta_d$ ), risultati inferiore alla resistenza a fatica prevista per il dettaglio costruttivo in esame in corrispondenza del numero totale di cicli di sollecitazione N applicati durante la vita di progetto richiesta ( $\Delta_r$ ), secondo la relazione:

$$\Delta_d \leq \Delta_r / \gamma_{Mf} \quad (1)$$

in cui  $\gamma_{Mf}$  è il coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica pari a

$$\gamma_{Mf} = \gamma_f \cdot \gamma_m \quad (2)$$

ove  $\gamma_f$  è il coefficiente parziale relativo alle azioni di fatica e  $\gamma_m$  il coefficiente parziale relativo alla resistenza, che coprono le incertezze nella valutazione dei carichi e delle tensioni e la possibile presenza di difetti nei particolari in esame.

Il coefficiente  $\gamma_{Mf}$  permette di richiamare il primo dei concetti introdotti dalle NTC08 e desunto dall'Eurocodice UNI EN 1993-1-9: 2005, ovvero la distinzione fra strutture "sensibili" e "poco sensibili" alla rottura per fatica, operata in funzione delle conseguenze che una possibile rottura a fatica genera sull'intera struttura, dell'ispezionabilità, della possibilità di intervento. I possibili valori di  $\gamma_{Mf}$  sono riportati nella tabella 1.

Tutte le strutture ferroviarie sono da ritenersi strutture sensibili alla rottura per fatica e con conseguenze significative: si assumerà, pertanto, un valore pari a 1,35 per  $\gamma_{Mf}$  (nell'istruzione 44F previgente tale valore era pari a 1,25).

ertheless, these standards have introduced some aspects that are worth pointing out.

In the same way as prescribed by CNR 10011, Ministerial Decree of January 14, 2008 envisages that, for structures subjected to cyclic loads, fatigue limit state check is to be carried out by requiring that the stress range, real or equivalent to the strength spectrum, produced by project ( $\Delta_d$ ) cyclic action, is lower than the fatigue strength provided for the construction item concerned in correspondence of the total number of stress cycles N applied during the lifetime of the project required ( $\Delta_r$ ), according to the ratio:

$$\Delta_d \leq \Delta_r / \gamma_{Mf} \quad (1)$$

when  $\gamma_{Mf}$  is the partial safety coefficient for fatigue testing equal to

$$\gamma_{Mf} = \gamma_f \cdot \gamma_m \quad (2)$$

where  $\gamma_f$  is the partial coefficient for fatigue-related actions and  $\gamma_m$  the partial coefficient for the strength, which cover the uncertainties in the evaluation of loads and strengths and the possible presence of defects in the items concerned.

The  $\gamma_{Mf}$  coefficient allows invoking the first of the concepts introduced by NTC08 and derived from Eurocode UNI EN 1993-1-9: 2005, i.e. the distinction between "sensitive" and "scarcely sensitive" structures to fatigue breaking, made according to the consequences that a possible fatigue breaking generates on the entire structure, to the inspection and to the possibility of intervention. Possible  $\gamma_{Mf}$  values are given in table 1.

TABELLA 1 – TABLE 1

COEFFICIENTI PARZIALI  $\gamma_{Mf}$  PER VERIFICHE A FATICA  
PARTIAL COEFFICIENTS  $\gamma_{Mf}$  FOR FATIGUE ASSESSMENT

	Conseguenza della rottura per fatica <i>Consequence of the fatigue breaking</i>	
	Moderate <i>Moderate</i>	Significativa <i>Significant</i>
Strutture poco sensibili alla rottura per fatica <i>Fatigue breaking-scarcely sensitive structures</i>	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Strutture sensibili alla rottura per fatica <i>Fatigue breaking-sensitive structures</i>	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

All railway structures are to be considered structures sensitive to fatigue breaking and with significant consequences: a value of 1.35 for  $\gamma_{Mf}$  will therefore be assumed (in instruction 44F previously in force that value was equal to 1.25).

### 3. Fatigue testing of metal railway bridges

There are two applicable methods for fatigue assessment of metal railway bridges: the rigorous verification method and the simplified method of coefficients  $\lambda$ , both described below.

#### 3.1. The rigorous verification method

In the application of the rigorous method, it is worth underlining that, unlike what happens for verification of strength, fatigue assessment are performed taking as reference the damage produced by the transit of real trains and not theoretical load models. In order to calculate the  $\Delta\sigma_d$ , it is therefore necessary to define the load spectrum

### 3. Verifica a fatica dei ponti ferroviari metallici

Per la verifica a fatica dei ponti ferroviari metallici sono applicabili due metodi: il metodo di verifica rigoroso e il metodo semplificato dei coefficienti  $\lambda$ , ambedue descritti qui di seguito.

## SCIENZA E TECNICA

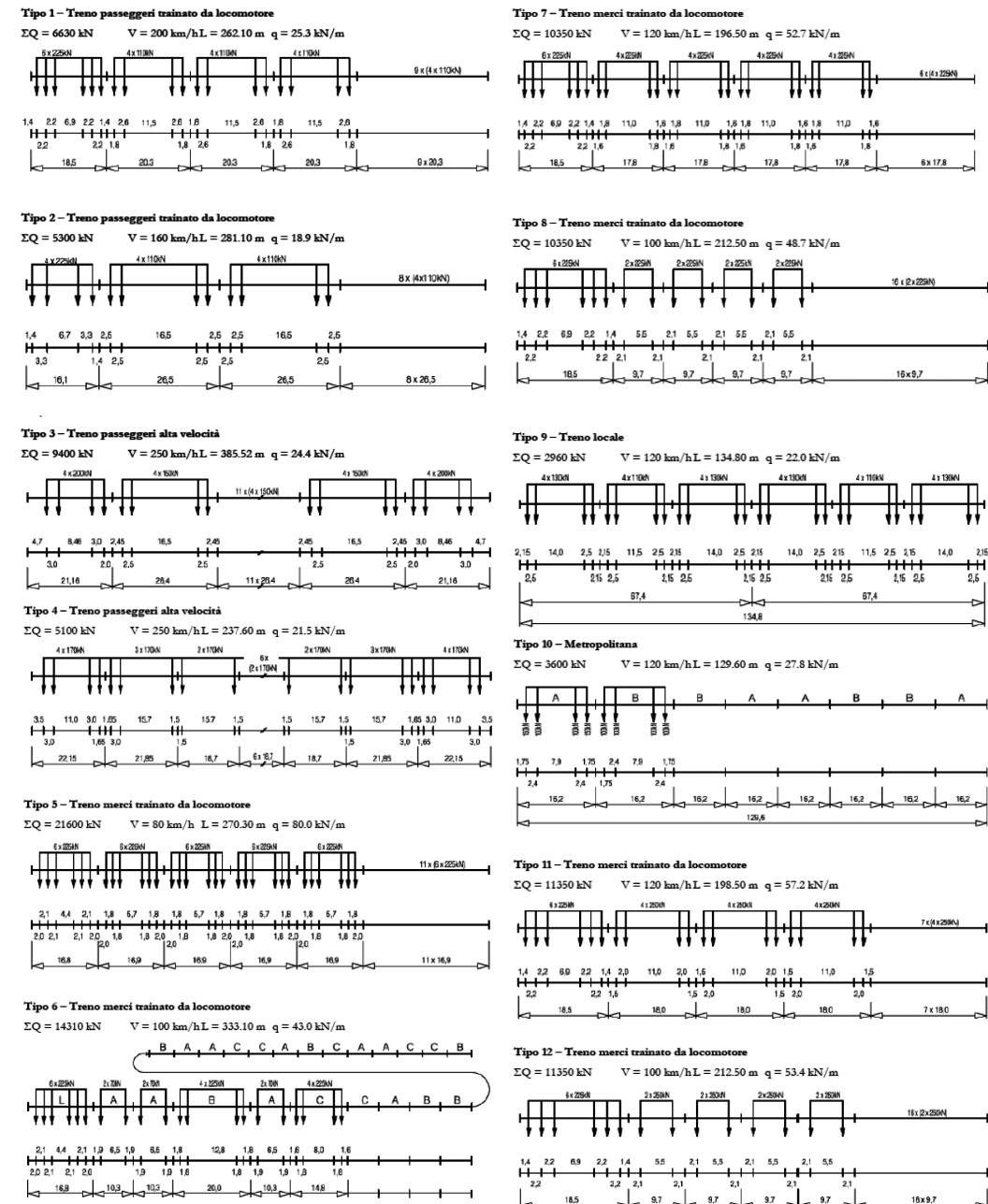


Fig. 3 - Schema dei treni reali dell'EC1. Diagram of EC1 real trains.

## SCIENZA E TECNICA

### 3.1. Il metodo di verifica rigoroso

Nell'applicazione del metodo rigoroso, vale la pena sottolineare che, differentemente da quanto avviene per le verifiche di resistenza, le verifiche a fatica si eseguono prendendo a riferimento il danneggiamento prodotto dal transito dei treni reali e non dei modelli di carico teorici. È pertanto necessario, al fine di calcolare il  $\Delta\sigma_f$ , definire lo spettro di carico da adottare, ovverosia il numero e tipologia dei treni transitanti ogni giorno sulla linea. A tale proposito, nello spirito di uniformare la procedura di verifica alla normativa comunitaria, nella nuova specifica oggetto del presente articolo, è stato adottato lo spettro di carico riportato nell'Eurocodice 1, di cui nella fig. 3 si riporta uno stralcio, abbandonando quello FS finora utilizzato (fig. 4).

Lo spettro europeo prevede tre spettri di carico: lo standard (tabella 2), il pesante (tabella 3) e il leggero (tabella 4) ed un tonnellaggio annuo la cui definizione viene lasciata alla singole reti ferroviarie.

TABELLA 2 – TABLE 2  
COMBINAZIONE DI TRAFFICO STANDARD CON ASSI  
 $\leq 225 \text{ kN}$ . COMBINATION OF STANDARD TRAFFIC  
WITH AXLES  $\leq 225 \text{ kN}$

Tipo di treno Train type	Numero di treni al giorno Number of trains per day	Massa del treno Train mass [t]	Volume di traffico Traffic volume [ $10^6 \text{ t/anno}$ ]
1	12	663	2,9
2	12	530	2,32
3	5	940	1,72
4	5	510	0,93
5	7	2160	5,52
6	12	1431	6,27
7	8	1035	3,02
8	6	1035	2,27
	<b>67</b>		<b>24,95</b>

La nuova specifica ha previsto di adottare, quale spettro di carico, la combinazione standard indicata in tabella 2 costituita da 8 treni tipo con assi di peso  $\leq 225 \text{ kN}$ , in base alla quale risultano circolanti 67 treni al giorno per un volume di traffico annuo di circa 25 (24,95) milioni di tonnellate. Tale valore di tonnellaggio annuo potrebbe apparire, a prima vista, meno penalizzante di quello previsto dalla precedente Istruzione 44F, che risultava pari a  $37 \times 10^6$  tonnellate annue. In realtà il nuovo valore adottato, oltre a rispondere a esigenze di armonizzazione con la normativa europea, tiene conto della maggiore severità del mix di treni adottato, che conduce alla determinazione di valori di tensione superiori a quelli calcolati con il mix previsto dalla precedente istruzione.

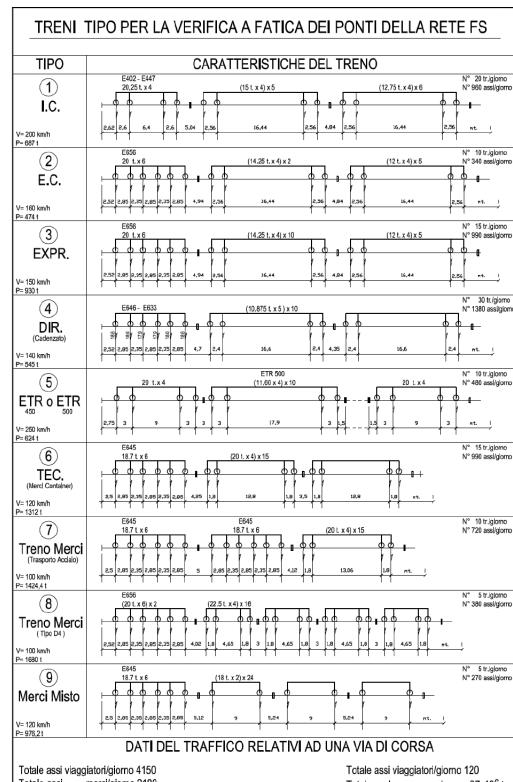


Fig. 4 – Spettro di carico dell'Istruzione 44F. 44F Instruction Load Spectrum.

to be taken, i.e. the number and type of trains transiting daily on the line. In this regard, in the spirit of uniforming the verification procedure to Community legislation, in the new specification that is the subject of this article, the load spectrum in Eurocode 1 was adopted, of which fig. 3 shows an excerpt, abandoning the FS one used so far (fig. 4).

The European spectrum consists of three load spectra: standard (table 2), heavy (table 3) and light (table 4) and an annual tonnage whose definition is left to the individual railway networks.

The new specification has envisaged the adoption of the standard combination indicated in table 2 as load spectrum, consisting of 8 standard trains with axis weight  $\leq 225 \text{ kN}$ , according to which there are 67 trains circulating per day for an annual traffic volume of about 25 (24.95) million tons. At a first glance, this annual tonnage value may appear less detrimental than that provided by the previous Instruction 44F, which was equal to  $37 \times 10^6$  tons per year. In fact the new value adopted, besides responding to needs for harmonization with the Eu-

## SCIENZA E TECNICA

TABELLA 3 – TABLE 3

COMBINAZIONE DI TRAFFICO PESANTE CON ASSI  $\leq 250 \text{ kN}$ . COMBINATION OF HEAVY TRAFFIC WITH AXLES  $\leq 250 \text{ kN}$

Tipo di treno Train type	Numero di treni al giorno Number of trains per day	Massa del treno Train mass [t]	Volume di traffico Traffic volume [ $10^6 \text{ t/anno}$ ]
5	6	2160	4,73
6	13	1431	6,79
11	16	1135	6,63
12	16	1135	6,63
	<b>51</b>		<b>24,78</b>

Con riferimento alla previgente istruzione rimangono, invece, immutate sia la vita utile del ponte ferroviario che la percentuale di treni circolanti, assunte pari rispettivamente a 100 anni e al 33,3%.

Per alcune linee con caratteristiche particolari e previa autorizzazione da parte di RFI è possibile utilizzare le altre due combinazioni (combinazione di "traffico pesante" e di "traffico leggero").

Una volta noto lo spettro di carico, è possibile ricavare per ciascuno dei treni l'oscillogramma delle tensioni e da questi lo spettro delle tensioni, ovvero i valori di tensione  $\Delta\sigma_i$  e i corrispondenti cicli  $n_i$ . I valori degli spettri di tensione saranno, poi, combinati per ottenere "lo spettro globale", cioè quello relativo ad un periodo pari alla vita di progetto del ponte.

Sono poi possibili i seguenti due metodi di verifica; il primo, comunemente detto "a vita illimitata" si utilizza ove richiesto per un particolare progetto, e si esegue controllando che sia:

$$\Delta\sigma_{max,d} = \gamma_M \cdot \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D \quad (3)$$

dove  $\Delta\sigma_{max,d}$  è il valore di progetto delle massime escursioni di tensioni normali indotte nel dettaglio considerato dallo spettro di carico, e  $\Delta\sigma_D$  il limite di fatica ad ampiezza costante. La verifica a vita illimitata è esclusa per tutti i dettagli le cui curve S-N non presentino limite di fatica ad ampiezza costante (per es. connettori a piolo).

Il secondo metodo, comunemente denominato metodo della vita residua, prevede l'applicazione della regola di Palmgren-Miner, ovvero:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (4)$$

dove  $n_i$  è il numero di cicli di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  indotti dallo spettro di carico nel corso della vita prevista per il dettaglio e  $N_i$  è il numero di cicli di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  a rottura, ricavato dalla curva S-N caratteristica del dettaglio.

### 3.2. Il metodo dei coefficienti $\lambda$

Ben si comprende che il metodo rigoroso fin qui de-

TABELLA 4 – TABLE 4

COMBINAZIONE DI TRAFFICO LEGGERO CON ASSI  $\leq 225 \text{ kN}$ . COMBINATION OF LIGHT TRAFFIC WITH AXLES  $\leq 225 \text{ kN}$

Tipo di treno Train type	Numero di treni al giorno Number of trains per day	Massa del treno Train mass [t]	Volume di traffico Traffic volume [ $10^6 \text{ t/anno}$ ]
1	10	663	2,40
2	5	530	1,00
5	5	2160	1,40
9	190	296	20,50
	<b>51</b>		<b>25,30</b>

ropean legislation, takes account of the greater severity of the mix of trains adopted, that leads to the determination of strength values higher than those calculated with the mix envisaged under the previous instruction.

With reference to the previous instruction in force, however both the useful life of the railway bridge and the percentage of trains circulating remains unchanged, assumed equal to 100 years and to 33.3% respectively.

For some lines with particular characteristics and prior approval from RFI, the other two combinations can be used ("heavy traffic" and "light traffic" combination).

Once the load spectrum is known, the strength oscillogram and the spectrum of strengths or strength values  $\Delta\sigma_i$  and their corresponding  $n_i$  cycles can be derived for each train. The values of strength spectra are then combined to obtain the "global spectrum", namely that relating to a period equal to the life of the bridge project.

The following are two possible verification methods; the first, commonly called "safe life method" is used when required for a particular project, and is run by checking that:

$$\Delta\sigma_{max,d} = \gamma_M \cdot \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_D \quad (3)$$

where  $\Delta\sigma_{max,d}$  is the project value of the maximum normal strength ranges induced in the item considered by the load spectrum, and  $\Delta\sigma_D$  the fatigue limit of constant amplitude. Unlimited lifetime verification is excluded for all items whose S-N curves have no fatigue limit at constant amplitude (e.g. peg connectors).

The second method, commonly referred to as the damage tolerant method, involves the application of the Palmgren-Miner rule, namely:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (4)$$

where  $n_i$  is the number of cycles of amplitude,  $\Delta\sigma_{i,d}$  induced by the load spectrum during the expected lifetime for the item and  $N_i$  is the number of cycles of amplitude  $\Delta\sigma_{i,d}$  upon breaking, derived from the S-N curve characteristic of the item.

scritto risulta di complessa applicazione nella progettazione. Per ovviare a tale complessità e difficoltà operativa è stato mantenuto il metodo semplificato dei coefficienti  $\lambda$  che consente di ricondurre la verifica a fatica ad una verifica convenzionale di resistenza, attraverso il confronto del delta ideale convenzionale di tensione di progetto. Tale metodo fu introdotto nella precedente versione della 44F, si trovano prime indicazioni del metodo già in un articolo pubblicato su Ingegneria Ferroviaria nel Novembre del 1990, dagli Ingg. D. COCCIAGLIA, S. DI TRAPANI, M. TISALVI e G. TRAINI. Nella fig. 5 è stato riportato un riepilogo illustrato della procedura.

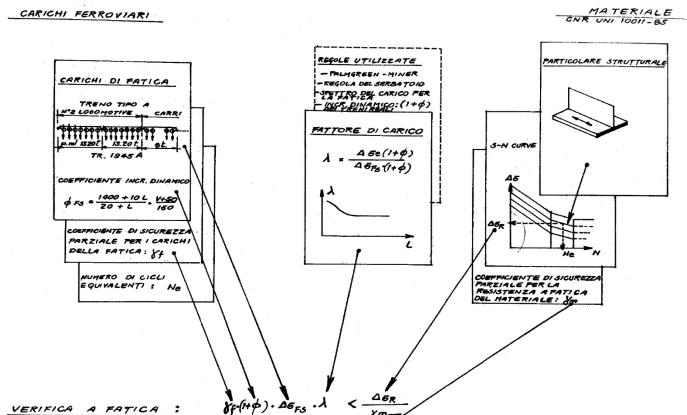


Fig. 5 – Riepilogo illustrato della procedura del metodo semplificato. *Illustrated summary of the simplified method procedure.*

Attualmente il metodo è stato adeguato agli Eurocodici, ed in particolare è espresso in funzione del sovraccarico teorico di calcolo adottato per il ponte (LM71) moltiplicato per il coefficiente di amplificazione  $\Phi_2$  e per il coefficiente  $\lambda$ , con la classe di resistenza a fatica del particolare. Più precisamente:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda \times \Phi_2 \times \Delta\sigma_{71} \quad (5)$$

Per essere in sicurezza nei riguardi della fatica dovrà verificarsi la seguente condizione:

$$\Delta\sigma_{E,d} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad (6)$$

L'applicazione del procedimento esposto ha come vantaggio la possibilità di utilizzare i carichi di progetto per l'analisi di fatica, riducendo in maniera drastica il numero di simulazioni da eseguire.

Il coefficiente  $\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4$  tiene conto attraverso i coefficienti  $\lambda_i$  dell'effetto di danneggiamento dovuto alla portata teorica ( $\lambda_1$ ), del volume di traffico ( $\lambda_2$ ), della vita utile a fatica del ponte ( $\lambda_3$ ) e della presenza del doppio binario ( $\lambda_4$ ).

### 3.2. The coefficients $\lambda$ method

It is well understood that the rigorous method described here is a complex application in design. To work around this complexity and operational difficulties, the simplified method of the coefficients  $\lambda$  was kept allowing to take fatigue verification back to a formal verification of strength, through the comparison of the ideal conventional project strength delta. This method was introduced in the previous version of the 44F; there are first indications of the method already in an article published on Ingegneria Ferroviaria in November 1990, by Engineers D. COCCIAGLIA, S. DI TRAPANI, M. TISALVI and G. TRAINI. Fig. 5 reports an illustrated summary of the procedure.

Currently, the method has been adapted to the Eurocodes, and, in particular, it is expressed as a function of theoretical overload calculation adopted for the bridge (LM71) multiplied by the coefficient of amplification 2 and by coefficient  $\lambda$ , with the fatigue strength of the item. More precisely:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda \times \Phi_2 \times \Delta\sigma_{71} \quad (5)$$

In order to be safe against fatigue the following condition will have to occur:

$$\Delta\sigma_{E,d} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad (6)$$

The application of the procedure described simply has the ability to use project loads for fatigue analysis as an advantage, drastically reducing the number of simulations to be run.

The coefficient  $\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4$  takes into account the effect of damage due to the theoretical load ( $\lambda_1$ ), traffic volume ( $\lambda_2$ ), fatigue service life of the bridge ( $\lambda_3$ ) and the presence of the double track ( $\lambda_4$ ) through the coefficients  $\lambda_i$ .

In determining  $\lambda_i$  the span should be taken with reference to tables 2.1-2 and 2.1-3 of the standard (tables 5 and 6), respectively for stress conditions from bending and shear stresses.

From what can be seen from tables 5 and 6, the fact that now the simplified method can be used also for continuous structure decks is of particular interest and a novelty.

### 3.3. Fatigue details

At a fatigue detail level, the novelty is represented by the possibility to use many more items than the previous version of the standard, this is because the items of CNR 10011, recalled in the previous 44F, have now been integrated by those resulting from numerous experiments on additional welded and bolted connections, items that

## SCIENZA E TECNICA

Nella determinazione di  $\lambda_1$  la luce della campata dovrebbe essere assunta facendo riferimento alle tabelle 2.1-2 e 2.1-3 della norma (tabelle 5 e 6), rispettivamente per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di flessione e di taglio.

VALUTAZIONE DELLA LUCE L PER STATI TENSIONALI PROVENIENTI DA SOLLECITAZIONI DI FLESSIONE  
(Tab. 2.1-2 DELLA NUOVA SPECIFICA) EVALUATION OF THE SPAN L FOR STRESS STATES DERIVING FROM  
BENDING STRESSES (Table 2.1-2 OF THE NEW SPECIFICATION)

Per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di flessione - For stress states deriving from bending stresses			
	Per - For	Luce L da considerare – Span L to be considered	
1	Una campata semplicemente appoggiata <i>A simply supported span</i>	Luce della campata L <i>Span width</i>	
2	Campate continue <i>Continuous spans</i>	La luce della campata Li considerata <i>Width of the considered span</i>	
	Nelle sezioni di mezzeria (v. fig. 3.1-1) <i>In the center line sections (see figure 3.1-1)</i>		
3	Campate continue <i>Continuous spans</i>	La media delle campate Li e Lj adiacenti a quell'appoggio <i>Average of the spans Li and Lj adjacent to the considered support</i>	
	Nelle sezioni sugli appoggi (v. fig. 3.1-1) <i>In the sections at supports (see figure 3.1-1)</i>		
4	Travature trasversali facenti da appoggio a supporti delle rotaie (o a irrigidimenti) <i>Cross trusses supporting the rail chairs (or the stiffeners)</i>	La somma delle due campate dei supporti delle rotaie (o degli irrigidimenti) immediatamente adiacenti alla travatura trasversale <i>Sum of the two spans of the rail chair (or of the stiffeners) directly adjacent to the cross truss</i>	
5	a Piastra di impalcato sostenuta solo da travature o irrigidimenti trasversali (senza elementi longitudinali) e per quelle che sostengono elementi trasversali <i>Deck plate supported only by cross trusses or stiffeners (without longitudinal elements) and for plates supporting cross elements</i>	Lunghezza della linea di influenza dello spostamento (tralasciando le parti con lo spostamento verso l'alto), prendendo in dovere conto la rigidezza delle rotaie nella distribuzione del carico <i>Length of the displacement influence line (neglecting the parts with upward displacement), taking in due account the rail stiffness in the load distribution</i>	
	b Elementi trasversali distanti tra di loro non più di 750 mm <i>Transversal elements spaced of no more than 750 mm</i>	2 volte la distanza tra gli elementi trasversali + 3 m <i>2 times the distance between the transversal elements + 3m</i>	

Da quanto si evince dalle tabelle 5 e 6, di particolare interesse e novità è il fatto che adesso è possibile utilizzare il metodo semplificato anche per gli impalcati a struttura continua.

### 3.3. Dettagli di fatica

A livello di dettagli a fatica, la novità è rappresentata dal poter utilizzare numerosi dettagli in più rispetto alla precedente versione della norma, questo perché i dettagli della CNR 10011, richiamati nella precedente 44F, adesso sono stati integrati da quelli derivanti dalle numerose sperimentazioni su ulteriori collegamenti saldati e bullonati, dettagli che sono stati già inseriti nell'attuale versione dell'EC3 parte 1-9.

have already been included in the current version of EC3 part 1-9.

For example, in the current version of the standard items of shear and tensile stressed bolts were included (figures 6 and 7).

TABELLA 5 – TABLE 5

A number of other items regarding the connections of longitudinal stiffening's were included (fig. 8), since they were further divided according to the type of connection in the terminal part (tapered variable angle at 90°).

Bolted connections items were also increased, although performing a downward reclassification of item values at the same time. Indeed, it is necessary to emphasize that the fatigue strength "SN" curves of bolted joints, included in the current version of Eurocode 3 (UNI EN 1993-1-9: 2005 Part 1-9: Fatigue) that Ministerial Decree 14/01/08 refers to, are considerably more penalising than those of CNR 10011 so far used, prescribing a differential strength of 90 N/mm<sup>2</sup> against the current 140 N/mm<sup>2</sup> for this type of joint. As a result the di-

## SCIENZA E TECNICA

Ad esempio, nell'attuale versione della norma sono stati inseriti i particolari dei bulloni sollecitati a taglio e trazione (figg. 6 e 7).

Sono stati inseriti numerosi altri dettagli riguardanti i collegamenti degli irrigidenti longitudinali (fig. 8), poiché sono stati ulteriormente suddivisi in funzione del tipo di raccordo nella parte terminale (rastremato ad angolo variabile, a 90°).

Sono stati anche aumentati i dettagli dei collegamenti bullonati, effettuando però al contempo una riclassificazione verso il basso del valore dei dettagli. Infatti, è necessario sottolineare che le curve "SN" di resistenza a fatica delle giunzioni bullonate, riportate nell'attuale versione dell'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-1-9:2005 Parte 1-9: Fatica) a cui il DM 14/01/08 rimanda, sono notevolmente più penalizzanti di quelle della CNR 10011 finora utilizzata, prescrivendo per questo tipo di giunto un delta resistenziale di 90 N/mm<sup>2</sup> contro gli attuali 140 N/mm<sup>2</sup>. Di conseguenza il dimensionamento di tali particolari risulta sensibilmente aggravato (figg. 9 e 10).

Nella nuova versione della norma sono inoltre riportati dettagli riguardanti le piastre ortotrope (fig. 11).

Nello spirito della precedente Istruzione 44F, frutto delle esperienze accu-

TABELLA 6 – TABLE 6

VALUTAZIONE DELLA LUCE L PER STATI TENSIONALI PROVENIENTI DA SOLLECITAZIONI DI TAGLIO (Tab. 2.1-3 DELLA NUOVA SPECIFICA)  
*EVALUATION OF THE SPAN L FOR STRESS STATES DERIVING FROM SHEAR STRESSES  
(*Table 2.1-3 OF THE NEW SPECIFICATION*),*

Per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di flessione - <i>For stress states deriving from bending stresses</i>		
	Per: <i>For:</i>	Luce L da considerare <i>Span L to be considered</i>
6	Una campata semplicemente appoggiata <i>A simply supported span</i>	La luce della campata L <i>Width of the considered span</i>
	Nelle sezioni di mezzeria (v. fig. 3.1.-1) <i>In the center line sections (see figure 3.1-1)</i>	
7	Una campata semplicemente appoggiata <i>A simply supported span</i>	0,4 x la luce della campata L <i>0,4 x width of the considered span</i>
	Nelle sezioni sugli appoggi (v. fig. 3.1.-1) <i>In the sections at the supports (see figure 3.1-1)</i>	
8	Campate continue <i>Continuous spans</i>	La luce della campata Li considerata <i>Width of the considered span Li</i>
	Nelle sezioni di mezzeria (v. fig. 3.1.-1) <i>In the centre line sections (see figure 3.1-1)</i>	
9	Campate continue <i>Continuous spans</i>	La luce della campata Li considerata <i>0,4 x width of the considered span Li</i>
	Nelle sezioni sugli appoggi (v. fig. 3.1.-1) <i>In the sections at the supports (see figure 3.1-1)</i>	

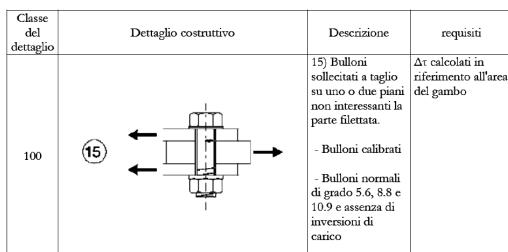


Fig. 6 – Bulloni sollecitati a taglio. *Shear stressed bolts.*

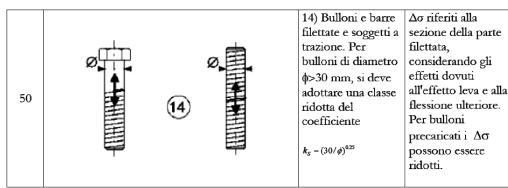


Fig. 7 – Bulloni sollecitati a trazione. *Tensile stressed bolts.*

mensioning of these items is significantly worsened (figures 9 and 10).

Items relating to the orthotropic plates are also reported in new version of the standard (fig. 11).

In the spirit of the previous Instruction 44F, a result of experience accumulated over the years, not all details can be used on railway decks (fig. 12). In the current version of the standard, the details marked with the symbol "\*" within the tables are not usable on metal railway bridges.

Experimental data relating to certain construction details may not correspond to any of the fatigue strength curves. To avoid non-conservative conditions, and to refine checks for these construction details, the fatigue strength category immediately below that which would result from the experimental strength at  $2 \times 10^6$  cycles is adopted. These construction details are identified with an asterisk in the tables. The classification of these details can be increased by one category if a fatigue strength curve in which the constant amplitude fa-

## SCIENZA E TECNICA

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
80 (a)		1) Attacchi saldati longitudinali 1) la classe del dettaglio dipende dalla lunghezza dell'attacco	Spessore dell'attacco minore della sua altezza. In caso contrario vedi dettagli 5) e 6)
71 (b)		(a) $L \leq 50$ mm (b) $50 < L \leq 80$ mm (c) $80 < L \leq 100$ mm (d) $L > 100$ mm	
63 (c)		2) Attacchi saldati longitudinali a piatti o tubi con $L > 100$ mm e $\alpha < 45^\circ$	
56 (d)		3) Faroletti d'attacco saldati a piatti o tubi con cordoni d'angolo longitudinali e dotati di raccordo di transizione di raggio $r$ $r > 150$ mm	Raccordo di transizione di taglio e realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
71			
80			

Fig. 8 – Dettagli costruttivi per attacchi e irrigiditori saldati.  
Construction item for couplings and welded stiffeners.

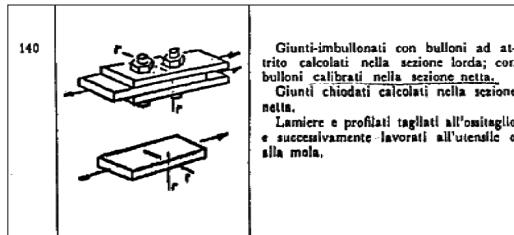


Fig. 9 – Dettaglio di un giunto bullonato nella vecchia 44F. Detail of a bolted joint in the old 44F.

mulate negli anni, non tutti i dettagli sono utilizzabili sugli impalcati ferroviari (fig. 12). Nella versione attuale della norma, i dettagli contrassegnati dal simbolo “\*” all'interno delle tabelle non sono utilizzabili su ponti ferroviari metallici.

I dati sperimentali relativi a certi dettagli costruttivi possono non corrispondere ad alcuna delle curve di resistenza a fatica. Per evitare condizioni non conservative, e per affinare le verifiche, per tali dettagli costruttivi si adotta la categoria di resistenza a fatica immediatamente inferiore rispetto a quella che sarebbe risultata dalla resistenza sperimentale a  $2 \times 10^6$  cicli. Questi dettagli costruttivi sono identificati con un asterisco nelle tabelle. La classificazione di questi dettagli può essere aumentata di una categoria, purché venga adottata una curva di resistenza a fatica nella

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
112		8) Giunti bullonati con coprignenti doppi e bulloni AR precalcinati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda Per i giunti bullonati (dettagli da 8) a 13) in generale:
90		9) Giunti bullonati con coprignenti doppi e bulloni calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta Distanza dal bordo $e \geq 1,5d$
		10) Giunti bullonati con coprignenti singoli e bulloni AR precalcinati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda Distanza dal bordo $e \geq 1,5d$
		11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta Spaziatura a $p \geq 2,5d$
80		12) Giunti bullonati con coprignenti singoli e bulloni calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta Spaziatura a $p \geq 2,5d$ Per la simbologia cfr. EN 1993-1-8 Figura 3.1
50		13) Giunti bullonati con coprignenti singoli o doppi con bulloni con precalcinati in fori di tolleranza normale. Assenza di inversioni del casco.	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta

Fig. 10 – Dettagli riguardanti i giunti bullonati nell'attuale versione. Items related to bolted connections in the current version.

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
80 $\leq 12\text{mm}$		1) Collegamento di un incidente longitudinale con una travatura trasversale	1) Valsintone basata sullo stato tensionale normale $\Delta\sigma$ sull'incidente.
71 $> 12\text{mm}$			

Fig. 11 – Esempio di dettaglio costruttivo riguardante la piastra ortotropa. Example of construction detail relating to the orthotropic plate.

tigue limit ( $\Delta\sigma_D$ ) is equal to the fatigue strength at  $10^7$  cycles is adopted (fig. 13).

### 4. Fatigue assessment of reinforced concrete

One of the innovative aspects of the new specification is the introduction of rail-related fatigue assessment of concrete structures. For this test Eurocode 2 was taken as full reference, both in the 2006 formulation and in the 2000 formulation.

In Ministerial Decree of January 9, 1996 fatigue tests for concrete only were not foreseen, while for reinforce-



Fig. 12 – Esempio di dettaglio non utilizzabile. Example of unusable detail.

quale il limite di fatica ad ampiezza costante ( $\Delta\sigma_D$ ) sia posto pari alla resistenza a fatica a  $10^7$  cicli (fig. 13).

#### 4. Verifica a fatica del cemento armato

Uno degli aspetti innovativi della nuova specifica è costituito dall'introduzione in ambito ferroviario della verifica a fatica delle strutture in cemento armato. Per tale verifica si è preso a completo riferimento l'Eurocodice 2, sia nella formulazione del 2006 che nella formulazione del 2000.

Nel D.M. 9 gennaio 1996 non erano previste le verifiche a fatica per il solo cls, mentre per le barre d'armatura, al fine di limitare i possibili effetti della fatica, dovevano essere soddisfatte le seguenti limitazioni:

in presenza di sollecitazioni che potevano indurre fenomeni di fatica, se le tensioni di esercizio rientravano nella seguente limitazione:

$$\sigma_{\min} < \frac{2}{3} \cdot \sigma_{\max} \quad (7)$$

le tensioni limite venivano ridotte secondo l'espressione:

$$\bar{\sigma} = 0,75 \cdot \sigma_s \cdot \left( 1 + 0,5 \cdot \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \right) \quad (8)$$

dove  $\sigma_s$  è la tensione dell'armatura in esercizio.

In realtà da studi ed esperienze effettuate si è potuto osservare un decadimento del comportamento e delle prestazioni delle strutture in calcestruzzo armato sottoposte a cicli di carico e scarico, ed in particolare:

- ✓ la riduzione della resistenza a compressione e a trazione del calcestruzzo (fig. 14);
- ✓ la riduzione della sicurezza dovuta al deterioramento del conglomerato e dell'acciaio;
- ✓ l'incremento delle deformazioni a causa della diminuzione del modulo E del calcestruzzo e dello sviluppo della fessurazione, con conseguente maggiore esposizione delle armature alla corrosione, e con degrado della risposta all'aumentare del numero di cicli (fig. 15);
- ✓ la maggiore deformabilità e ad una minore capacità di smorzamento;
- ✓ l'incremento della microfessurazione e, quindi, della permeabilità;
- ✓ la riduzione dell'aderenza acciaio calcestruzzo.

Quanto sopra comporta quindi una riduzione della vita di servizio dell'opera. È questo il motivo per cui la fatica

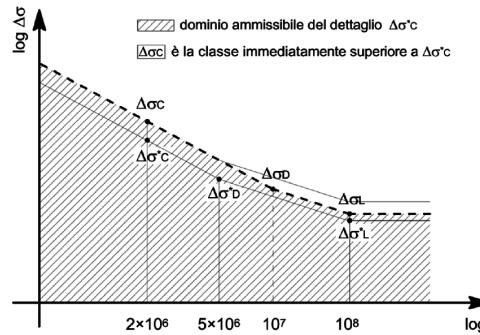


Fig. 13 – Classificazione alternativa  $\Delta\sigma_c$  per dettagli classificati come  $\Delta\sigma'_c$ . Alternative classification for details classified as  $\Delta\sigma'_c$ .

ment bars the following limitations had to be satisfied in order to limit the possible effects of fatigue:

in the presence of stresses that might induce fatigue phenomena, if operating strengths were under the following restriction:

$$\sigma_{\min} < \frac{2}{3} \cdot \sigma_{\max} \quad (7)$$

limit strengths were reduced according to the expression:

$$\bar{\sigma} = 0,75 \cdot \sigma_s \cdot \left( 1 + 0,5 \cdot \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \right) \quad (8)$$

where  $\sigma_s$  is the reinforcement strength during operation.

In fact according to studies carried out and experiences gained, it was possible to observe a deterioration of the behaviour and performance of reinforced concrete structures subjected to load and unload cycles, and in particular:

- ✓ reduction of compressive strength and tensile strength of concrete (fig. 14);
- ✓ the reduction of safety due to the deterioration of the conglomerate and of steel;
- ✓ the increase of deformations due to the decrease of the concrete E module and the development of cracking, resulting in increased exposure of reinforcements to corrosion and with degradation of the response as the number of cycles increases (fig. 15);
- ✓ greater deformability and less damping capacity;
- ✓ the increase in micro-cracking and therefore of permeability;
- ✓ the reduction of concrete-steel adherence.

The above therefore involves reducing the service life of the work. This is why fatigue in reinforced concrete as well as in metal structures must be kept under control.

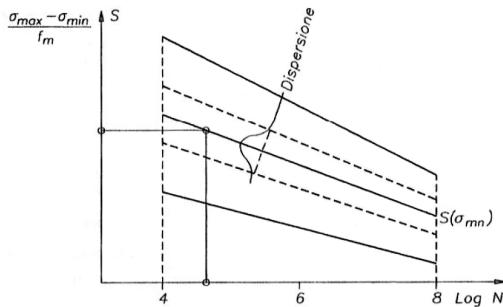


Fig. 14 – Esempio di decadimento delle caratteristiche del cls con il numero di cicli. *Example of deterioration of the characteristics of concrete with the number of cycles.*

ca nel cls armato, oltre che nelle strutture metalliche, deve essere tenuta sotto controllo.

Si comprende quindi il notevole salto a livello normativo: nell'attuale versione della Specifica la verifica a fatica deve essere effettuata su tutte le strutture o elementi strutturali soggetti a regolari cicli di carico e deve essere condotta separatamente per l'acciaio e per il calcestruzzo.

Come per le strutture metalliche, anche per le verifiche del cemento armato la Specifica dà la possibilità di seguire sia un metodo rigoroso, sia un metodo semplificato dei  $\lambda$ . Le combinazioni di azioni con cui si tiene conto delle azioni cicliche vengono definite in riferimento alle combinazioni di carico frequenti per gli Stati Limite di Esercizio, utilizzando il modello di carico LM71 e nell'ipotesi di sezioni fessurate (trascurando, cioè, la resistenza a trazione del calcestruzzo).

Vediamo nello specifico le verifiche che devono essere effettuate.

#### 4.1. Verifica a fatica nel calcestruzzo

La Specifica attuale, per ciò che concerne il calcestruzzo, prevede tre tipi di verifica, ognuno alternativo all'altro. Per la simbologia si rimanda alla Specifica.

- *Verifica 1:*

La verifica a fatica per il calcestruzzo compresso, può ritenersi soddisfatta se è vera la:

$$\frac{\sigma_{c,Max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,9 \quad (9)$$

per  $f_{ck} \leq 50$  MPa

dove  $f_{cd,fat}$  è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo soggetto a carichi di fatica.

- *Verifica 2, metodo dell'intervallo di tensione equivalente:*

Si può ritenere che vi sia una soddisfacente resistenza a fatica del calcestruzzo compresso se è soddisfatta la seguente condizione:

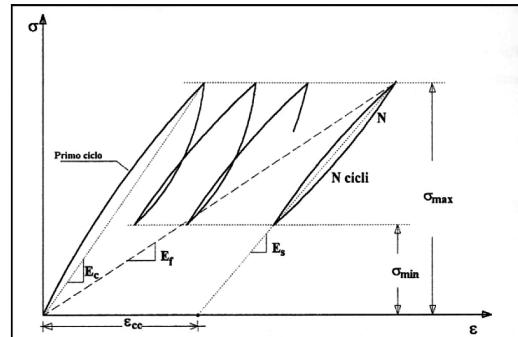


Fig. 15 – Andamento del modulo E con il numero dei cicli. *Trend of the E module with the number of cycles.*

The significant jump at a regulatory level is therefore understandable: in the current version of the Specification the fatigue verification must be performed on all structures or structural elements subject to regular load cycles and must be conducted separately for steel and concrete.

As for metal structures, the Specification gives the opportunity to follow both a strict method and a simplified method of  $\lambda$  also for concrete tests. Combinations of actions with which account of cyclic actions is taken are defined in reference to the frequent load combinations for Operating Limit States, using the LM71 load pattern and assuming cracked sections (that is to say neglecting the tensile strength of concrete).

Let us see specifically the checks that must be carried out.

#### 4.1. Fatigue assessment in concrete

The current Specification, with regard to concrete, provides for three types of verification, each alternative to the other. For symbology, please refer to the Specification.

- *Check 1:*

Fatigue assessment for compressed concrete, can be considered satisfied if the following is true:

$$\frac{\sigma_{c,Max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,9 \quad (9)$$

for  $f_{ck} \leq 50$  MPa

where  $f_{cd,fat}$  is the reduced compressive strength of concrete subjected to fatigue loads.

- *Check 2, method of equivalent strength range:*

It can be considered that there is a satisfactory fatigue strength of compressed concrete if the following condition is met:

## SCIENZA E TECNICA

$$14 \cdot \frac{1 - E_{cd,max,eq}}{\sqrt{I - R_{eq}}} \geq 6 \quad (10)$$

- *Verifica 3, metodo di Miner:*

Nel caso di cicli multipli di ampiezza variabile, il danneggiamento da fatica può accumularsi secondo la regola di Palmgren – Miner. Si raccomanda che il fattore di danneggiamento a fatica,  $D_{Ed}$ , causato dai carichi a fatica considerati, soddisfi la condizione:

$$D_{Ed} = \sum_i \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} < 1 \quad (11)$$

$n(\Delta\sigma_i)$  è il numero di cicli di carico corrispondenti all'intervallo di tensione;

$N(\Delta\sigma_i)$  è il numero di cicli di carico resistenti corrispondenti all'intervallo di tensione.

### 4.2. Verifica a fatica nell'acciaio di armatura

Per ciò che concerne gli effetti della fatica nell'acciaio ordinario costituite le armature, le conseguenze maggiori sono le seguenti:

- ✓ il danneggiamento della struttura molecolare conduce ad una rottura quasi improvvisa senza deformazioni macroscopiche;
- ✓ la rottura si manifesta per tensioni inferiori al limite di snervamento;
- ✓ esiste un limite di fatica, e cioè una sollecitazione al di sotto della quale non si ha rottura per più di  $10^6$  cicli.

Vediamo nello specifico come si deve effettuare la verifica a fatica dell'acciaio teso; anche in questo caso si possono eseguire alternativamente tre tipi di verifiche:

- *Verifica 1:*

Per barre di armatura ordinaria o di precompressione non saldate soggette a trazione, si può ritenere adeguata la resistenza a fatica se, per le azioni cicliche frequenti combinate con la combinazione base, si ha:

$$\Delta\sigma_s \leq 70 \text{ MPa}$$

- *Verifica 2, metodo dell'intervallo di tensione equivalente:*

Per l'acciaio di armatura ordinaria o di precompressione, secondo il metodo dell'intervallo di tensione equivalente, si può ritenere adeguata la resistenza a fatica se è soddisfatta la seguente espressione:

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,eq} (N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk} (N^*)}{\gamma_{S,fat}} \quad (12)$$

dove:

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$  è l'intervallo di tensione dovuto ad cicli e ricavato dall'appropriata curva S-N;

$$\Delta\sigma_{s,eq} = \lambda_s \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{s,71} \quad (13)$$

$\Delta\sigma_{s,eq}(N^*)$  è l'intervallo di tensioni equivalenti al danno per l'armatura ordinaria soggetta ad cicli di carico.

- *Verifica 3, metodo di Miner:*

$$14 \cdot \frac{1 - E_{cd,max,eq}}{\sqrt{I - R_{eq}}} \geq 6 \quad (10)$$

- *Check 3, Miner's method:*

In the case of multiple cycles of variable amplitude, fatigue damage can accumulate according to the rule of Palmgren – Miner. It is recommended that the fatigue damage factor,  $D_{Ed}$ , caused by the fatigue loads considered, satisfies the condition:

$$D_{Ed} = \sum_i \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} < 1 \quad (11)$$

$n(\Delta\sigma_i)$  is the number of load cycles corresponding to the strength range;

$N(\Delta\sigma_i)$  is the number of resistant load cycles corresponding to the strength range.

### 4.2. Fatigue assessment of reinforcement steel

With regard to the effects of fatigue in ordinary steel constituting reinforcements, the major consequences are as follows:

- ✓ damage to the molecular structure leads to an almost sudden break without macroscopic deformation;
- ✓ break occurs for strengths below the yield limit;
- ✓ there is a fatigue limit, namely a stress below which there is no break for more than  $10^6$  cycles.

Let us see in detail how tensioned steel fatigue assessment must be carried out; even in this case three types of checks can be run alternatively:

- *Check 1:*

For ordinary reinforcement or non-welded prestressed bars under traction, the strength fatigue can be considered adequate if we have, for frequent cyclic actions combined with the base combination:

$$\Delta\sigma_s \leq 70 \text{ MPa}$$

- *Check 2, method of equivalent stress range:*

For ordinary reinforcement or pre-stressed steel, in accordance with the method of equivalent strength range, the fatigue strength can be considered adequate if the following expression is satisfied:

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,eq} (N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk} (N^*)}{\gamma_{S,fat}} \quad (12)$$

where:

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$  is the strength range due to cycles and taken from the appropriate S-N curve;

$$\Delta\sigma_{s,eq} = \lambda_s \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{s,71} \quad (13)$$

$\Delta\sigma_{s,eq}(N^*)$  is the strength range equivalent to ordinary reinforcement damage subjected to load cycles.

- *Check 3, Miner's method:*

## SCIENZA E TECNICA

Nel caso di cicli multipli di ampiezza variabile, il danneggiamento da fatica può accumularsi secondo la regola di Palmgren – Miner. Si raccomanda che il fattore di danneggiamento a fatica,  $D_{Ed}$ , causato dai carichi a fatica considerati, soddisfi la condizione (11).

Per la definizione delle azioni e per la determinazione dello spettro delle tensioni si deve fare riferimento a quanto riportato nella Specifica nella parte comune con l'acciaio.

### 4.3. Verifica a fatica da taglio del calcestruzzo

La nuova Specifica prevede anche una verifica a fatica da taglio del calcestruzzo per elementi che non presentano armatura a taglio allo SLU:

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,Max}} \leq 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,Max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \begin{cases} \leq 0,9 \text{ per C50/60} \\ \leq 0,8 \text{ per > C55/67} \end{cases} \quad (14)$$

per

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,Max}} < 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,Max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \quad (15)$$

### 4.4. Conclusioni relative alla verifica a fatica del calcestruzzo

Tutte le formulazioni sopra richiamate sono state testate sulle solette delle principali tipologie di impalcato ferroviario adottate nell'ambito delle nuove linee AV/AC; le solette sono risultate idonee nei confronti delle verifiche a fatica.

Tra le verifiche effettuate è emerso che in quella dell'acciaio di armatura, nella determinazione del valore di  $\Delta\sigma_{s,eqv}$ , c'è una notevole incidenza della tensione  $\Delta\sigma_{s,1+2}$ , indicativa della condizione di incrocio dei convogli ferroviari, inoltre la verifica a fatica da taglio del calcestruzzo è risultata tra le più significative.

In the case of multiple cycles of variable amplitude, fatigue damage can accumulate according to the rule of Palmgren - Miner. It is recommended that the fatigue damage factor,  $D_{Ed}$ , caused by the fatigue loads considered, satisfies the condition (11).

For the definition of actions and for the determination of the spectrum of strengths, reference must be made to what is reported in the Specification in the part common with steel.

### 4.3. Shear fatigue assessment of concrete

The new Specification also includes a concrete shear fatigue assessment for elements that have no shear reinforcement at ULS (Ultimate Limit State):

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,Max}} \leq 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,Max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \begin{cases} \leq 0,9 \text{ per C50/60} \\ \leq 0,8 \text{ per > C55/67} \end{cases} \quad (14)$$

for

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,Max}} < 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,Max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \quad (15)$$

### 4.4. Conclusions on the fatigue assessment of concrete

All the aforementioned formulations were tested on the slabs of the main railway deck typologies adopted within the framework of the new HS/HC lines; the slabs resulted to be suitable against the fatigue assessment.

In determining the value of  $\Delta\sigma_{s,eqv}$ , the verifications carried out for reinforcement steel showed that there is a considerable incidence of strength  $\Delta\sigma_{s,1+2}$  that is indicative of the condition of crossing of train convoys; moreover shear fatigue assessment of concrete was among the most significant.

#### Sommaire

#### PRESENTATION DE LA NORME POUR LA VERIFICATION SOUS CHARGE DES PONTS FERROVIAIRES

Le Décret Ministériel du Ministre des Infrastructures du 14.1.2008 intitulé "Approbation des nouvelles normes techniques pour les constructions" et de la Circulaire du 02.02.2009 n. 617 "Instructions pour l'application des nouvelles normes techniques pour les constructions" a constitué un pas résolutif dans notre Pays, pour l'alignement des règles techniques nationales aux codes européens. Le projet des infrastructures, celles ferroviaires en particulier, a ressenti sensiblement du nouveau cadre normatif et a demandé une substantielle mise à jour des instructions ferroviaires. Dans ce contexte s'insère la révision de l'instruction 44F relative à la charge des ponts ferroviaires. Dans cet article, qui a pour but l'introduction à la lecture de la version intégrale du texte de la norme pour la vérification sous charge des ponts ferroviaires, seront illustrées les principales nouveautés introduites dans le domaine des vérifications sous charge.

#### Zusammenfassung

#### VORSTELLUNG DER RICHTLINIEN FÜR DIE ERMÜDUNGS-NACHPRÜFUNG VON EISENBAHNBRÜCKEN

Benutzung der neuen Technischen Baunormen vor. Dieses bewirkt einen großen Fortschritt für das Einreißen der italienischen Normen gegenüber den Eurokoden.

Die Planung von Eisenbahn-Infrastrukturen wurde von neuen Normen stark beeinflusst, was die Fortbildung der Technischen Richtlinien 44F für Ermüdungsnachprüfung der Eisenbahnbrücken benötigte.

Hier wird es eine Einleitung zum Studium der neuen Normen vorgestellt, mit besonderer Aufmerksamkeit an den Neuheiten.