COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE PROGETTAZIONE

S.O. PONTI E GRANDI STRUTTURE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

Fase 1B

IV01

Nota tecnico descrittiva impalcato

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS62	00	R	09	RH	IV0109	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Recepimento prescrizioni AdSP	R.Marconi	Settembre 2023	F.Bonifacio	Settembre 2023	P. Carlesimo	Settembre 2023	A.Vittozzi Settembre 2023

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

File:		n. Elab.:

Informazione ad uso interno - Internal use information

1 PREMESSA 3
2 DESCRIZIONE OPERA 4
3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO 6
4 MATERIALI 7
5 ANALISI DEI CARICHI 8
5.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G_1) 8
5.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G_2) 8
5.2.1 CARICHI PERMANENTI PORTATI STRADALI (Fase 1) 8
5.2.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI FERROVIARI (Fase 2) 9
5.3 SOVRACCARICHI DA TRAFFICO 10
5.3.1 TRAFFICO STRADALE (Fase 1) 10
5.3.2 TRAFFICO FERROVIARIO (Fase 2) 12
5.4 AZIONI SISMICHE 17
6 COMBINAZIONI DI CARICO 20
6.1 COMBINAZIONI IMPALCATO STRADALE (FASE 1) 20
6.2 COMBINAZIONI IMPALCATO FERROVIARIO (FASE 2) 22
7 SINTESI AZIONI DI PROGETTO IMPALCATO E SOTTOSTRUTTURE 24
8 CONCLUSIONI 26

Informazione ad uso interno - Internal use information

1 PREMESSA

Scopo della presente relazione è quello di illustrare i criteri di analisi e le logiche adottate per la definizione geometrico - dimensionale dell'impalcato IV01 e delle relative sottostrutture, nell'ambito del Progetto del Collegamento con il Porto di Augusta. Le valutazioni condotte attengono ad un grado di dettaglio confacente ad un Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e tengono conto che l'opera in esame, durante la sua vita utile, è interessata da una modifica sostanziale della destinazione d'uso. In particolare:

- Fase 1 (si compone di fase 1A e Fase 1B)*: funzione di sola viabilità per la movimentazione dei contenitori dalla banchina al piazzale di Carico/Scarico
- Fase 2**: funzione di collegamento ferroviario (non elettrificato) con la banchina portuale oltre a collegamento viario limitato a veicoli di servizio/emergenza

* Fase oggetto del presente progetto

** Fase futura non oggetto del presente progetto

Pertanto, al fine di recepire la richiesta, espressa con Nota del 21 giugno 2023 da parte dell'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Orientale, di realizzare fin da subito un'opera compatibile con le condizioni di esercizio di Fase 2, è stata definita una configurazione planoaltimetrica tenendo conto del futuro tracciato ferroviario. La tipologia strutturale impiegata per l'impalcato è una struttura mista di comprovata validità e conforme agli standard definiti sul Manuale di Progettazione RFI.

Informazione ad uso interno - Internal use information

2 DESCRIZIONE OPERA

La struttura oggetto della presente relazione si inserisce nello sviluppo della nuova viabilità NV01 ed è deputata allo scavalco di un braccio di mare. Si tratta di un impalcato semplicemente appoggiato a struttura mista acciaio-calcestruzzo con luce netta di 48 m e lunghezza complessiva pari a 50 m.

L'impalcato è costituito da un cassone in acciaio a tre anime poste ad interasse di 2.4 m. Il cassone ha altezza variabile e nella sezione di mezzeria misura 3 m. Tale altezza garantisce con sufficienti margini di sicurezza un franco di 1.5 m sul livello idrico del braccio di mare sottostante.

La rastremazione agli appoggi è studiata per migliorare la stabilità dell'impalcato e ridurne l'effetto ribaltante sotto azioni sismiche trasversali. La scelta di adottare tre anime per il cassone metallico è stata condotta per migliorare la stabilità dell'opera, vista la presenza di carichi eccentrici sulla piattaforma, e per ridurre l'entità degli sbalzi di soletta.

La soletta di completamento è gettata in opera e realizzata in calcestruzzo armato C32/40 a spessore medio di circa 40 cm e larghezza di 8.6 m.

Le spalle del IV01 sono scatolari realizzate in c.a., gettato in opera e giuntate nel tratto iniziale (spalla A) ad uno scatolare di approccio SL01 – a mentre nel tratto finale la spalla B è giuntata nel tratto finale (spalla B) ad uno scatolare di approccio SL01 - b, con fondazioni su pali in c.a.

Si riportano di seguito pianta prospetto e sezione trasversale del ponte.

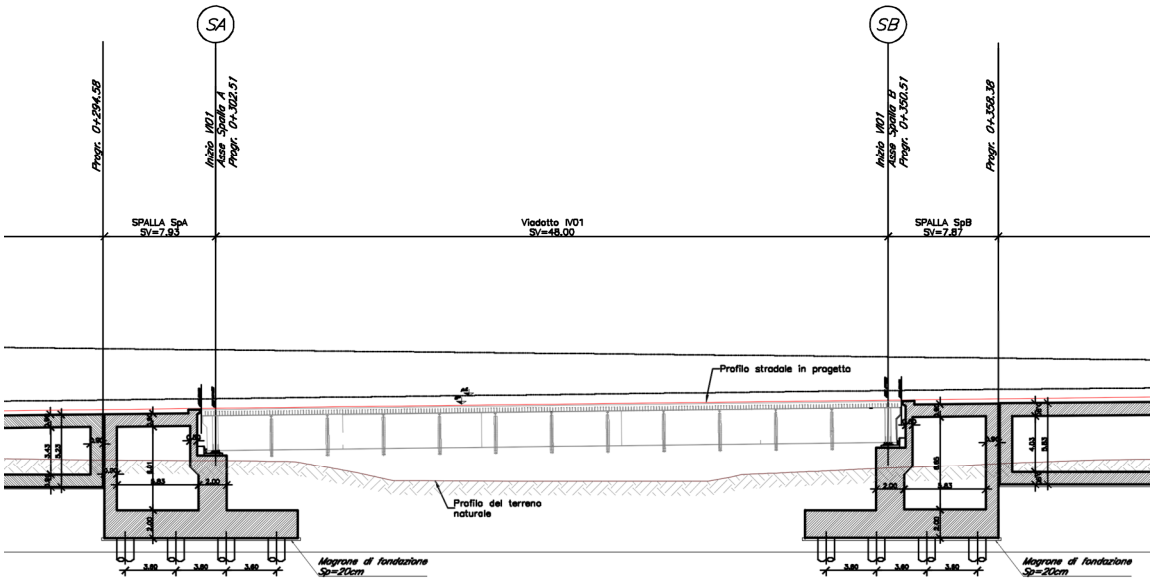


Figura 1 – IV01

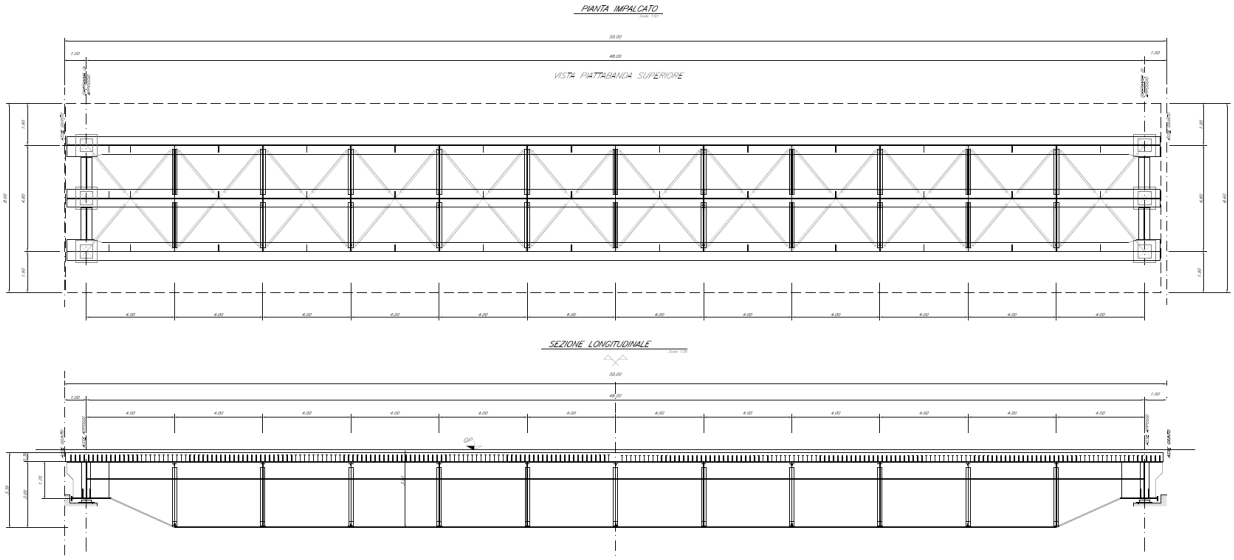


Figura 2 – Pianta e sezione longitudinale

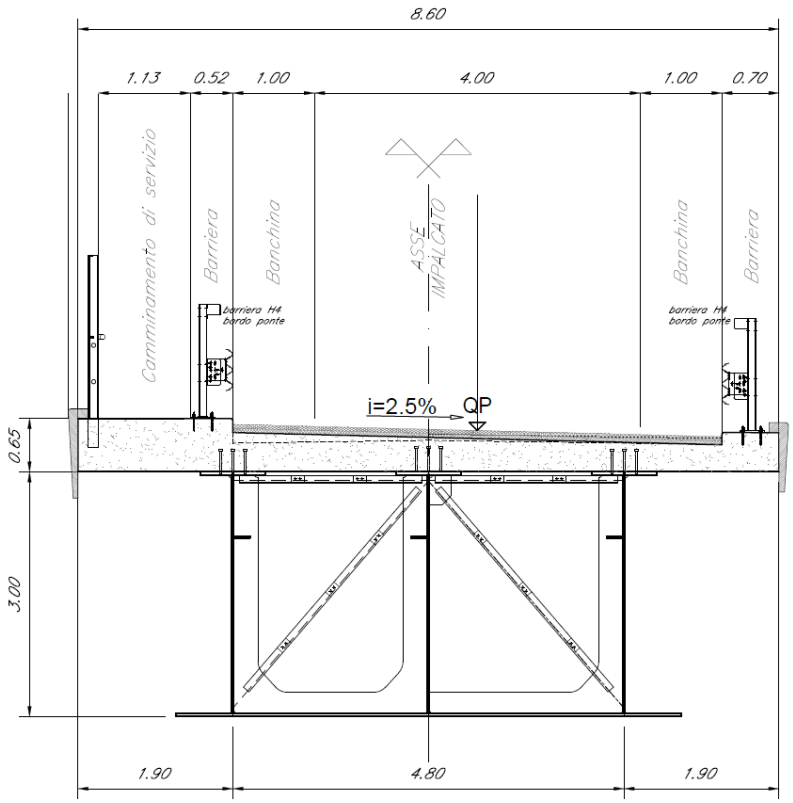


Figura 3 – Sezione trasversale

3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il progetto verrà redatto nel rispetto della seguente normativa:

[N1] **D.M. del 17 Gennaio 2018:** *Nuove norme tecniche per le costruzioni*;

[N2] **C.M. del 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n.35 del febbraio 2019):** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni*;

[N3] **RFI DTC SI PS MA IFS 001 F del 30/12/2022:** *Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture*;

[N4] **RFI DTC SI PS SP IFS 001 F del 30/12/2022:** *Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio*;

[N5] **Regolamento (UE) N°1299/2014** *della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N°2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019.*

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in accordo al capitolato generale tecnico delle opere civili di RFI "parte II sezione 6 e sezione 12" e alla uni en 1090-2 (classe di esecuzione exc3 eccetto camminamenti e grigliati per i quali, come previsto sull'appendice b, si può utilizzare la classe di esecuzione exc2).

Informazione ad uso interno - Internal use information

4 MATERIALI

Tutte le caratteristiche e le proprietà dovranno essere conformi a quanto previsto dal Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili RFI.

Tutti i materiali dovranno essere corredati di certificati e documenti di tracciabilità.

Si riportano di seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche.

CALCESTRUZZO PER SOLETTA			
C32/40			
R_{ck}	40	Mpa	Resistenza caratteristica cubica
f_{ck}	33,2	Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm}	41,2	Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica media
γ_M	1,5	-	Coefficiente parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	18,8	Mpa	Resistenza di progetto
E_{cm}	33643	Mpa	Modulo elastico BT
XC4			Classe di esposizione
c	40	mm	Copriferro minimo

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE			
B 450 C controllato in stabilimento			
f_{yk} =	450	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
γ_M =	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
f_{yd} =	391.3	N/mm^2	resistenza di progetto
E_s =	210000	N/mm^2	modulo elastico

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA			
S355 J2 lamiere e profili per elementi saldati			
S355 J0 lamiere e profili per elementi non saldati			
f_{yk} =	355	MPa	Resistenza di calcolo (t ≤ 40 mm)
f_{yk} =	335	MPa	Resistenza di calcolo (t > 40 mm)
γ_M =	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
f_{yd} =	338.1	N/mm^2	resistenza di progetto (t ≤ 40 mm)
f_{yd} =	319.0	N/mm^3	resistenza di progetto (t > 40 mm)
E_s =	209000	MPa	modulo elastico
ACCIAIO PIOLI NELSON			
St 37-3K DIN 17100			
f_{yk} =	355	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
E_s =	210000	N/mm^2	modulo elastico

5 ANALISI DEI CARICHI

In accordo con il livello di dettaglio che la fase di progetto richiede, l'analisi dei carichi di seguito proposta non è da intendersi come una valutazione completa ed esaustiva di tutte le azioni agenti sull'impalcato in esame, quanto più come un approfondimento che si limita ad indagare i carichi verticali e orizzontali che possono essere considerati dimensionanti per la struttura e che consentono compiutamente di individuare la tipologia strutturale dell'opera, di definirne la geometrica e quindi di quantificarne i costi. Si rimanda alle successive fasi di progetto per maggiori dettagli.

Inoltre, per i singoli casi di carico l'analisi è ripetuta per ciascuna fase di esercizio dell'opera, al fine di individuare lo scenario più gravoso per la struttura.

5.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G_1)

Si esplicita di seguito il calcolo dei pesi per unità di lunghezza relativi alla soletta in c.a. e al cassone metallico:

Pesi propri	*Ripetizioni*	*Spessore*	*Larghezza*	*Area*	*Lunghezza*	*Volume*	*p*	*Peso*
	-	*m*	*m*	*mq*	*m*	*mc*	*kN/mc-mq*	*kN/ml*
Acciaio	2			0.24		0.4823	76.98	37.1
Soletta	1			3.10		3.0960	25	77.4
							Totale pesi propri G1	**114.5**

5.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G_2)

Di seguito la valutazione dei carichi permanenti non strutturali, esplicitati in termini di carico complessivo per unità di lunghezza di impalcato. Si distinguono i carichi di Fase 1 (stradali) da quelli di Fase 2 (ferroviari).

5.2.1 CARICHI PERMANENTI PORTATI STRADALI (Fase 1)

I carichi associati alla Fase 1 sono stati definiti in accordo alle dimensioni e ai pesi degli elementi non strutturali illustrati in Figura 3.

Permanenti portati	*Ripetizioni*	*Spessore*	*Larghezza*	*Area*	*Lunghezza*	*Volume*	*p*	*Peso*
	-	*m*	*m*	*mq*	*m*	*mc*	*kN/mc-mq*	*kN/ml*
Cordolo in sx	1	0.3	1.9			0.5700	25	14.3
Cordolo in dx	1	0.14	0.7			0.0980	25	2.5
Velette	2			0.16		0.3200	25	8.0
Parapetti	1					1.0000	1.5	1.5
Guard Rails	2					2.0000	1.5	3.0
Pavimentazione stradale	1		6			6.0000	3.3	19.8
Riempitivo pendenza trasversale	1			0.26		0.2634	25	6.6
							Totale permanenti portati G2	**55.6**

5.2.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI FERROVIARI (Fase 2)

La definizione planoaltimetrica del tracciato ferroviario operata già nella fase di progetto corrente ha consentito di definire compiutamente le dimensioni della piattaforma ferroviaria di Fase 2.

Per assolvere alla doppia funzione alternativa (impiego ferroviario e impiego stradale) è stato necessario ipotizzare l'adozione di alcuni accorgimenti. Si fa presente, pertanto, che:

- la vasca portaballast ha una geometria adatta all'accoglimento della sede stradale a raso ed è disposta eccentrica rispetto all'asse dell'impalcato
- le geometrie dei cordoli sono definite in maniera tale da poter ospitare, ad opportuna quota, le barriere stradali
- oltre ai carichi tipici della sovrastruttura ferroviaria si annovera la presenza di un carico associato alla pavimentazione stradale che ha la funzione di creare un piano viabile al di sopra del ballast per consentire il transito dei mezzi di servizio/emergenza (il peso di tale strato carrabile è stato ricavato da cataloghi di produttori)

Permanenti portati	*Ripetizioni*	*Spessore*	*Larghezza*	*Area*	*Lunghezza*	*Volume*	*p*	*Peso*
	-	*m*	*m*	*mq*	*m*	*mc*	*kN/mc-mq*	*kN/ml*
Muri paraballast	2			0.143		0.2866	25	7.2
Cordolo in sx	1	0.80	0.52			0.4160	25	10.4
Cordolo in dx	1	0.86	0.70			0.6020	25	15.1
Marciapiede in sx	1	0.31	1.38			0.4278	25	10.7
Velette	2			0.16		0.3200	25	8.0
Guard Rails	2					2.0000	1.5	3.0
Pavimentazione stradale	1		6			6.0000	2.1	12.6
Ballast+ impermab. sottoballast + armamer	1	0.80	6			4.8000	18	86.4
Canalette	2			0.085		0.1700	25	4.3
Impermeabilizzazione marciapiedi	1	0.05	1.38			0.0690	20	1.4
Barriere antirumore	2	1	4			8.0000	3.2	25.6
Impianti	2					2.0000	1.13	2.3
							Totale permanenti portati G2	**186.8**

Si osserva come i carichi permanenti portati di Fase 2 siano significativamente maggiori rispetto a quelli di Fase 1.

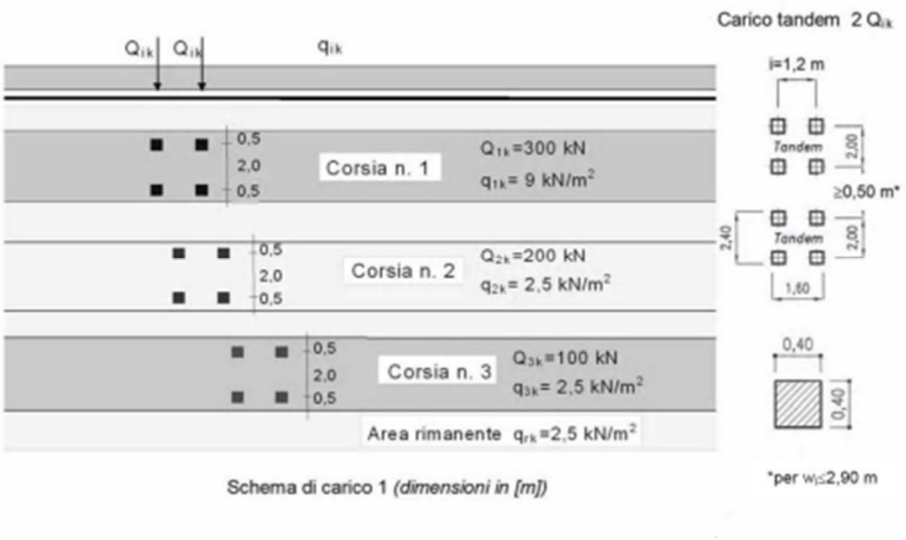
5.3 SOVRACCARICHI DA TRAFFICO

Di seguito la descrizione dei carichi mobili di Fase 1 (stradali) e di Fase 2 (ferroviari) per l'individuazione dello scenario più gravoso nella valutazione degli effetti globali sull'impalcato.

5.3.1 TRAFFICO STRADALE (Fase 1)

5.3.1.1 MODELLI DI CARICO

Coerentemente con quanto indicato al par. 5.1.3.3.3 del DM 14/01/08 per l'analisi globale del ponte in Fase 1 (sola viabilità stradale) si fa riferimento allo schema di carico 1.



Schema di carico 1 *(dimensioni in [m])*

Nel caso in oggetto si impiegano rispettivamente due e tre corsie di carico per la Zona A e la Zona B, costituite da:

- una prima colonna di carichi costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN (2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 2.0 m in direzione trasversale e 1.20 m in senso longitudinale) e da un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m^2 distribuito linearmente in asse al convoglio;
- una seconda colonna di carichi, analoga alla precedente, disposta ad interasse di 3.00 m. da essa e con carichi totali pari rispettivamente a Q_{2k} = 400 kN e q_{2k} = 2.5 kN/m^2;
- una terza colonna di carichi, analoga alla precedente, disposta ad interasse di 3.00 m. da essa e con carichi totali pari rispettivamente a Q_{3k} = 200 kN e q_{3k} = 2.5 kN/m^2;
- una colonna di carico q_{rk} = 2.5 kN/m^2 nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti;
- sul marciapiede, se presente, il carico q_{fk} = 5 kN/m^2 da considerare al 50 % nelle combinazioni in cui sono presenti i carichi stradali.

5.3.1.2 CARICO STRADALE AL METRO LINEARE

Una prima valutazione delle azioni da traffico al metro lineare per un impalcato appoggiato può ottenersi attraverso il calcolo del carico equivalente flettente e del carico equivalente tagliante associati ai carichi mobili transitanti.

Veicolo	**Equivalente flettente**	**Equivalente tagliante**
-	**(kN/m)**	**(kN/m)**
Corsia 1 UDL	27	27
Corsia 1 Tandem	25	24.7
Corsia 2 UDL	7.5	7.5
Corsia 2 Tandem	16.7	16.5
Rimanente	0	0
Marciapiede	2.8	2.83
Tot	79.0	78.5

5.3.2 TRAFFICO FERROVIARIO (Fase 2)

5.3.2.1 MODELLI DI CARICO

Coerentemente con quanto indicato al par. 5.2.2.1.1 del DM 14/01/08 per l'analisi globale del ponte in Fase 2 (traffico ferroviario) si fa riferimento a due modelli di carico, il primo rappresentativo del traffico normale (LM71) ed il secondo di quello pesante (SW2).

Modello di Carico LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito da:

- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.60 m;
- una stesa uniforme di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0.8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

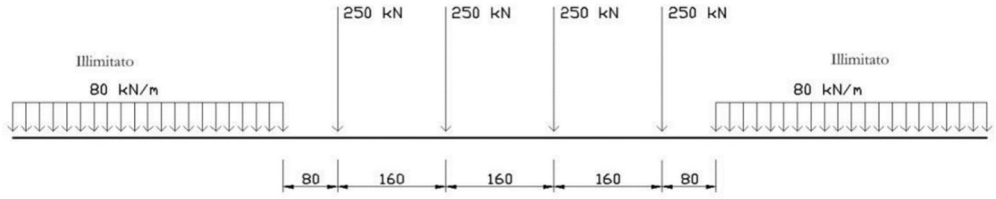


Figura 4: Schema treno di carico LM71

Il carico distribuito presente alle estremità del treno tipo LM71 deve segmentarsi al di sopra dell'opera andando a caricare solo quelle parti che forniscono un incremento del contributo ai fini della verifica dell'elemento per l'effetto considerato. Questa operazione di segmentazione non va effettuata per i successivi modelli di carico SW che devono essere considerati sempre agenti per tutta la loro estensione.

Il valore del coefficiente di adattamento "α" da adottarsi per il modello di carico LM71 nella progettazione di ferrovie ordinarie è pari a 1.10.

Traffico pesante treno SW/2

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante. Per tale modello di carico è stata considerata la seguente configurazione:

- due stese di carico di intensità 150 kN/m, lunghe 25.00 m distanziate da un lasco di 7.00 m.

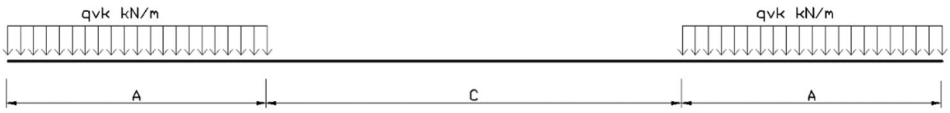


Figura 5: Schema treno di carico SW

Il valore del coefficiente di adattamento "α" da adottarsi nella progettazione delle ferrovie ordinarie per il modello di carico SW/2 è pari a 1,0.

5.3.2.2 CARICO FERROVIARIO AL METRO LINEARE

Una prima valutazione delle azioni da traffico al metro lineare per un impalcato appoggiato può ottenersi attraverso il calcolo del carico equivalente flettente e del carico equivalente tagliante associati ai carichi mobili transitanti. Facendo riferimento alle tabelle di cui all'Allegato 3 al MdP:

Treno	**Equivalente flettente**	**Equivalente tagliante**
-	**(kN/m)**	**(kN/m)**
LM71	108.7	111.3
SW2	120.5	132.0
Max	120.5	132.0

Si osserva come i carichi accidentali di Fase 2 siano significativamente maggiori rispetto a quelli di Fase 1.

5.3.2.3 *EFFETTI DINAMICI*

Come indicato al §2.5.1.4.1.4 del *Manuale di progettazione delle opere civili RFI*, i requisiti per determinare se è richiesta o meno l'analisi dinamica sono indicati nella figura seguente.

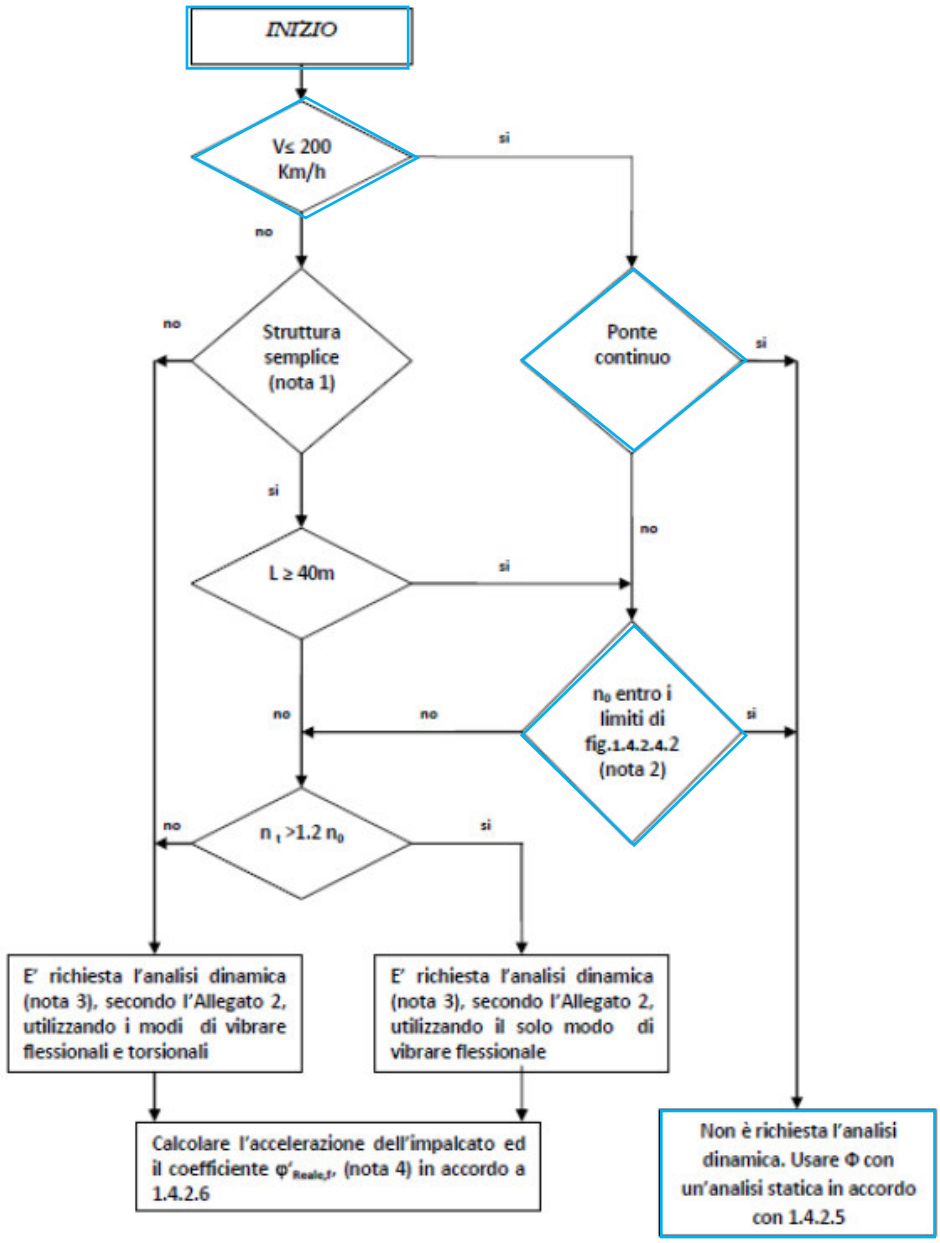


Figura 6: Diagramma di flusso per determinare se è richiesta l'analisi

dove:

- V è la massima velocità della linea [km/h];
- L è la luce della campata in semplice appoggio da assumere pari a L_Φ per ponti continui [m];

- n_0 è la prima frequenza naturale flessionale del ponte caricato con le azioni permanenti [Hz];
- n_T è la prima frequenza naturale torsionale del ponte caricato con le azioni permanenti [Hz].

Per una trave semplicemente appoggiata la prima frequenza flessionale e la prima torsionale possono valutarsi con le formule:

$$n_0 = \frac{17.75}{\sqrt{\delta_o}} \text{ [Hz]} \qquad n_T = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{GJ_p}{m\rho^2}} \text{ [Hz]}$$

dove:

- δ_0 rappresenta la freccia, espressa in mm, valutata in mezzeria e dovuta alle azioni permanenti;
- GJ_p è la rigidezza torsionale della sezione trasversale;
- m è la massa per unità di lunghezza media del ponte;
- ρ è il raggio giratorio.

I limiti per n_0 sono riportati nella figura seguente.

Nota 2

Il limite superiore di n_0 è caratterizzato da:

$n_0 = 94{,}76 \cdot L^{-0{,}748}$ (2.5.1.4.2.4.1)

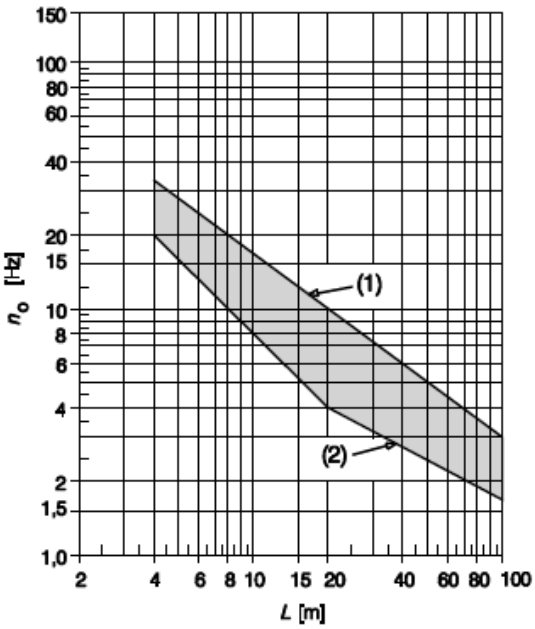
ed il limite inferiore è dato da:

$n_0 = \frac{80}{L}$ per 4 m ≤ L ≤ 20 m

$n_0 = 23{,}58 \cdot L^{-0{,}592}$ per 20 m < L ≤ 100 m (2.5.1.4.2.4.2)

dove:

- n_0 è la prima frequenza naturale flessionale del ponte
- L è la luce della campata per ponti in semplice appoggio oppure L_Φ per ponti continui.



(1) Limite superiore della frequenza naturale

(2) Limite inferiore della frequenza naturale

Figura 7: Limiti della frequenza naturale del ponte n_0 [Hz] in funzione di L [m]

Si ha:

CALCOLO DELLA PRIMA FREQUENZA PROPRIA DELL'IMPALCATO		
p_1	301.30	kN/m
E	210000000	kN/m^2
J	2.265	m^4
d_0	43.78	mm
n_0	2.68	Hz

Verifica frequenza naturale all'interno del fuso:		
L	48.00	m
$n_{0\ superiore}$	5.24	Hz
$n_{0\ inferiore}$	2.38	Hz

n0 inferiore < n0 < n0 superiore

Dove:

p_1	Carico permanente al m di impalcato
E	Modulo Elastico impalcato (sezione omogeneizzata)
J	Modulo d'inerzia impalcato (sezione omogeneizzata)
d_0	Freccia sotto i carichi permanenti
n_0	Prima frequenza flessionale della trave semplicemente appoggiata
$n_{0\ superiore}$	Limite superiore del fuso
$n_{0\ inferiore}$	Limite inferiore del fuso

Per il caso in esame in cui la velocità di progetto non è superiore a 200 km/h e la prima frequenza propria di vibrare dell'impalcato è compresa all'interno del fuso non è richiesta l'analisi dinamica, pertanto gli effetti dinamici associati al passaggio di un convoglio ferroviario vanno tenuti in conto nel calcolo attraverso l'applicazione del metodo statico semplificato indicato nel *Manuale di progettazione delle opere civili RFI*, che prevede l'applicazione di coefficienti amplificativi ϕ ai modelli di carico ferroviari.

5.4 AZIONI SISMICHE

In accordo con quanto previsto nelle NTC2018, l'azione sismica di progetto è rappresentata da spettri di risposta definiti a partire dalla pericolosità sismica di base del sito, dalla vita di riferimento dell'opera e dalle caratteristiche del sottosuolo.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento, in base ai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Si riportano di seguito i parametri scelti per la definizione degli spettri di risposta.

AZIONE SISMICA		
Caratteristiche sismiche opera		
Vita di riferimento (V_N)	75	anni
Classe d'uso	II	
Coefficiente d'uso (C_u)	1	
Vita di riferimento (V_R)	75	anni
Caratteristiche del sottosuolo		
Categoria di sottosuolo	C	
Categoria topografica	T1	

Lo spettro di progetto è stato ottenuto utilizzando il foglio di calcolo elettronico messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Stato Limite	T_r (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c* (s)
SLO	45	0.06	2.51	0.27
SLD	75	0.08	2.50	0.29
SLV	712	0.28	2.31	0.45
SLC	1462	0.40	2.35	0.50

Tabella 1: Parametri per la definizione degli spettri di risposta

In accordo con quanto indicato ai §§ 7.9.5.3 e 7.9.5.4.1 delle NTC2018, per le verifiche degli elementi d'impalcato, è stato assunto un fattore di comportamento q =1 per entrambe le componenti dell'azione sismica e ξ = 5 %.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limiteSLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.284 g
F_o	2.314
T_C	0.447 s
S_S	1.306
C_C	1.370
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.306
η	1.000
T_B	0.204 s
T_C	0.612 s
T_D	2.735 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4{,}0 \cdot a_g / g + 1{,}6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

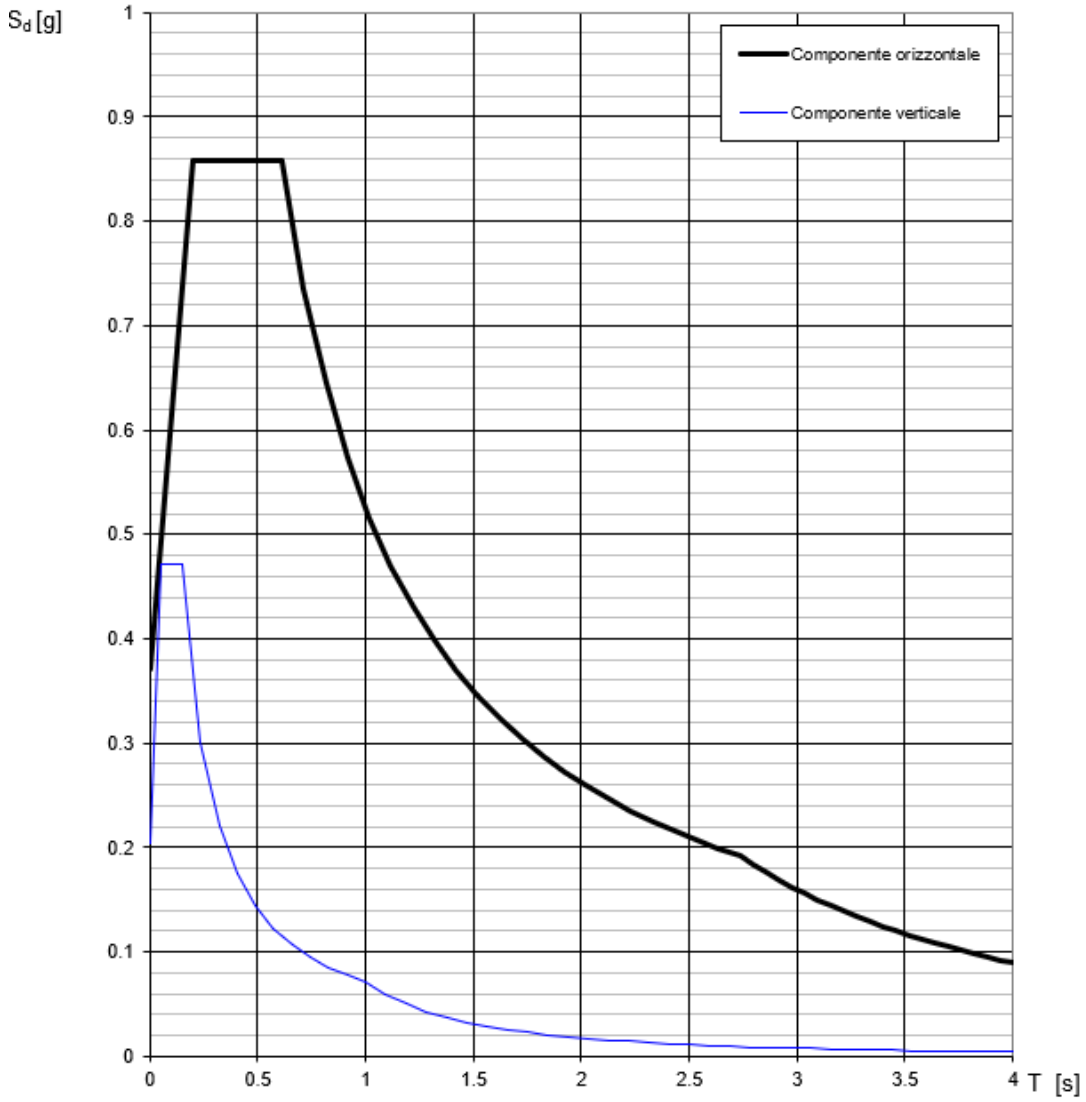
$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.371
0.204	0.857
0.612	0.857
0.713	0.736
0.814	0.645
0.915	0.573
1.017	0.516
1.118	0.470
1.219	0.431
1.320	0.398
1.421	0.369
1.522	0.345
1.623	0.323
1.724	0.304
1.825	0.288
1.926	0.273
2.027	0.259
2.128	0.247
2.229	0.235
2.330	0.225
2.431	0.216
2.532	0.207
2.634	0.199
2.735	0.192
2.795	0.184
2.855	0.176
2.915	0.169
2.976	0.162
3.036	0.156
3.096	0.150
3.156	0.144
3.217	0.139
3.277	0.134
3.337	0.129
3.397	0.124
3.458	0.120
3.518	0.116
3.578	0.112
3.638	0.108
3.699	0.105
3.759	0.102
3.819	0.098
3.879	0.095
3.940	0.092
4.000	0.090

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



6 COMBINAZIONI DI CARICO

6.1 COMBINAZIONI IMPALCATO STRADALE (FASE 1)

Le combinazioni di carico da assumere nelle verifiche sono definite nei paragrafi 2.5.3 e 5.1.3 delle NTC2018.

Criterio di combinazione adottato per le verifiche allo Stato Limite Ultimo:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Criterio di combinazione per combinazioni di tipo sismico:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Per la determinazione degli effetti delle azioni sismiche da traffico ferroviario si considera un coefficiente

$\psi_2 = 0$ che individua il valore quasi permanente delle masse corrispondenti al carico transitante.

Criterio di simultaneità delle azioni da traffico stradale:

	Carichi sulla carreggiata					*Carichi su marciapiedi e piste ciclabili*
	Carichi verticali			**Carichi orizzontali**		**Carichi verticali**
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	Carico uniformemente. distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m²
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti di 3ª categoria
(**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
(***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tabella 2: Gruppi di carichi da traffico

Vengono utilizzati i coefficienti di combinazione parziali per lo Stato Limite Ultimo come mostrato nella tabella seguente:

		Coefficiente	EQU[1]	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Carichi permanenti non strutturali[2]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	γ_{Q}	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\varepsilon 1}$	0,90 1,00[3]	1,00 1,00[4]	1,00 1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\varepsilon 2}$, $\gamma_{\varepsilon 3}$, $\gamma_{\varepsilon 4}$	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

[1] Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
[2] Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
[3] 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
[4] 1,20 per effetti locali

Tabella 3: Coefficienti parziali di sicurezza per le verifiche SLU

e i relativi coefficienti di combinazione:

Azioni	*Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)*	*Coefficiente ψ_0 di combinazione*	*Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)*	*Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)*
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem) Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti Schemi 3 e 4 (carichi concentrati) Schema 2	0,75 0,40 0,40 0,0	0,75 0,40 0,40 0,75	0,0 0,0 0,0 0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE Esecuzione	 0,6 0,8	 0,2 ----	 0,0 0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

Tabella 4: Coefficienti di combinazione ψ

6.2 COMBINAZIONI IMPALCATO FERROVIARIO (FASE 2)

Le combinazioni di carico da assumere nelle verifiche sono definite nei paragrafi 2.5.3 e 5.2.3 delle NTC2018.

Criterio di combinazione adottato per le verifiche allo Stato Limite Ultimo:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$$

Criterio di combinazione per combinazioni di tipo sismico:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$$

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Per la determinazione degli effetti delle azioni sismiche da traffico ferroviario si considera un coefficiente

$\psi_2 = 0{,}2$ che individua il valore quasi permanente delle masse corrispondenti al carico transitante.

Criterio di simultaneità delle azioni da traffico ferroviario:

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
Gruppo di carico	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo.2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
(1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ,α, ecc..)
(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 5: Gruppi di carichi da traffico

Vengono utilizzati i coefficienti di combinazione parziali per lo Stato Limite Ultimo come mostrato nella tabella seguente:

		Coefficiente	EQU[1]	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00
Carichi permanenti non strutturali[2]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30	1,00 1,00	1,00 1,00
Ballast[3]	favorevoli sfavorevoli	γ_B	0,90 1,50	1,00 1,50	1,00 1,30	1,00 1,00	1,00 1,00
Carichi variabili da traffico[4]	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,00 1,45	0,00 1,45	0,00 1,25	0,00 0,20[5]	0,00 0,20[5]
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30	0,00 1,00	0,00 0,00
Precompressione	favorevole sfavorevole	γ_P	0,90 1,00[6]	1,00 1,00[7]	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00

[1] Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
[2] Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
[3] Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
[4] Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
[5] Aliquota di carico da traffico da considerare.
[6] 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
[7] 1,20 per effetti locali

Tabella 6: Coefficienti parziali di sicurezza per le verifiche SLU

e i relativi coefficienti di combinazione:

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr_1	0,80[2]	0,80[1]	0,0
	gr_2	0,80[2]	0,80[1]	-
	gr_3	0,80[2]	0,80[1]	0,0
	gr_4	1,00	1,00[1]	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 7: Coefficienti di combinazione ψ

7 SINTESI AZIONI DI PROGETTO IMPALCATO E SOTTOSTRUTTURE

Nel presente capitolo viene riportata una sintesi delle azioni di progetto più significative per il dimensionamento dell'impalcato, delle spalle e dei relativi sistemi di fondazione

Per valutazioni tecniche inerenti l'impalcato vengono riportate in forma tabellare le azioni statiche verticali che, alla luce delle valutazioni di cui ai capitoli precedenti, sono risultate le più gravose.

	Carico di progetto impalcato
	(kN/m)
G1	114.5
G2 Fase 2	186.6
SW2 equiv. flettente	120.5
SW2 equiv. tagliante	132.0

Tali azioni, associabili alle condizioni di esercizio di Fase 2, si ritengono assimilabili alle azioni standard di progetto per impalcati ferroviari e congruenti con le prestazioni strutturali degli impalcati tipologici previsti dal MdP.

Inoltre, per consentire valutazioni sulle sottostrutture si riporta il calcolo approssimato degli scarichi dell'impalcato sugli appoggi lato allineamento fisso.

Inerzia sismica

Il calcolo, a favore di sicurezza, è condotto considerando l'accelerazione di plateau dello spettro di progetto.

	Massa	**Accelerazione sismica orizzontale**	**Azione longitudinale allineamento fisso**	**Azione trasversale allineamento fisso**
	(kN)	(g)	(kN)	(kN)
G1	5725	0.857	4906	2453
G2 Fase 2	9340	0.857	8004	4002
0.2 SW2	1290	0.857	1105	553
Tot	16355	0.857	14016	7008

Reazioni appoggi lato allineamento fisso

Azione	**N max**	**N min**	**T long**	**T trasv**
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
G1	2863	-	-	-
G2	4665	-	-	-
SW2	3300	-	-	-
Sisma Ex+0.3Ey+0.3Ez	1158	-1158	14016	2102
Sisma 0.3Ex+Ey+0.3Ez	1158	-1158	4205	7008
Sisma 0.3Ex+0.3Ey+Ez	3860	-3860	4205	2102
Comb. SLU	15887	15887	-	-
Comb. SLV	14853	7133	14016	7008

Tali azioni, da ripartire tra i tre appoggi dell'allineamento fisso, si ritengono compatibili con le prestazioni delle sottostrutture che sono adottate comunemente in ambito ferroviario in presenza di impalcati riconducibili ai tipologici previsti dal MdP.

Informazione ad uso interno - Internal use information

8 CONCLUSIONI

La struttura in esame presenta degli aspetti peculiari che la differenziano dalle consuete opere ferroviarie e stradali. Questi consistono in un cambio di destinazione d'uso previsto durante la vita utile dell'opera, e nella particolarità della conformazione e dei carichi della sovrastruttura che dovrà essere adibita, nella sua seconda fase di esercizio, a transito ferroviario e, al contempo, veicolare. Questo ha imposto la necessità di condurre, anche per questa fase preliminare di progetto, un'attenta analisi dei carichi per entrambe le fasi di esercizio previste per l'impalcato, delle valutazioni sugli effetti dinamici della struttura e una stima delle azioni riportate dall'impalcato alle sottostrutture.

Le risultanze di tali analisi hanno portato a ritenere le azioni di progetto assimilabili alle azioni standard per impalcati ferroviari e comunque congruenti con le prestazioni strutturali degli impalcati tipologici previsti dal MdP. Tale considerazione può essere estesa anche alle sottostrutture.

Si rimanda alle successive fasi progettuali per un maggiore grado di dettaglio.

Informazione ad uso interno - Internal use information