

	SPECIFICA	
	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 1 di 69

<p style="text-align: center;">SPECIFICA</p> <p style="text-align: center;">PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI</p>	
Parte	Titolo
PARTE I	SCOPO E CAMPO D'APPLICAZIONE DOCUMENTAZIONE CORRELATA DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI
PARTE II	VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI METALLICI
	CAPITOLO 1 METODO DI VERIFICA RIGOROSO
	CAPITOLO 2 METODO DEI COEFFICIENTI λ
PARTE III	VERIFICA A FATICA NEL CEMENTO ARMATO
	CAPITOLO 3 CONDIZIONI DI VERIFICA
	CAPITOLO 4 DEFINIZIONE DEI CARICHI
	CAPITOLO 5 VERIFICA DELL'ACCIAIO PER ARMATURA ORDINARIA E DI PRECOMPRESSIONE
	CAPITOLO 6 VERIFICA DEL CALCESTRUZZO SOGGETTO A COMPRESSIONE E TAGLIO
	CAPITOLO 7 VERIFICA A FATICA NEL CASO DI CICLI MULTIPLI DI AMPIEZZA VARIABILE
PARTE IV	ALLEGATO 1 – Modelli di carico "Treni Reali" per le verifiche a fatica
	ALLEGATO 2 – Dettagli costruttivi

A termine di legge Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. si riserva la proprietà di questo documento che non potrà essere copiato, riprodotto o comunicato ad altri senza esplicita autorizzazione.

Rev.	Data	Descrizione	Verifica Tecnica	Autorizzazione
A	21/12/2011	Emissione per applicazione	M. Tisalvi	P. Firmi

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 2 di 69

INDICE

PARTE I	4
SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	4
DOCUMENTAZIONE CORRELATA	5
DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI	6
PARTE II	10
VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI METALLICI	10
CAPITOLO 1 – METODO DI VERIFICA RIGOROSO	10
1.1 Assunzione dello spettro di carico	10
1.2 Passaggio dello spettro di carico agli oscillogrammi delle tensioni	13
1.3 Determinazione dello spettro delle tensioni.....	13
1.4 Coefficienti parziali di sicurezza γ_{Mf}	14
1.5 Curve SN	15
1.6 Modalità di verifica.....	19
1.6.1 Verifica a vita illimitata.....	19
1.6.2 Verifica a danneggiamento	19
1.6.2.1 Verifica sotto carico combinato	20
1.6.3 Influenza dello spessore.....	20
CAPITOLO 2 – METODO DEI COEFFICIENTI λ	22
2.1 Valori numerici del fattore di correzione “ λ ”	23
2.3 Influenza della vita utile a fatica	28
2.4 Influenza del doppio binario	28
2.5 Combinazione del danneggiamento da intervalli di sforzo locali e globali.....	29
2.6 Influenza dello spessore	30
PARTE III	31
VERIFICA A FATICA NEL CEMENTO ARMATO	31

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 3 di 69

CAPITOLO 3 – CONDIZIONI DI VERIFICA..... 31

CAPITOLO 4 – DEFINIZIONE DEI CARICHI 32

**CAPITOLO 5 – VERIFICA DELL’ACCIAIO PER ARMATURA
ORDINARIA E DI PRECOMPRESSIONE 33**

**CAPITOLO 6 – VERIFICA DEL CALCESTRUZZO SOGGETTO A
COMPRESSIONE E TAGLIO..... 38**

6.1 Verifica del calcestruzzo compresso..... 38

6.2 Verifica a fatica da taglio del calcestruzzo 41

**CAPITOLO 7 – VERIFICA A FATICA NEL CASO DI CICLI MULTIPLI DI
AMPIEZZA VARIABILE..... 42**

7.1 Verifica dell’acciaio teso 42

PARTE IV 43

**ALLEGATO 1 – MODELLI DI CARICO TIPO “TRENI REALI” PER
VERIFICHE A FATICA..... 44**

ALLEGATO 2 – DETTAGLI COSTRUTTIVI..... 48

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 4 di 69

PARTE I

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Questo documento annulla e sostituisce l'Istruzione FS "44F – *Verifiche a fatica dei ponti ferroviari metallici*" del 30.01.1992. L'aggiornamento si è reso necessario a seguito dell'emanazione del "Decreto Ministeriale del Ministro delle Infrastrutture del 14.1.2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", nonché della pubblicazione delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (S.T.I.) per il Sottosistema Infrastruttura del sistema ferroviario trans-europeo ad alta velocità e convenzionale.

Il D.M. del 14.1.2008 al punto 4.2.2.1 prescrive che si debba verificare uno *stato limite di fatica*, controllando le variazioni tensionali indotte dai carichi ripetuti in relazione alle caratteristiche dei dettagli strutturali interessati.

Scopo della presente Specifica è:

- fornire al progettista di ponti ferroviari le indicazioni necessarie ad eseguire le verifiche a fatica secondo una procedura rigorosa in accordo alla Circolare del 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.I.L.P.P. "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008";
- introdurre un metodo semplificato che, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle citate norme ed in conformità con le procedure della UNI EN 1993-2:2007 "Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 2: Ponti di acciaio" (Eurocodice 3), renda più agevoli le verifiche a fatica.
- fornire al progettista un metodo semplificato per effettuare le verifiche a fatica delle strutture in cemento armato, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle citate norme ed in conformità con le procedure della UNI EN 1992-2:2006 Parte 2 "Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi" (Eurocodice 2).

Si ricorda che, ai sensi della legge vigente, per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore del DM 14/01/2008 (il 6 marzo 2008 per le opere facenti parte del sistema di grande viabilità ferroviaria di cui all'Allegato 5 alla Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A e il 30 giugno 2009 per tutte le altre opere) continua ad applicarsi la

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 5 di 69

normativa tecnica già utilizzata per la redazione dei progetti fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo.

Al fine di rendere chiara e agevole la consultazione del testo, sono stati introdotti virgolettati con carattere ***grassetto corsivo*** gli estratti dal DM 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni” e dalla Circolare applicativa del C.S.LL.PP. n°617 del 2 febbraio 2009.

DOCUMENTAZIONE CORRELATA

Si riporta nel seguito l'elenco delle specifiche emanate da RFI relative ai ponti ferroviari correlate con la presente norma.

- | | |
|-----------------------------|--|
| RFI DTC INC PO SP IFS 001 A | Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario |
| RFI DTC INC PO SP IFS 004 A | Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo |

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 6 di 69

DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI

1 – SIMBOLI PRESENTI NEL DOCUMENTO

$\Delta\sigma_i$	Variazione di tensione generata dal treno n_i .
n_i	Numero di ripetizioni del $\Delta\sigma_i$.
N_i	Numero di cicli a rottura corrispondente al $\Delta\sigma_i$.
γ_{Mf}	Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica.
γ_f	Coefficiente parziale relativo alle azioni di fatica.
γ_m	Coefficiente parziale relativo alla resistenza.
$\Delta\sigma_C$	Resistenza a fatica del dettaglio per 2×10^6 cicli.
$\Delta\sigma_D$	Limite di fatica ad ampiezza costante.
$\Delta\sigma_L$	Limite per i calcoli di fatica.
$\Delta\sigma_C^*$	Resistenza a fatica del dettaglio per 10^7 cicli.
$\Delta\tau_C$	Resistenza a fatica del dettaglio sollecitato a taglio per 2×10^6 cicli.
m	Inclinazione della curva a fatica nel diagramma $\log(\Delta\sigma) - \log(N)$.
$\Delta\tau_L$	Limite per i calcoli di fatica del dettaglio sollecitato a taglio.
$\Delta\sigma_{\max,d}$	Valore di progetto della massima escursione di tensione normale.
$\Delta\sigma_{\max}$	Massima escursione di tensione normale.
$\Delta\tau_{\max,d}$	Valore di progetto della massima escursione di tensione tangenziale.
$\Delta\tau_{\max}$	Massima escursione di tensione tangenziale.
$\Delta\sigma_{i,d}$	Valore di progetto dell'escursione normale prodotta dal treno i .
$\Delta\sigma_{eq,d}$	Tensione equivalente ad ampiezza costante.
$\Delta\tau_{eq,d}$	Tensione tangenziale equivalente ad ampiezza costante.
$\Delta\sigma_{E,d}$	Delta di tensione convenzionale corrispondente a 2×10^6 cicli.
D_σ	Danneggiamento prodotto dai cicli di tensione normale.
D_τ	Danneggiamento prodotto dai cicli di tensione tangenziale.
ϕ_{reale}	Coefficiente dinamico da applicare ai convogli reali.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 7 di 69

$\varphi'_{reale,f}$	Coefficiente d'incremento dinamico da valutare ove ci sia il rischio di risonanza o di vibrazioni eccessive (effetti flessionale).
φ'	Coefficiente per il calcolo del coefficiente del φ_{reale} .
φ''	Coefficiente per il calcolo del coefficiente del φ_{reale} .
φ'^{*}	Coefficiente per il calcolo del coefficiente del φ_{reale} .
K	Coefficiente per il calcolo di φ' .
L_{Φ}	Lunghezza caratteristica.
v	Velocità.
n_0	Frequenza propria.
α	Coefficiente per il calcolo di φ'' .
β_1^*	Coefficiente di adattamento del coefficiente di incremento dinamico del treno reale
λ_1	Fattore che prende in conto l'effetto di danneggiamento dovuto al traffico.
λ_2	Fattore che porta in conto il volume di traffico.
λ_3	Fattore che porta in conto la vita di progetto del ponte.
λ_4	Fattore d'applicarsi quando l'elemento strutturale è caricato da più di un binario.
n	Percentuale dei treni che si incrociano sul ponte.
$\Delta\sigma_1$	Intervallo di tensione ottenuta con il modello di carico su un solo binario.
$\Delta\sigma_{1+2}$	Intervallo di tensione ottenuta con il modello di carico su due binari qualsiasi.
$\Delta\sigma_{loc}$	Variazione di sforzo dovuta agli effetti locali.
$\Delta\sigma_{glo}$	Variazione di sforzo dovuta agli effetti globali.
φ_{loc}	Coefficiente di amplificazione dinamica degli effetti locali.
φ_{glo}	Coefficiente di amplificazione dinamica degli effetti globali.
$\Delta\sigma_{C,red}$	Resistenza a fatica del dettaglio per 2×10^6 cicli ridotta con lo spessore dell'elemento.
k_s	Coefficiente riduttivo della resistenza a fatica legata allo spessore dell'elemento.
$\Delta\sigma_{E,d}$	Delta ideale convenzionale di tensione di progetto.
Φ_2	Coefficiente d'incremento dinamico.
β_2^*	Coefficiente di adattamento del coefficiente di incremento dinamico
$\Delta\sigma_{71}$	Differenza di tensione tra i valori estremi dovuti al sovraccarico teorico LM71.
$\Delta\tau_{E,d}$	Delta ideale convenzionale di tensione tangenziale di progetto.
σ_{max}	Valore massimo di tensione.
σ_{min}	Valore minimo di tensione.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 8 di 69

λ_{\max}	Valore massimo ammesso di λ .
$Q_{k,i}$	Azione non permanente.
$\psi_{2,i}$	Coefficiente di combinazione.
Q_{fat}	Azione generante un significativo carico di fatica.
$\gamma_{F,fat}$	Fattore di sicurezza parziale per il carico della fatica.
$\gamma_{C,fat}$	Fattore di sicurezza parziale per il cls.
$\gamma_{S,fat}$	Fattore di sicurezza parziale per l'armatura.
$\Delta\sigma_s$	Intervallo di tensione nell'acciaio di armatura.
$\Delta\sigma_{s,equ}(N^*)$	Intervallo di tensione dovuto ad N^* cicli.
N^*	Numero di cicli.
$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$	Intervallo di tensioni equivalenti al danno per l'armatura ordinaria soggetta ad N^* cicli di carico.
λ_s	Fattore correttivo.
$\Delta\sigma_{s,71}$	Intervallo di tensione nell'acciaio dovuto al modello di carico LM71.
$\lambda_{s,1}$	Fattore che tiene in conto il tipo di elemento e la composizione di traffico, in funzione della lunghezza della linea di influenza.
$\lambda_{s,2}$	Fattore di correzione che tiene conto del volume di traffico annuale.
$\lambda_{s,3}$	Fattore di correzione che tiene conto dell'influenza della vita di servizio dell'opera.
$\lambda_{s,4}$	Fattore di correzione che tiene conto dell'effetto dei carichi su più di un binario.
k_1, k_2	Pendenza della curva S-N.
Vol	Volume di traffico annuo.
N_{Years}	Vita nominale del ponte.
$\Delta\sigma_2$	Intervallo di tensione ottenuta con il modello di carico sul binario 2.
$\sigma_{cd,min,equ}$	Minimo livello di tensione equivalente per 10^6 cicli di carico.
$\sigma_{cd,max,equ}$	Massimo livello di tensione equivalente per 10^6 cicli di carico.
$\sigma_{c,Max}$	Tensione massima di compressione nella fibra di calcestruzzo
$\sigma_{c,min}$	Tensione minima di compressione nella fibra di calcestruzzo.
$\beta_{cc}(t_0)$	Coefficiente che tiene conto della resistenza del calcestruzzo al momento del carico.
α_{cc}	Coefficiente che tiene conto gli effetti del carico di lunga durata.
s	Coefficiente per il calcestruzzo.
t_0	Età del calcestruzzo in giorni al momento del primo carico.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 9 di 69

$V_{ED,Max}$	Valore di progetto della forza di taglio massima rilevata sotto la combinazione di carico frequente.
$V_{ED,Min}$	Valore di progetto della forza di taglio minima, rilevata sotto la combinazione di carico frequente.
V_{Rd}	Resistenza di progetto al taglio per elementi strutturali sprovvisti di armatura al taglio.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 10 di 69

PARTE II

VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI METALLICI

CAPITOLO 1 – METODO DI VERIFICA RIGOROSO

La verifica si articola nelle fasi di seguito descritte.

1.1 ASSUNZIONE DELLO SPETTRO DI CARICO

Vengono presi a riferimento i modelli di carico “treni reali” unitamente alle relative combinazioni di carico richiamati nella presente norma all’Allegato 1 e desunti dalla norma UNI EN 1991-2:2005 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti”.

Nell’eseguire le verifiche a fatica, dovranno considerarsi le azioni prodotte da:

- carichi accidentali;
- effetti dinamici;
- forza centrifuga.

I carichi accidentali da considerarsi sono quelli relativi ai treni dello spettro riportato nell’Allegato 1, per i quali andranno portati in conto gli effetti dinamici valutati mediante il coefficiente φ_{reale} , calcolato in accordo della specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A.

Nel caso in cui il ponte soddisfi i requisiti riportati nel par. 1.4.2.4 della Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A per i quali è necessario eseguire un’analisi dinamica del ponte, andrà utilizzato il maggiore tra il coefficiente $\varphi'_{reale,f}$, ricavato dall’analisi dinamica stessa, e il φ_{reale} , calcolato conformemente a quanto previsto al § 1.4.2.5.2 della citata specifica.

Per i ponti a semplice binario si assume la combinazione di traffico “standard” della Tabella 1.1-1, in base alla quale risultano circolanti 67 treni al giorno per un traffico annuo di circa 25 milioni ($24,95 \times 10^6$) di tonnellate.

Per le linee a scarso traffico ($< 24,95$ milioni t/anno) e previa autorizzazione del Gestore dell’Infrastruttura si potrà adottare lo stesso spettro, con i valori delle sollecitazioni indotte opportunamente corretti in funzione del volume di traffico annuo previsto nel corso di vita dell’opera.

Per i ponti a doppio binario si dovrà tener conto della probabilità di incrocio dei treni sul ponte nel

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 11 di 69

caso che tale evento generi effetti in termini tensionali sul particolare elemento strutturale che si sta verificando. Tale probabilità salvo diverse indicazioni da parte del Gestore dell'Infrastruttura si assumerà pari al 33,3%.

Per ponti soggetti ad un traffico con caratteristiche particolari potrà essere adottata la combinazione di “traffico pesante” o “traffico leggero”, riportata rispettivamente nelle Tabelle 1.1-2 e 1.1-3, previa approvazione da parte del Gestore dell'Infrastruttura.

Tipo di treno	Numero di treni al giorno	Massa del treno [t]	Volume di traffico [10 ⁶ t/anno]
1	12	663	2,90
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
	67		24,95

Tab. 1.1-1 – Combinazione di traffico standard con assi ≤ 225 kN

Tipo di treno	Numero di treni al giorno	Massa del treno [t]	Volume di traffico [10 ⁶ t/anno]
5	6	2160	4,73
6	13	1431	6,79
11	16	1135	6,63
12	16	1135	6,63
	51		24,78

Tab. 1.1-2 – Combinazione di traffico pesante con assi ≤ 250 kN

Tipo di treno	Numero di treni al giorno	Massa del treno [t]	Volume di traffico [10 ⁶ t/anno]
1	10	663	2,40
2	5	530	1,00
5	2	2160	1,40
9	190	296	20,50
	51		25,30

Tab. 1.1-3 – Combinazione di traffico leggero con assi ≤ 225 kN

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 13 di 69

1.2 PASSAGGIO DELLO SPETTRO DI CARICO AGLI OSCILLOGRAMMI DELLE TENSIONI

Per ognuno dei treni tipo dello spettro dei carichi si determinerà, nella sezione da verificare, l'oscillogramma delle tensioni, o delle sollecitazioni corrispondenti, dato il rapporto di linearità tra tensioni e sollecitazioni.

La determinazione di detto oscillogramma può essere fatta, ad esempio, mediante le linee di influenza oppure con programmi di calcolo automatico.

1.3 DETERMINAZIONE DELLO SPETTRO DELLE TENSIONI

Per ognuno degli otto oscillogrammi di cui al punto precedente, occorre determinare lo spettro delle tensioni, ovvero la tabellazione che mette in relazione i vari $\Delta\sigma_i$ (o $\Delta\tau_i$) di tensione prodotti con il numero n_i delle relative ripetizioni.

La conta delle ampiezze Δ dei cicli e dei relativi n_i si può effettuare applicando il metodo del serbatoio (reservoir method) o il metodo del flusso di pioggia (rainflow method) descritti sulla Circolare del 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. *“Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”*.

Nella verifica si impiegheranno i delta di tensione di calcolo $\Delta\sigma_{i,d}$, ricavati moltiplicando i delta di tensione dello spettro $\Delta\sigma_i$ per il coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica γ_{Mf} definito nel seguito:

$$\Delta\sigma_{i,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_i$$

e la curva caratteristica S-N di resistenza a fatica del dettaglio, individuata mediante la classe $\Delta\sigma_c$, anch'essa definita nel seguito.

I vari spettri verranno successivamente composti a costituire lo spettro relativo alla globalità del traffico giornaliero.

Per ottenere “lo spettro globale”, cioè quello relativo ad un periodo pari alla vita di progetto del ponte fissata (Eurocodice EN 1992-2: 2003) in cento anni i valori precedentemente calcolati di n_i andranno moltiplicati per 365 e per 100.

Per vita di progetto, si intende (Eurocodice EN 1993-1-9: 2005) il periodo durante il quale si dovrà assicurare una accettabile probabilità che la struttura non subisca danneggiamenti per fenomeni di affaticamento.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 14 di 69

1.4 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA γ_{Mf}

“Il coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica γ_{Mf} è dato da:

$$\gamma_{Mf} = \gamma_f \cdot \gamma_m$$

dove γ_f è il coefficiente parziale relativo alle azioni di fatica e γ_m il coefficiente parziale relativo alla resistenza, che copre le incertezze nella valutazione dei carichi e delle tensioni e la possibile presenza di difetti nei particolari in esame.

Il coefficiente γ_{Mf} dipende sia dalla possibilità di individuare e riparare eventuali lesioni per fatica, sia dall’entità delle conseguenze della crisi per fatica dell’elemento o della struttura.”

A questo scopo, con riferimento al punto 4.2.4.1.4 delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, le strutture possono essere distinte, a seconda della loro sensibilità alla crisi per fatica, in strutture *poco sensibili* (damage tolerant) e in *strutture sensibili* (safe life).

Si precisa che le strutture metalliche ferroviarie sono strutture sensibili alla rottura per fatica.

I valori dei coefficienti γ_{Mf} da adottare nelle verifiche delle strutture sensibili e poco sensibili sono riportati in Tabella 1.4-1, in funzione delle conseguenze dell’eventuale rottura per fatica.

Criteri di valutazione della resistenza a fatica	Conseguenza della rottura per fatica	
	Moderate	Significative
Danneggiamento accettabile (strutture poco sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Vita utile (strutture sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Tab. 1.4-1 – Coefficienti parziali γ_{Mf} per verifiche a fatica

A meno di quanto diversamente stabilito dal Gestore dell’Infrastruttura, il coefficiente parziale per i carichi da fatica per i ponti ferroviari metallici, trattandosi di opere “sensibili ai fenomeni di fatica”, deve essere assunto pari a:

$$\gamma_{Mf} = 1,35.$$

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 15 di 69

1.5 CURVE SN

La resistenza a fatica di un dettaglio è individuata nel piano bilogaritmico $\log(\Delta\sigma) - \log(N)$ o $\log(\Delta\tau) - \log(N)$, essendo N il numero di cicli a rottura, mediante una curva caratteristica, detta curva S-N. Detta curva, è individuata mediante la classe di resistenza a fatica $\Delta\sigma_c$ o $\Delta\tau_c$, che rappresenta la resistenza a fatica del dettaglio, espressa in MPa, per $N = 2 \times 10^6$ cicli.

Le curve S-N per tensioni normali sono caratterizzate, oltre che dalla classe $\Delta\sigma_c$, dal limite di fatica ad ampiezza costante $\Delta\sigma_D$, corrispondente a $N = 5 \times 10^6$ cicli e dal limite per i calcoli di fatica, $\Delta\sigma_L$, che corrisponde all'intersezione del secondo ramo della curva con la verticale per $N = 10^8$ cicli.

L'equazione della curva S-N è:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_c \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{per } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_D \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m+2}} \quad \text{per } 5 \times 10^6 \leq N \leq 10^8$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_L \quad \text{per } N > 10^8$$

dove $m = 3$, cosicché risulta:

$$\Delta\sigma_D = 0,737 \cdot \Delta\sigma_c; \quad \Delta\sigma_L = 0,549 \cdot \Delta\sigma_D$$

Le curve S-N per tensioni normali sono rappresentate in Figura 1.5-1.

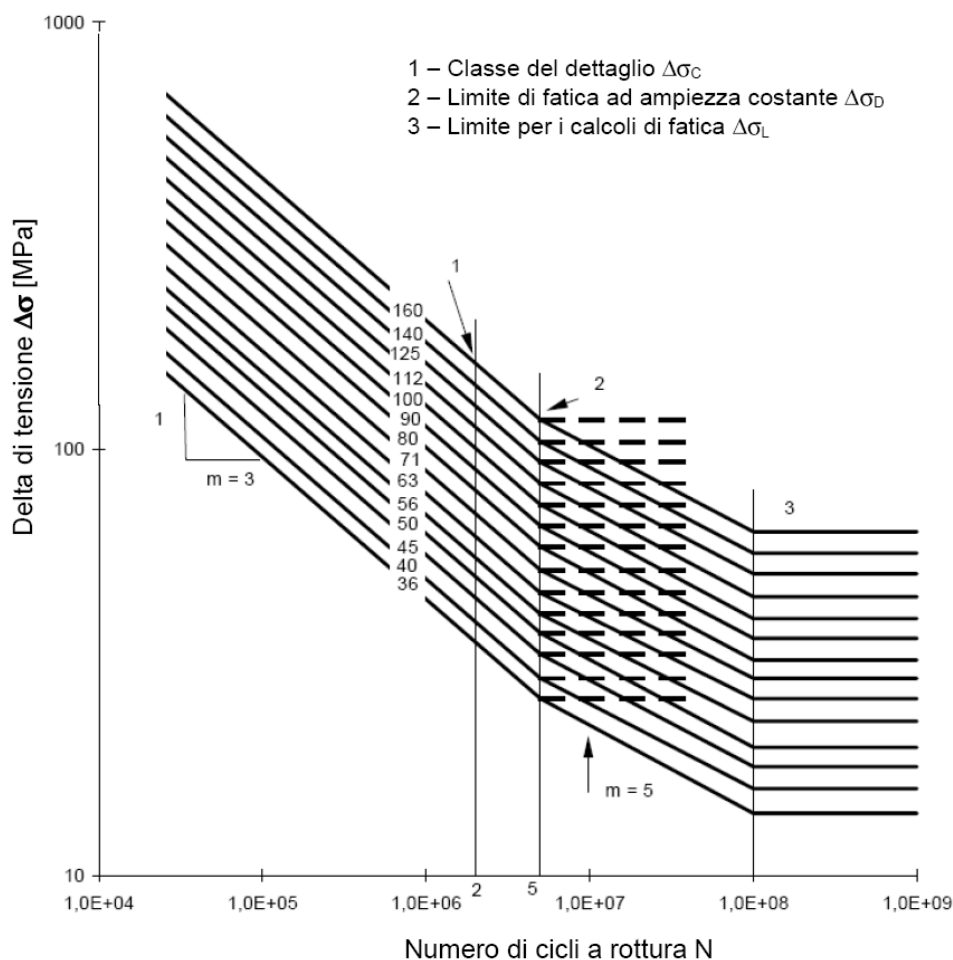


Fig. 1.5-1 – Curve S-N per dettagli /elementi soggetti a tensioni normali

Le classi di resistenza a fatica per tensioni normali relative ai dettagli più comuni sono riportate nella Tabelle 2-1.a, 2-1.d, 2-2, 2-3, 2-4 e 2-5.a riportate in Allegato 2, mentre nella Tabella 2-6 sono riportati i dettagli relativi alle piastre ortotrope.

I dati sperimentali relativi a certi dettagli costruttivi possono non corrispondere ad alcuna delle curve di resistenza a fatica. Questi dettagli costruttivi sono identificati con un asterisco nelle tabelle da 2.1.a a 2-6. La classificazione di questi dettagli può essere aumentata nella Fig. 1.5-1 di una categoria, purché venga adottata una curva di resistenza a fatica nella quale il limite di fatica ad ampiezza costante ($\Delta\sigma_D$) sia posto pari alla resistenza a fatica a 10^7 cicli per $m=3$ (vedi Figura 1.5-2).

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 17 di 69

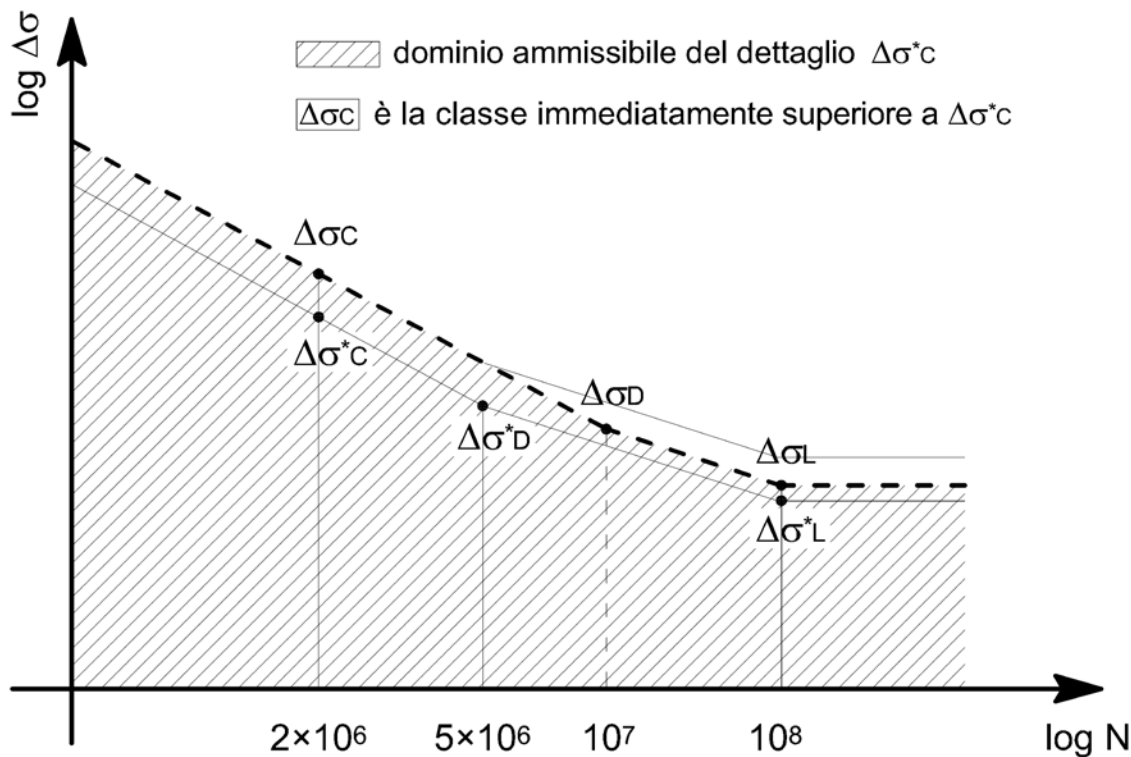


Fig. 1.5-2 – Classificazione alternativa $\Delta \sigma_c$ per dettagli classificati come $\Delta \sigma^*c$

Le curve S-N per tensioni tangenziali sono rappresentate in Figura 1.5-3.

Le curve S-N per tensioni tangenziali sono caratterizzate, oltre che dalla classe $\Delta \tau_c$, dal limite per i calcoli di fatica, $\Delta \tau_L$, corrispondente a $N = 10^8$ cicli. L'equazione della curva S-N è:

$$\Delta \tau = \Delta \tau_c \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{per } N \leq 10^8$$

$$\Delta \tau = \Delta \tau_L \quad \text{per } N > 10^8$$

Dove $m = 5$, cosicché risulta:

$$\Delta \tau_L = 0,457 \cdot \Delta \tau_c$$

Le classi di resistenza a fatica per tensioni tangenziali relative ai dettagli più comuni sono riportate nelle Tabelle 2-1.b, 2-1.c, 2-5.b, riportate nell'Allegato 2.

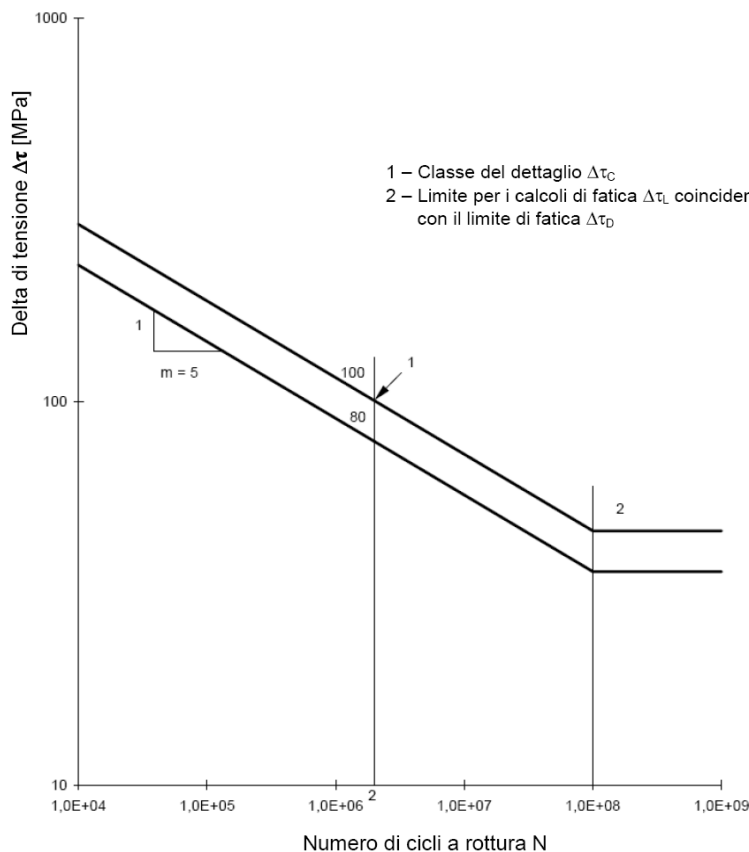


Fig. 1.5-3 – Curve S-N per dettagli /elementi soggetti a tensioni tangenziali

La curva S-N per connettori a piolo sollecitati a taglio delle strutture composte acciaio-calcestruzzo è rappresentata in **Figura 2-7** ed è caratterizzata dall'assenza di limite di fatica. La pendenza della curva è $m=8$ e la classe del particolare per calcestruzzo **normale** è $\Delta\tau_c = 90 MPa$. Per calcestruzzi leggeri la classe si riduce, in funzione del limite superiore della densità della classe di appartenenza, ρ , espresso in kg/m^3 , a:

$$\Delta\tau_c = 90 \cdot \left(\frac{\rho}{2200} \right)^2 MPa$$

I dettagli contrassegnati dal simbolo “ ” all'interno delle Tabelle sopracitate, e riportate nell'Allegato 2, non sono utilizzabili su ponti ferroviari metallici.

Inoltre, l'utilizzo di dettagli non contemplati all'interno delle stesse Tabelle dovrà essere autorizzato dal Gestore dell'Infrastruttura.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 19 di 69

1.6 MODALITÀ DI VERIFICA

“Nelle verifiche a fatica le tensioni da considerare devono essere coerenti con quelle alle quali è riferita la curva S-N del dettaglio. Di solito, le curve S-N dei dettagli costruttivi riportate nelle normative sono riferite alle tensioni nominali e pertanto ad esse si deve generalmente far riferimento. Per dettagli costruttivi particolarmente complessi o innovativi, per i quali si proceda ad uno studio ad hoc, potrebbe essere necessario riferirsi alle tensioni di picco, misurate o determinate con specifici protocolli sperimentali. In questo caso, le tensioni debbono essere calcolate per via teorica o numerica con le stesse modalità adottate sperimentalmente.

Per i dettagli costruttivi dei quali non sia nota la curva di resistenza a fatica le escursioni tensionali potranno riferirsi alle tensioni geometriche o di picco, cioè alle tensioni principali nel metallo base in prossimità della potenziale lesione, secondo le modalità e le limitazioni specifiche del metodo, nell’ambito della meccanica della frattura.”

1.6.1 VERIFICA A VITA ILLIMITATA (C4.2.4.1.4.6.1)

“La verifica a vita illimitata”, ove richiesta per un particolare progetto, “si esegue controllando che sia:

$$\Delta\sigma_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D$$

oppure che

$$\Delta\tau_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\tau_{\max} \leq \Delta\tau_D = \Delta\tau_L$$

dove $\Delta\sigma_{\max,d}$ e $\Delta\tau_{\max,d}$ sono, rispettivamente, i valori di progetto delle massime escursioni di tensioni normali e di tensioni tangenziali indotte nel dettaglio considerato dallo spettro di carico, e $\Delta\sigma_D$ e $\Delta\tau_D$ i limiti 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 o barre d’armatura per c.a.)”.

1.6.2 VERIFICA A DANNEGGIAMENTO (C4.2.4.1.4.6.2)

“La verifica a danneggiamento si conduce mediante la formula di Palmgren-Miner, controllando che risulti

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 20 di 69

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1,0$$

dove n_i è il numero dei cicli di ampiezza $\Delta\sigma_{i,d}$ indotti dallo spettro di carico per le verifiche a danneggiamento 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.

Sulla base del danno D si può definire uno spettro di tensione equivalente, ad ampiezza di tensione costante, $\Delta\sigma_{eq,d}$ (o $\Delta\tau_{eq,d}$), in grado di produrre, nello stesso numero di cicli, $n_{tot} = \sum n_i$ un danneggiamento uguale a quello prodotto dallo spettro di tensione di progetto, oppure, in alternativa, un delta di tensione convenzionale $\Delta\sigma_{E,d}$, in grado di produrre in 2×10^6 cicli, lo stesso danneggiamento prodotto dallo spettro di tensione di progetto.”

Il $\Delta\sigma_{E,d}$ (o $\Delta\tau_{E,d}$) è alla base del metodo di verifica dei coefficienti λ descritti al successivo capitolo 2.

1.6.2.1 VERIFICA SOTTO CARICO COMBINATO

Nel caso di variazioni simultanee del campo di tensioni normali e tangenziali si potranno sommare i danneggiamenti D_σ e D_τ prodotti dai cicli di tensione normale e dai cicli di tensione tangenziale, valutati separatamente, controllando che:

$$D = D_\sigma + D_\tau \leq 1,0$$

in accordo alla UNI EN 1993-1-9:2005.

1.6.3 INFLUENZA DELLO SPESSORE

Nella valutazione della resistenza a fatica dovrà tenersi conto dello spessore del metallo base nel quale può innescarsi una potenziale lesione.

Nel caso che l'influenza dello spessore sulla resistenza a fatica non sia trascurabile (spessore $t > 25\text{mm}$), la classe del dettaglio deve essere ridotta secondo la formula:

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \cdot \Delta\sigma_C$$

dove il coefficiente riduttivo k_s dipende dal dettaglio strutturale considerato ed i cui valori indicativi sono indicati, per alcuni dettagli costruttivi, nelle Tabelle dell'Allegato 2.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 21 di 69

Dove non esplicitamente indicato il coefficiente k_s nelle tabelle sopraccitate, lo stesso può essere determinato con la seguente espressione:

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{25}{t}} \leq 1.$$

Dove t è lo spessore in mm.

Analogamente si procederà per i Δ di tensione tangenziale.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 22 di 69

CAPITOLO 2 – METODO DEI COEFFICIENTI λ

E' possibile ricondurre la verifica a fatica ad una verifica convenzionale di resistenza, confrontando il delta ideale convenzionale di tensione di progetto, $\Delta\sigma_{E,d}$, descritto nel seguito, con la classe del particolare $\Delta\sigma_C$.

Il delta di tensione convenzionale di calcolo $\Delta\sigma_{E,d}$ è dato da:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}$$

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

$$\Delta\sigma_{E,d} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}$$

esprimibile con identica forma anche in termini di tensioni tangenziali:

$$\Delta\tau_{E,d} \leq \frac{\Delta\tau_C}{\gamma_{Mf}}$$

Dove:

λ è un fattore di correzione i cui valori numerici sono definiti in 2.1;

$\Delta\sigma_{71}$ è la differenza di tensione tra i valori estremi σ_{\max} e σ_{\min} dovuti a sovraccarico teorico di calcolo adottato per il ponte (LM71) posto nella posizione più sfavorevole;

$\Delta\sigma_C$ è la resistenza alla fatica corrispondente a 2×10^6 cicli da ricavare sulle curve SN corrispondenti al particolare strutturale esaminato (Figure 1.5-1 e 1.5-3);

Φ_2 è il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico teorico valutato mediante la seguente formula:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

dove L_Φ rappresenta la lunghezza “caratteristica” in metri, così come definita in Tab.

1.4.2.5.3-1 della Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A.

I coefficienti di incremento dinamico sono stabiliti con riferimento a travi semplicemente appoggiate. La lunghezza L_Φ permette di estendere l'uso di questi coefficienti ad altre tipologie strutturali.

Ove le sollecitazioni agenti in un elemento strutturale dipendessero da diversi termini ciascuno dei quali afferente a componenti strutturali distinti, ognuno di questi termini dovrà calcolarsi utilizzando

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 23 di 69

la lunghezza caratteristica L_{Φ} appropriata.

Per γ_{Mf} vale quanto detto al Paragrafo 1.4.

2.1 VALORI NUMERICI DEL FATTORE DI CORREZIONE “ λ ”.

Il fattore di correzione è dato dalla seguente formula:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad \text{ma} \quad \lambda \leq \lambda_{\max}$$

Dove:

λ_1 è un fattore che, per differenti tipi di travature, porta in conto l'effetto di danneggiamento dovuto al traffico e dipende dalla lunghezza di influenza caratteristica dell'elemento da verificare;

λ_2 è un fattore che porta in conto il volume di traffico (definito in 2.2);

λ_3 è un fattore che porta in conto la vita di progetto del ponte (definito in 2.3);

λ_4 è un fattore da applicarsi quando l'elemento strutturale è caricato da più di un binario (definito in 2.4).

Il valore del fattore di campata λ_1 , corrispondente alla combinazione di carico “standard” può essere ottenuto dalla Tabella 2.1-1.

Per linee con combinazioni di tipo di treno diverse da quelle prese in considerazione (per esempio linee specializzate) il Gestore dell'Infrastruttura può specificare direttamente valori di λ_1 .

L [m]	λ_1
0,5	1,60
1,0	1,60
1,5	1,60
2,0	1,46
2,5	1,38
3,0	1,35
3,5	1,17
4,0	1,07
4,5	1,02
5,0	1,03
6,0	1,03
7,0	0,97
8,0	0,92
9,0	0,88
10,0	0,85
12,5	0,82
15,0	0,76
17,5	0,70
20,0	0,67
25,0	0,66
30,0	0,65
35,0	0,64
40,0	0,64
45,0	0,64
50,0	0,63
60,0	0,63
70,0	0,62
80,0	0,61
90,0	0,61
100,0	0,60

Tab. 2.1-1 – Valori di λ_1 in funzione di L [m]

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 25 di 69

Nella determinazione di λ_1 la luce della campata dovrebbe essere assunta facendo riferimento alle Tabelle 2.1-2 e 2.1-3, rispettivamente per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di flessione e di taglio.

PER STATI TENSIONALI PROVENIENTI DA SOLLECITAZIONI DI FLESSIONE:			
		Per:	Luce L da considerare
1		una campata semplicemente appoggiata	luce della campata L
2		campate continue	la luce della campata L_i considerata
		nelle sezioni di mezzeria (vedere Figura 3.1-1)	
3		campate continue	la media delle campate L_i e L_j adiacenti a quell'appoggio
		nelle sezioni sugli appoggi (vedere Figura 3.1-1)	
4		travature trasversali facenti da appoggio a supporti delle rotaie (o a irrigidimenti)	la somma delle due campate dei supporti delle rotaie (o degli irrigidimenti) immediatamente adiacenti alla travatura trasversale
5	a	piastra di impalcato sostenuta solo da travature o irrigidimenti trasversali (senza elementi longitudinali) e per quelle che sostengono elementi trasversali	lunghezza della linea di influenza dello spostamento (trascurando le parti con lo spostamento verso l'alto), prendendo in dovuto conto la rigidità delle rotaie nella distribuzione del carico
	b	elementi trasversali distanti tra di loro non più di 750 mm	2 volte la distanza tra gli elementi trasversali + 3 m

Tab. 2.1-2 – Valutazione della luce L per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di flessione

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 26 di 69

PER STATI TENSIONALI PROVENIENTI DA SOLLECITAZIONI DI TAGLIO:			
		Per:	Luce L da considerare
6		una campata semplicemente appoggiata	la luce della campata L
		nelle sezioni di mezzeria (vedere Figura 3.1-1)	
7		una campata semplicemente appoggiata	0,4 × la luce della campata L
		nelle sezioni sugli appoggi (vedere Figura 3.1-1)	
8		campate continue	la luce della campata L_i considerata
		nelle sezioni di mezzeria (vedere Figura 3.1-1)	
9		campate continue	0,4 × la luce della campata L_i considerata
		nelle sezioni sugli appoggi (vedere Figura 3.1-1)	

Tab. 2.1-3 – Valutazione della luce L per stati tensionali provenienti da sollecitazioni di taglio

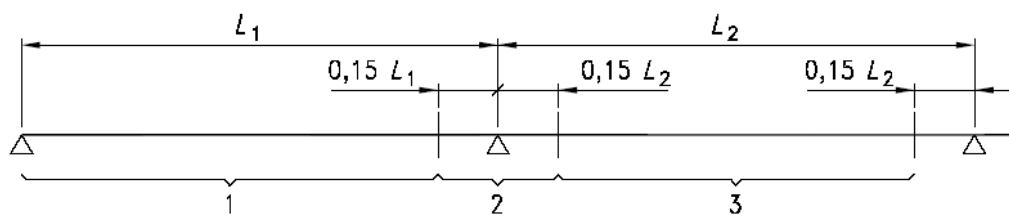


Fig. 2.1-1 – Aree dove si considerano la sezione di mezzeria o la sezione sull'appoggio

Legenda

- 1 Sezione di mezzeria
- 2 Sezione sull'appoggio
- 3 Sezione di mezzeria

Le lunghezze caratteristiche L_Φ da utilizzare per elementi non contemplati dalla Tab. 2.1.-2 sono riportate sulla Specifica RFI DTC INC SP IFS 001 A.

Se le sollecitazioni risultanti in un elemento strutturale dipendono da effetti diversi, ognuno dei quali relativi a comportamenti strutturali separati, si raccomanda che ogni effetto sia calcolato usando la lunghezza caratteristica appropriata.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 27 di 69

Per tenere conto del limite di fatica, il valore di λ non dovrebbe essere maggiore di λ_{\max} dato da:

$$\lambda_{\max} = 1,4$$

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 28 di 69

2.2 INFLUENZA DEL VOLUME DI TRAFFICO

Per i ponti ubicati su linee per le quali si prevede per il futuro un traffico annuo (T) diverso in termini di tonnellaggio da quello assunto a riferimento ($24,95 \times 10^6$ t/anno), i valori delle sollecitazioni andranno corretti mediante il coefficiente λ_2 funzione del volume di traffico assunto a riferimento.

Si riportano nella sottostante tabella i valori del fattore correttivo λ_2 per diversi valori di volume di traffico.

Traffico annuo [10^6 t/binario]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0.72	0.83	0.90	0.96	1.00	1.04	1.07	1.10	1.15

Tab. 2.2-1 – Valori di λ_2 in termini di volume di traffico annuo

Salvo diversa specificazione da parte del Gestore dell’Infrastruttura, si dovrà assumere per λ_2 il valore corrispondente ad un volume di traffico di 25×10^6 t /anno/via.

2.3 INFLUENZA DELLA VITA UTILE A FATICA

Per effettuare le verifiche di ponti per i quali si prescrive una vita a fatica diversa da 100 anni, si forniscono i valori del fattore correttivo λ_3 tabellati in funzione della vita utile “N”.

Vita utile a fatica [anni]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0.87	0.90	0.93	0.96	0.98	1.00	1.04

Tab. 2.3-1 – Valori di λ_3 in termini di vita di progetto della struttura

Salvo diversa specificazione da parte del Gestore dell’Infrastruttura, si dovrà assumere per λ_3 il valore corrispondente ad una vita utile pari a 100 anni.

2.4 INFLUENZA DEL DOPPIO BINARIO

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 29 di 69

Nel caso di ponti a doppio binario, si dovrà tener conto delle possibilità di incrocio dei treni sul ponte per la verifica degli elementi delle pareti principali e delle travi trasversali.

In tal caso, i dati tensionali andranno calcolati considerando ambedue i binari caricati, ma apportando ai valori numerici di $\Delta\sigma_i$ ($\Delta\tau_i$) così determinati, il fattore correttivo λ_4 di seguito riportato:

$$\lambda_4 = \sqrt[5]{n + [1 - n] \cdot [a^5 + (1 - a)^5]}$$

dove:

$$a = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1+2}}$$

in cui:

$\Delta\sigma_1$ è l'intervallo di tensione nella sezione da verificare ottenuta con il modello di carico su un solo binario;

$\Delta\sigma_{1+2}$ è l'intervallo di tensione nella stessa sezione ottenuta con il modello di carico su due binari qualsiasi.

n è uguale alla percentuale dei treni che si incrociano sul ponte, la quale salvo diverse indicazioni da parte del Gestore dell'Infrastruttura si assumerà pari al 33,3%.

2.5 COMBINAZIONE DEL DANNEGGIAMENTO DA INTERVALLI DI SFORZO LOCALI E GLOBALI

Laddove un elemento è soggetto a variazioni di sforzo dovute all'effetto combinato della flessione della travatura principale (effetti globali) e della flessione dell'impalcato (effetti locali), gli effetti separati dovrebbero essere combinati usando la formula:

$$\lambda_{loc} \cdot \Phi_{loc} \cdot \Delta\sigma_{loc} + \lambda_{glo} \cdot \Phi_{glo} \cdot \Delta\sigma_{glo}$$

in cui il suffisso "loc" si riferisce agli effetti locali e "glo" a quelli globali.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 30 di 69

2.6 INFLUENZA DELLO SPESSORE

Nella valutazione della resistenza a fatica dovrà tenersi conto dello spessore del metallo base nel quale può innescarsi una potenziale lesione.

Nel caso che l'influenza dello spessore sulla resistenza a fatica non sia trascurabile (spessore $t > 25\text{mm}$), la classe del dettaglio deve essere ridotta secondo la formula:

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \cdot \Delta\sigma_C$$

dove il coefficiente riduttivo k_s dipende dal dettaglio strutturale considerato ed i cui valori indicativi sono indicati, per alcuni dettagli costruttivi, nelle Tabelle dell'Allegato 2.

Dove non esplicitamente indicato il coefficiente k_s nelle tabelle sopraccitate, lo stesso può essere determinato con la seguente espressione:

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{25}{t}} \leq 1.$$

Dove t è lo spessore in mm.

Analogamente si procederà per i Δ di tensione tangenziale.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 31 di 69

PARTE III

VERIFICA A FATICA NEL CEMENTO ARMATO

CAPITOLO 3 – CONDIZIONI DI VERIFICA

La resistenza a fatica delle strutture in cemento armato deve essere verificata separatamente per l'acciaio e per il calcestruzzo.

Si raccomanda di eseguire tale verifica per quelle strutture o elementi strutturali soggetti a regolari cicli di carico.

Il calcolo delle tensioni dovrà fondarsi sull'ipotesi di sezioni fessurate trascurando la resistenza a trazione del calcestruzzo.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 32 di 69

CAPITOLO 4 – DEFINIZIONE DEI CARICHI

Per la definizione delle condizioni di carico che inducono azioni cicliche sulla struttura si fa riferimento al carico LM71 come definito nella citata Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A (p.to 1.4.1.2).

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. Per il calcolo degli sforzi l'azione deve essere divisa in azioni cicliche di fatica e in azioni non cicliche.

La combinazione di base per il carico non ciclico è equivalente alla combinazione di carico frequente per gli SLE (DM 14-1-2008, formula [2.5.3]) e si esprime (1):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}) \quad (1)$$

Dove:

- $Q_{k,1}$ e $Q_{K,i}$ sono azioni non cicliche, non permanenti (ad es. carico da folla, neve, vento, temperatura, ecc) - (DM 14-1-2008, par. 2.5.2);
- $\psi_{1,1}$ e $\psi_{2,i}$ sono i coefficienti di combinazione i cui valori sono forniti dalle tabelle 5.2.VI e 5.2.VII del par 5.2.3.3.2 del DM 14-1-2008.

La combinazione ciclica deve essere combinata con la combinazione di base più sfavorevole. La combinazione di base di azioni più l'azione ciclica può essere espressa nel seguente modo (2):

$$\left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}) \right) + Q_{fat} \quad (2)$$

dove:

Q_{fat} è l'azione generante un significativo carico di fatica (carico di traffico o altri carichi ciclici).

Il fattore di sicurezza parziale per il carico della fatica viene assunto:

$$\gamma_{F,fat} = 1,0$$

I fattori di sicurezza parziali per i materiali si assumono, per la verifica a fatica:

$$\gamma_{C,fat} = 1,5 \quad \text{per il calcestruzzo;}$$

$$\gamma_{S,fat} = 1,15 \quad \text{per l'acciaio.}$$

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 33 di 69

CAPITOLO 5 – VERIFICA DELL'ACCIAIO PER ARMATURA ORDINARIA E DI PRECOMPRESSIONE

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:

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

dove $\Delta\sigma_s$ è l'intervallo di tensione nell'acciaio di armatura sotto il carico ciclico frequente combinato con la combinazione di base, considerando il modello di carico LM71 posto nella posizione più sfavorevole.

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 (3):

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S,fat}} \quad (3)$$

dove:

- $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ è l'intervallo di tensione dovuto ad N^* cicli e ricavato dall'appropriata curva S-N;
- $\Delta\sigma_{s,eq}(N^*)$ è l'intervallo di tensioni equivalenti al danno per l'armatura ordinaria soggetta ad N^* cicli di carico.

I valori dei parametri delle curve S-N, rappresentate in figura, e validi per l'acciaio di armatura ordinaria e da precompressione, sono riportati nelle seguenti tabelle 1 e 2.

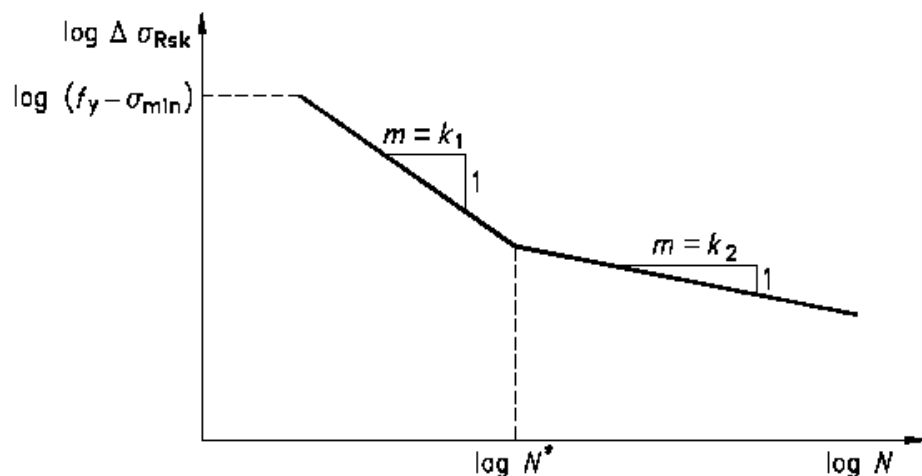


Tabella 1

Parametri per le curve S-N relative agli acciai ordinari

Tipo di armatura	N^*	esponente delle tensioni		$\Delta \sigma_{Rsk}$ (MPa) at N^* cycles
		k_1	k_2	
Barre diritte o piegate ¹	10^6	5	9	162,5
Barre saldate e reti	10^7	3	5	58,5
Dispositivi di giunzione	10^7	3	5	35

Nota 1: I valori per $\Delta \sigma_{Rsk}$ sono quelli relativi alle barre diritte. Per barre piegate i valori possono ottenersi adottando un fattore di riduzione $\zeta = 0,35 + 0,026 D / \phi$.
dove:
 D è il diametro del mandrino
 ϕ è il diametro della barra

Tabella 2

Parametri per le curve S-N relative agli acciai da precompressione

Curve S-N di acciai da precompressione	N^*	esponente delle tensioni		$\Delta \sigma_{Rsk}$ (MPa) at N^* cycles
		k_1	k_2	
armature pre-tese	10^6	5	9	185
armature post-tese				
– trefolo singolo in guaina di plastica	10^6	5	9	185
– trefoli dritti o curvi in guaine di plastica	10^6	5	10	150
– trefoli curvi in guaine di acciaio	10^6	5	7	120
– dispositivi di giunzione	10^6	5	5	80

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 35 di 69

L'intervallo di tensioni equivalenti al danno per l'armatura ordinaria e di precompressione si calcola secondo la (4):

$$\Delta\sigma_{s, equ} = \lambda_s \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{s, 71}$$

dove:

- $\Delta\sigma_{s, 71}$ è l'intervallo di tensione nell'acciaio dovuto al sovraccarico teorico di calcolo adottato per il ponte (LM71), posto nella posizione più sfavorevole. Per strutture con più binari il modello di carico LM71 deve essere applicato al massimo a 2 binari;
- Φ_2 è il coefficiente dinamico;
- λ_s è un fattore correttivo.

Il fattore correttivo λ_s tiene conto delle campate, del volume di traffico, della vita di progetto e della presenza di più binari.

$$\lambda_s = \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4} \quad (5)$$

dove:

$\lambda_{s,1}$ è il fattore che tiene conto del tipo di elemento e dell'effetto del traffico, in funzione della lunghezza della linea di influenza dell'elemento stesso; per valori della lunghezza della linea di influenza compresi tra 2 m e 20 m, $\lambda_{s,1}$ vale:

$$\lambda_{s,1} = \lambda_{s,1}(2m) + [\lambda_{s,1}(20m) - \lambda_{s,1}(2m)] \cdot (\log L - 0,3) \quad (6)$$

dove:

- L è la lunghezza della linea di influenza;
- $\lambda_{s,1}(2m)$ è il valore di $\lambda_{s,1}$ per $L = 2$ m;
- $\lambda_{s,1}(20m)$ è il valore di $\lambda_{s,1}$ per $L = 20$ m;
- $\lambda_{s,1}(L)$ è il valore di $\lambda_{s,1}$ per $2 \text{ m} < L < 20 \text{ m}$.

I valori di $\lambda_{s,1}(2m)$ e $\lambda_{s,1}(20m)$ sono riportati nelle Tabelle 3.

	L [m]	s*	h*
[1]	≤2	0.90	0.95
	≥20	0.65	0.70
[2]	≤2	1.00	1.05
	≥20	0.70	0.70
[3]	≤2	1.25	1.35
	≥20	0.75	0.75
[4]	≤2	0.80	0.85
	≥20	0.40	0.40

	L [m]	s*	h*
[1]	≤2	0.95	1.05
	≥20	0.50	0.55
[2]	≤2	1.00	1.15
	≥20	0.55	0.55
[3]	≤2	1.25	1.40
	≥20	0.55	0.55
[4]	≤2	0.75	0.90
	≥20	0.35	0.30

a) Travi in semplice appoggio

b) Travi continue (campata intermedia, sezione di mezzeria)

	L [m]	s*	h*
[1]	≤2	0.90	1.00
	≥20	0.65	0.65
[2]	≤2	1.05	1.15
	≥20	0.65	0.65
[3]	≤2	1.30	1.45
	≥20	0.65	0.70
[4]	≤2	0.80	0.90
	≥20	0.35	0.35

	L [m]	s*	h*
[1]	≤2	0.85	0.85
	≥20	0.70	0.75
[2]	≤2	0.90	0.95
	≥20	0.70	0.75
[3]	≤2	1.10	1.10
	≥20	0.75	0.80
[4]	≤2	0.70	0.70
	≥20	0.35	0.40

c) Travi continue (sezione di campata d'estremità)

d) Travi continue (sezione all'appoggio intermedio)

s* combinazione di traffico standard

h* combinazione di traffico pesante

Definizione dei tipi [1], [2], [3], [4] nella Tabella 3:

[1] Acciaio d'armatura, pretensionamento (tutti), post-tensionamento (trefoli in guaine di plastica e cavi dritti in guaine di acciaio)

[2] Post-tensionamento (cavi curvi in guaine d'acciaio); curva S-N con $k_1 = 3$, $k_2 = 7$ e $N^*=10^6$

[3] Connettori (armatura di precompressione); curva S-N con $k_1 = 3$, $k_2 = 5$ e $N^*=10^6$

[4] Dispositivi di coprighiunto (armatura ordinaria), barre saldate per punti o di testa; curva S-N con $k_1 = 3$, $k_2 = 5$ e $N^*=10^7$

L'interpolazione per differenti valori di L è permessa in accordo alla (6).

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 37 di 69

$\lambda_{s,2}$ è il fattore di correzione che tiene conto del volume di traffico annuale:

$$\lambda_{s,2} = \sqrt[k_2]{\frac{Vol}{25 \cdot 10^6}} \quad (7)$$

dove:

- Vol è volume di traffico annuo (tonn/anno/binario);
- k_2 è la pendenza della curva S-N.

Salvo diversa specificazione da parte del Gestore dell'Infrastruttura, si dovrà assumere per λ_2 il valore corrispondente ad un volume di traffico di 25×10^6 t /anno/via.

$\lambda_{s,3}$ è il fattore di correzione che tiene conto dell'influenza della vita di servizio dell'opera:

$$\lambda_{s,3} = \sqrt[k_2]{\frac{N_{Years}}{100}} \quad (8)$$

dove:

N_{Years} è la vita di progetto del ponte;

k_2 è la pendenza della curva S-N.

$\lambda_{s,4}$ è il fattore di correzione che tiene conto dell'effetto dei carichi su più di un binario (max 2 binari):

$$\lambda_{s,4} = \sqrt[k_2]{n + (1-n) \cdot s_1^{k_2} + (1-n) \cdot s_2^{k_2}} \quad (9)$$

$$s_1 = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1+2}} \quad s_2 = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_{1+2}}$$

dove:

- n è uguale alla percentuale dei treni che si incrociano sul ponte, la quale salvo diverse indicazioni da parte del Gestore dell'Infrastruttura si assumerà pari al 33,3% (0,33);
- $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$ sono le variazioni di tensione nell'acciaio di armatura dovuti al modello di carico LM71 posizionato su un binario (rispettivamente il binario 1 ed il binario 2);
- $\Delta\sigma_{1+2}$ è la variazione di tensione nell'acciaio di armatura dovuto al modello di carico LM71 posizionato su 2 binari (se sotto il carico del traffico su un solo binario si ha tensione di compressione nell'acciaio, allora si pone il valore corrispondente $s_j = 0$).

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 38 di 69

CAPITOLO 6 – VERIFICA DEL CALCESTRUZZO SOGGETTO A COMPRESSIONE E TAGLIO

6.1 VERIFICA DEL CALCESTRUZZO COMPRESSO

Nel caso di verifica a fatica di casi classificabili come standard con carichi noti, per il calcestruzzo compresso, secondo l'applicazione della regola dell'intervallo di tensione equivalente, si può ritenere che vi sia una soddisfacente resistenza a fatica se è soddisfatta la seguente condizione:

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

dove compaiono i termini che seguono.

Rapporto delle tensioni:

$$R_{equ} = \frac{E_{cd,min,equ}}{E_{cd,max,equ}};$$

Livello di compressione minima:

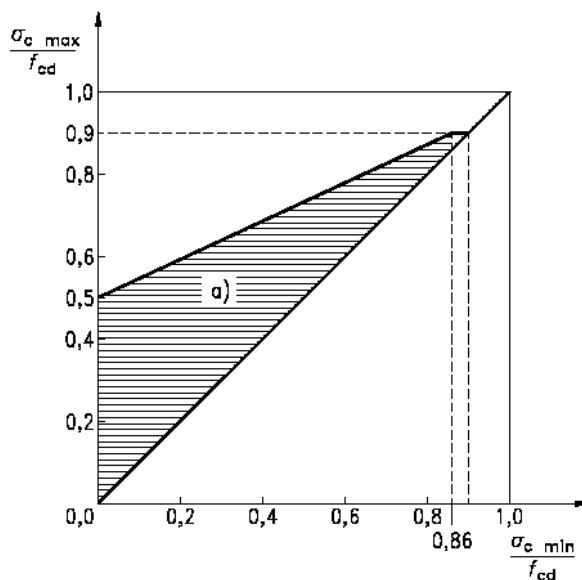
$$E_{cd,min,equ} = \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{f_{cd,fat}};$$

Livello di compressione massima:

$$E_{cd,max,equ} = \frac{\sigma_{cd,max,equ}}{f_{cd,fat}}$$

$\sigma_{cd,min,equ}$ e $\sigma_{cd,max,equ}$ sono il massimo ed il minimo livello di tensione equivalente per 10^6 cicli di carico, così come definiti in UNI EN 1992-2:2006.

La verifica a fatica per il calcestruzzo compresso, alternativamente, può ritenersi soddisfatta se è vera la (11):



$$\frac{\sigma_{c,Max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,9 \quad \text{per } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_{c,Max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,8 \quad \text{per } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

dove:

$\sigma_{c,Max}$: Tensione massima di compressione nella fibra di calcestruzzo sotto la combinazione di base (compressione positiva) combinata con il carico ciclico frequente, considerando il modello di carico LM71 posto nella posizione più sfavorevole;

$\sigma_{c,min}$: Tensione minima di compressione nella fibra di calcestruzzo sotto la combinazione di carico frequente, nella stessa fibra in cui si ha $\sigma_{c,Max}$. Se $\sigma_{c,min}$ è di trazione allora si assume nullo;

$f_{cd,fat}$ è definito:

$$f_{cd,fat} = k_{1,1} \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (12)$$

dove:

$k_{1,1}$ è un coefficiente uguale a 0,85;

$\beta_{cc}(t_0)$ è il coefficiente che tiene conto della resistenza del calcestruzzo al momento del carico e vale:

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 40 di 69

$$\beta_{cc}(t_0) = \exp \left\{ s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_0}} \right) \right\} \quad (13)$$

con:

$s = 0,20$ per cementi alta resistenza e presa rapida (Classi CEM 42,5 R, CEM 52,5 N e CEM 52,5 R (Classe R));

$s = 0,35$ per cementi normale resistenza e presa rapida (Classi CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (Classe N));

$s = 0,38$ per cementi normale resistenza e presa lenta (Classi CEM 32,5 N (Classe S));

t_0 è l'età del calcestruzzo in giorni al momento del primo carico.

f_{cd} è la resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo secondo la:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{C,fat}} \quad (14)$$

con:

f_{ck} resistenza cilindrica caratteristica a compressione del calcestruzzo;

α_{cc} coefficiente che tiene conto gli effetti del carico di lunga durata (0,85);

$\gamma_{C,fat} = 1,5$ coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo per la verifiche a fatica.

L'espressione (11) si può applicare anche alle bielle compresse delle membrature soggette a taglio. In questo caso si raccomanda che la resistenza del calcestruzzo $f_{cd,fat}$ sia ridotta secondo il fattore di riduzione della resistenza (15).

$$\nu = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (15)$$

con f_{ck} in MPa.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 41 di 69

6.2 VERIFICA A FATICA DA TAGLIO DEL CALCESTRUZZO

Per elementi che non presentano armatura a taglio allo SLU, si può ritenere adeguata la resistenza a fatica del calcestruzzo se è soddisfatta l'una o l'altra delle seguenti equazioni:

per

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,max}} \geq 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \begin{cases} \leq 0,9 \text{ per } C50/60 \\ \leq 0,8 \text{ per } > C55/67 \end{cases} \quad (16)$$

per

$$\frac{V_{ED,min}}{V_{ED,max}} < 0 \Rightarrow \frac{|V_{ED,max}|}{|V_{Rd}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{ED,min}|}{|V_{Rd}|} \quad (17)$$

dove:

- $V_{ED,max}$ Valore di progetto della forza di taglio massima rilevata sotto il carico ciclico frequente combinato con la combinazione di base, considerando il modello di carico LM71 posto nella posizione più sfavorevole;
- $V_{ED,min}$ Valore di progetto della forza di taglio minima, rilevata sotto la combinazione di carico frequente, nella stessa sezione in cui si ha $V_{ED,max}$;
- V_{Rd} Resistenza di progetto al taglio per elementi strutturali sprovvisti di armatura al taglio come definita nel DM 14-1-2008 par. 4.1.2.1.3.1 (formula 4.1.14).

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 42 di 69

CAPITOLO 7 – VERIFICA A FATICA NEL CASO DI CICLI MULTIPLI DI AMPIEZZA VARIABILE

7.1 VERIFICA DELL'ACCIAIO TESO

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:

$$D_{Ed} = \sum_i \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} < 1 \quad (18)$$

dove:

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


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

Per la definizione delle azioni e per la determinazione dello spettro delle tensioni si deve fare riferimento a quanto riportato ai paragrafi 1.1-1.3.

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 43 di 69

PARTE IV

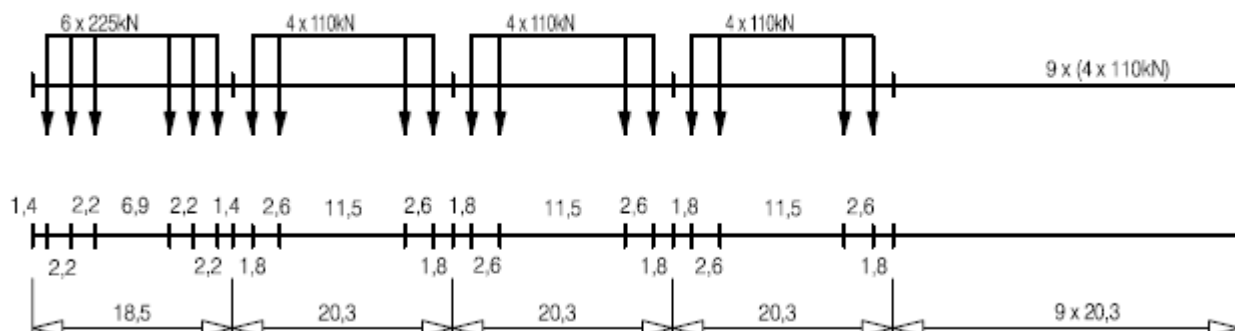
ALLEGATI

	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 1	FOGLIO 44 di 69
---	---	----------------------	--------------------

ALLEGATO 1 – MODELLI DI CARICO TIPO “TRENI REALI” PER VERIFICHE A FATICA

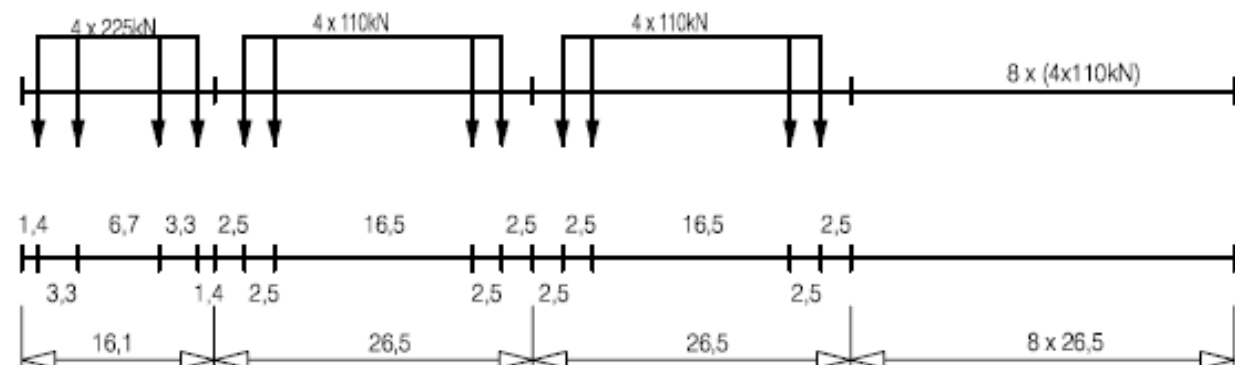
Tipo 1 – Treno passeggeri trainato da locomotore

$\Sigma Q = 6630 \text{ kN}$ $V = 200 \text{ km/h}$ $L = 262.10 \text{ m}$ $q = 25.3 \text{ kN/m}$



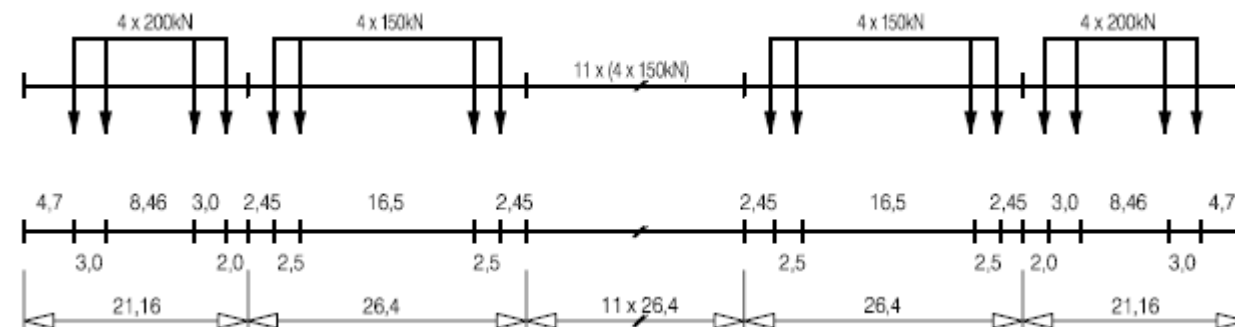
Tipo 2 – Treno passeggeri trainato da locomotore


$\Sigma Q = 5300 \text{ kN}$ $V = 160 \text{ km/h}$ $L = 281.10 \text{ m}$ $q = 18.9 \text{ kN/m}$



Tipo 3 – Treno passeggeri alta velocità

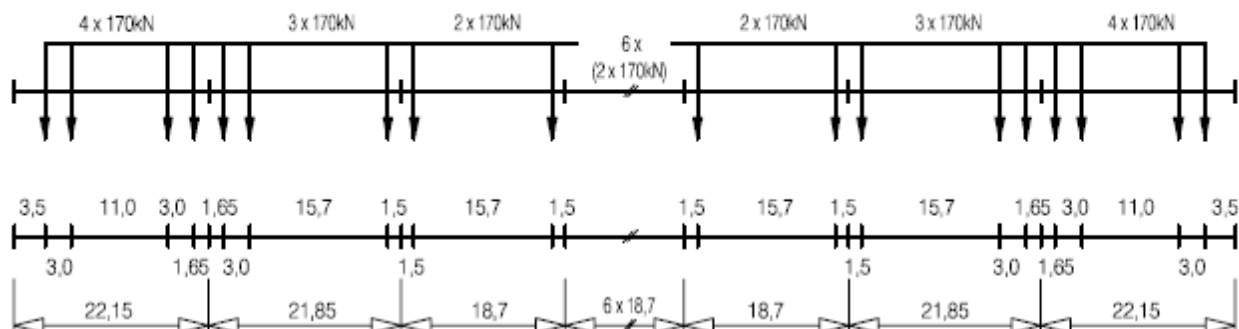
$\Sigma Q = 9400 \text{ kN}$ $V = 250 \text{ km/h}$ $L = 385.52 \text{ m}$ $q = 24.4 \text{ kN/m}$



	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 1	FOGLIO 45 di 69
---	---	----------------------	---------------------------

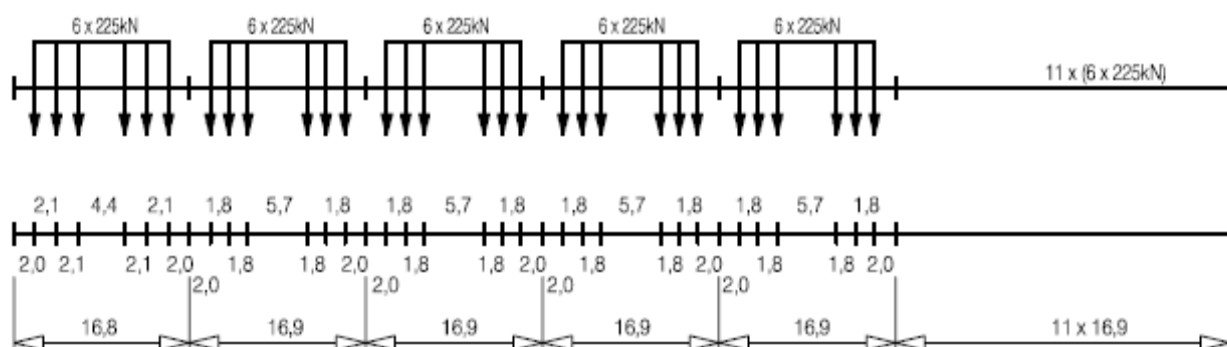
Tipo 4 – Treno passeggeri alta velocità

$\Sigma Q = 5100 \text{ kN}$ $V = 250 \text{ km/h}$ $L = 237.60 \text{ m}$ $q = 21.5 \text{ kN/m}$



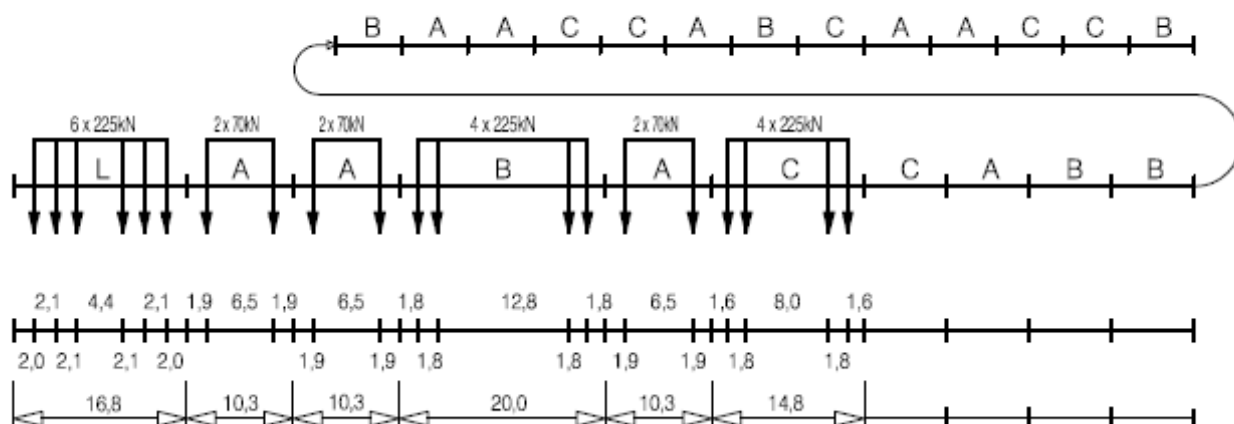
Tipo 5 – Treno merci trainato da locomotore

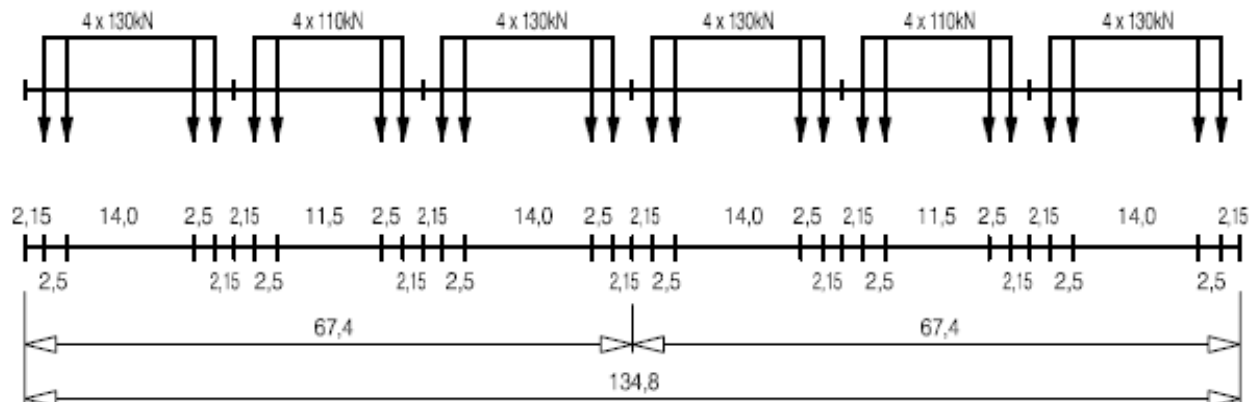
$\Sigma Q = 21600 \text{ kN}$ $V = 80 \text{ km/h}$ $L = 270.30 \text{ m}$ $q = 80.0 \text{ kN/m}$




Tipo 6 – Treno merci trainato da locomotore

$\Sigma Q = 14310 \text{ kN}$ $V = 100 \text{ km/h}$ $L = 333.10 \text{ m}$ $q = 43.0 \text{ kN/m}$

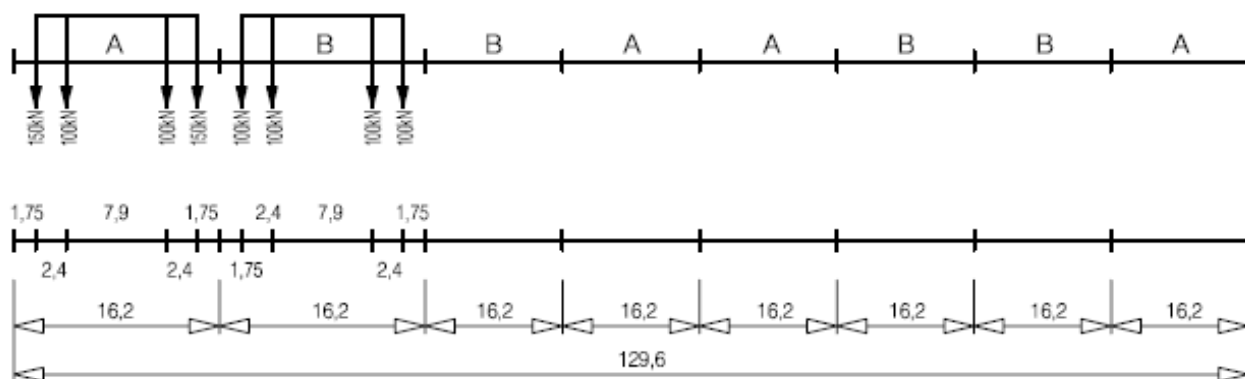




	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 1	FOGLIO 47 di 69
---	---	----------------------	---------------------------

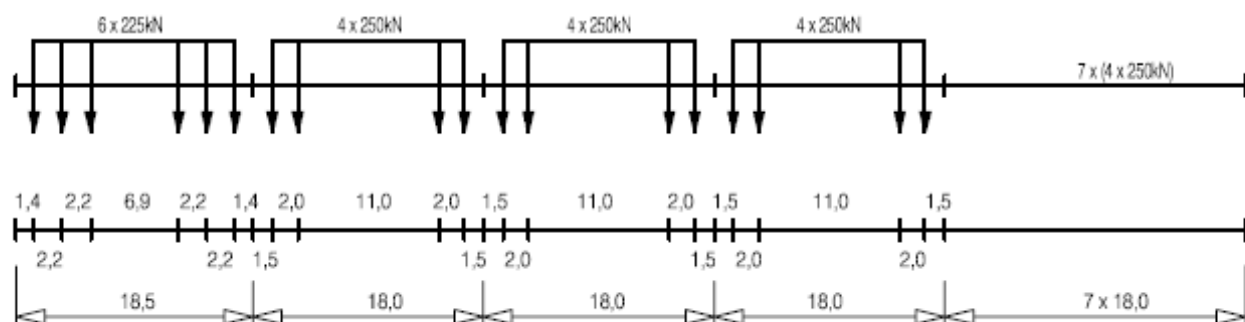
Tipo 10 – Metropolitana

$\Sigma Q = 3600 \text{ kN}$ $V = 120 \text{ km/h}$ $L = 129.60 \text{ m}$ $q = 27.8 \text{ kN/m}$



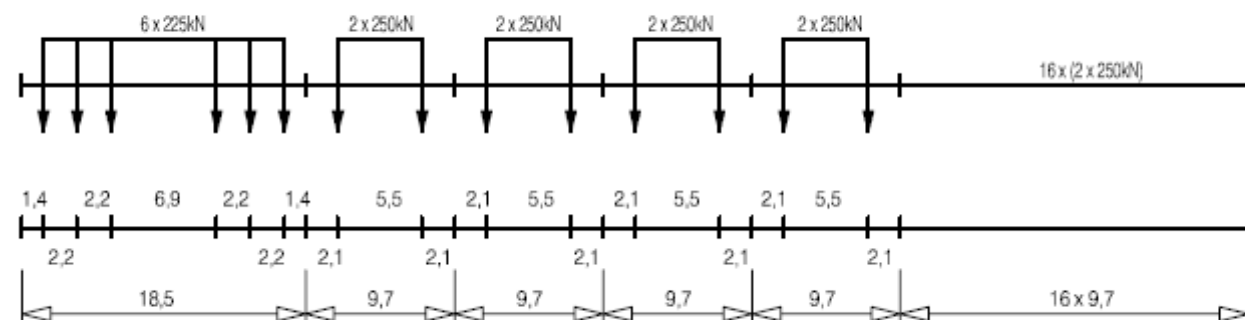
Tipo 11 – Treno merci trainato da locomotore


$\Sigma Q = 11350 \text{ kN}$ $V = 120 \text{ km/h}$ $L = 198.50 \text{ m}$ $q = 57.2 \text{ kN/m}$



Tipo 12 – Treno merci trainato da locomotore

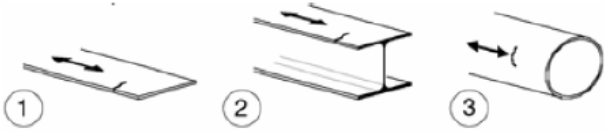


$\Sigma Q = 11350 \text{ kN}$ $V = 100 \text{ km/h}$ $L = 212.50 \text{ m}$ $q = 53.4 \text{ kN/m}$



	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: RFI DTC INC PO SP IFS 003 A</p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 48 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

ALLEGATO 2 – DETTAGLI COSTRUTTIVI


Tab. 2-1.a – Dettagli costruttivi per prodotti laminati e estrusi e loro classificazione ($\Delta\sigma$)

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
<p>160</p> <p>140⁽¹⁾</p>		<p>Prodotti laminati ed estrusi</p> <p>1) lamiere e piatti laminati;</p> <p>2) lamiere e piatti;</p> <p>3) Profili cavi senza saldatura, rettangolari e circolari</p>	<p>Difetti superficiali e di laminazione e spigoli vivi devono essere eliminati mediante molatura</p>
<p>140</p> <p>125⁽²⁾</p>		<p>Lamiere tagliate con gas o meccanicamente</p>	<p>4) Tutti i segni visibili di intaglio sui bordi devono essere eliminati, le aree di taglio devono essere lavorate a macchina. Graffi e scalfiture di lavorazione devono essere parallele agli sforzi.</p>
<p>125</p> <p>112⁽³⁾</p>		<p>4) Taglio a gas automatico o taglio meccanico e successiva eliminazione delle tracce del taglio</p> <p>5) Taglio a gas manuale o taglio a gas automatico con tracce del gas automatico con tracce del taglio regolari e superficiali e successiva eliminazione di</p>	<p>4) e 5) Angoli rientranti devono essere raccordati con pendenza $\leq 1:4$, in caso contrario occorre impiegare opportuni fattori di concentrazione degli sforzi.</p>

⁽¹⁾ classe da adottare per acciai resistenti alla corrosione


⁽²⁾ classe da adottare per acciai resistenti alla corrosione

⁽³⁾ classe da adottare per acciai resistenti alla corrosione

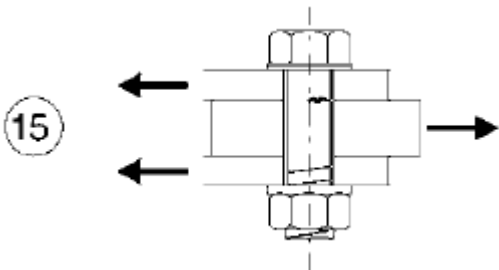
	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 2	FOGLIO 49 di 69
---	--	---------------------------------	-------------------------------

		tutti i difetti dei bordi	Non sono ammesse riparazioni mediante saldatura
--	--	---------------------------	---

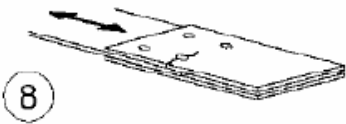

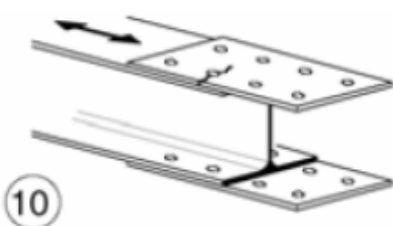
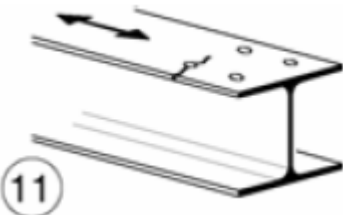
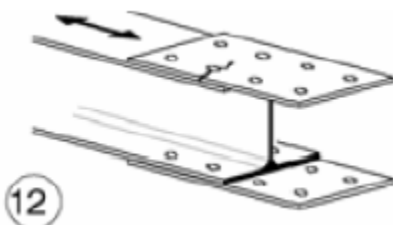
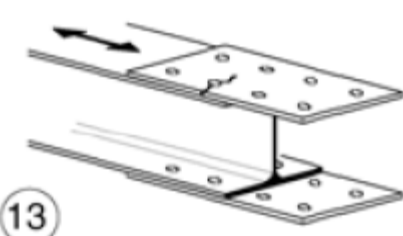
Tab. 2-1.b – Dettagli costruttivi per prodotti laminati e estrusi e loro classificazione ($\Delta\tau$)


Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
100		6) e 7) Prodotti laminati ed estrusi (come quelli di tabella 2-1.a) soggetti a tensioni tangenziali	$\Delta\tau$ calcolati con: $\Delta\tau = \frac{\Delta V \cdot S(t)}{1 \cdot t}$

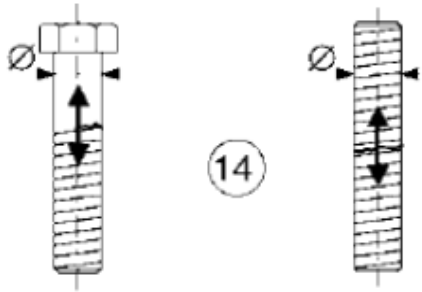
Tab. 2-1.c – Bulloni sollecitati a taglio ($\Delta\tau$)

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
100		15) Bulloni sollecitati a taglio su uno o due piani non interessanti la parte filettata. - Bulloni calibrati - Bulloni normali di grado 5.6, 8.8 e 10.9 e assenza di inversioni di carico	$\Delta\tau$ calcolati in riferimento all'area del gambo

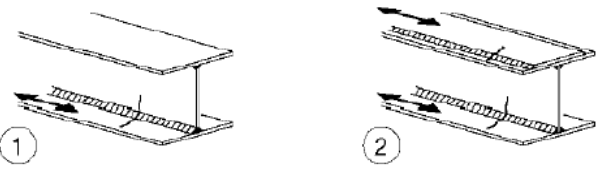
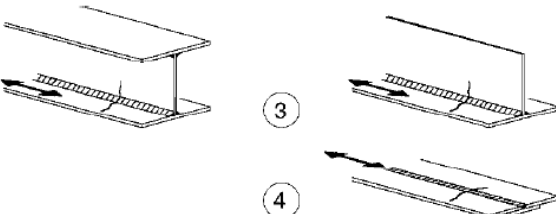
Tab. 2-1.d – Dettagli costruttivi per giunti chiodati e bullonati ($\Delta\sigma$)

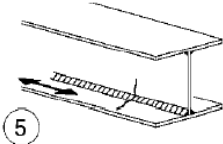
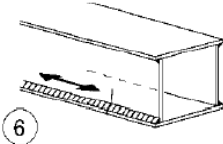
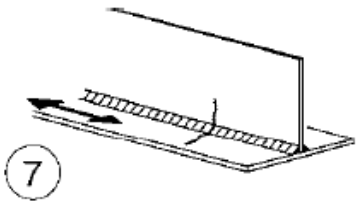
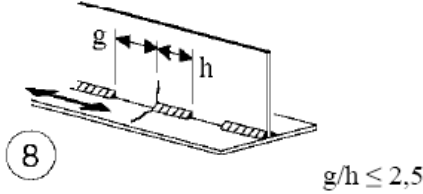
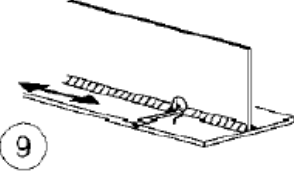
Class e del detta glio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti	
112		8) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni AR precaricati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda	Per i giunti bullonati (dettali da 8) a
90		9) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta	13)) in generale: Distanza dal bordo $e_1 \geq 1,5d$
		10) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni AR precaricati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda	Distanza dal bordo $e_2 \geq 1,5d$
		11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta	Spaziatura $p_1 \geq 2,5d$ Spaziatura $p_2 \geq 2,5d$
80		12) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bullonati calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta	Per la simbologia cfr. EN 1993-1-8
50		13) Giunti bullonati con coprigiunti singoli o doppi con bulloni con precaricati in fori di tolleranza normale. Assenza di inversioni del carico.	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta	Figura 3.1


	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u></p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 51 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------



50		<p>14) Bulloni e barre filettate e soggetti a trazione. Per bulloni di diametro $\phi > 30$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_s = (30 / \phi)^{0.25}$	<p>$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione della parte filettata, considerando gli effetti dovuti all'effetto leva e alla flessione ulteriore. Per bulloni precaricati i $\Delta\sigma$ possono essere ridotti.</p>
----	---	---	--

Tab. 2-2 – Dettagli costruttivi per sezioni saldate ($\Delta\sigma$)

Class e del detta glio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
125		<p>Saldatura longitudinale continue</p> <p>1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati</p> <p>2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piatti di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 6) e 7) della tabella 2-5.a</p>	<p>1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione della riparazione</p>
112		<p>3) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati, ma contenente punti di interruzione/riprese a.</p>	<p>4) Se il dettaglio contiene punti di interruzione/riprese a, si deve far riferimento alla classe 100</p>

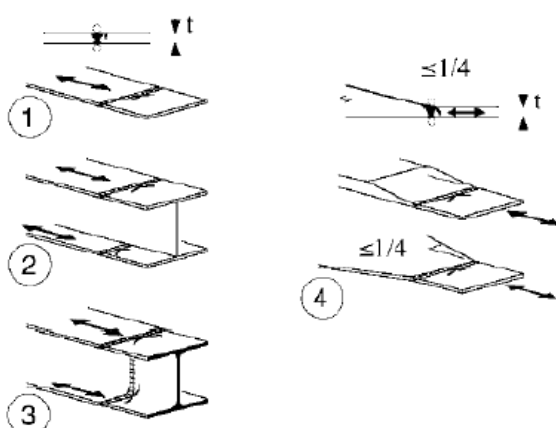
		4) Saldatura automatica a piena penetrazione su piastra di sostegno, non contenente punti di interruzione/ripresa	
100	 	<p>5) Saldatura manuale a cordoni d'angolo o a piena penetrazione</p> <p>6) Saldatura a piena penetrazione manuale o automatica eseguita da un solo lato, in particolare per travi a cassone</p>	5) e 6) Deve essere assicurato un corretto contatto tra anima e piattabanda. Il bordo dell'anima deve essere preparato in modo da garantire una penetrazione regolare alla radice, senza interruzioni
100		7) Saldatura a cordoni d'angolo o a piena penetrazione, manuale o automatica, appartenente ai dettagli da 1) a 6) riparata	in caso di adozione di metodi migliorativi mediante molatura eseguita da tecnici qualificati, integrati da opportuni controlli, è possibile ripristinare la classe originaria
80●		8) Saldatura longitudinale a cordoni d'angolo a tratti	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda
71		9) Saldatura longitudinale a piena penetrazione, a cordoni d'angolo e a tratti, con lunette di scarico di altezza non maggiore di 60 mm. Per lunette di altezza maggiore	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda

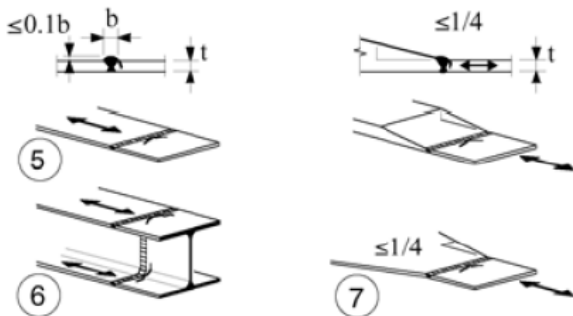
	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 2	FOGLIO 53 di 69
---	--	---------------------------------	-------------------------------

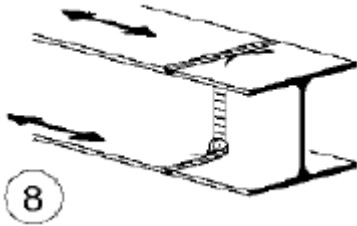
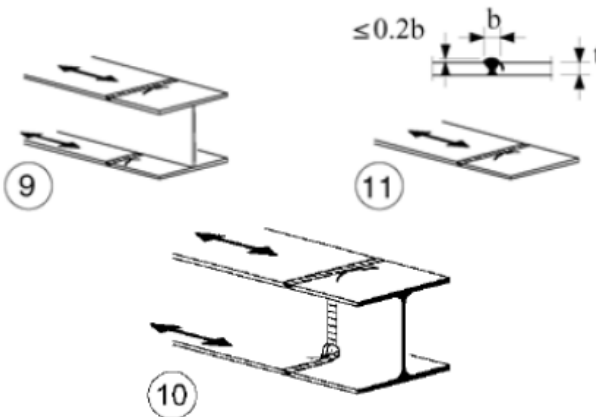
		vedere dettaglio 1) della tabella 2-4	
125 (a) 112 (b) 90 (c)		10) Saldatura longitudinale a piena penetrazione	(a) Entrambe le facce molate in direzione degli sforzi e controlli non distruttivi al 100% (b) Come saldata, assenza di interruzione/ripres e (c) Con interruzioni/riprese
140 (a) 125 (b) 90 (c)		11) Saldatura longitudinale automatica di composizione in sezione cave circolari o rettangolari, in assenza di interruzioni/riprese	(a) Difetti entro i limiti della EN1090. Spessore t≤12,5 mm (b) e controlli non distruttivi al 100% (b) Come saldata, assenza di interruzioni/riprese (c) Con interruzioni/riprese

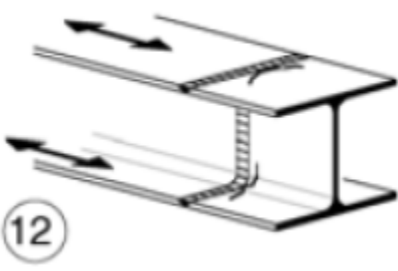
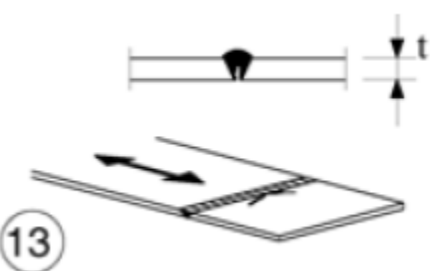
Tab. 2-3 – Dettagli costruttivi per saldature a piena penetrazione ($\Delta\sigma$)

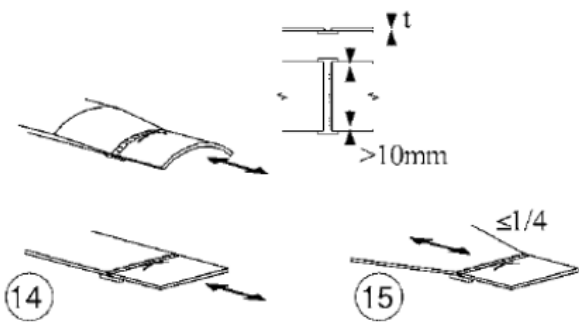
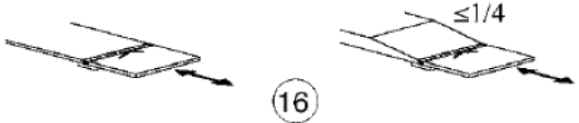
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
----------------------------	-----------------------	-------------	-----------


112		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <p>1) Giunti trasversali in piatti e lamiere</p> <p>2) Giunti di anime e piattabande in travi composte eseguiti prima dell'assemblaggio</p> <p>3) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico</p> <p>4) Giunti trasversali di lamiere e piatti con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4.</p> <p>Nelle zone di transizione gli intagli nelle saldature devono essere eliminati</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_s = (25/t)^{0.2}$	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, molare in direzione degli sforzi e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>i bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>3) Vale solo per profilati tagliati e risaldati</p>
-----	--	--	--

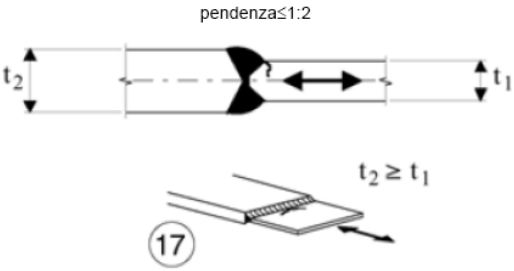
<p>90</p>		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <p>5) Giunti trasversali in piatti e lamiere</p> <p>6) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico</p> <p>7) Giunti trasversali di lamiere e piatti con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4.</p> <p>Nelle zone di transizione gli intagli nelle saldature devono essere eliminati</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> <p>$k_s = (25/t)^{0.2}$</p>	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati e sottoposte a controlli non distruttivi</p> <p>Sovraspessore di saldatura non maggiore del 10% della larghezza del cordone, con zone di transizione regolari</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>i bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>le saldature dei dettagli 5) e 7) devono essere eseguite in piano</p>
-----------	--	---	--


90		<p>8) Come dettaglio 3), ma con lunette di scarico</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t)^{0.2}$</p>	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, molate in direzione degli sforzi e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>i bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>I profili laminati devono avere le stesse dimensioni, senza differenze dovute a tolleranze</p>
80		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <p>9) Giunti trasversali in travi composte, in assenza di lunette di scarico</p> <p>10) Giunti trasversali completi di profili laminati, in presenza di lunette di scarico</p> <p>11) Giunti trasversali di lamiere, piatti, profilati e travi</p>	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, non molate e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate a terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>Sovraspessore di saldatura non</p>

		composte	maggiore del 20% della larghezza del cordone, per i dettagli 9) e 11), o del 10% per il dettaglio 10), con zone di transizione regolari
		Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente	
		$k_s = (25/t)^{0.2}$	
63		12) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p>
71 (36)		<p>13) giunti trasversali a piena penetrazione eseguiti da un solo lato, con piena penetrazione controllata mediante opportuni controlli non distruttivi.</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente:</p> <p>$k_s = (25/t)^{0.2}$</p> <p>In assenza di</p>	<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p>

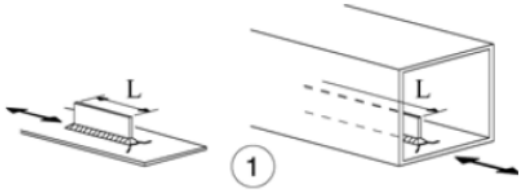

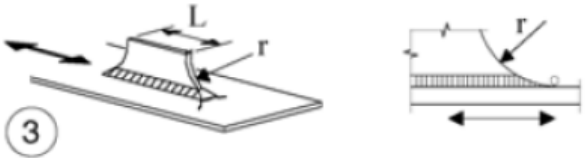
		controlli, si deve adottare la classe 36, per qualsiasi valore t.	
71		<p>Saldature su piatto di sostegno</p> <p>14)Giunti trasversali in piatti e lamiere</p> <p>15)Giunti trasversali di lamiere e piatti con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4</p> <p>Vale anche per lamiere curve</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente: $k_s = (25/t)^{0.2}$</p>	I cordoni d'angolo che fissano il piatto di sostegno devono terminare a più di 10 mm dai bordi dell'elemento e devono essere interni alla saldatura di testa
50		<p>16) Saldature su piatto di sostegno permanente con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4</p> <p>Vale anche per lamiere curve</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si</p>	Da adottarsi quando i cordoni d'angolo che fissano il piatto di sostegno terminano a meno di 10 mm dai bordi dell'elemento o quando non può essere garantito un buon accoppiamento

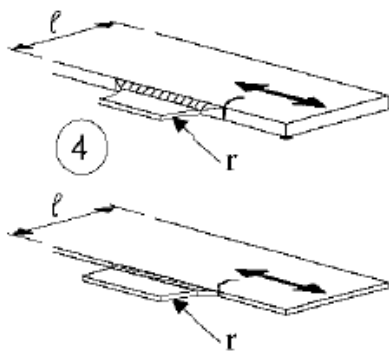

	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u></p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 59 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

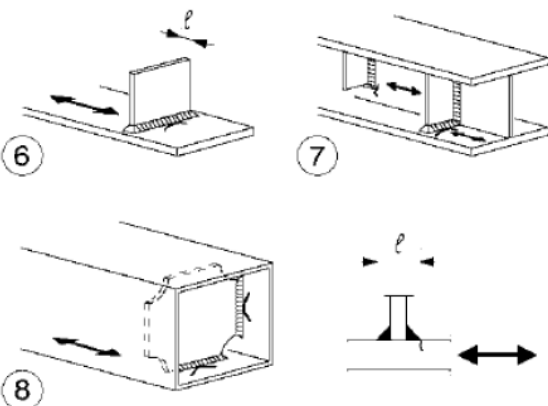
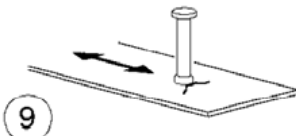
		<p>deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_s = (25/t)^{0.2}$	
71	 <p>pendenza ≤ 1:2</p> <p>$t_2 \geq t_1$</p> <p>17</p>	<p>17) saldature trasversali a piena penetrazione tra gli elementi di spessore differente con assi allineati</p> <p>Per spessori $t_1 > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_s = (25/t_1)^{0.2}$	<p>Nel caso di disassamento la classe deve essere ridotta con coefficiente</p> $k_{se} = \left(1 + \frac{6e}{t_1} \cdot \frac{t_1^{1.5}}{t_1^{1.5} + t_2^{1.5}}\right)^{-1}$ <p>Combinare, eventualmente, con k_s, quando $t_1 > 25$ mm</p>


	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u></p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 60 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

Tab. 2-4 – Dettagli costruttivi per attacchi e irrigiditori saldati ($\Delta\sigma$)

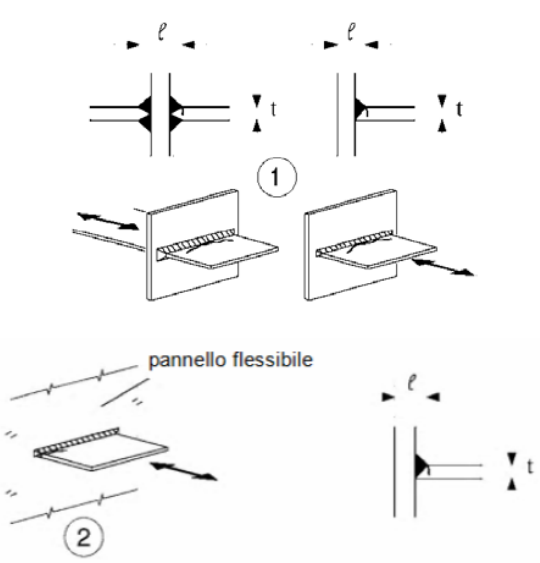
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
<p>80 (a)</p> <p>71 (b)</p> <p>63 (c)</p> <p>56 (d)</p>		<p>Attacchi saldati longitudinali</p> <p>1) la classe del dettaglio dipende dalla lunghezza dell'attacco</p> <p>(a) $L \leq 50$ mm</p> <p>(b) $50 < L \leq 80$ mm</p> <p>(c) $80 < L \leq 100$ mm</p> <p>(d) $L > 100$ mm</p>	<p>Spessore dell'attacco minore della sua altezza. In caso contrario vedi dettagli 5) e 6)</p>
<p>71</p>		<p>2) Attacchi saldati longitudinali a piatti o tubi con $L > 100$ mm e $\alpha < 45^\circ$</p>	
<p>80</p>		<p>3) Fazzoletti d'attacco saldati a piatti o tubi con cordoni d'angolo longitudinali e dotati di raccordo di transizione di raggio r</p> <p>$r > 150$ mm</p>	<p>Raccordo di transizione di raggio r 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</p>

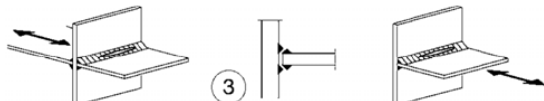
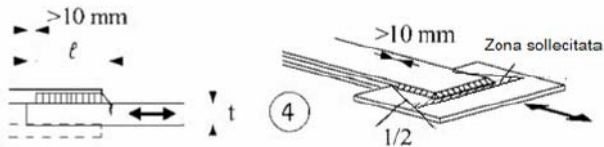
<p>90 (a)</p> <p>71 (b)</p> <p>50 (c)</p>		<p>4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r.</p> <p>La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3)</p> <p>La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r.</p> <p>(a) $r \geq L/3$ o $r > 150 \text{ mm}$</p> <p>(b) $L/3 > r \geq L/6$</p> <p>(c) $r < L/6$</p>	<p>Raccordo di transizione di raggio r 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</p>
<p>40</p>		<p>5) Come saldato, senza raccordo di transizione</p>	

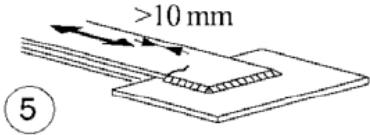
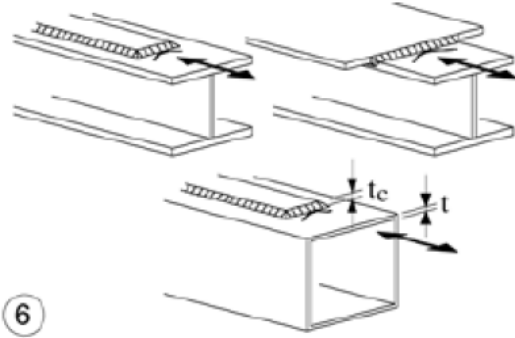
80 (a) 71 (b)		<p> Attacchi trasversali 6) saldati a piastra 7) nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda </p> <p> (a) $1 \leq 50 \text{ mm}$ (b) $50 < 1 \leq 80 \text{ mm}$ </p> <p> Le classi sono valide anche per nervature anulari </p>	<p> 6) e 7) le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti </p> <p> 7) se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali </p>
80		<p> 9) effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra </p>	


	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: RFI DTC INC PO SP IFS 003 A</p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 63 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

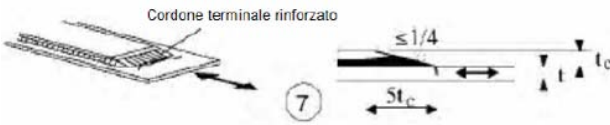
Tab. 2-5.a – Connessioni saldate direttamente sollecitate ($\Delta\sigma$)


Class e del detta glio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
<p>80 (a)</p> <p>71 (b)</p> <p>63 (c)</p> <p>56 (d)</p> <p>50 (e)</p> <p>45 (f)</p> <p>40 (g)</p>		<p>Giunti a croce o a T</p> <p>1) lesioni al piede della saldatura in giunti a piena penetrazione o a parziale penetrazione.</p> <p>2) lesioni al piede della saldatura a partire dal bordo del piatto caricato, in presenza di picchi locali di tensione nelle parti terminali della saldatura dovuti alla deformabilità del pannello</p> <p>(a) $l \leq 50$ mm e t qualsiasi</p> <p>(b) $50 < l \leq 80$ mm e t qualsiasi</p> <p>(c) $80 < l \leq 100$ mm e t qualsiasi</p> <p>(d) $100 < l \leq 120$ mm e t qualsiasi</p> <p>(d) $l \geq 120$ mm e $t \leq 20$ mm</p> <p>(e) $120 < l \leq 200$ mm e $t > 20$ mm</p> <p>(e) $l > 200$ mm e $50 < t \leq 30$ mm</p> <p>(f) $200 < l \leq 300$ mm e t qualsiasi</p>	<p>1) Il giunto deve essere controllato: le discontinuità e i disallineamenti devono essere conformi alle tolleranze della EN 1090.</p> <p>2) Nel calcolo di $\Delta\sigma$ si deve far riferimento al valore di picco delle tensioni, mediante un opportuno fattore di concentrazione degli sforzi k_f</p> <p>1) e 2) il disallineamento dei piatti caricati non deve superare il 15% dello spessore della piastra intermedia.</p>

		<p>> 30 mm</p> <p>(f) $l > 300 \text{ mm}$ e $30 < t \leq 50 \text{ mm}$</p> <p>(g) $l > 300 \text{ mm}$ e $t > 50 \text{ mm}$</p>	
36*●		<p>Giunti a croce o a T</p> <p>3) Lesioni alla radice della saldatura in giunti a T a cordoni d'angolo, a parziale penetrazione e parziale penetrazione equivalente alla piena penetrazione</p>	<p>Nelle saldature a parziale penetrazione sono richieste due verifiche. La prima riguardo alle lesioni alla radice della saldatura deve essere riferita alla classe 36* per $\Delta\sigma$ e alla classe 80 per $\Delta\tau$, la seconda riguardo alle lesioni al piede della saldatura nel piatto caricato deve essere riferita alle classi dei dettagli 1) e 2) della presenta tabella</p> <p>il disallineamento dei piatti caricati non deve superare il 15% dello spessore della piastra intermedia.</p>
Com e detta glio 1●		<p>Giunzioni a sovrapposizione</p> <p>4) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo (verifica della piastra principale)</p>	<p>$\Delta\sigma$ nella piastra principale deve essere calcolato considerando l'area indicata in figura (diffusione con pendenza 1:2)</p> <p>Le saldature devono terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra.</p>

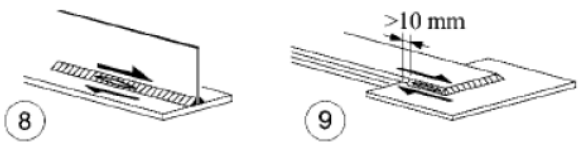
			Le verifiche a fatica della saldatura per tensioni tangenziali devono essere effettuate in riferimento al dettaglio 8 (Tabella 2-5.b)
45*●		<p>Giunzioni a sovrapposizione</p> <p>5) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo (verifica degli elementi sovrapposti)</p>	<p>$\Delta\sigma$ è riferito agli elementi sovrapposti</p> <p>Le saldature devono terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra.</p> <p>Le verifiche a fatica della saldatura per tensioni tangenziali devono essere effettuate in riferimento al dettaglio 8 (Tabella 2-5.b)</p>
<p>56* (a)</p> <p>50 (b)</p> <p>45 (c)</p> <p>40 (d)</p> <p>36 (e)</p>		<p>Coprighiunti di travi e travi composte</p> <p>6) Zone terminali di coprighiunti saldati singoli o multipli, con o senza cordoni terminali trasversali.</p> <p>(a) $t_c < t$ e $t \leq 20$ mm</p> <p>(b) $t_c < t$ e $20 < t \leq 30$ mm</p> <p>(b) $t_c \geq t$ e $t \leq 20$ mm</p> <p>(c) $t_c < t$ e $30 < t \leq 50$ mm</p>	<p>1) Il giunto deve essere controllato: le discontinuità e i disallineamenti devono essere conformi alle tolleranze della EN 1090.</p> <p>2) Nel calcolo di $\Delta\sigma$ si deve far riferimento al valore di picco delle tensioni, mediante un opportuno fattore di concentrazione degli sforzi k_f</p> <p>1) e 2) il disallineamento dei piatti caricati non</p>

	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u></p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 66 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

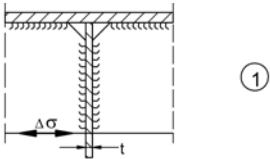
		<p>(c) $t_c \geq t$ e $20 < t \leq 30$ mm</p> <p>(d) $t_c < t$ e $t > 50$ mm</p> <p>(d) $t_c \geq t$ e $30 < t \leq 50$ mm</p> <p>(e) $t_c \geq t$ e $t > 50$ mm</p>	<p>deve superare il 15% dello spessore della piastra intermedia.</p>
56		<p>Coprigiunti di travi e travi composte</p> <p>7) Zone terminali di coprigiunti saldati con cordone terminale rinforzato di lunghezza minima $5 t_c$</p>	<p>cordone trasversale rinforzato molato a raccordo.</p> <p>Se $t_c > 20$mm il raccordo, di pendenza non maggiore di 1:4, deve essere esteso fino al bordo superiore del coprigiunto</p>


	Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO</u> <u>SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	Allegato 2	FOGLIO 67 di 69
---	--	---------------------------------	-------------------------------

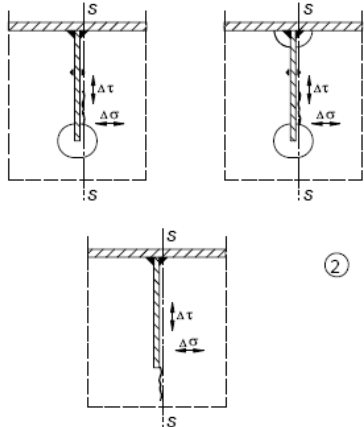
Tab. 2-5.b – Connessioni saldate direttamente sollecitate ($\Delta\tau$)

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
80		<p>8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnessione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate</p> <p>9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali</p>	<p>8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone</p> <p>9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra</p>

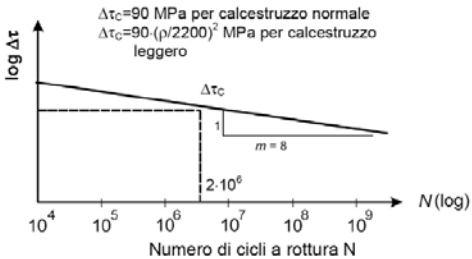
Tab. 2-6 – Dettagli piastra ortotropa

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo		Descrizione	requisiti
80	$t \leq 12\text{mm}$		1) Collegamento di un irrigidente longitudinale con una travatura trasversale	1) Valutazione basata sullo stato tensionale normale $\Delta\sigma$ sull'irrigidente.
71	$t > 12\text{mm}$			

	<p>Allegato alla specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari</p> <p>Codifica: RFI DTC INC PO SP IFS 003 A</p>	<p>Allegato 2</p>	<p>FOGLIO 68 di 69</p>
---	--	------------------------------	-----------------------------------

56		<p>2) Collegamento di un irrigidente longitudinale continuo con una travatura trasversale</p> $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$	<p>2) Valutazione basata sulla combinazione di uno stato tensionale tangenziale $\Delta\tau$ e sullo stato tensionale normale $\Delta\sigma$, sull'anima della travatura trasversale, con un $\Delta\sigma$ equivalente:</p> $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2}(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2})$
----	---	---	---

Tab. 2-7 – Curva S-N per connettori a piolo ($\Delta\tau$)

Class e del detta glio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
90		<p>Curva S-N per connettori a piolo sollecitati a taglio delle strutture composte acciaio-calcestruzzo, caratterizzata dall'assenza di limite di fatica. La pendenza della curva è $m=8$. Per calcestruzzi leggeri la classe si riduce, in funzione del limite superiore della densità della classe di appartenenza, ρ, espresso in kg/m^3,</p> $\Delta\tau_c = 90 \cdot \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2 \text{ MPa}$	<p>Le tensioni tangenziali devono essere valutate in riferimento alla sezione nominale del connettore.</p>

	SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI	
SPECIFICA	Codifica: <u>RFI</u> <u>DTC</u> <u>INC</u> <u>PO SP</u> <u>IFS</u> <u>003</u> <u>A</u>	FOGLIO 69 di 69

La presente Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari è stata elaborata da un gruppo di lavoro così composto:

Braga Prof. Franco	Università di Roma La Sapienza
Burghignoli Prof. Alberto	Università di Roma La Sapienza
Dolce Prof. Mauro	Università Federico II di Napoli
Petrangeli Prof. Mario Paolo	Università di Roma La Sapienza
Pistoletti Prof. Pierangelo	Università di Genova
Sanpaolesi De Falena Prof. Luca	Università di Pisa

Firmi Ing. Paola	RFI
Tisalvi Ing. Marco	RFI
Annicchiarico Ing. Alessandro Felice	RFI
Sorrentino Ing. Giovanni	RFI

Traini Ing. Giuseppe	ITALFERR
Evangelista Ing. Luigi	ITALFERR
Sacchi Ing. Francesco	ITALFERR
Silvestri Ing. Gianluca	ITALFERR
Vittozzi Ing. Angelo	ITALFERR