

Progettazione ecologica
a cura di **Gianni Scudo** e **Mario Grosso**

AS1

Architettura sostenibile



Recupero bioclimatico edilizio e urbano

Strumenti, tecniche e casi studio

Il edizione completamente rinnovata

- **Con 12 nuove schede
di casi studio in Europa**

a cura di
Paola Gallo

sistemi editoriali **Se**[®]

Professionisti, tecnici e imprese
Gruppo Editoriale **Esselibri - Simone**

Progettazione ecologica
a cura di **Gianni Scudo** e **Mario Grosso**

Architettura sostenibile

Paola
Gallo

Recupero bioclimatico edilizio e urbano

Strumenti, tecniche e casi studio

II Edizione

sistemi editoriali  [®]

Professionisti, tecnici e imprese
Gruppo Editoriale **Esselibri - Simone**

Copyright © 2010 Esselibri S.p.A.
Via F. Russo, 33/D
80123 Napoli

Tutti i diritti riservati
È vietata la riproduzione anche parziale
e con qualsiasi mezzo senza l'autorizzazione
scritta dell'editore.

Per citazioni e illustrazioni di competenza altrui, riprodotte in questo libro, l'editore è a disposizione degli aventi diritto. L'editore provvederà, altresì, alle opportune correzioni nel caso di errori e/o omissioni a seguito della segnalazione degli interessati.

Prima edizione: settembre 2010
AS1 - Recupero bioclimatico, edilizio e urbano
ISBN 978-88-513-0661-8

Ristampe
8 7 6 5 4 3 2 1 2010 2011 2012 2013

Questo volume è stato stampato presso:
Arti Grafiche Italo Cernia
Via Capri, 67 - Casoria (NA)

sistemi editoriali 

Professionisti, tecnici e imprese
Gruppo Editoriale **Esselibri - Simone**

www.sistemieditoriali.it

Per conoscere le nostre novità editoriali consulta il sito internet:
www.sistemieditoriali.it

Coordinamento redazionale: Rina Agostino.

In realtà, in architettura, la relazione che esiste tra il comportamento dell'edificio ed il suo involucro è abbastanza critica, se pensiamo che esso deve isolare dal vento, dall'umidità e dalla pioggia ma deve contemporaneamente essere permeabile alla luce e all'aria, conservare il calore e provvedere alla sicurezza e alla privacy degli utenti. Gli edifici di ultima generazione oltre a garantire il soddisfacimento dei requisiti suddetti, possono anche prevedere di immagazzinare il calore, direzionare e regolare la luce naturale, così come possono controllare i flussi di aria e generare in qualche caso energia.

Ottenere questi risultati, bruciando meno petrolio, carbone o gas è possibile solo combinando i componenti dell'involucro (vecchi e nuovi) ai vecchissimi principi progettuali (pensiamo a quelli suggeriti da Vitruvio o quelli di interpretazione aristotelica, dove l'architettura diventa imitazione dell'ordine naturale) ed assegnare così all'involucro stesso un'importante funzione – quella di regolatore termico – capace di far raggiungere all'interno livelli di comfort ottimali senza l'impiego di sistemi meccanici o impianti che richiedono un alto consumo. Il raggiungimento di tali obiettivi però non è affatto semplice ed implica una particolare attenzione sia nelle scelte del progetto che nella sua messa in opera. Se parliamo poi di involucro degli edifici esistenti, un intervento di riqualificazione su di esso potrebbe non essere sempre conveniente; se, tuttavia, esso migliora il bilancio tra i guadagni e le perdite di calore, riduce l'uso degli impianti tradizionali, elimina le necessità di riscaldamento o ne riduce i consumi, i costi supplementari di un intervento così mirato potrebbero essere recuperati considerando le ricadute che questi vantaggi possono avere sugli aspetti del comfort e soprattutto sui risparmi ottenibili.

Di seguito vediamo quali sono le caratteristiche principali dell'involucro edilizio, illustrandone l'evoluzione subita nel tempo da sistema passivo a sistema attivo.

3.1.3 Evoluzione delle prestazioni energetiche dell'involucro architettonico⁹

Se dal punto di vista architettonico l'involucro edilizio può essere considerato una pelle capace di conferire suggestioni all'edificio, dal punto di vista fisico esso è la superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'ambiente costruito. Come elemento di confine l'involucro ha la funzione di regolare i flussi di energia passanti, al fine di garantire le condizioni di comfort termico, visivo, acustico e la qualità dell'aria negli ambienti confinati, riducendo nel contempo i consumi energetici e gli impatti ambientali.

Facendo l'analisi etimologica dei termini “facciata” ed “involucro”, si possono notare alcune differenze concettuali. Il termine facciata deriva dal latino *facies*, che significa “forma esteriore”, “apparenza” ed indica quindi il volto dell'edificio, ne costituisce insieme al volume l'immagine all'esterno attraverso la quale viene

⁹ Questo paragrafo è stato redatto a cura dell'arch. Rosa Romano ed in particolare è parte integrante della sua tesi di dottorato dal titolo *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, dottorato in Tecnologie dell'Architettura XXII ciclo.

proiettata l'identità propria; l'elemento facciata è fortemente dipendente dalle altre parti e sistemi dell'edificio, sia a livello formale che a livello tecnologico. Il termine involucro, derivante dal verbo latino involvère (volgere intorno, avvolgere), non definisce solo l'aspetto superficiale e bidimensionale, ma indica tutto ciò che avvolge esternamente qualcosa, arrivando a definire un sistema più complesso, dotato di spessore proprio, alcune volte percepibile. L'involucro si può definire come un sistema tridimensionale di chiusura integrale dell'edificio, costituito da diversi elementi tecnici che sono strettamente interdipendenti (strati). La distinzione funzionale tra strato ed *involucro* è legata al loro stato di autonomia strutturale. Gli strati non sono di per sé portanti e non fanno parte di un'unità strutturale principale: sono uno strato una lastra di rivestimento metallico, un pannello isolante o le lastre di un vetro camera. Possono essere strati di supporto, strati di tenuta all'acqua, strati di impermeabilizzazione o di tenuta all'aria, strati di barriera al vapore, ecc., a seconda del loro contributo al funzionamento complessivo del sottosistema a cui appartengono.

L'involucro è prevalentemente portante, ed è in parte o del tutto autonomo dal punto di vista spaziale e/o strutturale. Un involucro può essere formato da più strati, come nel caso della *pelle* esterna ed interna di una facciata.

Dal punto di vista fisico, è involucro architettonico la "superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'edificio"¹⁰. L'obiettivo dei sistemi di regolazione è quello di produrre un ambiente stabile, termicamente equilibrato, in grado di ottenere, anche in architettura, quello stato omeostatico indispensabile alla vita del mondo animale e vegetale.

Il termine *involucro edilizio*, il cui significato è abbastanza recente, ha sostituito il termine chiusura, utilizzato nella scomposizione del sistema tecnologico nella UNI 8290, a sottolineare il concetto di globalità delle parti che definiscono un ambiente interno (caratterizzato da condizioni climatico/ambientali stabili) rispetto ad un ambiente esterno.

Involucro termodinamico

Le prestazioni dell'involucro devono garantire il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati e il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento dei seguenti requisiti prestazionali:

Requisiti ambientali

- mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi abitativi, nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento, entro i limiti di legge di 20 - 22 °C;
- mantenimento delle condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo.

¹⁰ M. Filippi, "L'involucro edilizio: passivo, attivo o ibrido?", da *Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio e i sistemi impiantistici*, Aicarr, 2001.

Requisiti tecnologici

- controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale;
- controllo della combinazione “Temperatura – Umidità – Ventilazione”;
- resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno.

La normativa italiana nel campo della certificazione energetica e del risparmio energetico è in continua evoluzione: l’entrata in vigore dal febbraio 2005 dell’accordo internazionale di Kyoto, che impegna il nostro Paese a ridurre entro il 2012 le emissioni di gas serra al 6,5% rispetto ai valori del 1990, ha dato un forte input al governo e al legislatore ad affrontare da subito questi rilevanti problemi. Lo stesso è avvenuto a livello europeo con l’emanazione di numerose indicazioni legislative che tentano di riunire e unificare le normative di ogni singolo Paese in modo da affrontare il problema energetico con gli stessi strumenti e regole. Le prestazioni energetiche dell’intero organismo edilizio dipendono dall’efficienza dell’involucro chiamato a circoscriverlo: se le componenti di chiusura (verticali, orizzontali, trasparenti, opache) non sono state progettate e realizzate in maniera consona alle prestazioni energetiche dell’edificio, le dispersioni dei flussi di calore passanti attraverso le stesse ne comprometteranno i consumi energetici finali. Le azioni termiche che agiscono sull’esterno di un edificio sono combinazioni d’impatti radiativi e convettivi. La componente radiativa consiste nella radiazione solare incidente e nello scambio termico radiativo con l’ambiente esterno e con il cielo. L’impatto termico convettivo è una funzione dello scambio con la temperatura dell’aria circostante, e può essere accelerato dal movimento dell’aria. Le dispersioni termiche che avvengono sotto forma di calore dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna e esterna dell’involucro stesso e dalla resistenza termica del materiale (o combinazione di materiali) dei quali è fatto l’involucro. I materiali componenti un involucro che separa due ambienti a temperature differenti offrono una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua facilità a trasmettere il calore (trasmittanza).

La **trasmittanza termica (U) W/m²K**, o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno è definita dalla norma UNI 7357 come il *flusso di calore che passa da un locale all’esterno (o ad un altro locale) attraverso una parete per mq di superficie della parete e per K di differenza tra la temperatura del locale e la temperatura esterna, o del locale contiguo.*

La **conduttività o conducibilità termica (λ) W/(m·K)** di un materiale indica il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità (densità) e dal contenuto igrometrico del materiale.

La resistenza termica (R) m^2K/W totale di una parete, che è ovviamente l'inverso della trasmittanza termica, sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo.

Particolare attenzione deve inoltre essere data alle prestazioni termiche dell'involucro edilizio in regime termico variabile, nei mesi invernali (in quei periodi in cui il riscaldamento è saltuario, o intermittente, specie con attenuazioni notturne), ma soprattutto nei mesi estivi (durante la successione di giornate caratterizzate da valori elevati di temperatura e di intensità d'irraggiamento solare). Gli involucri edilizi dovrebbero essere progettati e realizzati in modo tale da assicurare condizioni ambientali di sufficiente benessere termoigrometrico all'interno degli ambienti confinati, anche in assenza di impianti di condizionamento.

A tale scopo, assumono particolare importanza:

- il sistema di protezione dall'irraggiamento solare (schermi, aggetti, alberi ecc.);
- l'inerzia termica delle pareti opache dell'edificio, quantificabile in base all'attenuazione (s) dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella ambientale esterna, e al ritardo di fase (f), cioè all'intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno (ore). Buone prestazioni sono assicurate, da questo punto di vista, da pareti opache in grado di fornire come valori orientativi $s < 0,05$ e $f > 8$ ore, relativamente a una ipotetica oscillazione sinusoidale della temperatura esterna avente periodo di 24 ore. Per ridurre i consumi energetici per la climatizzazione estiva risulta fondamentale attenuare i valori massimi di temperatura negli ambienti e ritardare l'immissione di energia termica negli stessi, spostandola verso le ore notturne quando la temperatura dell'aria esterna è ai valori minimi e il fenomeno del reirraggiamento raffredda rapidamente le superfici esterne.

Le perdite di calore attraverso l'involucro possono essere ridotte attraverso le seguenti strategie:

- utilizzare la massa termica;
- prevenire la conduzione di calore aggiungendo isolamento termico all'involucro per incrementare la sua resistenza termica;
- progettare l'edificio in un modo più compatto per ridurre la superficie complessiva, attraverso la quale il calore può essere trasmesso;
- aggiungere barriere al flusso di calore radiativo, per esempio attraverso la posa di fogli in alluminio dietro i radiatori e usando vetri isolanti e a bassa emissività, come pure isolare i cassonetti delle finestre e porte laddove sono presenti le avvolgibili esterne.

Nella fase progettuale dell'involucro edilizio si dovrà prestare particolare attenzione al controllo e alla verifica dei fenomeni di condensa interstiziale e superficiale, come previsto dalla Norma UNI EN ISO 13788, prestando particolare attenzione

alle condizioni igrometriche di progetto interne ed esterne dell'edificio e alle caratteristiche (spessore, conduttività termica, resistenza alla diffusione del vapore) di ciascuno strato di materiale componente la parete.

Il calcolo della condensa interstiziale viene effettuato quantificando i profili delle temperature e delle pressioni di vapore acqueo (saturo ed effettivo) all'interno della parete: se la pressione di vapore effettiva (P_e) raggiunge o supera quella della pressione di vapore saturo (P_s), si avrà formazione di condensa. Tale fenomeno può essere arginato disponendo in ordine decrescente gli strati che compongono la struttura in funzione della loro permeabilità al vapore acqueo (i materiali con resistenza maggiore al vapore vanno collocati verso l'ambiente abitato, quelli con resistenza minore vanno collocati verso l'ambiente esterno). I fenomeni di condensa superficiale si verificano, invece, quando la temperatura della superficie interna della parete è inferiore alla temperatura di condensa dell'aria dell'ambiente abitato. Dal calcolo del profilo della temperatura all'interno della parete, si determina anche il valore della temperatura superficiale interna ed è quindi possibile valutare gli eventuali rischi di condensa superficiale.

Nella progettazione dei sistemi di involucri tecnologici, risulta fondamentale analizzare le condizioni climatiche presenti nell'intorno ambientale, cercando di ricreare un adeguato equilibrio tra parametri climatici esterni, condizioni termigrometriche interne e componenti tecnologiche scelte.

L'ideazione, la progettazione e la realizzazione di un involucro architettonico dinamico comportano una complessità direttamente proporzionale alle prestazioni richieste ed alle variabili presenti in ogni intervento. Per questo motivo è importante definire a priori le caratteristiche principali dell'involucro e giungere, attraverso queste, ad organizzare un sistema di priorità nella fase della sua progettazione e realizzazione.

Un edificio "tradizionale" è capace di rispondere alle sollecitazioni esterne soltanto attraverso la sua componente massiva e la sua configurazione costruttiva, mentre risulta essere incapace di rapportarsi ad un ambiente in continua variabilità. Al contrario, un edificio "intelligente" deve possedere la capacità di conoscere ciò che accade al suo interno e nel suo immediato intorno, *decidere* il modo in cui intervenire per rendere confortevole gli ambienti confinati e rispondere velocemente al mutare delle esigenze e delle condizioni climatiche.

Gli involucri sono, tra le componenti architettoniche, quelli che possiedono una maggior interdipendenza con i sistemi meccanici di controllo e negli ultimi anni si sono trasformati da sistemi passivi, capaci di utilizzare gli agenti naturali esterni e le fonti di energia rinnovabili, in:

- *sistemi attivi*, che riescono ad integrarsi con gli impianti grazie a captatori solari, pannelli fotovoltaici, vetri a prestazioni elevate ecc.;
- *sistemi ibridi*, dinamici e polivalenti, capaci di prestazioni sia attive che passive.

L'involucro passivo

L'involucro passivo, strettamente legato alle caratteristiche dell'ambiente esterno, garantisce di:

- massimizzare il guadagno solare diretto perché dotato di estese superfici vetrate ad elevato isolamento termico e attrezzate con sistemi schermanti per il controllo dell'abbagliamento e per la protezione solare nel periodo estivo;
- accumulare l'energia solare anche quando essa non penetra direttamente nell'ambiente, grazie all'adozione di tecnologie quali il muro *Trombe*, o i collettori solari ad aria ed acqua;
- avere spazi-cuscinetto tra i sistemi di chiusura trasparente e opaca al fine di incrementare la protezione dal freddo e sfruttare l'energia solare nel periodo invernale;
- ridurre l'apporto di calore durante i mesi estivi attraverso la presenza di schermature solari artificiali e/o naturali;
- incrementare l'illuminazione naturale attraverso un adeguato dimensionamento delle aperture trasparenti;
- favorire la ventilazione naturale diminuendo i consumi energetici per la climatizzazione estiva;
- integrare soluzioni per l'adozione di sistemi per il passive cooling che garantiscono nei mesi estivi una riduzione del carico termico interno attraverso la ventilazione notturna degli ambienti.

Solitamente gli involucri passivi sono adottati in edifici a destinazione residenziale, con una bassa domanda di energia, in cui gli utenti si fanno carico della gestione e regolazione dei dispositivi di comando che consentono all'involucro di assumere alternativamente le configurazioni giorno/notte e inverno/estate. Questa soluzione d'involucro presenta tuttavia i seguenti limiti applicativi:

- spesso limita l'espressione architettonica del progettista che deve adottare soluzioni tecnologiche standard in relazione all'orientamento dell'involucro;
- risulta strettamente legato alla gestione dell'utenza, se non è collegato a sistemi impiantistici che gli permettano di assumere le varie configurazioni "bioclimatiche" autonomamente;
- richiede precisi interventi di variazione delle sue prestazioni in relazione al variare delle situazioni climatiche esterne e tali interventi non sempre sono agevoli;
- presenta una bassa efficienza di utilizzo dell'energia solare, sia a causa della ridotta capacità di captazione dei componenti edilizi passivi, sia a causa dell'assenza di efficaci sistemi per la distribuzione e l'accumulo del calore.

Dai sistemi di guadagno solare passivo può derivare una riduzione degli indici energetici del 30–50%. I progetti di *architettura passiva* o ad *emissione zero* sono di facile realizzazione.

Le medesime componenti valgono per l'architettura in vetro, dove deve essere posta particolare attenzione al controllo degli apporti solari ed alle dispersioni per trasmissione.

L'involucro attivo

L'involucro attivo è invece caratterizzato dalla presenza di sistemi impiantistici per la captazione dell'energia solare e la ventilazione naturale e artificiale. Sono esempi di involucro attivo le facciate dotate di collettori solari ad aria o ad acqua e di pannelli fotovoltaici ma, in qualche modo, anche le facciate a doppia pelle o i sistemi d'involucro dotati di recuperatori di calore, che permettono di ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio mantenendo le condizioni a contorno ad una temperatura costante.



Fig. 3.5a – 3.5b – 3.5c Gli edifici del complesso residenziale Solar City Linz, Austria, 1996-2006, caratterizzati da un involucro iperisolato (Norman Foster, Richard Rogers, Thomas Herzog e Renzo Piano Building Workshop in qualità di consulente del gruppo progettuale).

Certamente l'involucro attivo risulta più efficiente in termini energetici e più controllabile in termini funzionali rispetto a quello passivo: i componenti impiantistici per la captazione dell'energia solare e per la distribuzione e l'accumulo dell'energia trasformata hanno infatti prestazioni testate ed i flussi d'aria movimentati da elettroventilatori trasportano quantità di calore ben definite in relazione alle differenze di temperatura in gioco. Del resto la modularità dimensionale tipica dei componenti impiantistici vincola non poco le opportunità di espressione architettonica e crea problemi di accoppiamento fra il disegno della facciata ed i caratteri distributivi e morfologici degli ambienti interni.

Nell'ultimo decennio gli involucri attivi con collettori solari ad aria o ad acqua integrati non sembrano aver incontrato, se non in applicazioni particolari, l'interesse dei progettisti. Le ragioni sono da ricercarsi non soltanto nel fatto che la presenza di tali collettori in facciata e/o in copertura limita fortemente le possibili soluzioni compositive, ma anche nel fatto che i bilanci energetici ed economici effettivamente sperimentati non sono poi risultati così favorevoli come in un primo momento erano apparsi alla luce di scenari energetici assai pessimisti.

Significativo è invece il successo delle “doppie pelli trasparenti” e delle “facciate fotovoltaiche”, queste ultime costituite da celle di silicio integrate nelle specchiature vetrate. I pannelli fotovoltaici si trovano ormai in commercio con diverse dimensioni e caratteristiche, nella versione semitrasparente risultano essere particolarmente adatti per integrazioni architettoniche in situazioni nelle quali sia necessario ombreggiare lo spazio confinato. Inoltre la necessità di ventilare la parte anteriore del pannello ne rende consigliabile l'applicazione in soluzioni di facciata ventilata, dove il contributo termico del sistema fotovoltaico incrementa i moti d'aria ascensionali all'interno dell'intercapedine.



Fig. 3.6a – 3.6b – 3.6c La facciata fotovoltaica in pannelli di silicio policristallino semitrasparente della Biblioteca Pubblica Pompeu Fabra, Miquel Brullet Matarò, Barcellona, Spagna.

L'involucro ibrido

L'involucro ibrido è caratterizzato dalla complementarità delle tecnologie impiantistiche ed edilizie e dalla presenza di sistemi di regolazione e controllo che lo rendono una componente fondamentale all'interno del complesso sistema edificio-impianto. In generale questi tipi di involucro sono contraddistinti dalla presenza di uno o più dei seguenti sistemi tecnologici:

- materiali e sistemi innovativi ad alte prestazioni per la captazione e l'accumulo dell'energia solare;
- dispositivi per gestire la ventilazione naturale in combinazione con sistemi di ventilazione meccanica;
- schermi mobili per il controllo dell'irraggiamento solare;
- presenza di soluzioni tecnologiche atte ad incrementare la penetrazione della luce naturale e modularne l'intensità;
- sistemi di building automation per la gestione integrata degli impianti e degli elementi che costituiscono la pelle dell'edificio.

L'involucro ibrido garantisce diverse prestazioni in termini termo-igrometrici e funzionali, prestazioni che in passato erano affidate ad apparati tecnologici di differente natura; inoltre può essere definito *dinamico*, perché in grado di

modificare le sue prestazioni termo-igrometriche nel tempo, in relazione alle circostanze climatiche ed alle esigenze dell'utenza.

In generale gli involucri ibridi presentano, rispetto ai sistemi di involucro tradizionale, costi di costruzione e di manutenzione superiori, a causa dei materiali impiegati, dell'entità dei pezzi speciali, della complessità di gestione dei componenti e della loro reciproca collocazione. Si tratta di sistemi tecnologici che tuttavia contribuiscono efficacemente al bilancio energetico dell'edificio, limitando la necessità di ricorrere a dispositivi elettromeccanici di climatizzazione invernale ed estiva, con una conseguente riduzione dei consumi energetici.



Fig. 3.7a – 3.7b – 3.7c BMW Welt, COOP HIMMELB(L)AU, Monaco, Germania, 2007. Nella doppia pelle dell'edificio è integrato un sistema di tubi radianti che provvedono al suo riscaldamento e raffreddamento.

3.1.4 Interventi sull'involucro

I componenti e gli elementi edilizi capaci di modificare e/o migliorare le caratteristiche dell'involucro rendendolo performante dal punto di vista dei consumi energetici, sono sostanzialmente riassumibili in:

- murature di tamponamento;
- infissi esterni;
- coperture e relativi elementi costitutivi.

Sostituendo tali elementi edilizi con componenti analoghi ma caratterizzati da una maggiore qualità e da caratteristiche prestazionali eco-efficienti, si può migliorare il comportamento energetico dell'edificio. Si possono, ad esempio, ridurre sensibilmente le dispersioni termiche, oppure possono essere aumentati i flussi energetici naturali in entrata (radiazione solare) al fine di consentire una minore necessità di produzione energetica per il fabbisogno termico.

Le murature

In un qualsiasi intervento di riqualificazione edilizia, l'utilizzo delle tecniche tradizionali di costruzione unite all'incremento degli spessori delle murature