

1. Premessa

1.1. Obiettivo tecnico

Oggetto della presente relazione di calcolo strutturale e il dimensionamento e la verifica statica della sottostruttura metallica di supporto, e relativi ancoraggi, di una facciata ventilata.

Cantiere: Comune di Schio, Provincia di Vicenza – Lavori di realizzazione di una palestra scolastica.

Struttura perimetrale dell'edificio (supporto): Blocchi in laterizio porizzato

Tipo di materiale di rivestimento: pannelli in parklex

Altezza massima di calcolo dal suolo: 15 metri (valore cautelativo dal piano strada)

Fuga: ampiezza nominale fuga di 8 millimetri

Spessore nominale dei pannelli: 8 millimetri

Superficie approssimativa delle facciate: 550 metri quadrati

Nel seguito si espongono le verifiche di calcolo ritenute significative e corrispondenti alla configurazione standard del sistema di sostegno della facciata ventilata. Le condizioni di posa particolari, da realizzarsi necessariamente per la presenza di aperture, spigoli, rientranze, irregolarità geometriche, vengono risolte incrementando il numero dei montanti e dei fissaggi per ragioni di carattere prettamente costruttivo, determinando un sovradimensionamento locale della struttura metallica, che risulta pertanto staticamente verificata.

1.2. Normativa tecnica

Le verifiche di calcolo sono condotte secondo quanto prescritto dalle vigenti norme tecniche.

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 – *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 – *Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche.*
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 – *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.*
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 - *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*

La progettazione delle strutture è condotta nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, che definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità e di durabilità. Qualora le suddette norme non contengano particolari indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, ci si riferisce a normative tecniche di comprovata validità e ad altri documenti tecnici presenti in letteratura.

1.3. Sistema di unità di misura e metodi di calcolo

Il sistema di unità di misura adottato è il "Sistema Internazionale di unità" indicato con la sigla "SI" di cui alle direttive del Consiglio delle Comunità europee n. 76/770/CEE del 27 luglio 1976. Per la conversione dal sistema pratico al sistema internazionale delle grandezze considerate nei calcoli di dimensionamento e verifica delle strutture, il coefficiente 9,81 è stato arrotondato a 10 per ragioni di carattere pratico.

1.4. Metodo di calcolo

Lo studio delle strutture è condotto impiegando i criteri della scienza delle costruzioni basati sull'ipotesi di elasticità lineare dei materiali ed il metodo agli stati limite per la verifica delle sezioni.

1. 2. Caratteristiche dei materiali

2.1. Premessa

Le caratteristiche geometriche dei materiali impiegati per la realizzazione della sottostruttura metallica e gli ancoraggi sono descritte nelle tavole architettoniche e strutturali allegate alla presente relazione

2.2. Pezzi e profili in lega di alluminio

Per la produzione di pezzi e profilati estrusi in lega di alluminio finalizzati alla realizzazione di sottostrutture per facciate ventilate, si impiegano leghe con caratteristiche meccaniche non inferiori al tipo EN AW 6060, la più diffusa sul mercato europeo per le sue doti di alta velocità di deformazione a caldo.

Questi tipi di leghe consentono la realizzazione di profilati con sezione anche complessa, comprendente molteplici cavità e scanalature, per avvicinare quanto più possibile il disegno dell'estruso a quello del manufatto finito, e ridurre al minimo le lavorazioni intermedie, con livelli di resistenza meccanica sufficienti per le applicazioni in epigrafe.

Le proprietà meccaniche minime dei profilati in lega di alluminio sono dettate dalla norma europea EN 755.2.

Lega di alluminio	Stato fisico di fornitura	Spessore massimo	f_{tk} [N/mm ²]	$f_{0,2k}$ [N/mm ²]	E [N/mm ²]	α [1/K]	Pesc [kN/m ²]
EN AW 6060	T5	5 mm	160	120	69000	0,0000230	27,00
EN AW 6060	T6	3 mm	190	150	69000	0,0000230	27,00
EN AW 6060	T66	3 mm	215	160	69000	0,0000230	27,00
EN AW 6063	T5	3 mm	175	130	69000	0,0000232	27,10
EN AW 6063	T6	10 mm	215	170	69000	0,0000232	27,10
EN AW 6063	T66	10 mm	245	200	69000	0,0000232	27,10

Staffe di appensione e controvento:

EN AW 6063 T66

Profilati montanti:

EN AW 6060 T66

2.3. Pezzi speciali in acciaio inossidabile

Per la realizzazione di pezzi e profili funzionali alla costruzione delle sottostrutture metalliche per le facciate ventilate, possono essere impiegati acciai inossidabili austenitici. I valori di resistenza sono desunti dal prospetto 10 della norma UNI EN 10088-2.

Qualità dell'acciaio	Designazione numerica	Designazione AISI	f_{tk} [N/mm ²]	$f_{0,2,k}$ [N/mm ²]	E [N/mm ²]	α [1/K]	Peso [kN/m ³]
X5CrNi18-10	1.4301	304	500	190	200000	0,0000165	78,50
X2CrNi19-11	1.4306	304L	450	175	200000	0,0000165	78,50
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	500	200	200000	0,0000165	78,50
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L	500	200	200000	0,0000165	78,50

Ganci di supporto e ritegno del rivestimento: AISI 304

2.4. Caratteristiche di resistenza della viteria autoforante

Per il montaggio delle sottostrutture in lega di alluminio si impiegano viti autoperforanti. Il corpo della vite è necessariamente in acciaio inossidabile, in modo da garantire la compatibilità elettrolitica con la lega di alluminio. La punta di perforazione può essere realizzata nella medesima qualità di acciaio o in acciaio cementato (viti bi-metal).

Analogamente ai collegamenti bullonati in acciaio austenitico, si impiega viteria conforme alle classi A2-50, A2-70, A4-50 e A4-70 (norma UNI EN ISO 3506-1).

La qualità A4 garantisce una maggiore resistenza alla corrosione in ambienti aggressivi.

Qualità dell'acciaio	Denominazione secondo UNI EN 10088 degli acciai inossidabili costituenti il bullone	$f_{tk,k}$ [N/mm ²]	$f_{ytk,k}$ [N/mm ²]
A2 - 50	X2CrNi18-11; X5CrNi18-10; X8CrNi18-12	500	210
A2 - 70		700	450
A4 - 50	X2CrNiMo17-12; X5CrNiMo17-12	500	210
A4 - 70		700	450

La viteria autoforante è applicata su supporti costituiti da membrature in lega di alluminio di modesto spessore (2÷3 millimetri). Queste condizioni di posa forniscono delle condizioni di rottura che generalmente esulano dalla resistenza del connettore, ma si determinano per cedimento od eccessivo rifollamento del supporto.

I valori di resistenza sono pertanto desunti dai risultati delle prove di estrazione per trazione e di rottura a taglio forniti dal produttore sulla base di prove di laboratorio.

Caratteristiche meccaniche a rottura			Acciaio A2/A4-50		Acciaio A2/A4-70	
$\varnothing_{nominale}$ [mm]	$\varnothing_{minimo}$ [mm]	A_{res} [mm ²]	$N_{Rk(50)}$ [kN]	$V_{Rk(50)}$ [kN]	$N_{Rk(70)}$ [kN]	$V_{Rk(70)}$ [kN]
4,8	3,35	8,81	4,41	3,31	6,17	4,63
5,5	4,05	12,88	6,44	4,83	9,02	6,76
6,3	4,85	18,47	9,24	9,70	12,93	13,58

In genere l'applicazione di un carico assiale produce lo sfilamento della vite dal supporto in alluminio per carichi applicati sensibilmente inferiori a quelli di rottura della vite. La

resistenza e pertanto offerta dall'attrito che si sviluppa tra il filetto della vite e il supporto ed è sostanzialmente proporzionale al diametro della vite.

Resistenze caratteristiche di prova		
$\varnothing_{\text{nominale}}$ [mm]	N_{Rk} [kN]	V_{Rk} [kN]
4,8	3,14	4,93
5,5	3,80	7,20
6,3	4,55	10,33

Per quanto riguarda invece la prova a taglio della connessione, il meccanismo di rottura determina solitamente la leggera rotazione della vite e quindi la sua rottura.

Tale modalità incrementa il carico limite rispetto alla mera resistenza al taglio della vite, in quanto la rotazione del connettore ne sgrava la sezione dal taglio portandone il corpo in trazione.

Il carico consigliato dai produttori della viteria autoforante è pari alla metà delle resistenze caratteristiche di prova: viene sostanzialmente applicato un coefficiente di sicurezza totale pari a 2,0 al carico caratteristico di rottura. Volendo procedere a verifiche agli stati limiti ultimi tale resistenza nominale deve essere opportunamente incrementata. Appare pertanto congruo assumere un coefficiente parziale di sicurezza pari a 1,50.

$$N_{Rd} = \min (N_{Rk, \text{prova}} / 1,50; N_{Rk, y} / 1,25)$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rk, \text{prova}} / 1,50; V_{Rk, y} / 1,25)$$

$\varnothing_{\text{nominale}}$ [mm]	Resistenza assiale di progetto			Resistenza a taglio di progetto		
	$N_{Rd} (50)$ [kN]	$N_{Rd} (70)$ [kN]	$N_{Rd} (\text{prova})$ [kN]	$V_{Rd} (50)$ [kN]	$V_{Rd} (70)$ [kN]	$V_{Rd} (\text{prova})$ [kN]
4,8	1,48	3,17	2,10	1,11	2,38	3,28
5,5	2,16	4,64	2,53	1,62	3,48	4,80
6,3	3,10	6,65	3,03	2,33	4,99	6,00

Il valore di progetto della resistenza a trazione ed a taglio della connessione è condizionata dalla qualità di acciaio con cui è realizzata la vite in acciaio inossidabile.

$\varnothing_{\text{nominale}}$ [mm]	Viti in acciaio A2/A4-50		Viti in acciaio A2/A4-70	
	N_{Rd} [kN]	V_{Rd} [kN]	N_{Rd} [kN]	V_{Rd} [kN]
4,8	1,48	1,11	2,10	2,38
5,5	2,16	1,62	2,53	3,48
6,3	3,03	2,33	3,03	4,99

Viti per i collegamenti staffa-montante:

Ø5,5x19 in acciaio inox A2-50

Viti per il collegamento gancio-montante:

Ø4,8x25 in acciaio inox A2-50

2.5 Caratteristiche di resistenza degli ancoranti

I valori di portata degli ancoranti commercialmente disponibili sono dichiarati dal produttore sulla base dei risultati delle prove di laboratorio, da eseguirsi sulla base delle linee guida europee (ETAG). Generalmente i valori forniti sono "carichi consigliati", ovvero resistenze nominali ammissibili. Volendo procedere con le verifiche agli stati limite è necessario riportare tali valori ad una resistenza di progetto. Procedendo a favore di sicurezza, i carichi consigliati vengono pertanto incrementati convenzionalmente del 40%, ottenendo le resistenze di progetto agli stati limite ultimi.

I dati riportati per gli ancoranti posati su conglomerato cementizio riguardano sempre la resistenza su calcestruzzo di classe di resistenza C20/25. Per quanto riguarda invece i tasselli in nylon, dalle esperienze di laboratorio esperite, la presenza di intonaco sulla faccia esterna di un paramento murario in blocchi di laterizio incrementa la portata dei tasselli in nylon di circa il 10%, in quanto va a rinforzare la costola esterna del blocco, incrementandone la resistenza.

Nel cantiere in oggetto sono state eseguite delle prove di rottura per sfilamento degli ancoranti che si intende utilizzare, atte a verificare l'idoneità dei materiali di supporto e la congruità con i dati desunti dalle schede tecniche.

2.5.1. Ancorante pesante passante per posa su calcestruzzo

Questo ancorante viene impiegato per la posa delle staffe di appensione su strutture in conglomerato cementizio armato.

La prova di carico eseguita in cantiere ha fornito un valore del carico medio di rottura dell'ancorante utilizzato superiore a 16 kN, che corrisponde ad una resistenza di progetto all'estrazione pari a $5,60 \text{ kN} > 5,04 \text{ kN}$ (coefficiente di sicurezza agli stati limite ultimi pari a $g = 4,0 / 1,4 = 2,86$).

Al raggiungimento di tale carico non si è notato cedimento del supporto né sfilamento del tassello. Tale risultato conferma che i valori assunti per le resistenze di progetto sono cautelativi.

2.5.2. Ancorante in nylon per posa su laterizio porizzato.

I tasselli in nylon vengono impiegati per la posa di tutte le staffe su muratura cava e/o semipiena.

Nel caso in oggetto, la resistenza degli ancoranti va riferita a supporti non intonacati.

Le staffe di controvento possono essere posate con i tasselli in nylon anche quando ricadono su elementi in calcestruzzo.

Tipologia ancorante: FM-XP 10x65

Materiale: nylon Pa6 + acciaio zincato

Produttore: Friulsider S.p.A.

La prova di carico eseguita in cantiere ha fornito un valore del carico medio di rottura dell'ancorante pari a 2,5 kN, che corrisponde ad una resistenza di progetto all'estrazione di $0,58 \text{ kN} \approx 0,56 \text{ kN}$ (coefficiente di sicurezza agli stati limite ultimi pari a $g = 6,0 / 1,4 = 4,29$).

I valori riscontrati in cantiere corrispondono sostanzialmente con quanto ricavato dalla scheda tecnica del produttore. Tale risultato conferma che i valori assunti per le resistenze di progetto sono congrui.

3. Analisi dei carichi

3.1. Premessa

I carichi ed i sovraccarichi gravanti sulla struttura sono costituiti essenzialmente da:

- peso proprio del rivestimento e della struttura metallica;
- sovraccarico climatico indotto dalla pressione e depressione ventosa;
- azione sismica.

3.2. Carichi permanenti

Materiale adottato per il rivestimento	Parklex
Peso proprio del materiale (valore cautelativo)	
2	7,00 kN/m ³
Spessore dei laterizi (cautelativo)	300 mm
Peso nominale per unità di superficie del rivestimento	0,27 kN/m ²
Incidenza della sottostruttura metallica (cautelativo)	0,08 kN/m ²
Carico permanente (verticale)	0,35 kN/m²

3.3. Sovraccarico variabile indotto dalla pressione e dalla depressione ventosa

Il rivestimento ventilato è sollecitato da pressioni e depressioni ventose.

Classificazione del sito

Zona climatica	3
Classe di rugosità del terreno	C
Altitudine sul livello del mare	> 20 m
Distanza dal mare	< 30 km
Categoria di esposizione del sito	II

Valutazione della velocità di riferimento

vb,0	27,00 m/s
a0	500 m s.l.m.
ka	0,02 1/s
vb	27,00 m/s

Valutazione della pressione del vento

qb pressione cinetica di riferimento	0,46 kN/m ²
ct coefficiente di topografia	1,00
kr	0,19
z0	0,05 m
zmin	4,00 m
cp, pos coefficiente di forma parete sopravvento	1,00
cp, neg coefficiente di forma parete sottovento	-0,60
cd coefficiente dinamico	1,00

3.3.1. Valori di progetto

Valori di progetto

z	altezza di calcolo della superficie esposta	10,00 m
ce	coefficiente di esposizione	2,35
ppos	pressione ventosa	1,07 kN/m ²
pneg	depressione ventosa	-0,64 kN/m ²

L' azione prodotta dal vento radente e di debole entità e trascurabile.

3.4. Sovraccarico variabile indotto dall'azione sismica

In occasione di eventi sismici il rivestimento è posto in vibrazione con una accelerazione funzione dell'entità della scossa.

Poiché il rivestimento è dotato di una massa, essendo tale massa posta in accelerazione, si possono sviluppare azioni con componente orizzontale e con componente verticale.

La normativa di riferimento classifica i vari comuni italiani attraverso il grado di intensità sismica, a cui è implicitamente associata l'accelerazione sismica da adottare nelle formule di verifica.

Comune: Schio

Provincia: Vicenza

Grado di sismicità: media

Nelle condizioni di carico previste dalla normativa vigente non è prescritta la combinazione della pressione ventosa con la forza sismica, in quanto in termini probabilistici essa risulta molto rara e trascurabile in relazione al tempo di vita della costruzione.

Posto che le azioni ventose producono sollecitazioni nella facciata ventilata di un ordine di grandezza superiore alle sollecitazioni indotte dal sisma, si omette di riportare la verifica all'azione sismica orizzontale, perché non significativa ai fini del controllo del livello di sicurezza strutturale dell'opera.

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008, le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidità e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche. La sottostruttura metallica progettata soddisfa tale condizione.

Nelle vigenti norme tecniche si afferma inoltre che la componente verticale dell'azione sismica deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 metri, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 metri), elementi a mensola di luce superiore a 4 metri, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti, costruzioni con isolamento e in altri casi specifici.

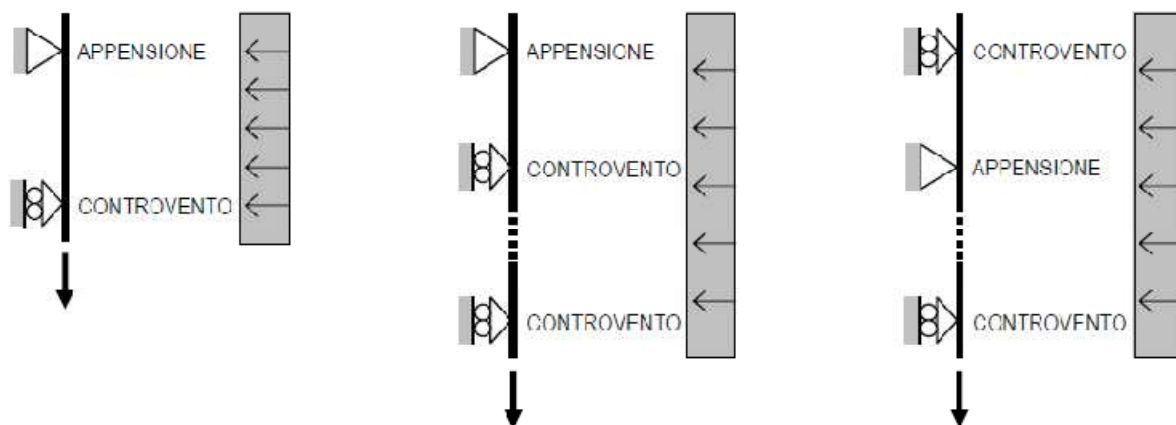
La sottostruttura della facciata ventilata non rientra in nessuno dei casi contemplati dalla norma, il carico sismico verticale non è pertanto da inserire nel calcolo, originando lo stesso sovrasollecitazioni del tutto trascurabili.

4. Verifica dei montanti

4.1. Modello di calcolo

Il montante viene verificato con riferimento ad uno schema di calcolo a trave, caricata dalle azioni orizzontali, con sezione posta generalmente in trazione dai carichi verticali. Per ragioni di mera opportunità costruttiva può essere altresì previsto di posizionare il vincolo di appensione in posizione intermedia od inferiore: in tal caso i carichi verticali porteranno in compressione il montante; l'entità dei carichi verticali applicati e l'efficace controventamento della struttura realizzato dalle staffe di controvento e dal rivestimento permettono comunque di scongiurare l'insorgere di ogni fenomeno di sbandamento per carico di punta.

Il leggero disassamento dei carichi verticali rispetto al baricentro della sezione del montante è trascurabile. Le sezioni risultano pertanto sollecitate da uno stato di sforzo tenso/pressoflessionale accompagnato da taglio.



Ai fini della presente verifica si considera cautelativamente una lunghezza massima del montante di 4,50 metri, valutando tale misura pari all'interpiano oltre a possibili sbalzi, secondo buona regola costruttiva.

Si adottano montanti con sezione a T79/51 di spessore 2 millimetri. Si impiega il montante a passo massimo di circa 600 millimetri.

In alcune situazioni particolari potranno essere impiegati montanti angolari, che hanno parametri di resistenza leggermente inferiori a quelli con sezione a T, ma per le condizioni di posa risultano di norma debolmente sollecitati. La verifica statica si può quindi limitare ai montanti T79/51.

4.2. Analisi dei carichi

Il carico verticale agente sul montante dipende esclusivamente dall'area di influenza del montante, ovvero dalla superficie complessiva di rivestimento che l'elemento è chiamato a sostenere. Si considera pertanto la condizione peggiore, di montante con area di influenza pari a 0,60x4,50 metri quadrati.

Per quanto riguarda il carico orizzontale esso dipende dall'esposizione al vento delle varie zone di facciata e il montante sarà dotato di staffe di controvento ad interasse variabile a seconda dell'azione ventosa che dovrà essere trasferita alla parete di supporto dell'edificio.

Prevedendo di impiegare ancoranti in nylon su blocchi prefabbricati cavi, si assume che l'interasse di posa delle staffe di controvento non eccederà mai la misura di un metro.

Eseguendo la verifica del montante sollecitato dalla pressione ventosa massima ed ipotizzando un interasse massimo delle staffe di controvento pari ad un metro, si perviene ad un calcolo di verifica statica del montante che risulta cautelativo rispetto a tutte le configurazioni che potranno essere previste sulle facciate.

Lunghezza di influenza massima montante	4,50 m
Interasse orizzontale di progetto dei montanti	0,60 m
Interasse verticale massimo dei controventi	1,00 m

Stato limite di esercizio

Carico verticale	0,21 kN/m
Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	0,99 kN/m
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-0,59 kN/m

Stato limite di ultimo

Carico verticale	0,27 kN/m
Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	1,48 kN/m
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-0,89 kN/m

4.3. Verifica di resistenza

Considerando l'ampia variabilità delle possibilità di posa dei vincoli di controvento, in relazione alla posizione prescelta per il vincolo di appensione ed alla lunghezza del montante, il momento flettente viene valutato cautelativamente con riferimento ad una trave in semplice appoggio e/o ad una mensola a sbalzo.

Per assicurare che il momento flettente determinato dai carichi orizzontali agenti sui tratti a sbalzo del montante non eccedano i momenti in campata si impone che lo sbalzo non ecceda mai la misura di 40 centimetri.

Non si tiene conto della ridistribuzione del momento flettente per effetto di appoggi intermedi alla trave e del parziale incastro fornito dai vincoli alle staffe di supporto. Tale scelta progettuale è peraltro motivata dalla considerazione che la pressione e la depressione ventosa, schematizzate come carichi uniformemente distribuiti lungo la trave, nella realtà risultano trasferite in punti discreti, provocando sollecitazioni flettenti leggermente superiori a parità della risultante dell'azione.

Il taglio in prossimità dei controventi intermedi viene incrementato del 25% per tenere conto del comportamento a trave continua con campate di uguale luce.

Verifica di resistenza della sezione più sollecitata

Azione assiale	1,23 kN
Taglio	0,92 kN
Momento flettente	184,86 kN mm
Carico normale unitario per azione assiale	4,80 N/mm ²
Carico normale unitario per momento flettente	126,09 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	9,06 N/mm ²
Carico ideale unitario	131,83 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,05
Resistenza unitaria di progetto	152,38 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	87 %

4.4. Verifica di deformabilità

La continuità della verga sugli appoggi costituiti dai controventi consentirebbe di eseguire la verifica di deformabilità con riferimento ad una trave a campata singola vincolata agli appoggi con ritegni flessionali capaci di realizzare sostanzialmente metà incastro.

Si preferisce comunque procedere cautelativamente e prescindere dai ritegni flessionali, applicando la formula della freccia elastica di una trave in semplice appoggio: $f_{max} = 5/384 \times p \times L^4 / (EI)$.

Freccia elastica massima in campata	3,15 mm
Freccia limite (L/300)	3,33 mm
Tasso di deformazione dell'elemento	95 %
Freccia elastica massima sullo sbalzo	0,78 mm
Freccia limite (L/150)	2,67 mm
Tasso di deformazione dell'elemento	29 %

5. Verifica delle staffe appensione e di controvento

5.1. Descrizione delle strutture

Per i vincoli di appensione vengono impiegate staffe di altezza variabile, vincolate generalmente a strutture in conglomerato cementizio armato a mezzo di due ancoranti passanti.

Il vincolo di appensione è generalmente realizzato in corrispondenza della sommità del montante, a meno di un esiguo tratto lasciato a sbalzo. Nel caso di parapetti o dei paramenti in muratura di piccola altezza, è altresì possibile posizionare il vincolo di appensione a livello del cordolo di solaio e quindi prolungare il montante superiormente inserendo i controventi necessari. Talvolta è conveniente posizionare il vincolo di appensione in posizione intermedia: tale configurazione è quella che massimizza i carichi sul vincolo di appensione stesso, in quanto, oltre a sostenere i carichi verticali della facciata ventilata esso viene chiamato a sopportare la sollecitazione ventosa per un'area di influenza superiore.

5.2. Staffe di appensione

5.2.1. Caratteristiche del vincolo

Si esegue la verifica del vincolo con riferimento alle medesime ipotesi di calcolo formulate per la verifica del montante.

Altezza della staffa	160 mm
Larghezza dell'ala a parete (lato a contatto con l'elemento di supporto)	40 mm
Spessore dell'ala a sbalzo	3 mm
Spessore dell'ala a parete	3 mm
Area della sezione lorda dell'ala a sbalzo	480 mm ²
Area della sezione forata dell'ala a sbalzo	285 mm ²
Modulo di resistenza dell'ala a sbalzo- sezione lorda ai momenti flettenti con asse orizzontale	12800 mm ³
Modulo di resistenza dell'ala a sbalzo- sezione forata ai momenti flettenti con asse orizzontale	10792 mm ³
Area della sezione lorda dell'ala a parete	480 mm ²
Area della sezione forata dell'ala a parete	385 mm ²
Modulo di resistenza dell'ala a parete (sezione forata)	

ai momenti flettenti con asse verticale	193 mm ³
Diametro nominale connettori	5,5 mm
Numero di connettori	3
Distanza verticale tra i due connettori esterni	140 mm
Distanza di calcolo parete di supporto – baricentro del rivestimento*	125 mm
Distanza di calcolo parete di supporto – asse di connessione staffa/montante	56 mm
Materiale staffa: lega di alluminio EN AW 6063 T66	$f_{0,2,k}=200,00 \text{ N/mm}^2$
Tipologia connettore: vite autoforante 5,5x19 in acciaio inox A2	NRd = 2,16 kN
	VRd = 1,62 kN
	Ares = 12,88 mm ²

*) Si considera un allargamento massimo del pacchetto ventilato rispetto alla misura nominale pari a 20 millimetri, per effetto dei rientri di tamponamenti e cordoli registrati in cantiere rispetto alla verticale.

Il collegamento, schematizzato nel calcolo come una cerniera, è realizzato mediante tre viti autoforanti Ø5,5x19.

5.2.2. Analisi dei carichi

Viene considerata la situazione di carico più sfavorevole tra quelle con punto di appensione intermedio (incremento della reazione vincolare orizzontale del 25%) e punto di appensione di estremità (nessun decremento della reazione vincolare per appoggio esterno di trave su più appoggi).

Stato limite di esercizio

Carico verticale	0,95 kN
Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	1,23 kN
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-0,74 kN

Stato limite di ultimo

Carico verticale	1,23 kN
Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	1,85 kN
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-1,11 kN

5.2.3. Verifica di resistenza

Per la verifica della staffa occorre eseguire i controlli di resistenza sulla sezione di giunzione tra staffa e montante, sulla sezione di incastro dell'ala a sbalzo sull'ala a parete, sulla sezione forata per l'inserimento degli ancoranti dell'ala a parete.

Verifica della sezione forata dell'ala a sbalzo

Azione assiale	1,85 kN
Momento flettente	84,77 kN mm
Taglio	1,23 kN
Carico normale unitario per azione assiale	6,49 N/mm ²
Carico normale unitario per momento flettente	7,85 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	4,31 N/mm ²
Carico ideale unitario	16,17 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Resistenza unitaria di progetto	160,00 N/mm ²

Tasso di lavoro dell'elemento	10 %
<i>Verifica della sezione di incastro dell'ala a sbalzo</i>	
Azione assiale	1,85 kN
Momento flettente	153,56 kN mm
Taglio 1,23 kN	
Carico normale unitario per azione assiale	3,85 N/mm ²
Carico normale unitario per momento flettente	12,00 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	2,56 N/mm ²
Carico ideale unitario	16,46 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,05
Resistenza unitaria di progetto	190,48 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	9 %

<i>Verifica della sezione forata dell'ala a parete</i>	
Momento flettente	22,18 kN mm
Taglio verticale	1,23 kN
Taglio orizzontale	1,11 kN
Carico normale unitario per momento flettente	114,94 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	4,30 N/mm ²
Carico ideale unitario	115,18 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Resistenza unitaria di progetto	160,00 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	72 %

<i>Verifica della connessione al montante</i>	
Taglio orizzontale sul connettore per azione assiale sulla staffa	0,62 kN
Taglio orizzontale sul connettore per azione flettente sulla staffa	0,61 kN
Taglio verticale sul connettore per taglio sulla staffa	0,41 kN
Taglio risultante sul connettore	1,29 kN
Tasso di lavoro del connettore	79 %
Pressione laterale del connettore sul bordo del foro della staffa	78,09 N/mm ²
Pressione laterale del connettore sul bordo del foro del montante	117,13 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Coefficiente amplificativo di resistenza a rifollamento	2,00
Resistenza unitaria di progetto a rifollamento della staffa	320,00 N/mm ²
Resistenza unitaria di progetto a rifollamento del montante	256,00 N/mm ²
Tasso di lavoro massimo a nei confronti del rifollamento	37 %

5.3. Staffe di controvento

5.3.1. Caratteristiche del vincolo

La staffa è un tirante/puntone sollecitato dai carichi orizzontali indotti dalla pressione e depressione ventosa.

Altezza della staffa max	85 mm
Larghezza dell'ala a parete (lato a contatto con l'elemento di supporto)	40 mm
Spessore dell'ala a sbalzo	3 mm
Spessore dell'ala a parete	3 mm
Area della sezione lorda dell'ala a sbalzo	255 mm ²
Area della sezione forata dell'ala a sbalzo	105 mm ²
Area della sezione lorda dell'ala a parete	255 mm ²

Area della sezione forata dell'ala a parete	223 mm ²
---	---------------------

Modulo di resistenza dell'ala a parete (sezione forata)	
ai momenti flettenti con asse verticale	112 mm ³
Diametro nominale connettori	5,5 mm
Numero di connettori	2
Materiale staffa: lega di alluminio EN AW 6063 T66	$f_{0,2,k} = 200,00 \text{ N/mm}^2$
Tipologia connettore: vite autoforante 5,5x19 in acciaio inox A2	NRd = 2,16 kN
	VRd = 1,62 kN
	Ares = 12,88 mm ²

Il collegamento, schematizzato nel calcolo come un carrello, è realizzato mediante due viti autoforanti Ø5,5x19.

5.3.2. Analisi dei carichi

Viene considerata la situazione di carico più sfavorevole tra quelle con punto di controvento intermedio (incremento della reazione vincolare orizzontale del 25%) e punto di controvento di estremità (nessun decremento della reazione vincolare per appoggio esterno di trave su più appoggi).

Stato limite di esercizio

Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	1,23 kN
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-0,74 kN

Stato limite di ultimo

Carico orizzontale in condizioni di pressione ventosa	1,85 kN
Carico orizzontale in condizioni di depressione ventosa	-1,11 kN

5.3.3. Verifica di resistenza

Per la verifica della staffa occorre eseguire i controlli di resistenza sulla sezione di giunzione tra staffa e montante e sulla sezione forata per l'inserimento degli ancoranti dell'ala a parete.

Verifica della sezione forata dell'ala a sbalzo

Azione assiale	1,85 kN
Carico normale unitario per azione assiale	17,61 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Resistenza unitaria di progetto	160,00 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	11 %

Verifica della sezione forata dell'ala a parete

Momento flettente	22,18 kN mm
Taglio orizzontale	1,11 kN
Carico normale unitario per momento flettente	198,06 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	4,97 N/mm ²
Carico ideale unitario	198,25 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Resistenza unitaria di progetto	160,00 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	124 %

Verifica della connessione al montante

Taglio orizzontale sul connettore per azione assiale sulla staffa	0,92 kN
---	---------

Tasso di lavoro del connettore	57 %
Pressione laterale del connettore sul bordo del foro della staffa	56,02 N/mm ²
Pressione laterale del connettore sul bordo del foro del montante	84,03 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Coefficiente amplificativo di resistenza a rifollamento	2,00
Resistenza unitaria di progetto a rifollamento della staffa	320,00 N/mm ²
Resistenza unitaria di progetto a rifollamento del montante	256,00 N/mm ²
Tasso di lavoro massimo a nei confronti del rifollamento	26 %

La verifica della sezione forata dell'ala a parete non è soddisfatta. Ciò significa che la staffa non è in grado di sopportare un interasse pari a 1000 millimetri nelle condizioni di pressione ventosa più sfavorevoli.

Si ripete pertanto il calcolo procedendo ad un'altra ipotesi di calcolo.

1) Interasse ridotto a 850 millimetri

Carico normale unitario per momento flettente	158,22 N/mm ²
Carico tangenziale unitario	3,97 N/mm ²
Carico ideale unitario	158,37 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	1,25
Resistenza unitaria di progetto	160,00 N/mm ²
Tasso di lavoro dell'elemento	99 %

I suesposti valori dell'interasse verticale tra le staffe rappresentano dei limiti massimi.

Il rispetto di tali valori garantisce l'idoneità statica delle staffe di controvento.

6. Considerazioni finali

La verifica di stabilità strutturale della sottostruttura metallica e degli ancoraggi dell'opera in epigrafe è stata condotta considerando i carichi ventosi dettati dal D.M. 14 gennaio 2008 e sua Circolare applicativa, i pesi propri ed i sovraccarichi permanenti, come richiesto dalla normativa tecnica vigente.

Molti aspetti della progettazione sono dettati da ragioni di carattere costruttivo e non da necessità di ordine prettamente statico. Per tale motivo il tasso di lavoro dei vari elementi che compongono la struttura non è generalmente elevato.

I montatori sono comunque chiamati al rispetto delle prescrizioni di posa riportate nella presente, nell'elaborato STR.T01 e in tutti gli schemi di montaggio della facciata.

- posa dei vincoli di appensione (punti fissi) in corrispondenza, se possibile, di cordoli e travi di bordo in c.a. mediante l'impiego di due ancoranti passanti, di limitare lo sviluppo del montante ad un massimo di 1200 millimetri e di contenere l'eventuale sbalzo oltre il vincolo di appensione a misure variabili da 100 a 200 millimetri in funzione della posizione delle struttura sulle facciate);
- posa dei vincoli di controvento (punti mobili) a mezzo di tasselli in nylon ad interasse non superiore a quanto specificato negli schemi di montaggio per le differenti porzioni di facciata. Il tassello in nylon va inserito dopo l'accostamento della staffa al muro, in modo che il bordo in nylon funga da elemento separatore della testa della vite zincata con la staffa in lega di alluminio;
- impiego di montanti con sviluppo di lunghezza contenuta: nella relazione di calcolo si è assunta una lunghezza massima di 4,50 metri compatibile con le dilatazioni termiche, ovvero

ammettendo un allungamento massimo per deformazione termica del montante di circa 4,5 millimetri (un millimetro al metro).

- impiego di ganci in acciaio inossidabile vincolati all'ala del montante con due viti autoforanti a testa ribassata.

BOLLA