

Oggetto: Lavori di realizzazione di facciate ventilate con rivestimento lapideo nell'ambito della costruzione di strutture universitarie nell'area dell'ex complesso industriale a San Giovanni Teduccio - Napoli.
ASSEVERAZIONE STATICA DELLA SOTTOSTRUTTURA METALLICA E DEGLI ANCORAGGI

PREMESSA

Oggetto della presente relazione di calcolo strutturale è il dimensionamento e la verifica statica della sottostruttura di supporto, e relativi ancoraggi, di una facciata ventilata con rivestimento in lastre in pietra lavica etnea, da realizzarsi nell'ambito dei lavori di costruzione in epigrafe.

La presente è la terza revisione della relazione str.R02 e sostituisce in toto la precedente (rev. 2 di data 07/07/2012). La revisione della memoria tecnica si è resa necessaria in seguito alla scelta della Committente di impiegare lastre di rivestimento di spessore 30 millimetri in luogo delle lastre di spessore 20 millimetri.

Nel seguito si espongono le verifiche di calcolo ritenute significative e corrispondenti alla configurazione tipica 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, che risulta pertanto staticamente verificata.

Con la relazione tecnica preliminare str.R01 dd. 14 maggio 2012, è stata eseguita la valutazione della resistenza delle lastre lapidee sulla base dei rapporti di prova consegnati dall'Appaltatore generale dell'Opera e delle procedure di calcolo dettate dalla norma di settore UNI 11018 di gennaio 2003 – *Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici*.

Dai calcoli svolti e dai risultati ottenuti è stata approvata la soluzione di porre in opera lastre lapidee di spessore 20 millimetri con fresature superficiali orizzontali di profondità 5 millimetri, sorrette mediante ancoraggi puntuali (ganci di supporto e di ritegno) inseriti in kerfature praticate lungo le coste orizzontali delle lastre stesse. Tali ganci risultano applicati a montanti verticali posti ad interasse pari al modulo in orizzontale delle lastre.

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

AC	ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati	Protocollo interno Studio Campagna				Codice elaborato	
			Commessa:	120511	Data:	26/07/2012	str.R02	
			Documento:	12.02	Revisione:	3		

prescritte prestazioni, ci si riferisce a normative tecniche di comprovata validità e ad altri documenti tecnici presenti in letteratura. In particolare si fa riferimento alla seguente norma tecnica (non cogente):

- Norma UNI 11018:2003 – Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico.

Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici.

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.

METODI DI CALCOLO

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

Per la verifica dei fissaggi a mezzo di ancoranti certificati per la posa su calcestruzzo e su blocchi di muratura si fa riferimento ai carichi nominali e non ai carichi amplificati secondo la procedura agli stati limite ultimi, al fine di poter confrontare le azioni di progetto con i carichi consigliati presenti sulle schede tecniche dei produttori dei fissaggi. Tale metodo di verifica risulta comunque a favore di sicurezza in considerazione dell'entità dei coefficienti di sicurezza globali adottati dai produttori dei fissaggi.

ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi, già eseguita nella relazione tecnica preliminare str.R01, viene rielaborata sulla base della scelta definitiva dello spessore delle lastre lapidee.

Carichi permanenti

Peso specifico apparente pietra lavica etnea	30,0	kN/m ³
Spessore nominale lastre	30	mm
Peso proprio rivestimento lapideo	0,90	kN/m ²
Incidenza della sottostruttura di supporto e di ritegno del rivestimento lapideo	0,02	kN/m ²
Incremento cautelativo dei pesi per irregolarità costruttive	0,08	kN/m ²
Carico verticale di progetto della facciata ventilata	1,00	kN/m²

Carichi variabili (azione ventosa)

Zona climatica	3
Classe di rugosità	D
Categoria di esposizione	I
Altitudine s.l.m.	0 m
Altezza di calcolo massima della facciata (cautelativo)	10 m
Coefficiente di topografia	1,00

Coefficiente di esposizione	2,78
Coefficiente dinamico	1,00
Coefficiente di forma sopravento	1,00
Coefficiente di forma sottovento	-0,60
Pressione ventosa massima	1,27 kN/m²
Depressione ventosa massima in modulo	0,76 kN/m²

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

Azione sismica

Il sito in cui sorge la costruzione è caratterizzato da valori di accelerazione sismica di media entità. 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 in progetto 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.

DESCRIZIONE SOMMARIA DELLA SOTTOSTRUTTURA E DEGLI ANCORAGGI

I materiali impiegati nella costruzione ed i criteri di montaggio, nonché di futura manutenzione della sottostruttura di supporto della facciata, sono specificati nell'**elaborato pac.T01**, allegato alla presente memoria tecnica, cui si rimanda per la definizione delle caratteristiche geometriche, fisiche e meccaniche di materiali, pezzi, profili e prodotti di fissaggio.

Lunghezza di calcolo dei montanti (valore massimo)	5,00 m
Interasse di calcolo dei montanti	1,00 m
Numero di punti di appensione per ogni montante	1
Interasse massimo dei controventi del montante	0,50 m
Massimo sbalzo del montante oltre l'ultimo vincolo (di appensione o di controvento)	0,25 m

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 6063 T66.

AC ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati	Protocollo interno Studio Campagna			Codice elaborato
		Commessa:	120511	Data:	26/07/2012
		Documento:	12.02	Revisione:	3
					str.R02

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. Le resistenze di progetto sono valutate applicando i coefficienti parziali di sicurezza al carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2%, assunto convenzionalmente come limite di snervamento del materiale.

Carico unitario di rottura a trazione	245 MPa
Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2%	200 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche delle membrature allo stato limite ultimo	1,05
Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche delle connessioni allo stato limite ultimo	1,25

Viti autoforanti per unioni alluminio-alluminio

I fissaggi meccanici tra parti in lega di alluminio vengono eseguiti con viteria autoforante in acciaio inossidabile tipo A2-50 o superiore di diametro nominale 5,5 millimetri e 6,3 millimetri.

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 dai produttori sulla base di prove di laboratorio.

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 è pertanto offerta dall'attrito che si sviluppa tra il filetto della vite e il supporto.

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.

Per quanto riguarda invece la resistenza ad azione assiale e a taglio delle viti, si applica il coefficiente parziale di sicurezza 1,25 alla resistenza caratteristica di snervamento, come previsto per le unioni delle strutture metalliche.

Resistenza ad estrazione di progetto della vite Ø5,5 mm	2,16 kN
Resistenza a taglio di progetto della vite Ø5,5 mm	1,62 kN
Resistenza ad estrazione di progetto della vite Ø6,3 mm	3,03 kN
Resistenza a taglio di progetto della vite Ø6,3 mm	2,33 kN

Sistemi di fissaggio alle strutture perimetrali dell'edificio

Gli **ancoraggi dei vincoli di appensione** dei montanti di supporto della facciata sono realizzati mediante:

- ancoranti metallici pesanti passanti per calcestruzzo (situazione tipica di vincolo alle travi di piano);
- viti autoforanti (situazione di vincolo su tubolari in carpenteria metallica).

In nessun caso è prevista la posa del vincolo di appensione sui tamponamenti in blocchi alveolati in lapillo-cemento.

Gli **ancoraggi dei vincoli di controvento** dei montanti di supporto della facciata sono realizzati mediante:

- tasselli plastici universali (situazione tipica di vincolo ai blocchi alveolati in lapillo-cemento);
- viti autoforanti (situazione di vincolo su tubolari in carpenteria metallica).

La posa del vincolo di controvento su elementi di bordo in conglomerato cementizio armato può essere eseguita con i medesimi tasselli plastici universali previsti per il blocco alveolare in lapillo-cemento, garantendo sul supporto compatto resistenze all'estrazione superiori.

La resistenza degli **ancoranti metallici pesanti passanti** è certificata dalla scheda tecnica del produttore.

Resistenza nominale di progetto a trazione	4,80 kN
Resistenza nominale di progetto a taglio	7,00 kN

La resistenza delle **viti autoforanti** applicate a supporti in acciaio di spessore 2 millimetri e di tipo non inferiore a S235 è documentata in letteratura tecnica.

Resistenza nominale di progetto a trazione	1,90 kN
Resistenza nominale di progetto a taglio (valore cautelativo per effetti del 2° ordine)	1,60 kN

La resistenza dei **tasselli plastici** sui blocchi in lapillo-cemento è stata testata dal produttore con prove di laboratorio all'uopo predisposte nel febbraio 2012 (vedasi relazione di prova del produttore dd. 15/06/2012).

Carico di rottura massimo (prima della rottura del supporto)	3,519 kN
Carico di rottura minimo (prima della rottura del supporto)	2,386 kN
Coefficiente di sicurezza globale	6
Resistenza nominale di progetto (cautelativo)	0,40 kN

Il tassello impiegato monta tipicamente una vite da legno a testa svasata di diametro nominale 6 millimetri, ma ammette l'utilizzo anche con altre viti da legno di diametro compreso tra 5 e 8 millimetri. Le viti di diametro maggiore sono consigliate per i supporti più compatti, quelle di diametro inferiore per i supporti meno compatti (per esempio il cartongesso).

In progetto si è scelto di adottare un tirafondo da legno di diametro nominale 7 millimetri, dotato di testa piatta esagonale e di gambo più robusto, che fornisce maggiori garanzie sul corretto funzionamento del vincolo ed è giudicato idoneo in ragione della buona compattezza del lapillo-cemento. Va peraltro notato che la tenuta del tassello sostanzialmente non è da ricondursi a fenomeni di attrito per espansione sul bordo del foro, ma al vincolo rappresentato dallo gnocco plastico che si crea attorno alla vite all'interno dell'alveolo del blocco.

Separatori dielettrici

E' assolutamente vietato porre elementi in acciaio non inossidabile a contatto con parti in lega di alluminio, in virtù dell'incompatibilità elettrolitica dei metalli. Per inibire l'attivazione delle correnti galvaniche sono pertanto prescritte **rondelle in nylon** da interporre tra i dadi di serraggio dei tasselli pesanti passanti o le teste delle viti da legno e le staffe in lega di alluminio, nonché la **bandella dielettrica adesiva** (o il taglio termico in PVC) da inserire sul retro delle staffe applicate su tubolari in acciaio.

AC	ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati	Protocollo interno Studio Campagna				Codice elaborato str.R02
			Commessa:	120511	Data:	26/07/2012	
			Documento:	12.02	Revisione:	3	

VERIFICA DI STABILITÀ DEI MONTANTI VERTICALI

I montanti sono schematizzati nel calcolo come travi su più appoggi. Il punto di appensione, che accoglie le reazioni vincolari ai carichi verticali, è schematizzato cautelativamente come una cerniera, i controventi, che reagiscono ai soli carichi orizzontali, sono rappresentati da semplici carrelli. Il punto di appensione è posto preferibilmente nella parte alta del montante, in modo che la membratura venga portata in trazione dai carichi verticali. Esso può peraltro essere posto in qualsiasi altra posizione lungo lo sviluppo del montante, al fine di assicurare la posa su cordoli e travi di bordo in conglomerato cementizio armato, senza che le sollecitazioni in gioco determinino fenomeni di instabilità per carico di punta.

In progetto è previsto l'impiego di montanti angolari L41/51 e di montanti in profilo T119/51. I metodi di fissaggio e di controventamento dei montanti variano a seconda delle condizioni imposte dalla geometria del rivestimento e delle parti interne della costruzione; in ogni caso lo schema a trave esposto nella presente rappresenta la condizione più significativa e quella per cui nella sottostruttura insorge lo stato di sforzo maggiore.

Si eseguono pertanto le verifiche di calcolo con riferimento alle caratteristiche meccaniche del profilo montante di inerzia inferiore (L41/51) nella condizione di montaggio tipica con aree di influenza dei carichi massime.

Carico trasversale nominale (pressione ventosa = $1,27 \text{ kN/m}^2 \times 1,00 \text{ m}$)	1,27 kN/m
Carico assiale nominale massimo (peso facciata = $1,00 \text{ kN/m}^2 \times 1,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m}$)	5,00 kN
Carico trasversale allo stato limite ultimo (coefficiente parziale di sicurezza 1,5)	1,91 kN/m
Carico assiale massimo allo stato limite ultimo (coefficiente parziale di sicurezza 1,3)	6,50 kN

Verifica di resistenza allo stato limite ultimo

Il valore del momento flettente indotto dai carichi ventosi viene calcolato con la formula classica $1/8 \times p \times L^2$ e quindi raddoppiato per tener conto della concentrazione delle reazioni vincolari dei ganci lungo lo sviluppo del montante. Allo stesso modo il taglio viene incrementato del 25% per tener conto della massima ridistribuzione della tensione sugli appoggi intermedi.

Azione assiale di progetto	6,50 kN
Momento flettente di progetto	119,38 kN mm
Taglio di progetto	0,60 kN
Carico normale unitario per azione assiale	36,11 MPa
Carico normale unitario per azione flettente	123,45 MPa
Carico tangenziale unitario	5,88 MPa
Carico ideale unitario	159,88 MPa
Resistenza assiale unitaria ($f_{y,d} = 200/1,05 \text{ MPa}$)	190,48 MPa

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta.

Verifica di deformazione allo stato limite di esercizio

Il calcolo della freccia è eseguito a favore di sicurezza con riferimento alla trave in semplice appoggio.

Freccia di calcolo	0,49 mm
---------------------------	----------------

Freccia limite (L/300)	1,67 mm
------------------------	---------

La verifica di deformazione è soddisfatta. Il profilo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DI STABILITÀ DELLE STAFFE DI APPENSIONE

Si esegue la verifica con riferimento alla situazione di progetto più sfavorevole con vincolo di appensione su trave in calcestruzzo. Svolgendo i calcoli si ricava che la sezione più sollecitata risulta essere quella di attacco tra l'ala a sbalzo della staffa e l'ala a parete. La condizione di carico più sfavorevole è quella con vento in pressione: la sezione è caratterizzata da uno stato di sforzo di presso-flessione accompagnata da taglio.

Area di influenza ai carichi verticali del vincolo di appensione (1,00 m x 5,00 m)	5,00 m ²
Area di influenza ai carichi orizzontali del vincolo di appensione (1,00 m x 0,50 m)	0,50 m ²
Carico verticale nominale (1,00 kN/m ² x 5,00 m ²)	5,00 kN
Eccentricità del carico verticale rispetto al filo della parete di supporto	0,12 m
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	0,60 kN m
Compressione nominale massima per pressione ventosa (1,27 kN/m ² x 0,50 m ²)	0,64 kN

Intendendo svolgere la verifica di resistenza con riferimento allo stato limite ultimo le sollecitazioni vengono incrementate con il relativo coefficiente parziale di sicurezza: 1,3 per i carichi permanenti e 1,5 per i carichi variabili.

Azione assiale di progetto	0,96 kN
Momento flettente di progetto	0,78 kN m
Taglio di progetto	6,50 kN
Carico normale unitario per azione assiale	2,00 MPa
Carico normale unitario per azione flettente	60,93 MPa
Carico tangenziale unitario	13,54 MPa
Carico ideale unitario	67,15 MPa
Resistenza assiale unitaria ($f_{y,d} = 200/1,05$ MPa)	190,48 MPa

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DI STABILITÀ DELLE STAFFE DI CONTROVENTO

Si esegue la verifica con riferimento alla situazione di progetto più sfavorevole. Svolgendo i calcoli si ricava che la sezione più sollecitata risulta essere quella forata dell'ala a parete. La condizione di carico più sfavorevole è quella con vento in depressione: la sezione è caratterizzata da uno stato di sforzo di flessione accompagnata da taglio.

Area di influenza di un vincolo di controvento (1,00 m x 0,50 m)	0,50 m ²
Taglio nominale massimo per depressione ventosa (0,76 kN/m ² x 0,50 m ²)	0,38 kN
Taglio di progetto allo stato limite ultimo	0,57 kN

AC ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati		Protocollo interno Studio Campagna		Codice elaborato
	Commissa:	120511	Data:	26/07/2012	str.R02
	Documento:	12.02	Revisione:	3	

Braccio del momento flettente (disassamento ala a sbalzo-fissaggio)	20 mm
Momento sollecitante allo stato limite ultimo	11,40 kN mm
Carico normale unitario per azione flettente	101,79 MPa
Carico tangenziale unitario	2,57 MPa
Carico ideale unitario	101,89 MPa
Resistenza assiale unitaria ($f_{y,d} = 200/1,25$ MPa)	160,00 MPa

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DI RESISTENZA DEI FISSAGGI A PARETE DEI VINCOLI DI APPENSIONE

Si esegue la verifica con riferimento alla situazione di progetto più sfavorevole con vincolo di appensione su trave in calcestruzzo.

La trazione aggiuntiva sull'ancorante superiore della staffa, dovuta all'eccentricità del carico verticale, è valutata con i metodi della meccanica classica, imponendo l'equilibrio alla traslazione ed alla rotazione del vincolo e la conservazione della sezione piana all'interfaccia tra staffa e parete.

Area di influenza ai carichi verticali del vincolo di appensione (1,00 m x 5,00 m)	5,00 m ²
Area di influenza ai carichi orizzontali del vincolo di appensione (1,00 m x 0,50 m)	0,50 m ²
Carico verticale nominale (1,00 kN/m ² x 5,00 m ²)	5,00 kN
Eccentricità del carico verticale rispetto al filo della parete di supporto	0,12 m
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	0,60 kN m
Trazione nominale massima per depressione ventosa (0,76 kN/m ² x 0,50 m ²)	0,38 kN
Trazione complessiva sull'ancorante per tenso-flessione della sezione resistente	4,16 kN
Resistenza nominale ad estrazione dell'ancorante (posa su calcestruzzo)	4,80 kN
Taglio sull'ancorante (si pone cautelativamente tutto il carico su un ancorante)	5,00 kN
Resistenza nominale a taglio dell'ancorante (posa su calcestruzzo)	7,00 kN

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

Nel caso di posa del vincolo di appensione su elementi tubolari in carpenteria metallica, la lunghezza di influenza del montante è più contenuta. Si ripete la verifica adeguandone le caratteristiche geometriche.

Procedendo a favore di sicurezza si suppone che la staffa, sottoposta al momento ribaltante indotto dai carichi verticali, ruoti attorno al lembo inferiore e che la sezione si mantenga piana. La trazione che si sviluppa su ognuna delle tre viti presenti tra staffa e tubolari di supporto è proporzionale al braccio di leva

Area di influenza ai carichi verticali del vincolo di appensione (1,00 m x 2,20 m)	2,20 m ²
Area di influenza ai carichi orizzontali del vincolo di appensione (1,00 m x 0,50 m)	0,50 m ²
Carico verticale nominale (1,00 kN/m ² x 2,20 m ²)	2,20 kN
Eccentricità del carico verticale rispetto al filo della parete di supporto	0,12 m
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	0,26 kN m

Braccio di leva della vite superiore	145 mm
Braccio di leva della vite intermedia	105 mm
Braccio di leva della vite inferiore	55 mm
Trazione nominale massima per depressione ventosa ($0,76 \text{ kN/m}^2 \times 0,50 \text{ m}^2$)	0,38 kN
Trazione nominale risultante sulla vite superiore	1,20 kN
Trazione nominale risultante sulla vite intermedia	0,90 kN
Trazione nominale risultante sulla vite inferiore	0,53 kN
Trazione massima sulla vite per tenso-flessione della sezione resistente	1,20 kN
Resistenza nominale ad estrazione della vite (viti $\varnothing 6,3$ inox A4)	1,90 kN
Taglio sulla singola vite	0,73 kN
Resistenza nominale a taglio della vite (viti $\varnothing 6,3$ inox A4)	1,60 kN

La verifica statica è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo. La riserva di resistenza fornisce sufficienti garanzie rispetto al posizionamento delle viti in punti leggermente discostati da quelli teorici assunti nella presente.

Dall'analisi del progetto costruttivo del rivestimento ventilato si individua una situazione ricorrente in cui il vincolo di appensione del montante deve necessariamente essere eseguito su blocco in lapillo-cemento. Trattasi delle porzioni di facciata poste inferiormente al bancale delle aperture del piano terra, caratterizzate pertanto da montanti di lunghezza contenuta (inferiore a 1,10 metri). Considerata la riduzione di portata del fissaggio rispetto all'applicazione di un ancorante pesante passante su calcestruzzo, si adottano i seguenti provvedimenti:

- l'interasse dei montanti viene ridotto della metà, introducendo supporti intermedi alla lastra di rivestimento;
- la lunghezza dei montanti viene limitata alla dimensione in altezza della lastra (altezza di calcolo dei montanti pari a 60 centimetri);
- si esegue il ricalcolo dell'intensità della depressione prodotta dal vento in considerazione della modesta altezza della facciata rispetto al suolo nella zona in esame.

Area di influenza ai carichi verticali del vincolo di appensione ($0,50 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$)	0,300 m ²
Area di influenza ai carichi orizzontali del vincolo di appensione ($0,50 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$)	0,150 m ²
Carico verticale nominale ($1,00 \text{ kN/m}^2 \times 0,30 \text{ m}^2$)	0,300 kN
Eccentricità del carico verticale rispetto al filo della parete di supporto	0,120 m
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	0,036 kN m
Trazione nominale massima per depressione ventosa ($0,51 \text{ kN/m}^2 \times 0,150 \text{ m}^2$)	0,077 kN
Trazione complessiva sull'ancorante per tenso-flessione della sezione resistente	0,30 kN
Resistenza nominale ad estrazione dell'ancorante (posa su lapillo-cemento)	0,40 kN
Taglio sull'ancorante (si pone cautelativamente tutto il carico su un ancorante)	0,30 kN
Resistenza nominale a taglio dell'ancorante* (posa su lapillo-cemento)	0,40 kN

*) Sulla base dei dati presenti in letteratura riferiti agli ancoranti plastici con vite metallica è possibile affermare che la resistenza a taglio è sempre superiore alla resistenza a trazione del fissaggio. La resistenza di calcolo adottata è pertanto cautelativa.

La verifica statica è soddisfatta. In considerazione dell'elevato stato di sforzo dei fissaggi si preferisce comunque incrementarne il numero inserendo un terzo ancorante nell'asola intermedia della schiena della staffa: la staffa di appensione sarà pertanto montata con tre tasselli plastici idonei per il blocco in lapillo-cemento.

VERIFICA DI RESISTENZA DEI FISSAGGI A PARETE DEI CONTROVENTI

Si esegue la verifica con riferimento alla situazione di progetto più sfavorevole (ancorante plastico su blocco in lapillo-cemento), omettendo di riportare ulteriori calcoli sulle altre condizioni di posa, in quanto non significativi.

Area di influenza di un vincolo di controvento (1,00 m x 0,30 m)	0,30 m ²
Trazione nominale massima per depressione ventosa (0,76 kN/m² x 0,30 m²)	0,23 kN
Resistenza nominale di progetto dell'ancorante (posa su lapillo-cemento)	0,40 kN

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta. Nella verifica non si è tenuto conto dell'ipotetico incremento della trazione per effetto leva sul vincolo in ragione del fatto che il momento flettente che insorge nella staffa nella pratica viene assorbito dalla testa della vite e dagli adattamenti plastici della sottostruttura metallica. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DI RESISTENZA DEI GANCI DI SUPPORTO E DI RITEGNO DELLE LASTRE

Facendo riferimento alla relazione tecnica preliminare str.R01 dd. 14 maggio 2012, si eseguono le verifiche facendo riferimento a ganci di larghezza nominale 45 millimetri.

Carico verticale nominale massimo (0,90 kN/m ² x 0,80 m x 0,50 m)	0,36 kN
Carico orizzontale nominale con vento in pressione (1,27 kN/m ² x 0,80 m x 0,50 m)	0,51 kN
Carico orizzontale nominale con vento in depressione (0,76 kN/m ² x 0,80 m x 0,50 m)	0,30 kN

Svolgendo i calcoli si ricava che la situazione più sfavorevole per la verifica del gancio è rappresentata dalla verifica della sezione di attacco della mensola orizzontale all'anima verticale dell'elemento.

Azione assiale allo stato limite ultimo (0,51 kN x 1,5)	0,66 kN
Taglio allo stato limite ultimo (0,36 kN x 1,3)	0,47 kN
Momento flettente allo stato limite ultimo (0,31 kN x 22 mm)	10,34 kN mm
Carico normale unitario per azione assiale	4,88 MPa
Carico normale unitario per azione flettente	151,56 MPa
Carico tangenziale unitario	3,45 MPa
Carico ideale unitario	156,55 MPa
Resistenza assiale unitaria ($f_{y,d} = 200/1,05$ MPa)	190,48 MPa

La verifica statica nella condizione più sfavorevole è soddisfatta. Il gancio è pertanto staticamente idoneo.

L'impiego del gancio di dimensione 45 millimetri è dettato da motivi statici volti a garantire la resistenza dell'elemento lapideo. Per ragioni di comodità costruttiva i due ganci da 45 millimetri applicati all'estremità delle due ali di un montante

a T potranno essere sostituiti da un gancio singolo di dimensione complessiva non inferiore alle ali del montante (119 millimetri).

VERIFICA DEL FISSAGGIO GANCIO-MONTANTE

Ogni gancio è vincolato al montante a mezzo di due viti autoforanti applicate lungo la scanalatura. Le viti sono sollecitate a taglio dal carico verticale ed a trazione dalla risultante dei carichi orizzontali indotti dalla depressione ventosa e dalle coppie generate dall'eccentricità dei carichi orizzontali e verticali.

Trazione diretta allo stato limite ultimo (0,30 kN x 1,5)	0,45 kN
Taglio allo stato limite ultimo (0,36 kN x 1,3)	0,47 kN
Momento flettente allo stato limite ultimo da carico verticale (0,47 kN x 24 mm)	11,28 kN mm
Momento flettente allo stato limite ultimo da carico orizzontale (-0,45 kN x 27 mm)	-12,15 kN mm

Il momento flettente indotto dal carico orizzontale è superiore in modulo ed inverso in segno al momento flettente per carico verticale. Ai fini della verifica allo stato limite ultimo in presenza di vento il momento flettente indotto dal carico verticale va pertanto calcolato utilizzando il coefficiente parziale di sicurezza 0,9.

Momento flettente allo stato limite ultimo da carico verticale (11,28 kN mm x 0,9 / 1,3)	7,81 kN mm
Momento flettente risultante in presenza di vento	-4,34 kN mm

La trazione risultante sulle viti si calcola imponendo l'equilibrio alla traslazione e rotazione della sezione di interfaccia tra gancio e montante ed ipotizzando il mantenimento della sezione piana.

Trazione risultante sulla vite in assenza di vento	0,18 kN
Trazione risultante sulla vite in presenza di vento	0,46 kN
Resistenza di progetto ad estrazione della vite allo stato limite ultimo	2,16 kN
Taglio risultante sulla vite	0,24 kN
Resistenza di progetto a taglio dell'unione allo stato limite ultimo	1,62 kN

La verifica statica nelle condizioni di carico più sfavorevoli è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo. Si prescrive sempre l'impiego delle due viti per garantire l'orizzontalità del gancio. Nel caso di impiego del gancio doppio in luogo dei due ganci singoli è comunque ammesso l'impiego di due sole viti, in luogo di quattro, in quanto, anche raddoppiando i carichi la trazione ed il taglio risultanti sui connettori si mantengono ampiamente al di sotto dei limiti rappresentati dalla resistenza di progetto.

VERIFICA DEL FISSAGGIO STAFFA DI APPENSIONE-MONTANTE

L'unione del montante alla staffa di appensione è schematizzata a favore di sicurezza nei calcoli di verifica dei pezzi e delle membrature in alluminio come una cerniera. Nella realtà, non trattandosi di una connessione con unico mezzo di unione, sulle viti perimetrali si attivano degli sforzi di taglio dovuti alla formazione di un giunto di incastro.

L'unione è realizzata con nove viti autoforanti, cinque poste nei fori e quattro nelle asole. Le viti che reagiscono al momento flettente sono sostanzialmente quelle nei fori superiore ed inferiore e le quattro nelle asole.

AC	ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	<i>Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati</i>	Protocollo interno Studio Campagna		Codice elaborato		
			Commessa:	120511	Data:	26/07/2012	str.R02
			Documento:	12.02	Revisione:	3	

Carico verticale allo stato limite ultimo ($1,00 \text{ kN/m}^2 \times 5,00 \text{ m}^2 \times 1,3$)	6,50	kN
Eccentricità del carico verticale rispetto all'asse verticale di fissaggio staffa-montante	63	mm
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	409,50	kN mm
Carico orizzontale per pressione ventosa allo stato limite ultimo ($1,27 \text{ kN/m}^2 \times 0,50 \text{ m}^2 \times 1,5$)	0,95	kN
Braccio di coppia delle viti nei fori	140	mm
Braccio di coppia medio delle viti nelle asole	80	mm
Taglio indotto sulla vite dal carico orizzontale ($0,95 \text{ kN} / 9$)	0,11	kN
Taglio indotto sulla vite dal momento flettente [$409,50 \text{ kN mm} \times 140 / (140^2 + 80^2 \times 2) \text{ mm}$]	1,77	kN
Taglio indotto sulla vite dal carico verticale ($6,50 \text{ kN} / 7$)	0,93	kN
Taglio risultante sulla vite	2,09	kN
Resistenza di progetto a taglio dell'unione allo stato limite ultimo (viti $\varnothing 6,3$ inox A4)	2,33	kN

La verifica statica nelle condizioni di carico più sfavorevoli è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

Considerato il numero elevato di viti, si considera anche il caso di montante di lunghezza inferiore a 2,5 metri e si verifica il vincolo con solo tre viti, poste nel foro inferiore, nel foro centrale e nel foro superiore.

Carico verticale allo stato limite ultimo ($1,00 \text{ kN/m}^2 \times 2,50 \text{ m}^2 \times 1,3$)	3,25	kN
Eccentricità del carico verticale rispetto all'asse verticale di fissaggio staffa-montante	63	mm
Momento flettente indotto dall'eccentricità del carico verticale	204,75	kN mm
Carico orizzontale per pressione ventosa allo stato limite ultimo ($1,27 \text{ kN/m}^2 \times 0,50 \text{ m}^2 \times 1,5$)	0,95	kN
Braccio di coppia delle viti nei fori	140	mm
Taglio indotto sulla vite dal carico orizzontale ($0,95 \text{ kN} / 3$)	0,32	kN
Taglio indotto sulla vite dal momento flettente ($204,75 \text{ kN mm} / 140 \text{ mm}$)	1,46	kN
Taglio indotto sulla vite dal carico verticale ($3,25 \text{ kN} / 3$)	1,08	kN
Taglio risultante sulla vite allo stato limite ultimo	2,08	kN
Resistenza di progetto a taglio dell'unione allo stato limite ultimo (viti $\varnothing 6,3$ inox A4)	2,33	kN

La verifica statica è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DEL FISSAGGIO STAFFA DI CONTROVENTO-MONTANTE

L'unione è realizzata mediante due viti autoforanti poste nelle asole.

Carico orizzontale di progetto allo stato limite ultimo ($1,27 \text{ kN/m}^2 \times 0,50 \text{ m}^2 \times 1,5$)	0,95	kN
Taglio sollecitante la vite	0,48	kN
Resistenza di progetto a taglio dell'unione allo stato limite ultimo (viti $\varnothing 5,5$ inox A2)	1,62	kN

La verifica statica nelle condizioni di carico più sfavorevoli è soddisfatta. Il vincolo è pertanto staticamente idoneo.

VERIFICA DELL'AMPIEZZA DELLE FUGHE TRA LE LASTRE DI RIVESTIMENTO

La larghezza della fuga tra le lastre di rivestimento è dettata sia da ragioni di carattere costruttivo, quali la compensazione delle tolleranze di produzione e di montaggio degli elementi di rivestimento, sia da ragioni di stabilità della facciata: la larghezza di fuga deve essere dimensionata per essere compatibile con il sistema di supporto e di ritegno delle lastre nelle varie condizioni di deformazione della sottostruttura metallica per effetto dei gradienti termici giornalieri e stagionali.

Gli elementi in lega di alluminio subiscono deformazioni termiche che dipendono dal coefficiente di deformazione termica lineare, qualità intrinseca del materiale, dalle variazioni termiche prevedibili tra il momento della posa e i periodi più caldi e più freddi dell'anno, dalla lunghezza degli elementi stessi.

Mentre le lastre del rivestimento possono raggiungere temperature estremamente elevate, per effetto dell'irraggiamento termico solare, la sottostruttura metallica di una facciata ben ventilata tende a portarsi in equilibrio con la temperatura esterna dell'aria. Procedendo a favore di sicurezza si considera comunque la possibilità che la sottostruttura metallica possa essere sottoposta a variazioni termiche di $\pm 30^{\circ}\text{C}$. Ciò significa che, nelle situazioni più sfavorevoli la fuga orizzontale tra le piastrelle dovrà garantire la formazione di un giunto di ampiezza pari a 0,6 mm/m (prospetto 17 della norma CNR UNI 11018:2003), riferito alla lunghezza di influenza degli elementi lineari di alluminio che convergono sul giunto.

Si consideri in primo luogo il caso delle fughe orizzontali. La condizione critica si presenta in corrispondenza della fuga tra due lastre che trovano supporto su profili verticali differenti.

Sia a_{sup} la distanza di progetto tra il punto di appensione del montante (punto di origine delle deformazioni) e il punto di supporto della piastrella inferiore che compete al suddetto montante.

$a_{\text{sup}} = 5,00 \text{ m} - 1,07 \text{ m}$	3,93 m
--	--------

Sia a_{inf} la distanza di progetto tra il punto di appensione del montante direttamente inferiore e il punto di supporto della piastrella superiore che compete al suddetto montante.

$a_{\text{sup}} =$	0,23 m
--------------------	--------

In entrambi i casi la quota a cui si situa il punto di supporto delle piastrelle è inferiore alla quota dei punti di appensione dei rispettivi montanti. Le deformazioni termiche avranno pertanto segno concorde.

$\delta_{\text{sup}} = 3,93 \text{ m} \times 0,60 \text{ mm/m}$	2,36 mm
$\delta_{\text{inf}} = 0,23 \text{ m} \times 0,60 \text{ mm/m}$	0,14 mm
$\delta_{\text{d}} = \delta_{\text{sup}} - \delta_{\text{inf}}$	2,22 mm

La larghezza nominale di fuga prevista è pari a 6 millimetri. All'interno della fuga alloggia la parte terminale del traverso, che rappresenta un ingombro di 3 millimetri.

Larghezza netta del giunto = 6,00 - 3,00	3,00 mm
Deformazione massima della facciata	2,22 mm

La deformazione massima di calcolo è inferiore alla larghezza netta del giunto. La soluzione è pertanto staticamente idonea.

Per le fughe verticali del rivestimento sarebbe teoricamente possibile adottare spessori inferiori, in ragione del fatto che nessun elemento portante è inserito nella fuga e le lunghezze dei ganci sono trascurabili dal punto di vista della deformazione termica.

CONCLUSIONI

Con la presente relazione tecnica di calcolo si sono eseguiti il dimensionamento e la verifica statica della struttura metallica di supporto standard, ed i relativi ancoraggi, della facciata ventilata in epigrafe, da realizzarsi nell'ambito dei lavori di costruzione di strutture universitarie nell'area dell'ex complesso industriale a San Giovanni Teduccio - Napoli.

Le verifiche contenute nella presente memoria tecnica descrivono le diverse condizioni di posa e di fissaggio della facciata nelle configurazioni tipiche più sollecitate. 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 della struttura metallica, che risulta pertanto staticamente verificata.

Sulla base delle osservazioni espresse e dei calcoli eseguiti si attesta che l'opera in progetto risulta conforme ai livelli di sicurezza dettati dalla normativa vigente.

Per il fissaggio della struttura metallica alle pareti esterne dell'edificio è previsto l'impiego di ancoranti con resistenza certificata, idonei all'installazione su elementi in conglomerato cementizio armato ed elementi in muratura di blocchi alveolati di lapillo-cemento, nonché viti autoforanti da applicare a tubolari in acciaio. Resta inteso che la corretta realizzazione dei getti, delle opere murarie e delle strutture principali in carpenteria metallica di acciaio esula dalle responsabilità del sottoscritto e degli installatori della facciata ventilata.

Ars sine scientia nihil est.

ing. Alberto Campagna



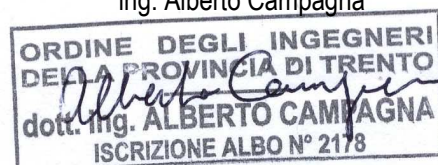
ALLEGATI

- A) Scheda tecnica delle staffe (Systea DWS Pohl GmbH)
- B) Scheda tecnica dei profili a T (ETNALL SpA)
- C) Scheda tecnica dei profili a T (ETNALL SpA)
- D) Scheda tecnica del gancio intermedio (ETNALL SpA)
- E) Scheda tecnica del gancio di partenza (ETNALL SpA)
- F) Scheda tecnica ancorante pesante passante FM-753 (Friulsider SpA)
- G) Scheda tecnica tassello in nylon FM-XP (Friulsider SpA)
- H) Scheda tecnica tirafondo (Friulsider SpA)
- I) Scheda tecnica vite TE Ø5,5x19 (Etanco Sas)
- J) Scheda tecnica vite TE Ø6,3x25 (Etanco Sas)

AC	ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati	Protocollo interno Studio Campagna				Codice elaborato str.R02
			Commessa:	120511	Data:	26/07/2012	
			Documento:	12.02	Revisione:	3	

- K) Scheda tecnica taglio termico (Systea DWS Pohl GmbH)
- L) Scheda tecnica bandella dielettrica (SiCop Srl)
- M) Relazione test ancoranti per blocco in lapillo-cemento (Friulsider SpA)
- N) Documentazione fotografica test ancoranti per blocco in lapillo-cemento (Friulsider SpA)
- Elaborato pac.T01 - revisione 2 (*Schede descrittive dei materiali della sottostruttura metallica e degli ancoraggi prescritti per la costruzione delle facciate ventilate con note di montaggio e di manutenzione*)

ing. Alberto Campagna



AC	ALBERTO CAMPAGNA INGEGNERE I-38068 Rovereto (TN) - via E. Bezzi, 30	Progettazione esecutiva e costruttiva di pavimentazioni lapidee e di rivestimenti lapidei di facciata incollati e ventilati	Protocollo interno Studio Campagna				Codice elaborato str.R02
			Commessa:	120511	Data:	26/07/2012	
			Documento:	12.02	Revisione:	3	