

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

IN03 - Tombino doppia canna 4x3 alla pk 1+006

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

IADR 00 D 29 CL IN0300 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> | SETT '23 | G. Dimaggio <i>G. Dimaggio</i> | SETT '23 | F. ARDUINI 29/09/2023 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

File: IADR00D29CLIN0300001A

n. Elab.:

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|---------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 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 | 12 |
| 5 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 13 |
| 5.1 | CALCESTRUZZO | 13 |
| 5.2 | ACCIAIO..... | 13 |
| 5.3 | VERIFICA S.L.E..... | 13 |
| 5.3.1 | <i>Verifiche alle tensioni</i> | 14 |
| 5.3.2 | <i>Verifiche a fessurazione</i> | 14 |
| 6 | INQUADRAMENTO GEOTECNICO..... | 17 |
| 6.1 | TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO..... | 17 |
| 6.2 | TERRENO DI FONDAZIONE | 17 |
| 6.3 | INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA..... | 18 |
| 7 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA | 20 |
| 7.1 | VITA NOMINALE E CLASSE D'USO..... | 20 |
| 7.2 | PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA..... | 20 |
| 8 | SOFTWARE DI CALCOLO | 23 |
| 8.1 | ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI | 23 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|---------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 3 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2 | UNITÀ DI MISURA..... | 23 |
| 8.3 | GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE | 23 |
| 8.4 | VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO..... | 23 |
| 8.5 | CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE | 24 |
| 8.6 | GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI | 24 |
| 8.7 | PROGRAMMI DI SERVIZIO | 24 |
| 9 | COMBINAZIONI DI CARICO | 25 |
| 10 | TOMBINO SCATOLARE | 30 |
| 10.1 | GEOMETRIA | 30 |
| 10.2 | MODELLO DI CALCOLO | 32 |
| | 10.2.1 Valutazione della rigidezza delle molle | 32 |
| 10.3 | ANALISI DEI CARICHI | 34 |
| | 10.3.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati..... | 34 |
| | 10.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente | 35 |
| | 10.3.3 Treni di carico | 36 |
| | 10.3.3.1 Treno di carico LM71 | 36 |
| | 10.3.3.2 Verifica requisiti S.T.I. per opere minori sottobinario: Carico equivalente | 38 |
| | 10.3.4 Spinta del terreno indotta dai treni di carico..... | 41 |
| | 10.3.5 Avviamento e frenatura..... | 42 |
| | 10.3.6 Serpeggio e centrifuga..... | 43 |
| | 10.3.7 Ritiro differenziale della soletta di copertura..... | 43 |
| | 10.3.8 Azione Termica | 46 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|---------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 4 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | | |
|--------|----------------------------------------------|----|
| 10.3.9 | Azione sismica inerziale..... | 46 |
| 10.4 | DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI | 49 |
| 10.5 | VERIFICHE SLU-SLE DELLE SEZIONI IN C.A. | 51 |
| 10.5.1 | Verifica soletta inferiore | 53 |
| 10.5.2 | Verifica soletta superiore..... | 56 |
| 10.5.3 | Verifica piedritti | 59 |
| 10.6 | VERIFICHE SLV DELLE SEZIONI IN C.A..... | 64 |
| 10.6.1 | Verifica soletta inferiore | 64 |
| 10.6.2 | Verifica soletta superiore..... | 66 |
| 10.6.3 | Verifica piedritti | 67 |
| 10.7 | TABELLA RIASSUNTIVA ARMATURE | 69 |
| 10.8 | TABELLA INCIDENZA ARMATURE | 69 |
| 10.9 | VERIFICHE GEOTECNICHE FONDAZIONE..... | 70 |



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

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|---------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 5 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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 IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 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.

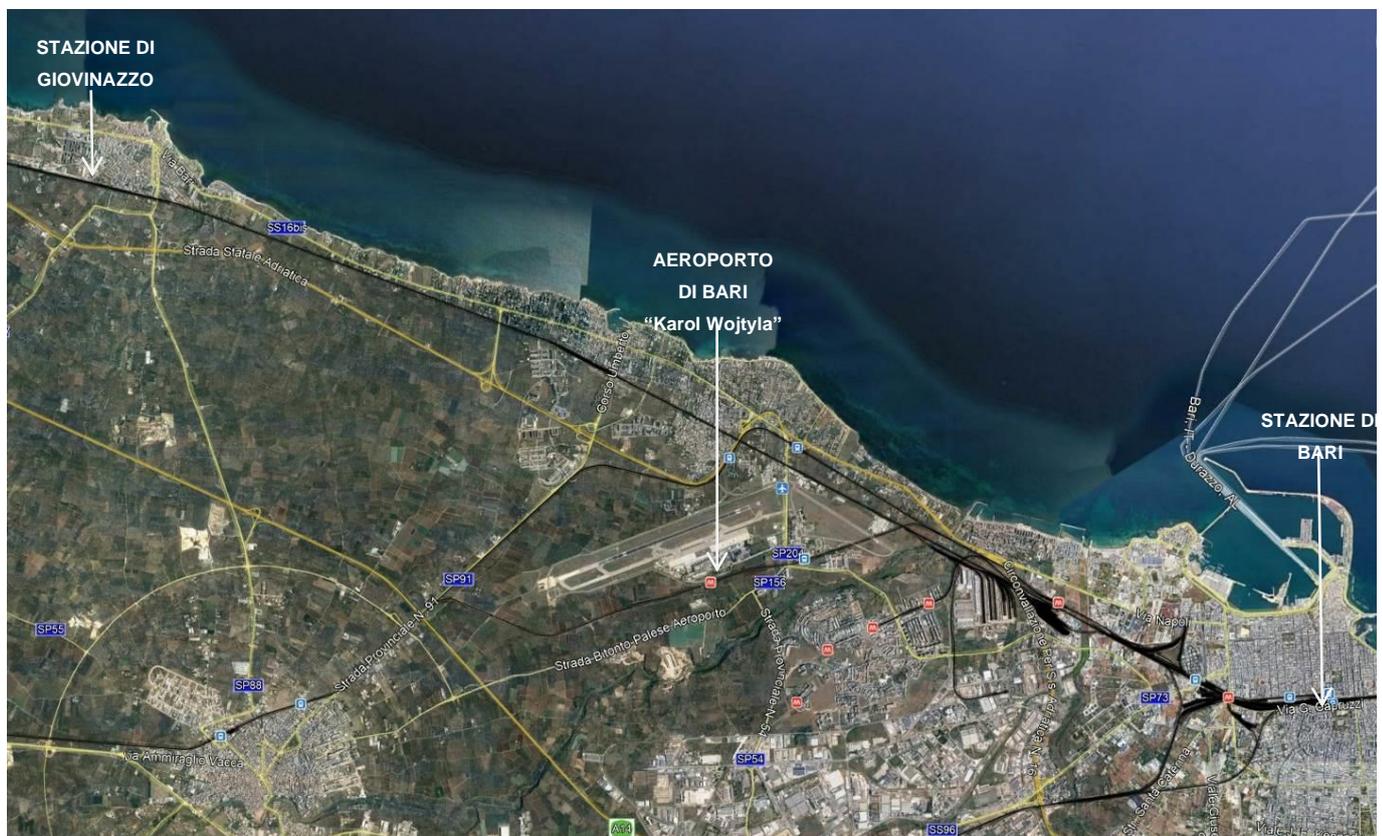


Figura 2-1 Inquadramento area di intervento

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.

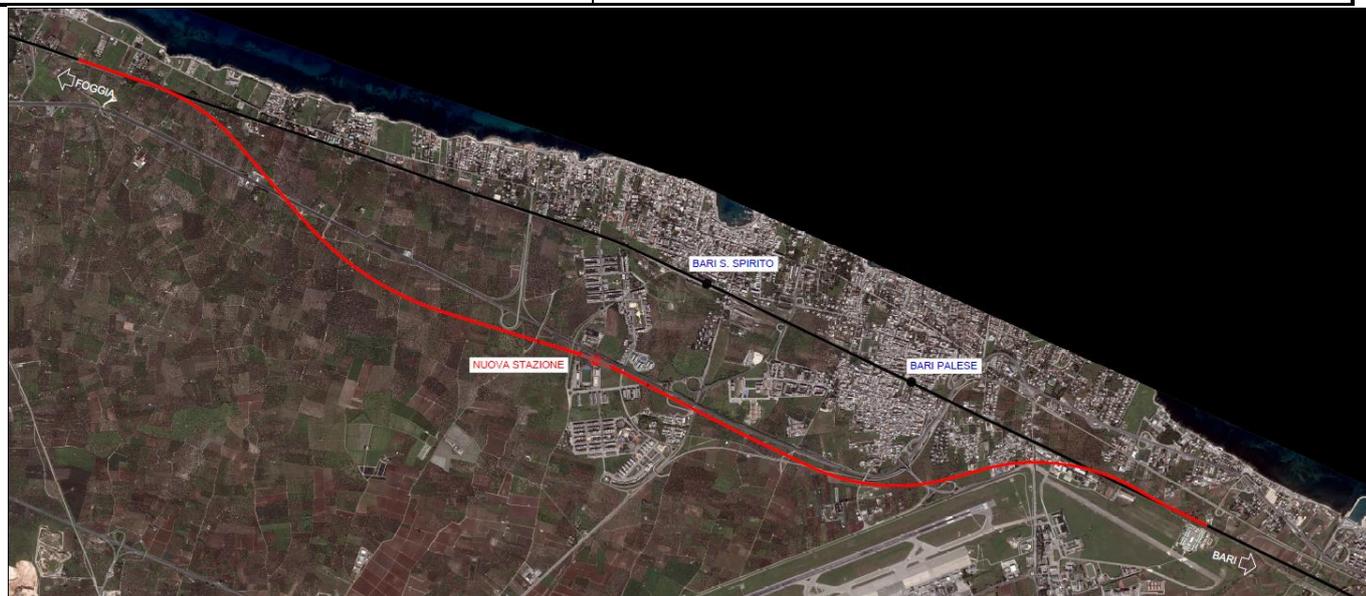


Figura 2-2 Tracciato Rosso

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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|---------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 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 riacciarsi sul sedime della linea storica in corrispondenza del km 642+537.

3 SCOPO DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione viene riportato il calcolo della galleria artificiale GA01 sezione A relativa 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.

3.1 Descrizione dell'opera

L'opera analizzata in particolare è la IN03 Tombino scatolare 4m x 3m doppia canna Prog. 1+006.0. L'opera è stata scelta come rappresentativa della tipologia in quanto è quella con spessore di ricoprimento maggiore. I risultati ottenuti nella presente relazione possono ritenersi validi per gli altri scatolari riportati nella seguente tabella riepilogativa.

| DOPPIA CANNA SCATOLARI | | | | | | |
|------------------------|----------|---------|--------------------------------------------|-----------|----------------|----------------|
| WBS | pk | DIM | Ricoprimento (escluso 0.80m ballast) | Piedritti | Soletta sup | Soletta inf |
| | | [m x m] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| IN03 | 1+006.00 | 4x3 | 0.30 | 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 $L_{int} = 4.00$ m (ciascuna canna) ed un'altezza netta di $H_{int} = 3.00$ 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 0.30 m.

Nell'immagine seguente si riportano una sezione trasversale ed una 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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 12 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 F 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 attese, secondo quanto di seguito specificato

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|
|  | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A | FOGLIO 14 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 IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 16 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 | 500000 | kN/m ² |
| Costante di Winkler | K | 57000 | 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

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 18 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| 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):

$$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$c_t = 2 + 0.0089 (L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B > 10$$

- 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:

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

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 19 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:

$$\begin{aligned}
 E &= 500000 \text{ kN/m}^2 \\
 n &= 0.3 \\
 B &= 9.5 \text{ m} \\
 L &= 12.8 \text{ m} \\
 L/B &= 1.35 \\
 c_t &= 1.01 \\
 K_w &= 57139 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 57000 kN/m^3 .

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------------|
|  | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A |

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



Reticolo di riferimento

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 - $P_{VR} = 81\%$ | <input type="text" value="68"/> |
| SLD - $P_{VR} = 63\%$ | <input type="text" value="113"/> |

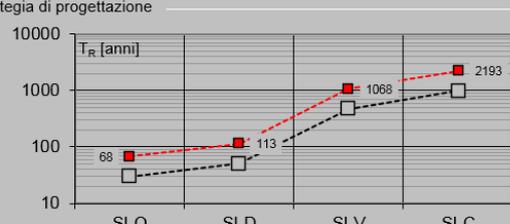
Stati limite ultimi - SLU

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| SLV - $P_{VR} = 10\%$ | <input type="text" value="1068"/> |
| SLC - $P_{VR} = 5\%$ | <input type="text" value="2193"/> |

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

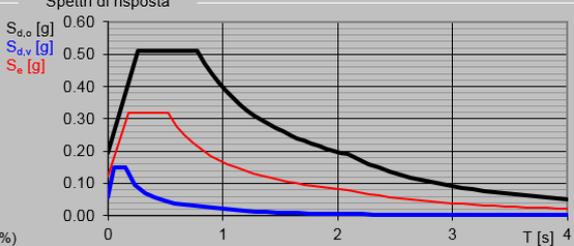
Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **E** info $S_S = 1.600$ $C_C = 1.493$ info
 Categoria topografica **T1** info $h/H = 1.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

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.

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|
|  | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A | FOGLIO 23 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 IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A | FOGLIO 24 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



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

| | | | | | | |
|------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 25 di 81 |

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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 26 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

| | | | | | |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 29 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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 $L_{int} = 4.00$ m (ciascuna canna) ed un'altezza netta di $H_{int} = 3.00$ 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

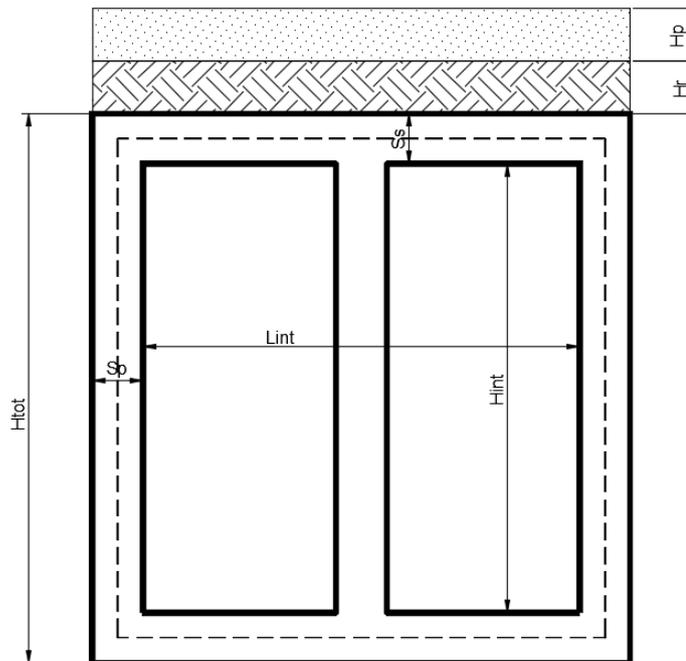


Fig. 3 – Significato dei simboli

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 31 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

DATI GEOMETRICI

| Grandezza | Simbolo | Valore | U.M. |
|-------------------------------|------------|--------|------|
| larghezza totale scatolare | L_{tot} | 9.50 | m |
| larghezza utile scatolare | L_{int} | 8.50 | m |
| larghezza interasse | L_a | 9.00 | 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} | 3.00 | m |
| | | | m |
| spessore ballast | H_{Psup} | 0.80 | m |
| ricoprimento | H_{Rsup} | 0.30 | 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 IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 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.

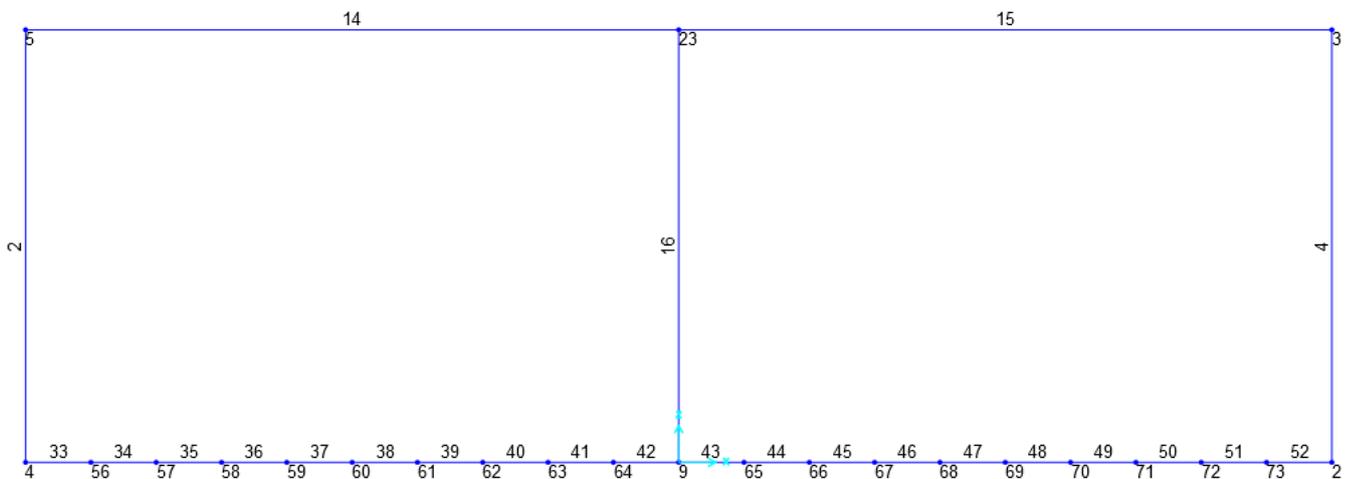


Fig. 4 – Numerazione aste e nodi

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 $K = 36000 \text{ kN/mc}$ in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

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

$$\text{Molle centrali} \quad k_1 = k * i \quad [\text{kN/m}]$$



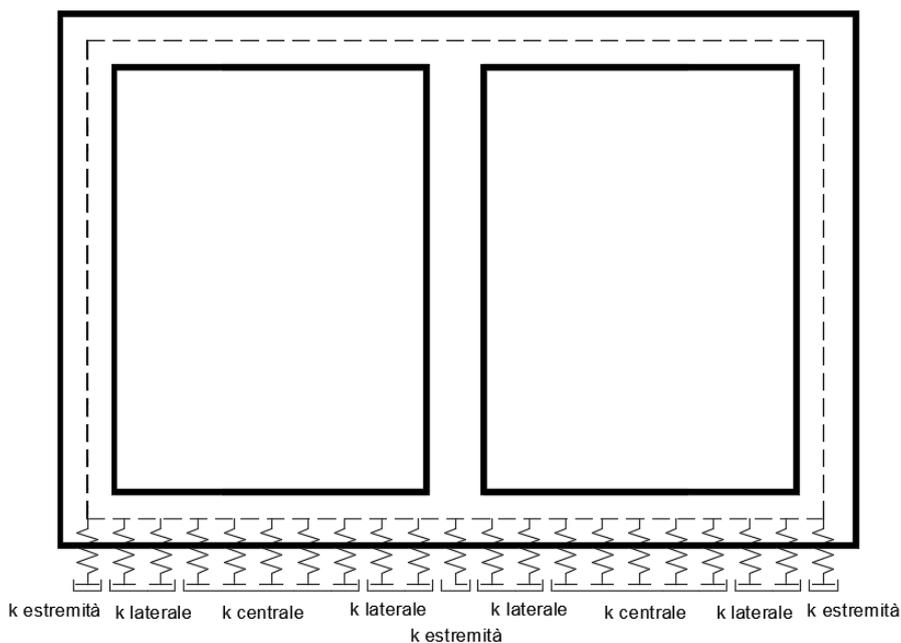
NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

IN – TOMBINI FERROVIARI
 RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 33 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 25650 kN/m³

Molle laterali 38475 kN/m³

Molle estremità 54150 kN/m³

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:

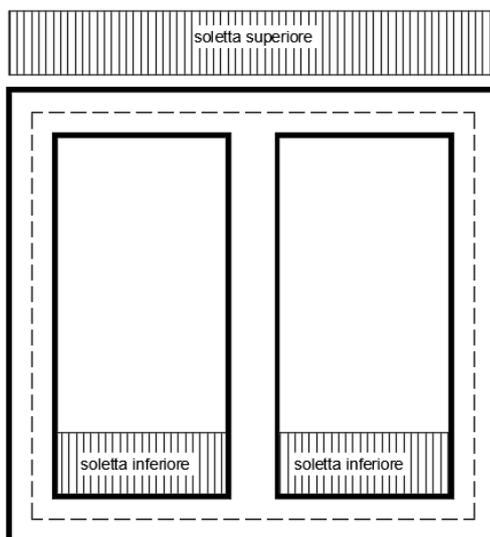
| | | |
|--------------------------|----------------|---------------------|
| <u>Soletta superiore</u> | - Peso proprio | 12.50 kN/m |
| | | - Totale 12.50 kN/m |

| | | |
|--|-------------------------------|---------------------|
| | - Peso Ballast | 14.40 kN/m |
| | - Peso ricoprimento ... 30 cm | 6.60 kN/m |
| | | - Totale 21.00 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 |



| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A |

Fig. 5 – Schema tipo carichi permanenti

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 5.25 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 rigidezza 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:

$$\begin{aligned}
 p_{ss} &= K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = & 13.5 & \text{ kN/m} \\
 p_{is} &= p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = & 48.6 & \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

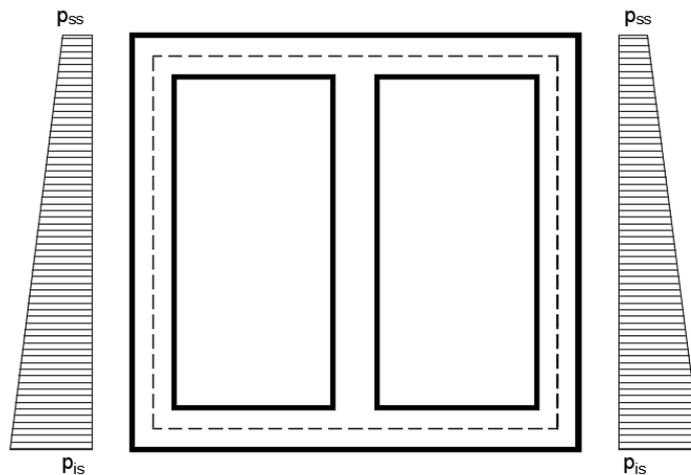


Fig. 6 – Schema tipo spinta terreno su pareti

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 3.07 kN ed inferiore con valore pari a 12.20 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

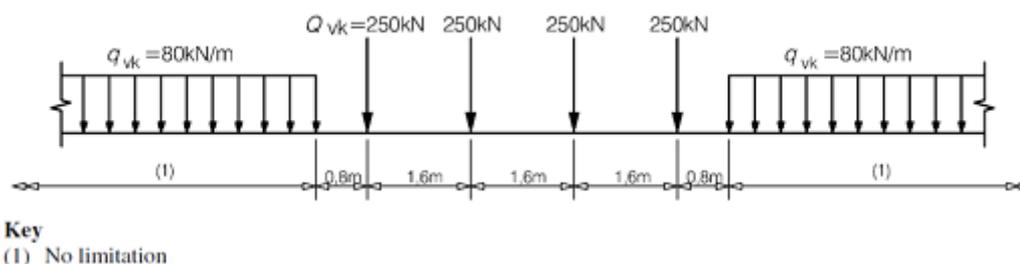


Fig. 7 –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

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:

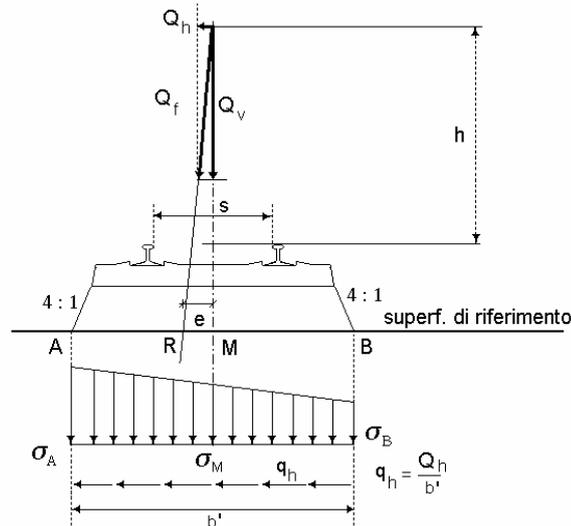
$$L_{\Phi} = 1.3 * [(1/3) * (2 * H_{tot} + L_{tot})] = 6.72 \text{ m}$$

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

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:

$$L_{trasv} = 2.4 + [0.35/4 + H_{rsup} * \tan(33^\circ) + S_s/2] * 2 = 3.07 \text{ m}$$

$$L_{long} = 1.60 * 3 + [0.35/4 + H_{rsup} * \tan(33^\circ) + S_s/2] * 2 = 5.47 \text{ m}$$



Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 * 250 * 1.1 * \Phi_3 / (L_{\text{trasv}} * L_{\text{long}}) = 107.14 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 80 * 1.1 * \Phi_3 / L_{\text{trasv}} = 46.86 \text{ kN/m}^2$$

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

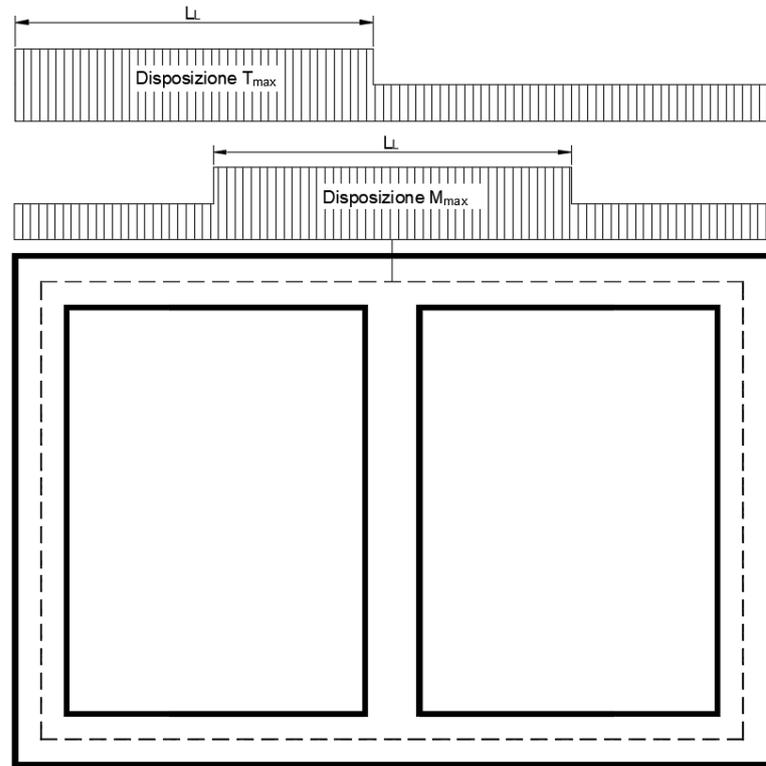


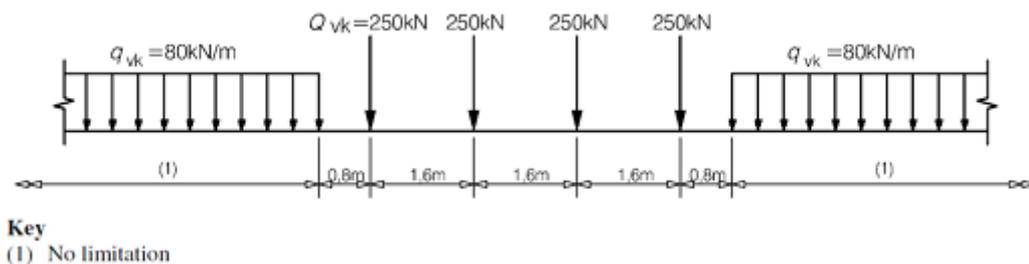
Fig. 8 – Schema tipo carichi mobili soletta superiore

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 26.78 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

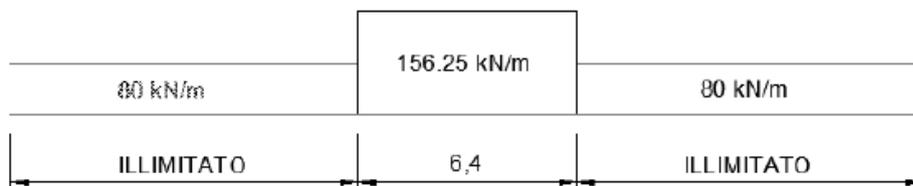
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



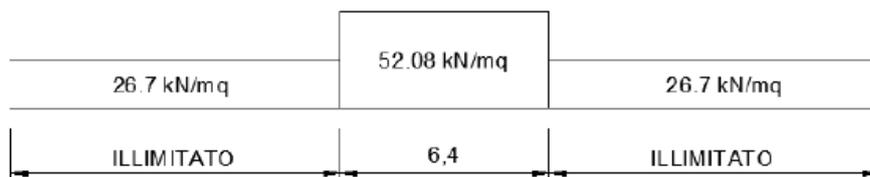
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

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:



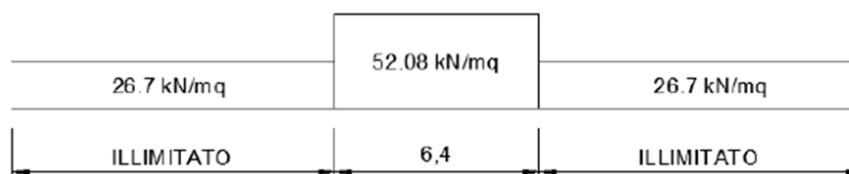
A tali carichi si deve applicare il coefficiente α relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

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 39.4 kN/m². Tale valore risulta minore di quello calcolato nel precedente paragrafo 107.14 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 IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 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)

$$q * K_0 = 48.79 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

- a) Spinta sul piedritto sinistro

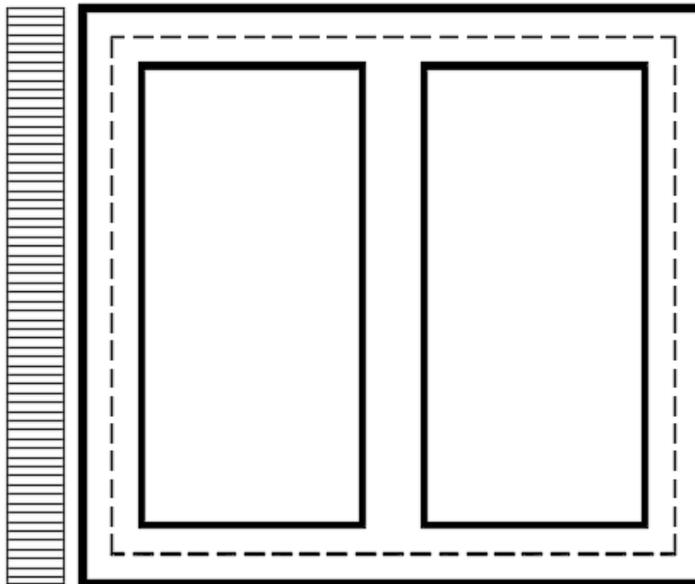


Fig. 9 – Schema tipo spinta carico accidentale su parete sinistra

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 12.2 kN ed inferiore con valore pari a 12.20 kN.

b) Spinta su entrambi i piedritti

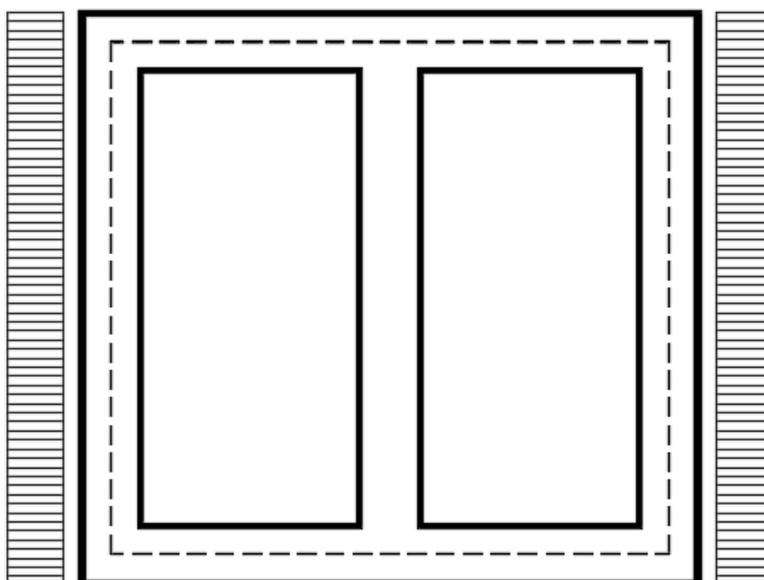


Fig. 10 – Schema tipo spinta carico accidentale su entrambi le pareti

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 12.20 kN ed inferiore con valore pari a 12.20 kN.

10.3.5 Avviamento e frenatura

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

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

$Q_{ibk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$ 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:

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A |

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

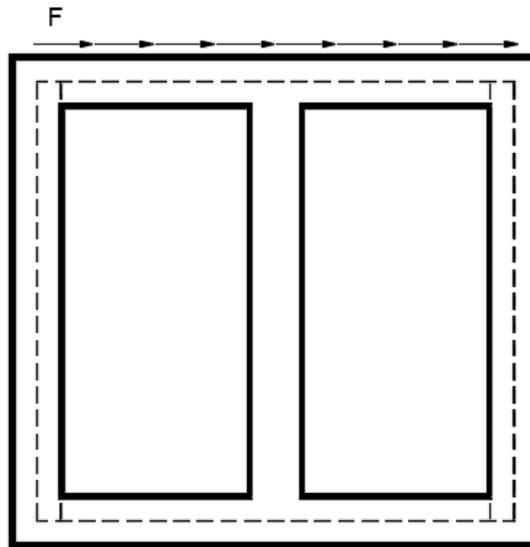


Fig. 11 – Schema tipo azione di frenatura sulla soletta superiore

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.

Cls a t=0

| | | | | |
|----------|---|-----------|-------------------|-----------------------------------------------------|
| R_{ck} | = | 40 | N/mm ² | Resistenza a compressione cubica caratteristica |
| f_{ck} | = | 33.2 | N/mm ² | Resistenza a compressione cilindrica caratteristica |
| f_{cm} | = | 41.2 | N/mm ² | Resistenza a compressione cilindrica media |
| α | = | 1.0E-05 | | |
| E_{cm} | = | 33643 | N/mm ² | Modulo elastico secante medio |
| cls tipo | | R | | classe del cemento |

Tempo e ambiente

| | | | | |
|--------------|---|---------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------|
| t_s | = | 2 | gg | età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento |
| t_0 | = | 2 | gg | età del calcestruzzo in giorni al momento del carico |
| t | = | 25550 | gg | età del calcestruzzo in giorni |
| $h_0=2A_c/u$ | = | 1000 | mm | dimensione fittizia dell'elemento di cls |
| A_c | = | 500000 | mm ² | sezione dell'elemento |
| u | = | 1000 | 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 | coeff. di viscosità |
| $\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$ | 2.067 | 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 | coeff che tiene conto dell'umidità |
| $\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$ | 0.892 | coeff per la resistenza del cls |
| $\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$ | 0.968 | coeff per la resistenza del cls |
| $\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$ | 2.617 | coeff che tiene conto della resistenza del cls |
| $\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$ | 0.649 | 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 | coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo |
| $\alpha =$ | 1 | coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R) |

IN – TOMBINI FERROVIARI

| | | | | | |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 45 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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

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

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

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

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA IADR | REL 00 | CODIFICA D 29 CL | DOCUMENTO IN 03 A0 001 | REV. A |

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 RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 47 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

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

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

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

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

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 4.15 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 4.07 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

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

$$\textbf{Totale} = \textbf{10.63 kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

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

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

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 2.07 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 2.03 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

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

$$\textbf{Totale} = \textbf{5.32 kN/m} \quad (\textbf{soletta superiore})$$

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 1.33 kN.

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

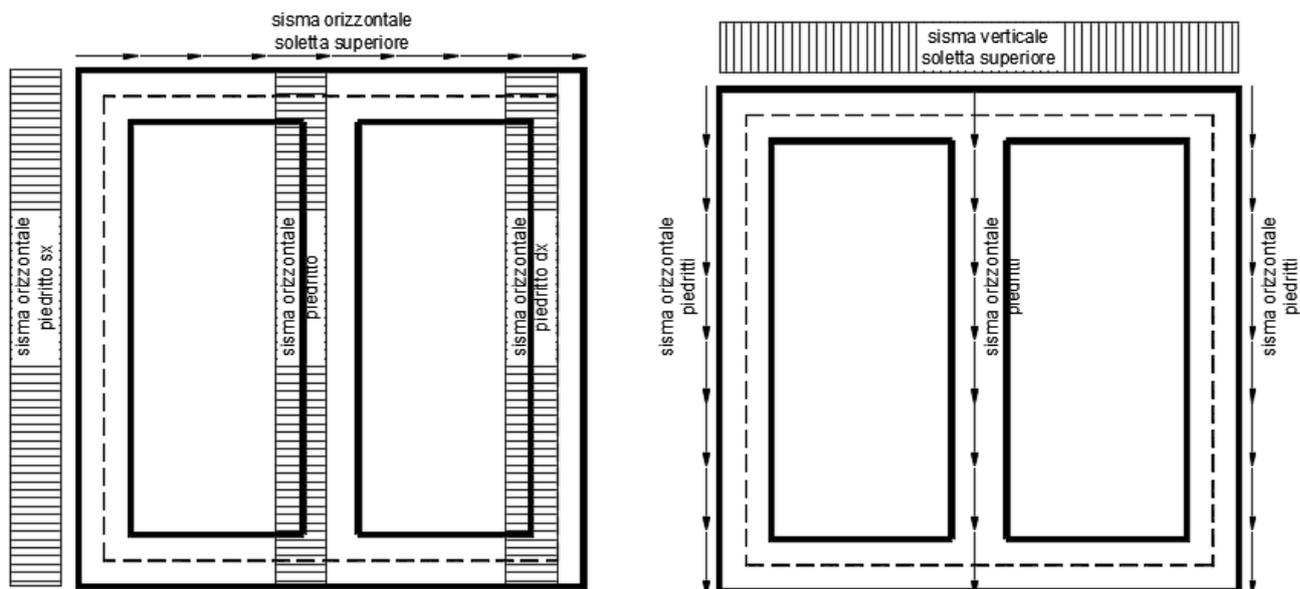
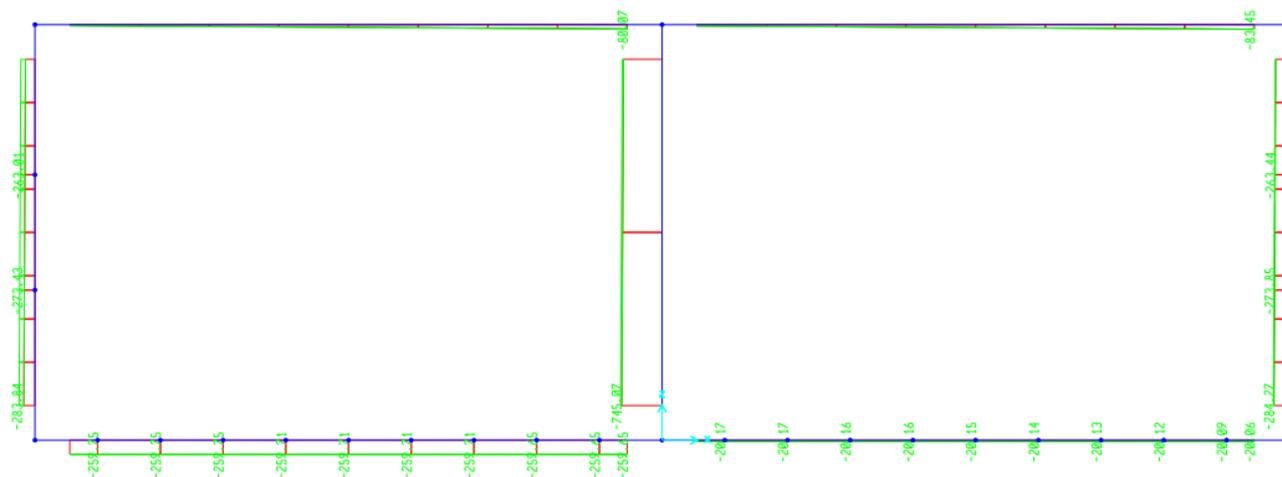


Fig. 12 – Schema tipo azioni sismiche orizzontali e verticali


Fig. 17 – Involuppo azioni assiali SLE rara

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 | -2.03 | 389.82 | 661.79 |
| | campata | SLU16-SIS2-NL | 195.40 | -162.11 | - |
| soletta superiore | nodo piedritto | SLU11-STR-NL | 95.63 | 247.83 | 493.11 |
| | campata | SLU11-STR-NL | 105.91 | -417.85 | - |
| piedritti | nodo inf piedritto sx | SLU14-STR-NL | 399.48 | 379.11 | 304.38 |
| | nodo sup piedritto dx | SLU14-STR-NL | 350.47 | 202.89 | 176.84 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 52 di 81 |

| 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 | 20.17 | 280.67 | soletta inferiore | 37.07 | 225.04 | soletta inferiore | 108.24 | 91.43 |
| | campata | 255.16 | -302.74 | | 218.77 | -253.38 | | 108.25 | -103.32 |
| soletta superiore | nodo piedritto | 37.88 | 156.07 | soletta superiore | 29.23 | 129.69 | soletta superiore | 0.44 | 51.25 |
| | campata | 80.07 | -299.31 | | 59.82 | -241.48 | | 22.03 | -73.62 |
| piedritti | nodo inf piedritto sx | 283.84 | 274.47 | piedritti | 235.04 | 228.26 | piedritti | 94.61 | 92.57 |
| | nodo sup piedritto dx | 253.02 | 143.50 | | 206.23 | 108.66 | | 94.41 | 43.40 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 53 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.6 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.6 | 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 | -2.03 | 389.82 | 661.79 | 0.00 |
| 2 | 195.40 | -162.11 | 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
RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 54 di 81 |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|---------|
| 1 | 20.17 | 280.67 |
| 2 | 255.16 | -302.74 |

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 | 37.07 | 225.04 (182.87) |
| 2 | 218.77 | -253.38 (-195.55) |

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 | 108.24 | 91.43 (201.97) |
| 2 | 108.25 | -103.32 (-199.19) |

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 | -2.03 | 389.82 | -1.93 | 668.44 | 1.715 | 41.2 | 0.21 | 0.70 | 45.2 (7.6) |
| 2 | S | 195.40 | -162.11 | 195.35 | -702.85 | 4.336 | 9.2 | 0.22 | 0.71 | 45.2 (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 IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 55 di 81 |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 50.0 | 0.00048 | 42.4 | -0.01337 | 7.6 |
| 2 | 0.00350 | 0.0 | 0.00062 | 7.6 | -0.01257 | 42.4 |

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 | 661.79 | 281.86 | 1236.92 | 665.39 | 100.0 42.4 | 2.500 | 1.000 | 17.7 |
| 2 | S | 0.00 | 306.72 | 1830.81 | 266.16 | 100.0 42.4 | 1.000 | 1.021 | 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.) |
| 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 | 6.78 | 50.0 | 0.00 | 34.0 | -168.2 | 42.4 | 11.3 | 1135 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 7.56 | 0.0 | 0.00 | 17.8 | -157.0 | 7.6 | 10.7 | 1074 | 45.2 | 9.4 |

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 | -0.00108 | 0.00051 | 0.50 | 0.60 | 0.000553 (0.000505) | 320 | 0.177 (0.20) | 181.31 |
| 2 | S | -0.00103 | 0.00057 | 0.50 | 0.60 | 0.000509 (0.000471) | 314 | 0.160 (0.20) | -195.15 |

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 RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 56 di 81 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-----|
| 1 | S | 5.46 | 50.0 | 0.00 | 33.8 | -132.7 | 42.4 | 11.3 | 1128 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 6.33 | 0.0 | 0.00 | 17.8 | -130.8 | 7.6 | 10.7 | 1072 | 45.2 | 9.4 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00086 | 0.00041 | 0.50 | 0.60 | 0.000398 (0.000398) | 319 | 0.127 (0.20) | 182.87 |
| 2 | S | -0.00086 | 0.00047 | 0.50 | 0.60 | 0.000392 (0.000392) | 314 | 0.123 (0.20) | -195.55 |

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 | 2.31 | 50.0 | 0.00 | 31.3 | -44.2 | 42.4 | 10.5 | 1045 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 2.60 | 0.0 | 0.00 | 18.3 | -51.4 | 7.6 | 10.6 | 1057 | 45.2 | 9.4 |

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 | -0.00029 | 0.00017 | 0.50 | 0.40 | 0.000133 (0.000133) | 312 | 0.041 (0.20) | 201.97 |
| 2 | S | -0.00034 | 0.00019 | 0.50 | 0.40 | 0.000154 (0.000154) | 313 | 0.048 (0.20) | -199.19 |

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 |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 57 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Altezza: | 50.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.6 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.6 | 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 | 95.63 | 247.83 | 493.11 | 0.00 |
| 2 | 105.91 | -417.85 | 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 | 37.88 | 156.07 |
| 2 | 80.07 | -299.31 |

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 | 29.23 | 129.69 (183.91) |
| 2 | 59.82 | -241.48 (-184.29) |

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 | 0.44 | 51.25 (180.26) |
| 2 | 22.03 | -73.62 (-185.18) |

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



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

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 58 di 81 |

| | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 | 95.63 | 247.83 | 95.62 | 685.46 | 2.766 | 41.0 | 0.21 | 0.71 | 45.2 (7.6) |
| 2 | S | 105.91 | -417.85 | 105.78 | -687.23 | 1.645 | 9.0 | 0.21 | 0.71 | 45.2 (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 | 0.00055 | 42.4 | -0.01298 | 7.6 |
| 2 | 0.00350 | 0.0 | 0.00055 | 7.6 | -0.01294 | 42.4 |

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 | 493.11 | 294.03 | 1249.50 | 561.80 | 100.0 42.4 | 2.500 | 1.010 | 13.2 |
| 2 | S | 0.00 | 295.34 | 1813.74 | 224.72 | 100.0 42.4 | 1.000 | 1.011 | 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.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. |

| | | | | | | |
|------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 59 di 81 |

(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 | 3.80 | 50.0 | 0.00 | 33.6 | -90.7 | 42.4 | 11.2 | 1122 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 7.30 | 0.0 | 0.00 | 16.4 | -173.2 | 7.6 | 11.2 | 1120 | 45.2 | 9.4 |

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 | -0.00059 | 0.00028 | 0.50 | 0.60 | 0.000272 (0.000272) | 319 | 0.087 (0.20) | 184.20 |
| 2 | S | -0.00112 | 0.00055 | 0.50 | 0.60 | 0.000580 (0.000520) | 319 | 0.185 (0.20) | -184.63 |

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 | 3.16 | 50.0 | 0.00 | 33.7 | -75.6 | 42.4 | 11.2 | 1123 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 5.88 | 0.0 | 0.00 | 16.4 | -140.2 | 7.6 | 11.2 | 1121 | 45.2 | 9.4 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00049 | 0.00024 | 0.50 | 0.60 | 0.000227 (0.000227) | 319 | 0.072 (0.20) | 183.91 |
| 2 | S | -0.00091 | 0.00044 | 0.50 | 0.60 | 0.000421 (0.000421) | 319 | 0.134 (0.20) | -184.29 |

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 | 1.23 | 50.0 | 0.00 | 34.2 | -31.1 | 42.4 | 11.4 | 1139 | 45.2 | 9.4 |
| 2 | S | 1.80 | 0.0 | 0.00 | 16.5 | -42.3 | 7.6 | 11.2 | 1117 | 45.2 | 9.4 |

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 | -0.00020 | 0.00009 | 0.50 | 0.40 | 0.000093 (0.000093) | 320 | 0.030 (0.20) | 180.26 |
| 2 | S | -0.00027 | 0.00013 | 0.50 | 0.40 | 0.000127 (0.000127) | 318 | 0.040 (0.20) | -185.18 |

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 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 60 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | |
|-------------------------------------------|---------------------|
| 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. $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 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 | 399.48 | 379.11 | 304.38 | 0.00 |
| 2 | 350.47 | 202.89 | 176.84 | 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 | 283.84 | 274.47 |
| 2 | 253.02 | 143.50 |

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

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 61 di 81 |

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 | 235.04 | 228.26 (182.21) |
| 2 | 206.23 | 108.66 (199.33) |

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 | 94.61 | 92.57 (182.07) |
| 2 | 94.41 | 43.40 (205.50) |

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 | 399.48 | 379.11 | 399.42 | 553.04 | 1.459 | 41.4 | 0.20 | 0.70 | 31.4 (7.6) |
| 2 | S | 350.47 | 202.89 | 350.47 | 544.36 | 2.683 | 41.5 | 0.20 | 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 | 0.00050 | 42.6 | -0.01377 | 7.4 |
| 2 | 0.00350 | 50.0 | 0.00045 | 42.6 | -0.01404 | 7.4 |

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IN – TOMBINI FERROVIARI RELAZIONE DI CALCOLO IN03 | COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 62 di 81 |

| | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 | 304.38 | 301.20 | 1295.57 | 564.45 | 100.0 42.6 | 2.500 | 1.042 | 8.1 |
| 2 | S | 176.84 | 294.94 | 1289.09 | 564.45 | 100.0 42.6 | 2.500 | 1.037 | 4.7 |

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 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.) |
| 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 | 8.13 | 50.0 | 0.00 | 33.4 | -191.6 | 42.6 | 11.1 | 1114 | 31.4 | 9.5 |
| 2 | S | 4.32 | 50.0 | 0.00 | 31.6 | -85.0 | 42.6 | 10.5 | 1052 | 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 | -0.00123 | 0.00061 | 0.50 | 0.60 | 0.000575 (0.000575) | 338 | 0.194 (0.20) | 182.29 |
| 2 | S | -0.00055 | 0.00032 | 0.50 | 0.60 | 0.000255 (0.000255) | 331 | 0.085 (0.20) | 196.46 |

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 | 6.76 | 50.0 | 0.00 | 33.4 | -159.5 | 42.6 | 11.1 | 1115 | 31.4 | 9.5 |
| 2 | S | 3.28 | 50.0 | 0.00 | 31.2 | -62.3 | 42.6 | 10.4 | 1040 | 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 | -0.00102 | 0.00051 | 0.50 | 0.60 | 0.000478 (0.000478) | 338 | 0.162 (0.20) | 182.21 |



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

IN – TOMBINI FERROVIARI
 RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 63 di 81 |

2 S -0.00041 0.00025 0.50 0.60 0.000187 (0.000187) 330 0.062 (0.20) 199.33

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 | 2.74 | 50.0 | 0.00 | 33.5 | -64.8 | 42.6 | 11.2 | 1115 | 31.4 | 9.5 |
| 2 | S | 1.32 | 50.0 | 0.00 | 30.4 | -23.2 | 42.6 | 10.1 | 1014 | 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 | -0.00042 | 0.00021 | 0.50 | 0.40 | 0.000194 (0.000194) | 338 | 0.066 (0.20) | 182.07 |
| 2 | S | -0.00015 | 0.00010 | 0.50 | 0.40 | 0.000070 (0.000070) | 327 | 0.023 (0.20) | 205.50 |

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 | SLU16-SIS-NL | 214.49 | 201.46 | 233.79 |
| | campata | SLU16-SIS2-NL | 346.66 | -414.95 | - |
| soletta superiore | nodo piedritto | SLU11-STR-NL | -2.85 | 93.41 | 170.44 |
| | campata | SLU11-STR-NL | 56.70 | -165.97 | - |
| piedritti | nodo inf piedritto sx | SLU16-SIS-NL | 234.95 | 211.59 | 180.21 |
| | nodo sup piedritto dx | SLU18-SIS-NL | 234.95 | -101.78 | 180.21 |

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

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 65 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Altezza: | 50.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.5 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.5 | 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 | 214.49 | 201.46 | 233.79 | 0.00 |
| 2 | 346.66 | -414.95 | 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 | 214.49 | 201.46 | 214.26 | 683.36 | 3.392 | 34.0 | 0.38 | 0.91 | 45.2 (7.6) |
| 2 | S | 346.66 | -414.95 | 346.87 | -705.52 | 1.700 | 16.4 | 0.39 | 0.92 | 45.2 (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 | 0.00118 | 50.0 | 0.00062 | 42.5 | -0.00196 | 7.5 |
| 2 | 0.00123 | 0.0 | 0.00067 | 7.5 | -0.00196 | 42.5 |

VERIFICHE A TAGLIO



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

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 66 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 | 233.79 | 309.52 | 1268.13 | 563.12 | 100.0 42.5 | 2.500 | 1.023 | 6.2 |
| 2 | S | 0.00 | 326.37 | 1864.06 | 225.25 | 100.0 42.5 | 1.000 | 1.037 | 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: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø24 | (45.2 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.5 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.5 | 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 | -2.85 | 93.41 | 170.44 | 0.00 |
| 2 | 56.70 | -165.97 | 0.00 | 0.00 |

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 67 di 81 |

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 | -2.85 | 93.41 | -2.94 | 646.48 | 6.921 | 34.8 | 0.36 | 0.89 | 45.2 (7.6) |
| 2 | S | 56.70 | -165.97 | 56.50 | -656.64 | 3.956 | 15.4 | 0.36 | 0.89 | 45.2 (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 | 0.00109 | 50.0 | 0.00055 | 42.5 | -0.00196 | 7.5 |
| 2 | 0.00111 | 0.0 | 0.00057 | 7.5 | -0.00196 | 42.5 |

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 | 170.44 | 282.17 | 1239.84 | 563.12 | 100.0 42.5 | 2.500 | 1.000 | 4.6 |
| 2 | S | 0.00 | 289.40 | 1808.60 | 225.25 | 100.0 42.5 | 1.000 | 1.006 | 0.0 |

10.6.3 Verifica piedritti

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 68 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 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): | 7.4 | 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 | 234.95 | 211.59 | 180.21 | 0.00 |
| 2 | 234.95 | -101.78 | 180.21 | 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 |
|--------|-----|---|----|------|-------|----------|----|-----|--------|---------|
|--------|-----|---|----|------|-------|----------|----|-----|--------|---------|

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 69 di 81 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|---------|--------|---------|-------|------|------|------|------------|
| 1 | S | 234.95 | 211.59 | 234.98 | 500.61 | 2.366 | 35.5 | 0.34 | 0.87 | 31.4 (7.6) |
| 2 | S | 234.95 | -101.78 | 234.98 | -500.61 | 4.919 | 14.5 | 0.34 | 0.87 | 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 | 0.00101 | 50.0 | 0.00050 | 42.6 | -0.00196 | 7.4 |
| 2 | 0.00101 | 0.0 | 0.00050 | 7.4 | -0.00196 | 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 | 180.21 | 280.18 | 1273.82 | 564.45 | 100.0 42.6 | 2.500 | 1.025 | 4.8 |
| 2 | S | 180.21 | 280.18 | 1273.82 | 564.45 | 100.0 42.6 | 2.500 | 1.025 | 4.8 |

10.7 TABELLA RIASSUNTIVA ARMATURE

| ARMATURA | | | |
|-------------------|------------------|--------------------------|--------------------|
| soletta inferiore | nodo | Ø24/10 inf | spille |
| | pedritto | Ø24/10 sup | 12Ø14 m² |
| soletta superiore | campata | Ø24/10 inf Ø24/10 sup | |
| | nodo | Ø24/10 inf | spille |
| pedritti | pedritto | Ø24/10 sup | 10Ø14 m² |
| | campata | Ø24/10 inf Ø24/10 sup | |
| pedritti | nodo soletta inf | Ø20/10 ext Ø20/10 int | spille 10Ø14 m² |
| | nodo soletta sup | Ø20/10 ext Ø20/10 int | spille 10Ø14 m² |

10.8 TABELLA INCIDENZA ARMATURE



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

IN – TOMBINI FERROVIARI
RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 70 di 81 |

| INCIDENZA (kg/m³) | |
|-------------------------------------|------------|
| soletta inferiore | 225 |
| soletta superiore | 220 |
| piedritti | 160 |

(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) |
| SLU07-STR-NL | 1841.67 | 974.61 | 445.78 |
| SLU17-SIS-NL | 679.58 | 530.26 | 226.24 |

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 ($e_B = Mb/N$)

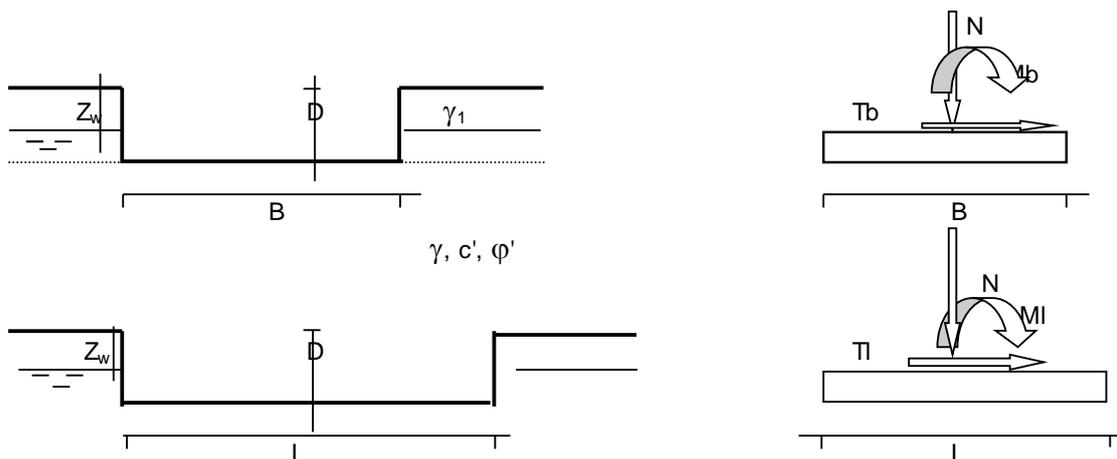
e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = Ml/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

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)

| Metodo di calcolo | | | coefficienti parziali | | | | | | |
|--------------------------|----------|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|------------|-------|------|
| | | | 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 |



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 9.50 (m)
L = 1.00 (m)
D = 0.50 (m)



AZIONI

| | valori di input | | Valori di calcolo |
|----------|-----------------|------------|-------------------|
| | permanenti | temporanee | |
| N [kN] | 1841.67 | | 1841.67 |
| Mb [kNm] | 974.61 | | 974.61 |
| MI [kNm] | 0.00 | | 0.00 |
| Tb [kN] | 445.78 | | 445.78 |
| Tl [kN] | 0.00 | | 0.00 |
| H [kN] | 445.78 | 0.00 | 445.78 |

Peso unità di volume del terreno

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

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 40.00$ (kN/mq)
 $\phi' = 43.00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 40.00$ (kN/mq)
 $\phi' = 43.00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 100.00$ (m)

$e_B = 0.53$ (m)
 $e_L = 0.00$ (m)

$B^* = 8.44$ (m)
 $L^* = 1.00$ (m)

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 73 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

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

$$s_c = 1.11$$

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

$$s_q = 1.11$$

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

$$s_\gamma = 0.95$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 74 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.89 \quad \theta = \arctg(T_b/T_I) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.11 \quad m = 1.89 \quad (-)$$

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

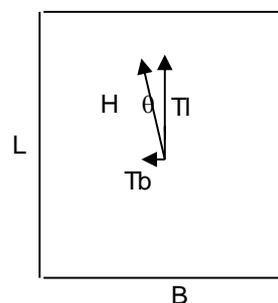
$$i_q = 0.65$$

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

$$i_c = 0.65$$

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

$$i_\gamma = 0.52$$



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

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 75 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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

$$q_{lim} = 5367.73 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

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

$$q = 218.17 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 2333.8 \geq q = 218.17 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 445.78 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

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

$$S_d = 2055.05 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 1868.23 \geq H_d = 445.78 \quad (\text{kN})$$

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.



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

IN – TOMBINI FERROVIARI
RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 76 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 $e_L = 0$; $L^* = L$)

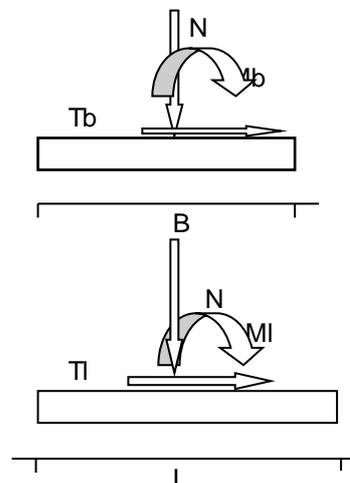
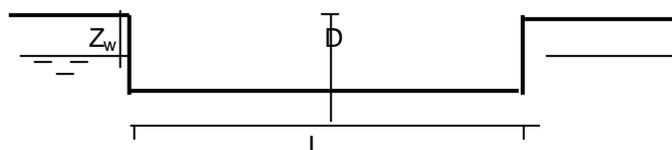
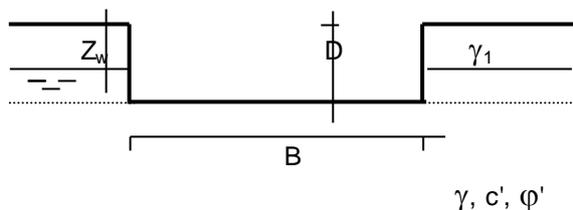
B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 78 di 81 |

(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 9.50 (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] | 679.58 | | 679.58 |
| Mb [kNm] | 530.26 | | 530.26 |
| Ml [kNm] | 0.00 | | 0.00 |
| Tb [kN] | 226.24 | | 226.24 |
| Tl [kN] | 0.00 | | 0.00 |
| H [kN] | 226.24 | 0.00 | 226.24 |

Peso unità di volume del terreno

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

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 40.00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 43.00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 40.00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 43.00$ (°)

Profondità della falda

Zw = 100.00 (m)

$e_B = 0.78$ (m)
 $e_L = 0.00$ (m)

$B^* = 7.94$ (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 IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 79 di 81 |

Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante

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

$$Nq = 99.01$$

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

$$Nc = 105.11$$

$$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$Ny = 186.53$$

sc, sq, sy : fattori di forma

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

$$s_c = 1.12$$

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

$$s_q = 1.12$$

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

$$s_\gamma = 0.95$$

ic, iq, iy : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.89 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.11 \quad m = 1.89 \quad (-)$$

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

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

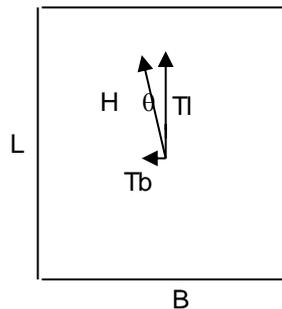
$$i_q = 0.62$$

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

$$i_c = 0.62$$

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

$$i_\gamma = 0.48$$



IN – TOMBINI FERROVIARI

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 80 di 81 |

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

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

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

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

$$d_q = 1.09$$

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

$$d_c = 1.10$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

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

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

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

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

$$q_{lim} = 5123.98 \quad (\text{kN/m}^2)$$

IN – TOMBINI FERROVIARI

RELAZIONE DI CALCOLO IN03

| COMMESSA | REL | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-----|----------|--------------|------|----------|
| IADR | 00 | D 29 CL | IN 03 A0 001 | A | 81 di 81 |

Pressione massima agente

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

$$q = 85.60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{\text{lim}} / \gamma_R = 2227.82 \geq q = 85.60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 226.24 \quad (\text{kN})$$

Azione Resistente

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

$$S_d = 951.30 \quad (\text{kN})$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 864.82 \geq H_d = 226.24 \quad (\text{kN})$$

Entrambe le verifiche risultano soddisfatte.