

Torri, grattacieli, grattanuvole o case alte? Anche solo dal punto di vista semantico, nella cultura milanese, da sempre "resistente" alla tipologia dei americani dei *grattacieli*, o meglio *grattanuvole*, come erano chiamati agli esordi, si alternano i termini *grattacielo*, *torre*, *casa alta*. Decisamente ritorna con più frequenza la dicitura "torre" che esprime i caratteri formali dell'edificio alto milanese legati alla continuità con la tradizione che prediligono l'aspetto massivo e pieno della facciata preferito di gran lunga alla diafana trasparenza international style della curtain wall. Classica è la contrapposizione Pirelli-grattacielo americano e Velasca-torre-neoliberty. Oggi qualcosa è cambiato. Dopo una lunga pausa dello sviluppo verticale, oggi Milano vive una nuova geografia urbana, un nuovo skyline. Questo volume, che fa seguito all'omonima mostra presso la Fondazione Riccardo Catella commenta con i saggi di 27 autori, 25 schede, 72 torri milanesi, tra nuovi i vecchi "grattanuvole" attraverso documenti storici e nuovi tagli critici.



€ 39,00



77

a cura di
Alessandra Coppa e Lucia Tenconi

GRATTANUVOLE

SAGGI

ARCHITETTURA
INGEGNERIA
SCIENZE



politecnica



GRATTANUVOLE
UN SECOLO
DI GRATTACIELI
A MILANO

a cura di Alessandra Coppa e Lucia Tenconi



Copertina: Palazzo Argentina in Corso Buenos Aires a Milano, foto Maurizio Montagna
Logo "Grattanuvole", grafica Studio Didot

Elaborazione immagini e grafica: Elisa Pozzoli
Editing: Alessandra Coppa e Lucia Tenconi

ISBN 978-88-916-0919-9

© Copyright 2015 Maggioli S.p.A.

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata,
anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008
47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it
e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento,
totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Il catalogo completo è disponibile su www.maggioli.it area università

Finito di stampare nel mese di ottobre 2015
nello stabilimento Maggioli S.p.A.
Santarcangelo di Romagna (RN)

GRATTANUVOLE

Un secolo di grattacieli a Milano

a cura di
Alessandra Coppa e Lucia Tenconi





Innovazione tecnologica, risparmio energetico e involucro

Massimiliano Nistri, Politecnico di Milano

La progettazione e la costruzione degli edifici contemporanei nella forma *skyscraper type*, all'interno del contesto di Milano, si associa allo studio e all'applicazione di tecnologie sperimentali, di procedure di interazione ambientale (dirette alla calibrazione delle sollecitazioni climatiche, al contenimento delle dispersioni e all'ausilio delle fonti energetiche rinnovabili) e di sistemi di involucro di tipo evoluto. L'innovazione tecnico-esecutiva, rispetto agli interventi in forma *skyscraper type* a Milano, si concentra, in generale, sull'impiego selettivo e "customizzato" degli esiti conseguenti all'attuale offerta produttiva e prestazionale dei principali sistemi (strutturali, impiantistici e di chiusura verticale): questo considerando le opportunità di scelta e di adozione tra le soluzioni di serie e le soluzioni "prototipo", secondo il confronto mediato sia dalla possibilità di tradurre le esigenze mediante una molteplicità di combinazioni funzionali, sia dalle sinergie tra elementi tecnici e materiali di diversa origine produttiva (sostenendo i criteri di correlazione 'flessibile', fino ai modi di assemblaggio).

La definizione dei sistemi di involucro applicati agli *skyscraper types* osserva una certa analogia con la nozione di "macchina-involucro", quale supporto e integratore di elementi funzionali¹, espressa non solo dal punto di vista prestazionale, ma anche visivo ed estetico: gli involucri si costituiscono come "corpi meccanici", "diaframmi attivi" e membrane che favoriscono oppure ostacolano gli scambi (luminosi, termici, aereiformi, acustici) con l'ambiente esterno, svolgendo un ruolo di regolazione energetica. Lo studio intorno al campo degli elementi di involucro applicati agli interventi in forma *skyscraper type* considera le superfici applicate ai sistemi di facciata nei caratteri di espressione morfologica e di interazione con gli stimoli ambientali esterni, osservando, soprattutto, le procedure di controllo della trasmissione termica e luminosa: la disamina riguarda le modalità produttive, funzionali e di impiego delle tecniche e dei materiali tesi sia alla riduzione delle perdite o all'accumulo del calore (conseguente all'irraggiamento), sia alla selezione dinamica dei raggi solari e alla calibrazione della luce naturale.

Pertanto, lo studio dell'involucro esplicita i contenuti fisici, materici e prestazionali secondo i criteri di azione nei confronti sia delle condizioni energetiche e ambientali, sia delle condizioni ergonomiche mediante le procedure di riflessione, di captazione e di diffusione delle sollecitazioni esterne o interne agli spazi costruiti. Questo attraverso la trasformazione di tipo "passivo", tesa ad accumulare e a distribuire l'energia prodotta dalla radiazione solare senza il ricorso a dotazioni impiantistiche, oppure di tipo "attivo", con l'apporto di dispositivi

Pelli Clarke Pelli Architects, Unicredit Tower, composizione del sistema a "cellule"

¹ R. Banham, *Megastructure. Urban Futures of the Recent Past*, London, 1976, trad. it. di Renato Pedio, *Le tentazioni dell'architettura. Megastrutture*, Roma-Bari, 1980.

(nella forma di "collettori") rivolti a integrare e a convogliare il calore, la luce naturale oppure i fenomeni di convezione relativi ai flussi aerei.

Le tecnologie applicate e, in particolare, i componenti e i dispositivi dell'involucro sono assunti rispetto ai processi di "interazione ecoefficiente" e di "permeabilità" nei confronti delle sollecitazioni termo-igrometriche, luminose e aeree (determinando i criteri di controllo energetico e ambientale di tipo "selettivo" e dinamico), con la possibilità di regolarne i flussi e di convogliarli nel funzionamento complessivo².

L'involucro, quale apparato di mediazione e di reazione nei confronti degli stimoli esterni, si struttura nel connubio con la calibrazione delle proprietà e delle performance energetiche (secondo un orientamento "selettivo", ovvero quale *selective approach*), con la progettazione tecnica e con l'applicazione coerente alle esigenze e ai requisiti insediativi (quale attività di *environmentally conscious design*). Le prestazioni dell'involucro sono elaborate in relazione ai sistemi "monostrato" (come *single-skin façades*) e ai sistemi "multistrato" (come *multiple-skin façades*), per cui l'accorpamento di superfici planari genera apparecchiature a funzionamento per "effetto serra", per "effetto camino" e per ventilazione naturale (in forma di *double skin façades*): poi, le prestazioni si concretano sulla base delle pratiche di trattamento (termico, chimico e superficiale), di stratificazione e di rivestimento (agendo sulla trasmissione delle radiazioni visibile, solare e termica, specialmente riferite al campo spettrale dell'infrarosso), di colorazione e di deposizione.

I sistemi di involucro applicati agli *skyscraper types* si precisano nella costituzione di componenti funzionali integrati con l'obiettivo di ricevere, di guidare e di selezionare le sollecitazioni ambientali per realizzare condizioni ergonomiche "calibrate" negli spazi costruiti. Per questo, i sistemi sono dotati di *engineering performances* (come di molteplici prestazioni "ambientali"), sono articolati nella forma di *environmentally responsive walls* (capaci di "rispondere" attivamente alle sollecitazioni ambientali attraverso il "contatto" percettivo e "organico" con le condizioni climatiche) e di *engineered walls* (quali apparecchiature azionabili mediante dispositivi meccanici), finalizzati a regolare la trasmissione del calore, della luce e della ventilazione naturale, unitamente all'attenuazione dei carichi eolici e acustici³. Poi, la combinazione tra le procedure di funzionamento "passivo" e "attivo" determina la realizzazione di sistemi capaci di "autoregolazione", sensibili alle mutazioni climatiche esterne e alle necessità di comfort (termico, visivo) e di ventilazione degli spazi interni⁴: a tale proposito, la strategia ambientale e adattiva, nel riferimento allo studio di Brian Atkin⁵, elabora i sistemi di involucro secondo la loro efficacia metabolica e la loro capacità reattiva "istintuale", configurandosi come *intelligent skins* dotate di pre-

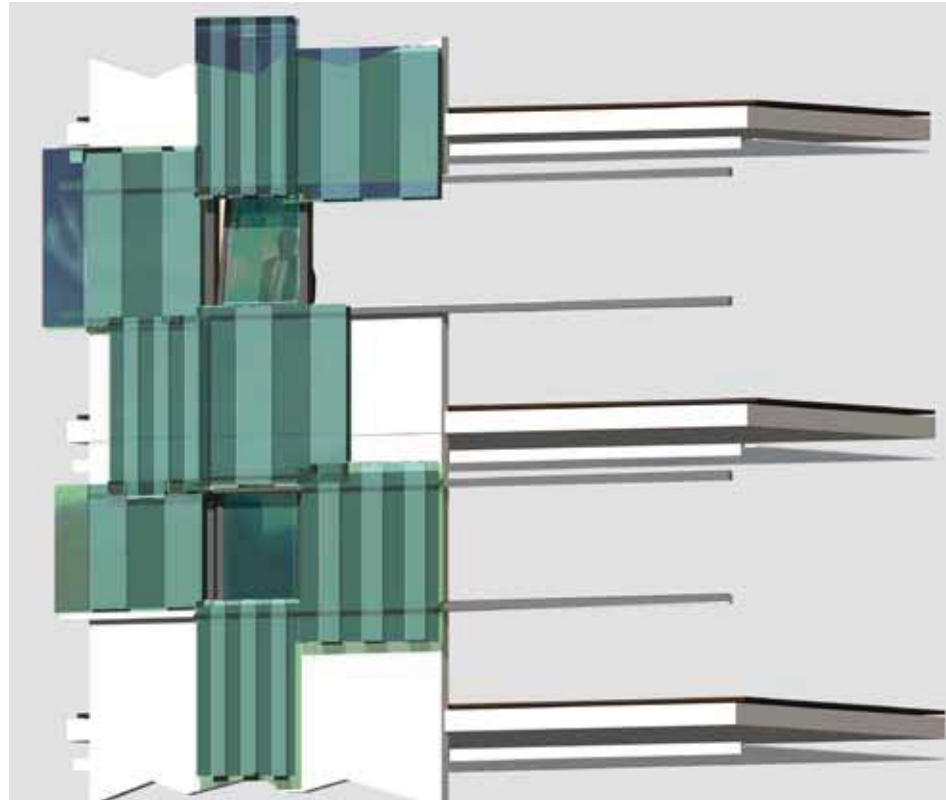
² D. Colafranceschi, *Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane*, Roma, 1995.

³ K. Daniels, *The Technology of Ecological Building*, Basilea-Boston-Berlin, 1994.

⁴ M. Wigginton, H. Jude, *Intelligent Skins*, Oxford, 2002.

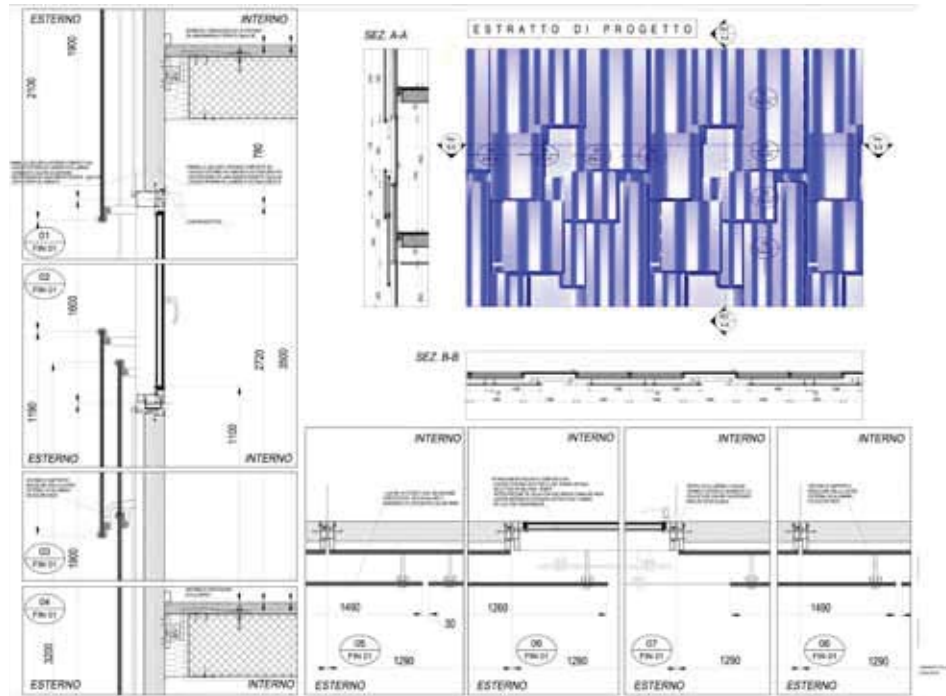
⁵ B. Atkin, *Intelligent Buildings: Applications of IT and Building Automation to High Technology Construction Projects*, London, 1988.

stazioni "automatiche" (mediante criteri funzionali di regolazione autonoma) e di membrane definite come "pelli" biologiche (attive nei confronti degli agenti esterni tramite l'azionamento di "sensori" e di dispositivi protettivi). La relazione biologica individua anche, nei sistemi di regolazione (*computerized building management systems, BMS*) e nelle relative possibilità di apertura e di chiusura, di protezione, di schermatura e di inserimento ambientale, la funzione "ipotalamica" reattiva agli stimoli esterni e interni.



Giancarlo Marzorati, *Barcelò Hotel*,
 elaborazione progettuale euristica

La disamina si esplicita, allora, nello studio dei sistemi, per gli interventi in forma *skyscraper type*, quali composti "organici", adattabili e regolabili come *biological skins* e come *multifunctional skins*, ovvero quali dispositivi assorbenti, radianti, riflettenti, filtranti e di trasferimento (termico, luminoso, aereo): in particolare, l'utilizzo di elementi a comportamento dinamico e "reattivo" assume l'impiego di superfici per il controllo della radiazione solare, costituite da sezioni filtranti o schermanti in grado di modulare la loro trasparenza in funzione del livello e della distribuzione della luminosità naturale negli spazi interni. L'elaborazione dei sistemi espone così le qualità "tecnorganiche" dirette al fun-



Giancarlo Marzorati, *Barcelò Hotel*,
elaborazione progettuale definitiva

zionamento delle costruzioni a sviluppo verticale⁶, attraverso l'interpretazione e l'assimilazione delle condizioni ambientali in modo combinato all'impiego di tecniche evolute (in forma *organitech*⁷): in questo modo, lo studio include la sperimentazione intorno ai sistemi "artificiali" (oppure "organici") integrati ai sistemi "naturali", come strumenti di accumulo, convogliamento, protezione e calibrazione delle "energie passive" che possono fornire agli edifici forme di riscaldamento, di condizionamento e di ventilazione. E gli involucri sono così espressi da "diaframmi ambientali" e da "facciate neuroniche", costruite come organismi *naturoidi*, ovvero come "macchinazioni" che si propongono di riprodurre, di gestire e di metabolizzare, secondo criteri di "comprensione attiva", i processi naturali⁸.

Nello scenario in esame, l'involucro evoluto è indagato come "interfaccia dinamica"⁹, ovvero quale struttura di mediazione e di interscambio tra le sol-

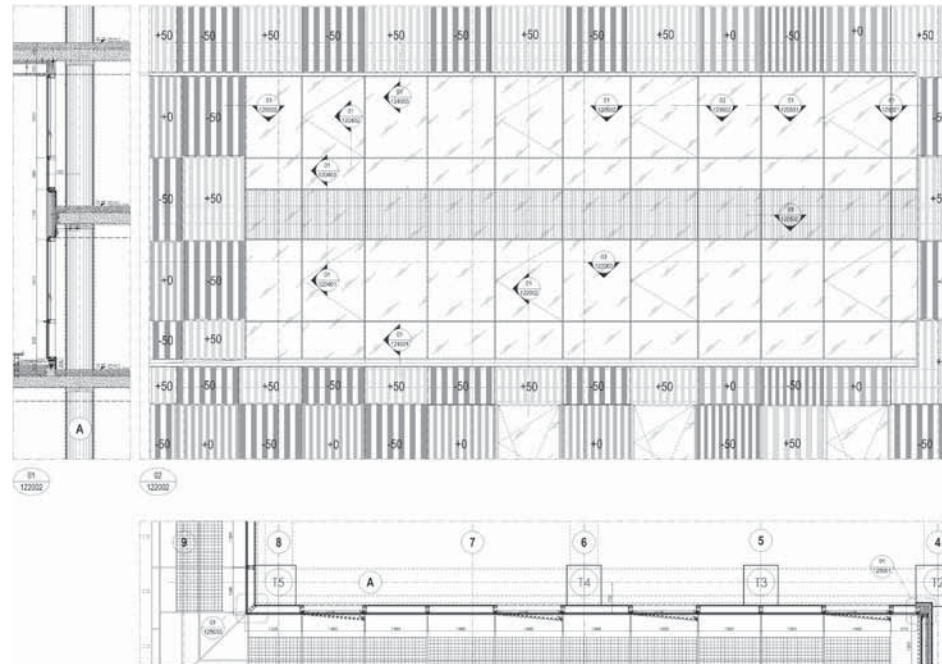
⁶ J. Welsh, *On a Wing and a Layer - Technorganic is the 1990s*, in "RIBA Journal", July 1994, pp. 22-29.

⁷ C. Jencks, *High-Tech Slides to Organi-tech*, in "ANY. Architecture New York", n. 10, 1995, pp. 44-49.

⁸ Cfr. M. Negrotti, *From the Artificial to the Art: A Short Introduction to a Theory and Its Applications*, in "Leonardo", vol. 32, n. 3, 1999, pp. 183-189, e Idem, *Artificiale. La riproduzione della natura e le sue leggi*, Roma-Bari, 2000.

⁹ S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per una architettura sostenibile*, Firenze, 2004.

lecitazioni ambientali e le esigenze fruibili degli spazi interni (in questo caso, riferiti agli *skyscraper types*), dotata di "plasticità evolutiva" e di proprietà di "adattamento" agli stimoli differenziati provenienti dall'ambiente¹⁰. La sperimentazione qui esprime la volontà di integrare le condizioni climatiche e di convogliarle negli spazi interni secondo procedure e livelli stabiliti, di costituire componenti nella forma di "prototipi biomeccanici" in cui le diverse parti si specializzano per realizzare una determinata funzione¹¹.



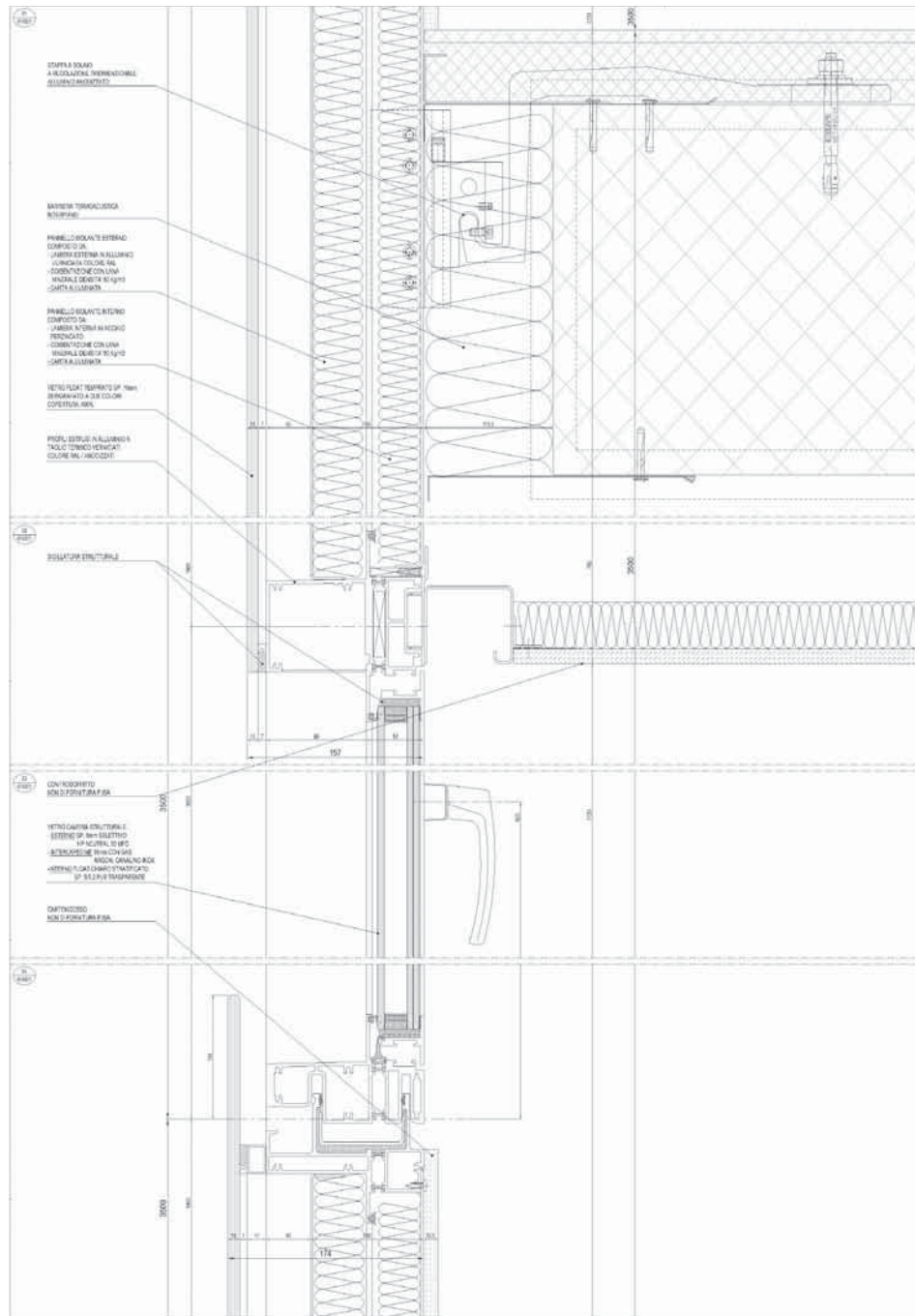
Giancarlo Marzorati, *Barcelò Hotel*,
 elaborazione progettuale definitiva

La formulazione progettuale, produttiva ed esecutiva dei sistemi di involucro, diretti a eseguire le funzioni morfologiche, fisico-tecniche e ambientali a supporto degli *skyscraper types*, si delinea all'interno della configurazione evoluta del curtain wall (già denominato come "cortina esterna") e all'interno della continuità geometrica e materica delle "facciate leggere" (o "pareti cortina"), disposte all'esterno dell'apparato strutturale principale¹². Nello specifico,

¹⁰ L. Pietroni, *La definizione di "artefatto" nella cultura del progetto*, in "Op. cit.", n. 110, 2001, pp. 20-41.

¹¹ Ibidem.

¹² Cfr. G. Giordanino, G. Varaldo, G. P. Zuccotti, ad vocem "Curtain wall", in G. Hatje, *Knaurs Lexikon der modernen Architektur*, München-Zurich, 1963, trad. it. di M. Segre, a cura di G. Varaldo, G. P. Zuccotti, *Enciclopedia dell'architettura moderna*, Roma, 1967, pp. 106-110; G. Nardi, *Pareti a pannelli in acciaio*, Milano, 1961; e Id., *Progettazione architettonica per sistemi e componenti*, Milano, 1976; R. Shaal, *Vorhand Wände*, Idem, Monaco, 1961.



Giancarlo Marzorati, Barcelò Hotel,
 elaborazione progettuale esecutiva

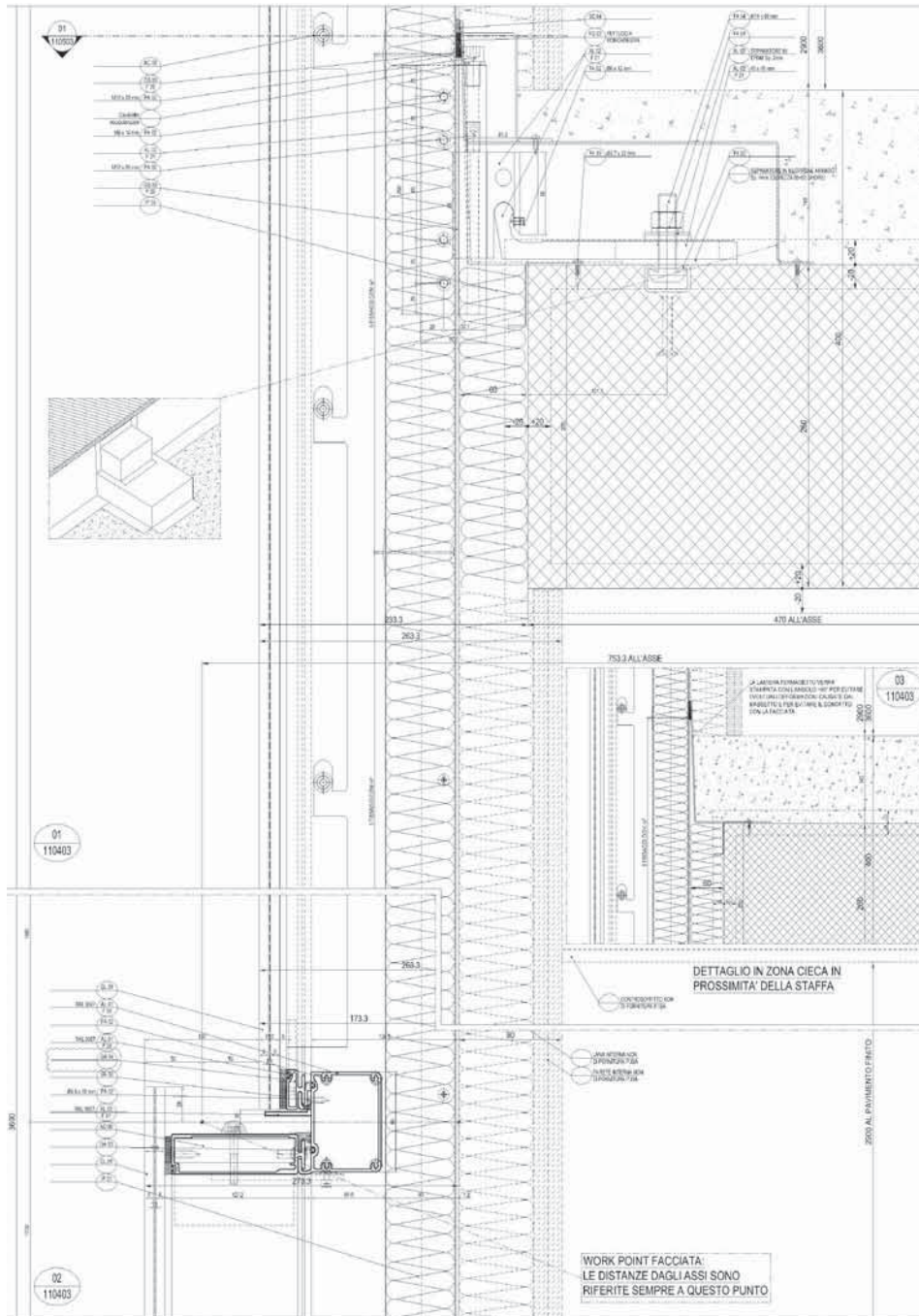
la configurazione evoluta del curtain wall si concreta secondo le condizioni, gli stimoli e le offerte derivanti dalla diffusa "apertura tecnica" della "serramentistica" per i sistemi di facciata (già definita dai processi di *components approach* o *componenting*, con l'impiego di "regole aggregative" per l'assemblaggio dei "pezzi"), che individua un ambito caratterizzato sia dalla molteplicità delle combinazioni, sia dalle sinergie tra elementi tecnici e materiali di diversa origine produttiva: questo sostenendo i criteri di relazione "flessibile" tra i contenuti riferiti agli elementi strutturali e di chiusura, ai dispositivi di connessione e funzionali, fino ai modi di assemblaggio (in accordo alle prestazioni ambientali e tecnologiche che si intende esaminare e ottenere). Allo stesso tempo, rispetto agli elementi di chiusura, l'applicazione si concentra sulla fisicità delle superfici vetrate, combinate e multistrato, che la ricerca sperimentale tende a trasformare in "densa" e in "interfaccia di sistemi intelligenti"¹³: e i principali materiali che costituiscono le superfici esterne sono composti rispetto ai loro processi di cambiamento da "entità stabili" a "entità progettabili" secondo un particolare "programma prestazionale"¹⁴. In questo caso, l'applicazione dei materiali dell'involucro, in forma di "entità progettabili", si struttura rispetto agli esiti delle soluzioni in cui le funzioni tendono a diventare "complesse" (in modo "controllato" e "gestito") e articolate tra loro (in forma *solid state*), realizzando molteplici prestazioni tramite la correlazione di diversi agenti e strati.

La formulazione dei sistemi di involucro applicati agli *skyscraper types*, in accordo alla configurazione evoluta del curtain wall, rileva la messa a punto e l'esecuzione (nelle forme di gamma oppure "customizzate"):

- il sistema di facciata a "cellule" (*unit system*), utilizzato per la realizzazione lungo lo sviluppo in altezza e composto (in forma "preassemblata" e fuori opera) dall'intelaiatura portante a montanti e traversi (in generale, in alluminio) ad altezza di vano e completo degli elementi di chiusura. I componenti a "cellula" sono eseguiti per moduli indipendenti, dal punto di vista strutturale, e sono collegati tra loro con giunti telescopici (capaci di permettere, dopo l'installazione, i movimenti per la calibrazione sul piano di facciata), mediante i profili verticali e orizzontali di configurazione tale da effettuare le connessioni di contiguità:
 - a) a livello orizzontale, tramite sagome di tipo "maschio-femmina" o "femmina-femmina" (con l'aggiunta delle guarnizioni);
 - b) a livello verticale, tramite gli innesti dotati dei profili coprigiunto di continuità che consentono di convogliare l'acqua verso l'esterno (attraverso il sormonto a "tegola" realizzato dall'accostamento tra i profili contigui).
- Il sistema di facciata continua (*stick system*), composto dall'intelaiatura portante a montanti e traversi (in generale, in alluminio) eseguita in opera con il fissaggio meccanico a "pressore" delle chiusure in vetrocamera, e il sistema di facciata strutturale (*structural sealant glazing* o *glass curtain wall*), composto dall'intelaiatura portante a montanti e traversi (in generale, in alluminio)

¹³ S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica...*, cit., p. 42.

¹⁴ Ibidem.



Giancarlo Marzorati, Barcelò Hotel, elaborazione progettuale esecutiva

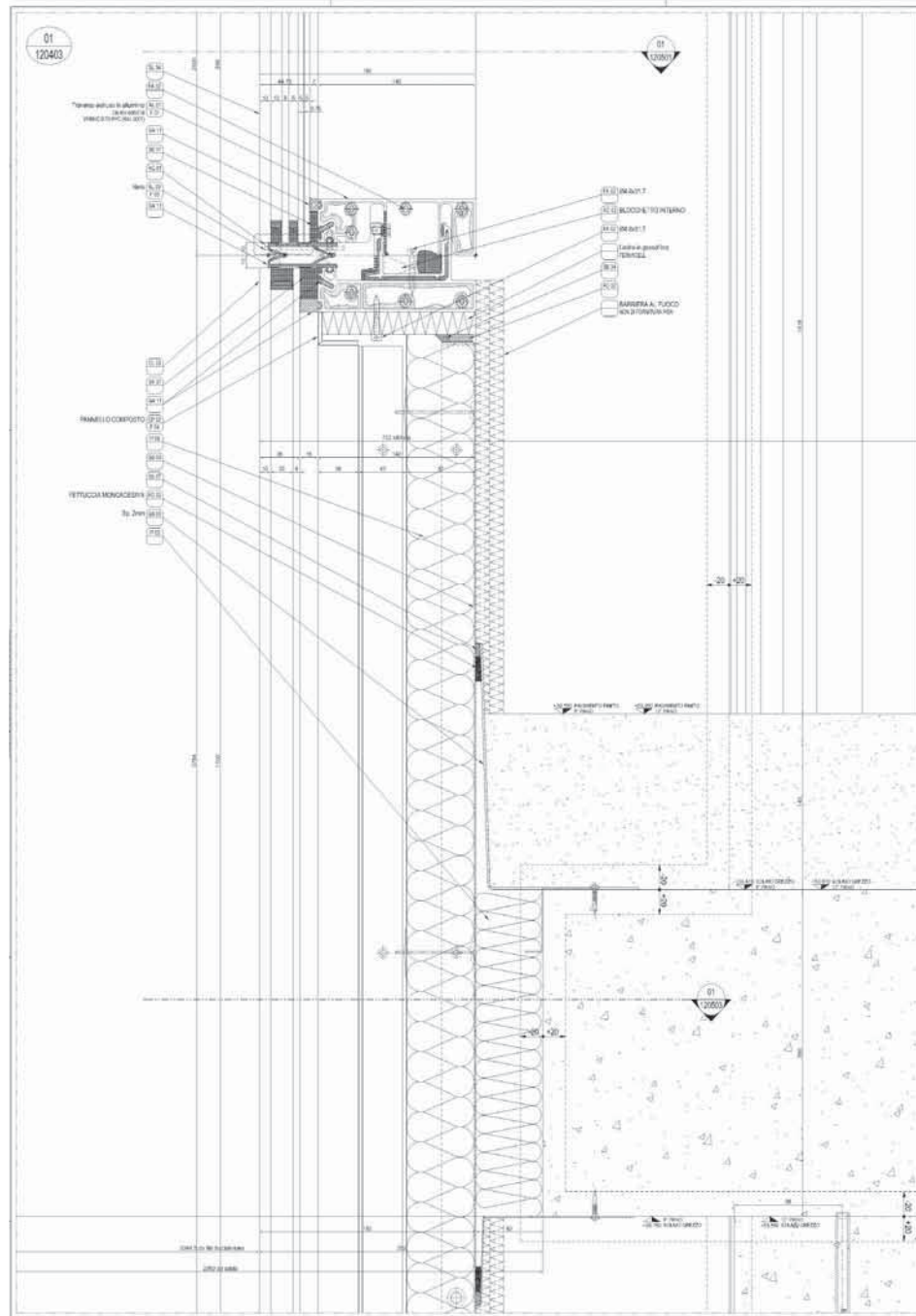
eseguita in opera con il fissaggio delle chiusure in vetrocamera tramite l'uso di silicone strutturale, entrambi utilizzati eventualmente per la realizzazione lungo lo sviluppo dei primi livelli (ad esempio, piano terra, hall multipiano). In particolare, il sistema di facciata strutturale si articola in:

- a) la tipologia *strip window* o *two side supported system*, definita anche "vetratura su due lati", in cui gli elementi di chiusura sono applicati all'intelaiatura mediante il sigillante siliconico strutturale, sui due lati opposti verticali dei montanti e mediante alette di ritegno meccanico sui lati orizzontali;
- b) la tipologia *total wall* o *four side supported system*, definita anche "vetratura su quattro lati", in cui gli elementi di chiusura sono applicati all'intelaiatura mediante il sigillante siliconico strutturale su tutti i lati dei profili.

La combinazione funzionale tra i sistemi di facciata conduce, soprattutto per gli *skyscraper types*, al passaggio dalla "cortina" continua verso le tipologie multistrato, articolando le prestazioni specifiche delle superfici combinate e dei relativi elementi tecnici: questo con la possibilità di realizzare diverse condizioni fisiche e dimensionali di intercapedine compresa tra le due pareti per l'isolamento termico e acustico, per la ventilazione e per alloggiare i dispositivi funzionali (soprattutto gli schermi frangisole) e anche i condotti impiantistici¹⁵. La combinazione multistrato tra le sezioni di facciata realizza le tipologie di "macchina-involucro" permettendo l'esecuzione di molteplici funzioni integrate (per la definizione di complessi meccanismi di interazione dinamica con le condizioni climatiche esterne), di carattere sia permanente (ad esempio, per l'incremento dell'inerzia termica e dell'isolamento acustico relativi alla cortina interna), sia temporaneo (ad esempio, per lo smaltimento del vapore acqueo accumulatosi negli spazi interni durante i periodi a temperatura ambientale ridotta o per il raffrescamento degli stessi spazi durante i periodi a temperatura ambientale elevata). Inoltre, la combinazione multistrato tra le sezioni di facciata si configura quale apparato rivolto all'accumulo dell'energia termica relativa all'irraggiamento solare e/o alla determinazione del moto ascensionale dei flussi d'aria (che esercitano anche la funzione di strato coibente), secondo il funzionamento riferito a:

- i periodi a temperatura ambientale ridotta, per cui l'aria contenuta nell'intercapedine realizza una "fascia tampone" (*buffer zone*, funzionante per "effetto serra", provvedendo alla chiusura delle feritoie di aerazione) caratterizzata da una temperatura intermedia tra le condizioni climatiche esterne e interne;
- i periodi a temperatura ambientale elevata, per cui l'aria contenuta nell'intercapedine è posta in moto ascensionale (per "effetto camino") mediante l'assorbimento della radiazione solare da parte delle pareti in vetro, dai dispositivi schermanti inclusi e dagli ulteriori elementi connettivi, solitamente metallici (che re-irradiano la radiazione stessa).

¹⁵ Cfr. E. Oesterle et al., *Double-Skin Facades*, Monaco, 2001; T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Fassaden Atlas*, Monaco, 2004, trad. it. di Duccio Biasi, *Atlante delle Facciate*, Torino, 2005, pp. 233-240.



Giancarlo Marzorati, Barcelò Hotel,
elaborazione progettuale esecutiva

L'applicazione combinata delle sezioni di facciata in vetro consente di ridurre le perdite termiche dagli spazi interni, mediante una riduzione della velocità dei flussi d'aria in contatto con lo schermo esterno, generando un elevato livello di isolamento termico. La diminuzione della trasmissione termica attraverso la cortina interna consente di mantenere le superfici in vetro a una temperatura prossima ai valori della temperatura media ambientale interna, in modo da rendere più confortevoli gli spazi contigui. La quantità d'aria scambiata tra l'ambiente esterno e l'intercapedine dipende dal gradiente di temperatura, dalla pressione del vento e dalle dimensioni delle feritoie di aerazione: in particolare, nel caso di realizzazione di un sistema "passivo", si possono prevedere dei dispositivi di monitoraggio e dei sensori per ottimizzare la ventilazione o per definire una cavità chiusa termoisolante.

Gli apparati di chiusura per i sistemi di involucro applicati agli *skyscraper types* sono definiti rispetto ai caratteri di espressione morfologica e di interazione con le sollecitazioni ambientali esterne, considerando i materiali e i composti a elevate prestazioni: questi indicati nei principi sia di mediazione tra la trasmissione luminosa e la conduzione termica (in modo da ridurre le dispersioni termiche senza incidere sulla trasparenza), sia di controllo della radiazione solare incidente (anche con l'adozione di rivestimenti selettivi o di dispositivi schermanti).

Gli elementi di chiusura in lastre di vetro applicati alle sezioni di facciata sono eseguiti da lavorazioni finalizzate a realizzare prodotti adeguati agli impieghi specifici, considerando le procedure di trattamento (termico, chimico e superficiale), di stratificazione e di rivestimento: tali procedure sono rivolte a incrementare le prestazioni meccaniche, fisiche, termiche e ottiche, comportando alcune indicazioni operative per l'applicazione particolare ai sistemi di involucro.

Rispetto alla produzione basilare degli elementi di chiusura in lastre di vetro trattato con tempra termica (*toughened glass*, comportando l'insorgere di forti compressioni che incrementano la resistenza meccanica e termica), con tempra chimica (comportando l'incremento della resistenza verso le forze di trazione, di flessione e termiche) e in lastre di vetro stratificato (*laminated glass*, con l'accoppiamento di due o più lastre con l'interposizione di uno strato intermedio), il funzionamento ambientale assume:

- i processi di rivestimento diretti ad aumentare la protezione termica, mediante l'esecuzione di superfici (sp. = $0,1 \div 1 \mu\text{m}$) che permettono di riflettere o di assorbire la trasmissione energetica e di ridurre l'emissività termica;
- i processi immissione, all'interno dell'intercapedine tra le lastre di un doppio o triplo vetrocamera, di miscele gassose dotate di una *trasmissione termica* inferiore a quella dell'aria e con una viscosità cinematica elevata. Le miscele gassose utilizzate (in gas argon, krypton, xeno, freon o in composti krypton-argon e xeno-argon) provvedono alla reazione inerte alle differenze di temperatura tra le lastre (riducendo i flussi di trasmissione termica).



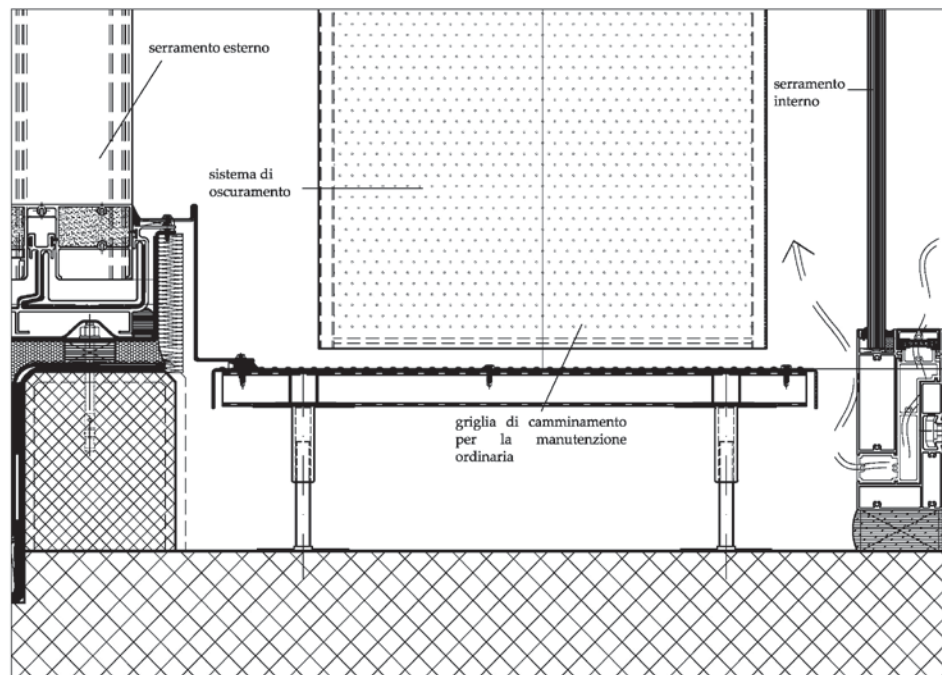
Pei Cobb Freed & Partners, Caputo Partnership e Sistema Duemila, Palazzo Lombardia, costituzione funzionale delle sezioni di facciata

Il funzionamento ambientale ed energetico delle chiusure in vetro nelle sezioni di facciata considera, nel caso delle superfici a controllo solare, l'apporto nei confronti di:

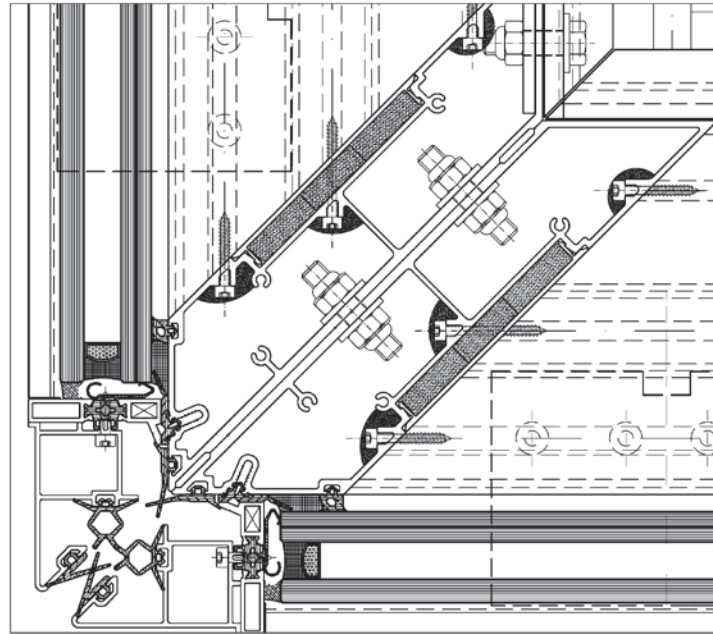
- la riflessione e la diffusione della radiazione luminosa secondo angoli adattati e regolati selettivamente (rispetto alla collocazione geografica, alle condizioni climatiche e alla variazione degli angoli di incidenza);
- l'utilizzo della radiazione zenitale diffusa proveniente dalla volta celeste;
- l'assenza dei fenomeni di abbagliamento e di scarsa illuminazione nelle fasce più interne degli spazi costruiti (con la distribuzione omogenea della radiazione solare mediante la riflessione verso le superfici di intradosso);
- il contenimento dei consumi energetici relativi sia ai carichi termici (provvedendo a una maggiore trasmissione termica e luminosa durante il periodo invernale e a una riduzione dei guadagni solari durante il periodo estivo), sia all'impiego della illuminazione artificiale.

Gli elementi di chiusura in vetro a controllo solare agiscono sulla selettività spettrale della radiazione (di differente *lunghezza d'onda*) mediante soluzioni tecniche e dispositivi capaci:

- di impedire alle componenti infrarosse dello spettro solare di penetrare negli spazi costruiti;
- di filtrare selettivamente la distribuzione spettrale (escludendo una quantità pari a circa il 50% della sua energia), senza causare una eccessiva riduzione della trasmissione luminosa.



Pei Cobb Freed & Partners, Caputo Partnership e Sistema Duemila, Palazzo Lombardia, dettagli di interfaccia



Pei Cobb Freed & Partners, Caputo Partnership e Sistema Duemila, Palazzo Lombardia, dettagli di interfaccia

La protezione solare degli elementi di chiusura in vetro applicati agli *skyscraper types* prevede la valutazione del rapporto tra la riduzione del flusso energetico e l'immissione della radiazione luminosa, mediante l'impiego di:

- i vetri antisoletti, dotati di un fattore solare (*g-value*) < 0,50 e di un fattore di trasmissione luminosa $\tau > 0,40$, realizzati da:
 - i vetri colorati (ottenuti con l'aggiunta di quantità minime di additivi che conferiscono la colorazione grigia, bronzea, verde e anche blu) o rivestiti;
 - i vetri stampati, mediante superfici in modo parziale non trasparenti ottenute tramite serigrafia (in forma di reticoli);
- i dispositivi regolabili di protezione esterni, collegati alle intelaiature dei sistemi e realizzati da:
 - a) i dispositivi di protezione fissi o mobili, in forma di lamelle (in posizione orizzontale o verticale) in metallo, in legno, in plastica o in vetro (di tipo temperato termicamente, come le lastre di vetro di sicurezza monolitico; di tipo stratificato rivestito, dotato di un *fattore di trasmissione luminosa* ridotto; di tipo colorato);
 - b) le tende (avvolgibili o a comando) collocate nell'intercapedine delle lastre in vetrocamera, costituite da materiali in grado di evitare i carichi termici aggiuntivi;
 - c) le pellicole riflettenti fisse nell'intercapedine delle lastre in vetrocamera (che contribuiscono anche alla riduzione della *trasmissione termica*);
- i dispositivi di protezione interni, che assorbono l'energia solare, trasmettendola negli spazi costruiti.

Gli elementi di chiusura in vetro con rivestimento (*coating*) selettivo riflettono, diffondono o guidano la radiazione luminosa verso direzioni particolari negli spazi costruiti. Questi elementi sono costituiti da superfici trattate attraverso:

- il processo di polverizzazione del materiale semiconduttore metallico (come l'ossido di stagno, l'ossido di zinco, il cadmio, l'indio, il tallio e le loro leghe), depositato per via chimica sulle superfici del vetro chiaro tramite un procedimento pirolitico;
- il processo di deposito magnetronico (*sputtering deposition*), che consiste nell'applicazione di un foglio sottile in metallo puro (come lo stagno, l'argento, l'oro, l'indio e il rame) in seguito alla produzione delle lastre di vetro, sulle quali sono aggiunti strati di separazione e protettivi;
- l'applicazione di composti ceramici e smaltati, in polvere di vetro con l'aggiunta di additivi e di pigmenti colorati.

A supporto della disamina a riguardo delle procedure di elaborazione progettuale è possibile prendere in considerazione nel panorama milanese il Barcelò Hotel, opera di Giancarlo Marzorati. Le chiusure verticali del corpo di tipologia a torre sono coordinate, in generale, nei confronti dello sviluppo strutturale interpiano (che considera la quota complessiva di solaio e di altezza interna pari a 3.500 mm) e dei piani netti interni (di altezza pari a 2.720 mm, conseguente alla disposizione dei livelli di solaio e di imposta intradossale del controsoffitto, pari a 780 mm).

I componenti del sistema di involucro sono eseguiti secondo la sezione stratificata e rivestita esternamente in lastre di vetro temperato (per la quota pari a 1.900 mm) e la sezione comprensiva del serramento apribile ad anta ribalta (per la quota pari a 1.600 mm). Oltre il piano di facciata allineato sull'intelaiatura e sulle sezioni stratificate di tamponamento, le lastre di rivestimento esterno in vetro sono sovrapposte e sfalsate, in accordo alla elaborazione morfologica scomposta dei moduli prospettici e alle modalità di connessione tramite i perni (protesi dai telai) in acciaio inox e in alluminio.

Le procedure di coordinamento geometrico e modulare, nei confronti delle strutture di elevazione e delle sezioni di tamponamento del Barcelò Hotel, rilevano la localizzazione delle diverse intensità e sovrapposizioni per le quadrature di facciata, rispetto alle sezioni aperte e di rivestimento: questo anche in relazione alle orditure portanti verticali, mascherate dalle parti opache sia a livello intermedio sia nelle collocazioni angolari. I componenti di facciata offrono l'isolamento termico medio (che comprende la controparete interna) pari a 0,75 W/mqK, la trasmissione luminosa massima pari all'8%, la riflessione luminosa pari al 12% e il potere fonoisolante pari a 46 dB.

L'involucro dell'hotel è realizzato tramite il sistema di facciata continua (a "cellule" indipendenti, di dimensioni comprese tra 1.330÷1.468 x 3.600 mm) definito secondo la modulazione a specchiature multiple (cieche e fisse): la pannellatura, composta in vetro esterno stratificato-temperato, assume la serigrafia verticale a due diverse colorazioni e i serramenti apribili (ad anta ribalta verso l'interno, con profili a scomparsa dietro battuta).



Kohn Pedersen Fox, Torre Diamante, configurazione delle chiusure vetrate

La composizione del sistema di involucro osserva l'impiego della staffatura caratterizzata dal montaggio (per bullonatura) nei confronti dell'estradosso di solaio per mezzo dei profili halfen annegati nel getto strutturale: in questo caso, le piastre di staffaggio culminano con il risvolto diretto all'aggancio agli elementi a "baionetta" collegati ai montanti dei componenti a "cellula" (e dotati dei registri di regolazione tradizionali, sulla sezione verticale interna), secondo la soluzione definita dal carter di avvolgimento in lamiera (fissato per tassellatura al solaio) con la proprietà di proteggere e di contenere il massetto in cls.

L'orditura di facciata dispone l'assetto di appoggio e di contenimento alla stratificazione multipla termo e fonoisolante, diretta fino al tamponamento composto esterno. Nella fascia interna, l'interfaccia è completata per mezzo delle lastre rivolte a produrre la compartimentazione REI 120, in adesione ai traversi. Questi profili, definiti dalla sezione tubolare principale, accolgono l'estensione del perno esterno finalizzato alla giunzione strutturale delle chiusure in vetrocamera. L'intelaiatura verticale (nel tipo a montanti) comporta l'assemblaggio alle strutture di elevazione orizzontali mediante l'innesto alle staffe perimetrali, mentre i setti laterali dei profili realizzano il piano di costruzione (per avvitatura) ai risvolti perimetrali relativi alle cornici di contenimento agli strati termo e fonoisolanti.

Per quanto riguarda le modalità di composizione funzionale e di interfaccia delle sezioni di involucro è interessante considerare il Palazzo Lombardia di Pei Cobb Freed & Partners, con Caputo Partnership e Sistema Duemila. La formulazione della doppia parete esegue un "muro climatico" costituito dai componenti a "cellula" contenenti la chiusura in vetrocamera (basso-emissiva e selettiva, per i valori di fattore solare EN 410 pari al 32 % e di *trasmissione termica U* pari a $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) con intelaiatura in alluminio (in lega UNI EN AW 6060, allo stato fisico T6 a taglio termico; sp. = $2,5 \div 3,5 \text{ mm}$).

L'intercapedine d'aria (con lamelle verticali di schermatura; sp. $\cong 1.000 \text{ mm}$) e la vetratura stratificata di protezione verso gli ambienti interni del Palazzo determinano il funzionamento del "muro climatico", per cui l'aria entro l'intercapedine provvede a includere una "fascia tampone" che genera una temperatura intermedia tra le condizioni climatiche esterne e interne. Il funzionamento prevede che l'aria primaria immessa negli spazi, destinati a ufficio, prima di essere espulsa sia richiamata nell'intercapedine, in modo da svolgere l'opera di "mitigazione" della temperatura.

La composizione del "muro climatico" include, nell'intercapedine, le feritoie di aerazione, collocate in prossimità delle sezioni di impalcato afferenti alla cortina interna (per l'ingresso e la fuoriuscita dei flussi d'aria agli spazi interni), e i dispositivi di schermatura solare, protetti dagli agenti atmosferici e diretti a ridurre l'apporto di calore in funzione delle condizioni esterne di temperatura e di irraggiamento solare.

Gli apparati strutturali e i dispositivi di collegamento di telaio sono individuati nel palazzo Lombardia anche in relazione alla loro capacità di rispondere ai fenomeni di dilatazione e di contrazione di tipo termico, in modo da assorbire le sollecitazioni dovute alle differenze di temperatura tra interno ed esterno (che possono condurre a deformazioni degli elementi di chiusura), e di tipo

igroscopico, in modo da consentire i movimenti differenziali degli elementi di chiusura per effetto delle variazioni di umidità.

I caratteri fisici, strutturali ed esecutivi dei componenti nella tipologia a "cellule" sono efficacemente illustrati Pelli Clarke Pelli Architects nella Unicredit Tower. La tecnologia dell'involucro, realizzato da componenti a "cellula" con intelaiatura in alluminio (con stato di bonifica T5, in lega UNI EN AW 6060) e dalle chiusure in vetrocamera applicate mediante l'incollaggio strutturale (per i valori di *trasmissione luminosa TL* pari al 45÷49 %, di *riflessione luminosa* pari al 10÷22 %, di fattore solare EN 410 pari al 30 % e di *trasmissione termica U* pari a 1,3 W/m².K), si associa al sistema portante orizzontale in c. a.

Il sistema di facciata a "cellule" della torre è costituito dal telaio portante in alluminio completo degli elementi sigillati e premontati in officina: i moduli vetrati sono incollati in forma strutturale sui quattro lati e ogni componente è concepito quale modulo inclusivo di profili e accessori (di dimensioni pari a 1.500 x 4.075 mm), per la realizzazione di una sezione complessiva ridotta in profondità (ovvero pari a 180 mm).

La Torre Diamante, firmata da Kohn Pedersen Fox, offre spunti per valutare i contenuti analitici relativi alla formulazione prestazionale delle chiusure. Le facciate si costituiscono infatti attraverso un sistema di "cellule" indipendenti, integrate dai dispositivi frangisole fissi per calibrare l'apporto dell'energia solare negli spazi interni (di dimensioni pari a 1.500 x 4.100 mm). Il sistema è composto dalla struttura portante a telaio in alluminio sulla quale sono assemblate le chiusure in vetro (secondo i criteri di connessione tali da permettere, in caso di sostituzione, l'esecuzione delle sigillature strutturali in officina).

L'innovazione tecnologica determinata dalle chiusure di involucro osserva l'utilizzo del vetro stratificato di sicurezza rispetto al vetro temperato, al fine di evitare rotture spontanee e la conseguente caduta di frammenti dall'alto, oltre al caratteristico effetto *rolling wave* delle lastre (di tipologia temperata) che influenza l'omogeneità estetica della facciata.

Il modulo di facciata comprende della torre l'orditura portante alle chiusure vetrate in profili estrusi di alluminio a taglio termico (per i valori di *trasmissione termica U* pari a 1,73÷1,32 W/m².K), le superfici di rivestimento in pannelli di alluminio (per i valori di *trasmissione termica U* pari a 0,68÷0,61 W/m².K), le "pinne" decorative esterne in vetro, i dispositivi frangisole orizzontali e verticali di alluminio e i punti di ancoraggio del sistema di pulizia e manutenzione (a "navicella").

La scelta di utilizzare il vetro stratificato non temperato, in grado di assicurare la massima planarità della superficie esterna, consegue al calcolo termico che valuta tutte le temperature raggiungibili in differenti angolazioni e periodi dell'anno: la temperatura rappresenta, infatti, una possibile situazione di criticità per le superfici vetrate che possono essere compromesse in termini di stabilità e di integrità. In questo caso, la soluzione di chiusura assume una pasta di vetro a basso contenuto di ferro che diminuisce la percentuale di assorbimento di calore del materiale, offrendo, allo stesso tempo, un elevato comfort agli ambienti interni sotto il profilo energetico e acustico.



Angelo E. Voleno, D&D, Massimiliano Nistri, sede Tecnet S.p.A., Milano: progettazione, modellazione e produzione dei componenti di involucro

I processi di studio, di modellazione e di produzione dei componenti di involucro hanno interessato la sede Tecnet S.p.A. a Milano, progettata da Angelo E. Voleno, D&D e dallo scrivente.

L'elaborazione fisica, strutturale e funzionale dei moduli di facciata si delinea in questo caso all'interno delle procedure proprie dell'"artigianato tecnologico", comprensive degli studi e dei modelli finalizzati sia all'analisi delle condizioni di interfaccia geometrica e connettiva, sia alla simulazione delle modalità di interfaccia e assemblaggio in opera.

Lo studio delle sezioni di facciata si concentra sulla disamina reale degli strati termo e fono isolanti, secondo l'analisi delle opportunità di lavorazione e di razionalizzazione produttiva e la simulazione dei raccordi e delle connessioni tra materiali.

L'elaborazione costruttiva approfondisce la formulazione degli strati di tenuta (acqua, aria) dei moduli di involucro, rilevando le condizioni effettive di comportamento sia geometrico sia fisico delle guarnizioni, in modo combinato alle modalità di fissaggio e di giunzione: questo attraverso l'analisi delle modalità di applicazione in opera delle guaine e dei criteri di adesione delle sigillature.

Il controllo delle procedure operative di officina per la realizzazione dei moduli di facciata si determina rispetto alle condizioni di connessione e di chiusura, alla valutazione geometrica e dimensionale e alla verifica delle tolleranze di connessione in opera.



Angelo E. Voleno, D&D, Massimiliano Nistri, sede Tecnet S.p.A., Milano: progettazione, modellazione e produzione dei componenti di involucro