

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.

S.O. Corpo Stradale

PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI BARI

BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

TOMBINI FERROVIARI

IN09C-D-E-G Tombino scatolare a doppia canna 2.5x2.5 alla pk10+487

Relazione di calcolo

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

IADR 00 D 29 CL IN09C0 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione PD per AI	M.Botta <i>M. Botta</i>	SETT '23	A. Benenato-A. Donnarumma <i>A. Benenato</i> <i>A. Donnarumma</i>	SETT '23	G. Dimaggio <i>G. Dimaggio</i>	SETT '23	F. ARDUINI 29/09/2023 

File: IADR00D29CLIN09C0001A

n. Elab.:

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	2 di 81

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE	6
3	SCOPO DEL DOCUMENTO	9
3.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	10
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	13
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	14
5.1	CALCESTRUZZO	14
5.2	ACCIAIO.....	14
5.3	VERIFICA S.L.E.....	14
5.3.1	<i>Verifiche alle tensioni</i>	15
5.3.2	<i>Verifiche a fessurazione</i>	15
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	18
6.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO.....	18
6.2	TERRENO DI FONDAZIONE	18
6.3	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	19
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	21
7.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	21
7.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	21
8	SOFTWARE DI CALCOLO	24
8.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI	24

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	3 di 81

8.2	UNITÀ DI MISURA	24
8.3	GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE	24
8.4	VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO.....	24
8.5	CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE	25
8.6	GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI	25
8.7	PROGRAMMI DI SERVIZIO	25
9	COMBINAZIONI DI CARICO	26
10	TOMBINO SCATOLARE	31
10.1	GEOMETRIA	31
10.2	MODELLO DI CALCOLO	33
10.2.1	<i>Valutazione della rigidezza delle molle</i>	<i>33</i>
10.3	ANALISI DEI CARICHI	35
10.3.1	<i>Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati.....</i>	<i>35</i>
10.3.2	<i>Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente</i>	<i>36</i>
10.3.3	<i>Treni di carico</i>	<i>37</i>
10.3.3.1	<i>Treno di carico LM71</i>	<i>37</i>
10.3.3.2	<i>Verifica requisiti S.T.I. per opere minori sottobinario: Carico equivalente</i>	<i>39</i>
10.3.4	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico.....</i>	<i>42</i>
10.3.5	<i>Avviamento e frenatura.....</i>	<i>43</i>
10.3.6	<i>Serpeggio e centrifuga.....</i>	<i>44</i>
10.3.7	<i>Ritiro differenziale della soletta di copertura.....</i>	<i>44</i>
10.3.8	<i>Azione Termica</i>	<i>47</i>

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	4 di 81

10.3.9	Azione sismica inerziale.....	47
10.4	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI	50
10.5	VERIFICHE SLU-SLE DELLE SEZIONI IN C.A.	53
10.5.1	Verifica soletta inferiore	54
10.5.2	Verifica soletta superiore.....	57
10.5.3	Verifica piedritti	61
10.6	VERIFICHE SLV DELLE SEZIONI IN C.A.....	65
10.6.1	Verifica soletta inferiore	65
10.6.2	Verifica soletta superiore.....	67
10.6.3	Verifica piedritti	69
10.7	TABELLA RIASSUNTIVA ARMATURE	71
10.8	TABELLA INCIDENZA ARMATURE	71
10.9	VERIFICHE GEOTECNICHE FONDAZIONE.....	71

	<p>NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>5 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	5 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	5 di 81								

1 PREMESSA

La linea ferroviaria Foggia – Bari attraversa a raso il territorio comunale di Bari nelle località Palese e Santo Spirito. La direttrice adriatica determina quindi una interruzione del tessuto urbano, con presenza di numerosi passaggi a livello, apportando pesanti ripercussioni sulla mobilità e sulla sicurezza degli abitanti.

Il progetto definitivo del “Nodo di Bari: Bari Nord - Variante di tracciato tra Santo Spirito e Palese” è parte di un più vasto complesso progettuale relativo all’evoluzione del Nodo ferroviario di Bari, volto alla razionalizzazione, riorganizzazione e ad un generale miglioramento del trasporto ferroviario, attraverso un organico inserimento delle reti ferroviarie nel territorio urbano della città di Bari e una riqualificazione urbanistica delle aree dismesse.

Nel dicembre 2005 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, la Regione Puglia, il Comune di Bari e Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. siglarono un “Protocollo d’Intesa per il riassetto del nodo di Bari” finalizzato alla individuazione delle più efficaci soluzioni trasportistiche che rispondessero alle esigenze di riqualificazione urbana e di sviluppo economico del territorio al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- Riduzione delle interferenze tra le linee ferroviarie ed il territorio comunale;
- Realizzazione di un sistema di trasporto integrato, intermodale e intramodale a elevata frequenza;
- Aumento della qualità dei servizi di trasporto offerti con riduzione dei tempi di percorrenza e aumento dei punti di accesso alla modalità ferroviaria;
- Recupero, riqualificazione e valorizzazione delle aree ferroviarie dismesse e da dismettere;
- Abbattimento dei livelli di inquinamento acustico ed atmosferico nelle aree della città di Bari.

A seguito di tale Protocollo e del “Tavolo Tecnico” istituito dalla Regione Puglia, furono sviluppati uno studio di pre-fattibilità e successivamente uno studio di fattibilità.

Il progetto preliminare del Riassetto del Nodo di Bari sviluppato a seguito delle analisi sullo studio di fattibilità è stato assentito con Conferenza di Servizi Istruttoria indetta dalla Regione Puglia ai sensi dell’art. 14-bis della legge 241/1990 e approvato con verbale di CdS del 25 maggio 2009.

Il presente Progetto Definitivo del “Nodo di Bari: Bari Nord - Variante di tracciato tra Santo Spirito e Palese” è stato dunque sviluppato come soluzione di variante al Progetto Preliminare del 2009 oggetto di Parere VIA e sulla base delle prescrizioni e pareri ricevuti in fase di iter autorizzatorio del Progetto Preliminare del 2021.

	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area interessata dal progetto ricade nella zona a nord - ovest della città di Bari, nell'area compresa tra l'aeroporto internazionale di Bari e il comune di Giovinazzo.

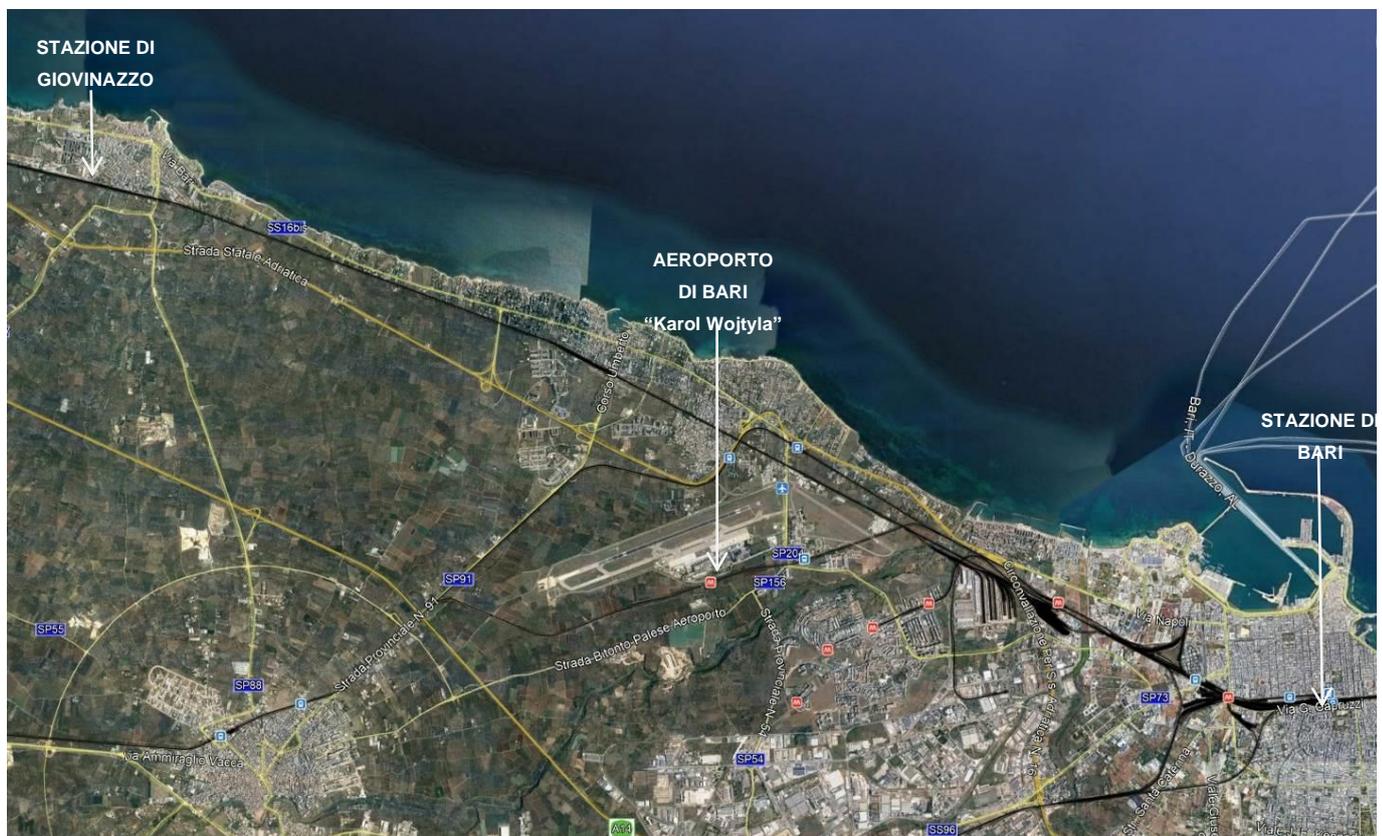


Figura 2-1 Inquadramento area di intervento

Il tracciato ferroviario è sviluppato tenendo conto dei seguenti input:

- $V_c = 200 \text{ km/h}$ ($V_t = 180 \text{ km/h}$)
- Nuova stazione con marciapiede ad isola da 250m e modulo di precedenza 750

La nuova linea ha origine dopo Giovinazzo, all'incirca al km 632+000 della linea Adriatica, da dove sfocchia verso sud-est e prosegue in corretto tracciato per circa un chilometro mantenendosi pressoché a quota piano campagna.

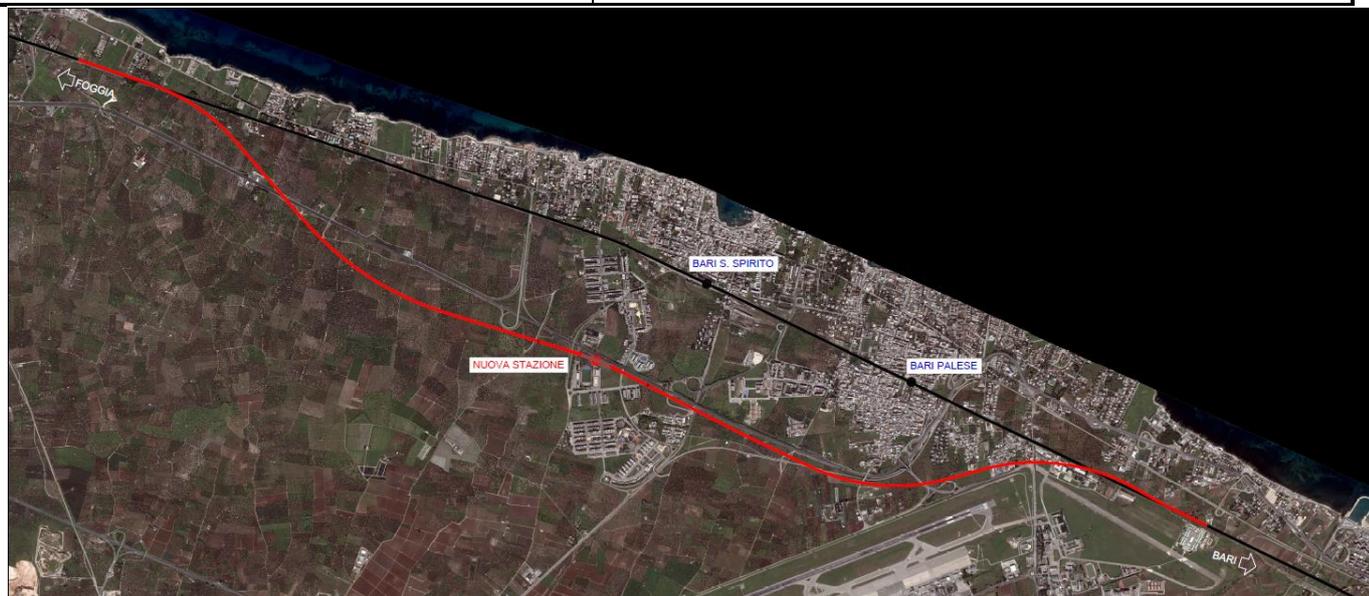


Figura 2-2 Tracciato Rosso

La variante di tracciato si sviluppa quasi nella sua interezza sotto il piano campagna, i primi 1.300 m circa si sviluppano quasi al piano campagna per poi iniziare a perdere quota fino ad entrare in galleria artificiale. L'opera ha uno sviluppo complessivo di circa 3 km e consente il sottoattraversamento della Strada Statale n. 16 e dei successivi assi viari.

Dopo circa 4,8 km il tracciato prosegue a cielo aperto, in trincea profonda, dove viene realizzato il nuovo impianto di stazione di S.Spirito – Enzitetto, costituito da due marciapiedi ad isola da 250m, ai quali si accede attraverso un sistema di scale mobili e ascensori che conducono al fabbricato di stazione posto al piano campagna. L'impianto di stazione garantisce sia per i binari di corsa sia per i binari di precedenza un modulo di 750m.

La trincea è interrotta da una galleria artificiale necessaria a creare aree a verde attrezzate, a servizio della nuova stazione, e a risolvere l'interferenza con via Nicholas Green.

In uscita dall'impianto di stazione il tracciato inizia a salire e prosegue in galleria artificiale verso sud-est parallelamente alla SS16, sotto attraversando la rampa di svincolo della statale e la SP91.

Dopo un tratto allo scoperto, il tracciato entra nuovamente in galleria artificiale al km 6+625, così da consentire in sottoattraversamento di strada di Torre Bregnoia e della linea ferroviaria Bari-Bitonto via Palese, gestita dalle Ferrovie del Nord Barese.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	8 di 81

Dopo aver sotto-attraversato via Modugno, il tracciato prosegue in direzione est sotto attraversando la Strada provinciale n 201.

Al fine di evitare interferenze con l'aeroporto internazionale di Bari "Karol Wojtyla" il tracciato piega verso nord-est risolvendo l'interferenza della rotatoria di collegamento tra la SP201 e la SP204 in galleria, per proseguire nell'area dell'aeroporto militare Bari Palese.

Superata l'area militare la livelletta inizia a prendere quota uscendo allo scoperto al km 9+780 ca e proseguendo in trincea fino a riallacciarsi sul sedime della linea storica in corrispondenza del km 642+537.

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	9 di 81

3 SCOPO DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione viene riportato il calcolo del tombino scatolare doppia canna IN09 relativo al Progetto Definitivo della linea ferroviaria Bari – Barletta, lungo la tratta ferroviaria Bari Nord Santo Spirito – Bari Palese.



Figura 3-1: planimetria del tracciato in oggetto - Google Earth.

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	10 di 81

3.1 Descrizione dell'opera

L'opera analizzata in particolare è la IN09C-D-E-F Tombino scatolare 2.5m x 2.5m doppia canna Prog. 10+487.0. L'opera ha sezione costante lungo tutto il suo sviluppo e la sezione di calcolo è stata scelta come rappresentativa della tipologia in quanto è quella con sovraccarichi agenti sulla soletta superiore maggiori. Nello specifico, di seguito si farà riferimento alla sezione del tombino al di sotto della linea ferroviaria in progetto, ma lungo il suo sviluppo ci sono dei tratti in cui l'opera è soggetta in un concio al carico ferroviario della linea Ferrovie Nord Baresi (IN09 E) ed in un altro concio al carico stradale di NV16. Essendo il carico stradale inferiore al sovraccarico accidentale ferroviario, si assume che i risultati ottenuti nella presente relazione possono ritenersi validi tutti i tratti che caratterizzano il tombino.

Di seguito si riassume la geometria del tombino oggetto di analisi e verifica:

DOPPIA CANNA SCATOLARI						
WBS	pk	DIM	Ricoprimento (escluso 0.80m ballast)	Piedritti	Soletta sup	Soletta inf
		[m x m]	[m]	[m]	[m]	[m]
IN09C	10+487.00	2.5x2.5	0.90	0.5	0.5	0.5

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018, in accordo con i MdP di RFI.

L'opera consiste in uno scatolare a doppia canna in c.a. gettato in opera. La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di $L_{int} = 2.50$ m (ciascuna canna) ed un'altezza netta di $H_{int} = 2.50$ m; lo spessore della platea di fondazione è di $S_f = 0.50$ m, lo spessore dei piedritti è di $S_p = 0.50$ m e lo spessore della soletta di copertura è di $S_s = 0.50$ m. Il ricoprimento, compreso tra soletta superiore e il ballast, è pari a 0.90 m.

Nell'immagine seguente si riportano una sezione trasversale, la pianta ed una sezione longitudinale dell'opera.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	13 di 81

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 1) Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- 2) Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore del Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- 3) RFI DTC SI MA IFS 001 del 31.12.2022 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- 4) RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- 5) UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- 6) UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo vengono riportate le principali caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture.

5.1 Calcestruzzo

- Classe di resistenza C32/40
- Classe minima di consistenza S3, S4
- Classe di esposizione ambientale XC3, XS1
- Copriferro 50 mm
- $R_{ck} = 40$ MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$ N/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 18.81$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $E_{cm} = 33642.8$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo

5.2 Acciaio

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Acciaio B450C
- Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450$ N/mm²
- Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540$ N/mm²
- Resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391.30$ N/mm²
- Modulo elastico $E_s = 206000$ N/mm²

5.3 Verifica S.L.E.

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato

	<p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>15 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	15 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	15 di 81								

5.3.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "RFI DTC SI MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili", ovvero:

Strutture in c.a.

Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara): $0,55 f_{ck}$;
- per combinazioni di carico quasi permanente: $0,40 f_{ck}$;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare $0,75 f_{yk}$

5.3.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportata nel prospetto seguente:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤w ₂	ap. fessure	≤w ₃
		quasi permanente	ap. fessure	≤w ₁	ap. fessure	≤w ₂
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤w ₁	ap. fessure	≤w ₂
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w ₁
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤w ₁
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w ₁

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 17.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l’apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

– Combinazione Caratteristica (Rara) $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	17 di 81

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzato la procedura del D.M. 17.1.2018, in accordo a quanto previsto al punto ” C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione” della Circolare n.7/19.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

6.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche (vedi Manuale sez. III §3.5.2.3.3).

DATI GEOTECNICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
angolo di attrito	ϕ	33	°
peso di volume ricoprimento	γ_r	22	kN/m ³
coefficiente di spinta a riposo	K_0	0.46	-
Modulo elastico terreno fondazione	E	1000000	kN/m ²
Costante di Winkler	K	116000	kN/m ³
Profondità falda da P.F.	z_w	-	m
Cond. Geo: tangente $f/1.25$	$\tan\phi/1.25$	0.520	-
Cond. Geo: angolo di attrito	ϕ_{Geo}	27	°
Geo: coeff. di spinta a riposo	$K_{0(Geo)}$	0.539	-

6.2 Terreno di fondazione

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire uno stralcio del citato profilo in cui ricade l'opera qui esaminata e la tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.

Unità Geotecnica	γ	ϕ'	c'	GSI	σ_{ci}	m_i	E_{op}	k
	(kN/m ³)	(°)	(kPa)		(MPa)		(MPa)	(m/s)
TC	19.0	28-30	0-5				10	
CAL	Calt	20.0	35-37	0-10			50	1E-03 ÷ 1E-05
C1a (da inizio a 5+000)	24.0	43	40	30	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	19 di 81

da 8+000 a fine)								
C1b (da 5+500 a 8+000)	24.0	41	20	20	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
C2	24.0	43	100	35	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-6

La falda si trova ad una quota di circa 0 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.

6.3 Interazione terreno-struttura

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

- $s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- c_t = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):
 - $c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B)$ rettangolare con $L / B \leq 10$
 - $c_t = 2 + 0.0089 (L / B)$ rettangolare con $L / B > 10$
- q = pressione media agente sul terreno;
- σ_{v0} = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- ν = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo k_w è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento, pertanto si ottiene:

- $k_w = E / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t]$



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	20 di 81

Di seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, sulla scorta del valore di progetto di E attribuito allo strato di Fondazione, avendo considerato una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaboranti:

$$\begin{aligned} E &= 1000000 \text{ kN/m}^2 \\ n &= 0.3 \\ B &= 6.5 \text{ m} \\ L &= 20.0 \text{ m} \\ L/B &= 3.08 \\ c_t &= 1.45 \\ K_w &= 116339 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 116000 kN/m^3 .

	<p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>21 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	21 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	21 di 81								

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17gennaio 2018.

7.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (V_N), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (C_U)

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale: $V_N = 75$ anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all' opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II): $C_U = 1.5$.

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ **anni**

7.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica / V_R) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo E

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17.01.18, si ottiene per il sito in esame:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE:

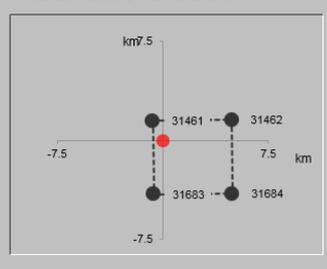
Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

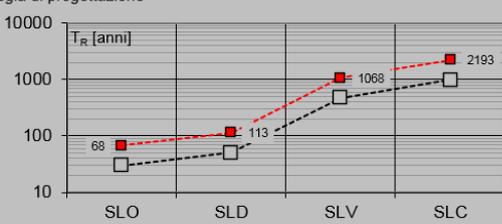
Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considera **SLV** info

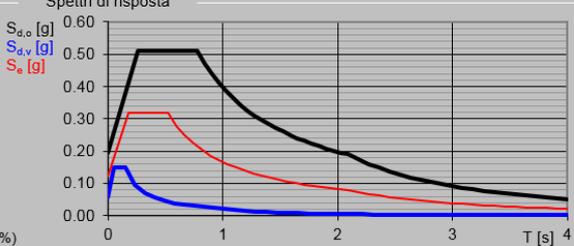
Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **E** info $S_S = 1.600$ $C_C = 1.493$ info
 Categoria topografica **T1** info $h/H = 1.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1** $\eta = 1.000$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.121 g
F_o	2.626
T_C	0.521 s
S_S	1.600
C_C	1.493
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.600
η	1.000
T_B	0.259 s
T_C	0.777 s
T_D	2.085 s

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudo statico, si eseguirà un calcolo elastico assumendo un fattore di struttura unitario. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

	<p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>24 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	24 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	24 di 81								

8 SOFTWARE DI CALCOLO

8.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo adottati

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il Sap 2000 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley. Questa procedura è sviluppata in ambiente Windows, permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

8.2 Unità di misura

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi
- angoli: gradi sessadecimali o radianti
- si assume l'uguaglianza $1 \text{ kN} = 100 \text{ kg}$

8.3 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto. È possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.

8.4 Valutazione della correttezza del modello

Il modello di calcolo adottato è da ritenersi appropriato in quanto non sono state riscontrate labilità, le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati, la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	25 di 81

8.5 Caratteristiche dell'elaborazione

Tutte le analisi strutturali sono state eseguite su di una workstation dedicata avente le seguenti

caratteristiche tecniche:

- Tipo Intel i7
- Memoria centrale 8 Gb;
- Lunghezza in bit della parola 64 bit;
- Memoria di massa 1 Hard disk da 500 Gb.

8.6 Giudizio finale sulla accettabilità dei calcoli

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

All'interno del pacchetto Sap 2000 sono inoltre presente una serie di test per il benchmark del solutore, che consentono di comprovare l'affidabilità del codice di calcolo e paragonare risultati ottenuti con le soluzioni esatte.

8.7 Programmi di servizio

Per le verifiche delle sezioni si adotta il programma: "RC-SEC" – Autore GEOSTRU Software. ANALISI DEI CARICHI E FASI

9 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con E_Y e E_Z rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti di amplificazione dei carichi γ e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare, nel calcolo della struttura scatolare, si è fatto riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (Approccio 2) per le verifiche strutturali e geotecniche.

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	27 di 81

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 17/01/2018)

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	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 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (da DM 17/01/2018)

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{T1}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{T2}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	g_{T3}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_{T4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	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 azioni 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.

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente $\psi_2 = 0.2$ (punto 3.2.4 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Tabella 5.2.VII delle NTC 2018 - Ulteriori coefficienti di combinazione ψ delle azioni

	Azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	(1)	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	(2) (3)	(2)	(2)
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

- (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) Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.
 (3) 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.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Tabella 2 – Riepilogo condizioni di carico

Tipo Carico	Abbreviazione
Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Falda	FALDA
Spinta terreno sinistra	STS
Spinta terreno destra	STD
Carico Ferroviario Centrato	TRM
Carico Ferroviario Laterale	TRV
Sovraccarico accidentale sinistra	SAS
Sovraccarico accidentale destra	SAD
Traffico Stradale	TRAF
Ritiro	RIT
Variazione termica	ΔT
Avviamento e frenatura	AVV
Azione sismica orizzontale	E_H
Azione sismica verticale	E_V

Si riportano di seguito le combinazioni di carico ritenute più significative con i coefficienti di combinazione $\gamma \cdot \psi$. Essendo la struttura simmetrica, si adottano tipologie di combinazione asimmetriche in modo da massimizzare le sollecitazioni. Il dimensionamento delle armature e le verifiche strutturali verranno poi eseguite tenendo conto della simmetria e verificando le condizioni peggiori per ogni lato della struttura.

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	30 di 81

Tabella 3 - Combinazioni di carico

COMB	DEAD	STS	STD	RIT	ΔT	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	TRAF	AVV	E _H	E _V
n° 1 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n° 2 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	-								
n° 3 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50									
n° 04 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-	-		-	-
n° 05 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35								
n° 06 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35								
n° 07 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45	-	1.45	-	-
n° 08 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45		1.45		
n° 09 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45		1.45		
n° 10 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45	-	-
n° 11 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45		
n° 12 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45		
n° 13 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 14 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 15 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 16 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 17 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
n° 18 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 19 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
GEO	1.00	1.30	1.00	1.00	0.60	1.30	1.00	1.25	-	1.25	-	-	1.25	-	-
GEO - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20		0.20			0.20	1.00	0.30
SLE - Q.P.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	-	0.00	-	-	0.00	-	-
SLE - Frequente	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.80	-	0.80	-	-	0.80	-	-
SLE - Rara	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	1.00	-	-

10 TOMBINO SCATOLARE

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di $L_{int} = 2.50$ m (ciascuna canna) ed un'altezza netta di $H_{int} = 2.50$ m; lo spessore della platea di fondazione è di $S_f = 0.50$ m, lo spessore dei piedritti è di $S_p = 0.50$ m e lo spessore della soletta di copertura è di $S_s = 0.50$ m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

10.1 Geometria

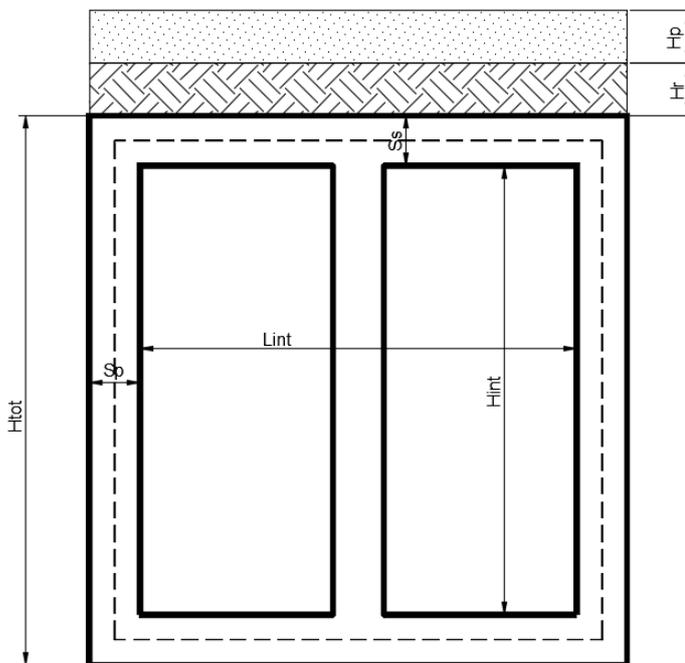


Fig. 4 – Significato dei simboli

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	32 di 81

DATI GEOMETRICI

Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	L_{tot}	6.50	m
larghezza utile scatolare	L_{int}	5.50	m
larghezza interasse	L_a	6.00	m
spessore soletta superiore	S_s	0.50	m
spessore piedritti	S_p	0.50	m
spessore fondazione	S_f	0.50	m
altezza totale scatolare	H_{tot}	3.00	m
altezza libera scatolare	H_{int}	2.50	m
			m
spessore ballast	H_{psup}	0.70	m
ricoprimento	H_{Rsup}	0.90	m
spessore pacchetto interno	H_{pinf}	0.00	m
spessore ricoprimento interno	H_{Rinf}	0.00	m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

10.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello del telaio chiuso su letto di molle alla Winkler.

Il modello considerato per l'analisi è quello di uno scatolare di profondità unitaria (1.00m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici dello scatolare sono state inserite delle zone rigide pari a metà spessore degli elementi.

Il terreno di fondazione è stato modellato utilizzando la schematizzazione alla Winkler con un opportuno coefficiente di sottofondo.

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.

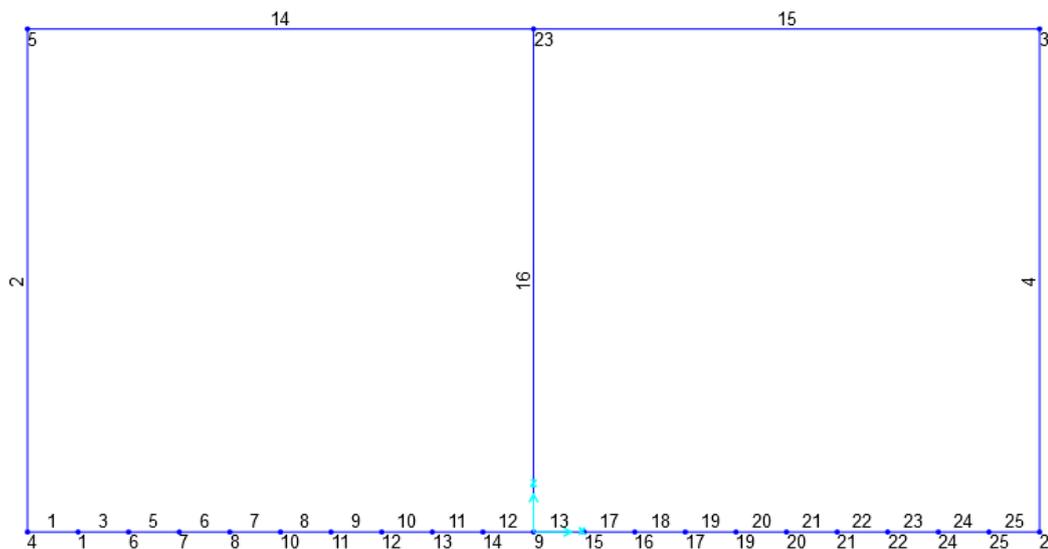


Fig. 5 – Numerazione aste e nodi

10.2.1 Valutazione della rigidità delle molle

Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di “linear spring” pari a $K= 36000$ kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$ [m]

Molle centrali $k_1 = k * i$ [kN/m]

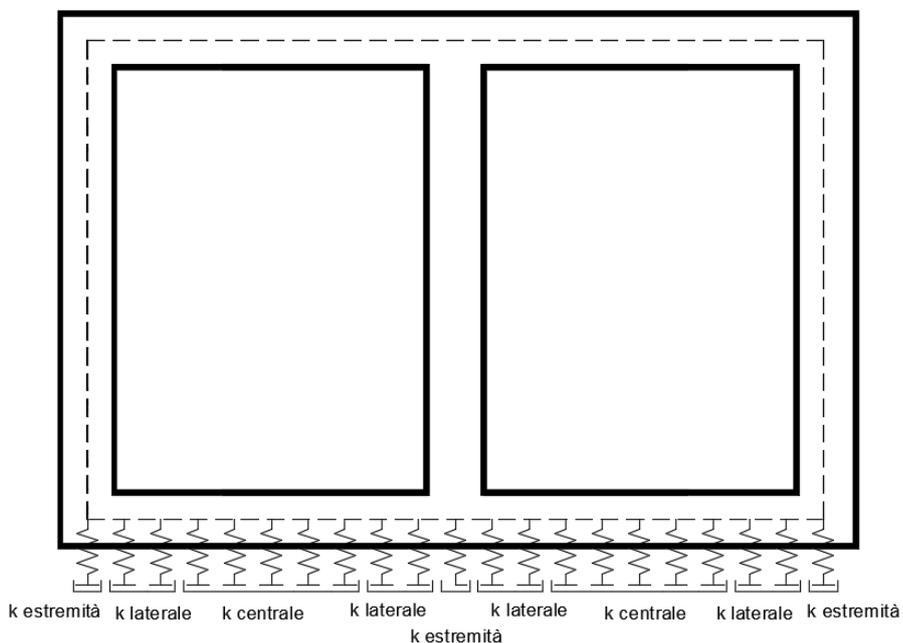
IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	34 di 81

Molle intermedie $k_2 = 1.5 * k * i$ [kN/m]

Molle laterali $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$ [kN/m]



Molle centrali 40600 kN/m³

Molle laterali 60900 kN/m³

Molle estremità 98600 kN/m³

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	35 di 81

10.3 Analisi dei carichi

10.3.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

In riferimento al Manuale sez III §3.5.2.3.3 si ha:

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	12.50 kN/m
	- Peso Ballast	12.60 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 90 cm	19.80 kN/m
	- Totale	32.40 kN/m
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	12.50 kN/m
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	- Totale	0.00 kN/m
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	12.50 kN/m

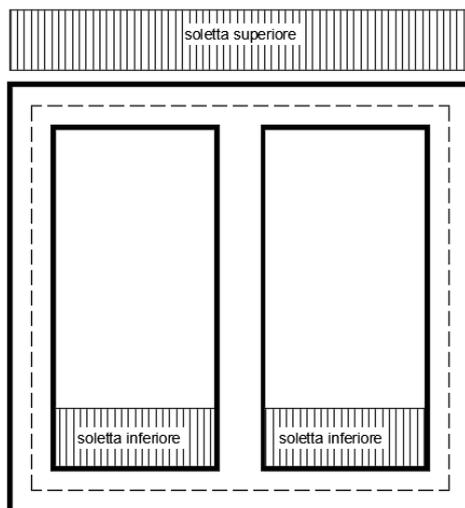


Fig. 6 – Schema tipo carichi permanenti

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	36 di 81

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 8.10 kN.

10.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito $\varphi = 33^\circ$ ed un peso di volume $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$, il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula $K_o = 1 - \sin\varphi'$, per cui si ottiene un valore di $K_o = 0.46$. Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$\begin{aligned}
 p_{ss} &= K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = 18.5 \text{ kN/m} \\
 p_{is} &= p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 48.6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

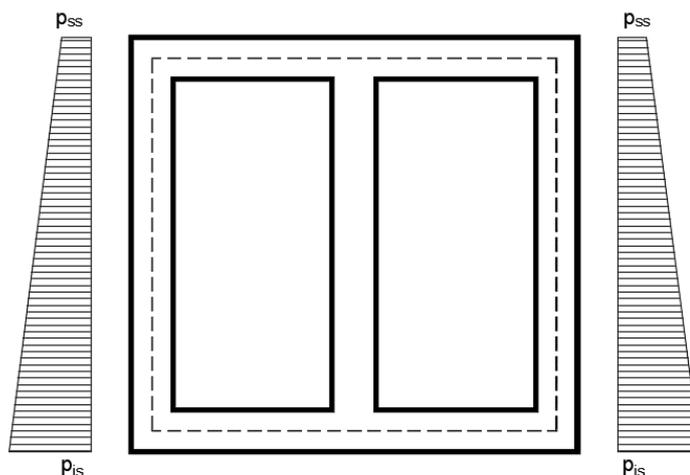


Fig. 7 – Schema tipo spinta terreno su pareti

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 4.32 kN ed inferiore con valore pari a 12.46 kN.

10.3.3 Treni di carico

In riferimento al Manuale sez III §3.5.2.3.4 si ha:

10.3.3.1 Treno di carico LM71

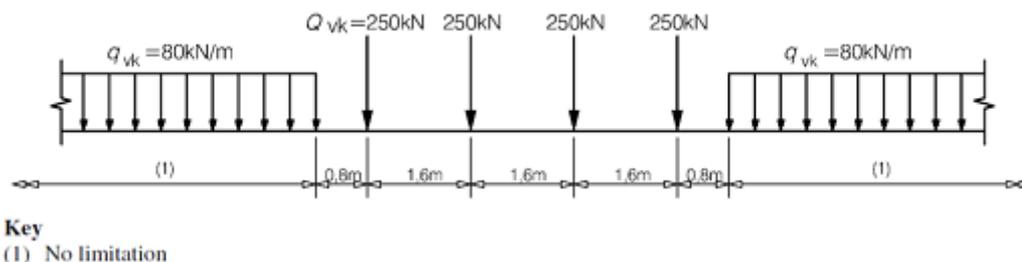


Fig. 8 –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

α = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico Φ si fa riferimento al “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*”
Considerando un ridotto standard manutentivo si ha:

$$L_{\Phi} = 1.3 * [(1/3) * (2 * H_{tot} + L_{tot})] = 6.72 \text{ m}$$

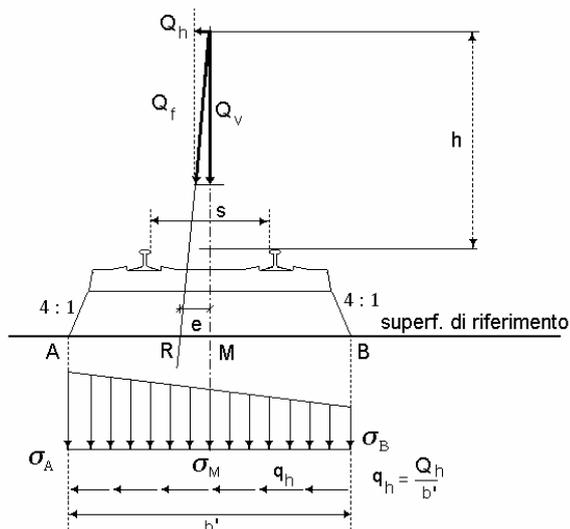
$$\Phi_3 = [2.16 / (L_{\Phi}^{0.5} - 0.2)] + 0.73 = 1.63$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 33° (pari all’angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all’interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale e longitudinale all’asse binario risulta pari a:

$$L_{trasv} = 2.4 + [0.35/4 + H_{rsup} * \tan(33^\circ) + S_s/2] * 2 = 4.24 \text{ m}$$

$$L_{long} = 1.60 * 3 + [0.35/4 + H_{rsup} * \tan(33^\circ) + S_s/2] * 2 = 6.40 \text{ m}$$

Approfondimenti più dettagliati sulla eventuale sovrapposizione delle impronte di carico dei due treni si rimandano alla fase di progettazione successiva.



Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 * 250 * 1.1 * \Phi_3 / (L_{\text{trasv}} * L_{\text{long}}) = 70.68 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m^2)

$$= 80 * 1.1 * \Phi_3 / L_{\text{trasv}} = 36.19 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti.

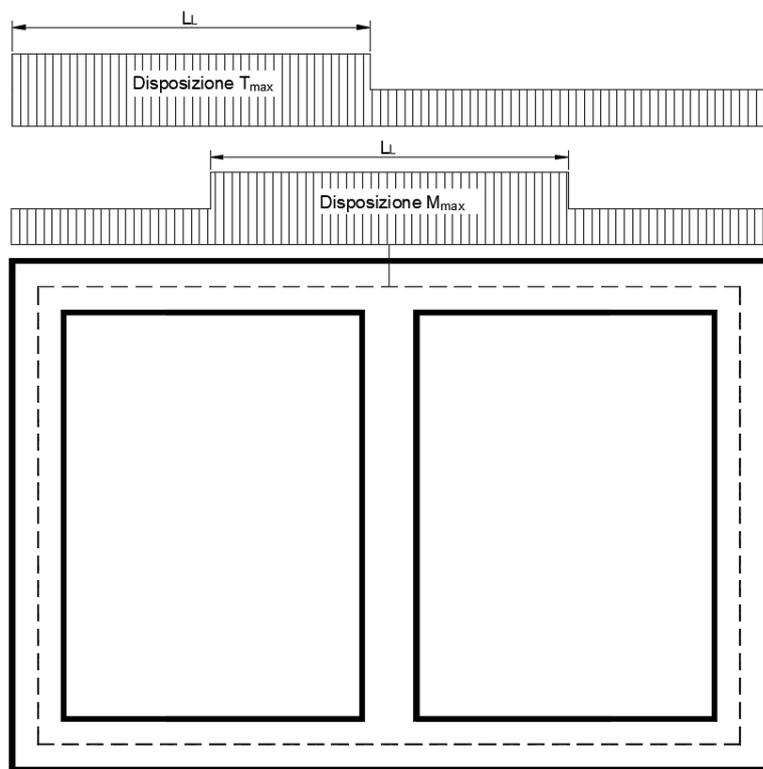


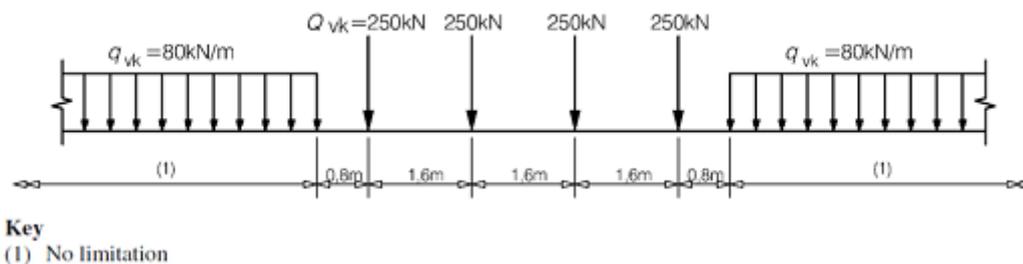
Fig. 9 – Schema tipo carichi mobili soletta superiore

Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 17.67 kN.

Di seguito, si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità con cui si dà evidenza che le opere appartenenti alla tratta in esame sono idonee a sostenere tale carico.

10.3.3.2 Verifica requisiti S.T.I. per opere minori sottobinario: Carico equivalente

Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



IN – TOMBINI FERROVIARI

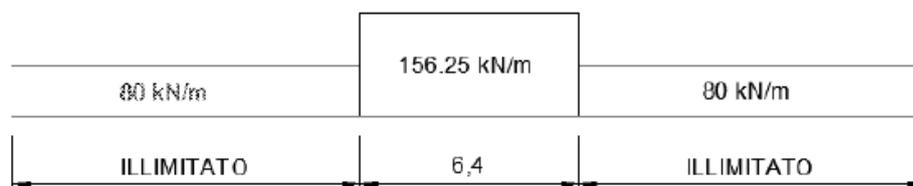
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	40 di 81

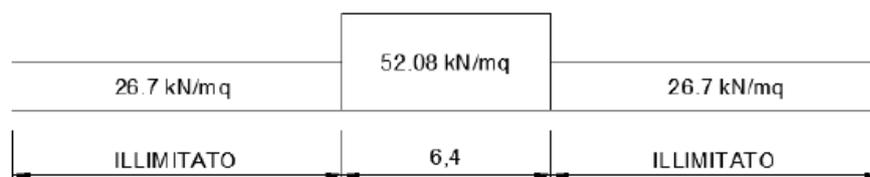
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kPa}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



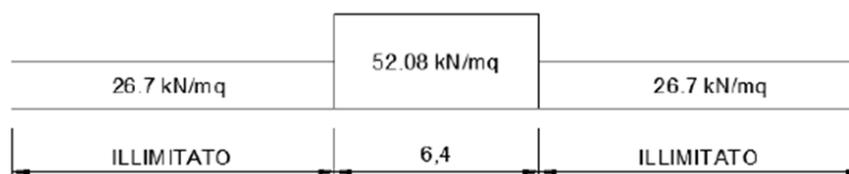
A tali carichi si deve applicare il coefficiente α relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

Tabella 11

Fattore alfa (α) per la progettazione di strutture nuove

Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa (α)
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospenso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospenso
F1600	1,1

Nel caso in esame, il coefficiente α è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P2-P4 per il traffico passeggeri ed F1 per il traffico merci per cui, alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



Il valore massimo del carico diffuso sino al baricentro della soletta superiore risulta pari a 31.8 kN/m². Tale valore risulta minore di quello calcolato nel precedente paragrafo 70.68 kN/m².

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

10.3.4 Spinta del terreno indotta dai treni di carico

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito $\varphi = 33^\circ$ ed un peso di volume $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$, il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula $K_0 = 1 - \sin\varphi'$, per cui si ottiene un valore di $K_0 = 0.46$. La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 32.19 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

- a) Spinta sul piedritto sinistro

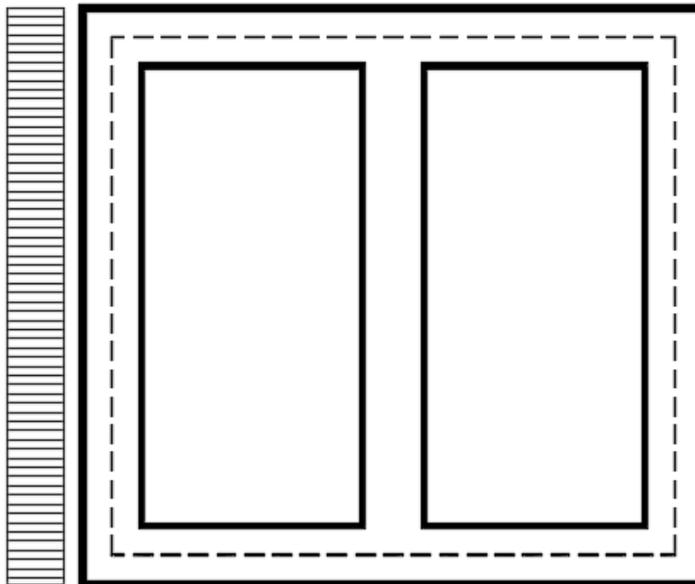


Fig. 10 – Schema tipo spinta carico accidentale su parete sinistra

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 8.05 kN ed inferiore con valore pari a 8.05 kN.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

b) Spinta su entrambi i piedritti

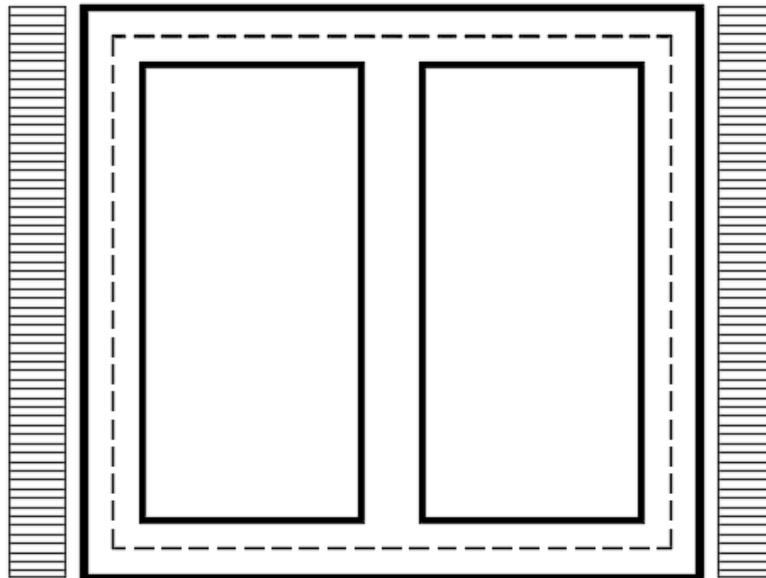


Fig. 11 – Schema tipo spinta carico accidentale su entrambi le pareti

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 8.05 kN ed inferiore con valore pari a 8.05 kN.

10.3.5 Avviamento e frenatura

avviamento: $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}] < 1000 \text{ kN}$ per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura: $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}] < 6000 \text{ kN}$ per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}]$ per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{\text{trasv}} = 15.1 \text{ kN/m}$$

	<p>NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>44 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	44 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	44 di 81								

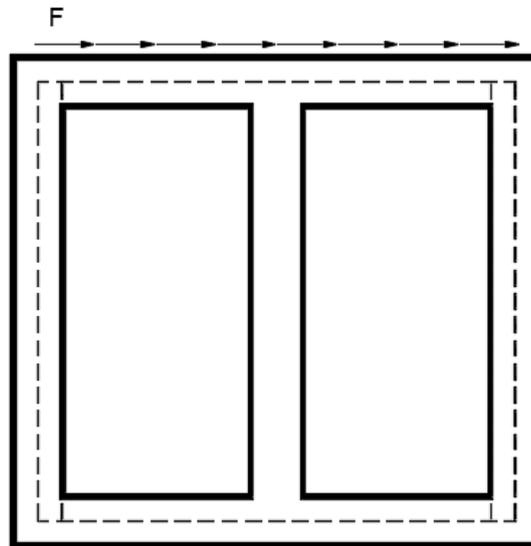


Fig. 12 – Schema tipo azione di frenatura sulla soletta superiore

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 3.78 kN.

10.3.6 Serpeggio e centrifuga

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

10.3.7 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Si considera una variazione termica uniforme equivalente sulla soletta superiore come da calcolo seguente. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni dell'EUROCODICE 2-UNI EN1992-1-1 Novembre 2005 e DM 17-01-2018.

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	45 di 81

Cls a t=0

$$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cubica caratteristica

$$f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica

$$f_{cm} = 41.2 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica media

$$\alpha = 1.0E-05$$

$$E_{cm} = 33643 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico secante medio

cls tipo **R**

classe del cemento

Tempo e ambiente

$$t_s = 2 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento

$$t_0 = 2 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni al momento del carico

$$t = 25550 \text{ gg}$$

età del calcestruzzo in giorni

$$h_0=2A_c/u = 1000 \text{ mm}$$

dimensione fittizia dell'elemento di cls

$$A_c = 500000 \text{ mm}^2$$

sezione dell'elemento

$$u = 1000 \text{ mm}$$

perimetro a contatto con l'atmosfera

$$RH = 75 \%$$

umidità relativa percentuale

Coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$ e modulo elastico EC_t a tempo "t"

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 2.034 \text{ coeff. di viscosità}$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 2.067 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[\frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.216 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.892 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.968 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.617 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del cls}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left(\frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	46 di 81

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} = 0.984 \quad \text{coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \quad \text{coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.922 \quad \text{coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11087402 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000342 \quad \text{deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000284 \quad \text{deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[\frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.953$$

$K_h =$

0.7

parametro che dipende da h_0 secondo il prospetto seguente

Valori di k_h

h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Valori di K_h intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[(200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.00042602 \quad \text{deformazione di base}$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.896094$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$$

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6$$

coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

$$\alpha_{ds2} = 0.11$$

coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000058 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura

	<p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IN – TOMBINI FERROVIARI</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO IN09C</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>REL</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IADR</td> <td>00</td> <td>D 29 CL</td> <td>IN 09 C0 001</td> <td>A</td> <td>47 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	47 di 81
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	47 di 81								

10.3.8 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C, in riferimento al Manuale sez III §3.12.1.2.2 possono essere trascurati gli effetti dovuti alle variazioni termiche per ricoprimenti superiori a 1.50m.

10.3.9 Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni: $k_h = a_{max}/g$

$k_v = \pm 0.5 * k_h$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale $V_N \geq 75$ anni ed una classe d'uso III $C_u = 1.5$; segue un periodo di riferimento $V_R = V_N * C_u = 112.5$ anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a $a_g = 0.121$ g.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * a = S_s * S_t * a_g$$

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito si ottiene:

$S_s = 1.600$ Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$ Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1.000 * 0.121 \text{ g} = 0.194 \text{ g}$$

IN – TOMBINI FERROVIARI	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	48 di 81

$$k_h = a_{\max}/g = 0.194$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.097$$

in riferimento al Manuale sez III §3.12.1.2.2 si ottiene

Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma_r * (H_{\text{tot}}) * 1.0 = 12.78 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 2.42 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{15.20 kN/m} \quad (\textbf{piedritto sx})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{2.42 kN/m} \quad (\textbf{piedritto centrale e dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 2.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 6.27 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 2.42 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{11.43 kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 3.80 kN ed inferiore con valore pari a 3.80 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.61 kN ed inferiore con valore pari a 0.61 kN.

Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.21 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 1.37 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 3.14 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.21 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\textbf{Totale} = \textbf{5.71 kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 1.43 kN.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali: $G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	49 di 81

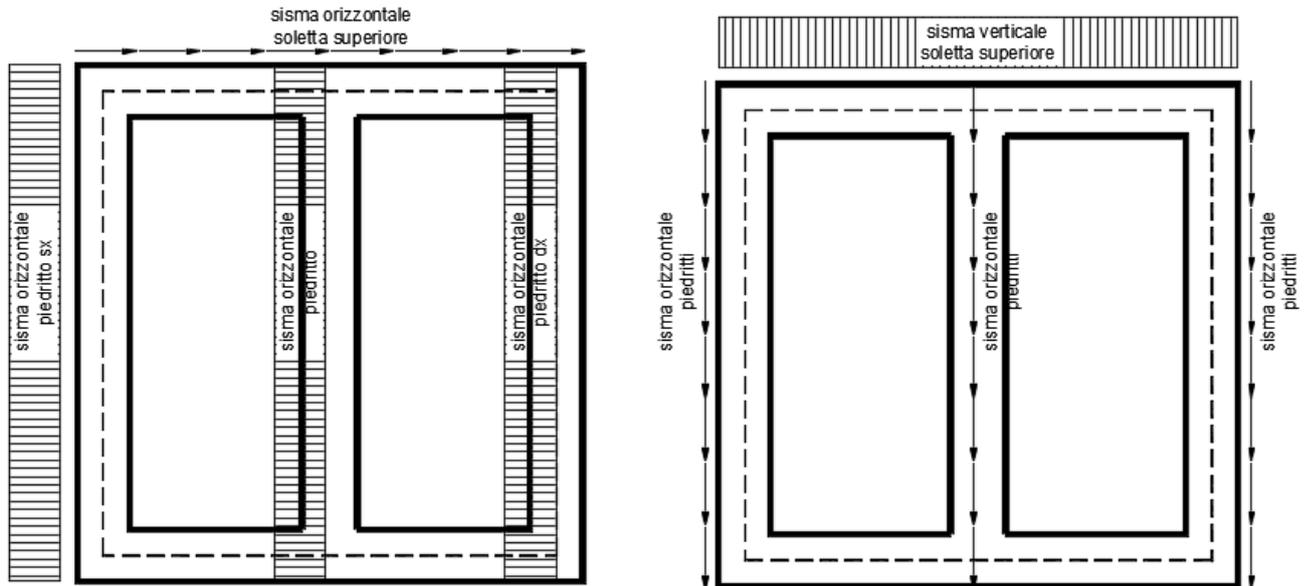


Fig. 13 – Schema tipo azioni sismiche orizzontali e verticali

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	53 di 81

10.5 VERIFICHE SLU-SLE DELLE SEZIONI IN C.A.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime e i valori delle sollecitazioni per la verifica a fessurazione risultanti dalle combinazioni di cui al capitolo precedente.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido. Per ogni elemento si ricerca la sezione di Momento e Taglio massimo; la verifica sarà eseguita con la sollecitazione, in modulo, maggiore:

SLU					
Elemento strutturale	Sezione	C.C. M_{max}	N (kN)	M_{max} (kNm)	T_{max} (kN)
soletta inferiore	nodo piedritto	SLU14-STR2-NL	27.30	179.27	344.79
	campata	SLU14-STR-NL	43.13	-38.37	-
soletta superiore	nodo piedritto	SLU14-STR-NL	59.90	95.89	294.31
	campata	SLU14-STR-NL	131.37	176.70	-
piedritti	nodo inf piedritto sx	SLU11-STR-NL	297.24	182.01	213.59
	nodo sup piedritto dx	SLU11-STR-NL	255.05	-161.37	100.71

SLE RARA				SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
Elemento strutturale	Sezione	N (kN)	M_{max} (kNm)	ID Asta	N (kN)	M_{max} (kNm)	ID Asta	N (kN)	M_{max} (kNm)
soletta inferiore	nodo piedritto	42.63	125.43	soletta inferiore	53.25	102.30	soletta inferiore	83.96	33.89
	campata	35.54	-62.66		47.36	-46.63		83.92	-5.34
soletta superiore	nodo piedritto	51.59	68.24	soletta superiore	47.34	57.94	soletta superiore	33.44	27.82
	campata	99.25	-120.65		82.50	-97.28		33.44	-18.59
piedritti	nodo inf piedritto sx	435.11	103.70	piedritti	154.74	83.76	piedritti	101.38	35.36
	nodo sup piedritto dx	212.43	-96.96		178.13	-75.04		101.34	-35.56

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	54 di 81

10.5.1 Verifica soletta inferiore

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.3 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.3 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	337.5 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.4	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.4	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	27.30	179.27	344.79	0.00
2	43.13	-38.37	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

IN – TOMBINI FERROVIARI	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	55 di 81

N°Comb.	N	Mx
1	42.63	125.43
2	35.54	-62.66

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	53.25	102.30 (173.47)
2	47.36	-46.63 (-181.96)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	83.96	33.89 (212.66)
2	83.92	-5.34 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	27.30	179.27	27.37	486.70	2.715	42.3	0.18	0.70	31.4 (7.6)
2	S	43.13	-38.37	42.90	-489.49	12.757	7.7	0.18	0.70	31.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	56 di 81

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00014	42.6	-0.01586	7.4
2	0.00350	0.0	0.00015	7.4	-0.01577	42.6

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	344.79	253.64	1246.36	564.45	100.0 42.6	2.500	1.003	9.2
2	S	0.00	255.66	1810.26	225.78	100.0 42.6	1.000	1.005	0.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.64	50.0	0.00	35.0	-100.7	42.6	11.7	1168	31.4	9.5
2	S	1.84	0.0	0.00	15.5	-48.1	7.4	11.5	1151	31.4	9.5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00064	0.00027	0.50	0.60	0.000302 (0.000302)	344	0.104 (0.20)	170.57
2	S	-0.00031	0.00014	0.50	0.60	0.000144 (0.000144)	342	0.049 (0.20)	-174.24

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

IN – TOMBINI FERROVIARI	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	57 di 81

1	S	2.99	50.0	0.00	34.6	-79.3	42.6	11.5	1154	31.4	9.5
2	S	1.38	0.0	0.00	16.6	-32.7	7.4	11.2	1116	31.4	9.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00050	0.00022	0.50	0.60	0.000238 (0.000238)	343	0.081 (0.20)	173.47
2	S	-0.00021	0.00010	0.50	0.60	0.000098 (0.000098)	338	0.033 (0.20)	-181.96

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.03	50.0	0.00	29.5	-16.7	42.6	9.8	985	31.4	9.5
2	S	0.24	0.0	0.04	50.0	1.1	7.4	0.0	1057	0.0	0.0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00011	0.00008	0.50	0.40	0.000050 (0.000050)	324	0.016 (0.20)	212.66
2	S	0.00002	0.00000	----	----	----	----	----	0.00

10.5.2 Verifica soletta superiore

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.3 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.3 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.3 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	337.5 MPa



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	58 di 81

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.4	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.4	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	59.90	95.89	294.31	0.00
2	131.37	176.70	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	51.59	68.24
2	99.25	-120.65

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	47.34	57.94 (178.46)
2	82.50	-97.28 (-178.99)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	33.44	27.82 (185.37)
2	33.44	-18.59 (-197.21)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	59 di 81

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	59.90	95.89	59.87	492.53	5.136	42.2	0.18	0.70	31.4 (7.6)
2	S	131.37	176.70	131.53	505.36	2.860	42.1	0.19	0.70	31.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00017	42.6	-0.01567	7.4
2	0.00350	50.0	0.00024	42.6	-0.01527	7.4

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	294.31	257.80	1250.67	564.45	100.0 42.6	2.500	1.006	7.8
2	S	0.00	266.94	1827.17	225.78	100.0 42.6	1.000	1.014	0.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	60 di 81

D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.01	50.0	0.00	34.0	-50.5	42.6	11.4	1136	31.4	9.5
2	S	3.56	0.0	0.00	16.1	-88.0	7.4	11.3	1131	31.4	9.5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 K2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
 srm Distanza massima in mm tra le fessure
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00032	0.00015	0.50	0.60	0.000151 (0.000151)	341	0.052 (0.20)	177.41
2	S	-0.00056	0.00027	0.50	0.60	0.000264 (0.000264)	340	0.090 (0.20)	-178.55

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.71	50.0	0.00	33.9	-42.3	42.6	11.3	1132	31.4	9.5
2	S	2.87	0.0	0.00	16.2	-70.6	7.4	11.3	1129	31.4	9.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00027	0.00013	0.50	0.60	0.000127 (0.000127)	340	0.043 (0.20)	178.46
2	S	-0.00045	0.00022	0.50	0.60	0.000212 (0.000212)	340	0.072 (0.20)	-178.99

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.83	50.0	0.00	33.0	-18.7	42.6	11.0	1101	31.4	9.5
2	S	0.56	0.0	0.00	20.2	-10.9	7.4	10.5	1047	31.4	9.5

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00012	0.00006	0.50	0.40	0.000056 (0.000056)	337	0.019 (0.20)	185.37
2	S	-0.00007	0.00004	0.50	0.40	0.000033 (0.000033)	331	0.011 (0.20)	-197.21

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	61 di 81

10.5.3 Verifica piedritti

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80	MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.3	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.3	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.3	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:		450.0	MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:		450.0	MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:		391.3	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef:		200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:		0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:		337.5	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø18	(25.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø18	(25.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	297.24	182.01	213.59	0.00
2	255.05	-161.37	100.71	0.00

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	62 di 81

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	435.11	103.70
2	212.43	-96.96

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	154.74	83.76 (190.03)
2	178.13	-75.04 (-201.30)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	101.38	35.36 (213.15)
2	101.34	-35.56 (-212.71)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	297.24	182.01	297.39	453.23	2.490	42.2	0.18	0.70	25.4 (7.6)
2	S	255.05	-161.37	255.31	-445.63	2.762	7.7	0.18	0.70	25.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

IN – TOMBINI FERROVIARI	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	63 di 81

es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrip. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrip. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00022	42.7	-0.01571	7.3
2	0.00350	0.0	0.00017	7.3	-0.01600	42.7

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
 Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
 Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
 bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	Ast
1	S	213.59	271.51	1285.06	565.77	100.0 42.7	2.500	1.032	5.7
2	S	100.71	266.11	1279.47	565.77	100.0 42.7	2.500	1.027	2.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrip. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrip. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
 Ys min Ordinata in cm della barra corrip. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
 Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.41	50.0	0.00	24.7	-35.1	42.7	8.2	823	25.4	9.5
2	S	3.20	0.0	0.00	18.7	-62.2	7.3	10.5	1047	25.4	9.5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
 srm Distanza massima in mm tra le fessure
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00025	0.00026	0.50	0.60	0.000105 (0.000105)	317	0.033 (0.20)	253.30



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	64 di 81

2	S	-0.00041	0.00024	0.50	0.60	0.000187 (0.000187)	344	0.064 (0.20)	-197.24
---	---	----------	---------	------	------	---------------------	-----	--------------	---------

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.75	50.0	0.00	32.4	-58.7	42.7	10.8	1079	25.4	9.5
2	S	2.48	0.0	0.00	19.2	-45.9	7.3	10.3	1030	25.4	9.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00038	0.00021	0.50	0.60	0.000176 (0.000176)	347	0.061 (0.20)	190.03
2	S	-0.00030	0.00019	0.50	0.60	0.000138 (0.000138)	341	0.047 (0.20)	-201.30

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.17	50.0	0.00	29.3	-18.8	42.7	9.8	979	25.4	9.5
2	S	1.18	0.0	0.00	20.6	-19.0	7.3	9.8	981	25.4	9.5

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00012	0.00009	0.50	0.40	0.000056 (0.000056)	335	0.019 (0.20)	213.15
2	S	-0.00013	0.00009	0.50	0.40	0.000057 (0.000057)	336	0.019 (0.20)	-212.71

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	65 di 81

10.6 VERIFICHE SLV DELLE SEZIONI IN C.A.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime allo SLV per le verifiche oggetto di questo paragrafo.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido. Per ogni elemento si ricerca la sezione di Momento e Taglio massimo; la verifica sarà eseguita con la sollecitazione, in modulo, maggiore:

SLV					
Elemento strutturale	Sezione	C.C. M_{max}	N (kN)	M_{max} (kNm)	T_{max} (kN)
soletta inferiore	nodo piedritto	SLU17-SIS-NL	153.99	94.70	161.09
	campata	SLU16-SIS-NL	43.13	-38.37	-
soletta superiore	nodo piedritto	SLU16-SIS-NL	47.54	50.46	128.52
	campata	SLU16-SIS-NL	76.44	-85.12	-
piedritti	nodo inf piedritto sx	SLU16-SIS-NL	259.20	90.78	122.01
	nodo sup piedritto dx	SLU16-SIS-NL	227.04	-77.75	-

10.6.1 Verifica soletta inferiore

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C32/40
 Resistenza compress. di progetto fcd: 18.80 MPa
 Resistenza compress. ridotta fcd': 9.40 MPa
 Deform. unitaria max resistenza ec2: 0.0020
 Deformazione unitaria ultima ecu: 0.0035
 Diagramma tensioni-deformaz.: Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec: 33642.8 MPa
 Resis. media a trazione fctm: 3.10 MPa

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. a snervamento fyk: 450.0 MPa
 Resist. caratt. a rottura ftk: 450.0 MPa
 Resist. a snerv. di progetto fyd: 391.3 MPa
 Resist. ultima di progetto ftd: 391.3 MPa
 Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
 Modulo Elastico Ef: 200000.0 MPa
 Diagramma tensioni-deformaz.: Bilineare finito

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	66 di 81

Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	153.99	94.70	161.09	0.00
2	43.13	-38.37	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	153.99	94.70			5.152	35.8	0.33	0.86	31.4 (7.6)
2	S	43.13	-38.37			12.201	13.7	0.32	0.84	31.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00097	50.0	0.00047	42.7	-0.00196	7.3
2	0.00092	0.0	0.00043	7.3	-0.00196	42.7

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	67 di 81

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	161.09	270.15	1266.08	565.77	100.0	42.7	2.500 1.016	4.3
2	S	0.00	255.95	1814.51	226.31	100.0	42.7	1.000 1.005	0.0

10.6.2 Verifica soletta superiore

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
---------	---	----	----	----

IN – TOMBINI FERROVIARI	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	68 di 81

1	47.54	50.46	128.52	0.00
2	76.44	-85.12	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	47.54	50.46			9.294	36.3	0.32	0.84	31.4 (7.6)
2	S	76.44	-85.12			5.570	13.8	0.32	0.84	31.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00092	50.0	0.00043	42.7	-0.00196	7.3
2	0.00094	0.0	0.00044	7.3	-0.00196	42.7

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	128.52	256.51	1251.97	565.77	100.0 42.7	2.500	1.005	3.4
2	S	0.00	260.21	1820.91	226.31	100.0 42.7	1.000	1.008	0.0

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	69 di 81

10.6.3 Verifica piedritti

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.80 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.40 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø18	(25.4 cm ²)
Barre superiori:	10Ø18	(25.4 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	259.20	90.78	122.01	0.00
2	227.04	-77.75	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re,Mx re) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	70 di 81

Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa Area armature long. trave [cm²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	259.20	90.78			4.668	36.2	0.32	0.85	25.4 (7.6)
2	S	227.04	-77.75			5.378	13.7	0.32	0.84	25.4 (7.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00094	50.0	0.00044	42.7	-0.00196	7.3
2	0.00092	0.0	0.00043	7.3	-0.00196	42.7

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	122.01	266.64	1280.02	565.77	100.0 42.7	2.500	1.028	3.2
2	S	0.00	262.52	1849.85	226.31	100.0 42.7	1.000	1.024	0.0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
	IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN09C	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IN 09 C0 001	REV. A

10.7 TABELLA RIASSUNTIVA ARMATURE

ARMATURA			
soletta inferiore	nodo piedritto	$\varnothing 20/10$ inf $\varnothing 20/10$ sup	spille $10\varnothing 14 \text{ m}^2$
	campata	$\varnothing 20/10$ inf $\varnothing 20/10$ sup	
soletta superiore	nodo piedritto	$\varnothing 20/10$ inf $\varnothing 20/10$ sup	spille $10\varnothing 14 \text{ m}^2$
	campata	$\varnothing 24/10$ inf $\varnothing 24/10$ sup	
piedritti	nodo soletta inf	$\varnothing 18/10$ ext $\varnothing 18/10$ int	spille $10\varnothing 14 \text{ m}^2$
	nodo soletta sup	$\varnothing 18/10$ ext $\varnothing 18/10$ int	spille $10\varnothing 14 \text{ m}^2$

10.8 TABELLA INCIDENZA ARMATURE

INCIDENZA (kg/m^3)	
soletta inferiore	160
soletta superiore	160
piedritti	135

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

10.9 VERIFICHE GEOTECNICHE FONDAZIONE

Si riporta di seguito la verifica di portanza e scorrimento per le combinazioni più sfavorevoli:

PORTANZA FONDAZIONE			
C.C.	F_z (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU14-STR-NL	1208.54	676.50	325.59
SLU17-SIS-NL	538.44	403.80	180.82

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	72 di 81

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = Ml/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

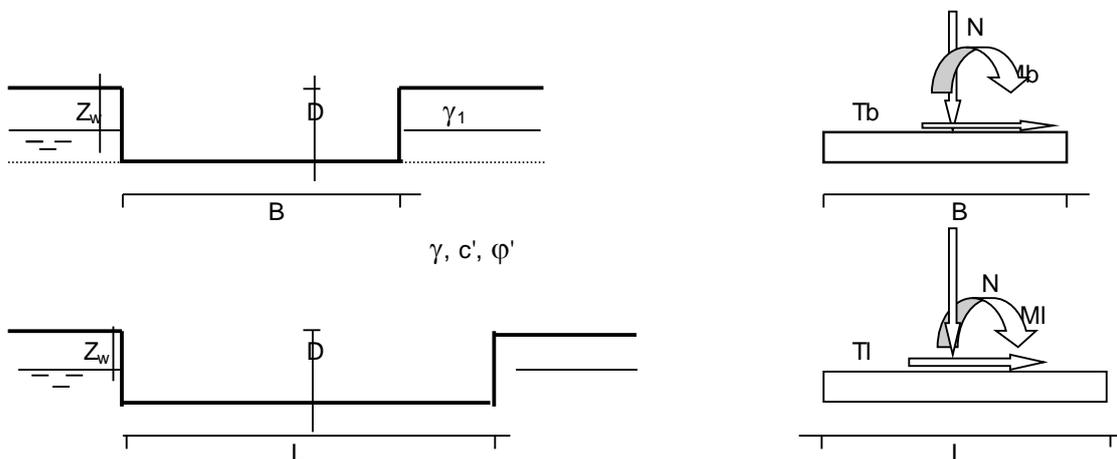
coefficienti parziali

Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno		resistenze		
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'	q_{lim}	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili		○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista		●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	73 di 81



(Per fondazione nastroforme L = 100 m)

B = 6.50 (m)
L = 1.00 (m)
D = 0.50 (m)



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	1208.54		1208.54
Mb [kNm]	676.50		676.50
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	325.59		325.59
Tl [kN]	0.00		0.00
H [kN]	325.59	0.00	325.59

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 24.00$ (kN/mc)
 $\gamma = 24.00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 100.00$ (kN/mq)
 $\phi' = 43.00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 100.00$ (kN/mq)
 $\phi' = 43.00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 100.00$ (m)

$e_B = 0.56$ (m)
 $e_L = 0.00$ (m)

$B^* = 5.38$ (m)
 $L^* = 1.00$ (m)

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	74 di 81

q : sovraccarico alla profondità D

$$q = 12.00 \quad (\text{kN/mq})$$

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$$\gamma = 24.00 \quad (\text{kN/mc})$$

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg} \varphi')}$$

$$N_q = 99.01$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$$

$$N_c = 105.11$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_\gamma = 186.53$$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.18$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.17$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 0.93$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	75 di 81

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.84 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.16 \quad m = 1.84 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

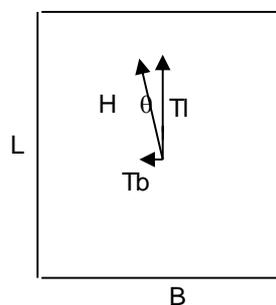
$$i_q = 0.69$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(Nq - 1)$$

$$i_c = 0.69$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.56$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_q = 1.09$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$d_c = 1.10$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	76 di 81

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi)$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 11512.55 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 224.62 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 5005.46 \geq q = 224.62 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 325.59 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

$$S_d = N \tan(\varphi) + c' B^* L^*$$

$$S_d = 1665.03 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 1513.66 \geq H_d = 325.59 \quad (\text{kN})$$

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = Ml/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

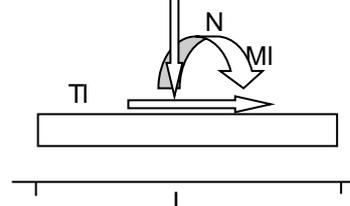
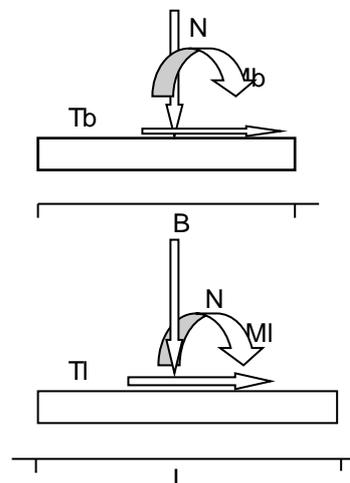
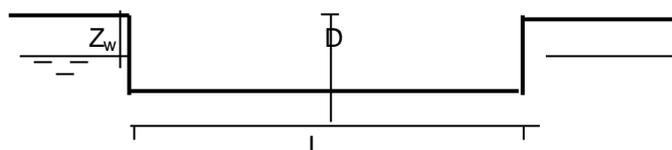
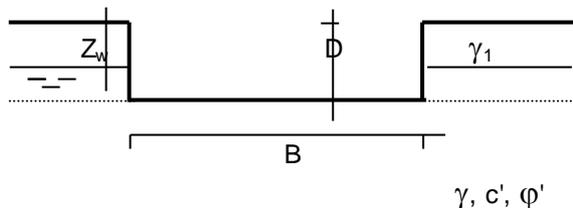
B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

coefficienti parziali

Metodo di calcolo			azioni		proprietà del terreno		resistenze	
			permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'	q_{lim}	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10	



IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	78 di 81

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 6.50 (m)
L = 1.00 (m)
D = 0.50 (m)



$\beta_f = 0.00$ (°)



$\beta_p = 0.00$ (°)

AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	538.44		538.44
Mb [kNm]	403.80		403.80
Ml [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	180.82		180.82
Tl [kN]	0.00		0.00
H [kN]	180.82	0.00	180.82

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 24.00$ (kN/mc)
 $\gamma = 24.00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 100.00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 43.00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 100.00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 43.00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 100.00$ (m)

$e_B = 0.75$ (m)
 $e_L = 0.00$ (m)

$B^* = 5.00$ (m)
 $L^* = 1.00$ (m)

q : sovraccarico alla profondità D

q = 12.00 (kN/mq)

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 24.00$ (kN/mc)

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	79 di 81

Nc, Nq, N_γ : coefficienti di capacità portante

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$$

$$Nq = 99.01$$

$$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$$

$$Nc = 105.11$$

$$N_{\gamma} = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_{\gamma} = 186.53$$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_c = 1.19$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$$

$$s_q = 1.19$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_{\gamma} = 0.92$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.83 \quad \theta = \arctg(Tb/TI) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.17 \quad m = 1.83 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

(m=2 nel caso di fondazione nastroforme e m=(m_bsin²θ+m_lcos²θ) in tutti gli altri casi)

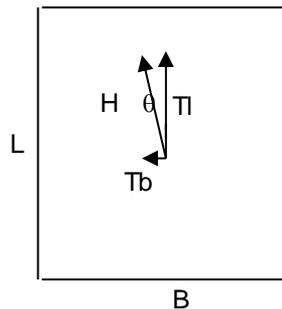
$$i_q = 0.71$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (Nq - 1)$$

$$i_c = 0.71$$

$$i_{\gamma} = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_{\gamma} = 0.59$$



IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	80 di 81

d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_q = 1.09$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\phi')$$

$$d_c = 1.10$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\phi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\phi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 12041.75 \quad (\text{kN/m}^2)$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN09C

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	IN 09 C0 001	A	81 di 81

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 107.69 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{\text{lim}} / \gamma_R = 5235.54 \geq q = 107.69 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 180.82 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

$$S_d = N \tan(\varphi) + c' B^* L^*$$

$$S_d = 1002.11 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 911.01 \geq H_d = 180.82 \quad (\text{kN})$$

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.