

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato vasca

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

I F 0 H 0 2 D 1 1 C L F A 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE	M.Piscitelli	Ottobre 2017	F. Bayetta	Ottobre 2017	F. Cerone	Ottobre 2017		

File: IF0H02D11CLFA0002001A.doc

n. Elab.: 0L_039_01

INDICE

1.	GENERALITA'	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
1.2	UNITÀ DI MISURA.....	6
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	7
3.	CARATTERISTICHE MATERIALI.....	8
3.1	CEMENTO ARMATO	8
3.1.1	<i>Calcestruzzo</i>	8
3.1.2	<i>Acciaio d'armatura in barre tonde ad aderenza migliorata</i>	10
3.1.3	<i>Copriferro</i>	11
4.	CARATTERIZZAZIONE E CRITERI DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA.....	13
4.1	STRATIGRAFIA E INDAGINI IN PROSSIMITÀ DELL'OPERA	13
5.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	14
5.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	15
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	15
5.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA	16
6.	ANALISI DEI CARICHI	17
6.1	PESO PROPRIO STRUTTURE	17
6.1.1	<i>Solaio di copertura</i>	17
6.1.2	<i>Solaio piano terra</i>	18
6.1.3	<i>Struttura principale in c.a.</i>	18
6.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI.....	18
6.3	SOVRACCARICO ACCIDENTALE	19
6.4	CARICO DELLA NEVE SULLA COPERTURA.....	19
6.5	AZIONE DEL VENTO.....	21

6.6	EFFETTI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI	23
6.7	VARIAZIONI TERMICHE	24
6.8	AZIONE SISMICA.....	25
7.	MODELLO STRUTTURALE E COMBINAZIONI DI CARICO	27
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI SUL MODELLO DI CALCOLO.....	27
7.2	COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	31
8.	VERIFICHE STRUTTURALI	34
8.1	SOLAIO DI COPERTURA.....	34
8.2	TRAVI TRASVERSALI (30x40)	45
8.3	TRAVE LONGITUDINALE (30x40).....	67
8.4	PILASTRI (40x30).....	89
8.5	VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI IN TERMINI DI CONTENIMENTO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (SLO)	104
9.	VERIFICA STRUTTURA INTERRATA.....	106
9.1	PARETI.....	106
9.2	FONDAZIONI.....	111
9.3	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE.....	116

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

1. GENERALITA'

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del Raddoppio dell'Itinerario Ferroviario Napoli-Bari nella Tratta Canello-Benevento/ 2° Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano.

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento al Fabbricato vasca previsto in corrispondenza della pk. 22+100 circa).

1.1 Descrizione dell'opera

La struttura in pianta del fabbricato ha forma rettangolare avente le seguenti dimensioni 6.30 m x 9.90 m, in aggiunta è previsto un rivestimento con pannellature prefabbricate di spessore pari a 20 cm.

Il sistema strutturale è caratterizzato da un telaio spaziale ed una struttura scatolare a pareti piene in c.a. adibita a locale vasca e stazione di pompaggio. Il telaio spaziale presenta una copertura piana costituita da una campata in direzione trasversale di luce 6.30 m circa mentre, parallelamente al lato lungo, è suddiviso in 2 campate di luce pari rispettivamente a 3.35m e 6.55 m.

La struttura relativa alla parte in elevazione è costituita da travi e pilastri in cemento armato. Il solaio di copertura è del tipo semiprefabbricato a prédalles, con getto in opera dei travetti e della caldana superiore. Lo spessore totale del solaio di copertura è di 20 cm e comprende 4 cm di prédalles, 12 cm di nervature e 4 cm di caldana superiore. Il solaio al piano terra è invece costituito da un solaio a vespaio areato si spessore pari a circa 0.50m comprensivo di rivestimento.

Le lastre in c.a.p. sono larghe 120 cm e presentano tre tralicci metallici di irrigidimento ed elementi di alleggerimento delimitanti le nervature intermedie. Il solaio è ordito secondo la direzione longitudinale del fabbricato in modo da essere poggiato direttamente sui telai trasversali disposti come descritto in precedenza.

I pilastri hanno dimensione in pianta di 40x30 cm, le travi perimetrali (longitudinali e trasversali) hanno dimensioni 30x40 cm, così come le travi trasversali interne.

La struttura di fondazione è costituita da una platea in c.a di 0.40m. Il rivestimento esterno è ottenuto mediante pannelli di tamponamento prefabbricati.

Di seguitosi riportano alcune immagini rappresentative della soluzione progettuale adottata. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento:

Sezione A-A

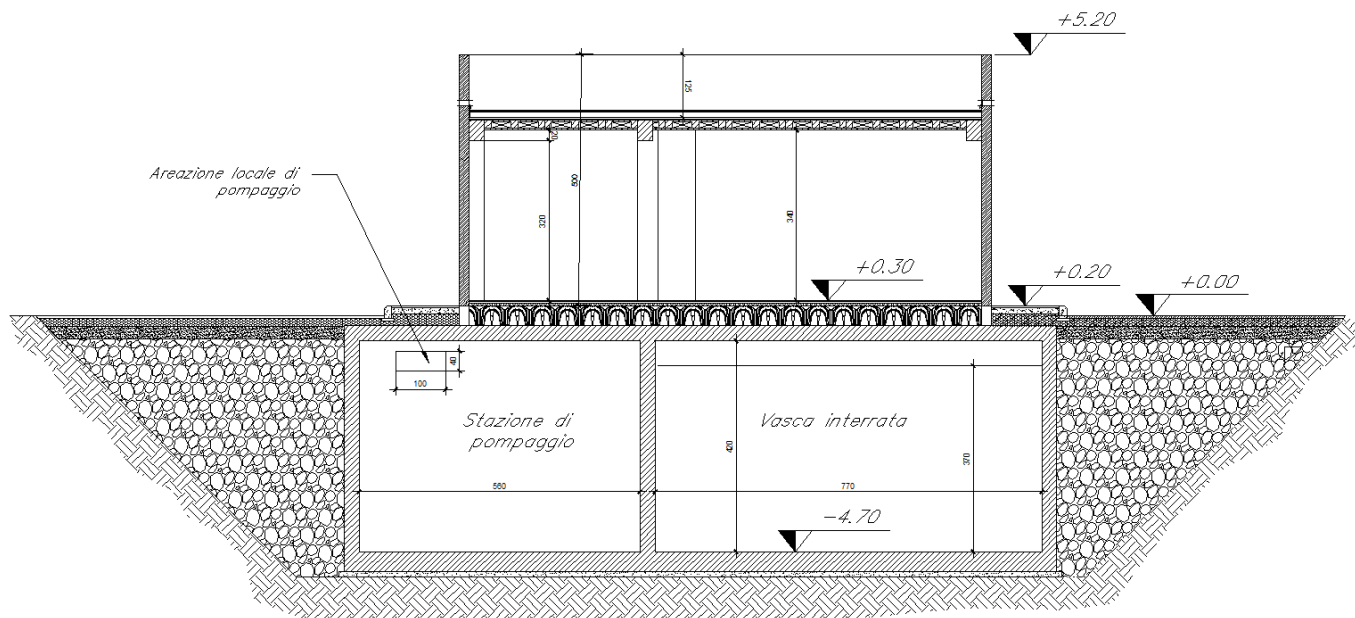


Figura 1 – Sezione Longitudinale

Sezione C-C

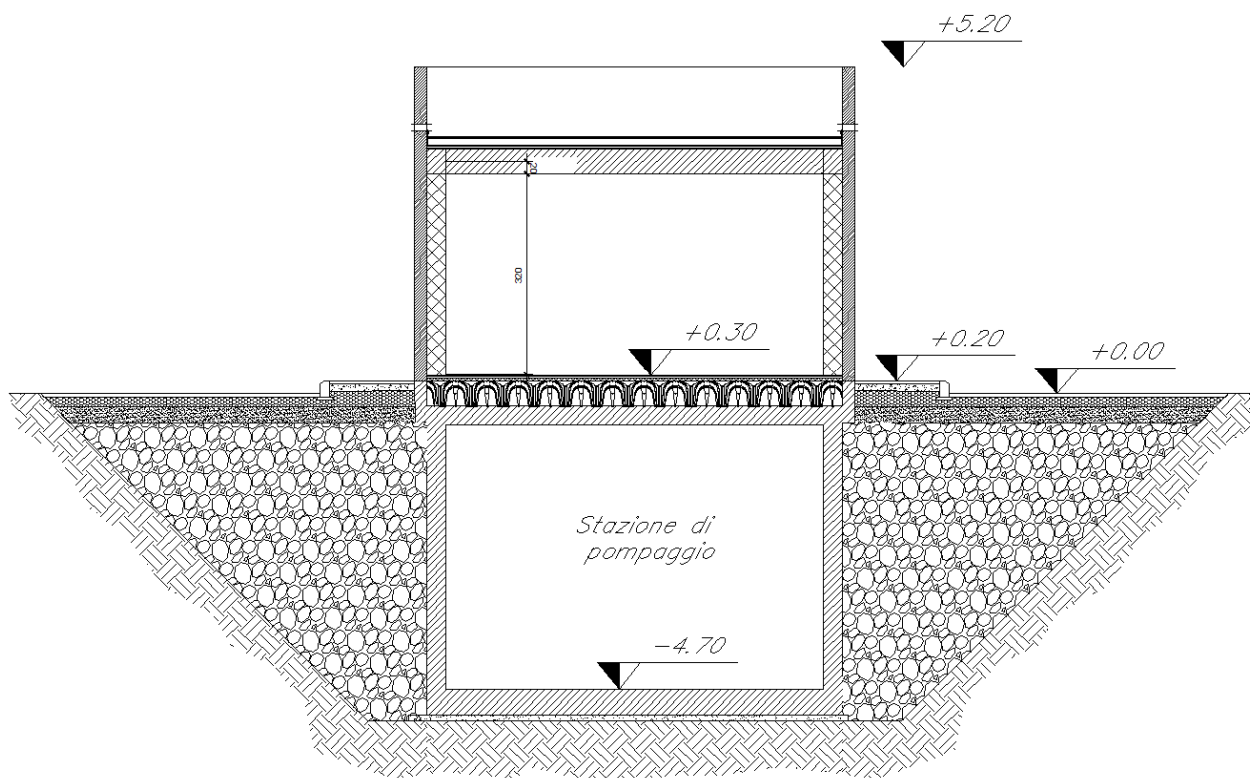


Figura 2 – Sezione Trasversale

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 6 di 118

1.2 Unità di misura

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m², kN/m³
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANO</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 14 gennaio 2008, «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»
- Rif. [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AG MA IFS 001 A – rev 30/12/2016)
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [10] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea
- Rif. [11] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- Rif. [12] UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

2.1 **Elaborati di riferimento**

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l'insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all'opera in esame e riportati in elenco elaborati.

3. CARATTERISTICHE MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle strutture oggetto di calcolo nell'ambito del presente documento:

3.1 Cemento armato

3.1.1 Calcestruzzo

Si riportano di seguito due tabelle riepilogative del tipo e delle caratteristiche del calcestruzzo adottato per i diversi elementi strutturali:

	Solaio in lastre predalles	Struttura in elevazione	Fondazioni
Classe di resistenza	C28/35	C28/35	C25/30
Classe di esposizione	XC3	XC3	XC2
Condizioni ambientali	ordinarie	ordinarie	ordinarie
Rapporto acqua/cemento		0,55	0,60

		Solaio in lastre predalles	Struttura in elevazione	Fondazioni
Rck	(N/mm ²)	35	35	30
f _{ck}	(N/mm ²)	28	28	25
f _{cm}	(N/mm ²)	36	36	33
α _{cc}	(-)	0,85	0,85	0,85
γ _c	(-)	1,5	1,5	1,5
f _{cd}	(N/mm ²)	15,87	15,87	14,17
f _{ctm}	(N/mm ²)	2,77	2,77	2,56
f _{ctk}	(N/mm ²)	1,94	1,94	1,79
f _{ctd}	(N/mm ²)	1,29	1,29	1,19
f _{ctm}	(N/mm ²)	3,32	3,32	3,07
f _{ctk}	(N/mm ²)	2,324	2,324	2,15
E _c	(N/mm ²)	32308	32308	31476

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Dove:

R_{ck} = Resistenza cubica caratteristica a compressione

$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$ = Resistenza cilindrica caratteristica

$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ = Resistenza cilindrica media a compressione

α_{cc} = Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli: $\alpha_{cc} \text{ (} t > 28\text{gg)} = 0.85$

$\gamma_c = 1.5$; viene ridotto a 1.4 per produzioni continuative di elementi o strutture soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valore medio della resistenza) non superiore al 10%. $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} =$

Resistenza di calcolo a compressione

$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3}$ [per classi $\leq C50/60$] = Resistenza cilindrica media a trazione

$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$ = Resistenza cilindrica caratteristica a trazione

$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$ = Resistenza di calcolo a trazione

$f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$ = Resistenza media a trazione per flessione

$f_{cfk} = 0.7 \cdot f_{cfm}$ = Resistenza cilindrica caratteristica a trazione

$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3}$ = Modulo Elastico

Coefficiente di Poisson:

Secondo quanto prescritto al punto 11.2.10.4 della NTC2008, per il coefficiente di Poisson può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0.2 (calcestruzzo non fessurato).

Coefficiente di dilatazione termica:

In sede di progettazione, o in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, per il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valore medio pari a $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (NTC2008 – 11.2.10.5).

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

3.1.2 Acciaio d'armatura in barre tonde ad aderenza migliorata

Si adotta acciaio tipo B450C come previsto al punto 11.3.2.1 delle NTC2008, per il quale si possono assumere le seguenti caratteristiche:

Resistenza a trazione – compressione:

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2 = \text{Resistenza caratteristica di rottura}$$

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2 = \text{Resistenza caratteristica a snervamento}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 391.3 \text{ N/mm}^2 = \text{Resistenza di calcolo}$$

dove:

$$\gamma_s = 1.15 = \text{Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.}$$

Modulo Elastico:

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo:

		Solaio lastre predalles	in Struttura in elevazione	Fondazioni
f_{bk}	(N/mm ²)	4.36	4,36	4,36
f_{bd}	(N/mm ²)	2.90	2,90	2,90

dove:

$$f_{bk} = 2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} = \text{Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza}$$

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{\gamma_c} = \text{Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo}$$

$\eta = 1.0$ – per barre di diametro $\Phi \leq 32$ mm;

$\gamma_c = 1.5$ – Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

3.1.3 Copriferro

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 2.2.2009, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Ai valori riportati nella tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm. Si riportano di seguito i copriferri adottati, determinati in funzione della classe del cls e delle condizioni ambientali.

	Ambiente	Copriferro minimo	Tolleranza di posa	Copriferro nominale
Struttura in elevazione	Ordinario	25	10	35
Lastre predalles	Ordinario	20	0	20
Fondazioni	Ordinario	25	10	35

In definitiva si prescrive che in fondazione e in elevazione tranne che per le lastre predalles il copriferro netto non deve essere inferiore a 40mm.

Prove sui materiali

 <p>FS ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</p>					
<p>FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA IF0H</p>	<p>LOTTO 02 D 11</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO FA000 2001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 118</p>

La costruzione delle strutture dovrà essere eseguita nel rispetto delle specifiche d'istruzione tecnica FS 44/M - REV. A DEL 10/04/00.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

4. CARATTERIZZAZIONE E CRITERI DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA

L'opera ricade in corrispondenza della progressiva chilometrica 30+950 del tracciato di progetto dell'Asse Principale, nell'ambito del 2° Lotto Funzionale Telese-San Lorenzo.

La definizione del modello geotecnico di sottosuolo di riferimento per il dimensionamento delle strutture di fondazione dell'opera, è trattata diffusamente nella specifica sezione dedicata all'opera in esame nell'ambito del seguente documento di progetto:

Relazione generale di linea delle opere all'aperto - Sub lotto 2	I	F	0	H	0	2	D	1	1	R	B	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4.1 Stratigrafia e Indagini in prossimità dell'opera

Nel seguito si riportano i parametri geotecnici di calcolo del terreno interagente con l'opera:

Unità bc3 – Argille limose (Alluvioni antiche)

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 50 \div 160 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$N_{spt} = 10 \div 20$	numero di colpi da prova SPT
$V_s = 130 \div 180 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 35 \div 60 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale (a piccole deformazioni)
$E_o = 90 \div 150 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

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. 14 gennaio 2008 e relativa circolare applicativa.

L'opera in questione rientra in particolare nell'ambito del Progetto di Raddoppio della tratta Ferroviaria Frasso Telesino – Vitulano, che si sviluppa per circa 30Km, da ovest verso est, attraversando il territorio di diverse località tra cui Dugenta/Frasso (BN), Amorosi (BN), Telese(BN), Solopaca(BN), San Lorenzo Maggiore(BN), Ponte(BN), Torrecuso(BN), Vitulano (BN) , Benevento – Località Roseto (BN).

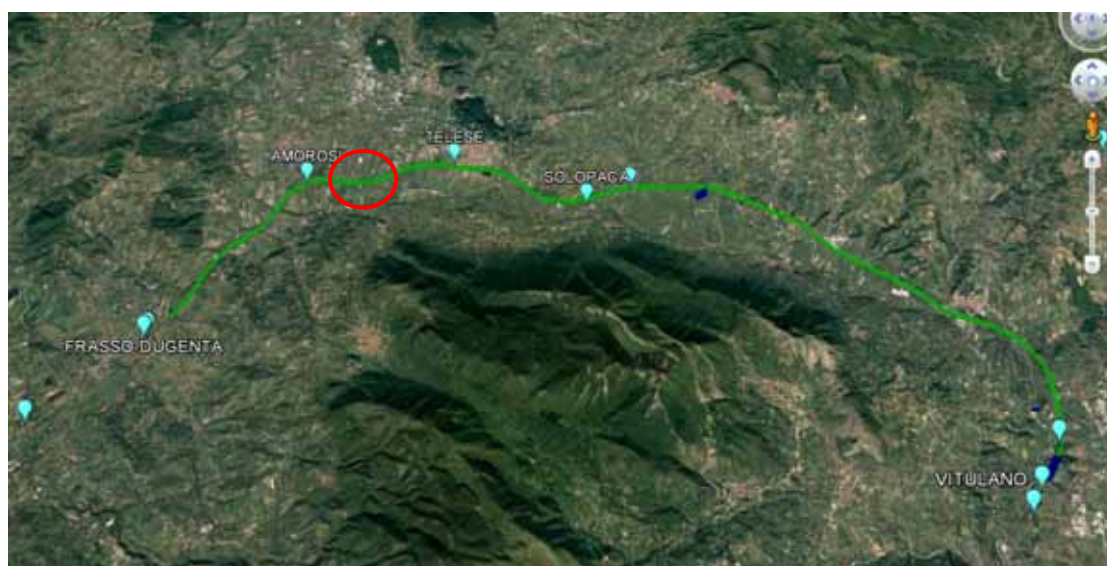


Figura 3 – Configurazione planimetrica tracciato

Nella fattispecie, l'opera ricade tra i comuni di Amorosi e Telese. Nei riguardi della valutazione delle azioni sismiche di progetto, si è fatto riferimento ai parametri di pericolosità sismica del Comune di Telese (BN) come esposto nei paragrafi seguenti.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

5.1 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 (VN), 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 (CU)

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale: $V_N = 75$ anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità $V < 250$ Km/h"). 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

5.2 Parametri di pericolosità sismica

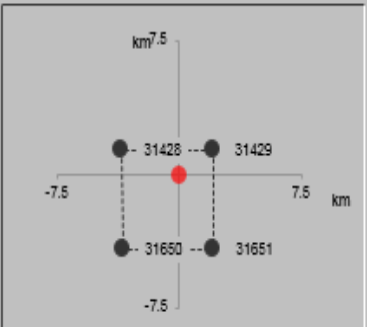
La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 14-01-2008, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione 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.


In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 14.01.08, si ottiene per il sito in esame:

Ricerca per comune
 REGIONE Campania
PROVINCIA Benevento
COMUNE Telese

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
 superficie rigata

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".

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	68	0.087	2.378	0.317
SLD	113	0.112	2.382	0.332
SLV	1068	0.319	2.344	0.402
SLC	2193	0.416	2.427	0.426

Tabella di riepilogo Parametri di pericolosità sismica

5.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Le Categoria di Sottosuolo e le Condizioni Topografiche sono valutate come descritte al punto 3.2.2 del DM 14.01.08. Per il caso in esame, come riportato all'interno della relazione geotecnica e di calcolo del lotto in esame (lotto2), risulta una categoria di sottosuolo di tipo C e una classe Topografica T1.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

6. ANALISI DEI CARICHI

Come prescritto dalle NTC2008, sono state considerate agenti sulla struttura le seguenti condizioni di carico elementari, combinate tra loro in modo da determinare gli effetti più sfavorevoli ai fini delle verifiche dei singoli elementi strutturali:

- peso proprio strutture;
- carichi permanenti non strutturali;
- sovraccarico variabile;
- azione sismica;
- azione del vento;
- effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli.
- azione della neve;
- variazioni termiche;
- Spinta terreno
- Spinta idrostatica vasca (non considerata a vantaggio di sicurezza)

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

6.1 Peso proprio strutture

6.1.1 Solaio di copertura

È realizzato con lastre predalles in cemento armato di altezza 20 cm alleggerite con polistirene espanso.

Solaio in lastre Predalles (H =4+12+4=22cm) lastra larga 1,20 m.

Predalles (s = 4cm) 25x0,04x1,20=1,2 kN;

Nervatura centrale (h=12 cm, s=14 cm) 25x0,12x0,14= 0,42 kN;

Nervature laterali (h=12 cm, s=13 cm) 2x25x0,12x0,13= 0,78 kN;

Soletta superiore (s=4 cm) 25x0,04x1,20= 1,2 kN;

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Alleggerimento in polistirene espanso (h=12 cm, s=40 cm) $2 \times 0,15 \times 0,4 \times 0,12 = 0,0144$ kN.

Peso totale di una lastra larga 1,20 m: $G = 1,2 + 0,42 + 0,78 + 1,2 + 0,014 = 3,61$ kN

Peso totale a metro quadrato = $3,61 / 1,20 = 3,00$ kN/m²

6.1.2 Solaio piano terra

È realizzato con una soletta piena in c.a di spessore pari a 0.30m il cui peso è computato in automatico dal programma di calcolo, e da un vespaio areato ad igloo il cui peso è stato assunto cautelativamente pari a 0.5 kN/m².

6.1.3 Struttura principale in c.a.

Il peso proprio delle travi e dei pilastri, viene calcolato automaticamente dal programma considerando il peso specifico del cemento armato pari a :

$$\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$$

6.2 Carichi permanenti non strutturali

- Tamponamenti esterni

Il rivestimento esterno è ottenuto mediante pannelli di tamponamento prefabbricati in calcestruzzo di spessore pari a 22 cm (pannello a taglio termico) il cui peso è pari a **3,60 kN/m²**.

Il peso per unità di superficie moltiplicato per l'altezza totale del singolo pannello h=5,00 m, trascurando le eventuali aperture, è pari a 18 kN/m, che è il peso a metro lineare del pannello.

Considerando che il pannello viene fissato alle travi di elevazione e al cordolo in c.a. posto al di sopra della trave rovescia, il peso da applicare alle travi perimetrali di elevazione e a quelle di fondazione è pari a **9 kN/m**.

- Carichi permanenti non strutturali agenti in copertura

Incidenza zone piene solaio	0,20	kN/m ²
Massetto delle pendenze	0,60	kN/m ²

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	19 di 118

Strato coibente	0,10	kN/m ²
Guaina di impermeabilizzazione	0,10	kN/m ²
Malta di allettamento (2 cm)	0,40	kN/m ²
Pavimento	0,50	kN/m ²
Intonaco intradosso	0,30	kN/m ²
Incidenza impianti	0,30	kN/m ²
Controsoffitto	0,10	kN/m ²
Totale carico:	2.60	kN/m²

- Carichi permanenti non strutturali agenti su solaio a piano terra

Si assume cautelativamente un peso di 1.5 kN/m².

6.3 Sovraccarico accidentale

Il sovraccarico assunto per la copertura è pari a 0,50 kN/m².

6.4 Carico della neve sulla copertura

☉	<u>Zona I - Alpina</u> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	$q_{rk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{rk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
☉	<u>Zona I - Mediterranea</u> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{rk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{rk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
☉	<u>Zona II</u> Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{rk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{rk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
☉	<u>Zona III</u> Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{rk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{rk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	20 di 118

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/mq])} = \mu_r q_{sk} C_E C_t$$

μ_r (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])

C_E (coefficiente di esposizione)

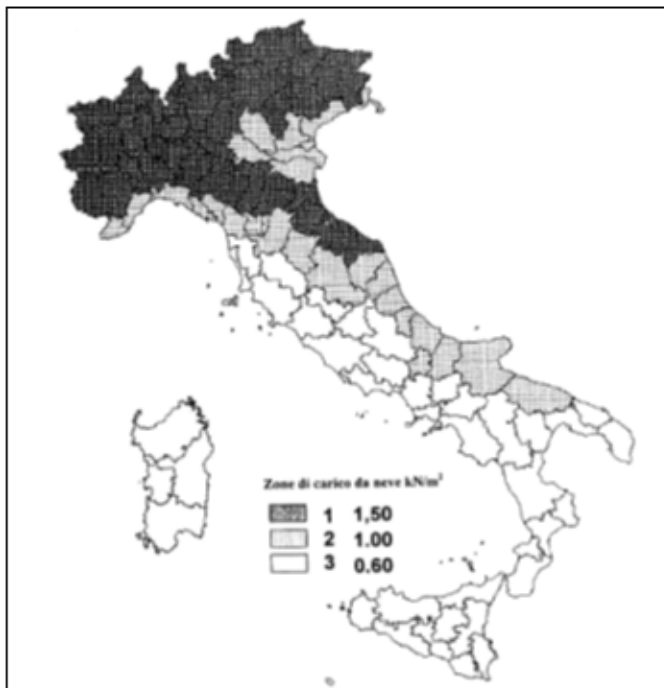
C_t (coefficiente termico)

Valore caratteristico della neve al suolo

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	180
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	0.60

Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.



Coefficiente di esposizione

Topografia	Descrizione	C_E
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

Valore del carico della neve al suolo

q_s (carico della neve al suolo [kN/mq])	0.60
--	------

Valore del carico della neve al suolo

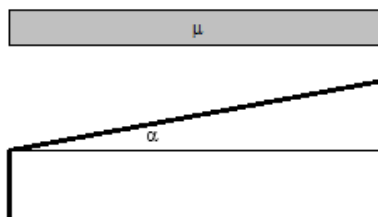
q_s (carico della neve al suolo [kN/mq])	0.60
--	------

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

α (inclinazione falda [°])	0
-----------------------------------	---

μ	0.8
-------	-----

0.48 kN/mq



Pertanto le azioni sui singoli elementi della copertura sono pari a:

C_E	1
C_t	1
μ	0.8
q_{sk}	0.6

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura)} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

6.5 Azione del vento

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
3	27	500	0.02
a_s (altitudine sul livello del mare [m])	180		
T_R (Tempo di ritorno)	50		
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_s (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b (T_R = 50 \text{ [m/s]})$	27.000		
$\alpha_R (T_R)$	1.00073		
$v_b (T_R) = v_b \cdot \alpha_R$ [m/s]	27.020		

p (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$
q_b (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
C_e (coefficiente di esposizione)
C_p (coefficiente di forma)
C_d (coefficiente dinamico)



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

q_b [N/mq]	456.29
--------------	--------

Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

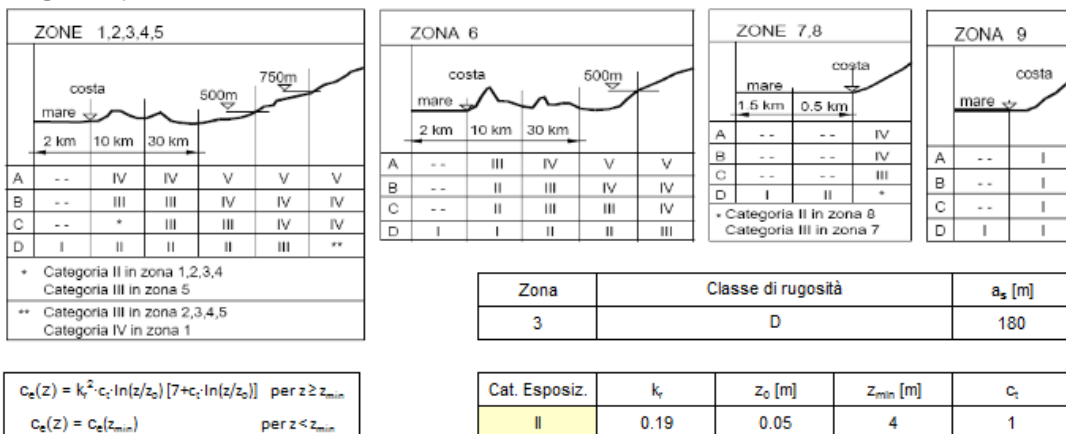
Esso può essere assunto autolativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di

Coefficiente di esposizione

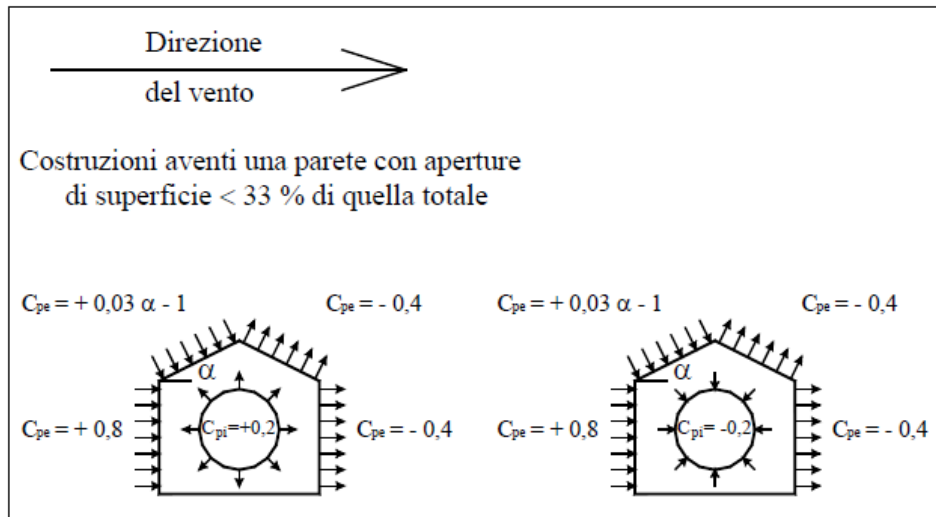
Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione


Coefficiente di forma (o aerodinamico):

Per la determinazione del coefficiente di forma si fa riferimento a quanto riportato nel paragrafo 3.3.10.1 della Circolare del 2/02/2009 in relazione a quanto riassunto nella figura seguente:



Per il carico sopravvento si assume $c_p = + 0,8$;

per il carico sottovento si assume $c_p = - 0,4$;

in copertura si assume $c_p = - 0,4$;

per costruzioni che hanno una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale, la pressione interna si assumerà $c_{pi} = \pm 0,2$.

<u>Azione Normale Vento</u>		
q_b	0.456	kN/m ²
c_d	1	
$c_e(z)$	1.93	
c_{p1} (Copertura)	- 0.20	
c_{p2} (Elementi Verticali - Sopravento)	+ 1.00	
c_{p3} (Elementi Verticali – Sottovento)	- 0.20	
p_1 (Pressione vento in copertura)	-0,176	kN/m ²
p_2 (Pressione vento elementi verticali - Sopravento)	+ 0.88	kN/m ²
p_3 (Pressione vento elementi verticali - Sottovento)	-0.176	kN/m ²

6.6 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli

In accordo con quanto previsto nelle "Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari" (Documento RFI n° RFIDTCICIPSPINF001A) si considera l'effetto aerodinamico associato al passaggio dei treni. Tali prescrizioni si riscontrano anche al punto 5.2 della NTC2008 relativo ai ponti ferroviari. Le azioni possono essere schematizzate mediante carichi equivalenti agenti nelle zone prossime alla testa ed alla coda del treno, il cui valore viene determinato con riferimento alla seguente situazione:

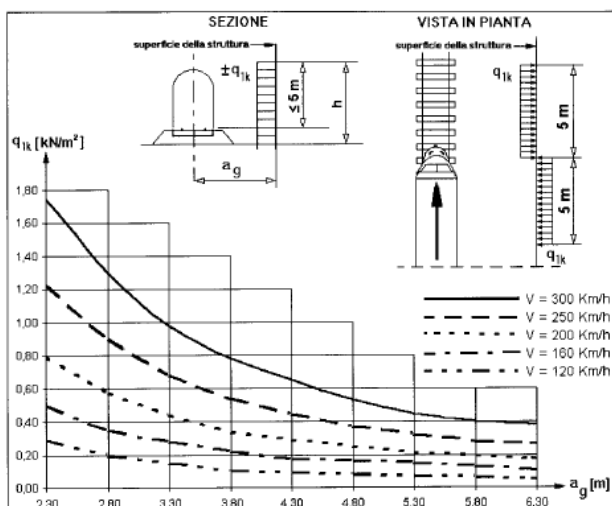
Superfici verticali parallele al binario (5.2.2.7.1 – NTC2008):

il valore caratteristico dell'azione $\pm q_{1k}$ agente ortogonalmente alla superficie verticale di facciata del fabbricato viene valutato in funzione della distanza a_g dall'asse del binario più vicino. Supponendo che la distanza minima da garantire da ostacolo fisso, quale può essere un fabbricato, in assenza di organi respingenti è:

$$a_g = 5.00 \text{ m};$$

a tale valore di a_g corrisponde il seguente valore dell'azione q_{1k} prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata secondo quanto riportato nella figura successiva in base alla velocità $V = 300 \text{ km/h}$ e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli (a vantaggio di sicurezza):

$$q_{1k} = 0.70 \text{ kN/m}^2$$



Si considerano pertanto le condizioni di carico elementari:

AerodA) pressione dovuta al passaggio dei treni in arrivo (per una fascia di 5 m);

AerodB) pressione (fascia di 5 m) e depressione (fascia di 5 m) dovuti al passaggio dei treni in avanzamento.

6.7 Variazioni termiche

Nel caso in cui la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura è consentito tener conto, per gli edifici, della sola componente ΔT_u , ricavandola direttamente dalla Tab. 3.5.II delle NTC 2008 che viene riportata nel seguito.

Nel caso in cui la temperatura costituisca, invece, azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura, l'andamento della temperatura T nelle sezioni degli elementi strutturali deve essere valutato più approfonditamente studiando il problema della trasmissione del calore.

Tabella 3.5.II – Valori di ΔT_u per gli edifici

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	± 15 °C
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	± 10 °C
Strutture in acciaio esposte	± 25 °C
Strutture in acciaio protette	± 15 °C

Nel caso in esame, si tiene conto della sola componente ΔT_u e in particolare si assume $\Delta T_u = \pm 15$ °C per tutta la struttura.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

6.8 Azione sismica

Sulla base di quanto riportato al paragrafo 5 si riporta nel seguito lo spettro elastico e di progetto allo SLV utilizzato per condurre l'analisi dinamica lineare della struttura.

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato mediante la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione.

Un problema importante è la scelta del valore base del coefficiente di comportamento q_0 , che risulta legato alla tipologia strutturale ed al livello di duttilità attesa. Osservando le tipologie strutturali riportate al punto 7.4.3.1 – NTC2008 si evince che l'edificio in esame può essere riconducibile ad un sistema a telaio.

Per quanto riguarda il livello di duttilità attesa, si stabilisce di progettare il fabbricato in accordo con un comportamento strutturale dissipativo caratterizzato da Classe di Duttilità bassa (CD" B").

Pertanto, in base alla tabella 7.4.I delle NTC 2008, il coefficiente di comportamento q_0 può essere valutato come segue:

$$q_0 = 3.0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

Trattandosi di una struttura a telaio ad un solo piano ed una sola campata in direzione trasversale, in accordo con il paragrafo 7.4.3.2 delle NTC 2008, si assume:

$$\alpha_u / \alpha_1 = 1.1$$

Tuttavia la costruzione risulta NON regolare in pianta in quanto NON soddisfa il requisito b) riportato nel paragrafo 7.2.2 delle NTC 2008.

Essendo, poi, la struttura anche regolare in altezza si può assumere $K_R=1$.

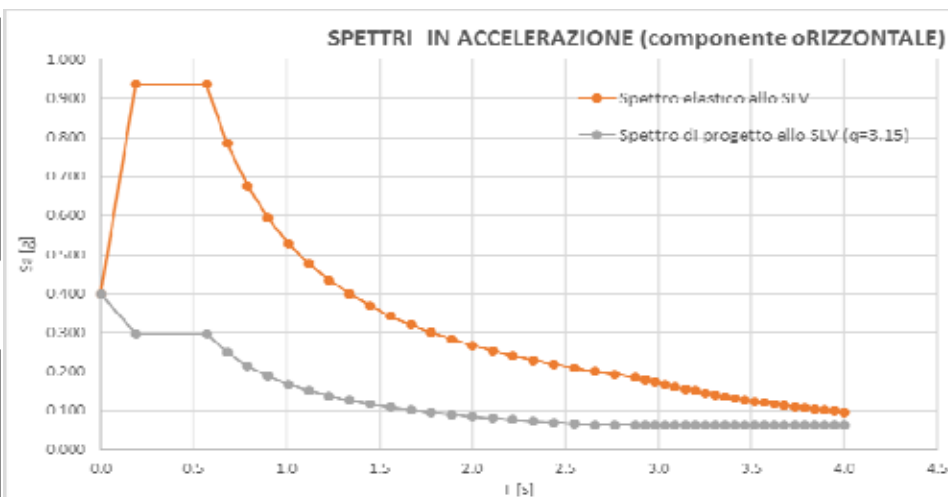
Pertanto il fattore di struttura al quale si farà riferimento per la definizione dello spettro di progetto è $q = 3,15$.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.319 g
F_o	2.344
T_C	0.402 s
S_S	1.251
C_C	1.418
S_T	1.000
q	3.150

Parametri dipendenti

S	1.251
η	0.317
T_B	0.190 s
T_C	0.570 s
T_D	2.876 s



Poiché il fabbricato è dotato di solai che presentano luce inferiore a 8 m, non è stata considerata la componente verticale dell'azione sismica, come stabilito al punto 7.2.1 delle NTC2008.

6.9 Spinta terreno

La spinta del terreno è valutata in condizioni di spinta a riposo e quindi con coefficiente di spinta $K_0=1-\sin\phi$.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 27 di 118

7. MODELLO STRUTTURALE E COMBINAZIONI DI CARICO

7.1 Considerazioni generali sul modello di calcolo

Il sistema costruttivo che caratterizza il fabbricato tecnologico in c.a. è costituito, in elevazione, da un telaio spaziale realizzato mediante la rigida connessione di travi e pilastri, e in fondazione, da travi rovesce.

Lo step del lavoro relativo al calcolo computazionale e alla definizione dell'output, in termini di caratteristiche di sollecitazione e deformazioni per i vari elementi strutturali, prevede un approccio preliminare basato sulla modellazione della struttura attraverso un processo di discretizzazione agli elementi finiti facendo riferimento ad un modello elastico. Il modello è stato realizzato ed analizzato con l'ausilio del programma di calcolo MIDAS CIVIL. Gli elementi strutturali, travi e pilastri in elevazione e graticcio, sono stati schematizzati mediante elementi monodimensionali tipo *frame*. Essi presentano caratteristiche geometriche e meccaniche in accordo con le proprietà reali dei materiali e delle sezioni che li rappresentano. Ciascuna asta è stata posizionata in corrispondenza dell'asse baricentrico degli elementi strutturali. La struttura interrata è stata invece modellata con elementi di tipo shell. L'interazione tra terreno e struttura è stata studiata ipotizzando un comportamento elastico del terreno. L'intera struttura è poggiata a terra su un letto di molle alla Winkler la cui rigidezza viene assegnata per unità di lunghezza di elemento. Il coefficiente di fondazione (Winkler) adottato nel modello è pari a $K = 15000 \text{ kN/m}^3$. L'analisi degli effetti dovuti all'azione sismica prevede la definizione delle masse strutturali partecipanti all'eccitazione dinamica dovuta al terremoto. Pertanto nel modello le masse strutturali coincidono con i carichi caratteristici permanenti strutturali e non strutturali e con il 30% dei carichi di esercizio. La presenza del solaio di copertura è stata modellata mediante un vincolo di diaframma al livello di copertura, oltre che con l'assegnazione dei carichi alle travi. L'assegnazione dei carichi alle travi è stata effettuata sulla base della tessitura dei solai secondo il criterio della larghezza d'influenza. Agli elementi in elevazione è stato assegnato un carico termico, pari a quello riportato nell'analisi dei carichi.

Seguono alcune immagini rappresentative del modello di calcolo:

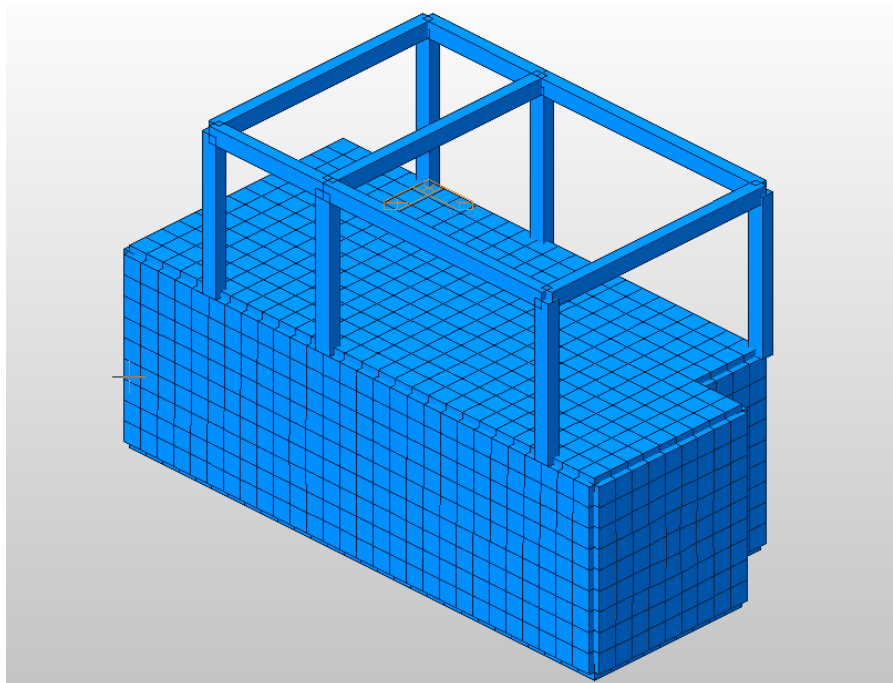


Figura 7-1 - Vista estrusa del modello.

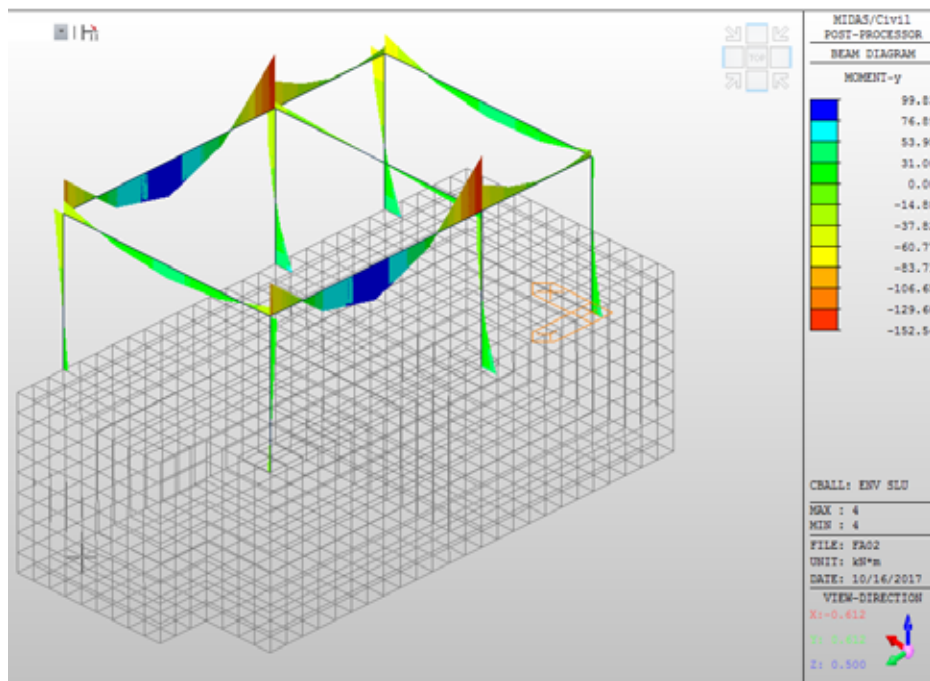


Figura 7-2 Diagramma dei momenti My – COMB_INV_SLU

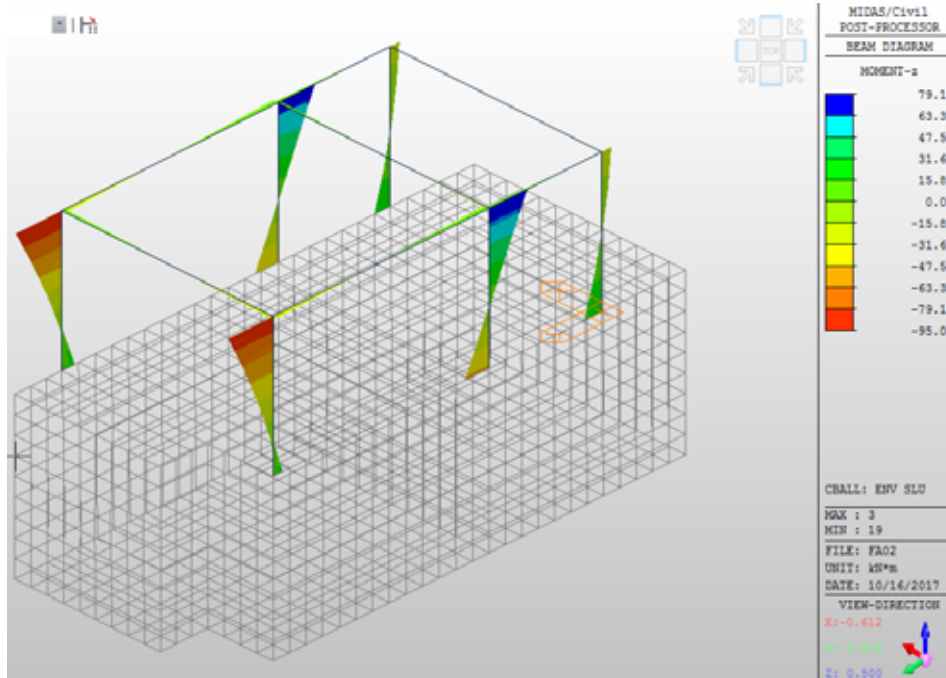


Figura 7-3 Diagramma dei momenti M_z - COMB_INV_SLU

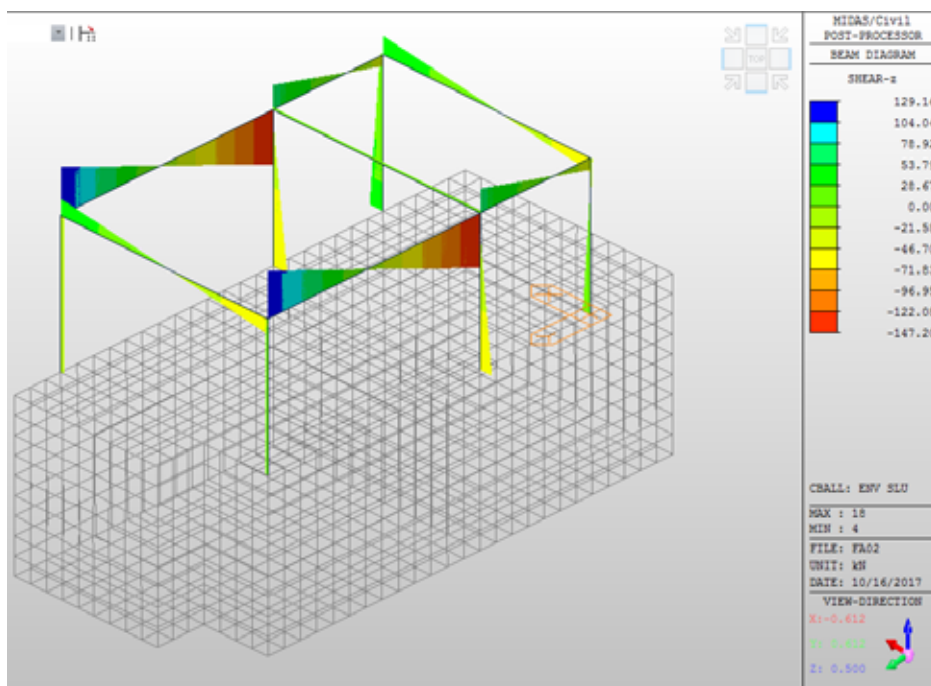


Figura 7-4 Diagramma del taglio V_z – COMB_INV_SLU.

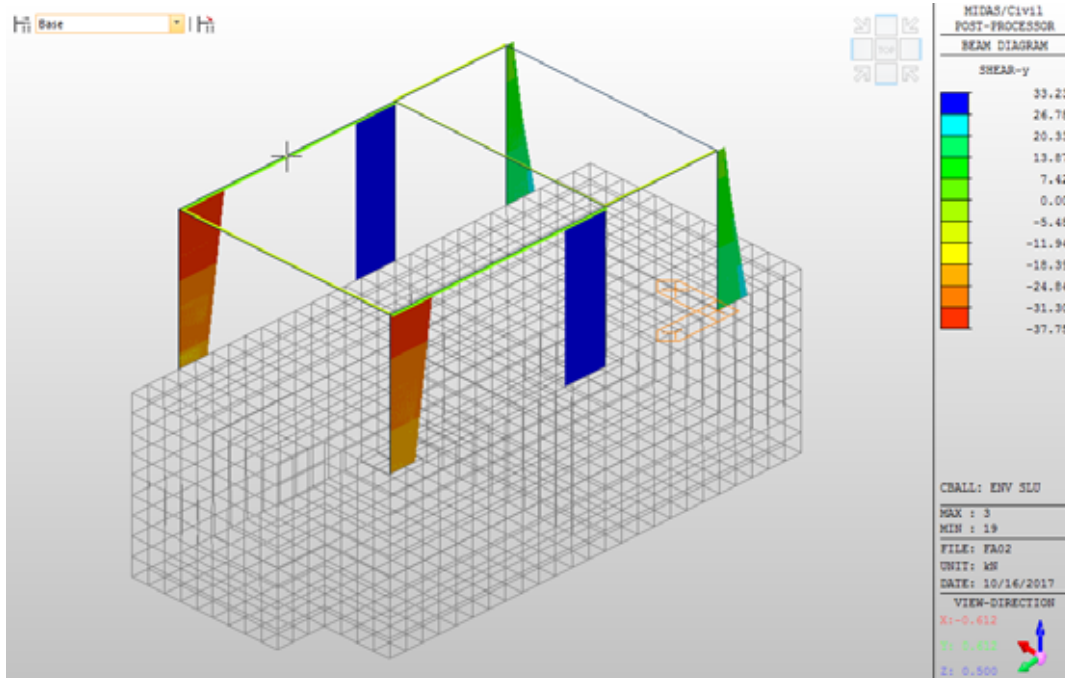


Figura 7-5 Diagramma del taglio V_y – COMB_INV_SLU.

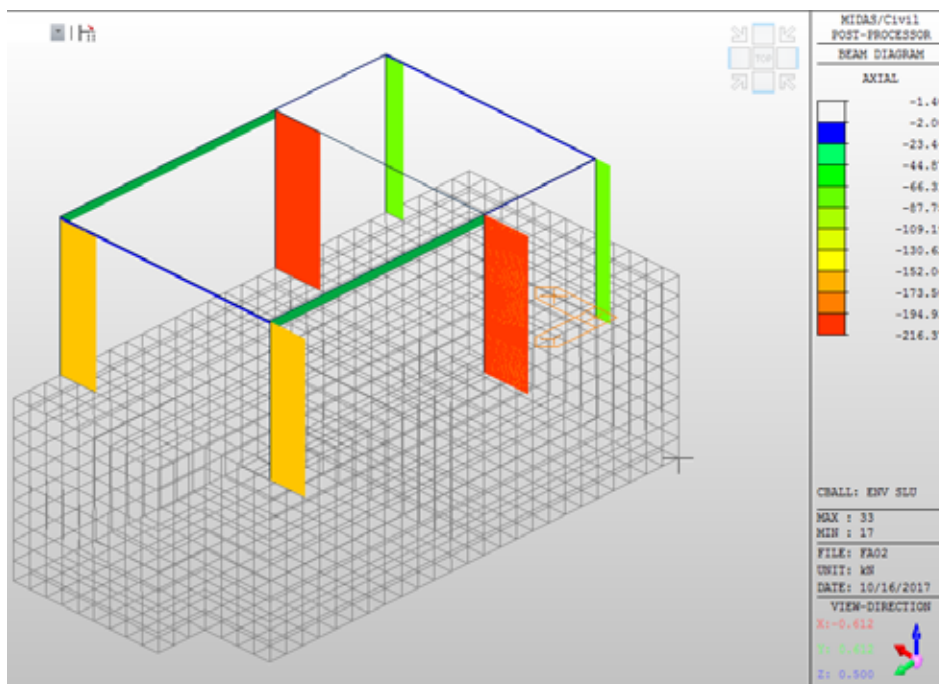


Figura 7-6 Diagramma dello sforzo assiale P – COMB_INV_SLU.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

7.2 Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2008).

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 caratteristica (frequente), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

Combinazione caratteristica (quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (SLE):

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

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:

1. Azioni Permanenti (G);
2. Azioni Variabili (Q);
3. Azioni di Precompressione (P);
4. Azioni Eccezionali (A);
5. Azioni Sismiche (E);

Le combinazioni delle azioni che sono state adottate per lo SLU sono riportate nelle tabelle seguenti, indicando nella casella, corrispondente all'azione coinvolta, il moltiplicatore dei carichi in funzione della

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

combinazione considerata. Per quanto riguarda le azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli, sono stati utilizzati coefficienti di combinazione Ψ riportati nella tabella 5.2.VI delle NTC2008.

Si precisa che, data la simmetria della struttura, si sono individuate le combinazioni delle azioni tali da risultare maggiormente gravose e sbilanciati per la costruzione in esame.

Per quanto concerne la combinazione delle altre azioni con l'azione sismica è necessario garantire il rispetto degli stati limite, quali definiti al punto 3.2.1 – NTC2008, effettuando opportune verifiche di sicurezza. Ciascuna di esse garantisce, per ogni stato limite, quindi per il corrispettivo livello di azione sismica, il raggiungimento di una data prestazione da parte della costruzione nel suo complesso. Le verifiche di sicurezza da effettuare sono riepilogate in funzione della classe d'uso nella tabella C7.1.I – Circolare2009. A riguardo, si evidenzia che le verifiche allo stato limite di collasso (SLC) devono essere eseguite necessariamente sulle sole costruzioni provviste di isolamento sismico.

Gruppo	Tipo	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Perm-Strutt	Permanente	1.35			
Perm-NON-Strutt	Permanente	1.5			
Spinta terreno	Permanente	1.35			
temp	Accidentale	1.5	0.6	0.6	0.5
Neve (<100mslm)	Accidentale	1.5	0.5	0.2	0
Vento+eff.Aerod*	Accidentale/mobile	1.5	0.7	0.7	0
Variabili-copertura (cat.E)	Accidentale	1.5	0	0	0
Folla/macchinari vasche	Accidentale	1.5	1	0.9	0.8
Sisma	Sismico	1			

*Si assumono valori di Ψ medi tra quelli applicabili per il vento e per gli effetti aerod. Presi singolarmente

	COMBINAZIONI	Perm-Strutt	Perm NON-Strutt	Spinta terreno	Temp	Neve	Vento+ef f.Aerod	Variabili-copertura	Folla/maccchinari vasche	Sisma x	Sisma y
1	1_SLU	1.35	1.5	1.35	1.5	0.75	1.05	0	1	-	-
2	2_SLU	1.35	1.5	1.35	0.9	1.5	1.05	0	1	-	-
3	3_SLU	1.35	1.5	1.35	0.9	0.75	1.5	0	1	-	-
4	4_SLU	1.35	1.5	1.35	0.9	0.75	1.05	1.5	1	-	-
5	1_SLE (RARA)	1	1	1	1	0.5	0.7	0	1	-	-
6	2_SLE (RARA)	1	1	1	0.6	1	0.7	0	1	-	-
7	3_SLE (RARA)	1	1	1	0.6	0.5	1	0	1	-	-
8	4_SLE (RARA)	1	1	1	0.6	0.5	0.7	1	1	-	-
9	1_SLE (FREQ.)	1	1	1	0.6	0	0	0	0.9	-	-
10	2_SLE (FREQ.)	1	1	1	0.5	0.2	0	0	0.9	-	-
11	3_SLE (FREQ.)	1	1	1	0.5	0	0	0	0.9	-	-
12	1_SLE (Q.P.)	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	-	-
13	SISMA 1	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	1	0.3
14	SISMA 2	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	-1	0.3
15	SISMA 3	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	1	-0.3
16	SISMA 4	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	-1	-0.3
17	SISMA 5	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	0.3	1
18	SISMA 6	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	-0.3	1
19	SISMA 7	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	0.3	-1
20	SISMA 8	1	1	1	0.5	0	0	0	0.8	-0.3	-1

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

8. VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si riportano le verifiche relative agli elementi strutturali principali della struttura.

8.1 Solaio di copertura

Il solaio si considera, a vantaggio di sicurezza, come una trave semplicemente appoggiata, con campata di luce pari a $L = 6.55$ m. Con riferimento all'analisi dei carichi, di seguito si riportano le caratteristiche di sollecitazioni significative. La verifica viene condotta in riferimento al singolo travetto (interasse $i = 0.54$ m).

Si considera agente il peso proprio dell'intero solaio, il carico della neve, il carico del vento ed il sovraccarico variabile. Lo schema è quello di trave semplicemente appoggiata per il dimensionamento della sezione in campata e di trave doppiamente incastrata per le sezioni di appoggio.

Carichi Permanenti:	G :	5.6	=	6.73
Carico Neve:	QN:	0.5	=	0.58
Carico Totale SLU:		9.6	$1,3 G + 1,5 QN$	
Carico Totale SLE rara:		7.3	$G + QN$	
Carico Totale SLE frequente:		6.8	$G + 0,2 \times QN$	
Carico Totale SLE quasi permanente:		6.7	$G + 0,0 \times QN$	

G e Q sono amplificati di 1.2

$$L = 6.55$$

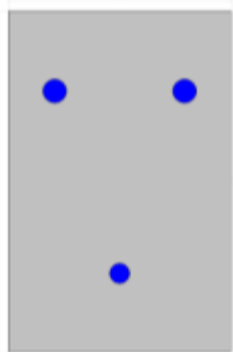
COMB.	Sollecitazioni	Campata	Appoggio
SLU	Mmax [kNm]	51.58	34.39
	Tmax [kN]	0	31.50
SLE rara	Mmax [kNm]	39.20	26.14
	Tmax [kN]	0	23.94
SLE freq	Mmax [kNm]	36.73	24.49
	Tmax [kN]	0	22.43
SLE QP	Mmax [kNm]	36.12	24.08
	Tmax [kN]	0	22.06

COMB.	Sollecitazioni (singolo travetto)	Campata	Appoggio
SLU	Mmax [kNm]	17.19	11.46
	Tmax [kN]	0.00	10.50
SLE rara	Mmax [kNm]	13.07	8.71
	Tmax [kN]	0.00	7.98
SLE freq	Mmax [kNm]	12.24	8.16
	Tmax [kN]	0.00	7.48
SLE QP	Mmax [kNm]	12.04	8.03
	Tmax [kN]	0.00	7.35

Di seguito si riportano la verifiche del singolo travetto. La verifica a flessione è stata condotta mediante il software PresFLE, per la sezione di appoggio e quella di campata, allo SLU.

Verifica di SLU a flessione

Sezione di appoggio

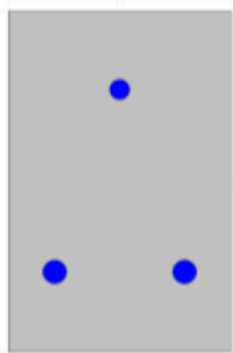


Il momento resistente del travetto è pari a:

$$M_{xRd} = 18,05 \text{ kNm} > M_{Ed} = 11,46 \text{ kNm}.$$

La verifica risulta soddisfatta.

Sezione di campata



Si considera la larghezza del travetto trascurando il contributo della soletta.

$$M_{xRd} = 18,05 \text{ kNm} > M_{Ed} = 17,19 \text{ kNm}.$$

La verifica risulta soddisfatta.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Verifica di SLU a taglio

La verifica a taglio si effettua considerando la larghezza effettiva del travetto centrale $b_w=13\text{cm}$.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.13)$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Resistenza al taglio di elementi senza armatura trasversale (eq. 4.1.14 NTC 2008)

h 200,000 mm

b_w 130,000 mm

c 50,000 mm

d 150,000 mm

A_{s1} 307,720 mm²

I strato d'armatura

A_s 153,860 mm²

ϕ 14,000 mm

n 2,000

f_{ck} 28,000 N/mm²

$$f_{ctm} = 2,766 \quad f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{ctk} = 1,936 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$$

$$\gamma_c = 1,500$$

$$\rho_l = 0,016$$

$$k = 2,000$$

$$V_{min} = 0,524$$

$$V_{Rd} = 16,545 \text{ kN} > V_{Ed}$$

La verifica risulta soddisfatta

In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio.

$$V_{Ed} = 10.50 \text{ kN} < T = A_s f_{yd} = 3,14 \cdot 6^2 \cdot 450 / 1,15 = 44233 \text{ N} = 44,23 \text{ kN}.$$

Verifica di fessurazione (SLE frequente)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	12.24	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	20	cm
-----------------	---	----	----



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	38 di 118

Larghezza sezione	B	13	cm					
Armatura compressa (1° strato)	As ₁ '	1,13	cm ²	1	Ø 12	C _{s1} =	5	cm
Armatura compressa (2° strato)	As ₂ '	0,00	cm ²		Ø	C _{s2} =		cm
Armatura tesa (2° strato)	As ₂	0,00	cm ²		Ø	C _{t2} =		cm
Armatura tesa (1° strato)	As ₁	3,08	cm ²	2	Ø 14	C _{t1} =	5	cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	10,6	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	182,8	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	7,1	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	319	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	10245,3	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	4507,93	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess} *	2	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k _t	0,4		
Altezza efficace	d _{eff}	4,3	cm	
Area efficace	A _{Ceff}	55,8571	cm ²	
Armatura nell'area efficace	As	3,1	cm ²	
	ρ _{p,eff}	0,05512		
Resistenza cilindrica media	f _{cm}	37,1	N/mm ²	
Modulo elastico del cls	E _{cm}	32.588	N/mm ²	
	α _E	6,4		
Deform. media dell'arm. - quella del cls	ε _{sm} - ε _{cm}	0,00055		
	k ₁	0,8		
	k ₂	0,5		

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	39 di 118

	k_3	3,4	
	k_4	0,425	
Copriferro netto	c'	4,3	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	14,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$S_{r,max}$	18,9	cm
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,18	mm

Tipo di armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Stato limite	Frequente
Valore limite di apertura delle fessure	$w_3=0.4$ mm

Verifica di fessurazione (SLE quasi permanente)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	12.04	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	20	cm
Larghezza sezione	B	13	cm
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	1,13	cm ²
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	0,00	cm ²
		1	\varnothing 12
		$c_{s1} =$	5 cm
		\varnothing	$c_{s2} =$
			cm



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	40 di 118

Armatura tesa (2° strato)	As ₂	0,00	cm ²	∅	c ₂ =	cm
Armatura tesa (1° strato)	As ₁	3,08	cm ²	2 ∅ 14	c ₁ =	5 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	7,8	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	129,4	N/mm ²

Eccentricità e (M) ∞ cm > H/6 Sez. parzializzata

u (M) ∞ cm

Posizione asse neutro y (M) 7,1 cm

Area ideale (sez. int. reagente) A_{id} 319 cm²

Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.) J_{id} 10245,3 cm⁴

Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0) J_{id*} 4507,93 cm⁴

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fress*}	2	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k _t	0,4		
Altezza efficace	d _{eff}	4,3	cm	
Area efficace	A _{Ceff}	55,8571	cm ²	
Armatura nell'area efficace	As	3,1	cm ²	
	ρ _{p,eff}	0,05512		
Resistenza cilindrica media	f _{cm}	37,1	N/mm ²	
Modulo elastico del cls	E _{cm}	32.588	N/mm ²	
	α _E	6,4		
Deform. media dell'arm. - quella del cls	ε _{sm} - ε _{cm}	0,00048		
	k ₁	0,8		
	k ₂	0,5		
	k ₃	3,4		
	k ₄	0,425		

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	41 di 118

Copriferro netto	c'	4,3	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	14,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$S_{r,max}$	18,9	cm
Ampiezza delle fessure	wd = wk	0,18	mm

Tipo di armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Stato limite	Quasi permanente
Valore limite di apertura delle fessure	w2=0.3 mm

Verifica delle tensioni in esercizio

Si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} = 16,80 \text{ N/mm}^2 \text{ per combinazione caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 12,60 \text{ N/mm}^2 \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l'acciaio la tensione massima, σ_s , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2.$$

SLE rara:

$$\sigma_c = 11,80 \text{ N/mm}^2 < 0,60 f_{ck} = 12,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s = 195,60 \text{ N/mm}^2 < 0,8 f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2.$$

SLE quasi permanente:

$$\sigma_c = 7,80 \text{ N/mm}^2 < 0,45 f_{ck} = 12,60 \text{ N/mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 42 di 118

Verifica di deformabilità

Il calcolo della deformazione flessionale di solai e travi si effettua in genere mediante integrazione delle curvature tenendo conto della viscosità del calcestruzzo e, se del caso, degli effetti del ritiro.

Per il calcolo delle deformazioni flessionali si considera lo stato non fessurato (sezione interamente reagente) per tutte le parti della struttura per le quali, nelle condizioni di carico considerate, le tensioni di trazione nel calcestruzzo non superano la sua resistenza media f_{ctm} a trazione. Per le altre parti si fa riferimento allo stato fessurato, potendosi considerare l'effetto irrigidente del calcestruzzo teso fra le fessure.

Al riguardo detto p_f il valore assunto dal parametro di deformazione nella membratura interamente fessurata e p il valore assunto da detto parametro nella membratura interamente reagente, il valore di calcolo p^* del parametro è dato da

$$p^* = \zeta * p_f + (1 - \zeta) * p$$

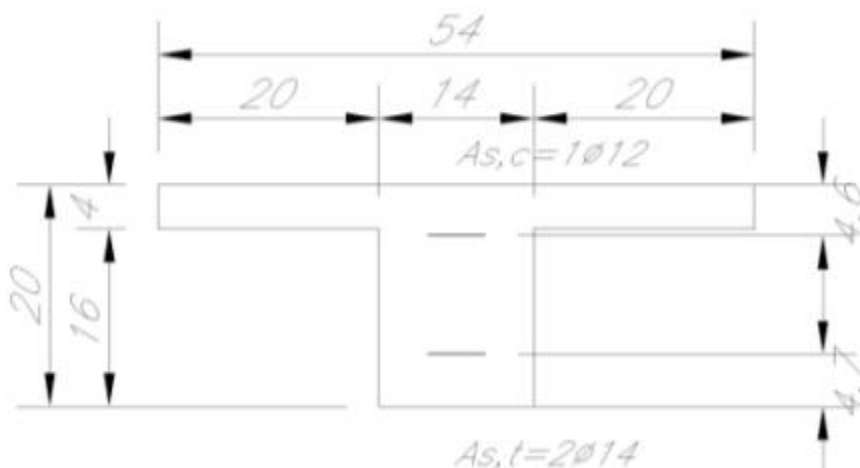
in cui:

$$\zeta = 1 - c\beta^2.$$

Nell'equazione precedente il fattore β è il rapporto tra il momento di fessurazione M_f e il momento flettente effettivo, $\beta = M_f / M$, o il rapporto tra la forza normale di fessurazione N_f e la forza normale effettiva, $\beta = N_f / N$, a seconda che la membratura sia soggetta a flessione o a trazione, e il coefficiente c assume il valore 1, nel caso di applicazione di un singolo carico di breve durata, o il valore 0,50 nel caso di carichi permanenti o per cicli di carico ripetuti.

Per quanto riguarda la salvaguardia dell'aspetto e della funzionalità dell'opera, le frecce a lungo termine di travi e solai, calcolate sotto la condizione quasi permanente dei carichi, non dovrebbero superare il limite di 1/250 della luce.

Si procede al calcolo considerando in favore di sicurezza il travetto centrale della predalle tipo, la cui rappresentazione grafica è riportata qui di seguito:



J^I = momento di inerzia sezione interamente reagente =

$$= (2 \cdot 200 \cdot 4^3 / 12 + 2 \cdot 200 \cdot 40 \cdot [(200 - 129) - 20]^2 + 200^3 \cdot 140 / 12 + 200 \cdot 140 \cdot [(200 - 129) - 100]^2) = 160630666,66 \text{ mm}^4$$

yc^I = asse neutro sezione interamente reagente =

$$= 200 - [2 \cdot 40 \cdot 200 \cdot (20 + 160) + 140 \cdot 200 \cdot 100] / (2 \cdot 40 \cdot 200 + 140 \cdot 200) = 200 - 129 = 71 \text{ mm}$$

$b = 540 \text{ mm}$;

$b_s = 140 \text{ mm}$;

$s = 40 \text{ mm}$;

$A_{s,t}$ = area armatura tesa = $2\text{Ø}14 = 308 \text{ mm}^2$;

$A_{s,c}$ = area armatura compressa = $1\text{Ø}12 = 113 \text{ mm}^2$;

$A_s = A_{s,t} + A_{s,c}$ = area totale armature;

d_G = distanza dal lembo compresso del baricentro delle armature =

$$d_G = \frac{\sum A_{s_i} \cdot d_i}{\sum A_{s_i}} = [308 \cdot (200 - 47) + 113 \cdot 46] = 124,3 \text{ mm}$$

A_{se} = area della soletta collaborante omogeneizzata ad acciaio concentrata a $s/2$ dal lembo compresso =

$$A_{se} = (b_s - b) \cdot s / n = (540 - 140) \cdot 40 / 15 = 1066,66 \text{ mm}^2$$

$$d_t = (d_G \cdot A_s + d_e \cdot A_{se}) / A_t = 34,82 \text{ mm}$$

n = coefficiente di omogeneizzazione = 15;

$$A_t = A_{se} + A_{s,t} + A_{s,c} = 1488 \text{ mm}^2$$

$$yc^{II} = \text{asse neutro sezione fessurata} = n \cdot A_t / b \cdot [(1 + 2 \cdot b \cdot d_t / n \cdot A_t)^{1/2} - 1] = 34,82 \text{ mm}$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

$J^I =$ momento d'inerzia sezione fessurata = $1/3 * [b_s y_c^3 - (b_s - b) * (y_c - s)^3] + n * \sum A_{si} * (y_c - d_i)^2 = 119353773,6 \text{ mm}^4$;

$M_f =$ momento di fessurazione = $f_{ctm} * J^I / (h - y_c) = 2562867,85 \text{ Nmm} = 2,56 \text{ kNm}$;

$\beta = M_f / M_d = 2,56 / 4,93 = 0,52$;

$c = 0,50$;

$\zeta = 1 - c\beta^2 = 1 - 0,5 * 0,52^2 = 0,86$;

$q = 6,72 \text{ kN/m}$ = carico SLE quasi permanente;

$p_f = (5/384) * q * L^4 / (E * J^I) = 7,06 \text{ mm}$;

$p = (5/384) * q * L^4 / (E * J^I) = 5,25 \text{ mm}$;

$$p^* = \zeta * p_f + (1 - \zeta) * p = 6,80 \text{ mm} < L/250 = 6550/250 = 26,20 \text{ mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

8.2 Travi trasversali (30x40)

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle travi secondarie aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x40 cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limite ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto della combinazione di carico più gravose.

TRAVI TRASVERSALI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
29	env SLU(all)	-10.22	-2.15	-41.11	-0.28	-26.29	-6.76
	env SLU(all)	-10.22	-2.15	1.99	-0.28	37.04	0.03
	env SLU(all)	-10.22	-2.15	44.51	-0.28	-36.21	6.81
33	env SLU(all)	-2.33	-1.18	6.2	-0.04	22.03	-3.73
	env SLU(all)	-2.33	-1.18	6.2	-0.04	2.48	-0.02
	env SLU(all)	-2.33	-1.18	6.2	-0.04	-17.07	3.69
34	env SLU(all)	-8.75	0.48	-37.52	-0.16	-15.56	1.49
	env SLU(all)	-8.75	0.48	7.17	-0.16	36.5	-0.02
	env SLU(all)	-8.75	0.48	49.7	-0.16	-53.08	-1.52

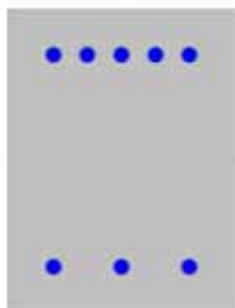
- Verifica di resistenza allo SLU

Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)).

In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale della trave perimetrale tipo:

1) Zone d'appoggio:

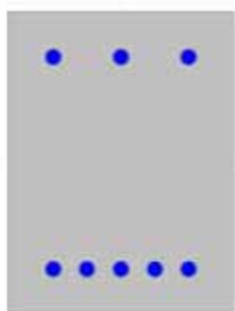
- Armatura superiore 5 Φ 20
- Armatura inferiore 3 Φ 20



2) Campata:

- Armatura superiore 3 Φ 20
- Armatura inferiore 5 Φ 20

In aggiunta, fuori calcolo, andranno disposti 2 Φ 12 come ferri di parete.

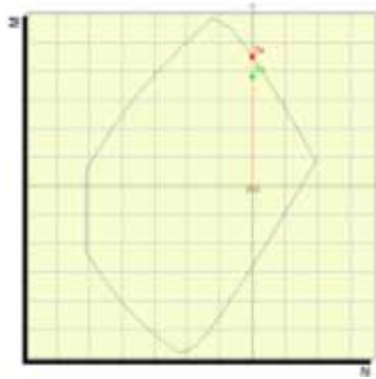


a) Verifica a flessione semplice:

Le verifiche di resistenza a flessione allo SLU (NTC2008 – 4.1.2.1.2.4) per le sezioni di appoggio e di campata sono state condotte con il supporto del software PresFLE considerando le sollecitazioni riportate nei prospetti precedenti.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

SEZIONE A – APPOGGIO



Il momento flettente massimo nella sezione considerata tende le fibre superiori. Dalla verifica si evince che il momento massimo di calcolo (M_{3min}) è inferiore al valore ultimo, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

$$M_{Ed} = M_3 = 54 \text{ kNm} < M_{Rd} = 179,84 \text{ kNm}$$

SEZIONE B – CAMPATA:

Il momento flettente massimo nella sezione considerata tende le fibre inferiori.

Dato che l'armatura in campata è speculare, rispetto all'asse baricentrico orizzontale della sezione, all'armatura in appoggio dalla verifica precedente si evince che il momento massimo di calcolo (M_{3max}) è inferiore al valore ultimo, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

$$M_{Ed} = M_3 = 37 \text{ kNm} < M_{Rd} = 179,84 \text{ kNm}$$

b) Verifica a taglio:

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo V_{Ed} si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

plasticizzazione (generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza γ_{Rd} assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2008 – 4.1.2.1.3.2):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

V_d = Valore di calcolo del taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

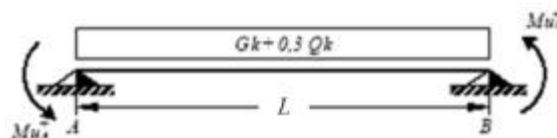
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

dove:

α : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

θ : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.

• **1° Schema:**

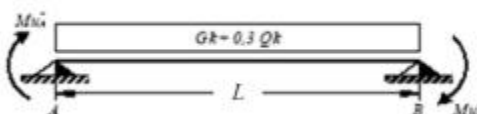


Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^+ + Mu_B^+}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0.3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

• **2° Schema:**



Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

Si riporta di seguito un prospetto riepilogativo con i valori delle sollecitazioni taglianti ottenute seguendo la metodologia descritta e riportata negli schemi precedenti:

Determinazione taglio di calcolo						
Base	0,30	m	$M_{uA}^{(+)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uA}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(+)}$ (kNm)
Altezza	0,40	m	111,56	179,84	179,84	111,56
L_{trave}	6,30	m				
$L_{influenza}$	4,20	m	1° Schema		2° Schema	
Peso proprio trave	3,00	kN/m	V_A (kN)	V_B (kN)	V_A (kN)	V_B (kN)
Carico solaio	3,00	kN/m ²	118,95	-48,12	140,63	-26,45
Carico perm. non strutt.	2,60	kN/m ²				

G_k	26,52	kN/m	V_2 (output) =	166,08	kN
Y_α	0,30	[-]	V_{Ed} =	166,08	kN
Q_k	0,00	kN/m			
Y_{Rd}	1,00	[-]			

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è maggiore del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000 ($V_2=166,08$ kN) si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$$V_{Ed-max} = 166,08 \text{ kN}$$

Verifica a taglio

Base (m)	0,30
Altezza (m)	0,40
Copriferro (m)	0,06
Alt. Utile (m)	0,34
A_{sw} (m ²)	0,00016
\varnothing (mm)	10,00
s (V_{Ed-max}) (m)	0,11
V_{Ed-max} (kN)	168,33
f_{yd} (kN/m ²)	391304,35
f_{cd} (kN/m ²)	15866,67

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

f_{cd} (kN/m²) 7933,33

s (progetto) (m) 0,08

V_{Rcd} (kN) 364,14

V_{Rsd} (kN) 234,99

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) \geq V_{Ed-max}$

V_{Rd} (kN) **234,99**

La verifica risulta soddisfatta.

Si adotteranno nelle zone d'appoggio, per un tratto pari ad 80cm dal filo esterno del pilastro, staffe $\Phi 10 / 8$ cm, per il rispetto dei limiti normativi, mentre nelle zone centrali di campata staffe $\Phi 10 / 15$ cm.

c) Verifica a torsione:

La verifica di resistenza nei confronti della torsione (SLU) (NTC2008 – 4.1.2.1.4) consiste nel controllare che:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

dove T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente.

Per elementi prismatici sottoposti a torsione semplice o combinata con altre sollecitazioni, che abbiano sezione piena o cava, lo schema resistente è costituito da un traliccio periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

Con riferimento al calcestruzzo la resistenza si calcola con:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \tau \cdot \phi'_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}\theta)$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

dove t è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene $t = A_c/u$ dove A_c è l'area della sezione ed u è il suo perimetro; t deve essere assunta comunque ≥ 2 volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale.

Le armature longitudinali e trasversali del traliccio resistente devono essere poste entro lo spessore t del profilo periferico. Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo detto profilo, ma comunque una barra deve essere presente su tutti i suoi spigoli.

Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza si calcola con:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot (A_s/s) \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza si calcola con:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot (\Sigma A_l/u_m) \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

dove si è posto:

A area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

A_s area delle staffe;

u_m perimetro medio del nucleo resistente;

s passo delle staffe;

ΣA_l area complessiva delle barre longitudinali.

L'inclinazione θ delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti

$$0,4 \leq ctg \theta \leq 2,5$$

Entro questi limiti, nel caso di torsione pura, può porsi $ctg \theta = (a_l/a_s)^{1/2}$

con: $a_l = \Sigma A_l / u_m$

$$a_s = A_s / s$$

La resistenza alla torsione della trave è la minore delle tre sopra definite:

Calcestruzzo

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,4
t (m)	0,09
A (m ²)	0,07
f _{cd} (kN/m ²)	7933,333
cotgθ (-)	0,33
a ₁	0,0002
a _s	0,0020
T_{Rcd} (kNm)	22,73

Staffe Trasversali

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,40
t (m)	0,09
A _s (m ²)	0,0002
A (m ²)	0,07
s _(prog.) (m)	0,08
f _{yd} (kN/m ²)	391304,35
cotgθ (-)	0,33
T_{Rsd} (kNm)	34,15

Armatura Longitudinale

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,4
t (m)	0,09
u _m (m)	1,06
□A _l (m ²)	0,000226
A (m ²)	0,07
f _{yd} (kN/m ²)	391304,3
cotgθ (-)	0,33
T_{Rsd} (kNm)	34,15

$$T_{Ed} \text{ (kNm)} \quad \mathbf{1,00}$$

$$T_{Rd} \text{ (kNm)} = \min (T_{Rcd}; T_{Rsd}; T_{Rsd}) = \quad \mathbf{22,73}$$

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo. Per non eccedere tale resistenza deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$T_{Ed} / T_{Rcd} + V_{Ed} / V_{Rcd} < 1$$

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

$$T_{Ed} / T_{Rcd} = 0,04$$

$$V_{Ed} / V_{Rcd} = 0,46$$

$$= 0,51$$

La verifica risulta soddisfatta.

I ferri longitudinali con cui si è calcolata la resistenza T_{Rsd} sono i ferri di parete, non contemplati nelle verifiche a flessione.

d) Verifica limitazioni armatura:

In ogni sezione della trave, il rapporto geometrico ρ relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione A_s o quella al lembo inferiore della sezione A_i , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

$$\rho = A_s / (bh)$$

Rapporto geometrico relativo all'armatura tesa

$$\rho_{comp} = A_s' / (bh)$$

Rapporto geometrico relativo all'armatura compressa

In campata:

Armatura tesa

Dimensioni sezione

5 \emptyset 20 mm

b = 300 mm

h = 400 mm

$A_s =$ 1570 mm²

c = 60 mm

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	55 di 118

$$\rho = A_s / (bh) = 0,013083$$

Armatura compressa

$$3 \quad \emptyset \quad 20 \text{ mm}$$

$$A_s' = 942 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{comp}} = A_s' / (bh) = 0,00785$$

$$1,4 / f_{yk} = 0,003111$$

$$\rho_{\text{comp}} + 3,5 / f_{yk} = 0,015628 \quad \text{La verifica risulta soddisfatta.}$$

Agli appoggi:

Armatura tesa

Dimensioni sezione

$$5 \quad \emptyset \quad 20 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_s = 1570 \text{ mm}^2$$

$$c = 60 \text{ mm}$$

$$\rho = A_s / (bh) = 0,013083$$

Armatura compressa

$$3 \quad \emptyset \quad 20 \text{ mm}$$

$$A_s' = 942 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{comp}} = A_s' / (bh) = 0,00785$$

$$1,4 / f_{yk} = 0,003111$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 56 di 118

$$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0,015628$$

La verifica risulta soddisfatta.

L'armatura compressa non deve mai essere inferiore a un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0,25\rho$$

nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s'/(bh) = 0,00785$$

$$0,25\rho = 0,003271$$

La verifica risulta soddisfatta.

Nelle zone critiche (agli appoggi) l'armatura compressa non deve mai essere inferiore a metà di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0,50\rho$$

nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s'/(bh) = 0,00785$$

$$0,50\rho = 0,006542$$

La verifica risulta soddisfatta.

Le zone critiche si estendono, per CD”B”, per una lunghezza pari a 1,5 volte l’altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro o da entrambi i lati a partire dalla sezione di prima plasticizzazione.

Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 225 mm (per CD"B");
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche (per CD"B")
- 24 volte il diametro delle armature trasversali.

$$\begin{aligned}
 & d/4 = 85 \text{ mm} \\
 s = 80,00 \text{ mm} & < 225 \text{ mm} \\
 & 8\varnothing_{l \text{ min}} = 160 \text{ mm} \\
 & 24\varnothing_{st} = 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2008).

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a:

$$A_{s, \text{min}} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

e comunque non minore di 0.0013 $b_t d$

$f_{ctm} =$	2,77 MPa	valore medio della resistenza a trazione assiale
$f_{yk} =$	450,00 MPa	resistenza caratteristica a trazione dell'armatura
$b_t =$	300,00 mm	larghezza media della zona tesa
$A_{s \text{ min}} =$	163,03 mm ²	
$A_s =$	1570,00 mm ²	La verifica risulta soddisfatta.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio:

$$A_s = 942,00 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 168,33 \text{ kN}$$

$$f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 391,30 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} = A_s \times f_{yd} = 368,61 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente $A_{s,max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 1570,00 \text{ mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$A_s' = 942,00 \text{ mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$0,04A_c = 4800,00 \text{ mm}^2$$

Le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;

$$A_{st,min} = 1,5 b = 450,00 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sw} = 157,00 \text{ mm}^2$$

$$s = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{st} = A_{sw} / s = 1046,67 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$0,8d = 272,00 \text{ mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

In ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

Per gli elementi in esame l'armatura trasversale è costituita solo da staffe.

• Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame è necessario effettuare le verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza (punto 7.3.7.1 delle NTC2008) dato che il fabbricato tecnologico in esame ricade in classe d'uso IV. Tale verifica si ritiene implicitamente soddisfatta avendo verificato allo SLU anche le combinazioni allo SLD. Di seguito si riportano le sollecitazioni massime e minime allo SLE rara, frequente e quasi permanente.

TRAVI TRASVERSALI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
29	SLE (QP) 1	-6.33	-0.02	-28.3	-0.06	-19.67	-0.04
	SLE (QP) 1	-6.33	-0.02	0.05	-0.06	24.83	0.02
	SLE (QP) 1	-6.33	-0.02	28.4	-0.06	-19.98	0.09
33	SLE (QP) 1	-1.6	-0.05	0.01	0.04	1.62	-0.17
	SLE (QP) 1	-1.6	-0.05	0.01	0.04	1.6	-0.01
	SLE (QP) 1	-1.6	-0.05	0.01	0.04	1.58	0.14
34	SLE (QP) 1	-5.66	-0.04	-28.37	0.03	-20.38	-0.13
	SLE (QP) 1	-5.66	-0.04	-0.02	0.03	24.34	0
	SLE (QP) 1	-5.66	-0.04	28.33	0.03	-20.24	0.12

TRAVI TRASVERSALI

ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
29	env SLE (rara)(all)	-6.82	-1.44	-27.41	-0.19	-17.53	-4.51
	env SLE (rara)(all)	-6.82	-1.44	1.32	-0.19	24.7	0.02
	env SLE (rara)(all)	-6.82	-1.44	29.67	-0.19	-24.13	4.55
33	env SLE (rara)(all)	-1.55	-0.79	4.13	-0.03	14.68	-2.5
	env SLE (rara)(all)	-1.55	-0.79	4.13	-0.03	1.65	-0.01
	env SLE (rara)(all)	-1.55	-0.79	4.13	-0.03	-11.38	2.47
34	env SLE (rara)(all)	-5.86	0.32	-25.01	-0.1	-10.4	0.99
	env SLE (rara)(all)	-5.86	0.32	4.78	-0.1	24.32	-0.01
	env SLE (rara)(all)	-5.86	0.32	33.13	-0.1	-35.4	-1.01

TRAVI TRASVERSALI

ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
29	env SLE (FREQ)(all)	-6.44	-0.02	-28.3	-0.06	-19.83	-0.05
	env SLE (FREQ)(all)	-6.44	-0.02	0.05	-0.06	24.82	0.02
	env SLE (FREQ)(all)	-6.44	-0.02	28.4	-0.06	-20.11	0.1
33	env SLE (FREQ)(all)	-1.7	-0.05	0	0.04	1.61	-0.17
	env SLE (FREQ)(all)	-1.7	-0.05	0	0.04	1.59	-0.01
	env SLE (FREQ)(all)	-1.7	-0.05	0	0.04	1.58	0.15
34	env SLE (FREQ)(all)	-5.8	-0.04	-28.37	0.03	-20.54	-0.13
	env SLE (FREQ)(all)	-5.8	-0.04	-0.02	0.03	24.32	-0.01
	env SLE (FREQ)(all)	-5.8	-0.04	28.33	0.03	-20.4	0.12

a) Verifiche di fessurazione:

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2008 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- per la combinazione di carico frequente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_3 = 0.4$ mm;
- per la combinazione di carico quasi permanente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_2 = 0.3$ mm.
- Combinazione delle azioni FREQUENTE (SLE):

Sollecitazioni

Momento flettente	M	25	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm			
Larghezza sezione	B	30	cm			
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	9,42	cm ²	3	∅ 20	$c_{s1} = 6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0,00	cm ²		∅	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0,00	cm ²		∅	$c_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15,71	cm ²	5	∅ 20	$c_{t1} = 6$ cm

Tensioni nei materiali



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	62 di 118

Compressione max nel cls.	σ_c	4,9	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	142,5	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	∞	cm	>	H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm			
Posizione asse neutro	y (M)	14,8	cm			
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1552	cm ²			
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	233890	cm ⁴			
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id^*}	130224	cm ⁴			

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	23	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k_t	0,4		
Altezza efficace	d_{eff}	8,4	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	252,07	cm ²	
Armatura nell'area efficace	A_s	15,7	cm ²	
	$\rho_{p,eff}$	0,06232		
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	37,1	N/mm ²	
Modulo elastico del cls	E_{cm}	32.588	N/mm ²	
	α_E	6,4		
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0008		
	k_1	0,8		
	k_2	0,5		

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	63 di 118

	k_3	3,4	
	k_4	0,425	
Copriferro netto	c'	5,0	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	20,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	22,5	cm
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,09	mm

Tipo di armatura Poco sensibile

Condizioni ambientali Ordinarie

Stato limite Frequente

Valore limite di apertura delle fessure $w_3=0.4$ mm

- Combinazione delle azioni QUASI PERMANENTE (SLE):

Sollecitazioni

Momento flettente	M	25	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm			
Larghezza sezione	B	30	cm			
Armatura compressa (1° strato)	As ₁ '	9,42	cm ²	3	Ø 20	c _{s1} = 6 cm
Armatura compressa (2° strato)	As ₂ '	0,00	cm ²		Ø	c _{s2} = cm
Armatura tesa (2° strato)	As ₂	0,00	cm ²		Ø	c _{t2} = cm
Armatura tesa (1° strato)	As ₁	15,71	cm ²	5	Ø 20	c _{t1} = 6 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	4,1	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	118,0	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	14,8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	1552	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	233890	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	130224	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess} *	23	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k _t	0,4		
Altezza efficace	d _{eff}	8,4	cm	

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	65 di 118

Area efficace	A_{Ceff}	252,07	cm ²
Armatura nell'area efficace	A_s	15,7	cm ²
	$\rho_{p,eff}$	0,06232	
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	37,1	N/mm ²
Modulo elastico del cls	E_{cm}	32.588	N/mm ²
	α_E	6,4	
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,00072	
	k_1	0,8	
	k_2	0,5	
	k_3	3,4	
	k_4	0,425	
Copriferro netto	c'	5,0	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	20,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	22,5	cm
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,09	mm

Tipo di armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Stato limite	Quasi permanente
Valore limite di apertura delle fessure	$w_2=0.3$ mm

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANO</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

b) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2008. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara});$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 12,6 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione quasi permanente});$$

- Per l'acciaio:

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara}).$$

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

Tensioni nei materiali SLE RARA

Compressione max nel cls.	σ_c	9,1	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	185,4	N/mm ²

Tensioni nei materiali SLE QUASI PERMANENTE

Compressione max nel cls.	σ_c	9,1	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	127,0	N/mm ²

8.3 Trave longitudinale (30x40)

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle travi trasversali aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x40 cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limite ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto delle combinazioni di carico più gravose.

- **Verifica di resistenza allo SLU**

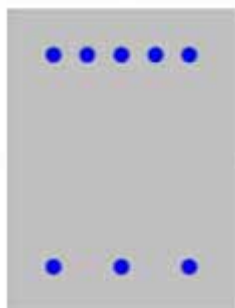
Si riportano di seguito le sollecitazioni di calcolo, per l'elemento maggiormente sollecitato, in corrispondenza della sezione d'appoggio e della sezione di campata (convenzione sui segni: compressione negativa (-), momento flettente che tende le fibre superiori negativo (-)).

TRAVI LONGITUDINALI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2	env SLU(all)	-6.72	-1.97	-32	-6.03	-20.06	-1.64
	env SLU(all)	-6.72	-1.97	16.83	-6.03	-5.62	1.66
	env SLU(all)	-6.72	-1.97	64.96	-6.03	-74.13	4.92
4	env SLU(all)	-36.86	2.85	-147.2	2.23	-152.54	9.69
	env SLU(all)	-36.86	2.85	-9.43	2.23	99.83	0.49
	env SLU(all)	-36.86	2.85	128.58	2.23	-92.5	-8.72
16	env SLU(all)	-5.31	-1.94	-31.13	5.26	-18.94	-1.6
	env SLU(all)	-5.31	-1.94	17.28	5.26	-5.32	1.66
	env SLU(all)	-5.31	-1.94	65.41	5.26	-74.56	4.89
18	env SLU(all)	-36.23	2.87	-146.62	-4.18	-151.09	9.77
	env SLU(all)	-36.23	2.87	-8.73	-4.18	99.41	0.53
	env SLU(all)	-36.23	2.87	129.16	-4.18	-94.79	-8.72

In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale della trave tipo.

1) Zone d'appoggio:

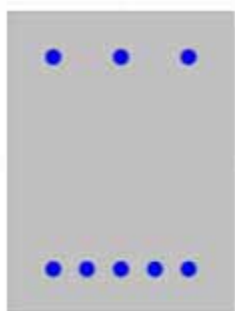
- Armatura superiore 5 Φ 20
- Armatura inferiore 3 Φ 20



2) Campata:

- Armatura superiore 3 Φ 20
- Armatura inferiore 5 Φ 20

In aggiunta, fuori calcolo, andranno disposti 2 Φ 12 come ferri di parete.

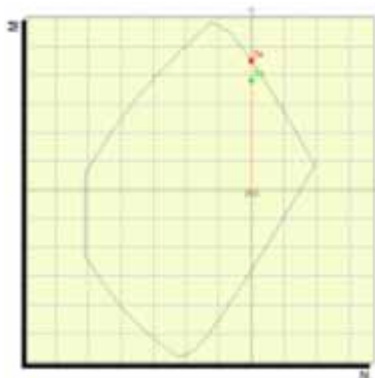


e) Verifica a flessione semplice:

Le verifiche di resistenza a flessione allo SLU (NTC2008 – 4.1.2.1.2.4) per le sezioni di appoggio e di campata sono state condotte con il supporto del software PresFLE considerando le sollecitazioni riportate nei prospetti precedenti.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

SEZIONE A – APPOGGIO



Il momento flettente massimo nella sezione considerata tende le fibre superiori. Dalla verifica si evince che il momento massimo di calcolo (M_{3min}) è inferiore al valore ultimo, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

$$M_{Ed} = M_3 = 152.5 \text{ kNm} < M_{Rd} = 179,84 \text{ kNm}$$

SEZIONE B – CAMPATA:

Il momento flettente massimo nella sezione considerata tende le fibre inferiori.

Dato che l'armatura in campata è speculare, rispetto all'asse baricentrico orizzontale della sezione, all'armatura in appoggio dalla verifica precedente si evince che il momento massimo di calcolo (M_{3max}) è inferiore al valore ultimo, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

$$M_{Ed} = M_3 = 99.8 \text{ kNm} < M_{Rd} = 179,84 \text{ kNm}$$

f) Verifica a taglio:

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo V_{Ed} si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

plasticizzazione (generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza γ_{Rd} assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2008 – 4.1.2.1.3.2):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

V_d = Valore di calcolo del taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

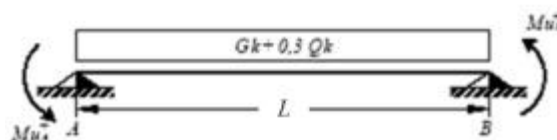
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

dove:

α : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

θ : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.

- **1° Schema:**

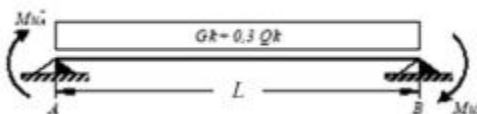


Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu_A^+ + Mu_B^+}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0.3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^+_A + Mu^+_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

• **2° Schema:**



Il taglio è variabile linearmente lungo la trave ed è pari a:

$$V_A = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} + \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

$$V_B = \gamma_{Rd} \frac{Mu^-_A + Mu^-_B}{l_{trave}} - \frac{(G_k + 0,3Q_k) \cdot l_{trave}}{2}$$

Si riporta di seguito un prospetto riepilogativo con i valori delle sollecitazioni taglianti ottenute seguendo la metodologia descritta e riportata negli schemi precedenti:

Determinazione taglio di calcolo						
Base	0,30	m	$M_{uA}^{(+)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uA}^{(-)}$ (kNm)	$M_{uB}^{(+)}$ (kNm)
Altezza	0,40	m	111,56	179,84	179,84	111,56
L_{trave}	6,30	m				
$L_{influenza}$	4,20	m	1° Schema		2° Schema	
Peso proprio trave	3,00	kN/m	V_A (kN)	V_B (kN)	V_A (kN)	V_B (kN)
Carico solaio	3,00	kN/m ²	118,95	-48,12	140,63	-26,45
Carico perm. non strutt.	2,60	kN/m ²				

G_k	26,52	kN/m	V_2 (output) =	166,08	kN
Y_α	0,30	[-]	V_{Ed} =	166,08	kN
Q_k	0,00	kN/m			
Y_{Rd}	1,00	[-]			

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è maggiore del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000 ($V_2=166,08$ kN) si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:

$$V_{Ed-max} = 166,08 \text{ kN}$$

Verifica a taglio

Base (m)	0,30
Altezza (m)	0,40
Copriferro (m)	0,06
Alt. Utile (m)	0,34
A_{sw} (m ²)	0,00016
\varnothing (mm)	10,00
s (V_{Ed-max}) (m)	0,11
V_{Ed-max} (kN)	168,33
f_{yd} (kN/m ²)	391304,35
f_{cd} (kN/m ²)	15866,67



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	73 di 118

f_{cd} (kN/m²) 7933,33

s (progetto) (m) 0,08

V_{Rcd} (kN) 364,14

V_{Rsd} (kN) 234,99

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) \geq V_{Ed-max}$

V_{Rd} (kN) **234,99**

La verifica risulta soddisfatta.

Si adotteranno nelle zone d'appoggio, per un tratto pari ad 80cm dal filo esterno del pilastro, staffe $\Phi 10 / 8$ cm, per il rispetto dei limiti normativi, mentre nelle zone centrali di campata staffe $\Phi 10 / 15$ cm.

g) Verifica a torsione:

La verifica di resistenza nei confronti della torsione (SLU) (NTC2008 – 4.1.2.1.4) consiste nel controllare che:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

dove T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente.

Per elementi prismatici sottoposti a torsione semplice o combinata con altre sollecitazioni, che abbiano sezione piena o cava, lo schema resistente è costituito da un traliccio periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

Con riferimento al calcestruzzo la resistenza si calcola con:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \tau \cdot \phi'_{cd} \cdot ctg\theta / (1 + ctg \theta)$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

dove t è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene $t = A_c/u$ dove A_c è l'area della sezione ed u è il suo perimetro; t deve essere assunta comunque ≥ 2 volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale.

Le armature longitudinali e trasversali del traliccio resistente devono essere poste entro lo spessore t del profilo periferico. Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo detto profilo, ma comunque una barra deve essere presente su tutti i suoi spigoli.

Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza si calcola con:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot (A_s/s) \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza si calcola con:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot (\Sigma A_l/u_m) \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

dove si è posto:

A area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

A_s area delle staffe;

u_m perimetro medio del nucleo resistente;

s passo delle staffe;

ΣA_l area complessiva delle barre longitudinali.

L'inclinazione θ delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti

$$0,4 \leq ctg \theta \leq 2,5$$

Entro questi limiti, nel caso di torsione pura, può porsi $ctg \theta = (a_l/a_s)^{1/2}$

con: $a_l = \Sigma A_l / u_m$

$$a_s = A_s / s$$

La resistenza alla torsione della trave è la minore delle tre sopra definite:

Calcestruzzo

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,4
t (m)	0,09
A (m ²)	0,07
f _{cd} (kN/m ²)	7933,333
cotgθ (-)	0,33
a ₁	0,0002
a _s	0,0020
T_{Rcd} (kNm)	22,73

Staffe Trasversali

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,40
t (m)	0,09
A _s (m ²)	0,0002
A (m ²)	0,07
s _(prog.) (m)	0,08
f _{yd} (kN/m ²)	391304,35
cotgθ (-)	0,33
T_{Rsd} (kNm)	34,15

Armatura Longitudinale

B (m)	0,30
H (m)	0,40
A _c (m ²)	0,12
u (m)	1,4
t (m)	0,09
u _m (m)	1,06
□A _l (m ²)	0,000226
A (m ²)	0,07
f _{yd} (kN/m ²)	391304,3
cotgθ (-)	0,33
T_{Rsd} (kNm)	34,15

$$T_{Ed} \text{ (kNm)} \quad \mathbf{1,00}$$

$$T_{Rd} \text{ (kNm)} = \min (T_{Rcd}; T_{Rsd}; T_{Rsd}) = \quad \mathbf{22,73}$$

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo. Per non eccedere tale resistenza deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$T_{Ed} / T_{Rcd} + V_{Ed} / V_{Rcd} < 1$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

$$T_{Ed} / T_{Rcd} = 0,04$$

$$V_{Ed} / V_{Rcd} = 0,46$$

$$= 0,51$$

La verifica risulta soddisfatta.

I ferri longitudinali con cui si è calcolata la resistenza T_{Rsd} sono i ferri di parete, non contemplati nelle verifiche a flessione.

h) Verifica limitazioni armatura:

In ogni sezione della trave, il rapporto geometrico ρ relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione A_s o quella al lembo inferiore della sezione A_i , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

$$\rho = A_s / (bh)$$

Rapporto geometrico relativo all'armatura tesa

$$\rho_{comp} = A_s' / (bh)$$

Rapporto geometrico relativo all'armatura compressa

In campata:

Armatura tesa

Dimensioni sezione

$$5 \quad \emptyset \quad 20 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_s = 1570 \text{ mm}^2$$

$$c = 60 \text{ mm}$$



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	77 di 118

$$\rho = A_s / (bh) = 0,013083$$

Armatura compressa

3 \emptyset 20 mm

$$A_s' = 942 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{comp}} = A_s' / (bh) = 0,00785$$

$$1,4 / f_{yk} = 0,003111$$

$$\rho_{\text{comp}} + 3,5 / f_{yk} = 0,015628 \quad \text{La verifica risulta soddisfatta.}$$

Agli appoggi:

Armatura tesa

Dimensioni sezione

5 \emptyset 20 mm

b = 300 mm

h = 400 mm

$$A_s = 1570 \text{ mm}^2$$

c = 60 mm

$$\rho = A_s / (bh) = 0,013083$$

Armatura compressa

3 \emptyset 20 mm

$$A_s' = 942 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{comp}} = A_s' / (bh) = 0,00785$$

$$1,4 / f_{yk} = 0,003111$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

$$\rho_{comp} + 3,5/f_{yk} = 0,015628$$

La verifica risulta soddisfatta.

L'armatura compressa non deve mai essere inferiore a un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0,25\rho$$

nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s'/(bh) = 0,00785$$

$$0,25\rho = 0,003271$$

La verifica risulta soddisfatta.

Nelle zone critiche (agli appoggi) l'armatura compressa non deve mai essere inferiore a metà di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0,50\rho$$

nel caso specifico risulta:

$$\rho_{comp} = A_s'/(bh) = 0,00785$$

$$0,50\rho = 0,006542$$

La verifica risulta soddisfatta.

Le zone critiche si estendono, per CD”B”, per una lunghezza pari a 1,5 volte l’altezza della sezione della trave, misurata a partire dalla faccia del nodo trave-pilastro o da entrambi i lati a partire dalla sezione di prima plasticizzazione.

Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento. La prima staffa di contenimento deve distare non più di 5 cm dalla sezione a filo pilastro; le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

- un quarto dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 225 mm (per CD"B");
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali considerate ai fini delle verifiche (per CD"B")
- 24 volte il diametro delle armature trasversali.

$$\begin{aligned}
 & d/4 = 85 \text{ mm} \\
 s = 80,00 \text{ mm} & < 225 \text{ mm} \\
 & 8\varnothing_{l \text{ min}} = 160 \text{ mm} \\
 & 24\varnothing_{st} = 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2008).

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a:

$$A_{s, \text{min}} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

e comunque non minore di 0.0013 $b_t d$

$f_{ctm} =$	2,77 MPa	valore medio della resistenza a trazione assiale
$f_{yk} =$	450,00 MPa	resistenza caratteristica a trazione dell'armatura
$b_t =$	300,00 mm	larghezza media della zona tesa
$A_{s \text{ min}} =$	163,03 mm ²	
$A_s =$	1570,00 mm ²	La verifica risulta soddisfatta.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio:

$$A_s = 942,00 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 168,33 \text{ kN}$$

$$f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 391,30 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} = A_s \times f_{yd} = 368,61 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente $A_{s,max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 1570,00 \text{ mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$A_s' = 942,00 \text{ mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$0,04A_c = 4800,00 \text{ mm}^2$$

Le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;

$$A_{st,min} = 1,5 b = 450,00 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	81 di 118

$$A_{sw} = 157,00 \text{ mm}^2$$

$$s = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{st} = A_{sw} / s = 1046,67 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

$$0,8d = 272,00 \text{ mm}$$

La verifica risulta soddisfatta.

In ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

Per gli elementi in esame l'armatura trasversale è costituita solo da staffe.

Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

TRAVI LONGITUDINALI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2	SLE (QP) 1	-4.07	0.05	-17.57	-3.73	-7.1	0.09
	SLE (QP) 1	-4.07	0.05	13.26	-3.73	-3.49	0.02
	SLE (QP) 1	-4.07	0.05	44.1	-3.73	-51.53	-0.06
4	SLE (QP) 1	-20.67	0.02	-92.51	2.05	-94.14	0.04
	SLE (QP) 1	-20.67	0.02	-5.11	2.05	63.28	-0.03
	SLE (QP) 1	-20.67	0.02	82.28	2.05	-61.15	-0.1
16	SLE (QP) 1	-4.54	0.04	-18.01	3.75	-7.79	0.07
	SLE (QP) 1	-4.54	0.04	12.83	3.75	-3.44	0
	SLE (QP) 1	-4.54	0.04	43.66	3.75	-50.75	-0.07
18	SLE (QP) 1	-21.64	0.02	-92.4	-2.08	-93.97	0.07
	SLE (QP) 1	-21.64	0.02	-5	-2.08	63.09	0
	SLE (QP) 1	-21.64	0.02	82.4	-2.08	-61.71	-0.07

TRAVI LONGITUDINALI

ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2	env SLE (rara)(all)	-4.59	-1.31	-21.7	-4.02	-13.52	-1.09
	env SLE (rara)(all)	-4.59	-1.31	11.7	-4.02	-3.98	1.11
	env SLE (rara)(all)	-4.59	-1.31	44.63	-4.02	-51.16	3.28
4	env SLE (rara)(all)	-25.29	1.91	-101.44	1.49	-105.02	6.47
	env SLE (rara)(all)	-25.29	1.91	-6.47	1.49	68.86	0.32
	env SLE (rara)(all)	-25.29	1.91	88.67	1.49	-63.82	-5.82
16	env SLE (rara)(all)	-3.66	-1.29	-21.13	3.5	-12.79	-1.06
	env SLE (rara)(all)	-3.66	-1.29	11.98	3.5	-3.78	1.11
	env SLE (rara)(all)	-3.66	-1.29	44.91	3.5	-51.42	3.26
18	env SLE (rara)(all)	-24.9	1.91	-101.05	-2.79	-104.05	6.52
	env SLE (rara)(all)	-24.9	1.91	-6	-2.79	68.57	0.35
	env SLE (rara)(all)	-24.9	1.91	89.06	-2.79	-65.37	-5.82

TRAVI LONGITUDINALI

ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2	env SLE (FREQ)(all)	-4.33	0.05	-17.78	-3.72	-7.54	0.1
	env SLE (FREQ)(all)	-4.33	0.05	13.41	-3.72	-3.58	0.02
	env SLE (FREQ)(all)	-4.33	0.05	44.52	-3.72	-52.07	-0.06
4	env SLE (FREQ)(all)	-20.96	0.02	-93.57	2.05	-95.2	0.05
	env SLE (FREQ)(all)	-20.96	0.02	-5.17	2.05	64.02	-0.03
	env SLE (FREQ)(all)	-20.96	0.02	83.23	2.05	-61.85	-0.11
16	env SLE (FREQ)(all)	-4.8	0.04	-18.22	3.74	-8.23	0.07
	env SLE (FREQ)(all)	-4.8	0.04	12.98	3.74	-3.54	0
	env SLE (FREQ)(all)	-4.8	0.04	44.08	3.74	-51.3	-0.07
18	env SLE (FREQ)(all)	-21.94	0.03	-93.46	-2.08	-95.04	0.08
	env SLE (FREQ)(all)	-21.94	0.03	-5.06	-2.08	63.82	0
	env SLE (FREQ)(all)	-21.94	0.03	83.34	-2.08	-62.4	-0.08

c) Verifiche di fessurazione:

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2008 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le

combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- per la combinazione di carico frequente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_3 = 0.4$ mm;
- per la combinazione di carico quasi permanente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_2 = 0.3$ mm.
- Combinazione delle azioni FREQUENTE (SLE):

Sollecitazioni

Momento flettente	M	95	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm			
Larghezza sezione	B	30	cm			
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	9,42	cm ²	3	Ø 20	$c_{s1} = 6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0,00	cm ²		Ø	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0,00	cm ²		Ø	$c_{i2} =$ cm



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	84 di 118

Armatura tesa (1° strato)	As ₁	15,71	cm ²	5	Ø 20	c ₁ =	6	cm
---------------------------	-----------------	-------	-----------------	---	------	------------------	---	----

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	5,9	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	187,5	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	14,8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	1552	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	233890	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	130224	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess*}	23	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k _t	0,4		
Altezza efficace	d _{eff}	8,4	cm	
Area efficace	A _{Ceff}	252,07	cm ²	
Armatura nell'area efficace	As	15,7	cm ²	
	ρ _{p,eff}	0,06232		
Resistenza cilindrica media	f _{cm}	37,1	N/mm ²	
Modulo elastico del cls	E _{cm}	32.588	N/mm ²	
	α _E	6,4		

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	85 di 118

Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,0008	
	k_1	0,8	
	k_2	0,5	
	k_3	3,4	
	k_4	0,425	
Copriferro netto	c'	5,0	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	20,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	22,5	cm
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,12	mm

Tipo di armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Stato limite	Frequente
Valore limite di apertura delle fessure	$w_3=0.4$ mm

- Combinazione delle azioni QUASI PERMANENTE (SLE):

Sollecitazioni

Momento flettente	M	94	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	86 di 118

Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm				
Larghezza sezione	B	30	cm				
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	9,42	cm ²	3	Ø 20	$c_{s1} =$	6 cm
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	0,00	cm ²		Ø	$c_{s2} =$	cm
Armatura tesa (2° strato)	As_2	0,00	cm ²		Ø	$c_{t2} =$	cm
Armatura tesa (1° strato)	As_1	15,71	cm ²	5	Ø 20	$c_{t1} =$	6 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5,9	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	187,5	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	14,8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1552	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	233890	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	130224	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	87 di 118

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	23	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k_t	0,4		
Altezza efficace	d_{eff}	8,4	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	252,07	cm ²	
Armatura nell'area efficace	A_s	15,7	cm ²	
	$\rho_{p,eff}$	0,06232		
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	37,1	N/mm ²	
Modulo elastico del cls	E_{cm}	32.588	N/mm ²	
	α_E	6,4		
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,00072		
	k_1	0,8		
	k_2	0,5		
	k_3	3,4		
	k_4	0,425		
Copriferro netto	c'	5,0	cm	
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	20,0	mm	
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	22,5	cm	
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,12	mm	

Tipo di armatura

Poco sensibile

Condizioni ambientali

Ordinarie

Stato limite

Quasi permanente

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Valore limite di apertura delle fessure

$w_2=0.3$ mm

d) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2008. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara});$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 12,6 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione quasi permanente});$$

- Per l'acciaio:

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara}).$$

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

Tensioni nei materiali SLE RARA

Compressione max nel cls.	σ_c	9,4	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	192,3	N/mm ²

Tensioni nei materiali SLE QUASI PERMANENTE

Compressione max nel cls.	σ_c	9,4	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	187,0	N/mm ²

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

8.4 Pilastri (40x30)

Si riportano di seguito le verifiche strutturali dei pilastri aventi sezione rettangolare di dimensioni 30x40 cm. Le verifiche saranno condotte per i differenti stati limite ed in corrispondenza delle sezioni maggiormente sollecitate dell'elemento per effetto delle combinazioni di carico più gravose.

Preliminarmente alla verifica di resistenza dei pilastri allo SLU è necessario valutare la stabilità degli elementi snelli. Tali verifiche devono essere condotte attraverso un'analisi del secondo ordine che tenga conto degli effetti flessionali delle azioni assiali sulla configurazione deformata degli elementi stessi. In via approssimativa gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza λ non supera il valore limite (4.1.2.1.7-NTC2008):

$$\lambda_{lim} = 15.4 \cdot \frac{C}{\sqrt{\nu}}$$

dove:

$\nu = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ è l'azione assiale adimensionale;

$C = 1,7 - r_m$ dipende dalla distribuzione dei momenti del primo ordine;

$r_m = M_{01} / M_{02}$ è il rapporto tra i momenti flettenti del primo ordine alle due estremità del pilastro (con $M_{02} \geq M_{01}$).

E' stata valutata la snellezza λ del pilastro:

$$\lambda = L_0 / i = 3850 / 115,5 = 33,33$$

dove:

$L_0 = \beta L = 3,85$ m lunghezza di libera inflessione

$\beta = 1$ coefficiente di vincolo per asta incastrata al piede

$L = 3.85$ m luce netta del pilastro

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 90 di 118

$i = (I/A)^{0,5} = [(h^3 \cdot b) / (12 \cdot b \cdot h)]^{0,5} = [400^3 \cdot 300 / (12 \cdot 400 \cdot 300)]^{0,5} = 115,5 \text{ mm}$ raggio giratore d'inerzia (asse debole);

Per il calcolo si riferimento alla combinazione di carico che massimizza lo sforzo assiale massimo, di seguito riportato.

$$N_{Ed} = -266439 \text{ N};$$

$$f_{cd} = 15,87 \text{ N/mm}^2;$$

$$A_c = 300 \cdot 400 = 120000 \text{ mm}^2;$$

$$v = 0,140;$$

$$M_{02} = 116,43 \text{ kNm};$$

$$M_{01} = -61,10 \text{ kNm};$$

$$r_m = 0,52;$$

$$C = 1,7 + 0,52 = 2,22$$

$$\lambda_{lim} = 91,37 > \lambda = 33,33.$$

Per quanto concerne le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ di seguito definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui risulti:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0.1$$

dove:

P è il carico verticale totale agente;

d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano;

V è la forza orizzontale totale agente;

h è l'altezza dell'elemento.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Si riporta di seguito la verifica delle non linearità geometriche facendo riferimento alle combinazioni di carico che producono lo spostamento orizzontale maggiore COMB1_SLD_X.

Joint	COMB	StepType		U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text		m	m	m	Radians	Radians	Radians
3	COMB1_SLDX	Max		0,010493	0,004015	-0,001417	0,000219	0,004062	-0,000339
3	COMB1_SLDX	Min		-0,010493	-0,001879	-0,002427	-0,000417	0,000765	-0,000339
4	COMB1_SLDX	Max		0,010493	0,001879	-0,001417	0,000417	-0,000765	-0,000339
4	COMB1_SLDX	Min		-0,010493	-0,004015	-0,002427	-0,000219	-0,004062	-0,000339
16	COMB1_SLDX	Max		0,00912	0,004015	-0,001437	0,000042	0,003496	-0,000339
16	COMB1_SLDX	Min		-0,011866	-0,001879	-0,003019	-0,000712	-0,000734	-0,000339
17	COMB1_SLDX	Max		0,00912	0,001879	-0,001421	0,000264	0,000218	-0,000339
17	COMB1_SLDX	Min		-0,011866	-0,004015	-0,003003	-0,00049	-0,004012	-0,000339
23	COMB1_SLDX	Max		0,011866	0,004015	-0,001421	0,00049	0,004012	-0,000339
23	COMB1_SLDX	Min		-0,00912	-0,001879	-0,003003	-0,000264	-0,000218	-0,000339
24	COMB1_SLDX	Max		0,011866	0,001879	-0,001437	0,000712	0,000734	-0,000339
24	COMB1_SLDX	Min		-0,00912	-0,004015	-0,003019	-0,000042	-0,003496	-0,000339
	Spostamento medio assoluto			0,010493					

$d_r=0,0105$ m;

$h=3,85$ m;

Per la combinazione massima si ha che:

$P= -2547,49$ kN

$V= 743,20$ kN

$\theta = 2547,49 \cdot 0,0105 / (3,85 \cdot 743,20) = 0,0093$

Frame	Station	COMB	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
2	0	COMB1_SLDX	Min	-132,005	-31,582	-14,773	-1,7719	-28,8154	-100,7899
2	1,925	COMB1_SLDX	Min	-126,23	-31,582	-14,773	-1,7719	-0,3784	-40,0665
2	3,85	COMB1_SLDX	Min	-120,455	-31,582	-14,773	-1,7719	-7,0118	-124,7757
5	0	COMB1_SLDX	Min	-177,884	-25,18	-48,899	-1,7719	-85,4956	-52,2046
5	1,925	COMB1_SLDX	Min	-172,109	-25,18	-48,899	-1,7719	8,6347	-3,7324

5	3,85	COMB1_SLDX	Min	-166,334	-25,18	-48,899	-1,7719	0,5011	-19,4227
16	0	COMB1_SLDX	Min	-132,005	-63,451	-5,361	-1,7719	-13,6299	-119,5845
16	1,925	COMB1_SLDX	Min	-126,23	-63,451	-5,361	-1,7719	-3,3096	2,486
16	3,85	COMB1_SLDX	Min	-120,455	-63,451	-5,361	-1,7719	-28,0598	-20,8762
17	0	COMB1_SLDX	Min	-132,018	-17,664	-13,246	-1,7719	-30,0834	-68,8742
17	1,925	COMB1_SLDX	Min	-126,243	-17,664	-13,246	-1,7719	-4,5852	-34,9429
17	3,85	COMB1_SLDX	Min	-120,468	-17,664	-13,246	-1,7719	-14,1573	-146,4442
205	0	COMB1_SLDX	Min	-132,018	-77,369	-6,888	-1,7719	-12,3618	-151,5002
205	1,925	COMB1_SLDX	Min	-126,243	-77,369	-6,888	-1,7719	0,8972	-2,6376
205	3,85	COMB1_SLDX	Min	-120,468	-77,369	-6,888	-1,7719	-20,9143	0,7923
207	0	COMB1_SLDX	Min	-177,884	-10,974	-11,813	-1,7719	-45,9822	-22,8266
207	1,925	COMB1_SLDX	Min	-172,109	-10,974	-11,813	-1,7719	-23,2416	-1,702
207	3,85	COMB1_SLDX	Min	-166,334	-10,974	-11,813	-1,7719	-102,7649	-44,74
				-2547,49	-678,66	-302,94	$V=(V_2^2+V_3^2)^{0,5} =$	743,2039	kN

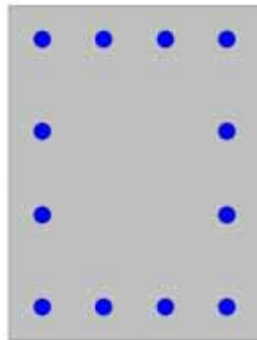
- **Verifica di resistenza allo SLU**

Si riportano di seguito le sollecitazioni più gravose.

PILASTRI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
1	env SLU(all)	-69.19	24.72	23.82	-0.16	36.58	36.25
	env SLU(all)	-69.19	14.49	8.91	-0.16	5.69	-1.98
	env SLU(all)	-69.19	6.4	-7.41	-0.16	9.67	-20.24
3	env SLU(all)	-207.75	33.23	6.24	1.01	-14.13	79.18
	env SLU(all)	-207.75	33.23	-16.29	1.01	-4.33	15.51
	env SLU(all)	-207.75	33.23	-38.81	1.01	49.38	-50.43
5	env SLU(all)	-169.61	-35.34	8.1	1.96	24.06	-92.28
	env SLU(all)	-169.61	-28.17	8.1	1.96	8.72	-30.35
	env SLU(all)	-169.61	-21.01	8.1	1.96	-7.55	20.08
15	env SLU(all)	-80.76	23.32	43.27	-0.09	55.74	33.07
	env SLU(all)	-80.76	13.08	26.59	-0.09	-12.37	-2.41
	env SLU(all)	-80.76	5.62	10.1	-0.09	-47.97	-18.85
17	env SLU(all)	-216.37	31.64	3.41	1.17	-26.35	76.52
	env SLU(all)	-216.37	31.64	-21.74	1.17	-8.48	15.4
	env SLU(all)	-216.37	31.64	-46.9	1.17	58.45	-47.42

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 93 di 118

In funzione delle sollecitazioni si è dimensionata opportunamente l'armatura longitudinale del pilastro tipo:



1) Lato corto:

- Armatura superiore 4 Φ 20
- Armatura inferiore 4 Φ 20

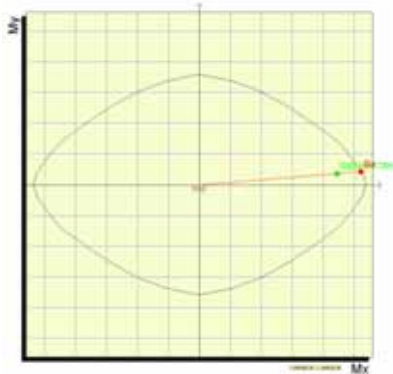
2) Lato lungo:

- Armatura superiore 2 Φ 20
- Armatura inferiore 2 Φ 20

a) Verifica a presso-flessione:

Le verifiche di resistenza a flessione e pressoflessione allo SLU (NTC2008 – 4.1.2.1.2.4; - 7.4.4.2) per le sezioni di base dei pilastri sono state condotte con il supporto del software PresFLE considerando le sollecitazioni, riportate nei prospetti precedenti, che massimizza il momento M3, e minimizza lo sforzo assiale P.

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A



La verifica risulta soddisfatta.

b) Verifica a taglio:

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici o fragili dovuti al taglio, per quanto concerne la verifica a taglio del pilastro si utilizza il valore massimo tra il taglio di calcolo dedotto dall'output del modello di calcolo e quello che si ottiene dalla condizione di equilibrio del pilastro soggetto all'azione dei momenti resistenti nelle sezioni di estremità superiore $M_{C,Rd}^s$ ed inferiore $M_{C,Rd}^i$ secondo l'espressione:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{C,Rd}^s + M_{C,Rd}^i}{l_p}$$

dove:

$\gamma_{Rd} = 1.10$ per strutture in CD" B";

$M_{C,Rd}^s = M_{C,Rd}^i = 210,89$ kNm lungo l'asse forte

$l_p = 3,85$ m

$V_{Ed} = 120,51$ kN lungo l'asse forte

I valori massimi delle sollecitazioni derivati dal modello di calcolo sono riportati qui di seguito.

Poiché il valore del taglio determinato mediante la procedura sopra riportata è maggiore del taglio di calcolo ottenuto a valle dell'analisi strutturale mediante il SAP2000, si procede alla verifica di resistenza considerando il seguente valore del taglio massimo:



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	95 di 118

Verifica a taglio

Base (m) 0,30

Altezza (m) 0,40

Copriferro (m) 0,06

Alt. Utile (m) 0,34

A_{sw} (m²) 0,00016

Ø (mm) 10,00

s (V_{Ed-max}) (m) 0,15

V_{Ed-max} (kN) 120,51

f_{yd} (kN/m²) 391304,35

f_{cd} (kN/m²) 15866,67

f'_{cd} (kN/m²) 7933,33

s (progetto) (m) 0,08

V_{Rcd} (kN) 364,14

V_{Rsd} (kN) 234,99

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) \geq V_{Ed-max}$

V_{Rd} (kN) 234,99

La verifica risulta soddisfatta.

Si adotteranno staffe $\Phi 10 / 10$ cm alle estremità superiore e inferiore (lunghezza 1 m) del pilastro e staffe $\Phi 10 / 15$ cm per la zona centrale del pilastro, rispettando ampiamente le prescrizioni relative ai dettagli costruttivi degli elementi in c.a. proposti dalle NTC-2008 al punto 4.1.6.

c) Verifica a torsione:

<u>Calcestruzzo</u>		<u>Staffe Trasversali</u>		<u>Armatura Longitudinale</u>	
B (m)	0,30	B (m)	0,30	B (m)	0,30
H (m)	0,40	H (m)	0,40	H (m)	0,40
A_c (m ²)	0,12	A_c (m ²)	0,12	A_c (m ²)	0,12
u (m)	1,4	u (m)	1,40	u (m)	1,4
t (m)	0,09	t (m)	0,09	t (m)	0,09
A (m ²)	0,07	A_s (m ²)	0,0002	u_m (m)	1,06
f_{cd} (kN/m ²)	7933,333	A (m ²)	0,07	$\square A_l$ (m ²)	0,000628
cotg θ (-)	0,55	$s_{(prog.)}$ (m)	0,08	A (m ²)	0,07
a_1	0,0006	f_{yd} (kN/m ²)	391304,35	f_{yd} (kN/m ²)	391304,3
a_s	0,0020	cotg θ (-)	0,55	cotg θ (-)	0,55
T_{Rcd} (kNm)	32,51	T_{Rsd} (kNm)	56,91	T_{Rsd} (kNm)	56,91
T_{Ed} (kNm)			2,00		
T_{Rd} (kNm) = min ($T_{Rcd}; T_{Rsd}; T_{Rsd}$)=			32,51		

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo. Per non eccedere tale resistenza deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$T_{Ed} / T_{Rcd} + V_{Ed} / V_{Rcd} < 1$$

$$T_{Ed} / T_{Rcd} = 0,06$$

$$V_{Ed} / V_{Rcd} = 0,34$$

$$= 0,40 \quad \text{La verifica risulta soddisfatta.}$$

d) Verifica limitazioni armatura:

Resta da verificare che l'armatura determinata in funzione delle sollecitazioni agenti rispetti le limitazioni riportate nel punto 7.4.6.2.2 delle NTC2008:

- Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm;
- Nella sezione corrente del pilastro, la percentuale geometrica ρ di armatura longitudinale, con ρ rapporto tra l'area dell'armatura longitudinale e l'area della sezione del pilastro, deve essere compresa entro i seguenti limiti:

$$1\% < \rho < 4\%$$

$$\rho = A_l / (bH) = 37,68 / (40 \cdot 30) = 3,14\%$$

- Nelle zone critiche devono essere rispettate le condizioni seguenti: le barre disposte sugli angoli della sezione devono essere contenute dalle staffe; almeno una barra ogni due, di quelle disposte sui lati, deve essere trattenuta da staffe interne o legature; le barre non fissate si devono trovare a meno di 20 cm da una barra fissata per CDB.
- Il diametro delle staffe di contenimento e legature deve essere non inferiore a 6 mm ed il loro passo deve essere non superiore alla più piccola delle quantità seguenti:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

- 1/2 del lato minore della sezione trasversale per CDB;
- 175 mm (per CD”B”);
- 8 volte il diametro minimo delle barre longitudinali che collegano (per CD”B”)

Nel caso specifico risulta:

$$d = 100mm \leq \begin{cases} \frac{b}{2} = 400 / 2 = 200mm \\ 175mm \\ 8 \cdot 20 = 160mm \end{cases}$$

- Si devono disporre staffe in un quantitativo minimo non inferiore a:

$$\frac{A_{st}}{s} = 0.08 \frac{f_{cd} \cdot b_{st}}{f_{yd}}$$

Nel caso specifico risulta:

$$\frac{A_{st}}{s} = \frac{157}{150} = 1.04 > 0.08 \frac{f_{cd} \cdot b_{st}}{f_{yd}} = 0.08 \frac{15.87 \cdot 220}{450} = 0.62$$

- Le staffe orizzontali presenti lungo l’altezza del nodo devono verificare la seguente condizione

$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} \geq 0.05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}}$$

Nella quale n_{st} e A_{st} sono rispettivamente il numero di bracci e l’area della sezione trasversale della barra della singola staffa orizzontale, i è l’interasse, e b_j è la larghezza utile del nodo determinata come segue:

- se la trave ha una larghezza b_w superiore a quella del pilastro b_c , allora b_j è il valore minimo fra b_w e $b_c + h_c/2$, essendo h_c la dimensione della sezione della colonna parallela alla trave;
- se la trave ha una larghezza b_w inferiore a quella del pilastro b_c , allora b_j è il valore minimo fra b_c e $b_w + h_c/2$.

Con:

$$n_{st} = 2$$

$$A_{st} = 78,50 \text{ mm}^2$$

$$i = 10 \text{ mm}$$

$$b_c = 300 \text{ mm} - 400 \text{ mm}$$

$$b_w = 400 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$$

$$h_c = 400 \text{ mm}$$

$$b_j = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} = \frac{2 \cdot 78,50}{100 \cdot 300} = 0,00523 \geq 0,05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0,05 \frac{28}{450} = 0,0031.$$

Devono inoltre essere rispettati i limiti riportati al punto 4.1.6.1.2 delle NTC2008:

- Nel caso di elementi sottoposti a prevalente sforzo normale, le barre parallele all'asse devono avere diametro maggiore od uguale a 12 mm. Inoltre la loro area non deve essere inferiore a :

$$A_{s,min} = (0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}})$$

e comunque non minore di 0.003 Ac;

dove:

N_{Ed} rappresenta lo sforzo di compressione assiale di calcolo;

Ac è l'area di calcestruzzo;

f_{yd} è il valore della resistenza di calcolo dell'armatura.

Nel caso in esame risulta:

$$A_s = 3770 \text{ mm}^2 > \begin{cases} A_{s,min} = 0,10 \frac{263210}{391,3} = 67,26 \text{ mm}^2 \\ 0,003 \cdot 300 \cdot 400 = 360 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

Si riscontra, pertanto, che l'armatura dei pilastri rispetta i limiti prescritti dalle NTC2008.

- **Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE**

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame è necessario effettuare le verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza (punto 7.3.7.1 delle NTC2008) dato che il fabbricato tecnologico in esame ricade in classe d'uso IV, dunque, per rapidità di calcolo, le combinazioni SLD saranno inserite nell'involuppo delle combinazioni SLU e, pertanto, verificate nel paragrafo precedente.

PILASTRI							
ID element	comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
1	SLE (QP) 1	-45.91	4.11	-5.71	-0.04	-5.63	8.98
	SLE (QP) 1	-45.91	4.11	-5.71	-0.04	5.51	0.96
	SLE (QP) 1	-45.91	4.11	-5.71	-0.04	16.65	-7.06
3	SLE (QP) 1	-136.51	16.65	1.6	-0.07	4.16	42.57
	SLE (QP) 1	-136.51	16.65	1.6	-0.07	1.04	10.11
	SLE (QP) 1	-136.51	16.65	1.6	-0.07	-2.08	-22.35
5	SLE (QP) 1	-110.5	-20.65	6.23	0.06	17.62	-61.1
	SLE (QP) 1	-110.5	-20.65	6.23	0.06	5.48	-20.83
	SLE (QP) 1	-110.5	-20.65	6.23	0.06	-6.67	19.43
15	SLE (QP) 1	-46.34	4.5	5.63	-0.05	5.46	9.73
	SLE (QP) 1	-46.34	4.5	5.63	-0.05	-5.52	0.96
	SLE (QP) 1	-46.34	4.5	5.63	-0.05	-16.49	-7.82
17	SLE (QP) 1	-136.07	17.05	-1.64	0	-4.24	43.26
	SLE (QP) 1	-136.07	17.05	-1.64	0	-1.05	10.02
	SLE (QP) 1	-136.07	17.05	-1.64	0	2.15	-23.23
1	env SLE (rara)(all)	-46.49	16.59	15.85	-0.11	24.29	24.45
	env SLE (rara)(all)	-46.49	9.77	5.91	-0.11	3.76	-1.25
	env SLE (rara)(all)	-46.49	4.38	-4.97	-0.11	6.47	-13.64
3	env SLE (rara)(all)	-143.13	22.77	4.16	0.67	-9.42	54.37
	env SLE (rara)(all)	-143.13	22.77	-10.86	0.67	-2.89	10.73
	env SLE (rara)(all)	-143.13	22.77	-25.87	0.67	32.91	-34.43
5	env SLE (rara)(all)	-116.01	-24.28	5.4	1.31	16.04	-63.67
	env SLE (rara)(all)	-116.01	-19.5	5.4	1.31	5.83	-20.99
	env SLE (rara)(all)	-116.01	-14.72	5.4	1.31	-5.01	14.03
15	env SLE (rara)(all)	-54.22	15.66	28.87	-0.06	37.25	22.34
	env SLE (rara)(all)	-54.22	8.84	17.76	-0.06	-8.22	-1.54
	env SLE (rara)(all)	-54.22	3.86	6.76	-0.06	-32	-12.73

17	env SLE (rara)(all)	-148.86	21.72	2.28	0.78	-17.56	52.62
	env SLE (rara)(all)	-148.86	21.72	-14.49	0.78	-5.65	10.65
	env SLE (rara)(all)	-148.86	21.72	-31.26	0.78	38.97	-32.45
1	env SLE (FREQ)(all)	-46.12	4.37	-5.85	-0.04	-6.01	9.55
	env SLE (FREQ)(all)	-46.12	4.37	-5.85	-0.04	5.46	1.02
	env SLE (FREQ)(all)	-46.12	4.37	-5.85	-0.04	16.82	-7.5
3	env SLE (FREQ)(all)	-137.98	16.85	1.7	-0.07	4.3	43.09
	env SLE (FREQ)(all)	-137.98	16.85	1.7	-0.07	1.03	10.23
	env SLE (FREQ)(all)	-137.98	16.85	1.7	-0.07	-2.35	-22.62
5	env SLE (FREQ)(all)	-111.45	-20.94	6.34	0.06	17.78	-61.79
	env SLE (FREQ)(all)	-111.45	-20.94	6.34	0.06	5.47	-21.06
	env SLE (FREQ)(all)	-111.45	-20.94	6.34	0.06	-6.94	20.13
15	env SLE (FREQ)(all)	-46.55	4.76	5.76	-0.05	5.83	10.3
	env SLE (FREQ)(all)	-46.55	4.76	5.76	-0.05	-5.46	1.02
	env SLE (FREQ)(all)	-46.55	4.76	5.76	-0.05	-16.65	-8.26
17	env SLE (FREQ)(all)	-137.54	17.25	-1.74	0	-4.37	43.78
	env SLE (FREQ)(all)	-137.54	17.25	-1.74	0	-1.04	10.14
	env SLE (FREQ)(all)	-137.54	17.25	-1.74	0	2.41	-23.5

 a) Verifiche di fessurazione:

In particolare:

- per la combinazione di carico frequente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_3 = 0.4$ mm;
- per la combinazione di carico quasi permanente bisogna accertarsi che risulti: $w_d < w_2 = 0.3$ mm.

Per rapidità di calcolo e comunque in favore di sicurezza si verifica la sezione nella combinazione SLE rara con i limiti per la combinazione quasi permanente.

La combinazione di calcolo verificata è quella più gravosa quindi quella che massimizza il momento M3.

Sollecitazioni

Momento flettente	M	39	kN m
Sforzo normale	N	148	kN

Materiali

Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	35	N/mm ²
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	29,1	N/mm ²



**ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.**

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	102 di 118

Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2,8	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,0	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm			
Larghezza sezione	B	30	cm			
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	12,57	cm ²	4	Ø 20	$c_{s1} = 6$ cm
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	6,28	cm ²	2	Ø 20	$c_{s2} = 15$ cm
Armatura tesa (2° strato)	As_2	6,28	cm ²	2	Ø 20	$c_{i2} = 15$ cm
Armatura tesa (1° strato)	As_1	12,57	cm ²	4	Ø 20	$c_{i1} = 6$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	12,7	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	150,1	N/mm ²

Eccentricità	e (M)	89,2	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	69,2	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	15,9	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1728	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	238603	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	128406	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	32	kN m	La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k_t	0,4		
Altezza efficace	d_{eff}	8,0	cm	
Area efficace	Ac_{eff}	240,662	cm ²	

Armatura nell'area efficace	As	18,8	cm ²
	$\rho\rho_{,eff}$	0,07832	
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	37,1	N/mm ²
Modulo elastico del cls	E_{cm}	32.588	N/mm ²
	α_E	6,4	
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0,00092	
	k_1	0,8	
	k_2	0,5	
	k_3	3,4	
	k_4	0,425	
Copriferro netto	c'	5,0	cm
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	20,0	mm
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	21,3	cm
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0,14	mm

Tipo di armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Stato limite	Quasi permanente
Valore limite di apertura delle fessure	$w_2=0.3$ mm

La verifica risulta soddisfatta in quanto: $w_k= 0,20$ mm < $w_3 = 0,3$ mm.

b) Verifiche delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2008. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 16,80 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{per combinazione caratteristica rara});$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 12,60 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{per combinazione quasi permanente});$$

- Per l'acciaio:

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{per combinazione caratteristica rara}).$$

Tensioni nei materiali SLE rara

Compressione max nel cls.	σ_c	12,7	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	215,5	N/mm ²

Tensioni nei materiali SLE quasi permanente

Compressione max nel cls.	σ_c	7,5	N/mm ²
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	120,6	N/mm ²

La verifica risulta soddisfatta.

8.5 Verifica degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (SLO)

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso I e II si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti eccessivi d'interpiano, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti d'interpiano ottenuti dall'analisi in presenza di dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD siano inferiori a:

$$d_r \leq 0,01h$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A	FOGLIO 105 di 118

per tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti d'interpiano, per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura.

Considerando h altezza d'interpiano che vale 3,85 m si ottiene che deve essere:

$$d_r < 0,0385 \text{ m.}$$

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso III e IV si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca danni agli elementi costruttivi senza funzione strutturale tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLO siano inferiori ai 2/3 dei limiti in precedenza indicati.

$$U1 = d_r = 0,01349 \text{ m} < 2 \cdot 0,01 \cdot h / 3 = 0,0385 \cdot 2 / 3 = 0,0256 \text{ m.}$$

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

9. VERIFICA STRUTTURA INTERRATA

La struttura interrata è costituita da pareti perimetrali in c.a e da una platea di fondazione in c.a di spessore pari a 40cm. Di seguito si riportano le verifiche strutturali di tali elementi.

9.1 Pareti

Le pareti devono resistere ai carichi gravitazionali trasmessi dalla sovrastruttura ed alla spinta del terreno. Le verifiche saranno condotte con riferimento alle condizioni di carico più gravose.

VERIFICHE SLU

Di seguito alcune immagini significative in termini di sollecitazioni sugli elementi:

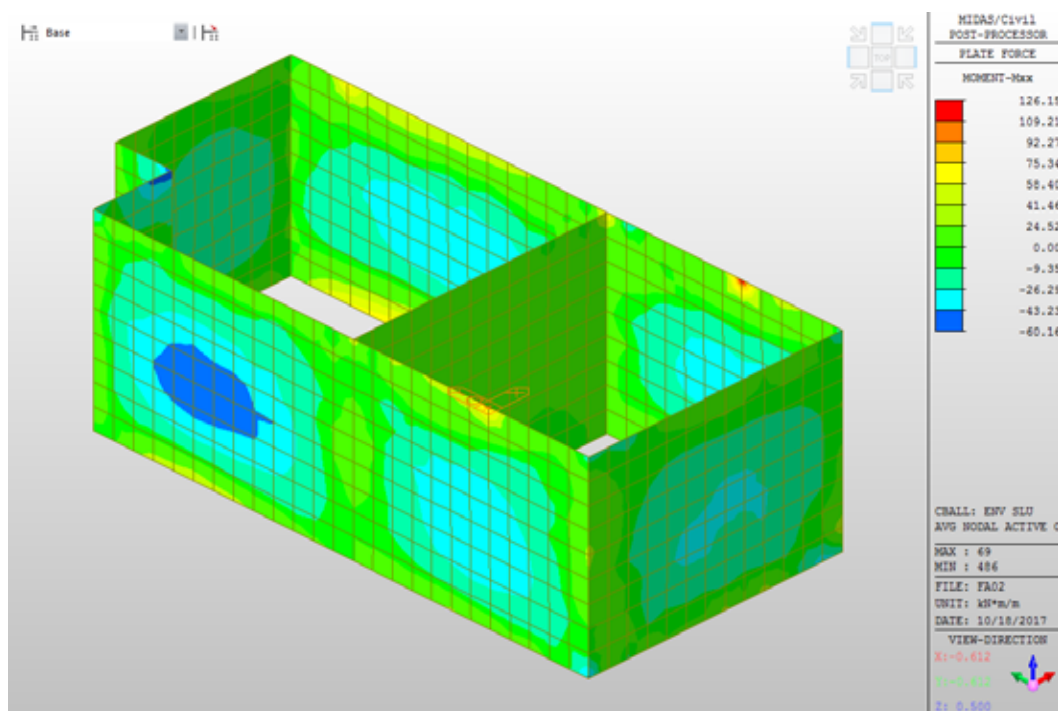


Figura 7 – Mxx: Involuppo SLU

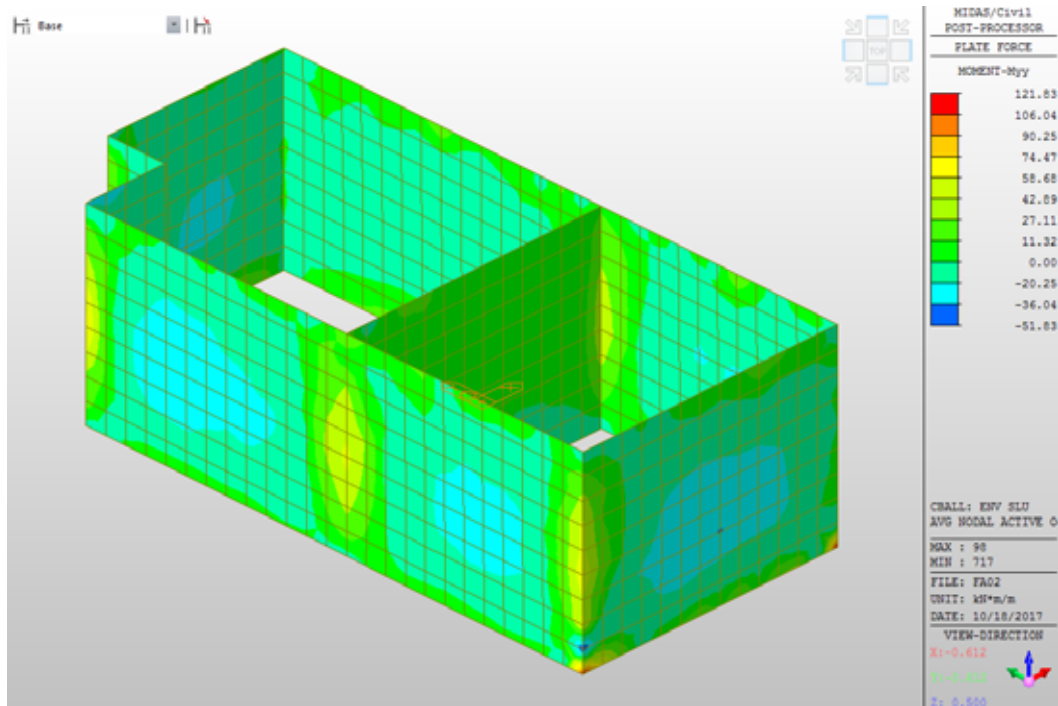


Figura 8 – Myy: Involuppo SLU

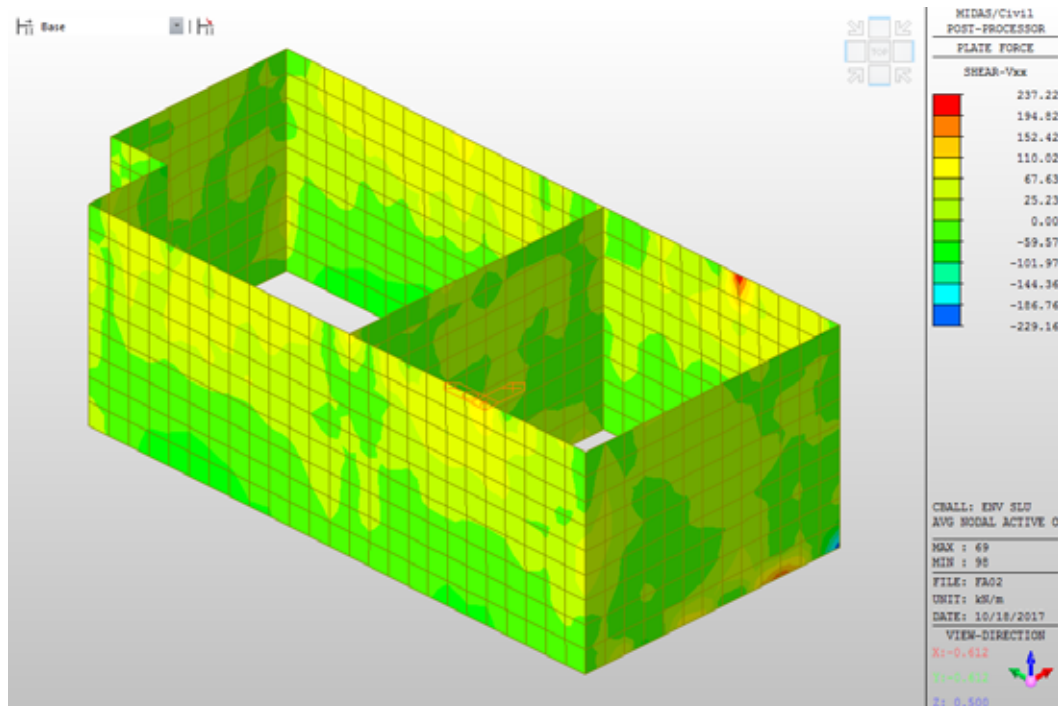


Figura 9 – Vxx: Involuppo SLU

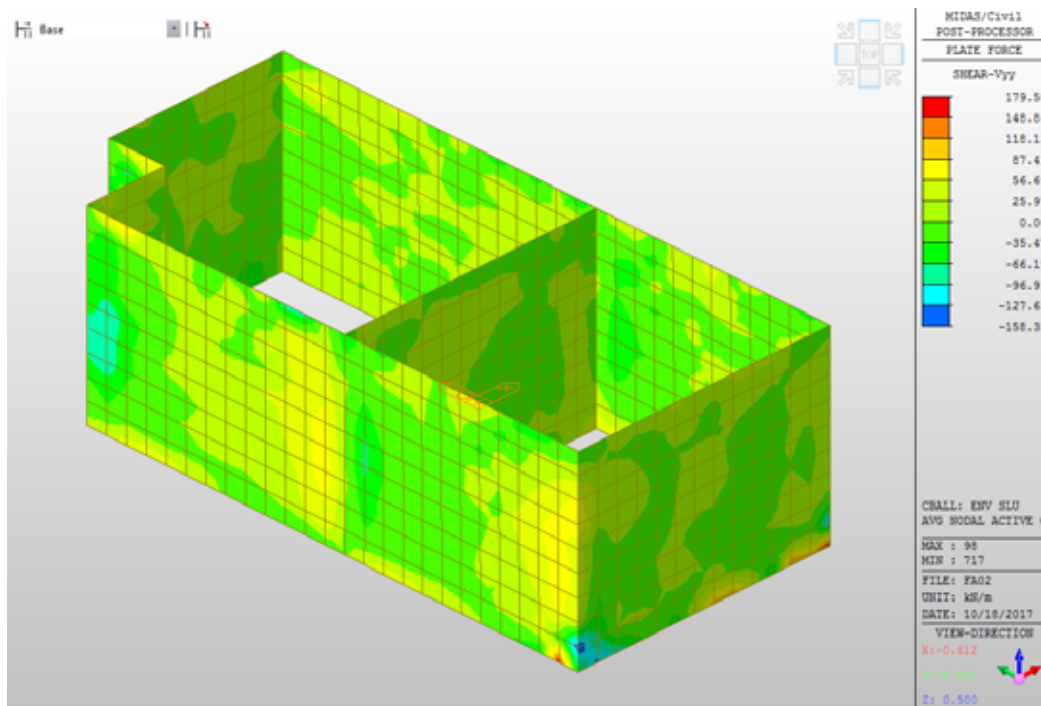
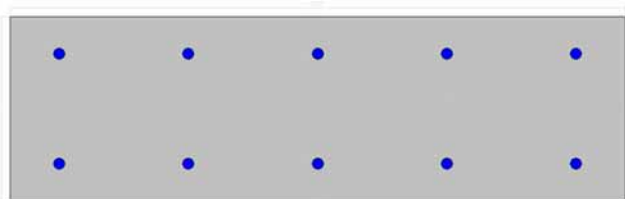


Figura 10 – Vyy: Involuppo SLU

Le verifiche sono condotte con riferimento ad una sezione di base unitaria ed altezza pari allo spessore delle pareti,, ovvero 0.30m.


 As sup: 5 ϕ 18

 As inf: 5 ϕ 18

 Staffe: Spilli ϕ 8/40x40cm

BxH	M_{xx}	$M_{Rd,y}$	S.F.	M_{yy}	$M_{Rd,x}$	S.F.
[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]
1.0 x 0.30	60	111	1.85	50	111	2.22

Le verifiche a taglio sono condotte con riferimento ad una sezione non armata a taglio. Si prevede in ogni caso una armatura minima costituita da spilli ϕ 8/40x40cm.

B	H	$V_{Rd,C}$	$V_{ed,x}$	$V_{Rd,x}$	S.F.	$V_{ed,y}$	$V_{Rd,y}$	S.F.
[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
1.0	0.30	125	100	-	1.25	85	-	1.47

 Table 1: *ULS Results*

VERIFICHE SLE

Di seguito alcune immagini significative in termini di sollecitazioni sugli elementi:

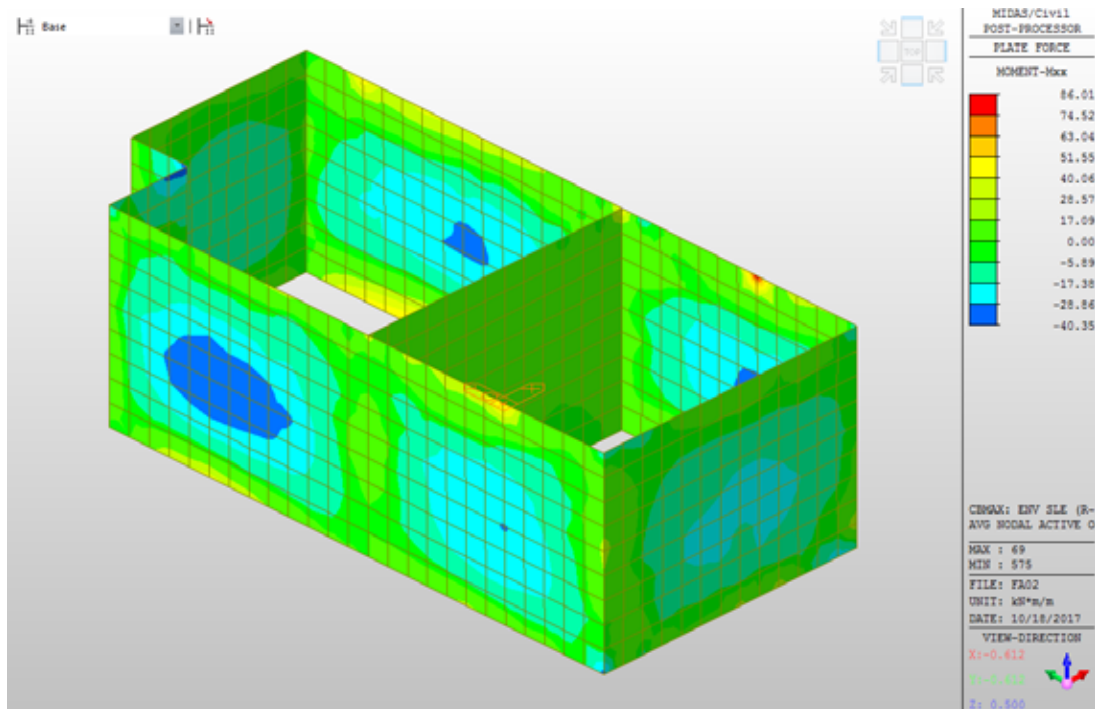


Figura 11 – Mxx: Inviluppo SLE

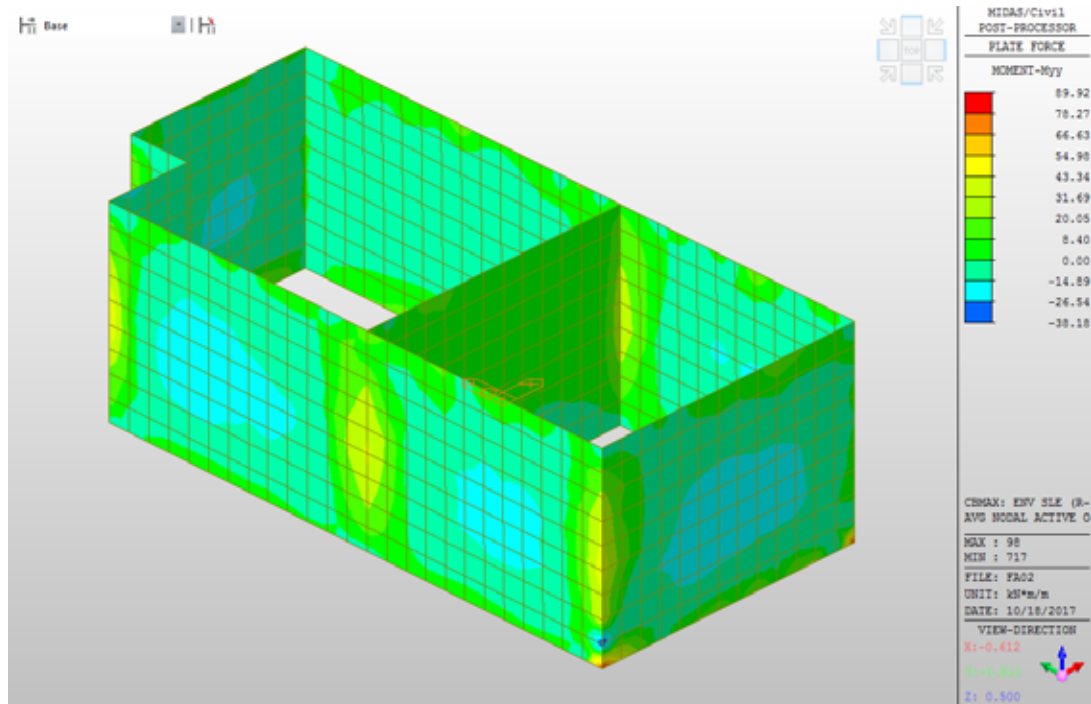


Figura 12 – Myy: Involuppo SLE

COMB	SECTION		M_{Ed}	$w_{k,max}$	w_{lim}	Cracking
	B [m]	H [m]	[kNm]	[mm]	[mm]	S.F.
Env SLE (RARA)	1.00	0.30	40	0.110	0.2	1.82

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

9.2 Fondazioni

Le fondazioni sono di tipo diretto e sono costituite da una platea in c.a di spessore pari a 40 cm. Al di sotto delle fondazioni è previsto uno strato di magrone di spessore 0.15 m debordante l'impronta delle fondazioni di 0.15 m.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi finalizzate al dimensionamento strutturale (STR), si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi che costituiscono la fondazione. Le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera alla quale sono applicate le azioni statiche e sismiche.

Inoltre sono state eseguite le verifiche a fessurazione e delle tensioni di esercizio per le combinazioni relative allo SLE.

Verifica di resistenza allo SLU

Di seguito alcune immagini significative in termini di sollecitazioni sugli elementi:

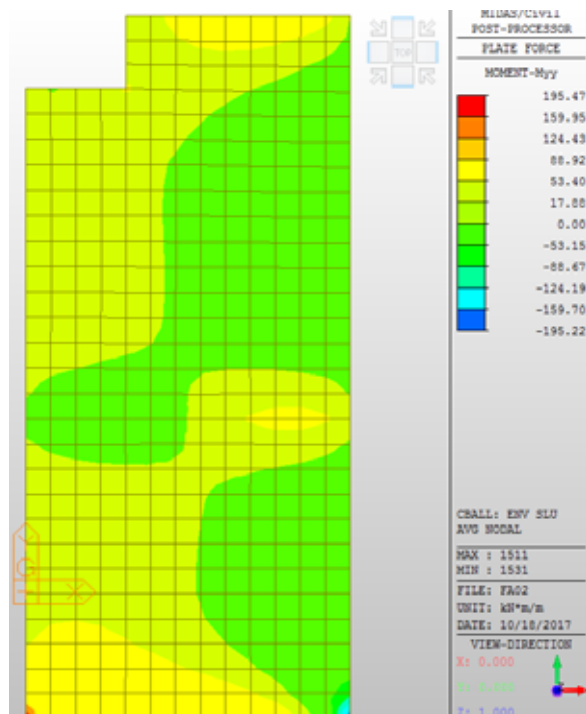


Figura 13 – Myy: Involuppo SLU

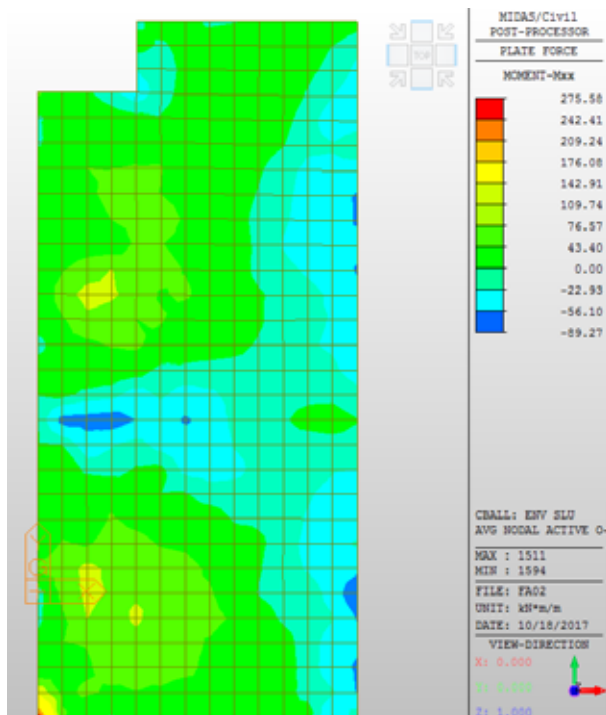


Figura 14 – Mxx: Inviluppo SLU

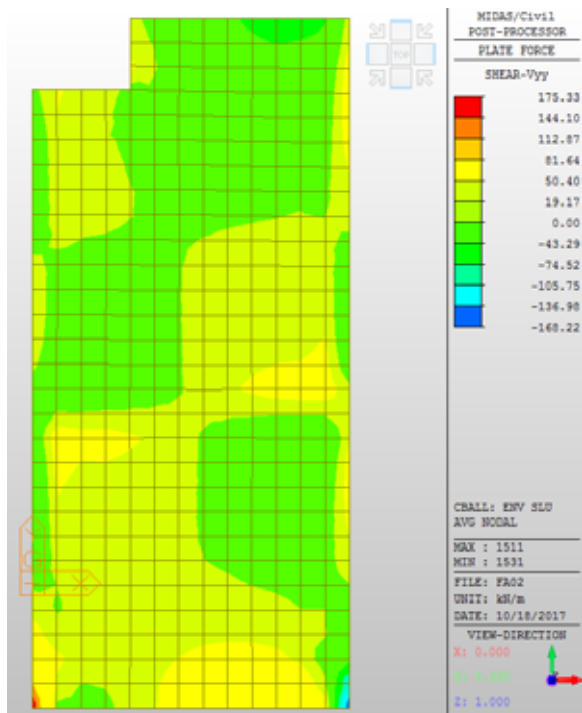


Figura 15 – Vyy: Inviluppo SLU

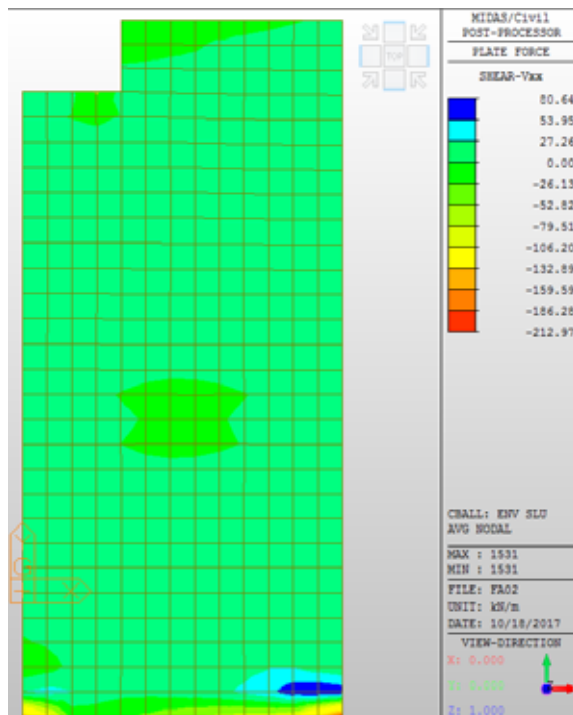
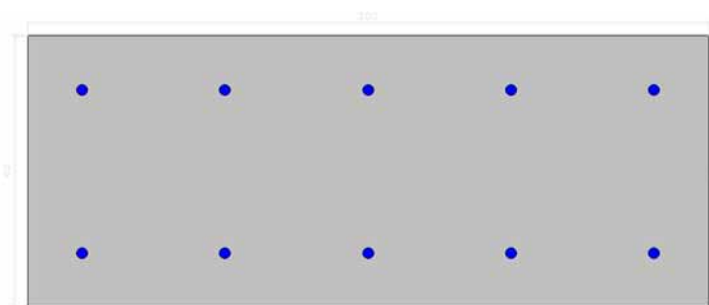


Figura 16 – Vxx: Inviluppo SLU

Le verifiche sono condotte con riferimento ad una sezione di base unitaria ed altezza pari allo spessore delle pareti,, ovvero 0.40m.



As sup: 5 ϕ 18

As inf: 5 ϕ 18

Staffe: Spilli ϕ 8/40x40cm

BxH	M_{xx}	$M_{Rd,y}$	S.F.	M_{yy}	$M_{Rd,x}$	S.F.
[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]
1.0 x 0.40	140	370	2.6	90	370	4.1

Le verifiche a taglio sono condotte con riferimento ad una sezione non armata a taglio. Si prevede in ogni caso una armatura minima costituita da spilli ϕ 8/40x40cm.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

B	H	$V_{Rd,C}$	$V_{ed,x}$	$V_{Rd,x}$	S.F.	$V_{ed,y}$	$V_{Rd,y}$	S.F.
[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
1.0	0.30	136	130	-	1.01	100	-	1.36

Table 1: ULS Results

VERIFICHE SLE

Di seguito alcune immagini significative in termini di sollecitazioni sugli elementi:

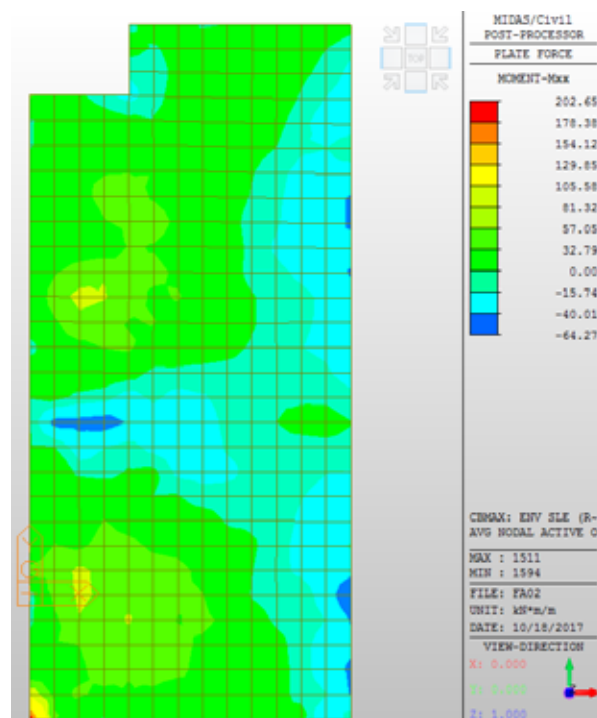


Figura 17 – Mxx: Involuppo SLE

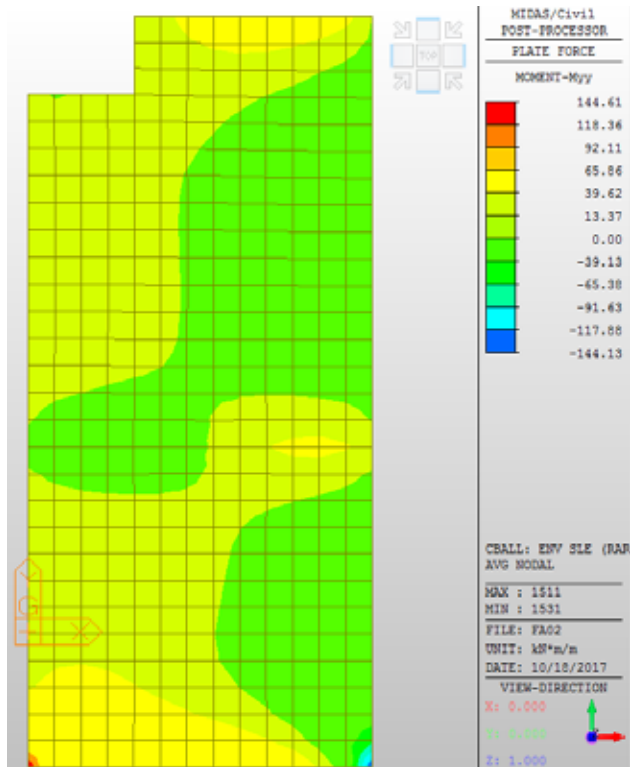


Figura 18 – Myy: Involuppo SLE

COMB	SECTION		M _{Ed}	W _{k,max}	W _{lim}	Cracking
	B [m]	H [m]	[kNm]	[mm]	[mm]	S.F.
Env SLE (RARA)	1.00	0.40	90	0.18	0.2	1.11

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 11	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA000 2001	REV. A

9.3 Verifica di capacità portante fondazione

Si riportano qui di seguito si riportano le reazioni delle molle alla Winkler ottenute dal modello di calcolo, nelle combinazioni SLV, SLU e SLD (per le verifiche a breve termine) in quanto trattandosi di terreno incoerente la verifica di capacità portante sarà condotta solo in termini di tensioni efficaci.

Si utilizza l'approccio 2 (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

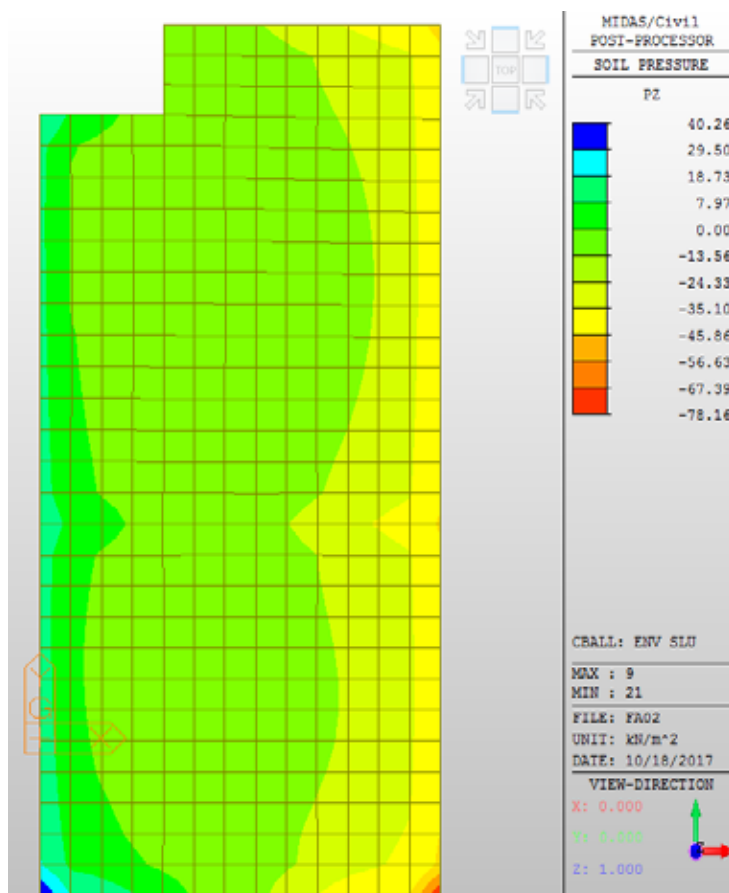


Figura 19 – Myy: Pressioni terreno



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	117 di 118

Quindi si ha:

$P_{media} \approx 30 \text{ kPa}$

$P_{max} \approx 45 \text{ kPa}$

Calcolo del Carico Limite con il metodo di Meyerhof			
		Parametri geotecnici del terreno	
Peso dell'unità di volume terreno di fondazione	(g)	t/mc	2.00
Angolo di attrito interno	(f)	°	30.00
Coesione	(c')	t/m ²	0.00
Kp			3.00000
Peso dell'unità di volume terreno di riporto	(gr)	t/mc	2.00

Caratteristiche geometriche della fondazione			
Larghezza fondazione	B	m	6.60
Lunghezza fondazione	L	m	12.70
Eccentricità larghezza	e _x	m	0.00
Approfondimento	D	m	4.50
Inclinazione carico	i	°	0.00
Larghezza ridotta	B'	m	6.60

Coefficienti di fondazione		
N _q		18.4011 $e^{(p \cdot \text{tg } f)^{\circ}} \text{tg}^2 (45^{\circ} + f/2)$
N _g		15.6680 $(N_q - 1) \text{tg} (1,4 f)$
N _c		30.1396 $(N_q - 1) \text{ctg} (f)$

Fattori di forma		
S _c		1.3118 $1 + 0,2 * K_p (B/L)$
S _q = S _g		1.1559 $1 + 0,1 * K_p (B/L)$

Fattori di profondità		
d _c		1.2362 $1 + 0,2 K_p^{1/2} * D/B$
d _q = d _g		1.1181 $1 + 0,1 K_p^{1/2} * D/B$



ITINERARIO NAPOLI-BARI.
 RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.
 II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

FA02 – Fabbricato VascaL : Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 11	CL	FA000 2001	A	118 di 118

Fattori di inclinazione del carico

$i_q = i_c$	1.0000	$(1 - i^\circ/90)^\circ$
i_g	1.0000	$(1 - i^\circ/f)^\circ$

Calcolo del carico limite

214.0361	$g_r * D * N_q * s_q * d_q * i_q$
133.6469	$0,5 * B' * g * N_g * s_g * d_g * i_g$
0.0000	$c' * N_c * s_c * d_c * i_c$

q_d		t/m ²	462.543	TOTALE
-------	--	------------------	----------------	---------------

La verifica è soddisfatta