

# ARCHITETTURE TRASPARENTI

*Sempre di più l'architettura contemporanea propone involucri edilizi in vetro, dove i serramenti, da elementi complementari di murature, divengono vere e proprie facciate. Si parla di ampie vetrate in montanti e traversi d'alluminio, ma non solo: cavi d'acciaio, puntoni-tiranti, ammortizzatori rendono queste strutture vere e proprie opere di ingegneria. Carpirne i segreti di statica aiuta le imprese edili "a prendere confidenza" con queste tecnologie e a proporre, in fase di discussione con i progettisti, soluzioni alternative.*

Giacomo Cusmano

**L**e facciate vetrate sempre più spesso hanno dimensioni ragguardevoli e tendono a racchiudere gli edifici come un "cappotto trasparente" che si connette ad ogni piano all'ossatura portante dell'edificio. Non è però raro il caso di vetrate che diventano architetture d'involucro di ampi spazi interni (hall d'ingresso colleganti più piani) di cinema, centri congressi, uffici, ospedali, stazioni.

Le ampie luci libere da coprire (si parla di vetrate con 20-40 m di libera flessione, senza ancoraggi intermedi rigidi) richiedono soluzioni strutturali spesso ardite, dove fondamentale risulta il coniugare condizioni di equilibrio con tecnologie di trasparenza ed eleganza estetica.

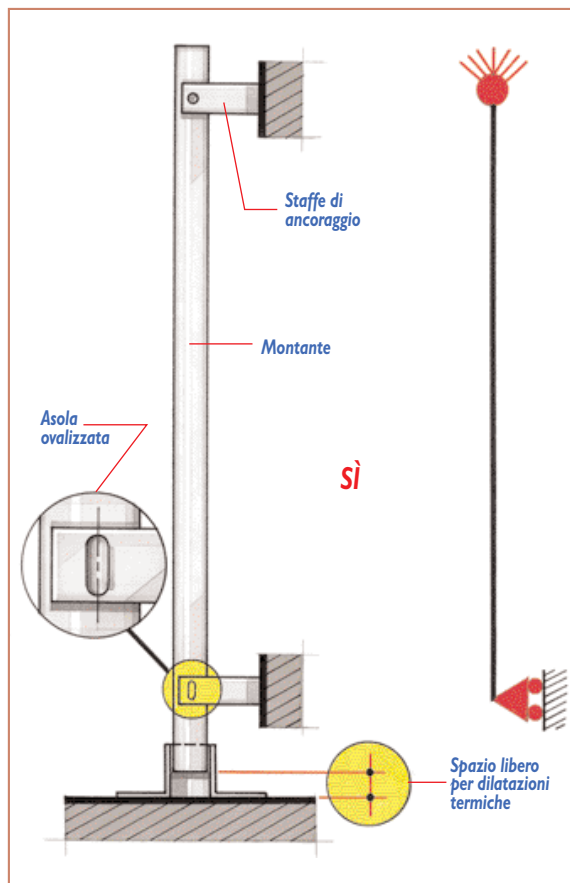
Va però evidenziato che nelle facciate vetrate non si hanno solo problemi di portanza e di relativa verifi-

ca; quasi sempre la verifica di deformabilità risulta essere più restrittiva e vincolante (pur essendo generalmente accettata una deformazione sino a  $L/200$  dei profili), ragion per cui si deve spesso dotare la facciata di cavi irrigidenti o travi reticolari aggiuntive. A fronte della necessità di stabilire dapprima una soluzione architettonica che coniughi aspetti di illuminazione naturale con aspetti energetici invernali ed estivi, da un punto di vista costruttivo vanno chiariti due primi aspetti importanti che rientrano nelle principali metodologie di progettazione/costruzione.

- *Le facciate si appendono al piano superiore e non si appoggiano al piano inferiore: appoggiare i montanti delle facciate al piano basso, seppur spontaneo come pensiero progettuale,*

non è operazione conveniente in quanto i profili verticali, che sono molto snelli, divengono soggetti al carico del peso proprio della vetrata. Il rispetto dei problemi di instabilità comporta in questo caso sezioni dei profili più grosse, con spreco di materiale oltre che una riduzione della trasparenza visiva della facciata montanti/traversi. Se la facciata è viceversa appesa l'azione dei pesi propri sui montanti si traduce in un'azione di trazione e quindi i profili possono essere di sezione più ridotta.

- I vincoli dei montanti verticali devono consentire dilatazioni termiche verticali: banalmente uno schema di fissaggio dell'asta del tipo cerniera-cerniera crea un vincolo iperstatico che poco si addice alla necessità di consentire al profilo di assorbire una differenza termica anche di 60 °C; un vincolo isostatico cerniera-carrello realizzato con asola ovalizzata di tenuta impedisce lo spostamento della facciata nella direzione del vento, ma contemporaneamente lascia libero il profilo di dilatarsi. Ovviamente nella parte inferiore deve rimanere un interspazio di giunto tra pavimento e profilo che si dilata pari alla massima dilatazione prevedibile. Interspazio che può essere chiuso in fase di produzione (per non far entrare aria e freddo dentro l'edificio) prevedendo profili d'ancoraggio del tipo a manicotto. Si evidenzia che laddove si prevedono inne-



Applicazione del concetto di facciata appesa.

## LA FACCIATA APPESA A CAVI DI SOSPENSIONE



Se il principio di base di una facciata continua che vuole caratterizzarsi per massima trasparenza è quello di appendere i montanti così da ridurne le sezioni dei profili in quanto non soggetti a fenomeni di instabilità, ecco che si può estremizzare tale concetto appendendo con cavi di acciaio tutta la facciata di 15-20 m di altezza alla copertura superiore dell'edificio.

Sfruttando tale principio la sezione del cavo è sicuramente più ristretta rispetto a quella di un profilo, e quindi la facciata vetrata appare sicuramente più trasparente.

Non vi è chi non vede che questo lenzuolo di vetri appeso dall'alto necessita di appositi puntoni - tiranti orizzontali antivento posti ad altezze intermedie, che si ancorano a pilastrini o a solette posteriori dell'edificio. Altresì, scomparendo di fatto il montante che è l'elemento di unione tra i vetri, gli stessi devono essere in primo luogo tra di loro sigillati (operazione che al giorno d'oggi è banale) e poi devono essere in grado di resistere a flessione per tutta la loro altezza. In tale situazione la scelta del vetro più adatto è quanto mai importante.

A livello strutturale è bene evidenziare che il carico di 20 m di facciata su mensole uscenti dalla copertura è tutt'altro che trascurabile e quindi non vi è chi non vede che adeguato deve essere il sistema superiore di staffaggio alle travi, così come le stesse devono essere verificate a flessione con carico sull'estremità.

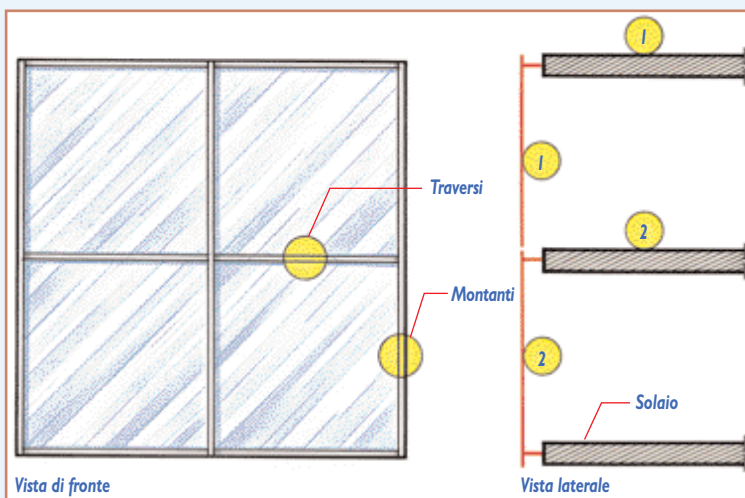


Nel box, esempio di facciata appesa alla copertura mediante cavi di sospensione. Si notino in dettaglio i pilastrini arretrati interni, le travi metalliche di copertura, i cavi verticali che appendono le vetrate, i puntoni-tiranti in vetro e acciaio (in caso di pressione reagisce il tubo di vetro a compressione, in caso di depressione reagisce il cavo in acciaio interno al tubo).

## LA FACCIAIA MONTANTI - TRAVERSI

La facciata montanti/traversi.

Nella foto a fianco, facciata a montanti e traversi con struttura in legno. In questo caso i montanti sono secondari.



Vista di fronte

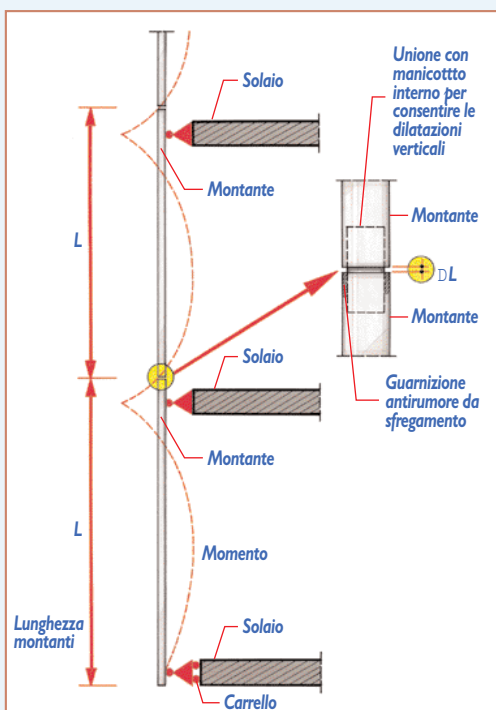
Vista laterale

Il sistema a griglia montanti - traversi è la tecnica più semplice e spontanea per rivestire un edificio con un involucro vetrato completamente esterno all'ossatura portante.

Il concetto di base è semplice: i singoli vetri sono posti all'interno o davanti a una maglia strutturale orizzontale e verticale con profili strutturali regolari a passo costante

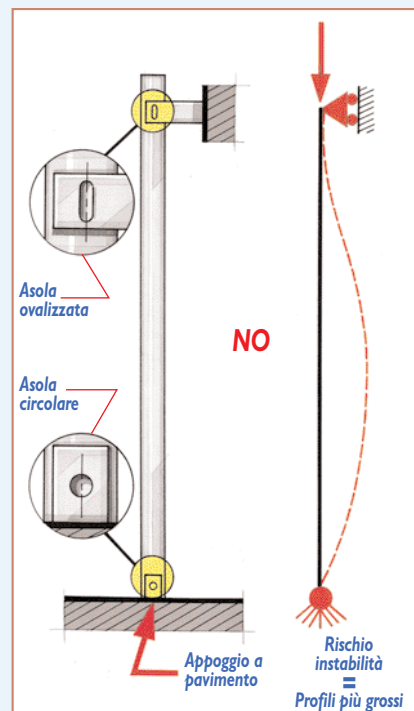


Vista laterale dei profili montanti soggetti all'azione del vento.



una giunzione che consenta il trasferimento delle azioni di taglio e contemporaneamente permettere uno scorrimento reciproco sotto diversa azione termica di dilatazione. Altresì si evidenzia che è opportuno prevedere la giunzione dei montanti non nell'esatto punto di interpiano, ma a una quota leggermente maggiore dove il teorico momento della trave continua ha valore pari a zero. I profili montanti e traversi tradizionali sono estrusi e realizzati in alluminio, ma è bene ricordare al lettore che sempre più numerosi progettisti preferiscono sostituire gli uni o gli altri od entrambi con anime rettangolari in vetro, dove allo stesso vetro si fornisce un valore strutturale di irrigidimento. Solo i punti di connessione con i vincoli dell'edificio sono realizzati in metallo. Si segnalano altresì casi di facciate con montanti e traversi in legno. Per luci ragguardevoli di 15-20 m di libera flessione vi possono essere situazioni in cui, anziché impiegare un singolo profilo estruso di ampia sezione, montante o traverso che sia, si preferisce utilizzare delle vere e proprie travi reticolari metalliche, con un risparmio di materiale, maggiore leggerezza e nel contempo maggiore rigidità. Pur rispettando il medesimo principio fisico, le combinazioni di materiali e tecnologie sono numerose.

L'azione del vento viene trasferita uniformemente e contemporaneamente ai traversi e ai montanti che si comportano come una piastra strutturale, oppure, analizzando ogni singolo pezzo singolarmente, come tante travi in appoggio semplice o in continuità. I singoli traversi scaricano le proprie sollecitazioni ai montanti che, grazie alla propria continuità strutturale, trasferiscono le azioni orizzontali ai punti di ancoraggio ai solai. Altresì vi può essere la scelta opposta di montanti secondari che trasferiscono le azioni del vento ai traversi orizzontali principali. Ovviamente, come già detto precedentemente, l'intera struttura in direzione verticale è appesa agli impalcati strutturali in c.a. dell'edificio e non appoggiata a questi ultimi, per evitare problemi di instabilità. In linea generale ogni singolo solaio intermedio dell'immobile si porta, mediante squadrette di fissaggio o inserti annegati nel calcestruzzo, la porzione di facciata d'interpiano sottostante che gli compete. Per assicurare un comportamento dei montanti a trave continua sotto l'azione del vento, non potendo trasportare e montare per problemi logistici montanti da 20 m di lunghezza, ad ogni interpiano ogni singolo profilo possiede un innesto a manicotto con il pezzo successivo. Tale innesto deve costituire



## LE SOLLECITAZIONI CUI È SOTTOPOSTA UNA FACCIATA

| Tipologia di carico   | Valutazione dei valori di progetto   |
|---|--|
| Peso proprio struttura in alluminio/acciaio + peso vetrata          | Il carico permanente dovuto all'azione di gravità dipende dalla composizione stratigrafica delle vetrate e dall'infittimento di eventuali montanti/traversi. Un vetrocamera con doppia lastra da 6 mm pesa circa 30 kg/m <sup>2</sup> , ma ovviamente vetrate più prestanti (blindate o altro) hanno un peso maggiore; indicativamente in prima battuta è buona norma considerare un carico di progetto iniziale di almeno 50 kg/m <sup>2</sup> , da rivedere poi in base al prodotto scelto. Montanti e traversi in alluminio hanno un peso ridotto intorno ai 5 kg/m.  |
| Peso proprio accessori ed elementi complementari frangisole o altro | Sulle facciate vetrate possono trovare collocazione lamelle complementari frangisole che usualmente hanno una propria struttura indipendente di appoggio, ma in specifici punti possono connettersi e gravare sulla struttura principale della facciata. In analogo modo si può parlare di passerelle per il manutentore (con il relativo carico).   |
| Azione del vento  | E' sicuramente l'azione più importante. Il riferimento tecnico per stabilire tale sollecitazione è il D.M. 16.01.1996 sui "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi". Si ricorda che su una facciata vi possono essere azioni di pressione e contemporaneamente depressione, in funzione della forma dell'edificio, della sua altezza e dei vortici causati da questi parametri. Spesso, per edifici di ragguardevole dimensioni è buona norma simulare le azioni di strappo e compressione mediante modellino in galleria del vento. Azioni vibratorie sono da tenere in forte considerazione. Per edifici di ordinaria altezza si parla di 80 -100 kg/m <sup>2</sup> di sollecitazione, ma ovviamente tale valore è puramente indicativo e da confermare/smentire dalle indicazioni di norma/sperimentazione. |
| Urti esterni e interni locali                                       | Le strutture devono essere valutate sotto la sollecitazione di un corpo molle o duro concentrato di almeno 120 kg/m; i traversi non si devono deformare eccessivamente, così come non si deve causare distacco di parti.   |
| Variazioni termiche   | Profilati senza taglio termico: la deformazione imposta di dilatazione/contrazione è uniforme ( $\Delta L = a \cdot \Delta t \cdot L$ ) con escursioni termiche che possono raggiungere anche i 60° di differenza tra inverno/estate.<br>Profilati con taglio termico: il carico termico è del tipo a farfalla, in quanto il serramento mantiene temperature differenti tra inter-   |
| Movimenti delle strutture murarie                                   | Facciate vetrate e strutture in c.a. o acciaio della costruzione devono essere collegate tra di esse, ma vicendevolmente deformazioni differite o cedimenti delle opere interne non devono provocare azioni aggiuntive alle facciate strutturali.  |
| Carico da sisma   | Il D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica" individua i parametri che influenzano le sollecitazioni verticali ed orizzontali. Data la leggerezza delle facciate vetrate tali valori nei casi ordinari sono di circa 7 kg/m <sup>2</sup> in orizzontale e 14 kg/m <sup>2</sup> in verticale, ragion per cui spesso il carico da sisma è inferiore alle sollecitazioni da vento. Ovviamente si evidenzia che il sisma può causare azioni vibratorie in tutte le direzioni e tutti gli agganci devono essere tali da non causare fuoriuscita dei pezzi dalla loro sede di fissaggio.   |

sti a manicotto è sempre bene rivestire la zona interna di contatto con una guarnizione, per evitare che i profili metallici producano imprevisti rumori dovuti a sfregamento. Altresì va ricordato nuovamente che il vincolo a cerniera deve essere quello superiore e non quel-

lo inferiore, proprio per non incappare in problemi di instabilità (concetto di "appendere" le facciate). Tutto questo premesso, le diverse soluzioni strutturali sono riconducibili a tre tipologie costruttive, così come di seguito descritte. Ovviamente soluzioni miste sono prevedibili, proprio perché varie sono le scelte architettoniche di base e sul mercato è facile riscontrare come due facciate vetrate non siano mai uguali, pur sposando le stesse tecnologie di partenza.

### Le problematiche di cantiere

In fase di messa in opera delle facciate vetrate, al di là di quelle che possono essere opportune operazioni di stoccaggio e la numerazione dei pezzi secondo la sequenza di montaggio (così da renderne agevole il riconoscimento dei diversi moduli), sono da prevedere alcuni accorgimenti pratici (a volte anche banali, ma importanti) che consentono la giustapposizione dei componenti. Non è infatti raro il caso in cui, avendo a che fare con prodotti industriali, all'impresa edile sono richieste precisioni millimetriche partendo da una struttura edile di supporto che ha viceversa come unità di precisione il centimetro.

La messa in opera di tali opere vetrate deve avvenire dopo che l'impresa edile e i progettisti hanno svi-

## I MATERIALI USUALI PER MONTANTI/TRAVERSI, PUNTONI/TIRANTI

|                    |                 |   |
|--------------------|-----------------|---|
| Leghe di alluminio | • Lega UNI 6060 | $\alpha_{AMM} = 85 \text{ N/mm}^2$<br>$E = 70'000 \text{ N/mm}^2$<br>Coeff. Dil. Term. $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$   |
|                    | • Lega UNI 6061 | $\alpha_{AMM} = 132 \text{ N/mm}^2$<br>$E = 70'000 \text{ N/mm}^2$<br>Coeff. Dil. Term. $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  |
| Acciaio            | • Fe360         | $\alpha_{AMM} = 160 \text{ N/mm}^2$<br>$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$<br>Coeff. Dil. Term. $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ |
|                    | • Fe430         | $\alpha_{AMM} = 190 \text{ N/mm}^2$<br>$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$<br>Coeff. Dil. Term. $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ |

## LA FACCIAIA STRALLATA

Schema di  
facciata strallata.

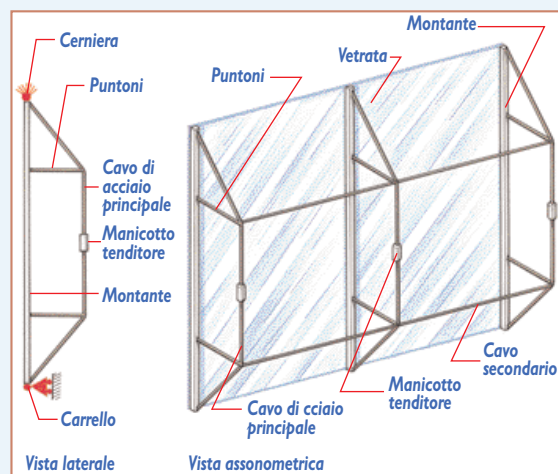
Quando la distanza tra un appoggio strutturale della costruzione e il successivo è elevata, nell'ordine dei 10-30 m (come avviene ad esempio nelle grandi hall di luoghi pubblici), qualora la trave reticolare dei montanti e dei traversi appare troppo ingombrante in termini visivi, soluzioni più trasparenti sono possibili mediante l'impiego di cavi d'acciaio posteriormente ai montanti e/o ai traversi. In detti casi la facciata vetrata prende il nome di "facciata strallata", proprio perché vi è un'analogia con i ponti strallati. Il problema delle ampie facciate non è tanto un problema di resistenza, quanto di eccessiva deformazione che può creare rotture dei vetri sotto l'azione intensa del vento. Il controllo della deformazione massima è importante. Ecco dunque che in prima battuta la soluzione più semplice su questa linea di pensiero è dotare ogni singolo montante della facciata di un cavo

A fianco, esempio di facciata strallata con cavi posteriori di irrigidimento. Si noti il sistema a doppio cavo incrociato per assorbire contemporaneamente azioni di pressione e depressione del vento.



Alternativa di disposizione cavi come se la facciata fosse un ponte.

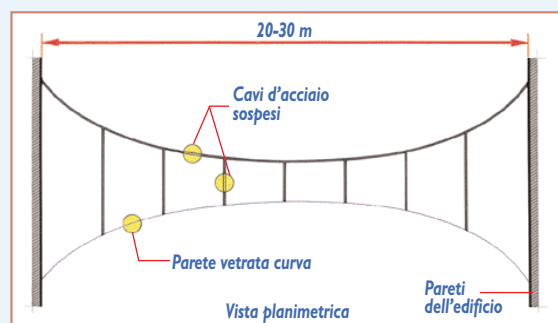
Facciata vetrata, sospesa nel vuoto in sommità di un edificio moderno, con stralli posteriori di irrigidimento secondo il principio di un ponte strallato. Si notino la forma curva della facciata, la disposizione dei cavi principali secondo delle catenarie e gli ammortizzatori a molle di ancoraggio alle pareti portanti dell'edificio per assorbire le azioni vibratorie del vento.



posteriore irrigidente messo appositamente in tensione mediante manicotto. Dei puntoni intermedi mantengono distanti tra di loro il montante e il cavo che, proprio perché in tensione, spinge nella direzione opposta a quella su cui agisce il vento, irrigidendo quindi il sistema. Attenzione però a un punto critico: il sistema a cavi

funziona ottimamente laddove si è sicuri che il vento causi spinte positive in una direzione e bassissime azioni di depressione nell'altra. Quando infatti viceversa vi è la possibilità che vortici creino forti depressione verso l'esterno, come può avvenire in taluni edifici alti di forma aerodinamica sfavorevole, ecco che le sollecitazioni strutturali si invertono e in teoria il cavo sarebbe soggetto ad azioni di compressione che non può assorbire. In detti casi si può optare per montanti leggermente più rigidi oppure per un sistema a doppio cavo simmetricamente opposti dove, a seconda dell'azione di depressione o pressione del vento, lavora uno o l'altro cavo. Sempre sull'argomento, da ultimo si evidenzia che se il cavo si aggancia all'estremità ai montanti o ai traversi, genera su questi azioni di compressione, con tutte le modifiche che ciò comporta; spesso è più conveniente trovare punti fissi laterali di ancoraggio delle strutture in calcestruzzo.

Dato che alla fantasia non c'è limite, si segnala l'interessante caso di sistemi strallati dove non c'è montante compresso in alluminio in quanto è lo stesso vetro strutturale a lavorare in compressione. Ovviamente, previa apposita verifica dei materiali impiegati. Con i cavi d'acciaio, come avviene per i ponti, si possono creare diverse reti portanti disposte, in maniera più o meno semplice o complessa, a formare una catenaria, per cui è altrettanto fattibile la possi-



bilità di facciate con cavi irrigidenti disposti ad arco. La facciata diviene lei stessa un'architettura completa. Laddove il sistema vetrato è un'opera all'aperto soggetta ad azioni del vento, con formazioni di vortici frequenti causando vibrazioni, si segnalano casi di progettisti che hanno dotato le proprie strutture di cavi con ancoraggi ai punti fissi dotati di ammortizzatori con molle che riducono l'effetto vibratorio sull'insieme vetrato.

luppato in termine di progetto e/o programmazione i seguenti aspetti:

- Facciata componibile per moduli: il trasporto dell'involucro vetrato deve avvenire facilmente attraverso mezzi d'opera predisponendo sul rimorchio i diversi pacchi di prodotti intermedi preassemblati in officina. La fase di cantiere deve essere composta da sottofasi quali disimballaggio dei moduli, sollevamento, messa in posizione con aggancio

ai moduli già disposti, regolazione d'insieme. In tale ottica sono da preferire prodotti commerciali che presentano nei componenti di sistema apposite modanature, sistemi a baionetta dei montanti, denti di incastro che in maniera intuitiva lasciano all'operatore non specializzato pochi margini di errore nel montaggio.

- Possibilità d'impiego di mezzi di sollevamento: gli elementi vetrati, trattandosi nella stragrande maggioranza dei casi

di vetri stratificati, sono generalmente pesanti, soprattutto in funzione delle dimensioni dei moduli con lati di 3-4 m di dimensione. Usualmente il sollevamento delle lastre avviene mediante sistemi a ventose che con depressioni si fissano alle lastre in maniera provvisoria, ma solida. Un'opportuna imbracatura permette di muovere con gru ogni singola lastra. Se viceversa vi sono degli ampi moduli con montanti metallici, non è raro che in cantiere gli stessi si presentino con veri e propri anelli superiori di sollevamento. In generale, se elementi piccoli possono essere montati dall'interno dell'edificio lavorando ad ogni interpiano, i grossi moduli vanno posti in opera mediante mezzo di sollevamento esterno (fisso o autogrù), ragioni per cui in cantiere vanno programmati opportuni spazi di stoccaggio, sollevamento e manovra.

- Regolazione della facciata su irregolare supporto strutturale: per quanto preciso possa essere stato il lavoro edile dell'impresa di costruzioni, i piani solai su cui si fissano i diversi moduli della facciata non sono mai regolari. Al fine di ottenere una giusta disposizione è sempre bene predisporre nelle piastre di fissaggio ai solai e negli ancoraggi intermedi apposite viti e/o bulloni di regolazione che con sistemi a manicotto permettono ai montatori micro-

regolazioni. La facciata, proprio perché composta da moduli, deve essere rettificabile agendo dall'interno dell'edificio su ogni singolo modulo, così da ottenere una planarità d'insieme.

- Sostegno della facciata in fase provvisoria: la facciata strallata nasce per mutua interazione tra sistema vetrato e cavi di irrigidimento in acciaio. In fase di montaggio, dove verosimilmente mancano i cavi di contrasto, l'impresa e la casa costruttrice devono valutare che in tutte le fasi intermedie le strutture siano comunque equilibrate attraverso strutture provvisorie di sostegno, se necessarie.

- Messa in tensione dei cavi di supporto: qualsivoglia sistema di sostegno che fa impiego di cavi necessita di regolazioni in opera, perché il principio di base delle facciate strallate è quello di fornire rigidità di flessione sotto l'azione di forze orizzontali attraverso preventive azioni opposte di tensione dei cavi. Cavi "laschi" non servono a niente, perché all'insorgere della sollecitazione esterna non entrano in tensione immediatamente e vi è rischio che le vetrate rigide si rompano. I cavi in acciaio, dopo essere stati messi in opera, devono sempre essere tesati con opportune e non esagerate forze. A tale scopo, più volte, è prassi comune dotare i cavi di manicotti di regolazione. ■

# SISTEMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE

GUIDA ALLA PROGETTAZIONE

NOVITÀ

## GUIDA ALLA PROGETTAZIONE

Autore: Sergio Cusi, Matteo Fiori

### A chi è rivolta

La Guida è finalizzata al settore Progettisti, Direttori Lavori, Subappalti e Imprese nella stesura del documento di appalto, delle soluzioni tecniche e del dettaglio costruttivi.

### I CONTENUTI DELL'OPERA

Presentato nelle diverse tipologie di elementi di tenuta attualmente in produzione - bitume-polimero, eterebitol, hermetici e olioidi - vengono affrontate le tematiche progettuali nel rilievo di ambiti applicativi. Non solo, quindi, coperture, manufatti costruzioni interne, opere strutturali e opere varie, fornendo, per ogni tipologia di intervento e situazione applicativa, una serie di soluzioni tecniche. L'opera è organizzata in forma di schede tecniche, che fanno il compito di illustrare passo per passo le caratteristiche dell'intervento, fornendo un'accurata rappresentazione grafica della stratigrafia.

### L'AGGIORNAMENTO

Questa prima edizione contiene le soluzioni tecniche relative a coperture e edifici interni, nel primo aggiornamento verranno presentate quelle relative a opere strutturali e opere varie. È in opera un foglio mensile e un CD-ROM che viene aggiornato periodicamente.



1 Raccoltore a 4 volumi con 330 pagine formato A4, € 90,00  
Opera editoriale con supporto informatico al CD-ROM € 120,00



Schede di soluzioni tecniche



Ti die sei sconto a MODULO o a SPECULAZIONE in lo sconto del 20%

Per ordinare e ricevere maggiori informazioni:



**BE-MA editrice**

Via Teodoro, 47 - 20126 Milano Tel. 02262071 - Fax 022700032 e-mail: vendite@bt@bema.it - www.bema.it