

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC VERONA - PADOVA

SUB TRATTA VERONA – VICENZA

1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

PARTE GENERALE

FA09 - FABBRICATO PC AL KM 32+292,30

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.	SCALA:
ATI bonifica Progettista integratore Franco Persio Bocchetto Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 – Sez. A settore Civile ed Ambientale	Conorzio IRICAV DUE Il Direttore		-

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

I	N	O	D	0	0	D	I	2	C	L	F	A	0	9	0	2	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data
	Ing. F. P. Bocchetto	

Programmazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE	B. Messina	Maggio 2015	P. Battocletti	Maggio 2015	A. Testa	Maggio 2015	Ing F.P.Bocchetto Maggio 2015

File: IN0D00D12CLFA0902001A_00A.docx	CUP.: J41E91000000009	n. Elab.:
	CIG.: 3320049F17	

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	11
4	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA	11
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
6	PARAMETRI GEOTECNICI	14
7	ANALISI DELLE AZIONI	16
7.1	AZIONI STATICHE	16
7.1.1	PESI PROPRI STRUTTURALI (G ₁).....	16
7.1.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G ₂)	17
7.1.3	CARICHI VARIABILI (Q _k)	18
7.1.4	CARICO DELLA NEVE (Q _N).....	18
7.1.5	AZIONE DEL VENTO (Q _v)	19
7.1.6	AZIONE SISMICA (E).....	21
8	COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	29
9	ANALISI DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE	33
9.1	MODELLO E CODICE DI CALCOLO	33
9.2	APPLICAZIONE DELLE AZIONI STATICHE	39
9.3	ANALISI SISMICA	43
9.4	RISULTATI DEL CALCOLO SPAZIALE	52
10	VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN ELEVAZIONE	53
10.1	PILASTRI	53
10.1.1	PILASTRI (30x50) cm	53
10.1.2	PILASTRI (35x50) cm	58
10.2	MONACO.....	63
10.3	TRAVI D'IMPOSTA.....	67
10.4	CATENE	72
10.5	TRAVI DI FALDA	76
10.6	SOLAIO.....	81
10.7	CORNICIONE	85
10.8	VERIFICA AGLI SLE PER AZIONI SISMICHE	87
10.8.1	VERIFICA DANNEGGIAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	88

10.8.2	VERIFICA DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI	88
11	VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN FONDAZIONE	89
11.1	VERIFICHE GEOTECNICHE	89
11.2	VERIFICHE STRUTTURALI TRAVI DI FONDAZIONE	94
11.2.1	TRAVI ROVESCE	94
11.2.2	TRAVI DI COLLEGAMENTO TRASVERSALI INTERNE	98
12	ALLEGATO 1: TABULATO DI CALCOLO	101

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 4 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto esecutivo delle opere strutturali del fabbricato di servizio tipo PC da realizzare nell'area del piazzale di stazione prevista al km 32+300 della nuova linea ferroviaria AV/AC Verona – Padova, 1° sublotto: Verona – Montebello Vicentino, in Comune di Montebello Vicentino (VI). In particolare la relazione illustra le caratteristiche geometriche generali e le dimensioni degli elementi strutturali, definisce le caratteristiche dei materiali costitutivi e riporta i calcoli statici del progetto esecutivo delle opere in elevazione e in fondazione.

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Dal punto di vista architettonico il fabbricato PC è composto da un unico organismo edilizio, a pianta rettangolare con dimensioni (65,25x7,20) m e un solo piano fuori terra, copertura a padiglione con pendenza delle falde di 19°, altezza al colmo di 5,70 m e finitura con tegole laterizie, cornicione/veletta perimetrale in calcestruzzo faccia a vista con altezza alla gronda di 3,80 m fuori terra, murature perimetrali e interne in blocchi forati di calcestruzzo vibro-compresso rivestiti all'interno e faccia a vista all'esterno.

La struttura si compone di tre corpi distinti, tra loro separati mediante due giunti strutturali di 10 cm: due corpi laterali, uguali tra loro, con dimensioni in pianta di (18,95x6,70) m e un corpo centrale con dimensioni in pianta di (25,85x6,70) m, misurati sugli assi strutturali.

La struttura in elevazione è costituita da un'intelaiatura spaziale di travi e pilastri in calcestruzzo armato ordinario gettato in opera e dall'unico solaio di copertura latero-cementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento. Sugli allineamenti trasversali sono previste "catene" in cls armato alla quota di imposta della copertura che assorbono la spinta dovuta all'inclinazione delle falde; la catena è sormontata al centro da un "monaco/ometto" che riproduce l'immagine tipica della struttura "a capriata". Le travi di falda, di colmo e di displuvio sono tutte a spessore di solaio (s=24

Fig. 2a – Pianta fondazioni corpo laterale

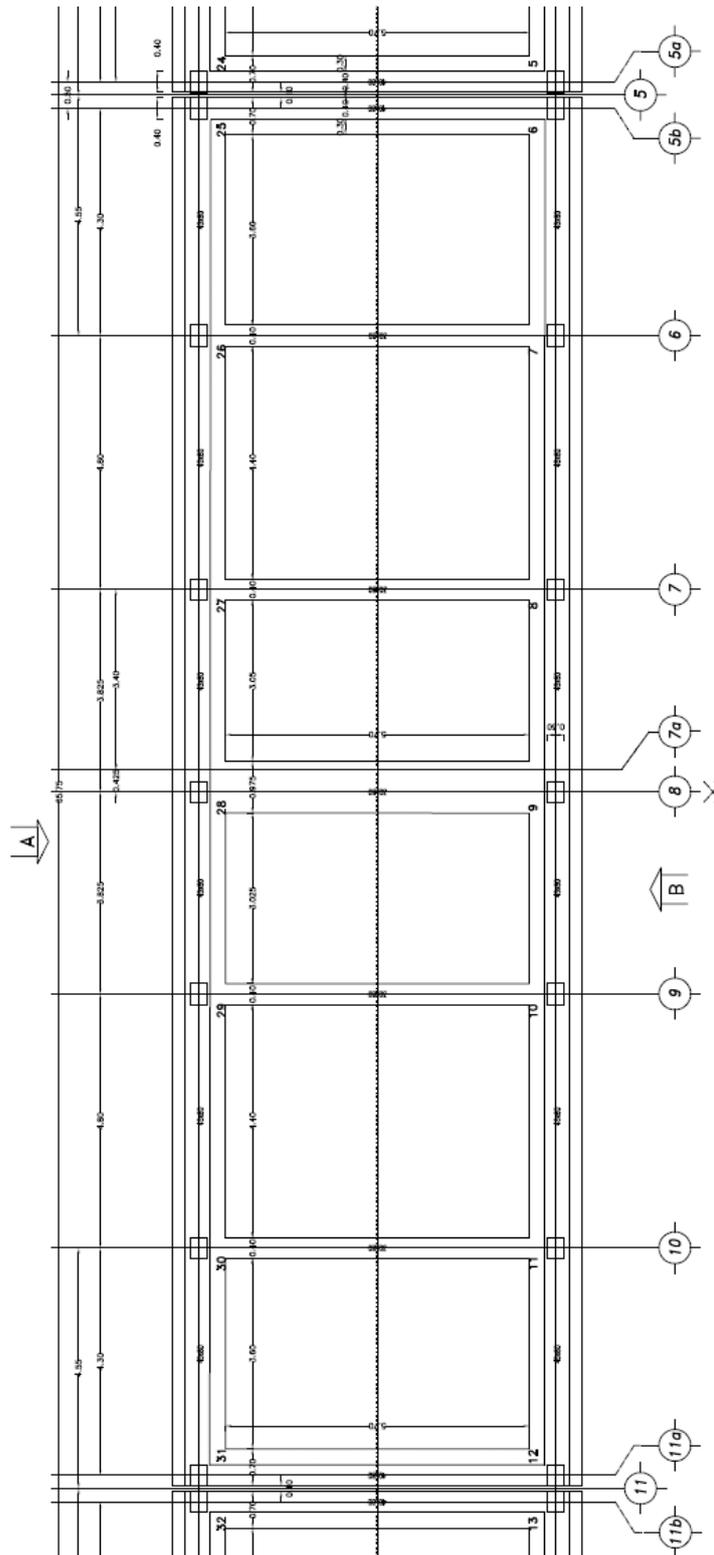
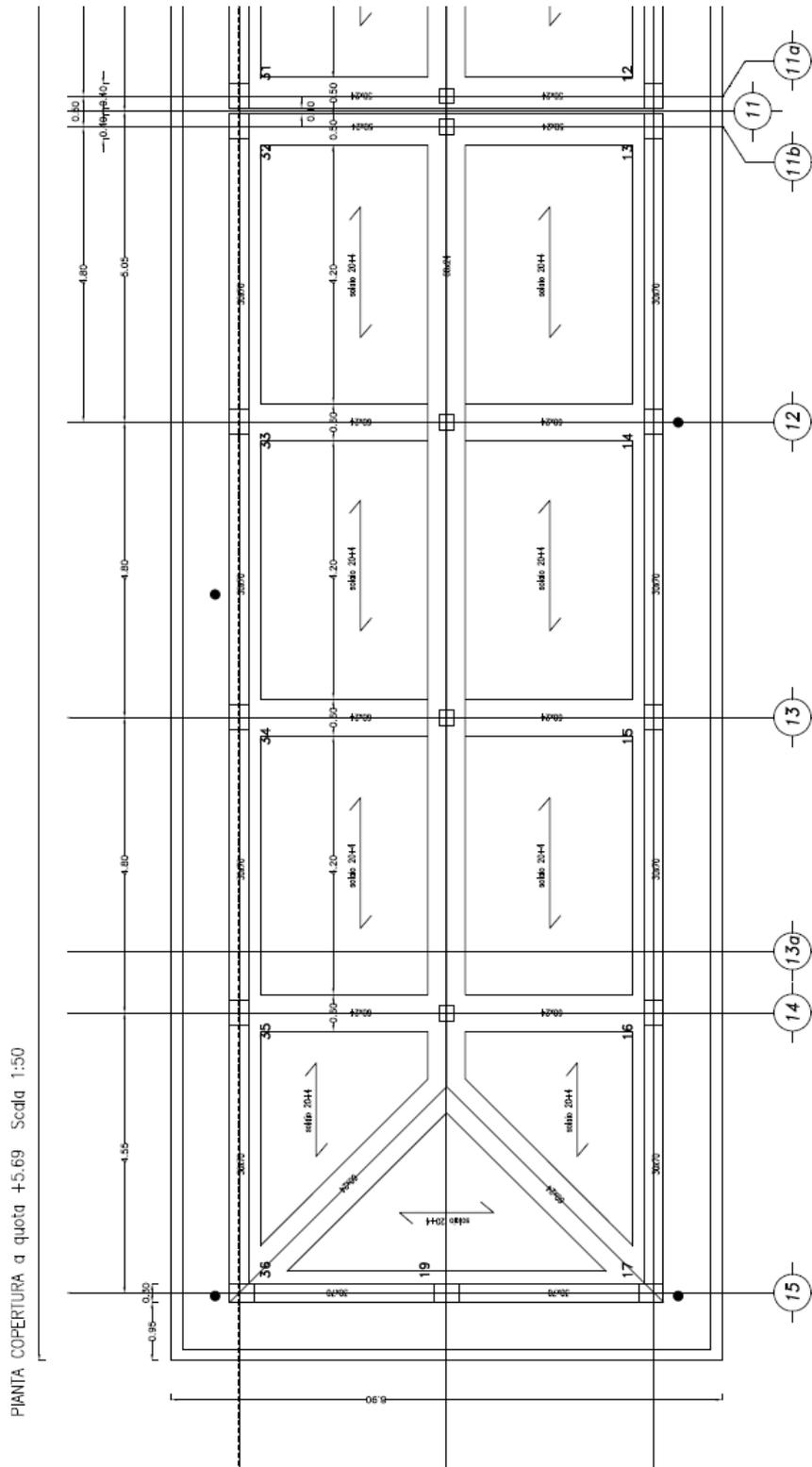


Fig. 2b – Pianta fondazioni corpo centrale



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 9 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Fig. 3a – Pianta copertura corpo laterale

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30

Relazione Di Calcolo Strutturale

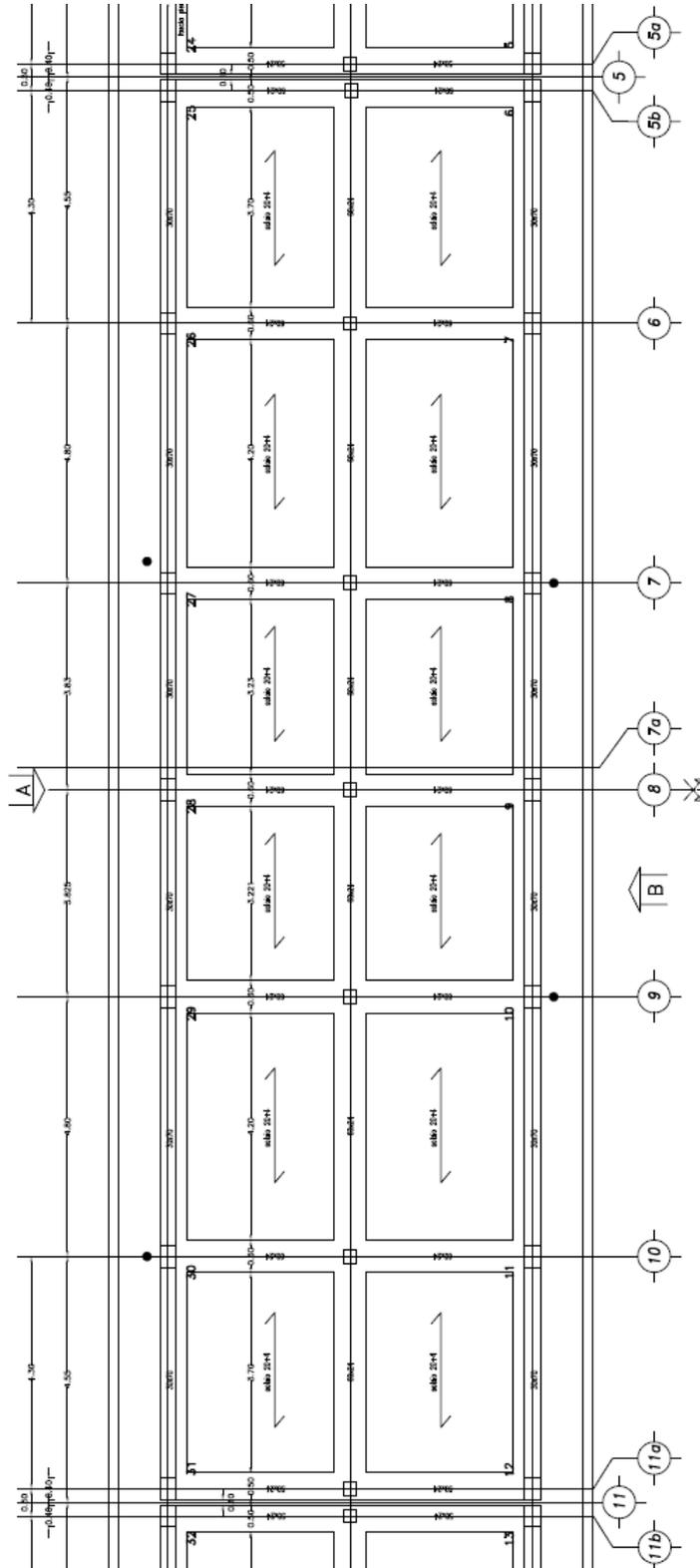
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO

REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.

10 di 102



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 11 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Fig. 3b – Pianta copertura corpo centrale

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento, le analisi e le verifiche delle strutture sono state condotte in accordo con le seguenti disposizioni normative:

- Legge n° 1086 del 05/11/1971
 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n° 64 del 02/2/1974
 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Ordinanza del 20/3/2003 n. 3274 e s.m.i.
 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.C.R. Regione Veneto 03/12/2003 n. 67
 Allegato 1 – Elenco dei comuni classificati in zona sismica.
- Decreto Ministeriale 14/1/2008
 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 02/2/2009, n°617
 Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14/1/2008
- UNI – EN 206-1: 2206
 Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- UNI 11104: 2004
 Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1..

4 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA

Con riferimento alla destinazione d'uso e alle conseguenze di un'eventuale interruzione di operatività o collasso del fabbricato, sono stati definiti i parametri di

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 12 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

base della progettazione strutturale, con particolare riguardo all'azione sismica (punto 2.4 NTC 2008):

- "vita nominale" $V_N = 100$ anni
- "classe d'uso" III, con coefficiente d'uso $C_U = 1,5$
- "periodo di riferimento per l'azione sismica": $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle strutture sono:

- Conglomerato cementizio magro per getti di sottofondo e livellamento: C 12/15
- Conglomerato cementizio per fondazioni: C 25/30
- Conglomerato cementizio pilastri: C 32/40
- Conglomerato cementizio per travi, catena, monaco e solai: C 28/35
- Conglomerato cementizio per cornicione: C 32/40
- Armatura per calcestruzzo armato: B450 C

sulle quali si riportano alcune considerazioni esplicative in merito al criterio di scelta, operata sulla base dei requisiti di resistenza e durabilità delle strutture.

Per il magrone non ci sono particolari esigenze di resistenza e durabilità; pertanto gli sono state attribuite la classe di esposizione X0 tipica delle strutture non armate e la classe di consistenza S3 tipica di getti che non presentano difficoltà di compattazione nella posa in opera. Per le fondazioni è adottata la classe di resistenza C 25/30 che soddisfa in pari misura sia le esigenze statiche che di durabilità; essendo interrate e a contatto con l'acqua assorbita dal terreno circostante per lunghi periodi di tempo, le fondazioni sono esposte al rischio di corrosione delle armature per carbonatazione del cls, con classe di esposizione XC2. Pilastri, travi in elevazione e solaio non presentano particolari rischi di esposizione ambientale dal momento che risultano interni al fabbricato oppure adeguatamente protetti, i pilastri dalla muratura di

rivestimento, le travi e il solaio dalla impermeabilizzazione e dal manto di copertura; per questi elementi la classe del calcestruzzo è determinata dalle esigenze statiche, come si vedrà più avanti nei calcoli. Viceversa, per il cornicione risulta prevalente l'esigenza di garantirne la durabilità in quanto ciclicamente asciutto e bagnato e quindi esposto al rischio di corrosione delle armature per carbonatazione con classe di esposizione XC4; da qui la prescrizione del calcestruzzo C32/40 pur trattandosi di una struttura secondaria.

La seguente tabella riporta il dettaglio delle caratteristiche prescritte.

CALCESTRUZZO - (D.M.14.01.2008 - UNI EN 206/1:2006 - UNI 11104:2004)											
	CLASSE DI RESISTENZA ADOTTATA	CLASSE DI ESPOSIZIONE	MAX RAPPORTO A/C	MIN CONTENUTO CEMENTO (kg/mc)	CEMENTO TIPO - CEM	MIN CONTENUTO D'ARIA (%)	MAX CONTENUTO CLORURI (%)	MAX DIMENSIONE INERTI (mm)	CLASSE DI CONSISTENZA	MIN COPRIFERRO NETTO (mm)	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA PER ESPOSIZIONE
MAGRONE	C 12/15	XD	0,60	200	II - 42,5	-	1,0	30	S3	-	C 12/15
FONDAZIONI	C 25/30	XC2	0,60	300	II - 42,5	-	0,2	25	S4	40	C 25/30
PILASTRI	C 32/40	XC3	0,55	320	II - 42,5	-	0,2	25	S4	40	C 28/35
TRAVI , CATENA, MONACO E SOLAIO	C 28/35	XC3	0,55	320	II - 42,5	-	0,2	25	S4	40	C 28/35
CORNICIONE	C 32/40	XC4	0,50	340	II - 42,5	-	0,2	25	S4	45	C 32/40

ACCIAIO di armatura - (D.M.14.01.2008)				
per C.A. normale in BARRE, RETI E TRALICCI	B450C			$\phi \geq 6$ mm $\phi \leq 40$ mm
	f_{tk}	\geq	540	N/mm ²
	f_{yk}	\geq	450	N/mm ²

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 14 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Tabella 1: Caratteristiche dei materiali

Per le strutture in condizioni ambientali ordinarie (XC2: fondazioni e XC3: pilastri, travi, catena, monaco, solaio) è indicato il copriferro netto di 40 mm sulla barra più esterna, che risulta maggiorato di 10 mm rispetto a quello minimo di normativa (25 mm: $C_{min} = C25/30$, ambiente ordinario, elementi monodimensionali) in relazione alla vita nominale di 100 anni richiesta per l'opera e di ulteriori 5 mm per le tolleranze di posa; queste sono da ritenersi minime per costruzioni sottoposte a controllo di qualità in cantiere tra le quali verosimilmente rientra anche l'intervento in esame. Analogamente, per il cornicione, in condizioni ambientali aggressive (XC4), è indicato il copriferro netto di 45 mm sulla barra più esterna, che risulta maggiorato di 10 mm rispetto a quello minimo di normativa (30 mm: $C_{min} = C25/30$, ambiente aggressivo, elementi bidimensionali) benché ne sia prevista l'impermeabilizzazione in estradosso, e di ulteriori 5 mm per le tolleranze di posa. In ogni caso il copriferro adottato garantisce la protezione delle armature, peraltro di piccolo/medio diametro e quindi ben avvolte dal calcestruzzo, e di allungare il tempo impiegato dalle sostanze potenzialmente aggressive a raggiungerle, favorendo così la durabilità dell'opera.

Nella tabella sono anche indicati il diametro massimo degli inerti di 25 mm e la classe di consistenza S4. Quest'ultima è ritenuta la più idonea a garantire la lavorabilità necessaria affinché il calcestruzzo possa sviluppare la resistenza prevista anche attraverso un'efficace compattazione, operazione che in quest'opera risulta agevolata essendo i getti frazionati in modesti volumi, eseguiti all'interno di elementi mediamente armati e in spessori generalmente contenuti ma non troppo sottili.

6 PARAMETRI GEOTECNICI

Per quanto riguarda i criteri di scelta dei parametri geotecnici del terreno da impiegare per la fondazione superficiale di quest'opera, si osserva che il fabbricato sorge sul rilevato di piazzale alto 3,85 m sul piano di campagna e che il progetto geotecnico

prevede uno strato di bonifico di 0,50 m al di sotto del piano di campagna. Considerato che il piano d'appoggio è posto a 1,05 m al di sotto del piano finito (0,00) del piazzale, ne consegue che al di sotto del piano di appoggio delle fondazioni è presente uno strato di 3,30 m di materiale riportato; quindi il terreno di appoggio è costituito dal rilevato e le tensioni indotte dalla fondazione superficiale si sviluppano interamente all'interno dello strato riportato, bonifico più rilevato, senza interessare il terreno in situ. La situazione è schematicamente illustrata nella seguente figura.

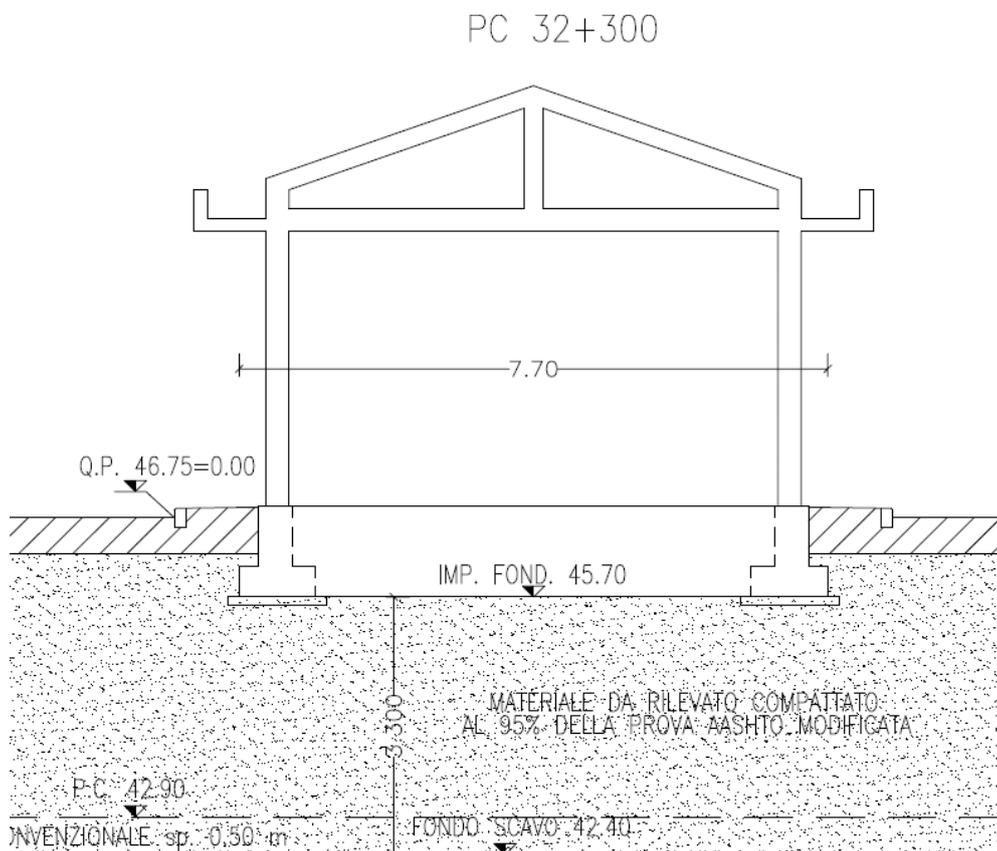


Fig. 4 – Sezione geotecnica

Per la costruzione del rilevato saranno adottati materiali e tecnologie atti a garantirne le elevate prestazioni richieste dall'esercizio ferroviario. Per le verifiche geotecniche del fabbricato saranno considerate cautelativamente le seguenti caratteristiche tipiche del materiale da rilevato e da bonifico:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 16 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di attrito interno
$K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$	costante elastica di Winkler

Essendo sopraelevato sul piano di campagna, il piano di fondazione dell'opera risulta sicuramente non interessato dalla falda.

7 ANALISI DELLE AZIONI

Le azioni considerate nel calcolo della struttura sono le seguenti:

- pesi propri dei materiali strutturali;
- carichi permanenti non strutturali;
- carichi variabili dovuti alla destinazione d'uso;
- azione della neve;
- azione del vento;
- azione sismica.

stimate in conformità alla normativa di riferimento e di seguito valutate nel loro valore unitario per le azioni statiche e nei parametri fondamentali per le azioni sismiche.

7.1 AZIONI STATICHE

7.1.1 PESI PROPRI STRUTTURALI (G1)

- Calcestruzzo armato	25,00 kN/m ³
- Solaio di copertura (H=20+4) cm	3,00 kN/m ²
- Calcestruzzo "leggero" per massetti	15,00 kN/m ³
- Calcestruzzo ordinario per massetti	24,00 kN/m ³

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 17 di 102

- Vespaio in pietrame o ciottoli 16,00 kN/m³
- Misto di sabbia e cemento 20,00 kN/m³

7.1.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2)

Copertura

- massetto di livellamento in cls "leggero" (s=2 cm) 0,30 kN/m²
- pannello coibentazione 0,20 kN/m²
- guaina impermeabilizzazione 0,20 kN/m²
- manto di copertura 0,80 kN/m²
- intonaco in intradosso 0,30 kN/m²
- totale 1,80 kN/m²

Cornicione

- massetto pendenze in cls "leggero" (s=6,5 cm medio) 1,00 kN/m²
- guaina impermeabilizzazione 0,20 kN/m²
- totale 1,20 kN/m²

Calpestio (quota parte al di sopra delle ali esterne delle travi longitudinali a T rovescia)

- vespaio in pietrame (s=60 cm) 9,60 kN/m²
- massetto in cls armato (s=10 cm) 2,50 kN/m²
- allettamento (s= 6,5 cm) 1,30 kN/m²
- pavimento in piastrelle cemento (3,5 cm) 0,90 kN/m²
- totale 14,30 kN/m²

Calpestio (quota parte al di sopra dell'anima delle travi di giunto)

- pavimento flottante 1,00 kN/m²

Calpestio (quota parte al di sopra delle ali interne delle travi a T rovescia, delle travi di giunto e sulle travi di collegamento interne)

- soletta in c.a. (s=20 cm) 5,00 kN/m²

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 18 di 102

- | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| - pavimento flottante | 1,00 kN/m ² | |
| totale | | 6,00 kN/m ² |

Calpestio (quota parte al di sopra delle travi di fondazione interne)

- | | | |
|---|------------------------|--|
| - Carico impianti fissi uniformemente distribuito | 5,00 kN/m ² | |
|---|------------------------|--|

Muratura di tamponamento perimetrale

- | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| - blocchi di cls splittati (s=20 cm) | 2,55 kN/m ² | |
| - pannelli coibentazione (s=5 cm) | 0,15 kN/m ² | |
| - blocchi di cls standard (s=15 cm) | 2,00 kN/m ² | |
| - intonaco interno | 0,30 kN/m ² | |
| totale | | 5,00 kN/m ² |

Muratura divisoria interna

- | | | |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| - blocchi di cls standard (s=15 cm) | 2,00 kN/m ² | |
| - intonaco su due lati | 0,60 kN/m ² | |
| totale | | 2,60kN/m ² |

7.1.3 CARICHI VARIABILI (Q_k)

Copertura

- | | | |
|--|------------------------|---------------------------------|
| - Carico uniformemente distribuito | 0,50 kN/m ² | |
| - Carico concentrato, per verifiche locali | | 1,20 kN su impronta di 50x50 cm |

7.1.4 CARICO DELLA NEVE (Q_N)

Il sovraccarico della neve sulle coperture è stato determinato in funzione del luogo di ubicazione e delle caratteristiche del fabbricato, con l'espressione:

$$q_s = \mu_1 \times q_{sk} \times C_e \times C_t$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 19 di 102

con i parametri di seguito specificati:

μ_1 = coefficiente di forma della copertura (due falde con $\alpha < 30^\circ$)	0,8
q_{sk} = valore caratteristico del carico della neve	
per il sito in esame (provincia di Vicenza), zona I, quota <200 m slm	1,50 kN/m ²
C_e = coefficiente di esposizione	1,0
C_t = coefficiente termico	1,0

Ne deriva un carico di neve, riferito alla proiezione orizzontale della copertura, generalmente pari a: $q_s = 0,8 \times 1,50 \times 1,0 \times 1,0 = 1,20$ kN/m².

Si considera l'eventualità che il cornicione possa riempirsi completamente di neve. Assumendo un peso specifico convenzionale della neve di 2,00 kN/m³ ed essendo la veletta alta 65 cm (al finito), si valuta che sul cornicione agisca un sovraccarico di neve di 1,30 kN/m².

7.1.5 AZIONE DEL VENTO (Q_v)

L'azione del vento è assimilata ad una azione statica equivalente applicata normalmente alle superfici esposte, considerando i casi di pressione e depressione, con la:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

con i parametri di seguito specificati:

$$q_b = \text{pressione cinetica di riferimento} = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = 440 \text{ N/m}^2$$

essendo

$$\rho \text{ è la densità dell'aria assunta pari a } 1,25 \text{ kg/m}^3$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 20 di 102

v_b è la velocità di riferimento del vento; per il sito in esame (Veneto, zona 1, altitudine inferiore a 1000 m s.l.m.) vale 25 m/s se riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni; per un periodo di ritorno di 150 anni detto valore moltiplicato per $\alpha_R = 1,061$ e quindi $v_b = 25 \times 1,061 = 26,53$ m/s

c_e = coefficiente di esposizione

il sito in esame

distanza dal mare > 30 km, altitudine < 500 m, classe di rugosità del terreno D, risulta nella categoria di esposizione II, con i seguenti parametri:

$$k_r = 0,19 \quad z_0 = 0,05 \text{ m} \quad z_{\min} = 4 \text{ m}$$

e il coefficiente di topografia $c_t = 1$

Assumendo l'altezza del fabbricato al colmo della copertura, $z=5,70$ m, si determina

$$c_e = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) \times [(7+ c_t \ln (z/z_0))] = 2,00$$

c_p = coefficiente di forma

pareti sopravvento: 0,8; pareti sottovento e copertura: -0,4; interno: $\pm 0,2$

c_d = coefficiente dinamico: 1,0

In definitiva si ottengono i seguenti valori della pressione del vento:

$$\text{parete sopravvento: } p = 0,440 \times 2,0 \times 0,8 \times 1,0 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{parete sottovento: } p = -0,440 \times 2,0 \times 0,4 \times 1,0 = -0,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{interno: } p = \pm 0,440 \times 2,0 \times 0,2 \times 1,0 = \pm 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{copertura: } p = -0,440 \times 2,0 \times 0,4 \times 1,0 = -0,36 \text{ kN/m}^2$$

Si osserva che l'azione del vento sulla copertura ha segno opposto e valore di gran lunga inferiore ai carichi gravitazionali e quindi può essere trascurata. Si osserva inoltre che la pressione esterna ed interna può dar luogo a due diverse situazioni per gli effetti locali sulle pareti:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 21 di 102

sopravento $(0,72+0,18)= 0,90 \text{ kN/m}^2$ sottovento $(-0,36+0,18)= -0,18 \text{ kN/m}^2$
 sopravento $(0,72-0,18)= 0,54 \text{ kN/m}^2$ sottovento $(-0,36-0,18)= -0,54 \text{ kN/m}^2$
 mentre per l'effetto globale sulla struttura si può considerare la situazione intermedia:
 sopravento: $0,72 \text{ kN/m}^2$ sottovento: $-0,36 \text{ kN/m}^2$

7.1.6 AZIONE SISMICA (E)

Il Comune sede dell'opera è classificato in zona sismica 3 (D.C.R. Veneto 67/2003).
 Il quadro di riferimento adottato per l'azione sismica è completamente definito nella
 Relazione sismica di progetto, la quale, anche per i fabbricati tecnologici, prevede: la
 "vita nominale" $V_N = 100$ anni; la "classe d'uso" III, con coefficiente d'uso $C_U = 1,5$; il
 "periodo di riferimento": $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni.

Sulla base di questi dati e sulla base delle coordinate specifiche del sito in esame:

Longitudine: 11,2302 Latitudine: 45,2645

utilizzando gli spettri di normativa, sono stati ricavati i parametri sismici per le verifiche
 dell'opera nei diversi stati limite; si tratta di: accelerazione orizzontale massima riferita
 al suolo rigido " a_g "; fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
 " F_0 "; periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione
 orizzontale " T_c^* "; i parametri sono riassunti nella seguente tabella:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	90	0,053	2,544	0,278
SLD	151	0,065	2,592	0,282
SLV	1424	0,155	2,498	0,295
SLC	2475	0,190	2,460	0,300

Tabella 2: Parametri a_g , F_0 , T_c^* in funzione degli stati limite, al variare del periodo di ritorno T_R

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 22 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

L'azione sismica così individuata viene corretta per tener conto delle effettive condizioni locali, stratigrafiche (categoria di sottosuolo "D") e topografiche (superficie pianeggiante), attraverso i coefficienti correttivi che amplificano l'accelerazione riferita al suolo rigido determinando l'accelerazione di progetto: $a_{max} = Sx a_g (T=0)$:

STATO LIMITE	Coefficiente stratigrafico S_s	Coefficiente topografico S_T	Coefficiente di sito $S = S_s \times S_T$	$a_g(g)$	$a_{max}(g)$
SLO	1,800	1,0	1,800	0,053	0,096
SLD	1,800	1,0	1,800	0,065	0,117
SLV	1,800	1,0	1,800	0,155	0,279
SLC	1,700	1,0	1,700	0,190	0,323

Tabella 3: Coefficienti correttivi locali e accelerazioni massime

Gli stati limite adottati per la verifica sismica sono:

- SLV (stato limite di salvaguardia della vita), per le verifiche delle strutture nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU);
- SLD (stato limite di danno), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termini di resistenza;
- SLO (stato limite di operatività), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termine di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti in termini di mantenimento della funzionalità);

a ciascuno dei quali è associata una probabilità (crescente) di superamento dell'evento nel periodo di riferimento P_{VR} . Nelle figure 5, 6 e 7, alle pagine seguenti, si riportano i corrispondenti spettri elastici.

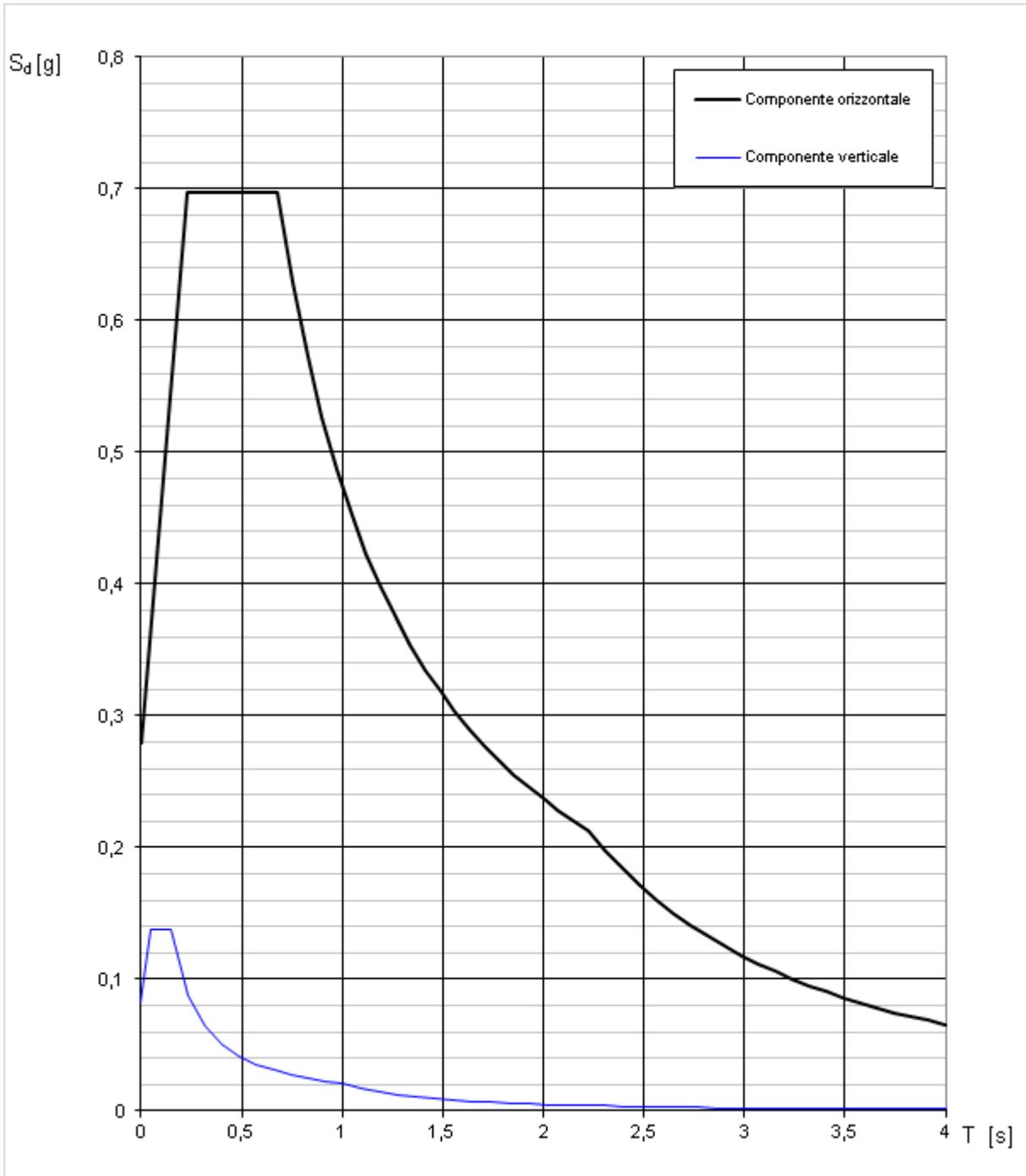


Figura 5: Spettro elastico SLV

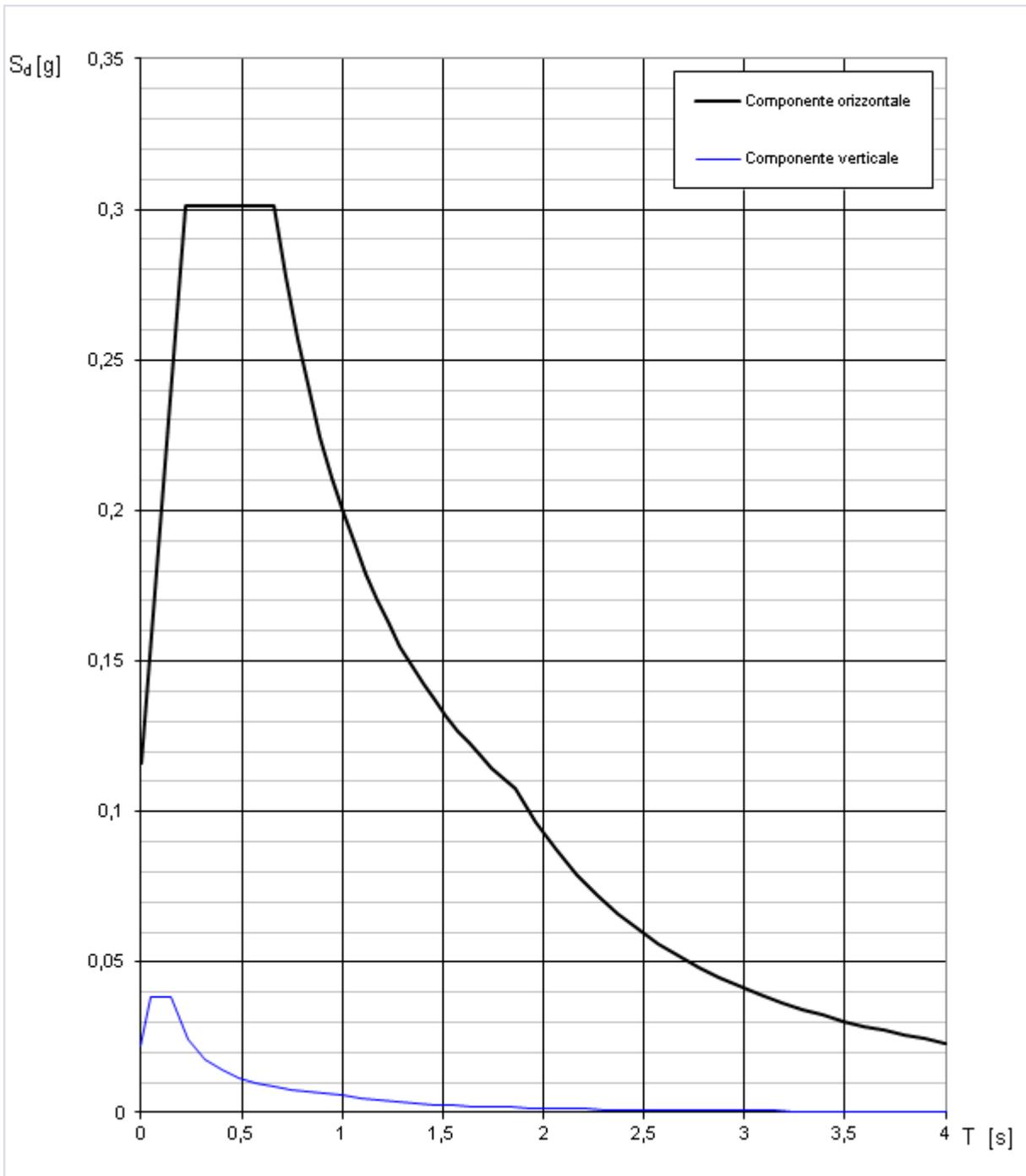


Figura 6: Spettro elastico SLD

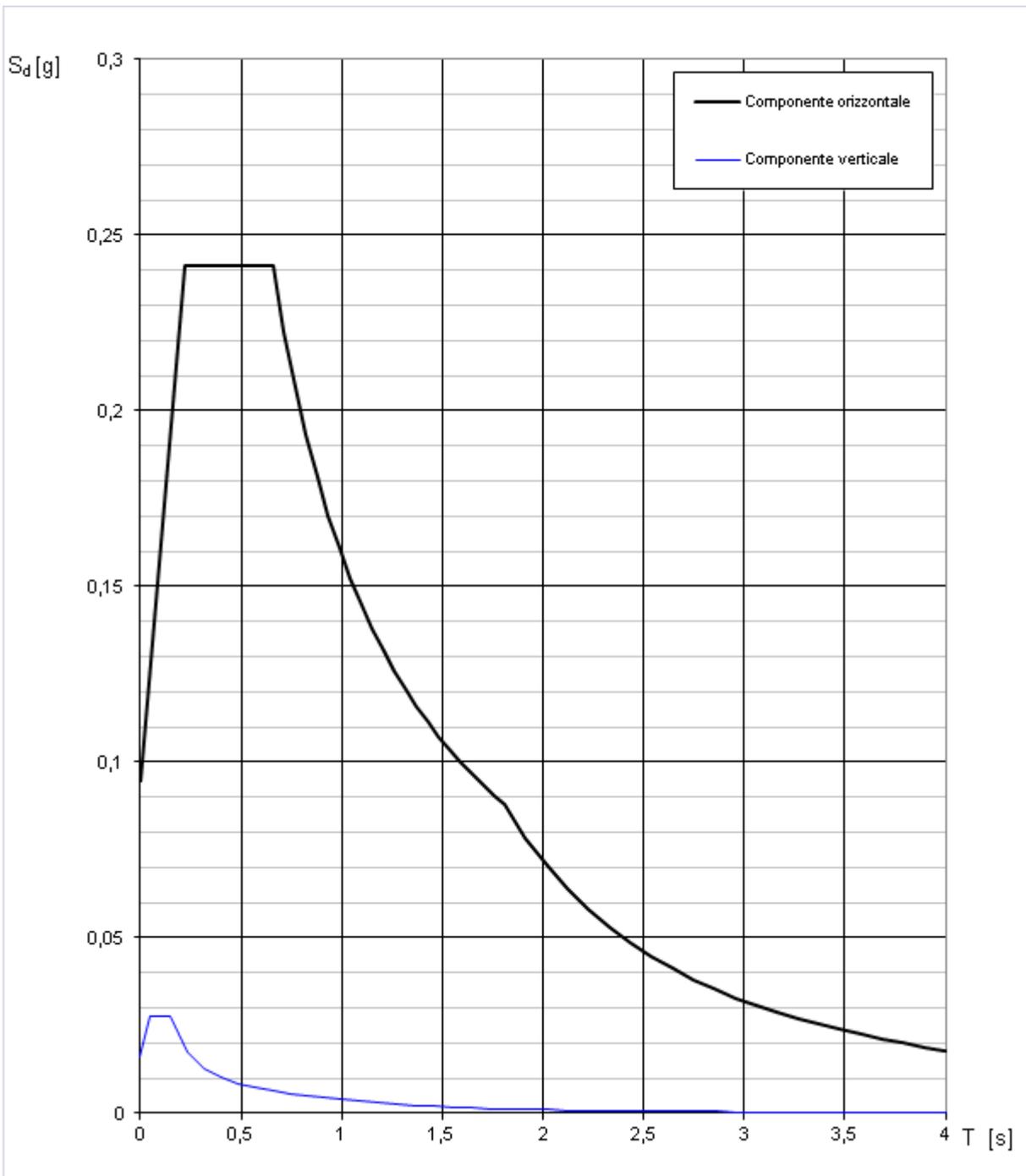


Figura 7: Spettro elastico SLO

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 26 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

La risposta alle azioni sismiche viene calcolata separatamente per due componenti orizzontali tra loro ortogonali mentre la componente verticale non viene considerata in quanto la costruzione sorge in Zona 3 (vedi 3.2.3.1 e 7.2.1 NTC 2008). In ogni caso, come si vedrà, le catene assorbono la spinta dovuta alla pendenza della copertura e i monaci che vi appoggiano risultano pressoché scarichi.

Gli effetti delle due componenti sono poi combinati con la:

$$(1,00 E_x + 0,30 E_y)$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi per l'individuazione degli effetti più gravosi.

Lo spettro di progetto per le verifiche delle strutture agli stati limite ultimi (SLU) viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLV prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura specifico per la struttura in esame. In questo caso si considerano i seguenti parametri di calcolo:

- tipologia strutturale: struttura in c.a. a telaio di un piano
- classe di duttilità: B
- coefficiente di base: 3,0
- rapporto di duttilità: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ (costruzione regolare in pianta)
- fattore riduttivo: $k_R = 1,0$ (costruzione regolare in altezza)

dai quali risulta il fattore di struttura:

$$q = q_0 \times k_R = 3,0 \times 1,1 \times 1,0 = 3,30$$

per ciascuna direzione del sisma orizzontale. Per l'azione sismica verticale il coefficiente di struttura è $q = 1,5$.

Di seguito si riporta lo spettro di progetto SLV:

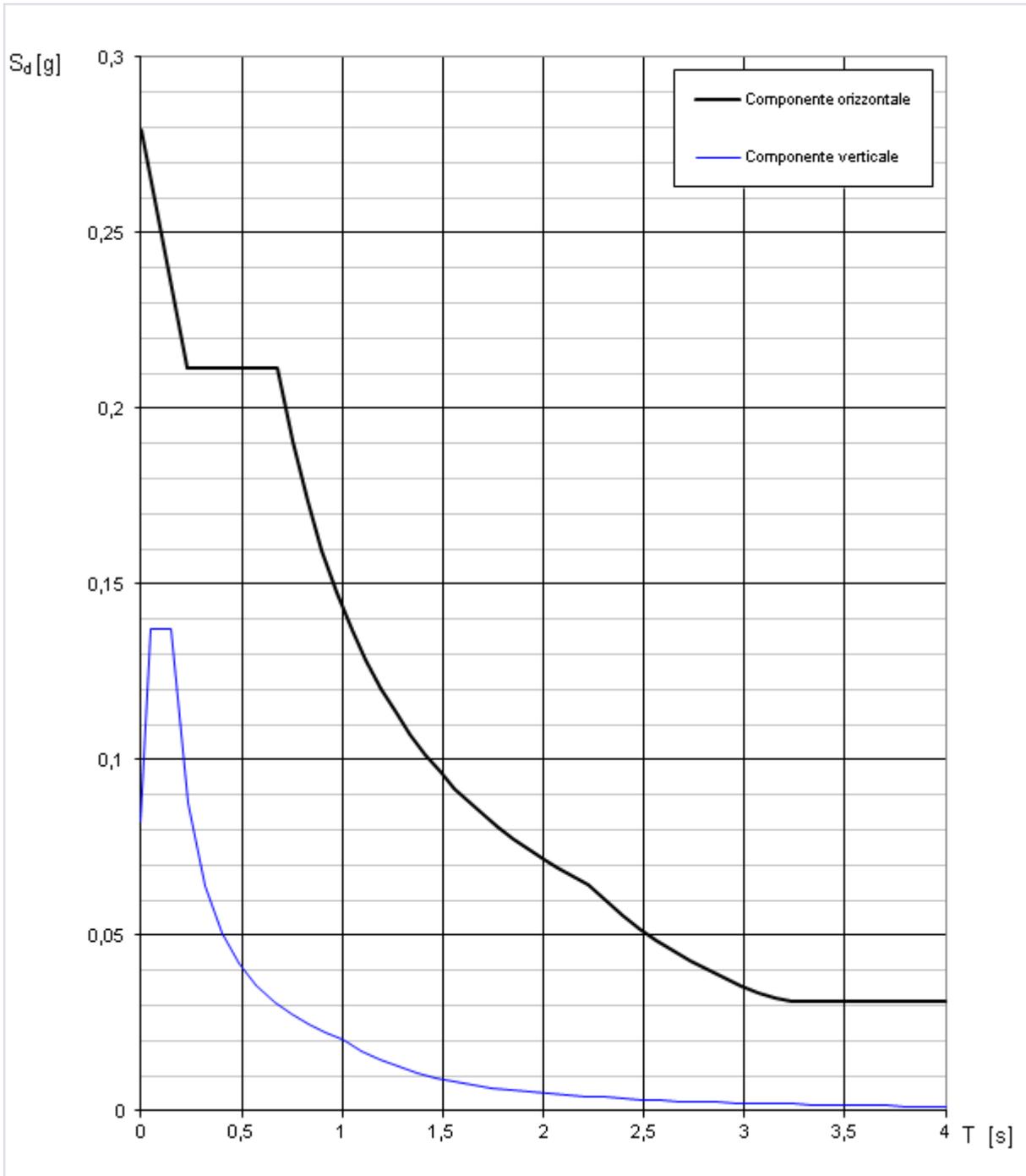


Figura 8: Spettro di progetto SLV, SLU delle strutture

Lo spettro di progetto per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di resistenza viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLD prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura $q=1/\eta=1/(2/3)=1,5$, di seguito riportato:

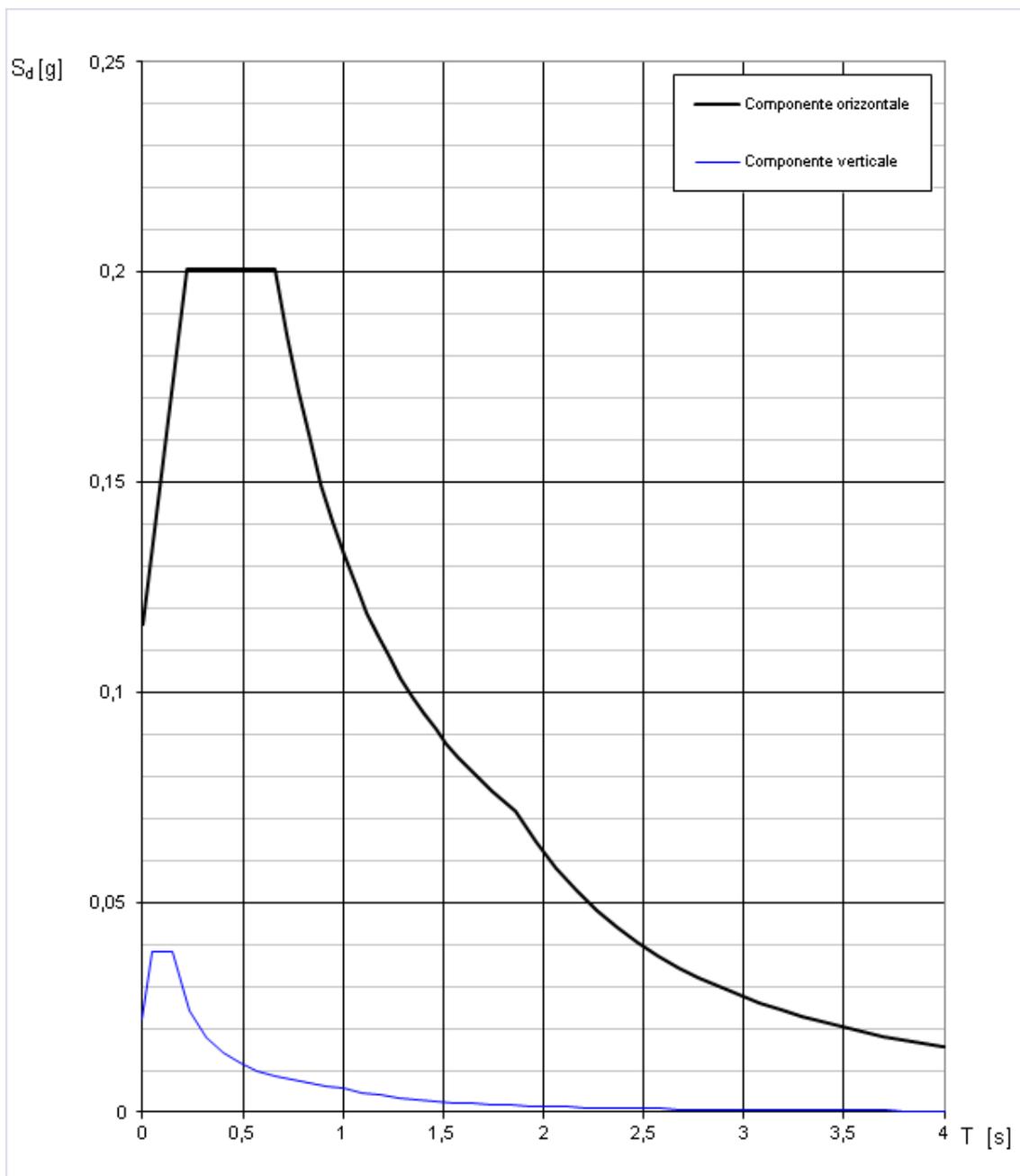


Figura 9: Spettro di progetto SLD, SLE delle strutture in termini di resistenza

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 29 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti interni di mantenimento della funzionalità) lo spettro di progetto coincide con quello elastico SLO prima riportato.

8 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le azioni elementari prima analizzate vengono combinate in modo da determinare le condizioni più gravose per ciascuna verifica, secondo le contemporaneità prescritte dalla Normativa vigente.

Per le verifiche strutturali e geotecniche agli stati limite ultimi per azioni statiche e per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica vengono considerate le seguenti combinazioni:

- Fondamentale (SLU) (2.5.1 del DM/08)
- Sismica (2.5.5 del DM/08)

segundo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali riassunti nelle seguenti tabelle:

AZIONE		Coeff. Parziale $\gamma_E - A1$ (STR)
Permanente sfavorevole	γ_{G1}	1,30
Permanente favorevole		1,00
Permanente non strutturale sfavorevole	γ_{G2}	1,30 (v. precisazioni seguenti)
Permanente non strutturale favorevole		0.00
Variabile sfavorevole	γ_Q	1.50
Variabile favorevole		0.00

Tabella 4: Coefficienti parziali per le azioni – Rif. Tab. 2.6.I del DM 14/1/2008

PARAMETRO		Coefficiente
		M1
Tangente angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	1.00
Coesione efficace	c'_k	1.00
Resistenza non drenata	c_{uk}	1.00
Peso dell'unità di volume	γ	1.00

Tabella 5: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici – Rif. Tab. 6.2.II del DM 14/1/2008

VERIFICA	COEFF. PARZIALE γ_r
	R3
Capacità portante	2,3
Scorrimento	1,1

Tabella 6: Coefficienti parziali per fondazioni superficiali – Rif. Tab. 6.4.I del DM 14/1/2008

e con le seguenti precisazioni:

- nelle combinazioni impiegate per le verifiche strutturali, il coefficiente γ_r non viene portato in conto, quindi combinazione (A1 + M1);
- per i permanenti portati si è assunto lo stesso coefficiente dei permanenti strutturali in quanto compiutamente definiti; si tratta infatti delle finiture della copertura e delle murature poste direttamente sulle travi di fondazione che non presentano aleatorietà e non sono suscettibili di significative modifiche nel tempo;
- per le combinazioni sismiche, i coefficienti parziali non nulli della Tab. 4 (azioni A1) saranno posti uguale a 1;
- per le combinazioni sismiche risultano nulli tutti i coefficienti di combinazione Ψ_2 della successiva Tab. 7 e quindi si esclude la contemporaneità del sisma con i sovraccarichi accidentali.

Per le verifiche strutturali agli stati limite di esercizio per azioni statiche vengono considerate le seguenti combinazioni:

- Caratteristica (rara) (SLE) (2.5.2 del DM/08) per le tensioni nei materiali

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag.
	IN0D00DI2CLFA0902001A	31 di 102

- Frequente (2.5.3 del DM/08) per la fessurazione
- Quasi permanente (2.5.4 del DM/08) per la fessurazione

con i coefficienti di combinazione riassunti nella seguente tabella:

AZIONE	COEFF. DI COMBINAZIONE		
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota < 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0

Tabella 7: Coefficienti di combinazione per le azioni variabili – Rif. Tab. 2.5.I.del DM 14/1/2008

Il dettaglio delle combinazioni considerate viene esposto nella seguente tabella, separatamente per quelle statiche e sismiche.

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30

Relazione Di Calcolo Strutturale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.
32 di 102

COMBINAZIONE		AZIONE					
Numero	Nome	Perm. Strutture G1	Perm. Portati G2	Acc. H Copert. Qk	Neve Qn	Vento direz. X Qv, X	Vento direz. Y Qv, Y
da 1 a 8, azioni statiche elementari							
9	SLU 1	1,3	1,3	1,5	0,75	0,9	0
10	SLU 2	1,3	1,3	1,5	0,75	-0,9	0
11	SLU 3	1,3	1,3	1,5	0,75	0	0,9
12	SLU 4	1,3	1,3	1,5	0,75	0	-0,9
13	SLU 5	1,3	1,3	0	1,5	0,9	0
14	SLU 6	1,3	1,3	0	1,5	-0,9	0
15	SLU 7	1,3	1,3	0	1,5	0	0,9
16	SLU 8	1,3	1,3	0	1,5	0	-0,9
17	SLU 9	1,3	1,3	0	0,75	1,5	0
18	SLU 10	1,3	1,3	0	0,75	-1,5	0
19	SLU 11	1,3	1,3	0	0,75	0	1,5
20	SLU 12	1,3	1,3	0	0,75	0	-1,5
21	SLE RA 1	1	1	1	0,5	0,6	0
22	SLE RA 2	1	1	1	0,5	-0,6	0
23	SLE RA 3	1	1	1	0,5	0	0,6
24	SLE RA 4	1	1	1	0,5	0	-0,6
25	SLE RA 5	1	1	0	1	0,6	0
26	SLE RA 6	1	1	0	1	-0,6	0
27	SLE RA 7	1	1	0	1	0	0,6
28	SLE RA 8	1	1	0	1	0	-0,6
29	SLE RA 9	1	1	0	0,5	1	0
30	SLE RA 10	1	1	0	0,5	-1	0
31	SLE RA 11	1	1	0	0,5	0	1
32	SLE RA 12	1	1	0	0,5	0	-1
33	SLE FR 1	1	1	0	0	0	0
34	SLE FR 2	1	1	0	0,2	0	0
35	SLE FR 3	1	1	0	0	0,2	0
36	SLE FR 4	1	1	0	0	-0,2	0
37	SLE FR 5	1	1	0	0	0	0,2
38	SLE FR 6	1	1	0	0	0	-0,2
39	SLE QP 1	1	1	0	0	0	0

NOTE:

- La numerazione delle combinazioni statiche coincide con quella del tabulato di calcolo.
- La CC 33 – SLE FR 1 risulta uguale alla CC 39 – SLE QP a causa del valore nullo del coefficiente parziale ψ_1 per il carico accidentale Qk.

Tabella 8a: Combinazioni considerate per gli stati limite da azioni statiche

COMBINAZIONE		AZIONE							
Numero	Nome	Perm. Strutture G1	Perm. Portati G2	Acc. H Copert. Qk	Neve Qn	Vento direz. X Qv, X	Vento direz. Y Qv, Y	Sisma orizz. X E, X	Sisma orizz. Y E, Y
da 40 a 43 azioni sismiche elementari									
vedi nota	SLV	1	1	0	0	0	0	+1 e -1	+0,3 e -0,3
	SLV	1	1	0	0	0	0	+0,3 e -0,3	+1 e -1
	SLD	1	1	0	0	0	0	+1 e -1	+0,3 e -0,3
	SLD	1	1	0	0	0	0	+0,3 e -0,3	+1 e -1
	SLO	1	1	0	0	0	0	+1 e -1	+0,3 e -0,3
	SLO	1	1	0	0	0	0	+0,3 e -0,3	+1 e -1

NOTA:

- Per la lista completa e la numerazione di dettaglio delle combinazioni sismiche si rinvia alla Tabella 11 del paragrafo 9.3

Tabella 8b: Combinazioni considerate per gli stati limite sismici (criterio generale)

9 ANALISI DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE

9.1 MODELLO E CODICE DI CALCOLO

La struttura in esame è stata schematizzata con un telaio spaziale e sottoposta ad analisi numerica mediante il programma di calcolo automatico agli elementi finiti, codice GT STRUDL del Georgia Institute of Technology, revisione 2.5 del 2000.

Si precisa che il modello di calcolo si riferisce al corpo centrale, il quale, rispetto al corpo laterale, presenta condizioni più sfavorevoli nei riguardi dell'azione sismica dimensionante; in particolare, risulta maggiore l'eccentricità accidentale legata alla maggiore dimensione longitudinale (25,85 m per il corpo centrale e 18,95 m per il corpo laterale). Pertanto tutti i calcoli che seguono prendono in considerazione il corpo centrale compreso tra i picchetti 5b e 11a, e i risultati si intendono estesi anche ai corpi laterali; unica eccezione il calcolo del solaio (vedi paragrafo 10.6).

Il modello è composto da elementi monodimensionali disposti secondo le linee d'asse della struttura reale e descritto in un sistema di riferimento cartesiano mediante le

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 34 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

coordinate dei nodi, le incidenze delle aste, le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali ed i materiali corrispondenti a quelli indicati negli elaborati grafici di progetto. Il modello comprende anche le travi rovesce di fondazione mentre la reattività verticale offerta dal terreno di base è stata modellata con molle alla Winkler con costante elastica $K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$ determinata sulla base dei parametri geotecnici.

Nelle seguenti figure è illustrato uno stralcio del modello di calcolo che si riferisce ai livelli della fondazione, delle catene e della copertura, con:

- in linea sottile nera la mesh, i fili strutturali della carpenteria, le misure in pianta e le quote (Z);
- Il sistema di riferimento OXY che ha origine nell'asse del pilastro 12 di carpenteria, asse X parallelo al lato maggiore del fabbricato e asse Y ortogonale al primo;
- in nero la numerazione dei 143 nodi, in rosso quella delle 187 aste;
- un pallino nero indica i nodi di estremità di ciascun elemento verticale, pilastro o monaco; il numero di ciascuno di essi coincide con il numero del nodo di estremità alla quota inferiore; ad esempio: il pilastro 1 è quello individuato dal nodo 1 nella mesh della fondazione; e ancora: il monaco 29 è quello individuato dal nodo 29 nella mesh del livello delle catene;
- la numerazione dei pilastri nel modello di calcolo (M) e nella di carpenteria (C) è associata come segue: 1M-12C; 2M-11C; 3M-10C; 4M-9C; 5M-8C; 6M-7C; 7M-6C; 8M-31C; 9M-30C; 10M-29C; 11M-28C; 12M-27C; 13M-26C; 14M-25C; nel seguito i pilastri saranno richiamati con la numerazione del modello di calcolo;
- in rosso la numerazione delle aste, nell'ordine: travi d'imposta e catene, quindi le travi di falda, di displuvio e di colmo;
- la struttura in elevazione si compone quindi di 42 nodi e 67 aste;
- la fondazione è schematizzata con un elevato numero di aste (120) in funzione del passo delle molle, mediamente pari a 1,10 m per le travi portanti perimetrali e pari a 0,60 m circa per le travi di collegamento trasversali interne; pertanto sullo schema viene riportato il numero della prima e dell'ultima asta che compongono ciascuna trave reale.

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30
Relazione Di Calcolo Strutturale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.
35 di 102

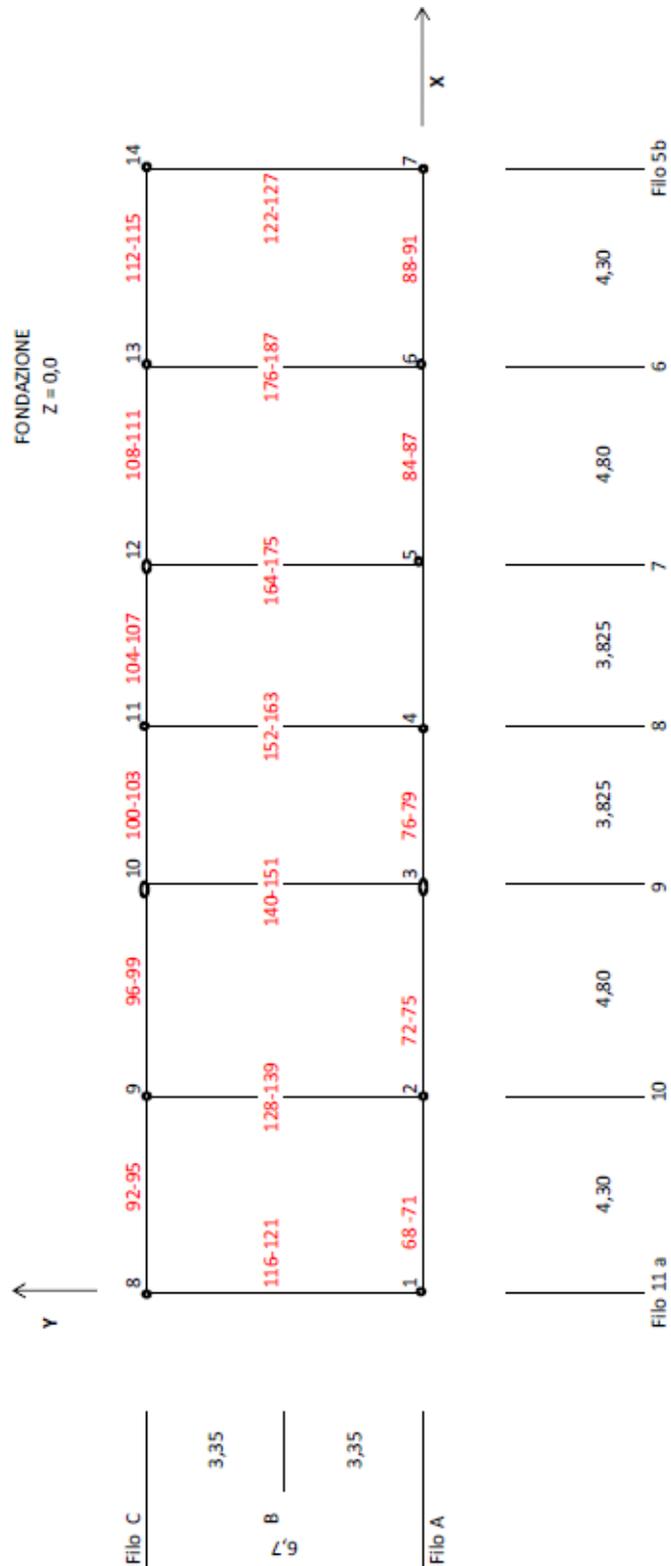
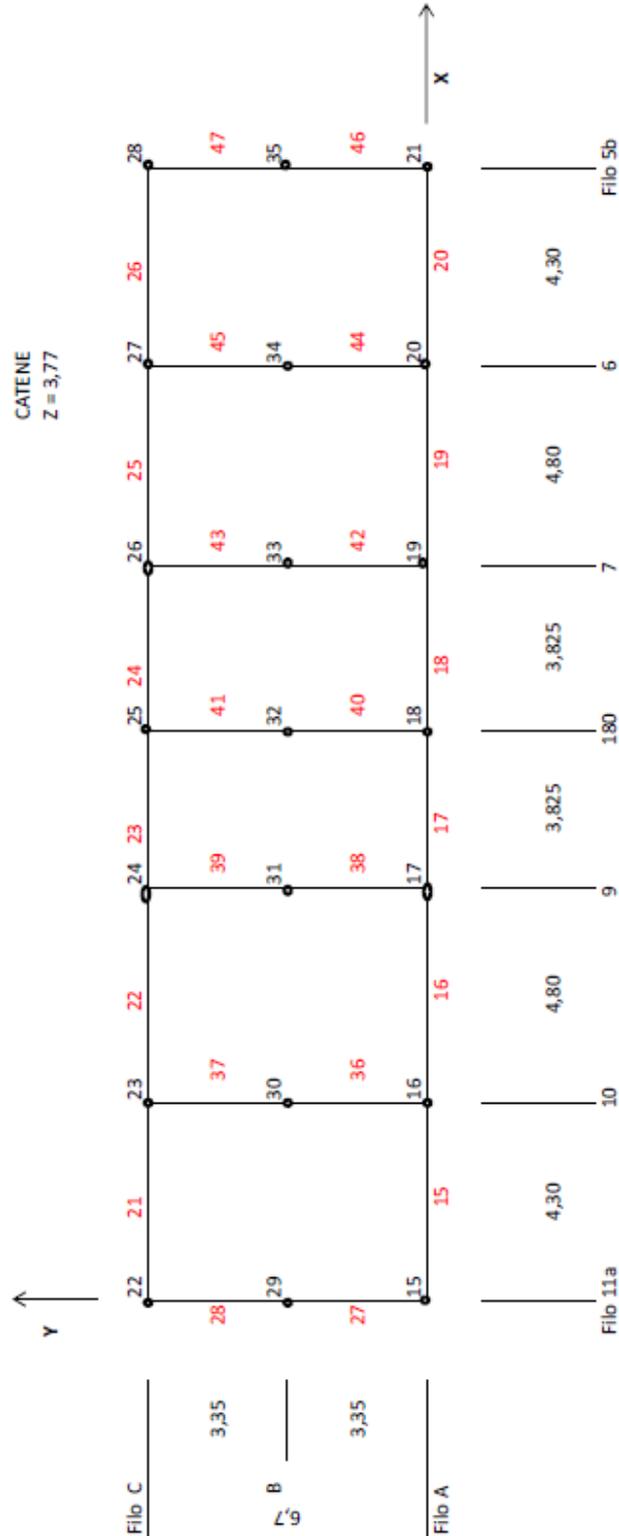


Fig. 10 – Mesh fondazione



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 38 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Fig. 12 – Mesh copertura

9.2 APPLICAZIONE DELLE AZIONI STATICHE

I carichi verticali vengono attribuiti alle diverse aste sulla base dei carichi unitari precedentemente analizzati e delle diverse aree di influenza.

Nella seguente tabella (frazionata su più pagine) sono riportati i carichi applicati alle travi della copertura.

TRAVE DI FALDA fili 5b, 11a								
B (m)	H (m)	Estremo I			Estremo J			
		peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	
0,50	0,24							
				3,00			3,00	
		3,00	1,85	5,55	3,00	1,85	5,55	
		4,50	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	
		totale G1		8,55			8,55	
		finitura copertura	1,80	2,35	4,23	1,80	2,35	4,23
		finitura cornicione	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
		totale G2		4,23			4,23	
		totale Qk	0,50	2,35	1,18	0,50	2,35	1,18
		neve falde esterne	1,20	2,35	2,82	1,20	2,35	2,82
		neve cornicione	1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00
		falde est. tot. Qn			2,82			2,82

Tab. 9.1

TRAVE DI FALDA fili 6,10								
B (m)	H (m)	Estremo I			Estremo J			
		peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	
0,60	0,24							
				3,60			3,60	
		3,00	3,95	11,85	3,00	3,95	11,85	
		4,50	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	
		totale G1		15,45			15,45	
		finitura copertura	1,80	4,55	8,19	1,80	4,55	8,19
		finitura cornicione	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
		totale G2		8,19			8,19	
		totale Qk	0,50	4,55	2,28	0,50	4,55	2,28
		neve falde esterne	1,20	4,55	5,46	1,20	4,55	5,46
		neve cornicione	1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00
		falde est. tot. Qn			5,46			5,46

Tab. 9.2

TRAVE DI FALDA fili 7, 9

B (m)	H (m)	Estremo I			Estremo J		
		peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)
0,60	0,24			3,60			3,60
peso proprio				3,60			3,60
peso solaio		3,00	3,75	11,25	3,00	3,75	11,25
peso cornicione		4,50	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00
totale G1				14,85			14,85
finitura copertura		1,80	4,35	7,83	1,80	4,35	7,83
finitura cornicione		1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
totale G2				7,83			7,83
totale Qk		0,50	4,35	2,18	0,50	4,35	2,18
neve falde esterne		1,20	4,35	5,22	1,20	4,35	5,22
neve cornicione		1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00
falde est. tot. Qn				5,22			5,22

Tab. 9.3

TRAVE DI FALDA filo 8

B (m)	H (m)	Estremo I			Estremo J		
		peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)
0,60	0,24			3,60			3,60
peso proprio				3,60			3,60
peso solaio		3,00	3,25	9,75	3,00	3,25	9,75
peso cornicione		4,50	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00
totale G1				13,35			13,35
finitura copertura		1,80	3,85	6,93	1,80	3,85	6,93
finitura cornicione		1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
totale G2				6,93			6,93
totale Qk		0,50	3,85	1,93	0,50	3,85	1,93
neve falde esterne		1,20	3,85	4,62	1,20	3,85	4,62
neve cornicione		1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00
falde est. tot. Qn				4,62			4,62

Tab. 9.4

TRAVE DI COLMO

B (m)	H (m)	Estremo I			Estremo J		
		peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)	peso unit. (kN/mq)	larghezza (m)	carico (kN/m)
0,60	0,24			3,60			3,60
peso proprio				3,60			3,60
peso solaio		3,00	0,40	1,20	3,00	0,40	1,20
peso cornicione		4,50	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00
totale G1				4,80			4,80
finitura copertura		1,80	1,00	1,80	1,80	1,00	1,80
finitura cornicione		1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
totale G2				1,80			1,80
totale Qk		0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50
neve falde esterne		1,20	1,00	1,20	1,20	1,00	1,20
neve cornicione		1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00
falde est. tot. Qn				1,20			1,20

Tab. 9.5

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 42 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

25,13 kN/m totale G2

- trave di fondazione su giunto, suola (70x40) + anima (40x80):

peso proprio	$[(0,70 \times 0,40) + (0,40 \times 0,80)] \times 25,0 =$	<u>15,00 kN/m totale G1</u>
muratura divisorio	$[3,65 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2] \times 2,6 =$	12,42 kN/m
calpestio su anima	$0,20 \times 1,0 =$	0,20 kN/m
calpestio su ala	$0,30 \times 6,0 =$	1,80 kN/m
impianti fissi	$0,50 \times 5,0 =$	2,50 kN/m
		<u>16,92 kN/m totale G2</u>

- travi di fondazione trasversali interne, (60x40):

peso proprio	$(0,60 \times 0,40) \times 25,0 =$	<u>6,00 kN/m totale G1</u>
muratura divisorio	$[0,80 + 3,65 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2] \times 2,6 =$	14,50 kN/m
calpestio	$0,40 \times 6,0 =$	2,40 kN/m
impianti fissi	$0,40 \times 5,0 =$	2,00 kN/m
		<u>18,90 kN/m totale G2</u>

Si precisa che sulle travi trasversali, sia di giunto che interne, è stata considerata l'eventuale presenza del divisorio interno (b=20 cm finito), esteso fino alla copertura.

L'azione del vento sulle pareti del fabbricato equivale ad un carico uniformemente distribuito in sommità pari a:

- parete sopravvento $0,72 \times (3,65 / 2 + 0,70) = 1,82$ kN/m
 - parete sottovento $0,36 \times (3,65 / 2 + 0,70) = 0,91$ kN/m
- dove 3,65 m è l'altezza della parete e 0,70 m l'altezza del timpano all'imposta della copertura.

Tale carico viene poi concentrato nei nodi strutturali di sommità dei pilastri perimetrali in funzione dell'interasse degli stessi; considerando che per il vento agente in direzione longitudinale nessuna parete è investita, data la presenza dei giunti, detti carichi risultano:

- <u>vento in direzione longitudinale, +X</u>		
pilastro (n° dello schema)	fascia di competenza (m)	forza (kN)
1, 8, 7, 14	0,00	0,00
- <u>vento in direzione longitudinale, -X</u>		
pilastro (n° dello schema)	fascia di competenza (m)	forza (kN)
1, 8, 7, 14	0,00	0,00
- <u>vento in direzione trasversale, +Y</u>		
pilastro (n° dello schema)	fascia di competenza (m)	forza (kN)
1, 7	2,15	3,92
2, 6	4,55	8,28
3, 5	4,315	7,86
4	3,825	6,96
8, 14	2,15	1,96
9, 13	4,55	4,14
10, 12	4,315	3,93
11	3,825	3,48
- <u>vento in direzione trasversale, -Y</u>		
pilastro (n° dello schema)	fascia di competenza (m)	forza (kN)
1, 7	2,15	-1,96
2, 6	4,55	-4,14
3, 5	4,315	-3,93
4	3,825	-3,48
8, 14	2,15	-3,92
9, 13	4,55	-8,28
10, 12	4,315	-7,86
11	3,825	-6,96

9.3 ANALISI SISMICA

La struttura in esame possiede i requisiti normativi per un'analisi sismica semplificata – lineare statica – consistente nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica. Infatti la costruzione è regolare in altezza (monopiano) ed è rispettata la condizione: $T_1 < 2,5 T_C$ o T_D , come segue:

$$T_1 = C_1 \times H^{3/4} = 0,25 \text{ s} \quad \text{periodo primo modo di vibrazione}$$

con

$C_1 = 0,075$ (struttura a telaio in calcestruzzo armato)

$H = 5,00$ m altezza dal piano della fondazione

mentre dagli spettri relativi ai diversi stati limite si ricavano i valori minimi:

$T_C = 0,660$ s, e quindi $2,5 T_C = 1,650$ s, e $T_D = 1,811$ s

Si procede quindi con l'analisi statica equivalente.

Trattandosi di una struttura monopiano, con la massa sostanzialmente concentrata in sommità, la forza coincide con il taglio alla base:

$$F_h = S_d(T_1) \times W \times \lambda / g$$

nella quale:

- g è l'accelerazione di gravità;
- $\lambda = 1$ (struttura con meno di tre orizzontamenti);
- $S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto in corrispondenza del primo modo di vibrazione che assume i seguenti valori per i diversi stati limite:

0,211 g per SLV – 0,201 g per SLD – 0,241 g per SLO

come risulta dalla seguente tabella.

Si osserva che il periodo di 0,25 s determinato per la struttura in esame corrisponde la ramo orizzontale dello spettro e quindi ai valori massimi dell'accelerazione spettrale.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,279
$T_B \leftarrow$	0,226	0,211
$T_C \leftarrow$	0,679	0,211
	0,752	0,191
	0,826	0,174
	0,899	0,160
	0,973	0,148
	1,046	0,137

10.1 - SLV_di progetto

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,116
T _B ←	0,221	0,201
T _C ←	0,664	0,201
	0,721	0,185
	0,777	0,171
	0,834	0,160
	0,891	0,150
	0,948	0,141
	1,005	0,133

10.2 - SLD_di progetto

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,095
T _B ←	0,220	0,241
T _C ←	0,660	0,241
	0,714	0,223
	0,769	0,207
	0,824	0,193
	0,879	0,181
	0,934	0,170
	0,988	0,161
	1,043	0,152

10.3 - SLO_di progetto (elastico)

Tabella 10: Punti dello spettro (stralcio)

- W è il peso complessivo della costruzione che viene valutato qui di seguito sulla base delle precedenti analisi dei carichi (vedi paragrafi 7.1 e 9.2):

p.p. pilastri $[(10 \times 3,75) + (4 \times 4,375)] \times 3,62 / 2 = 99,55 \text{ kN}$

catene $7 \times 6,40 \times 3,0 = 134,40 \text{ kN}$

monaci $7 \times 1,40 \times 1,57 = 15,39 \text{ kN}$

p.p. travi d'imposta $26,25 \times 2 \times 5,25 = 275,63 \text{ kN}$

p.p. solaio e zone piene, sotto il dettaglio $684,86 \text{ kN}$

(tutto pieno) $26,25 \times 6,40 / \cos 19^\circ \times 0,24 \times 25 = 1066,08 \text{ kN}$

a detrarre zone di solaio

$[4 \times (3,70 + 4,20 + 3,225) \times 2,70] / \cos 19^\circ \times [3,00 - (0,24 \times 25)] = -381,22 \text{ kN}$

p.p. cornicione	$2 \times 26,25 \times 0,80 \times 0,18 \times 25 =$	189,00 kN
p.p. veletta	$2 \times 26,25 \times 0,55 \times 0,15 \times 25 =$	<u>108,28 kN</u>
	Totale W (G1) =	1507,11 kN

finitura copertura	$26,25 \times 7,00 / \cos 19^\circ \times 1,8 =$	349,81 kN
finitura cornicioni	$2 \times 26,25 \times 0,80 \times 1,20 =$	50,40 kN
	parziale W (G2) =	400,21 kN

tamponature	$[(26,25 \times 2) - 7,00] \times 3,62 / 2 \times 5,00 \times 0,85 =$	350,09 kN	(1)
divisori interni	$6,40 \times [(3,62 / 2 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2)] \times 2,60 =$	48,84 kN	(2)
	Totale W (G2) =	799,14 kN	

Note:

(1) – si considera concentrata in sommità la massa di metà altezza delle tamponature, misurata al netto dei pilastri e con una riduzione minima, del 15%, per tener conto delle aperture di servizio

(2) – si considera concentrato in sommità il contributo di metà altezza dei divisori interni

Risulta quindi $W = 1507,11 + 799,14 = 2306,25$ kN

Per quanto sopra la forza sismica totale per i diversi stati limite risulta:

$$SLV \quad F_h = 0,211 \times 2306,25 = 486,62 \text{ kN}$$

$$SLD \quad F_h = 0,201 \times 2306,25 = 463,56 \text{ kN}$$

$$SLO \quad F_h = 0,241 \times 2306,25 = 555,81 \text{ kN}$$

e viene applicata nel centro di massa.

Il centro di massa coincide con il baricentro geometrico della pianta, di coordinate:

$$X = 25,85 / 2 = 12,925 \text{ m}$$

$$Y = 6,70 / 2 = 3,35 \text{ m}$$

nel sistema di riferimento XY dello schema di calcolo che ha l'origine O in asse al pilastro 1.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 47 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Al centro di massa viene attribuita un'eccentricità accidentale, con doppio segno in ciascuna delle due direzioni:

$$e_x = 0,05 \times 25,85 = \pm 1,293 \text{ m} \quad \text{per il sisma in direzione Y}$$

$$e_y = 0,05 \times 6,70 = \pm 0,335 \text{ m} \quad \text{per il sisma in direzione X}$$

il che vuol dire che per la condizione "sisma X" la forza può essere applicata in due diversi punti, di ordinata:

$$\text{Sisma EX}+e_y - \text{loading 40} - (Y + e_y) = (3,35 + 0,335) = 3,685 \text{ m}$$

$$\text{Sisma EX}-e_y - \text{loading 41} - (Y - e_y) = (3,35 - 0,335) = 3,015 \text{ m}$$

e, analogamente, per la condizione "sisma Y" la forza può essere applicata in due diversi punti, di ascissa:

$$\text{Sisma EY}+e_x - \text{loading 42} - (X + e_x) = (12,925 + 1,293) = 14,218 \text{ m}$$

$$\text{Sisma EY}-e_x - \text{loading 43} - (X - e_x) = (12,925 - 1,293) = 11,632 \text{ m}$$

Per ciascuna delle 2 direzioni si hanno 2 eccentricità (quindi due punti di applicazione) e 2 versi, per un totale di $(2 \times 2 \times 2) = 8$ azioni sismiche "principali", cioè con coefficiente moltiplicativo 1. Ciascuna di esse può essere combinata con l'azione sismica "secondaria", cioè con il coefficiente moltiplicativo 0,3, a sua volta agente con 2 eccentricità e 2 versi, cioè secondo $(2 \times 2) = 4$ configurazioni. In totale si hanno quindi $(8 \times 4) = 32$ combinazioni sismiche per ciascuno stato limite considerato.

Per semplicità di gestione del tabulato, il calcolo sarà direttamente riferito al solo SLV; le sollecitazioni per lo SLD e lo SLO potranno essere ricavate indirettamente, a valle del calcolo, semplicemente in proporzione alle diverse forze sismiche totali prima determinate. Quindi nella tabella successiva si riporta il dettaglio delle combinazioni sismiche allo SLV con la stessa numerazione del tabulato.

COMBINAZIONE			AZIONE					
Numero	Nome		Perm. Strutture G1	Perm. Portati G2	Sisma orizz. EX+ey (loading 40)	Sisma orizz. EX-ey (loading 41)	Sisma orizz. EY+ex (loading 42)	Sisma orizz. EY-ex (loading 43)
da 40 a 43 azioni sismiche elementari								
44	SLV	1	1	1	1	0	0,3	0
45	SLV	2	1	1	1	0	-0,3	0
46	SLV	3	1	1	1	0	0	0,3
47	SLV	4	1	1	1	0	0	-0,3
48	SLV	5	1	1	-1	0	0,3	0
49	SLV	6	1	1	-1	0	-0,3	0
50	SLV	7	1	1	-1	0	0	0,3
51	SLV	8	1	1	-1	0	0	-0,3
52	SLV	9	1	1	0	1	0,3	0
53	SLV	10	1	1	0	1	-0,3	0
54	SLV	11	1	1	0	1	0	0,3
55	SLV	12	1	1	0	1	0	-0,3
56	SLV	13	1	1	0	-1	0,3	0
57	SLV	14	1	1	0	-1	-0,3	0
58	SLV	15	1	1	0	-1	0	0,3
59	SLV	16	1	1	0	-1	0	-0,3
60	SLV	17	1	1	0,3	0	1	0
61	SLV	18	1	1	-0,3	0	1	0
62	SLV	19	1	1	0	0,3	1	0
63	SLV	20	1	1	0	-0,3	1	0
64	SLV	21	1	1	0,3	0	-1	0
65	SLV	22	1	1	-0,3	0	-1	0
66	SLV	23	1	1	0	0,3	-1	0
67	SLV	24	1	1	0	-0,3	-1	0
68	SLV	25	1	1	0,3	0	0	1
69	SLV	26	1	1	-0,3	0	0	1
70	SLV	27	1	1	0	0,3	0	1
71	SLV	28	1	1	0	-0,3	0	1
72	SLV	29	1	1	0,3	0	0	-1
73	SLV	30	1	1	-0,3	0	0	-1
74	SLV	31	1	1	0	0,3	0	-1
75	SLV	32	1	1	0	-0,3	0	-1

Tabella 11: Combinazioni considerate per gli stati limite sismici (dettaglio riferito allo SLV)

Nel modello di calcolo, l'azione sismica totale di ciascuna delle quattro condizioni elementari viene applicata alla quota di sommità dei pilastri e ripartita tra questi in funzione delle singole rigidezze, nell'ipotesi di infinita rigidezza del solaio; ipotesi concretamente realizzata sia dal tipo di solaio impiegato (latero-cemento con soletta superiore dello spessore di 4 cm) che dalla forma a padiglione della copertura (rigidezza per forma). Nella seguente tabella si riporta il dettaglio di detta ripartizione.

SLV			Forza sismica totale Fh				486,62	kN
Loading 40 - (EX + ey)			Ordinata centro masse YC				3,685	m
Pilastro	Nodo di sommità	Ordinata Y (m)	Inerzia J (m4)	J x Y	d (m) distanza Y - YR	J x d	J x d x d	F (kN)
1	15	0,000	0,00365	0,00000	-3,350	-0,01223	0,04096	34,827
2	16	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	29,865
3	17	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	29,865
4	18	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	29,865
5	19	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	29,865
6	20	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	29,865
7	21	0,000	0,00365	0,00000	-3,350	-0,01223	0,04096	34,827
8	22	6,700	0,00365	0,02446	3,350	0,01223	0,04096	42,566
9	23	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	36,502
10	24	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	36,502
11	25	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	36,502
12	26	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	36,502
13	27	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	36,502
14	28	6,700	0,00365	0,02446	3,350	0,01223	0,04096	42,566
Somme			0,04590	0,15377		0,00000	0,51511	486,620
Ordinata centro rigidezze YR				3,350	Eccentricità YC-YR		0,335	Tab. 12.1

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30

Relazione Di Calcolo Strutturale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.

50 di 102

SLV	Forza sismica totale Fh						486,62	kN
Loading 41 - (EX - ey)			Ordinata centro masse YC				3,015	m
Pilastro	Nodo di sommità	Ordinata Y (m)	Inerzia J (m4)	J x Y	d (m) distanza Y - YR	J x d	J x d x d	F (kN)
1	15	0,000	0,00365	0,00000	-3,350	-0,01223	0,04096	42,566
2	16	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	36,502
3	17	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	36,502
4	18	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	36,502
5	19	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	36,502
6	20	0,000	0,00313	0,00000	-3,350	-0,01049	0,03513	36,502
7	21	0,000	0,00365	0,00000	-3,350	-0,01223	0,04096	42,566
8	22	6,700	0,00365	0,02446	3,350	0,01223	0,04096	34,827
9	23	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	29,865
10	24	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	29,865
11	25	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	29,865
12	26	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	29,865
13	27	6,700	0,00313	0,02097	3,350	0,01049	0,03513	29,865
14	28	6,700	0,00365	0,02446	3,350	0,01223	0,04096	34,827
Somme			0,04590	0,15377		0,00000	0,51511	486,620
Ordinata centro rigidezze YR				3,350	Eccentricità YC-YR		-0,335	Tab. 12.2

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30

Relazione Di Calcolo Strutturale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.

51 di 102

SLV	Forza sismica totale Fh						486,62	kN
Loading 42 - (EY + ex)			Ordinata centro masse YC				14,218	m
Pilastro	Nodo di sommità	Ascissa X (m)	Inerzia J (m4)	J x X	d (m) distanza X - XR	J x d	J x d x d	F (kN)
1	15	0,000	0,00179	0,00000	-12,925	-0,02314	0,29903	38,079
2	16	4,300	0,00113	0,00486	-8,625	-0,00975	0,08406	25,951
3	17	9,100	0,00113	0,01028	-3,825	-0,00432	0,01653	28,086
4	18	12,925	0,00113	0,01461	0,000	0,00000	0,00000	29,788
5	19	16,750	0,00113	0,01893	3,825	0,00432	0,01653	31,489
6	20	21,550	0,00113	0,02435	8,625	0,00975	0,08406	33,624
7	21	25,850	0,00179	0,04627	12,925	0,02314	0,29903	56,292
8	22	0,000	0,00179	0,00000	-12,925	-0,02314	0,29903	38,079
9	23	4,300	0,00113	0,00486	-8,625	-0,00975	0,08406	25,951
10	24	9,100	0,00113	0,01028	-3,825	-0,00432	0,01653	28,086
11	25	12,925	0,00113	0,01461	0,000	0,00000	0,00000	29,788
12	26	16,750	0,00113	0,01893	3,825	0,00432	0,01653	31,489
13	27	21,550	0,00113	0,02435	8,625	0,00975	0,08406	33,624
14	28	25,850	0,00179	0,04627	12,925	0,02314	0,29903	56,292
Somme			0,01846	0,23860		0,00000	1,59849	486,620
Ordinata centro rigidezze YR				12,925	Eccentricità YC-YR		1,293	Tab. 12.3

SLV	Forza sismica totale Fh						486,62	kN
Loading 43 - (EY - ex)			Ordinata centro masse YC				11,632	m
Pilastro	Nodo di sommità	Ascissa X (m)	Inerzia J (m4)	J x X	d (m) distanza X - XR	J x d	J x d x d	F (kN)
1	15	0,000	0,00179	0,00000	-12,925	-0,02314	0,29903	56,292
2	16	4,300	0,00113	0,00486	-8,625	-0,00975	0,08406	33,624
3	17	9,100	0,00113	0,01028	-3,825	-0,00432	0,01653	31,489
4	18	12,925	0,00113	0,01461	0,000	0,00000	0,00000	29,788
5	19	16,750	0,00113	0,01893	3,825	0,00432	0,01653	28,086
6	20	21,550	0,00113	0,02435	8,625	0,00975	0,08406	25,951
7	21	25,850	0,00179	0,04627	12,925	0,02314	0,29903	38,079
8	22	0,000	0,00179	0,00000	-12,925	-0,02314	0,29903	56,292
9	23	4,300	0,00113	0,00486	-8,625	-0,00975	0,08406	33,624
10	24	9,100	0,00113	0,01028	-3,825	-0,00432	0,01653	31,489
11	25	12,925	0,00113	0,01461	0,000	0,00000	0,00000	29,788
12	26	16,750	0,00113	0,01893	3,825	0,00432	0,01653	28,086
13	27	21,550	0,00113	0,02435	8,625	0,00975	0,08406	25,951
14	28	25,850	0,00179	0,04627	12,925	0,02314	0,29903	38,079
Somme			0,01846	0,23860		0,00000	1,59849	486,620
Ordinata centro rigidezze YR				12,925	Eccentricità YC-YR		-1,293	Tab. 12.4

Tabella 12: Applicazione delle forze sismiche al modello di calcolo (dettaglio riferito allo SLV)

9.4 RISULTATI DEL CALCOLO SPAZIALE

Per le singole azioni elementari - 8 statiche e 4 sismiche - e per le diverse combinazioni di esse - 31 statiche e 32 sismiche (SLV) - il programma calcola:

- le sollecitazioni alle estremità e nelle sezioni intermedie delle aste;
- gli spostamenti e le rotazioni dei nodi;
- le reazioni vincolari;
- la somma delle reazioni vincolari rispetto al sistema di riferimento globale.

Tutti i risultati sono contenuti nel tabulato di input/output del programma GT STRUDL, Allegato 1 a questa relazione; nei capitoli successivi sono invece esplicitamente

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 53 di 102

riportati i valori più significativi per le diverse verifiche di sicurezza in elevazione e in fondazione.

Si osserva che i risultati dell'analisi sismica giustificano la mancata considerazione delle non linearità geometriche, risultando soddisfatta la condizione:

$$\theta = (P \times d_r) / (V \times h) < 0,1$$

nella quale:

$P = 2306,25 \text{ kN}$ il carico verticale associato all'azione sismica (vedi paragrafo 9.3)

$V = 486,62 \text{ kN}$ la forza orizzontale totale (vedi paragrafo 9.3)

$H = 3,77 \text{ m}$ l'altezza interpiano nello schema di calcolo

mentre lo spostamento medio della copertura risulta da:

$$q = 3,30 \quad T_c = 0,66 \text{ s} \quad T_1 = 0,25 \text{ s} \quad \rightarrow \quad \mu_d = 1 + (q-1) \times T_c / T_1 = 7,072$$

$$d_{Ex} = 0,00209 \text{ m (vedi Allegato 1, nodo 18)} \quad \rightarrow \quad d_{rx} = \mu_d \times d_{Ex} = 0,015 \text{ m}$$

$$d_{Ey} = 0,00775 \text{ m (vedi Allegato 1, nodo 18)} \quad \rightarrow \quad d_{ry} = \mu_d \times d_{Ey} = 0,055 \text{ m}$$

da cui:

$$\theta_{\max} = \theta_y = (2306,25 \times 0,055) / (486,62 \times 3,77) = 0,069 < 0,1$$

Pertanto i momenti del secondo ordine sono trascurabili e gli effetti del sisma possono essere considerati nelle verifiche come calcolati, senza alcun incremento.

10 VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN ELEVAZIONE

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza delle strutture in elevazione, nell'ordine: pilastri, monaci, travi d'imposta, catene, travi di falda, solaio, cornicione.

10.1 PILASTRI

10.1.1 PILASTRI (30x50) cm

Per tutti i pilastri di sezione (30x50) cm viene adottata la seguente armatura:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 54 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

- armature longitudinali:

4 Φ 20 sugli spigoli

1 Φ 20 intermedi sui lati minori

3 Φ 20 intermedi sui lati maggiori

estesa all'intera altezza, mentre solo allo spiccato vengono aggiunti altri 2 Φ 20 intermedi su ciascun lato minore, con un totale di $(12 \times 3,14) = 37,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,5 \%$ e un totale di $(16 \times 3,14) = 50,24 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 3,3 \%$ allo spiccato;

- armature trasversali:

staffe Φ 10 e legature Φ 10 dei ferri centrali posti sui lati maggiori, con passo di 120 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm e nei nodi, con passo 200 mm nella parte centrale.

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 330 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del pilastro (sovrapposizioni di 120 cm comprese).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte solo le verifiche più gravose tra tutte quelle eseguite, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x , M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente $(1/\rho_M)$ che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Pilastro	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Myd (kNm)	Mxr (kNm)	Myr (kNm)	ρ_M	$1/\rho_M$

3-spicc.	55	183,86	88,95	10,64	177,60	22,62	0,500	2,000
3-spicc.	71	170,14	26,02	95,38	28,16	109,70	0,873	1,145
3-tipica	55	169,72	84,08	24,95	146,20	43,42	0,575	1,739
3-tipica	74	186,39	38,51	63,49	62,79	104,00	0,612	1,634

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e M_x è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 13: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al rispettivo dominio.

Per la verifica al taglio del pilastro si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 240 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

$A_{sw} = 236 \text{ mm}^2 / 157 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato

$s = 120 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} (x) = 166,22 \text{ kN}$ e $V_{Rsd} (y) = 202,73 \text{ kN}$

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 56 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

$d = 240 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y
 $b_w = 500 \text{ mm} / 300 \text{ mm}$ larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 9,4 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
 ottenendo: $V_{Rcd}(x) = 507,60 \text{ kN}$ e $V_{Rsd}(y) = 588,06 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$V_{Rd}(x) = 166,22 \text{ kN}$ $V_{Rd}(y) = 202,73 \text{ kN}$.

Questi valori risultano superiori ai corrispondenti tagli massimi di calcolo qui riportati:

$T_d(x) = 37,91 \text{ kN}$ (Pil. 3, Comb. 71) $T_d(y) = 45,90 \text{ kN}$ (Pil. 3, Comb. 55)

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del pilastro soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 3,77 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di 225 kN (pilastro 2, comb. 74), sono:

$M_{sup,Rd} = 191,70 \text{ kNm}$ e $M_{inf,Rd} = 215,00 \text{ kNm}$ intorno all'asse x

$M_{sup,Rd} = 110,30 \text{ kNm}$ e $M_{inf,Rd} = 125,50 \text{ kNm}$ intorno all'asse y

Quindi:

$$V_{Ed}(x) = 1,10 \times (110,30 + 125,50) / 3,77 = 68,80 \text{ kN} < 166,22 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}(y) = 1,10 \times (191,70 + 215,00) / 3,77 = 118,67 \text{ kN} < 202,73 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

I momenti flettenti in questo stato limite risultano notevolmente inferiori a quelli appena verificati per SLV. Nella seguente tabella sono riassunte le più gravose verifiche a presso-flessione deviata, eseguite con analoga procedura e, per semplicità

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 57 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

ma in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica, cioè senza considerare i ferri di rinforzo allo spiccato:

Pilastro	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Myd (kNm)	Mxr (kNm)	Myr (kNm)	ρ_M	$1/\rho_M$
3	19	258,27	8,73	57,04	10,54	105,20	0,546	1,831
4	19	236,99	0,02	60,87	0,00	110,30	0,552	1,811

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 14: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto i valori massimi di calcolo:

$$T_d(x) = 17,15 \text{ kN (Pil. 4, Comb. 19)} \quad T_d(y) = 5,35 \text{ kN (Pil. 3, Comb. 20)}$$

sono notevolmente inferiori a quelli precedentemente verificati per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei pilastri, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare per ciascun pilastro una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica.

Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio che, tra tutte, è risultata la più gravosa, eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A		Pag. 58 di 102

Pilastro	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
4	fittizia	171,74	0,01	45,03	7,1	88,2

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 15: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 7,1 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 88,2 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione.

10.1.2 PILASTRI (35x50) cm

Per tutti i pilastri di sezione (35x50) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 20 sugli spigoli

1 Φ 20 intermedi sui lati minori

3 Φ 20 intermedi sui lati maggiori

estesa all'intera altezza, mentre solo allo spiccato vengono aggiunti altri 2 Φ 20 intermedi su ciascun lato minore, con un totale di $(12 \times 3,14) = 37,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,2 \%$ e un totale di $(16 \times 3,14) = 50,24 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,9 \%$ allo spiccato;

- armature trasversali:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 59 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

staffe Φ 10 e legature Φ 10 dei ferri centrali posti sui lati maggiori, con passo di 120 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm e nei nodi, con passo 200 mm nella parte centrale.

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 280 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del pilastro (sovrapposizioni di 120 cm comprese).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte solo le verifiche più gravose tra tutte quelle eseguite, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x , M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Pilastro	Comb.	Nd (kN)	M _{xd} (kNm)	M _{yd} (kNm)	M _{xr} (kNm)	M _{yr} (kNm)	ρ_M	$1/\rho_M$
1-spicc.	55	94,07	77,49	40,56	130,70	69,56	0,983	1,017
1-spicc.	74	115,50	47,31	122,90	47,44	136,4	0,912	1,096
1-tipica	55	77,57	59,50	42,49	97,67	69,91	0,609	1,642
1-tipica	74	99,01	33,16	95,13	39,74	118,90	0,804	1,243

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e M_x è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 16: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLV

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 60 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al rispettivo dominio.

Per la verifica al taglio del pilastro si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 290 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

$A_{sw} = 236 \text{ mm}^2 / 157 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato

$s = 120 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} (x) = 200,85 \text{ kN}$ e $V_{Rsd} (y) = 202,73 \text{ kN}$

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 290 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

$b_w = 500 \text{ mm} / 350 \text{ mm}$ larghezza della sezione

$\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)

$f'_{cd} = 9,4 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rcd} (x) = 613,35 \text{ kN}$ e $V_{Rcd} (y) = 686,07 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 61 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

$$V_{Rd}(x) = 200,85 \text{ kN} \quad V_{Rd}(y) = 202,73 \text{ kN.}$$

Questi valori risultano superiori ai corrispondenti tagli massimi di calcolo qui riportati:

$$T_d(x) = 57,83 \text{ kN (Pil. 1, Comb. 74)} \quad T_d(y) = 36,34 \text{ kN (Pil. 1, Comb. 55)}$$

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del pilastro soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 3,77 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di 132 kN (pilastro 1, comb. 59), sono:

$$M_{sup,Rd} = 208,90 \text{ kNm e } M_{inf,Rd} = 240,50 \text{ kNm intorno all'asse x}$$

$$M_{sup,Rd} = 150,10 \text{ kNm e } M_{inf,Rd} = 177,70 \text{ kNm intorno all'asse y}$$

Quindi:

$$V_{Ed}(x) = 1,10 \times (150,10 + 177,70) / 3,77 = 95,65 \text{ kN} < 200,85 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}(y) = 1,10 \times (208,90 + 240,50) / 3,77 = 131,13 \text{ kN} < 202,73 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

I momenti flettenti in questo stato limite risultano notevolmente inferiori a quelli appena verificati per SLV. Nella seguente tabella sono riassunte le più gravose verifiche a presso-flessione deviata, eseguite con analoga procedura e, per semplicità ma in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica, cioè senza considerare i ferri di rinforzo allo spiccato:

Pilastro	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Myd (kNm)	Mxr (kNm)	Myr (kNm)	ρ_M	$1/\rho_M$
1	20	134,92	0,97	36,92	5,32	146,30	0,253	3,952

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 17: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLU

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 62 di 102

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto i valori massimi di calcolo:

$$T_d (x) = 15,18 \text{ kN (Pil. 1, Comb. 20)} \quad T_d (y) = 2,13 \text{ kN (Pil. 1, Comb. 20)}$$

sono notevolmente inferiori a quelli precedentemente verificati per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei pilastri, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare per ciascun pilastro una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica.

Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio che, tra tutte, è risultata la più gravosa, eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi.

Pilastro	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
1	fittizia	98,18	6,72	26,95	3,7	46,7

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 18: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 3,7 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 63 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

$$\sigma_{s, \max} = 46,7 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione.

10.2 MONACO

Per il monaco, di sezione (25x25) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 14 sugli spigoli

1 Φ 12 intermedi sui lati

estesa all'intera altezza, con un totale di $[(4 \times 1,54) + (4 \times 1,13)] = 10,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale $\rho = 1,7 \%$.

- armature trasversali:

staffe Φ 8 con passo di 100 mm sull'intera altezza, in considerazione del ridotto valore di questa (1,50 m);

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità conferite anche a questo elemento, non propriamente un pilastro ma comunque elemento verticale, peraltro poco impegnato dall'azione sismica.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 190 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del monaco.

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x , M_y) delle

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 64 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Monaco	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Myd (kNm)	Mxr (kNm)	Myr (kN/m)	ρ_M	$1/\rho_M$
29	71	-18,54	0,37	20,47	0,00	25,63	0,799	1,251

NOTE:

- Il monaco risulta generalmente sollecitato nel piano della "capriata" e quasi nulla fuori di questo.

Tabella 19: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al dominio.

Per la verifica al taglio del monaco si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

d = 190 mm	altezza utile sezione
A _{sw} = 100 mm ²	area dell'armatura sul singolo strato
s = 100 mm	l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
f _{yd} = 391,3 N/mm ²	resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
θ = 45°	inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
α = 90°	inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 66,91$ kN

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 65 di 102

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times bw \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 190 \text{ mm}$	altezza utile sezione
$bw = 250 \text{ mm}$	larghezza della sezione
$\alpha_c = 1$	coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
$f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
$\theta = 45^\circ$	inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
$\alpha = 90^\circ$	inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rcd} = 175,91 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = \mathbf{66,91 \text{ kN.}}$$

Questo valore risulta superiore al corrispondente taglio massimo di calcolo:

$$T_d = 32,81 \text{ kN (Mon. 29, Comb. 71)}$$

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del monaco soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 1,40 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di trazione pari a $20,48 \text{ kN}$ (monaco 29, comb. 58), sono:

$$M_{sup,Rd} \approx M_{inf,Rd} = 25,61 \text{ kNm}$$

Quindi:

$$V_{Ed} = 1,10 \times (2 \times 25,61) / 1,40 = 40,25 \text{ kN} < 66,91 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a presso-flessione deviata, eseguita con analoga procedura.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 66 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

Monaco	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Myd (kNm)	Mxr (kNm)	Myr (kNm)	ρ_M	$1/\rho_M$
29	16	-26,23	4,46	1,82	17,23	7,04	0,259	3,861

NOTE:

- Il monaco risulta generalmente sollecitato nel piano della “capriata” e quasi nulla fuori di questo.

Tabella 20: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 5,35 \text{ kN (Mon. 30, Comb. 19)}$$

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei monaci, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza.

Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio risultata la più gravosa, eseguita con il programma “Verifica C.A.” dell’Ing. Piero Gelfi.

Monaco	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
29	fittizia	-20,27	3,34	2,25	4,0	84,6

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 67 di 102

Tabella 21: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 4,0 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 84,6 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione. Una conferma è data dalla più gravosa verifica delle tensioni per la condizione quasi permanente, più restrittiva, come segue:

Monaco	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
29	39	-20,29	2,73	0	1,6	57,5

Tabella 22: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata – SLE, QP

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 1,6 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 57,5 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

10.3 TRAVI D'IMPOSTA

Per le travi d'imposta, tutte con sezione (30x70) cm è adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 16 inferiori correnti
 - 4 Φ 16 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 68 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

staffe Φ 8 con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 70 cm, con passo 200 mm nella parte centrale;

ed è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho = (4 \times 201,0) / (300 \times 700) = 0,00383 > (1,4 / 450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

L'armatura doppia simmetrica è dovuta alla sostanziale uguaglianza dei momenti inf. e sup. che, dato il modesto carico verticale, risultano determinati dall'azione sismica prevalente.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 120 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Trave imposta	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	$1/\rho_M$
15	55	0,56	56,61	190,90	3,37
15	55	0,56	-66,29	-190,90	2,88

NOTE:

- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 23: Verifiche travi d'imposta a presso-flessione retta - SLV

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 69 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della trave soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_t / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_t è la luce della trave

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 190,90 \text{ kNm (armatura corrente doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità della trave già considerata nella verifica a flessione:

Trave	l_t (m)	(G1+G2) (kN/m)	M_r (kNm)	V+ (kN)	V- (kN)	V-/V+	V_{R1} (kN)	V_{Ed} (kN)	$V_{analisi}$ (kN)
15	4,30	13,56	±190,90	117,94	59,64	0,51 > 0,5	369,04	117,94	57,35

NOTE:

- Per il valore del carico si veda la Tabella 9.6 ($G1+G2 = 11,70+1,86 = 13,56 \text{ kN/m}$).
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nella zona critica della trave.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 24: Determinazione taglio di calcolo - SLV

Di seguito si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$$d = 640 \text{ mm} \quad \text{altezza utile sezione}$$

$A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato
 $s = 100 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
 $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
 ottenendo: $V_{Rsd} = 225,39 \text{ kN}$

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 640 \text{ mm}$ altezza utile sezione
 $b_w = 300 \text{ mm}$ larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
 ottenendo: $V_{Rsd} = 716,26 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 225,39 \text{ kN}$$

che risulta superiore a $V_{Ed \max} = 117,94 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a tenso-flessione retta, eseguita con analogo procedura.

Trave imposta	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	1/ ρ_M

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 71 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

15	16	-7,74	-43,24	-188,50	4,36
----	----	-------	--------	---------	------

NOTE:

- Per convenzione, Mx è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 25: Verifiche travi d'imposta a tenso-flessione retta - SLU

La verifica al taglio risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 52,27 \text{ kN (trave 15, Comb. 16)}$$

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica delle tensioni di esercizio.

Trave imposta	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
15	24-Rara	-5,75	-32,61	1,7	73,0
15	34-Fr	-4,27	-30,51	1,6	67,7
15	39-QP	-4,28	-30,10	1,6	66,8

Tabella 26: Verifiche trave a tenso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 1,7 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 1,6 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 73,0 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che le massime sollecitazioni agenti nelle combinazioni FR e QP risultano inferiori a quelle di prima fessurazione, come segue:

$$(N_d = -4,27 \text{ kN} ; M_d = 30,51 \text{ kNm}) < (N_{fess} = -10,00 \text{ kN} ; M_{fess} = 72,20 \text{ kNm})$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 72 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

e la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_c = 4270/234127 + 30510000/30297477 = 1,03 \text{ N/mm}^2 < f_{ctm} / 1,2 = 2,30 \text{ N/mm}^2$$

e quindi la sezione della trave d'imposta non si fessura.

10.4 CATENE

Per le catene, tutte con sezione (40x30) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 20 inferiori correnti

4 Φ 20 superiori correnti

2 Φ 12 intermedi sui lati

- armature trasversali:

staffe Φ 8 con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore doppio del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale;

ed è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho = (4 \times 314,0) / (400 \times 300) = 0,01047 > (1,4/450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

L'armatura doppia simmetrica è dovuta al fatto che questo elemento è sostanzialmente sollecitato a trazione, in quanto assorbe le spinte della copertura inclinata, ed anche alla sostanziale uguaglianza dei modesti momenti inf. e sup..

Ne risulta l'incidenza di armatura di 240 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della catena.

Verifiche allo SLV

La verifica a tenso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 73 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella è riportata la verifica più gravosa, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo, delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente (1/ρ_M) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Catena	Nd (kN)	M _{xd} (kNm)	M _{xr} (kNm)	1/ρ _M
27	-92,70	45,96	79,36	1,72

NOTE:

- Considerato lo stato di sollecitazione omogeneo delle varie catene, le verifiche sono eseguite per coppie di valori (N_{max}; M_{max}) anche non contemporanei all'interno dello stesso elemento.

Tabella 27: Verifica catena a tenso-flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della catena soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_c / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_c è la luce della catena

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 79,36 \text{ kNm (armatura corrente doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità della catena già considerate nella verifica a flessione:

Catena	l _c (m)	(G1+G2)	Mr	V+	V-	V-/V+	V _{R1}	V _{Ed}	V _{analisi}
--------	--------------------	---------	----	----	----	-------	-----------------	-----------------	----------------------

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 74 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

		(kN/m)	(kNm)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN)
27	3,35	5,15	±79,36	56,00	38,76	0,70>0,5	160,99	56,00	25,32

NOTE:

- Per il valore dei carichi si veda il paragrafo 9.2:
 $G1+G2 = 3,00+(0,65+3,64)/2 = 5,15 \text{ kN/m}$
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nelle zone critiche delle catene.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 28: Determinazione taglio di calcolo - SLV

Di seguito si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 240 \text{ mm}$	altezza utile sezione
$A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$	area dell'armatura sul singolo strato
$s = 100 \text{ mm}$	l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
$\theta = 45^\circ$	inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
$\alpha = 90^\circ$	inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 84,52 \text{ kN}$

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)/(1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 240 \text{ mm}$	altezza utile sezione
$b_w = 400 \text{ mm}$	larghezza della sezione
$\alpha_c = 1$	coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
$f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $=0,5 f_{cd}$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 75 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 355,53 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$V_{Rd} = 84,52 \text{ kN}$

che risulta superiore a $V_{Ed \max} = 56,00 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a tenso-flessione retta, eseguita con analoga procedura.

Catena	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	$1/\rho_M$
40	-273,03	16,54	78,70	4,75

Tabella 29: Verifica catena a tenso-flessione retta - SLU

La verifica al taglio risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$T_d = 18,91 \text{ kN}$ (catena 40, comb. 19).

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4 \text{ mm}$ per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A		Pag. 76 di 102

Catena	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	wd (mm)	wlim (mm)
38	Rara	-237,51	10,89	-----	134,9	----	----
38	FR	-209,65	8,95	-----	116,2	0,05	0,4
38	QP	-202,70	8,75	-----	112,7	0,04	0,3

Tabella 30: Verifiche catena a tenso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{s, \max} = 134,9 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure entro i valori limite.

10.5 TRAVI DI FALDA

Le travi di falda hanno sezione (60x24) cm ad eccezione di quelle sul giunto con sezione (50x24).

Per tutte le travi (60x24) viene adottata la seguente armatura (nel seguito: gruppo 1):

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 16 inferiori correnti
 - 4 Φ 16 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:
 - staffa Φ 10 perimetrale + staffa Φ 8 interna (totale 4 bracci) con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore maggiore del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale.

Per le travi (50x24) viene adottata la seguente armatura (nel seguito: gruppo 2):

- armature longitudinali:
 - 2 Φ 16 + 2 Φ 14 inferiori correnti
 - 2 Φ 16 + 2 Φ 14 superiori correnti

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 77 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

2 Φ 12 intermedi sui lati

- armature trasversali:

staffa Φ 10 perimetrale + staffa Φ 8 interna (totale 4 bracci) con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore maggiore del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho_1 = (4 \times 201,0) / (600 \times 240) = 0,00558 > (1,4/450) = 0,00311 \text{ (valore minimo);}$$

$$\rho_2 = (2 \times 201,0 + 2 \times 154,0) / (600 \times 240) = 0,00592 > (1,4/450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

Ne risulta l'incidenza media ponderale di armatura di 170 kg/mc per entrambi i gruppi, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Nelle seguenti verifiche verrà richiamato il numero della trave e indicato il gruppo di appartenenza.

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente (1/ρ_M) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Trave falda	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	1/ρ _M
50-1	74	213,36	43,17	59,10	1,37
48-2	74	110,95	38,74	49,31	1,27

NOTE:

- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre inferiori

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 78 di 102

Tabella 31: Verifiche travi di falda a presso-flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della trave soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_t / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_t è la luce della trave

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 59,10 \text{ kNm per la trave 50 (armatura doppia simmetrica)}$$

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 49,31 \text{ kNm per la trave 48 (armatura doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità delle due travi già considerate nella verifica a flessione:

Trave	l_t (m)	(G1+G2) (kN/m)	V+ (kN)	V- (kN)	V-/V+ (kN)	V_{R1} (kN)	V_{Ed} (kN)	$V_{analisi}$ (kN)
50	3,55	23,64	75,26	8,66	0,12<0,5	-----	75,26	50,24
48	3,55	12,78	50,46	5,10	0,10<0,5	-----	50,46	31,75

NOTE:

- Per il valore del carico si veda Tabella 9.2 per la trave 50 ($G1+G2 = 15,45+8,19 = 23,64$ kN/m) e Tabella 9.1 per la trave 48 ($G1+G2 = 8,55+4,23 = 12,78$ kN/m).
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nella zona critica della trave.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 32: Determinazione taglio di calcolo - SLV

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 79 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Di seguito si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 180 \text{ mm}$	altezza utile sezione
$A_{sw} = 258 \text{ mm}^2$	area dell'armatura sul singolo strato
$s = 100 \text{ mm}$	l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
$\theta = 45^\circ$	inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
$\alpha = 90^\circ$	inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 163,55 \text{ kN}$ per entrambi i gruppi

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)/(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 180 \text{ mm}$	altezza utile sezione
$b_w = 600 \text{ mm}$	larghezza della sezione
$\alpha_c = 1$	coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
$f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
$\theta = 45^\circ$	inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
$\alpha = 90^\circ$	inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo $V_{Rsd} = 399,98 \text{ kN}$ per la sezione (60x24) e $V_{Rsd} = 333,32 \text{ kN}$ per la sezione (50x24).

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 163,55 \text{ kN}$$

che risulta superiore a $V_{Ed \max} = 75,26 \text{ kN}$.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 80 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a presso-flessione retta, eseguita con analoga procedura.

Trave falda	Comb.	Nd (kN)	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	1/ρ _M
50-1	15	309,69	36,14	60,92	1,68
48-2	16	194,94	20,59	50,56	2,45

NOTE:

- Per convenzione, Mx è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 33: Verifiche travi di falda a presso-flessione retta - SLU

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

$$T_d = 68,02 \text{ kN (trave 50, Comb. 15)}$$

inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 163,55 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione relative alle travi di falda.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4 \text{ mm}$ per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

Trave di falda	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	σ (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)	w _d (mm)	w _{lim} (mm)
50-1	27-Rara	232,68	26,94	7,5	72,8	----	----
50-1	34-FR	203,63	22,36	6,2	55,3	No fess	0,4

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 81 di 102

50-1	39-QP	196,69	21,37	6,0	65,4	No fess	0,3
48-2	28-Rara	146,85	15,17	4,6	36,8	----	----
48-2	38-FR	126,60	11,46	3,5	20,6	No fess	0,4
48-2	39-QP	111,62	10,93	3,4	23,7	No fess	0,3

Tabella 34: Verifiche trave a presso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 7,5 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 6,0 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 72,8 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure entro i valori limite.

Si osserva che la compressione delle travi, in particolare le trasversali, riduce sensibilmente la trazione nelle armature e praticamente annulla la fessurazione.

10.6 SOLAIO

Il solaio di copertura è latero-cementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento da 20 cm, soletta superiore in c.a. da 4 cm, per uno spessore totale di 24 cm. Le caratteristiche di dettaglio dei componenti prefabbricati dipenderanno dalla reale fornitura in cantiere e quindi precisate nella progettazione costruttiva. In questo calcolo ne vengono perciò assunte le seguenti caratteristiche ricorrenti: larghezza travetto 12 cm, interasse travetto 50 cm, assenza di armatura aggiuntiva nel fondello.

I carichi agenti (vedi capitolo 7) sono:

- G1 3,00 kN/m² peso proprio
- G2 1,80 kN/m² sovraccarico permanente
- Gk 0,50 kN/m² accidentale
- Gn 1,20 kN/m² neve

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 82 di 102

e danno luogo ai seguenti carichi di calcolo massimi in ciascuna combinazione:

SLU	1,3 G1 + 1,3 G2 + 1,5 Gn	8,04 kN/m ²
SLE-Rara	1,0 G1 + 1,0 G2 + 1,0 Gn	6,00 kN/m ²
SLE-FR	1,0 G1 + 1,0 G2 + 0,2 Gn	5,04 kN/m ²
SLE-QP	1,0 G1 + 1,0 G2	4,80 kN/m ²

Il solaio presenta configurazioni e luci diverse, tipicamente 4,80 m. Le sollecitazioni vengono calcolate con riferimento al travetto più lungo della campata del padiglione di testa dei corpi laterali, luce teorica 5,20 m, considerato nello schema di trave isolata con vincolo di semi-incastro alle estremità:

$$V = 1/2qL \quad Mm = 1/10qL^2 \quad Ma = 1/10qL^2$$

e sono riportate in tabella con riferimento al singolo travetto, quindi per una striscia di solaio larga 0,50 m:

Comb.	V (kN)	Mm = Ma (kNm)
SLU	10,45	10,87
SLE-Rara	7,80	8,11
SLE-FR	6,55	6,81
SLE_QP	6,24	6,49

Tabella 35: Sollecitazioni solaio

Per le verifiche a flessione in campata si considera la sezione a T con larghezza travetto 12 cm, larghezza ala superiore 50 cm, altezza ala 4 cm, altezza totale 24 cm, armatura in opera sul fondello 2Φ14 mentre per le verifiche a flessione e taglio in appoggio si considera la sezione rettangolare (12x24) cm armata con 2Φ14; in favore di sicurezza sono trascurati sia i ferri inferiori del travetto che quelli della rete elettrosaldata (Φ 8/15x15) nella soletta superiore. L'incidenza dell'armatura aggiuntiva in opera è di 20 kg/mq, comprensiva della rete superiore e delle fasce rompitratta.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 83 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

Verifiche allo SLU

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma “Verifica C.A.” dell’Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente delle sezioni riportato nella seguente tabella con l’indicazione del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Solaio	M (kNm)	Mr (kNm)	$1/\rho_M$
mezzeria	10,87	21,96	2,02
appoggio	-10,87	-14,95	1,37

NOTE:

- Per convenzione, M è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 36: Verifiche solaio a flessione - SLU

Per la verifica a taglio si determina la resistenza della sezione per la quale non è prevista una specifica armatura resistente per questa sollecitazione, come consentito dalla norma (punto 4.1.2.1.3.1 del DM 2008) in assenza di sforzi di trazione. La resistenza al taglio è:

$$V_{RD} = [0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d = 18585 \text{ N} = \mathbf{18,58 \text{ kN/m}}$$

dove:

$$b_w = 120 \text{ mm}$$

larghezza sezione

$$d = 190 \text{ mm}$$

altezza utile sezione

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

in questo caso: $k = 2,00$

$$\rho_1 = 308 / (120 \times 190) = 0,01351$$

rapporto geometrico armatura longitudinale

$$f_{ck} = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

resistenza caratteristica cilindrica del cls

$$\gamma_c = 1,5$$

coefficiente parziale di sicurezza per il cls

$$\sigma_{cp} = 0$$

tens. media compr. (nulla, in favore di sicurezza)

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 84 di 102

che risulta superiore a $V_{Ed} = 10,45$ kN.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio relative al solaio.

Solaio	Comb.	M (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
mezzeria	SLE-Ra	8,11	3,9	151,5
mezzeria	SLE-FR	6,81	3,2	127,3
mezzeria	SLE-QP	6,49	3,1	121,3
appoggio	SLE-Ra	-8,11	7,9	167,4
appoggio	SLE-FR	-6,81	6,7	140,6
appoggio	SLE-QP	-6,49	6,4	135,0

Tabella 37: Verifiche solaio a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 7,9 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 6,7 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 167,4 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che il modesto valore delle trazioni nell'armatura (max 140,6 N/mm² per FR e 135,0 N/mm² per QP) costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi di questo stato limite. Per dette combinazioni risultano infatti valori di ampiezza delle fessure pari a $w_d = 0,130$ mm per Fr e $w_d = 0,120$ mm per QP, in entrambi i casi inferiori ai valori limite per armature poco sensibili in ambiente ordinario. La presenza del fondello in intradosso e della rete elettrosaldata in estradosso costituisce un'ulteriore garanzia al riguardo.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 85 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

10.7 CORNICIONE

Il cornicione è una soletta piena in c. a. dello spessore di 18 cm.

I carichi agenti (vedi capitolo 7) sono:

- G1 5,00 kN/m² peso proprio ripartito + peso veletta in punta di 2,06 kN
- G2 1,20 kN/m² sovraccarico permanente
- Gk 0,50 kN/m² accidentale
- Gn 1,30 kN/m² neve (valore massimo relative alle falde di compluvio)

e danno luogo ai seguenti carichi di calcolo massimi in ciascuna combinazione:

- SLU 1,3 G1 + 1,3 G2 + 1,5 Gn 9,36 kN/m² e 2,68 kN/m in punta
- SLE-Rara 1,0 G1 + 1,0 G2 + 1,0 Gn 7,00 kN/m² e 2,06 kN/m in punta
- SLE-FR 1,0 G1 + 1,0 G2 + 0,2 Gn 5,96 kN/m² e 2,06 kN/m in punta
- SLE-QP 1,0 G1 + 1,0 G2 5,70 kN/m² e 2,06 kN/m in punta

Le sollecitazioni vengono calcolate sullo schema di mensola incastrata nella trave perimetrale sulla luce di 1,00 m:

$$V = qL + Q \quad M = 1/2qL^2 + QL$$

e sono riportate in tabella con riferimento ad una striscia di cornicione larga 1,00 m:

Comb.	V (kN)	Mm = Ma (kNm)
SLU	12,04	7,36
SLE-Rara	9,06	5,56
SLE-FR	8,02	5,04
SLE_QP	7,76	4,91

Tabella 38: Sollecitazioni cornicione

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 86 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

Per le verifiche a flessione e taglio si considera la sezione rettangolare (100x18) cm armata con Φ 14/20 superiori e Φ 12/20 inferiori (armatura superiore al minimo) in direzione trasversale e con ripartitori longitudinali Φ 12/20 inferiori e superiori. L'incidenza dell'armatura in opera del cornicione risulta di 160 kg/mc mentre per la veletta, armata con Φ 12/20 nelle due direzioni, è di 140 kg/mc.

Verifiche allo SLU

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione riportato nella seguente tabella con l'indicazione del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Cornicione	M (kNm)	Mr (kNm)	$1/\rho_M$
incastro	7,36	38,96	5,29

Tabella 39: Verifica cornicione a flessione - SLU

Per la verifica a taglio si determina la resistenza della sezione per la quale non è prevista una specifica armatura resistente per questa sollecitazione, come consentito dalla norma (punto 4.1.2.1.3.1 del DM 2008) in assenza di sforzi di trazione. La resistenza al taglio è:

$$V_{RD} = [0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d = 75504 \text{ N} = \mathbf{75,50 \text{ kN/m}}$$

dove:

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

larghezza sezione

$$d = 130 \text{ mm}$$

altezza utile sezione

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

in questo caso: $k = 2,00$

$$\rho_1 = 770 / (1000 \times 180) = 0,00428$$

rapporto geometrico armatura longitudinale

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 87 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A		

$f_{ck} = 33,2 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_c = 1,5$

$\alpha_{cp} = 0$

resistenza caratteristica cilindrica del cls

coefficiente parziale di sicurezza per il cls

tens. media compr. (nulla, in favore di sicurezza)

che risulta superiore a $V_{Ed} = 9,06 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio relative al cornicione.

Cornicione	Comb.	M (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
incastro	SLE-Ra	-5,56	2,2	62,1
Incastro	SLE-FR	-5,04	2,0	56,3
Incastro	SLE-QP	-4,91	2,0	54,8

Tabella 40: Verifiche cornicione a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,2 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 2,0 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 33,2 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 62,1 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che il modesto valore delle trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi di questo stato limite.

10.8 VERIFICA AGLI SLE PER AZIONI SISMICHE

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 88 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

10.8.1 VERIFICA DANNEGGIAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per limitare i danneggiamenti strutturali, le sollecitazioni calcolate in presenza di sisma SLD, con coefficiente $\eta = 2/3$, devono risultare inferiori ai corrispondenti valori di progetto calcolati assumendo coefficienti parziali unitari per i materiali.

In proposito si osserva che:

- nel paragrafo 9.3 è stata determinata la forza sismica totale per i diversi stati limite e quella per SLD (463,56 kN) è risultata inferiore a quella dello SLV (486,62 kN);
- le verifiche dei diversi elementi strutturali eseguite nei precedenti punti di questo capitolo si riferiscono allo SLV, con coefficienti parziali dei materiali $\gamma_c=1,5$ per il calcestruzzo e $\gamma_s=1,15$ l'acciaio d'armatura.

Da quanto sopra si evince che la verifica SLD in questione confronta sollecitazioni minori e resistenze maggiori rispetto alla verifica SLV e pertanto risulta indirettamente soddisfatta per tutti gli elementi strutturali.

10.8.2 VERIFICA DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Per limitare i danni agli elementi non strutturali, lo spostamento dell'unico piano del fabbricato in presenza di sisma SLO deve rispettare la condizione:

$$d_r = 2/3 \times 0,005 h$$

considerata la presenza di tamponamenti che interferiscono con la deformabilità della struttura, con h altezza del piano stesso.

In proposito si osserva che:

- nel paragrafo 9.3 è stata determinata la forza sismica totale per i diversi stati limite e quella per SLO è risultata 555,81 kN, quindi superiore a quella dello SLV, pari a 486,62 kN;
- dall'analisi del modello spaziale eseguita per SLV è risultato uno spostamento del piano pari a 0,00212 mm in direzione X (longitudinale) per il nodo 22 nella comb. 55, e pari a 0,00869 mm in direzione Y (trasversale) per il nodo 22 nella comb. 64;

Da quanto sopra si può determinare lo spostamento limite con $h = 3,77$ m:

$$d_r = 2/3 \times 0,005 \times 3770 = 12,56 \text{ mm}$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 89 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

e lo spostamento massimo per SLO (nella direzione trasversale), per proporzione delle forze sismiche:

$$d_y = 0,00869 \times (555,81/486,62) = 0,00993 \text{ m} = 9,93 \text{ mm}$$

che risulta inferiore a d_r e quindi la verifica è soddisfatta.

Lo spostamento massimo nella direzione longitudinale è:

$$d_x = 0,00212 \times (555,81/486,62) = 0,00242 \text{ m} = 2,42 \text{ mm}$$

e quindi ampiamente compatibile con la larghezza del giunto strutturale di 100 mm.

11 VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN FONDAZIONE

11.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

La struttura di fondazione è costituita da un reticolo di travi. Sono previste due travi longitudinali a “T rovescia” con suola di (100x40) cm e anima di (45x80) cm, due travi di giunto con sagoma a L con suola di (70x40) cm e anima di (40x80) cm; l’altezza totale è di 120 cm sull’intero perimetro. Sono anche previste travi di collegamento, generalmente con sezione (60x40), poste sugli allineamenti strutturali trasversali e delle murature interne. Mediante il magrone di sottofondo dello spessore di 30 cm, tutte le travi raggiungono la quota di appoggio sul terreno fissata a -1,50 m dal piano finito.

Il fabbricato sorge sul rilevato di piazzale alto 3,85 m circa sul piano di campagna e il progetto geotecnico prevede uno strato di bonifico (0,50 m) al di sotto del piano di campagna. Ne consegue che il terreno di appoggio della fondazione è costituito dal rilevato e che le tensioni indotte dalla fondazione superficiale si sviluppano interamente all’interno dello strato riportato, bonifico più rilevato, senza interessare il terreno in situ.

Il modello impiegato per l’analisi globale della struttura comprende anche le travi rovesce di fondazione e la reattività verticale offerta dal terreno di base è stata schematizzata con molle alla Winkler con costante elastica $K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 90 di 102

Le verifiche geotecniche consistono sostanzialmente nella verifica di capacità portante che viene condotta seguendo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali indicati in dettaglio nel capitolo 8, quindi con coefficienti parziali unitari per le caratteristiche del terreno e pari a 2,3 per la fondazione superficiale.

Dall'analisi dei risultati del calcolo spaziale risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea degli abbassamenti e quindi della reazione del terreno, come era nelle attese data la notevole rigidità delle travi rovesce. A titolo di esempio si riportano gli abbassamenti dei punti posti sulla verticale dei pilastri del filo A di carpenteria per la combinazione quasi permanente (comb. 39: pesi propri e carichi portati):

Pilastro	1	2	3	4	5	6	7
dz (mm)	7,58	7,36	7,14	7,04	7,14	7,36	7,58

Tabella 41: Abbassamenti filo A per la combinazione QP

dalla quale risulta un rapporto min/max pari a 0,93. Una conferma è data dal dettaglio degli abbassamenti dei punti intermedi ai pilastri, al passo medio di 1,20 m, ad esempio del tronco di trave del filo A, dal pilastro 2 al pilastro 3, per la stessa combinazione quasi permanente:

Pilastro	4	46	47	48	5
dz (mm)	7,36	7,30	7,24	7,19	7,14

Tabella 42: Abbassamenti filo A per la combinazione QP – da pil. 2 a pil. 3

Dagli abbassamenti letti sul tabulato di calcolo si ricavano le pressioni sul terreno semplicemente moltiplicando per la costante Kw. I valori massimi si riscontrano sui nodi di testata sul giunto del fabbricato, in particolare:

dz max = 0,01068 m

nodo 1

comb. 16 (SLU 8 di Tab. 8a)

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 91 di 102

$dz_{max} = 0,00936 \times 1,1 = 0,01030 \text{ m}$ nodo 1 comb. 75 (SLV 36 di Tab. 11)

dove il moltiplicatore 1,1 applicato alla combinazione sismica tiene conto della richiesta di sovraresistenza rispetto alle azioni di calcolo trasmesse dalla struttura in elevazione (cfr. 7.2.5 NTC).

La pressione massima risulta:

$$q_t = 0,01068 \times 10000 = 107 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per SLU}$$

$$q_t = 0,01030 \times 10000 = 103 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per SLV}$$

La pressione limite q_{lim} è stata determinata con la formula generale di Brinch-Hansen (1970) (rif. Lancellotta R., Geotecnica, II edizione – 1993) sulla base dei parametri geotecnici minimi di cui al capitolo 6. Se ne riporta il calcolo tabellare eseguito sia per la trave longitudinale larga 1,00 m e lunga 25,85 m, che per quella trasversale di giunto larga 0,70 e lunga 6,70 m. Il calcolo riporta direttamente anche la pressione “ammissibile” ottenuta dividendo per il coefficiente parziale 2,3 il cui valore minimo è 591 kPa = 591 kN/m².

Formula generale:		
	$Q_{lim} = 1/2 g' B N_y s_y i_y b_y g_y + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q$	
Dati d'ingresso:		
	Terreno di fondazione	
	Coesione (c)	0 kPa
	Angolo di attrito (ϕ)	35 °
	Peso di volume terreno di fondazione (γ_1)	19,0 kN/m ³
	Peso di volume terreno sopra fondazione (γ_2)	19,0 kN/m ³
	Inclinazione piano campagna	0 °
	Fondazione	
	Larghezza (B)	1,0 m
	Lunghezza (L)	25,9 m
	Profondità piano di posa (D)	1,2
	Eccentricità dei carichi (e)	0,0 m
	Inclinazione piano di posa	0 °
	Carichi inclinati	
	Componente orizzontale (H)	0 t
	Componente verticale (N)	0 t
	Fattori capacità portante	
	N_y	48,03
	N_c	46,12
	N_q	33,30
	Fattori forma della fondazione	
	s_y	1,01
	s_c	1,03
	s_q	1,01
	Fattori inclinazione del carico	
	i_y	1,00
	i_c	1,00
	i_q	1,00
	Fattori inclinazione piano di posa	
	b_y	1,00
	b_c	1,00
	b_q	1,00
	Fattori inclinazione piano campagna	
	g_y	1,00
	g_c	1,00
	g_q	1,00
	Fattori profondità piano di posa	
	d_c	1,23
	d_q	1,22
Risultato:		
	Pressione limite (Q_{lim})	1404,5 kPa
	Coefficiente di sicurezza	2,3
	Pressione ammissibile (Q_{amm})	623,6 kPa

 Tabella 43: q_{lim} trave longitudinale

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30

Relazione Di Calcolo Strutturale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO

REV.

IN0D00DI2CLFA0902001A

Pag.

93 di 102

Formula generale:			
$Q_{lim} = 1/2 g' B N_y s_y i_y b_y g_y + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q$			
Dati d'ingresso:			
Terreno di fondazione			
Coesione (c')	0	kPa	
Angolo di attrito (ϕ)	35	°	
Peso di volume terreno di fondazione (γ_1)	19,0	kN/m ³	
Peso di volume terreno sopra fondazione (γ_2)	19,0	kN/m ³	
Inclinazione piano campagna	0	°	
Fondazione			
Larghezza (B)	0,7	m	
Lunghezza (L)	6,7	m	
Profondità piano di posa (D)	1,2		
Eccentricità dei carichi (e)	0,0	m	
Inclinazione piano di posa	0	°	
Carichi inclinati			
Componente orizzontale (H)	0	t	
Componente verticale (N)	0	t	
Fattori capacità portante			
N_y	48,03		
N_c	46,12		
N_q	33,30		
Fattori forma della fondazione			
s_y	1,04		
s_c	1,08		
s_q	1,04		
Fattori inclinazione del carico			
i_y	1,00		
i_c	1,00		
i_q	1,00		
Fattori inclinazione piano di posa			
b_y	1,00		
b_c	1,00		
b_q	1,00		
Fattori inclinazione piano campagna			
g_y	1,00		
g_c	1,00		
g_q	1,00		
Fattori profondità piano di posa			
d_c	1,27		
d_q	1,27		
Risultato:			
Pressione limite (Q_{lim})	1329,5	kPa	
Coefficiente di sicurezza	2,3		
Pressione ammissibile (Q_{amm})	590,9	kPa	

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 94 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Tabella 44: qlim trave trasversale

Risulta:

$$q_{t_{max}} = 107 \text{ kN/m}^2 < q_{lim}/2,3 = 591 \text{ kN/m}^2$$

e la verifica di capacità portante del terreno è soddisfatta.

11.2 VERIFICHE STRUTTURALI TRAVI DI FONDAZIONE

11.2.1 TRAVI ROVESCE

Le travi di fondazione a T rovescia hanno dimensioni diverse, come segue:

- travi longitudinali: larghezza anima 45 cm, larghezza ala inferiore 100 cm, altezza ala 40 cm, altezza totale 120 cm e sono individuate come gruppo 1;
- travi trasversali di giunto: larghezza anima 40 cm, larghezza ala inferiore 70 cm, altezza ala 40 cm, altezza totale 120 cm ed è individuata come gruppo 2.

Per tutte viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 20 inferiori correnti nell'anima
 - 4 Φ 20 superiori correnti nell'anima
 - 14 Φ 12 reggistaffe e intermedi sui lati dell'ala e dell'anima, correnti
- armature trasversali:
 - staffa Φ 12 dell'anima + staffa Φ 12 dell'ala con passo di 150 mm per un tratto di 90 cm alle estremità, con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni di armatura; in particolare l'armatura longitudinale inf. e sup. (12,56 cm²) risulta di poco superiore al minimo (0,2/100x45x120= 10,80 cm²) riferito all'anima delle travi principali con sezione maggiore. Ne risulta l'incidenza di armatura di 120 kg/mc per il gruppo 1 e di 150 kg/mc per il gruppo 2, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 95 di 102

Nelle seguenti verifiche verrà richiamato il numero della trave con il gruppo di appartenenza e indicata la sezione di verifica: mezzeria (m) o appoggio (a); in tutti i casi verrà considerata reagente solo l'armatura dell'anima.

Verifiche allo SLV

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma “Verifica C.A.” dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle sollecitazioni di calcolo (M_x) e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

Trave fond.	Comb.	M_x (kNm)	γ_{Rd}	M_{xd} (kNm)	M_{xr} (kNm)	$1/\rho_M$
69-1-m	57	107,25	1,1	117,98	552,00	4,68
72-1-a	52	-141,56	1,1	-155,72	-541,50	3,48
116-2-m	73	254,22	1,1	279,642	547,70	1,96
116-2-a	71	-62,89	1,1	-69,18	-539,70	7,80

NOTE:

- I momenti flettenti risultanti dall'analisi vengono amplificati con $\gamma_{Rd} = 1,1$ per tenere conto della richiesta di sovrarresistenza rispetto alle azioni trasmesse dalla struttura in elevazione (cfr. 7.2.5 NTC).
- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre superiori.

Tabella 45: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 1140 \text{ mm}$ altezza utile sezione

$A_{sw} = 226 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato

$s = 150 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
 $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
 ottenendo: $V_{Rsd} = 604,89 \text{ kN}$, valido per tutti i gruppi,

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 1140 \text{ mm}$ altezza utile sezione
 $b_w = 450 \text{ mm} / 400 \text{ mm}$ larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 7,05 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
 ottenendo: $V_{Rsd} = 1627,49 \text{ kN}$ per il gruppo 1 e $V_{Rsd} = 1446,65 \text{ kN}$ per il gruppo 2.

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = \mathbf{604,89 \text{ kN}}$$

che risulta superiore al massimo taglio di calcolo $V_{Ed \max} = (1,1 \times 101,82) = 112,00 \text{ kN}$ (asta 76, gruppo 1, comb. 55), anche questo incrementato del coefficiente $\gamma_{Rd} = 1,1$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a flessione retta, eseguita con analoga procedura.

Trave fond.	Comb.	M _{xd} (kNm)	M _{xr} (kNm)	1/ρ _M

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale		
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.			Pag. 97 di 102
IN0D00DI2CLFA0902001A			

77-1-m	20	79,36	552,00	6,95
72-1-a	15	-60,33	-541,50	8,97
118-2-m	13	242,48	547,70	2,25

Tabella 46: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLU

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

$T_d = 111,70$ kN (trave 76, gruppo 1, Comb. 16)

inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 604,89$ kN.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4$ mm per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3$ mm per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

Trave fond.	Comb.	Mx (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	w_d (mm)	w_{lim} (mm)
77-1-m	32-Rara	60,40	1,0	44,6	----	----
77-1-m	38-FR	56,84	1,0	42,0	No fess	0,4
77-1-m	39-QP	56,22	1,0	41,5	No fess	0,3
118-2-m	25-Rara	183,07	2,1	135,8	----	----
118-2-m	34-FR	165,13	1,9	122,5	No fess	0,4
118-2-m	39-QP	160,64	1,8	119,2	No fess	0,3

Tabella 47: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 98 di 102
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

$$\sigma_{c, \max} = 2,1 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 24,9 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 1,8 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 24,9 = 11,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 135,8 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Si osserva che in tutti i casi le tensioni nelle armature sono molto basse, il momento agente risulta inferiore a quello di prima fessurazione e quindi la sezione non si fessura.

11.2.2 TRAVI DI COLLEGAMENTO TRASVERSALI INTERNE

Le travi di questo gruppo hanno tutte sezione rettangolare (60x40), con la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 20 + 3 Φ 16 inferiori correnti
 - 4 Φ 20 + 3 Φ 16 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:
 - staffa Φ 10 a 4 bracci con passo di 150 mm per un tratto di 90 cm alle estremità, con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni di armatura; in particolare l'armatura longitudinale (18,59 cm²) risulta superiore al minimo (0,2/100x60x40= 4,80 cm²) ed è prevista doppia simmetrica in relazione alla funzione di tirante che la trave si trova a svolgere in fase sismica. Ne risulta l'incidenza di armatura di 170 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Verifiche allo SLV

La verifica a presso o tenso flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente (1/ ρ_M) che misura il rapporto tra sollecitazioni

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 99 di 102

resistenti e sollecitazioni di calcolo. Si precisa che lo sforzo normale N è stato determinato con la:

$$N = \pm 0,6 N_{sd} a_{max}/g \quad (\text{profilo stratigrafico D, rif. punto 7.2.5.1 NTC})$$

dove:

$$N_{sd} = (199,11 + 199,11)/2 = 199,11 \text{ kN}$$

è il valore medio delle forze assiali in fase sismica nei pilastri 2 e 9 collegati

$$a_{max} = a_g S = 0,279$$

è l'accelerazione massima attesa al sito (per SLV, vedi Tabella 3)

e quindi:

$$N = \pm 0,6 \times 199,11 \times 0,279 = \pm 33,33 \text{ kN}$$

Trave fond.	Comb.	N (kN)	Mx (kNm)	γ_{Rd}	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	1/ ρ_M
143	73	33,33	84,65	1,1	93,12	200,30	2,15
143	73	-33,33	84,65	1,1	93,12	201,40	2,16

NOTE:

- I momenti flettenti risultanti dall'analisi vengono amplificati con $\gamma_{Rd} = 1,1$ per tenere conto della richiesta di sovraresistenza rispetto alle azioni trasmesse dalla struttura in elevazione (cfr. 7.2.5 NTC).
- Per convenzione, Mx è positivo se tende le fibre superiori.

Tabella 48: Verifiche travi di collegamento a presso o tenso flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

d = 340 mm altezza utile sezione

A_{sw} = 316 mm² area dell'armatura sul singolo strato

s = 150 mm l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

f_{yd} = 391,3 N/mm² resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLFA0902001A	Pag. 100 di 100

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 252,25 \text{ kN}$

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times bw \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 340 \text{ mm}$ altezza utile sezione

$bw = 600 \text{ mm}$ larghezza della sezione

$\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)

$f'_{cd} = 7,05 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 674,19 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 252,25 \text{ kN}$$

che risulta superiore al massimo taglio di calcolo $V_{Ed \text{ max}} = (1,1 \times 93,30) = 102,63 \text{ kN}$ (asta 129, comb. 71, anche questo incrementato del coefficiente $\gamma_{Rd} = 1,1$).

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a flessione retta, eseguita con analoga procedura.

Trave fond.	Comb.	Mxd (kNm)	Mxr (kNm)	$1/\rho_M$
133	13	110,24	200,8	1,82

Tabella 49: Verifiche travi di collegamento a flessione retta - SLU

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag. 101 di 100
	IN0D00DI2CLFA0902001A		

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

$$T_d = 118,33 \text{ kN (trave 129, Comb. 15)}$$

inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 252,25 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4 \text{ mm}$ per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

Trave fond.	Comb.	Mx (kNm)	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	w_d (mm)	w_{lim} (mm)
133	25-Rara	83,72	5,6	152,6	----	----
133	34-FR	78,13	5,3	142,5	0,154	0,4
133	39-QP	76,73	5,2	139,9	0,149	0,3

Tabella 50: Verifiche trave di collegamento a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 5,6 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 24,9 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 5,2 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 24,9 = 11,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 152,6 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure inferiori ai valori limite.

12 ALLEGATO 1: TABULATO DI CALCOLO

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: FA09 - Fabbricato Pc Al Km 32+292,30 Relazione Di Calcolo Strutturale	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 102 di 100
	IN0D00DI2CLFA0902001A	

Il tabulato si compone di migliaia di pagine e allegarlo fisicamente renderebbe la relazione materialmente non gestibile e di difficile consultazione. Pertanto se ne riporta il file in formato .DOC nel dvd allegato.