

L'integrazione Edificio-Impianto nell'architettura sostenibile

Building-HVAC system integration in sustainable architecture

MARCO MASOERO* - CARLO OSTORERO** - MARCO SIMONETTI*** - MARCO SURRA***

* Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino

** Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali, Politecnico di Torino

*** Ingegnere Libero Professionista, Rivoli (Torino)

RIASSUNTO

La memoria ripercorre criticamente l'evoluzione della pratica costruttiva, considerando in particolare il tema dell'integrazione fra edificio e sistemi impiantistici, a partire dai primi anni '70 fino ai giorni nostri.

In tale evoluzione si identifica una prima fase, originata dalla crisi energetica del 1973, in cui l'attenzione è stata focalizzata sulle prestazioni energetiche nell'utilizzazione del sistema edificio-impianto. La successiva fase, indicativamente situata nel decennio successivo, ha centrato l'attenzione sul tema della qualità ambientale e in particolare dell'indoor air quality, sotto i due aspetti del controllo passivo delle emissioni e del controllo attivo attraverso la ventilazione. Negli ultimi anni, infine, l'enfasi si è progressivamente spostata su una visione globale del problema, introducendo il concetto di analisi di ciclo di vita dell'edificio.

Vengono presentate le principali soluzioni costruttive, già collaudate nella pratica, coerenti con l'obiettivo della sostenibilità, discutendo in particolare quegli aspetti del progetto architettonico che presentano particolare rilevanza sotto il profilo delle prestazioni energetiche e della qualità ambientale: caratteristiche della struttura, scelta dei materiali per l'isolamento termico, caratteristiche dei componenti vetrati, adozione di ventilazione naturale o ibrida, ecc.

Per le varie soluzioni esaminate vengono inoltre discusse le tipologie di impianto di climatizzazione applicabili e gli aspetti di integrazione costruttiva tra impianto ed edificio.

Questo nuovo approccio richiede un ampliamento del profilo culturale e professionale del progettista che, accanto alle tradizionali competenze tecniche, deve maturare la consapevolezza di essere parte di un sistema complesso entro il quale il suo contributo si colloca oltre la soglia meramente specialistica.

ABSTRACT

The paper examines the evolution of building practice, starting from the early 1970's until present day, taking particularly into account the theme of Building-HVAC system integration.

In such evolution, a first phase originated by the energy crisis of 1973 is identified, in which the emphasis was focused on the energy performance of the building / HVAC system. The following phase, approximately situated in the following decade, has centred the attention on environmental quality, particularly on IAQ, under the two aspects of passive control of contaminant emission and active control of air quality through ventilation. Finally, in the last years, emphasis has progressively shifted towards a more comprehensive view of the problem, introducing the Life Cycle Assessment concept in the building sector.

The main constructive solutions, already tested in practice, that are coherent with the goal of sustainability are presented, emphasising the aspects of architectural design that are particularly relevant in terms of energy performance and environmental quality: characteristics of the structure, choice of materials for thermal insulation, properties of glazing, adoption of natural or hybrid ventilation, etc. For the examined building design solutions, the suitability of various HVAC system types and their integration in the building are discussed.

This new approach requires a broadening of the cultural and professional profile of the designers that, aside of the traditional technical know-how, must develop the awareness of being part of a complex process in which his/her contribution is situated beyond the threshold of mere specialisation.

1. INTRODUZIONE

Il tema della sostenibilità è divenuto argomento centrale nel dibattito culturale sulla prassi dell'architettura odierna. Gli edifici sono responsabili infatti di oltre un terzo del consumo di energia dei Paesi dell'Europa occidentale e notevole è l'impegno di altre risorse – acqua, materiali, ecc. – che vengono messi in gioco nel processo edilizio.

Questo articolo vuole esaminare criticamente l'evoluzione della prassi progettuale e costruttiva degli ultimi trent'anni, con particolare riferimento agli aspetti che hanno maggiore influenza sul consumo di risorse non rinnovabili, quali la scelta dei materiali da costruzione e l'integrazione tra edificio e impianti. L'analisi esaminerà sia gli aspetti impiantistici sia quelli architettonici e costruttivi, sottolineandone le interrelazioni. L'ultima parte del testo è dedicata alla presentazione di un certo numero di realizzazioni recenti che, nella nostra opinione, ben sintetizzano le tendenze attuali.

Il termine "sistema edificio-impianto" è entrato a far parte del linguaggio tecnico corrente da non più di 25 anni. Esso sottolinea l'importanza dell'integrazione fra le caratteristiche dell'involucro edilizio e dell'impianto, tematica alla quale i progettisti avevano precedentemente prestato relativamente poca attenzione.

Lo Stile Internazionale, affermatosi nel secondo dopoguerra, aveva privilegiato infatti un'architettura svincolata dal contesto geografico e quindi climatico: un'architettura in cui l'impianto costituisce elemento a sé, in grado di soddisfare i requisiti di comfort, compensando le carenze di un involucro progettato in base a criteri accettabili

solamente in un contesto di disponibilità virtualmente illimitata di energia a basso costo.

Tale approccio venne messo in discussione dalle crisi petrolifere degli anni '70, che ebbero il pregio di rivalutare le tradizioni regionali e di favorire la diffusione di tecnologie mirate al contenimento dei fabbisogni e allo sfruttamento degli apporti di energia gratuiti. Si affermò in questo periodo, sulla spinta della legislazione sul risparmio energetico, la prassi dell'isolamento termico delle strutture opache e la scelta di serramenti con migliori prestazioni energetiche ed acustiche e si realizzarono i primi esempi di edifici solari passivi.

Sul fronte degli impianti di riscaldamento, migliorò l'efficienza dei generatori di calore e si diffuse l'impiego dei sistemi di regolazione locale e centralizzata; vennero progressivamente abbandonati i tradizionali impianti a colonne a favore di schemi di distribuzione più efficienti. Si sperimentò inoltre l'impiego di pompe di calore, di sistemi solari attivi e di piccoli sistemi di cogenerazione.

Nel settore terziario, per gli impianti di condizionamento si diffusero le soluzioni a portata variabile con recupero di energia sull'aria di rinnovo e sulla produzione dell'acqua refrigerata.

Tale evoluzione non fu priva di "incidenti di percorso": inevitabile citare i problemi di ponte termico, dovuti a imperfetta realizzazione dell'isolamento, e le carenze nella qualità dell'aria indoor, imputabile a insufficiente ventilazione o a carenze impiantistiche, così frequenti in molti edifici realizzati a cavallo fra la fine degli anni '70 ed i primi anni '80.

Il decennio successivo, caratterizzato da prezzi dell'energia stabili se non in calo, spostò l'enfasi proprio sui problemi di qualità ambientale. Si diffuse la consapevolezza dell'importanza della qualità dell'aria, sia per quanto riguarda la scelta di materiali a bassa emissione, sia per quanto concerne il controllo attivo tramite la ventilazione: ne è testimone la copiosa letteratura, pubblicata nelle riviste specializzate e negli atti di convegni tematici, prodotta in materia di IAQ, tema ancora oggi centrale per la ricerca ed il dibattito scientifico.

In campo impiantistico si consolidarono le soluzioni già sperimentate nel decennio precedente, ma si diffuse anche un certo scetticismo riguardo agli impianti ad energia rinnovabile.

La visione del problema energia in architettura ha subito, negli ultimi anni, una significativa evoluzione: si è infatti affermata l'idea che il consumo di risorse non deve essere riferito solamente all'esercizio dell'edificio, bensì a tutto il ciclo di vita, a partire dalla fase di costruzione fino alla sua trasformazione o demolizione. A tale principio si ispirano i numerosi programmi e documenti tecnici, come ad esempio il caso del "Green Building Challenge 2000", messi a punto recentemente.

2. DALLA QUANTITÀ ALLA QUALITÀ: TEMPO, FUNZIONE, MATERIALE

Il dibattito architettonico ha subito negli ultimi decenni un processo di "accelerazione" nello spostamento dall'analisi della "critica" a quella della "cronaca".

"Cronache di architettura" era il titolo di una famosa e temutissima rubrica tenuta da Bruno Zevi sulle colonne dell'Espresso e tutti ricordano che il sulfureo temperamento di Zevi gli impediva programmaticamente di fare "cronaca" per spingerlo con storiche stroncature o con laudi sublimi ad una parzialissima, ma virilmente schierata "critica".

Gli ultimi trenta anni hanno testimoniato il passaggio di diversi “tentativi di fuga” dalle definizioni o meglio dalle imposizioni di quel gruppo di condizionamenti ambientali, sociali ed economici che potremmo definire “ortodossia del Moderno”.

La necessità della ricostruzione prima e della resa quantitativa per il feroce inurbamento dettato dall'incremento demografico nelle aree ad alta densità industriale poi, avevano determinato una “prassi linguistica condivisa” che si nutriva contemporaneamente della semplificazione delle regole international style e dello scimmiettamento impoverito della cosiddetta architettura dei “maestri”.

Al termine del processo di necrosi di questa prassi esplosivo col movimento Post Modern sulla fine degli anni Settanta e durante gli anni Ottanta il livello della crisi linguistica sembrava giunto alla sua acme. Le varie edizioni della Biennale di Architettura di Venezia lo testimoniano. Gli anni Novanta segnano “la fine della guerra per mancanza di armi” (ovvero di idee sane e di proposte credibili) poiché l'inutilità di una contrapposizione fra religiosità contrapposte (la fedeltà al moderno, il ritorno alla tradizione) si dimostrò inconciliabile. L'idea di un blando sincretismo o di un alido ignorarsi a vicenda prevalse per lasciare sul campo spettacolari esempi della trasposizione al tema accennato nel primo pensiero. Morta la critica, morta l'idea, morta la capacità propulsiva e utopica in una fiducia nei propri mezzi di contributo culturale alla crescita della storia umana, l'architettura e la produzione edilizia furono conquistate dalla cronaca, ovvero dalla spettacolarizzazione giornalistica, dal trionfalismo o dal catastrofismo becerato che ci ha consegnato come simbolo supremo di tutto ciò il Museo Guggenheim di Bilbao quale indicazione di un futuro apparentemente giocoso, ma nella realtà incerto e ambiguo, in cui nessuno di noi vorrebbe vivere.

3. VERSO UN'ARCHITETTURA SENZA “STILE”

Fortunatamente in modo sotterraneo e non privilegiato dalla grancassa ignorante dei media si è sviluppata una corrente parallela di sperimentazione di autori vecchi e nuovi che hanno ridiscusso le regole dello show business dell'architettura. Il tema della progettazione si è nuovamente spostato verso la sua risorsa principale “l'uomo”.

La misura umana, la conservazione ambientale, la concezione dei materiali, degli elementi, della durata, del confort, sono tornati a misurarsi con l'uomo e non col concetto dell'alta moda subito obsoleta dell'architettura.

Si possono a tal proposito assumere come paradigmi di questo processo le edizioni degli Expo internazionali. Da molti considerati come relitto di un passato da imperialismi coloniali queste mostre se misurate sull'idea della sperimentazione, sono invece un formidabile banco di prova ed altrettanto una cartina al tornasole dei mutamenti di strategia.

Con l'edizione di Siviglia del 1992 l'Expo assume il suo carattere di identificazione col concetto di bonifica ambientale.

In Spagna fu l'occasione di una città e di intera regione ad economia depressa, in Portogallo a Lisbona, nel 1998, della sostituzione del polo petrolchimico con una delle più moderne ed efficienti aree fieristiche d'Europa, in Germania, ad Hannover nel 2000, della celebrazione sottoforma di apoteosi, della tecnologia al servizio dell'ambiente e della sostenibilità.

Il padiglione britannico di Grimshaw and Partner a Siviglia (Figura 1) “impara” la tecnica del raffrescamento evaporativo dalle antiche abitazioni medioevali arabo

spagnole e propone una soluzione high tech di principi antichi. Unendo frangisole leggeri in tessuto ad una scatola di vetro acciaio e alluminio dotate di cellule fotovoltaiche e di un ruscellamento a ciclo chiuso di acqua sulle superfici esterne, il padiglione segna un modello per la concezione dell'edificio sostenibile.

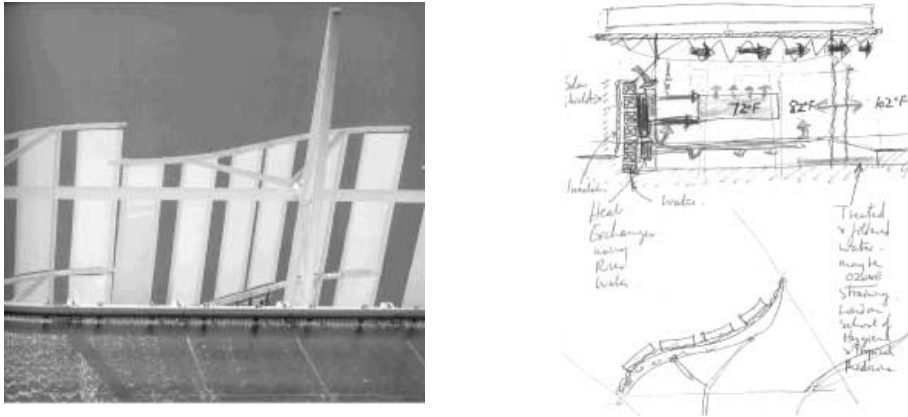


Figura 1 - Padiglione Britannico all'Expo di Siviglia. Sin: Particolare della Copertura e del Sistema di Raffrescamento Evaporativo. Dest. Studio della Strategia Bioclimatica

Concependo l'articolazione della maggior parte delle aree espositive come temporanee con materiali totalmente riciclabili (legno, carta e acciaio), l'Expo di Lisbona sancisce il principio dell'LCA (valutazione del ciclo di vita dell'intervento e dei materiali) quale ineludibile tra gli elementi della strategia decisionale.

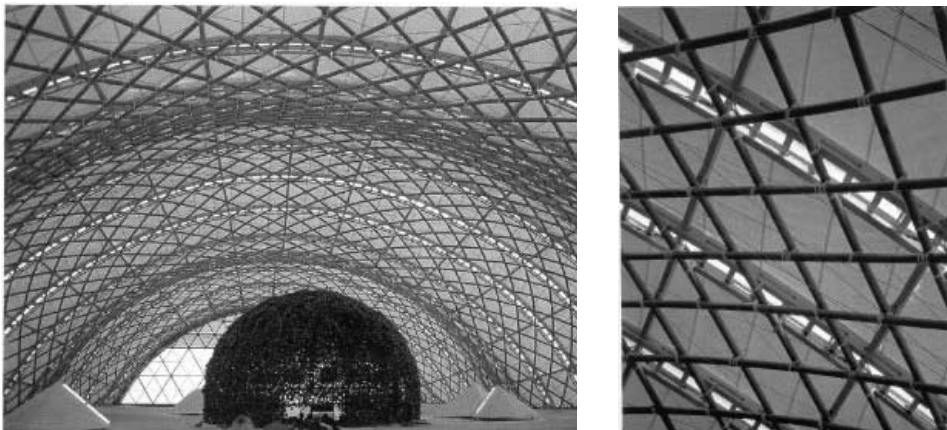
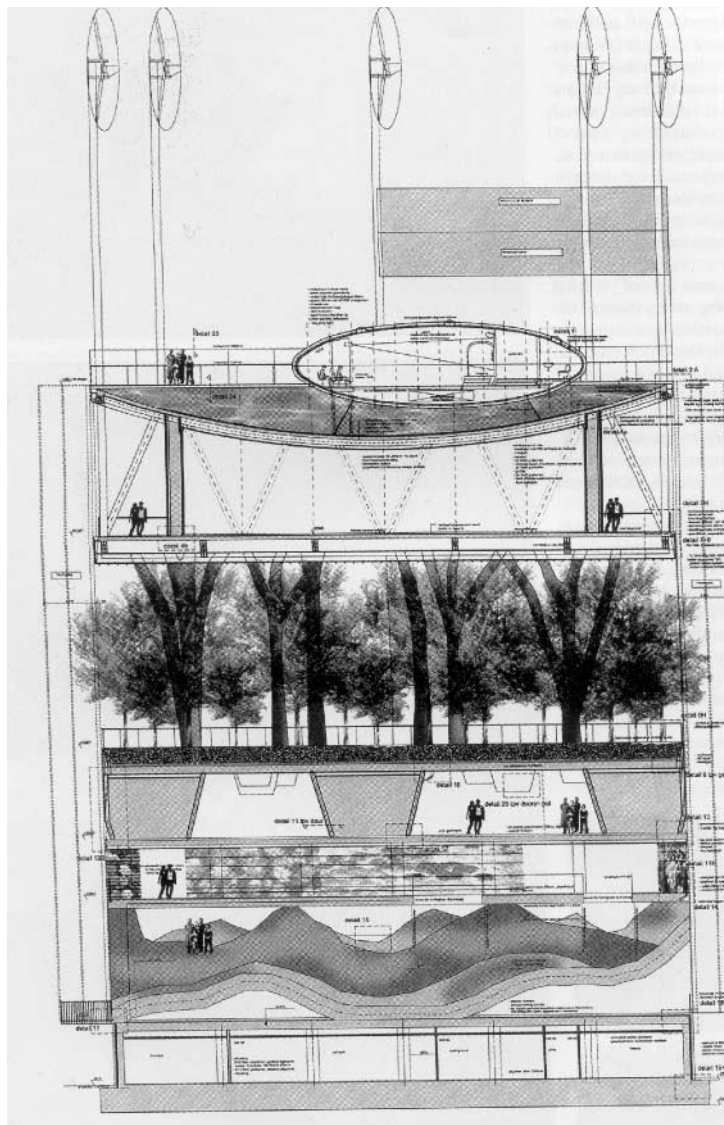


Figura 2 – Padiglione Giapponese all'Expo di Hannover. Vista Generale Interna e Dettaglio

Realizzando edifici spettacolari quali il padiglione Giapponese di S. Ban e F. Otto (per le strutture) (Figura 2), in cartone riciclato, carta e legno, ovvero altamente poetici come il padiglione svizzero di P. Zumtor di normale produzione dell'industria del legno perfettamente e completamente riutilizzabili a fine mostra, ovvero ipertecnologici come i quaranta metri del padiglione olandese di MVRD (Figura 3 e 4), che con turbine eoliche sul soffitto e con riciclaggio delle acque alimentava gli ecosistemi dei Paesi Bassi riprodotti su quattro piani di solette in verticale, l'Expo di Hannover sancisce il mutamento di paradigma nel "non dibattito architettonico" degli ultimi anni.



*Figura 3 – Sezione Schematica del Padiglione Olandese all'Expo di Hannover
riproducente gli Eco-sistemi dei Paesi Bassi*

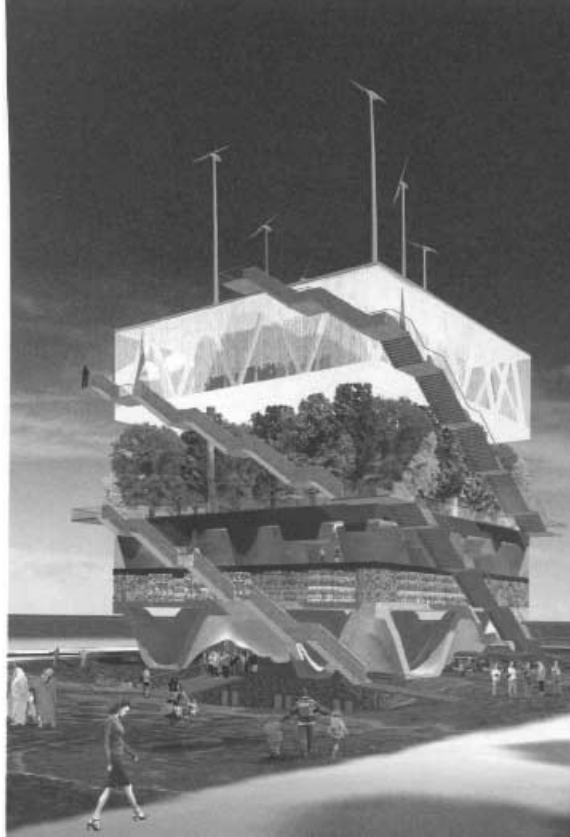


Figura 4 – Visualizzazione del Padiglione Olandese all'Expo di Hannover

L'architettura ecosostenibile che si può giudicare tale secondo diversi indicatori (energia di produzione dei materiali, riciclabilità, sostenibilità energetica, sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia e di acqua, studio approfondito dell'LCA ecc.) si presenta anche attraverso le prove "estreme" degli expo, quale architettura "senza stile", non etichettabile, sempre in mutamento a seconda delle strategie ambientali del luogo in cui sorge. La capitalizzazione degli errori del passato rende finalmente possibile una riproposizione del concetto di "progettazione Integrale" (non è più sufficiente quella "integrata" che mette in sequenza parallela, ovvero verticale come in un diagramma di flusso, le competenze). IL dialogo fra gli uomini, ovvero fra gli attori competenti del processo, rende necessaria una osmosi culturale che integri e renda visibile il passaggio dalla "semplice sovrapposizione degli effetti dei vari progetti e progettisti" alla costruzione contemporanea, condivisa e concepita dall'idea. In questa fase il ruolo delle tecniche e delle estetiche si potranno forse riunire sotto l'antico, ed etimologicamente corretto significato coincidente di Arte e Tecnica.

*fonte delle illustrazioni: K.Powell, Structure, Space and Skin, Phaidon, London, 1993.
fonte delle illustrazioni: Rivista- L'industria Italiana delle costruzioni- n.351, 2001*

4. PARAMETRI PRESTAZIONALI

4.1. La definizione dei requisiti

Le esigenze emerse dal dibattito culturale che ha dato origine all'architettura sostenibile hanno determinato una ridefinizione dei requisiti tecnici delle tipologie costruttive, dei materiali edili e degli impianti tecnologici, questi ultimi oggetto del presente paragrafo.

Alla base di una corretta progettazione di tipo sostenibile è necessario individuare i principali requisiti prestazionali degli edifici con riferimento a:

- qualità dell'ambiente interno;
- contenimento del consumo di risorse;
- riduzione dei carichi ambientali;
- qualità ambientale degli spazi esterni;
- ciclo di vita edificio;
- utilizzo di risorse climatiche;
- integrazione con il contesto.

Occorre inoltre considerare i requisiti di sicurezza, di manutenibilità degli impianti e di massima flessibilità in relazione alla utilizzazione degli edifici, indicati sinteticamente come qualità del servizio.

Tali requisiti sono determinanti in quanto influenzano, tra l'altro, le scelte progettuali relative a:

- caratteristiche plani-volumetriche degli edifici (dimensione e orientamento dei corpi di fabbrica, loro posizionamento nell'area edificabile, definizione di aree di rispetto, ecc.);
- distribuzione interna degli ambienti e loro disposizione rispetto all'esterno (possibilità di ventilazione naturale, sfruttamento della luce naturale e degli apporti solari gratuiti, protezione rispetto alle sorgenti esterne di rumore, ecc.);
- scelta dei materiali da costruzione e delle stratigrafie delle pareti;
- definizione delle tipologie e dei requisiti prestazionali (dati di progetto) dei sistemi impiantistici.

4.2. Parametri di controllo

I requisiti ambientali e impiantistici da considerare sono sintetizzati nella Tabella I, nella quale per ogni parametro prestazionale considerato sono individuate la grandezza che lo descrive e la unità di misura.

Tabella. I

I. QUALITA' DELL'AMBIENTE INTERNO		
Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Illuminamento medio mantenuto	[lux]
	Fattore di uniformità	illuminamento minimo / illuminamento medio
	Distribuzione delle luminanze	
	Limitazione dell'abbagliamento	classi di qualità G
	Resa del colore	gruppo di resa colore Ra' indice di resa colore Ra
	Colore della luce	tonalità del colore temperatura del colore [K]
ILLUMINAZIONE NATURALE	Fattore medio luce diurna	[%]
	Limitazione dell'abbagliamento	DGI (daylight glare index)
	Soleggiamento	[h]
	Privacy	
	Oscurabilità	
RUMORE	Vista verso l'esterno	
	Tempo di riverberazione a 500 Hz	T60 [s]
	Isolamento acustico da rumore aereo	indice potere fonoisolante apparente Rw [dB] isolamento acustico standardizzato di facciata D2m,n,T,w [dB]
	Isolamento rumore da calpestio	livello di rumore di calpestio di solai normalizzato L'n,w [dB]
	Rumorosità impianti a funzionamento discontinuo	livello massimo di pressione sonora [dB(A)]
Rumorosità impianti a funzionamento continuo	livello continuo equivalente di pressione sonora [dB(A)]	

COMFORT TERMOIGROMETRICO	Temperatura bulbo secco invernale	[°C]
	Temperatura bulbo secco estiva	[°C]
	Temperatura media radiante invernale	[°C]
	Temperatura media radiante estiva	[°C]
	Umidità relativa invernale	[%]
	Umidità relativa estiva	[%]
UMIDITA'	Umidità responsabile della crescita di muffe	
	Acqua stagnante responsabile della formazione di colonie batteriche	
QUALITA' DELL'ARIA	Emissioni di VOC	
	Emissioni di formaldeide	
	Radon	
	Inquinanti	
	Fibre minerali	
	Posizione presa aria esterna	
	Migrazione di odori tra gli ambienti	
VENTILAZIONE E RINNOVO ARIA	Portata aria esterna specifica	[m3/h pers] [m3/h m2]
	Numero di ricambi d'aria orari	[vol/ora]
	Velocità dell'aria	m/s
	Cross ventilation	
	Finestre apribili	
	Classe CEN filtri	
INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO	Efficienza filtri	
	Campi e/m a frequenza industriale (50 Hz)	
	Campi e/m a radiofrequenza e microonde (100 kHz-300 GHz)	
INQUINAMENTO DA MATERIALI EDILI	Caratteristiche materiali edili	
	Inquinamento indoor da materiali edili	

2. CONTENIMENTO DEL CONSUMO DI RISORSE

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
FLUSSI ENERGETICI E DISPONIBILITA' RSORSE	Consumi energetici di produzione degli elementi tecnici	
	Consumi energetici trasporti	
ACQUA POTABILE	Minimizzazione dell'uso di acqua potabile	

ENERGIA TERMICA

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
RISCALDAMENTO AMBIENTI	Isolamento termico	
	Efficienza impianto termico	
	Impiego di energie rinnovabili	
CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA	Controllo apporti solari	
	Efficienza impianto di condizionamento dell'aria	
VENTILAZIONE MECCANICA	Efficienza ventilazione meccanica	
RAFFRESCAMENTO PASSIVO AMBIENTI	Controllo della radiazione solare	
	Controllo dell'inerzia termica	
	Ventilazione da condotti interrati	
PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA	Impiego energie rinnovabili	
	Efficienza impianto	

ENERGIA ELETTRICA

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	Impiego del fotovoltaico	

ENERGIA ELETTRICA E TERMICA

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
PRODUZIONE COMBINATA DI ENERGIA TERMICA ED ELETTRICA	Impiego di sistemi di cogenerazione	

3. RIDUZIONE DEI CARICHI AMBIENTALI

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
EMISSIONE INQUINANTI IN ATMOSFERA	Controllo emissioni impianti di riscaldamento	
EFFLUENTI	Gestione delle acque reflue	
EMISSIONI DI RUMORE	Controllo rumore impianti	
MINIMIZZAZIONE DEI RIFIUTI IN FASE DI COSTRUZIONE	Valutazione potenzialità di riciclo dei materiali	
	Valutazione separabilità dei componenti	
MINIMIZZAZIONE DEI RIFIUTI IN FASE DI DISMISSIONE	Demolizione selettiva	
	Impiego di materiali inerti	
FLUSSI RIFIUTI SOLIDI URBANI	Riduzione quantità RSU destinati alla discarica	
EFFETTI AMBIENTALI	Effetti ambientali per la produzione degli elementi tecnici estesi su scala globale	

4. QUALITA' AMBIENTALE DEGLI SPAZI ESTERNI

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
ASPETTI TERMOFLUIDODINAMICI	Controllo della temperatura superficiale	
	Controllo dei flussi d'aria	
INQUINAMENTO ACUSTICO	Protezione da fonti esterne al sito	
	Protezione da fonti interne al sito	
INQUINAMENTO ATMOSFERICO	Protezione da fonti esterne al sito	
	Protezione da fonti interne al sito	
INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO	Protezione da fonti esterne al sito	
	Protezione da fonti interne al sito	
ASPETTI DI PERCEZIONE E COMUNICAZIONE	Controllo effetti multisensoriali	

5. CICLO DI VITA DELL'EDIFICIO

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
ASPETTI ECONOMICI	Costi in relazione al ciclo di vita dell'edificio	
	Costi in relazione all'investimento iniziale	
	Costi di esercizio	
	Costi di manutenzione	

6. UTILIZZO DI RISORSE CLIMATICHE

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
RISCALDAMENTO NATURALE	Riscaldamento solare passivo	
RAFFRESCAMENTO NATURALE	Contatto diretto con il terreno	[m ²]
	Ventilazione notturna della massa termica	
VENTILAZIONE NATURALE	Ventilazione da vento	
	Ventilazione da effetto camino semplice	
	Ventilazione da effetto camino elioassistito	

7. INTEGRAZIONE CON IL CONTESTO

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
INTEGRAZIONE PAESAGGISTICA	Salvaguardia del sistema del verde	
	Riconoscibilità dei caratteri ambientali del luogo	
INTEGRAZIONE DELLA CULTURA DEI MATERIALI	Recupero tradizioni costruttive locali	

8. QUALITA' DEL SERVIZIO

Parametro prestazionale di controllo	Grandezza	Parametro - Unità di misura (se applicabile)
FLESSIBILITA' ED ADATTABILITA'	Adattabilità dei sistemi tecnici	
	Flessibilità degli spazi	
	Portanza dei solai adatta a diversificazione utilizzo	[N/m ²]
	Altezza interpiano adatta a diversificazione utilizzo	[m]
CONTROLLO E REGOLAZIONE DEI SISTEMI TECNICI	Gestione impianto di riscaldamento e ventilazione	
	Suddivisione in zone impianto termico	
	Possibilità di gestione surriscaldamenti da apporti gratuiti	
	Automazione di edificio appropriata alla complessità dell'edificio	
MANUTENZIONE EDILIZIA E IMPIANTISTICA	Mantenimento della performance del sistema edificio	
	Protezione involucro dagli agenti atmosferici	
	Accessibilità degli impianti	
	Monitoraggio della performance	
SERVIZI ANNESSI	Attrattive per gioco bimbi, sport e svago	
	Inserimento ambientale delle aree a parcheggio	

I valori dei parametri sono individuabili a seconda della funzione dell'edificio, della tipologia ambientale considerata con riferimento alle normative tecniche maggiormente utilizzate e alle leggi in vigore in Italia.

5. SOLUZIONI IMPIANTISTICHE ADATTE ALL'ARCHITETTURA SOSTENIBILE

I sistemi impiantistici utilizzati più frequentemente nell'edilizia hanno seguito una evoluzione nel corso degli ultimi decenni che ha sostanzialmente ridotto le tipologie a quelle che cerchiamo di riassumere nei loro tratti peculiari nel prospetto seguente.

Tabella II – Tipologie Impiantistiche più frequenti

<i>Edilizia residenziale</i>	<i>Edilizia terziaria</i>	<i>Edilizia industriale</i>
Impianti centralizzati a colonne montanti a due tubi con radiatori in ghisa	Impianti con ventilconvettori a due tubi con commutazione stagionale	Impianti centralizzati con generatori di aria calda a lancio libero o canalizzati
Impianti centralizzati a colonne montanti e pannelli radianti a pavimento o a soffitto in ferro o rame	Impianti a tutt'aria con centrale di trattamento a sezioni componibili a portata costante	Impianti centralizzati con aerotermi a soffitto ad acqua calda o surriscaldati
Impianti autonomi con distribuzione in rame a pavimento e radiatori in ghisa o alluminio	Impianti a tutt'aria con centrale di trattamento a sezioni componibili a portata variabile	Impianti autonomi con generatori pensili a gas
Impianti autonomi con distribuzione in rame a pavimento radiatori in acciaio e caldaie a condensazione	Impianti con ventilconvettori a due tubi e aria primaria	Impianti con tubi radianti a gas
Impianti autonomi con pannelli radianti a pavimento	Impianti con ventilconvettori a quattro tubi e aria primaria	Impianti centralizzati con termoriscaldanti ad acqua calda, surriscaldati a vapore
Impianti centralizzati con contabilizzazione del calore	Impianti a pannelli radianti (utilizzo estate-inverno) e aria primaria	Impianti a pannelli radianti a pavimento

Alla riduzione delle tipologie impiantistiche adottate è parallelamente corrisposto uno sviluppo dei sistemi di regolazione, più affidabili ed economici, di tipo elettronico analogico e digitale.

Premettendo che non esiste un'unica tipologia impiantistica in grado di soddisfare le esigenze dell'architettura sostenibile, proviamo ad individuare le caratteristiche principali di una impiantistica di tipo bioclimatico.

Progettazione integrale

L'impianto non si inserisce in una soluzione architettonica già definita ma si sviluppa con il progetto dell'edificio determinandone le caratteristiche (esempio: caratteristiche plani-volumetriche, distribuzione interna degli ambienti e loro disposizione rispetto all'esterno, cavedi di ventilazione naturale o ibrida, ecc.)

Sfruttamento apporti del contesto climatico

L'impianto assicura le condizioni di comfort massimizzando lo sfruttamento dell'apporto climatico esterno (esempio: apporti solari passivi invernali, ventilazione notturna estiva, ventilazione per effetto camino, ecc.)

Basso carico ambientale

Il sistema di produzione deve essere di tipo a energia rinnovabile o a ridotte emissioni inquinanti (esempio: energia solare, caldaie a condensazione, ecc.)

Flessibilità

L'impianto deve essere suddivisibile e regolabile per zona. Anche la contabilizzazione dei consumi deve essere efficiente rappresentando essa stessa un incentivo all'utente verso la propensione al risparmio energetico.

Adattabilità

L'impianto deve potersi adattare a diversi tipi di utilizzo dell'edificio.

Vediamo ora più in dettaglio alcune tra le tipologie indicate che meglio si adattano all'architettura sostenibile.

Pannelli radianti a bassa inerzia

Sono rappresentati dai tradizionali pannelli radianti a pavimento costituiti da tubi in materiale plastico fissati su un supporto termoisolante.

L'elemento riscaldante, generalmente costituito dal massetto in calcestruzzo può

essere sostituito da lastre metalliche o in cemento. In questo caso il pannello è meglio inseribile in una struttura ecosostenibile, in quanto esso è del tipo “a secco”, caratterizzato da minori spessori e più rapida messa a regime.

Il ritorno del pannello radiante dopo le esperienze negative degli anni '60 – '70 è stato reso possibile dalla tecnologia che ha sostituito i tubi in ferro o rame annegati nella struttura con gli attuali tubi in materiale plastico in grado di superare i limiti del precedente sistema rappresentati da:

- rischio di perdite idrauliche per cedimenti di saldature;
- impossibilità di regolazione a livello generale (tubo annegato nella struttura che disperde anche verso l'unità immobiliare sottostante per l'assenza di isolamento) e a livello di singolo locale (impossibilità di regolare il singolo circuito);
- lenta messa a regime;
- elevata temperatura del pavimento con rischio di patologie circolatorie agli arti inferiori.

Peraltro gli impianti, inseriti in organismi edilizi molto disperdenti, dovevano assicurare una più elevata resa specifica del pannello, mentre attualmente (strutture molto coibentate) al pannello è sufficiente assicurare una potenzialità di 80-90 W/m², con una temperatura dell'acqua inferiore ai 40-42 °C e una temperatura di pavimento di 23-24 °C.

Nel funzionamento estivo vengono percorsi da acqua raffreddata a temperature superiori al punto di rugiada dell'aria ambiente. In genere la potenza frigorifera specifica resa è molto bassa e sufficiente a un semplice raffrescamento degli ambienti (è improprio parlare di condizionamento). Inoltre necessitano di un controllo dell'umidità ambientale in quanto l'umidità relativa aumenta al diminuire della temperatura ambiente penalizzando le condizioni di comfort.

Pertanto l'abbinamento di un impianto ad aria primaria, opzionale per il funzionamento invernale (qualora non richiesto da norme igienico-sanitarie) diventa necessario nel caso l'impianto funzioni anche in regime di raffrescamento.

Pannelli radianti a elevata inerzia

Sono costituiti da tubazioni in materiale plastico annegate entro la struttura cementizia. Il funzionamento è opposto a quello descritto al paragrafo precedente in quanto questi pannelli contribuiscono ad aumentare l'inerzia della struttura nell'insieme. Le caratteristiche termiche dei singoli ambienti non possono essere differenziate agendo sulla regolazione del pannello che viene percorso da acqua pressoché alla stessa temperatura per tutto l'anno. Il sistema va integrato con un efficiente impianto ad aria primaria in grado di regolare le condizioni termoigrometriche locali.

L'utilizzo nei solai misti in latero-cemento ne limita le prestazioni.

Piastre radianti in acciaio a bassa temperatura

Hanno comportamento analogo ai pannelli radianti, fermo restando il funzionamento convettivo tipico dei radiatori, che si somma alla trasmissione di calore per radiazione.

Anche questo terminale idronico si adatta ad un sistema di produzione a bassa temperatura ed elevato rendimento stagionale quale può essere un generatore di calore a condensazione.

Travi fredde

Una evoluzione del concetto di riscaldamento e raffrescamento per effetto radiante è rappresentato dai terminali noti come “trave fredda” (Figura 5), in cui si attua lo scambio termico in modalità mista. L'elemento radiante integra infatti la funzione di terminale di immissione dell'aria primaria con quella di striscia radiante: la quota scambiata per radiazione è il 30-40% del carico totale gestito.

La trave fredda è indicativamente costituita da:

- diffusore per l'introduzione dell'aria primaria con raccordo di alimentazione alla canalizzazione;
- serpentina per l'acqua in rame disposta a meandro lungo la trave pressata entro un profilo metallico per lo scambio termico;
- piastra radiante metallica a vista preferibilmente alettata;
- staffe di sostegno al solaio.

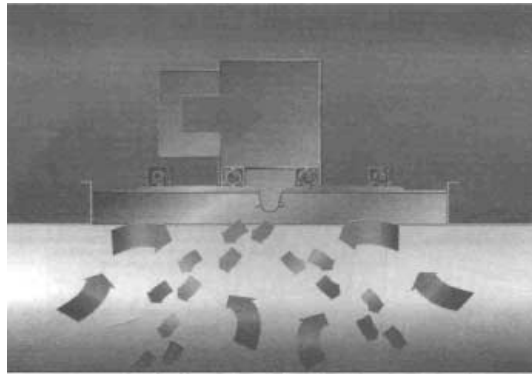


Figura 5 – Trave Fredda (Kiefer)

6. SOLUZIONI BIOCLIMATICHE

L'approccio progettuale integrale permette di dare peso alle problematiche impiantistiche nel processo creativo architettonico, in cui le forme dell'edificio si delineano. Questa possibilità ottiene al progetto un elemento di valore aggiunto, che porta nella direzione di un miglioramento sostanziale dell'edificio, oltre a poter produrre stimoli nell'ambito formale estetico.

6.1. Le caratteristiche degli edifici di rilievo per la ventilazione naturale

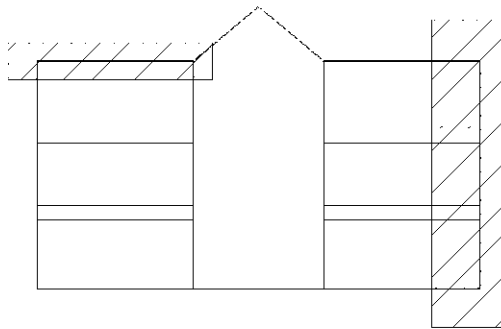
Uno degli argomenti di maggior interesse nell'ambito è sicuramente la ventilazione. Nell'edilizia tradizionale la ventilazione naturale è quella semplicemente ottenuta attraverso l'apertura delle finestre e per infiltrazioni. In ogni singolo edificio si generano movimenti d'aria differenti in reazione alle aperture, dipendenti dall'interazione con il vento, dalla permeabilità dell'involucro e dalla possibilità di sviluppo di flussi d'aria interni.

Per fare un'analogia semplice possiamo immaginare un piccolo circuito elettrico formato da un generatore e da una resistenza. Possiamo pensare che l'intensità di corrente rappresenti il nostro flusso d'aria e che la differenza di potenziale determinata dal generatore rappresenti la prevalenza disponibile per la ventilazione naturale. Nel caso

della ventilazione, per chiudere il parallelo con il nostro esempio, i due elementi resistenza e generatore rappresentano caratteristiche dipendenti dalla forma dell'edificio: la resistenza solo da questa, mentre la differenza di potenziale sia dalla forma dell'edificio che dal contesto climatico. Ad esempio: un edificio alto in un contesto ventoso sarà immerso in un campo di pressioni caratterizzato da gradienti elevati, mentre un edificio a basso sviluppo verticale ne sarà meno influenzato. Alcune caratteristiche degli edifici che influenzano notevolmente la strategia di ventilazione, in primis, e di climatizzazione in generale sono:

- Permeabilità dell'involucro
- Permeabilità interna ai flussi verticali
- Permeabilità interna ai flussi orizzontali

6.1.1. INVOLUCRO



La permeabilità dell'involucro è un concetto comune dell'edilizia tradizionale, in cui è considerata una caratteristica da limitare per motivazioni di tipo energetico e di comfort.

La limitazione può essere vista come una declinazione (la più semplice e diretta) del concetto più generale di controllo. Nell'ambito del nuovo know-how sulla ventilazione naturale e più generalmente a bassa pressione si persegue un controllo più raffinato della permeabilità attraverso il disegno di elementi variabili, azionati da sistemi meccanici, asserviti a un sistema di controllo informatico. La permeabilità dell'involucro rappresenta infatti il tramite per il quale è possibile scambiare flussi d'aria tra l'interno dell'edificio e l'ambiente d'insediamento. In una logica progettuale meccanica *in toto* queste funzioni sono interamente svolte dal sistema delle canalizzazioni e delle unità di trattamento aria, in cui l'aria viene prelevata dall'ambiente esterno e attraverso cui l'aria viziata viene espulsa.

Alcune nuove tecnologie costruttive e sistemi meccanici permettono di svolgere questi ruoli con elementi che integrano a questa altre funzioni, formali e/o strutturali.

In tale ambito stanno assumendo primaria importanza nella progettazione la realizzazione di facciate continue e il disegno dei sistemi di immissione dell'aria, nonché gli elementi di espulsione dell'aria, quali torrioni e camini (Figura 6, Particolare del torrione del campus universitario di Nottingham)

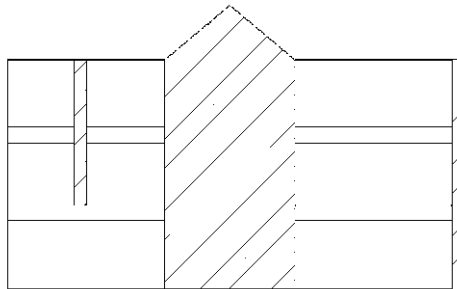


Figura 6 – Particolare del Torrino di Estrazione, Jubilee Campus in Nottingham, Arch. Hopkins e Ove Arup

Le facciate continue rientrano in un trend generale evolutosi dai semi di ricerca gettati dai maestri dell'architettura moderna (Filippi, 2001), nel quale si sono fuse le considerazioni estetiche formali alle attenzioni al risparmio energetico e da ultime alla sostenibilità in generale, intesa anche come vivibilità degli ambienti interni.

I canali interni a queste strutture possono infatti essere utilizzati come vie per l'estrazione dell'aria o, in alternativa, come preriscaldatori dell'aria di immissione, sfruttando la radiazione solare.

6.1.2. Permeabilità interna verticale



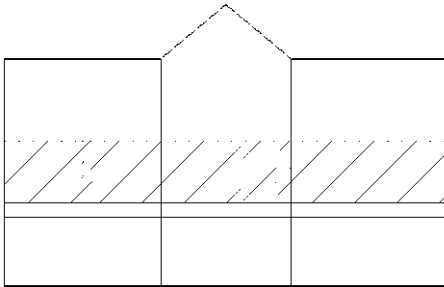
Se si vuole studiare una strategia di ventilazione naturale è necessario identificare percorsi per i flussi all'interno della struttura, in relazione al metodo scelto per realizzare la ventilazione stessa. Negli edifici multi-piano possono essere molto utili percorsi verticali adatti al fluire dell'aria, e allo sviluppo del gradiente di pressioni verticale, che genera il flusso noto come "effetto camino". La disponibilità di tali spazi permette contemporaneamente l'incremento della prevalenza disponibile e la diminuzione della resistenza al deflusso.

Edifici con atrii (come in Figura 18) rappresentano una delle tipologie architettoniche ideali per la ventilazione naturale, pur essendo al tempo stesso un elemento

critico nel disegno dell'edificio (ASHRAE 1995). La stratificazione di temperatura che vi si crea naturalmente incrementa infatti i flussi di ventilazione, ma può porre problemi di possibile surriscaldamento ai piani alti con affaccio sull'atrio stesso.

Dal punto di vista progettuale l'atrio è un tema di particolare difficoltà, specialmente nei casi in cui si volesse scendere nel dettaglio degli andamenti spaziali e temporali dei flussi d'aria.

6.1.3. Permeabilità interna orizzontale



E' evidente che la massima possibilità di deflusso in senso orizzontale la si ottiene in ambienti completamente aperti e caratterizzati da pochi ostacoli. Contemporaneamente, però, più lo spazio è libero da partizioni, minori sono gli elementi a disposizione per effettuare un controllo esatto.

Nei casi in cui siano ritenuti necessari, per motivazioni legate alla funzionalità e alla vivibilità, spazi molto partizionati, sono disponibili alcune soluzioni per creare il circuito di ventilazione naturale. Restringendo il campo tipologicamente è possibile, mantenendo in tutti i casi l'ammissione perimetrale dell'aria, realizzare il tronco di circuito di estrazione sfruttando canali verticali o canali orizzontali in controsoffittatura.

Si può realizzare collettando più estrazioni, ad esempio sfruttando uno spazio distributivo, come un corridoio, o canali appositi, nel caso in cui siano presenti requisiti di isolamento acustico di particolare rigore.

Attraverso la creazione di un canale orizzontale nello spazio del controsoffitto è possibile realizzare una ventilazione

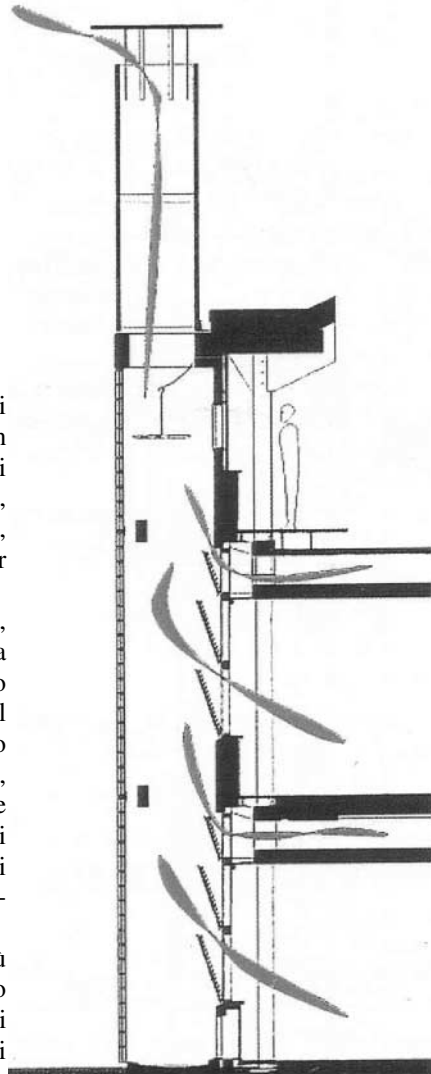


Figura 7 – Sezione schematica:
Office of the Future di Garston (vd. 9.6)

trasversale, aggirando l'ostacolo della presenza delle partizioni verticali.

Come canali per la ventilazione è possibile utilizzare elementi strutturali appositamente disegnati, che sono particolarmente adatte, per l'ampia superficie della struttura a contatto con l'aria, a realizzare strategie di ventilazione notturna. (come in Figura 7: il canale è ricavato nel solaio prefabbricato a voltine).

Nel caso di organizzazione spaziale tipo "open space" è possibile optare per una strategia di ventilazione trasversale. In questi casi la massima dimensione della manica è da limitarsi a circa 13m. In maniche maggiori è generalmente insufficiente il flusso di ventilazione creato dalla differenza di pressione tra le facciate sui fronti opposti.

6.2. Fotovoltaico

Al fine di garantire l'autosufficienza energetica di alcune utenze secondarie è possibile prevedere l'installazione di moduli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Le utenze da privilegiare per l'alimentazione mediante il sistema fotovoltaico sono ad esempio:

- ventilatori di estrazione assistita (ventilazione ibrida degli ambienti: naturale assistita);
- pompe per il recupero delle acque meteoriche;
- pompe per l'irrigazione;
- illuminazione aree verdi;
- pompe di pressurizzazione sistema antincendio.

Gli impianti, soprattutto per quanto riguarda i pannelli fotovoltaici, devono essere completamente integrati con l'architettura degli spazi occupati nelle strutture edili. E' quindi consigliabile l'installazione su superfici non altrimenti utilizzabili ottimizzando i vantaggi dal punto di vista dell'uso del territorio. Deve essere posta particolare attenzione all'integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici. I moduli possono essere installati preferibilmente entro le pareti ventilate (facciate a doppio involucro) in modo tale da agevolare l'inserimento edilizio del pannello fotovoltaico e il raffreddamento delle celle.

La potenza elettrica da fornire con il sistema fotovoltaico, e quindi l'estensione della superficie dei moduli deriverà da una valutazione dettagliata delle utenze, da eseguirsi in sede di progettazione esecutiva sulla base di considerazioni economiche (costo del sistema, contributo erogato, efficienza energetica, emissioni di CO₂ evitate).

L'energia elettrica prodotta da 1 kWp (superficie circa 8 m², efficienza media moduli circa 12,5%) in corrente continua mediamente in un anno è di 1372 kWh/(kWp*anno), pari all'insolazione media annua (1372 kWh/m²anno per il Nord Italia).

Recentemente (Knapp e Jester, 2000) il concetto di tempo di ritorno economico dell'investimento in questo ambito è stato affiancato da una valutazione di tempo di ritorno energetico, nel senso di valutare in quale lasso di tempo un pannello fotovoltaico completo produce (trasforma) mediamente una quantità di energia equivalente a quella necessaria per la sua produzione. Si è stabilito questo valore in 2-3 anni, a seconda delle tecnologie. Per paragone, un pannello di buone prestazioni, considerando i finanziamenti del progetto "Tetti Fotovoltaici", in Italia dovrebbe avere un tempo di ritorno economico di circa 8 anni.

E' chiaro che la valutazione su scala energetica è propria della collettività, mentre l'installazione da parte privata privilegerà come parametro valutativo il tempo di ritorno economico. Ciò nonostante il tempo di ritorno energetico così ridotto deve focalizzare l'attenzione dell'amministrazione pubblica sulle potenzialità del sistema.

6.3. Sistemi di illuminazione naturale

Per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni e ai piani inferiori, qualora il livello di illuminamento diretto attraverso le superfici vetrate non sia sufficiente per il tipo di attività svolta, possono essere previsti dispositivi atti a captare la luce naturale all'esterno e a farla pervenire nelle zone interne.

Essi sono in genere denominati tubi di luce. Trattasi di condotti di sezione circolare con la superficie interna rivestita di un materiale altamente riflettente: la luce penetrando dall'apertura superiore, compie un certo numero di riflessioni all'interno e fuoriesce alla base contribuendo all'illuminazione ambientale.

Il torrone di captazione della luce deve preferibilmente essere orientato in modo da ottimizzare il sistema riducendo il numero delle riflessioni interne al tubo di luce. E' consigliabile l'installazione di un dispositivo che collimi la radiazione diffusa in un'unica direzione quale ad esempio uno specchio anidolico.

Inoltre è consigliabile che i sistemi frangisole da utilizzare per controllare il passaggio della radiazione solare agevolandolo in inverno e ostacolandolo d'estate, siano realizzati con lamelle riflettenti.

7. SISTEMI DI SUPERVISIONE

I sistemi naturali moderni possono essere controllati attraverso un sistema di regolazione. Questo è l'aspetto essenziale che permette di concepire un sistema ibrido meccanico-naturale. Un simile sistema sfrutta infatti razionalmente tutte le risorse a disposizione, senza penalizzare la vivibilità interna al fabbricato. Nelle condizioni in cui non è più possibile realizzare la ventilazione naturale, o nei casi in cui necessiti una risposta pronta del sistema, si attiva infatti il sistema meccanico integrativo, che può collaborare in misura più o meno rilevante anche al controllo del carico sensibile.

Combinando in un sistema di controllo integrato un disegno dell'edificio adatto ai flussi di ventilazione, sistemi meccanici ad elevata efficienza, tecnologie sostenibili (come il fotovoltaico) e metodi di controllo della temperatura ad elevato rendimento è possibile realizzare fabbricati con vantaggiosa gestione energetica e condizioni di comfort di elevato livello.

La complessità di una strategia di controllo dipende dal compito primario del sistema di ventilazione. Quando il compito primario sia di garantire una appropriata qualità dell'aria, il tema assume la forma di un problema di ottimizzazione: flussi d'aria troppo bassi condurranno a condizioni di qualità dell'aria interna inaccettabili, mentre, d'altro canto, flussi troppo ingenti risulteranno in uno spreco di energia (Figura.8, fonte: International Energy Agency, Annex 35, State of the Art of Hybrid Ventilation). Emerge l'importanza fondamentale di applicare adeguate strategie di controllo.

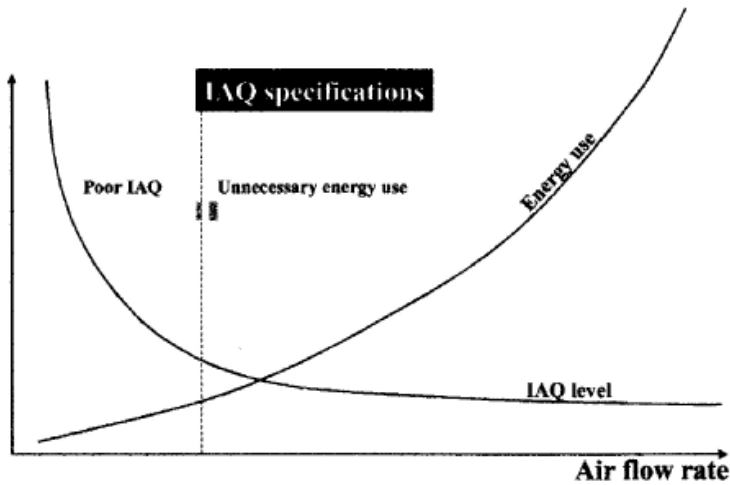


Figura 8 – Il Problema di Ottimizzazione Energetica nei Riguardi della Qualità dell'Aria

Qualora lo scopo principe sia di contribuire al mantenimento di condizioni accettabili di comfort termico estivo, la sfida dell'ottimizzazione si rivela non cruciale (a meno che non siano specificati margini particolarmente ristretti). In questi casi è possibile applicare una strategia di controllo meno raffinata. Inoltre si potrebbe lasciare agli occupanti la libertà di intervenire sulle condizioni di comfort predisponendo sistemi adeguati.

In ogni caso, data la necessità di tempi di reazione brevi ai fini del benessere termico, l'applicazione di sistemi automatici di controllo è raccomandabile.

Tabella II – Caratteristiche chiave di IAQ e comfort termico

Aspetti	IAQ	Comfort termico
Ambiente interno	In molti stati e progetti obiettivi di IAQ o ricambi d'aria ben definiti	Specifiche molto restrittive nella maggioranza delle normative; recenti ricerche indicano l'accettabilità di criteri più flessibili
Capacità degli occupanti di valutare le condizioni ambientali	No, solo se le condizioni di qualità dell'aria sono molto scadenti	Sì, gli occupanti sono in grado di interpretare molto bene le condizioni termiche
Tempo di reazione tra l'azione di controllo sulla ventilazione e l'effetto sull'ambiente interno	Tempi brevi di reazione	L'inerzia termica è in molti casi molto importante, per cui controlli tempestivi si rivelano cruciali
Necessità di procedure di controllo automatiche e raffinate	Forte necessità se IAQ e risparmio energetico sono considerati obiettivi primari	In molti casi sistemi raffinati non cruciali, ma sistemi automatici raccomandabili

È importante ricordare che le specifiche da porre nei confronti del comfort termico estivo e, specialmente, nei confronti della qualità dell'aria sono attualmente oggetto di alore dibattito in seno alla comunità dei ricercatori e a molti enti normatori.

In un sistema integrato tutti gli impianti tecnologici, elettrici, ausiliari, speciali e di

sicurezza, visti come sottosistemi distinti, sono connessi ad un sistema di gestione di supervisione generale che ne controllerà il corretto funzionamento (Figura 9). I sistemi connessi tramite opportuni protocolli di trasmissione al sistema di supervisione sono in genere:

- sottosistema impianti speciali;
- sottosistema impianti ausiliari (alla base delle soluzioni bioclimatiche);
- sottosistema impianti elettrici;
- sottosistema impianti tecnologici.

Ciascun sottosistema risponde al proprio scopo specifico fornendo il massimo numero di informazioni sullo stato del campo controllato. Tutti i sistemi di protezione previsti vengono gestiti attraverso un sistema centralizzato in sala controllo.

Il sistema deve prevedere un forte sviluppo sia in senso orizzontale che verticale, nel quale devono essere distinti tre livelli funzionali:

- il livello periferico costituito dagli elementi in campo;
- il livello di elaborazione dei segnali, cui corrispondono le unità periferiche autonome ed intelligenti;
- il livello di gestione e supervisione centralizzata, a sua volta suddiviso in due sottolivelli:
- livello di gestione, costituito dalle apparecchiature di elaborazione e di presentazione delle informazioni;
- livello di comunicazione ed integrazione atto a garantire il trasporto sicuro e supervisionato delle informazioni generate dal campo verso il sistema centrale.

Il sottosistema impianti speciali deve essere in grado di supervisionare, controllare e gestire i vari sottosistemi quali:

- rilevazione incendio;
- antintrusione;
- videosorveglianza e televisione a circuito chiuso;
- controllo degli accessi;
- centralino telefonico;
- diffusione sonora;

nonché i vari impianti ausiliari legati all'utilizzo di energia rinnovabile.

Il sottosistema impianti elettrici deve essere in grado di supervisionare, controllare e gestire i vari sottosistemi quali:

- illuminazione d'emergenza;
- illuminazione normale;
- reti di distribuzione.

Il sottosistema impianti tecnologici deve essere in grado di supervisionare, controllare e gestire tutti gli impianti legati alle centrali tecnologiche.

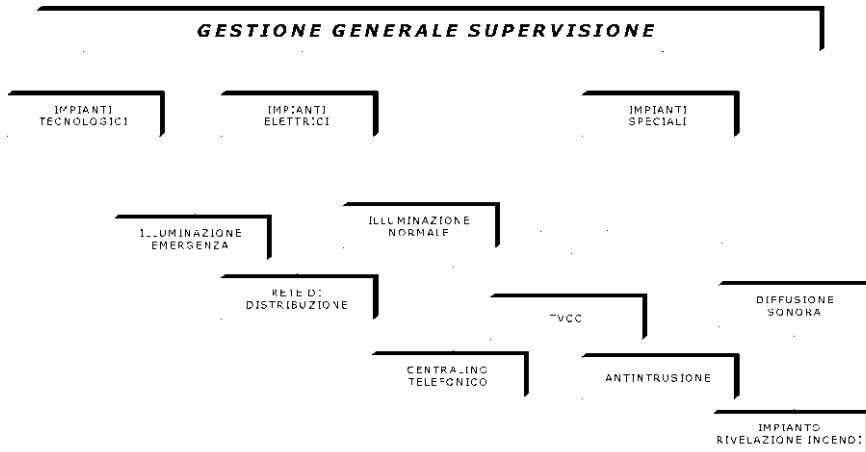


Figura 9 – Diagramma a Blocchi della Gestione Generale di Supervisione

La regolazione avviene tramite un sistema avanzato di telegestione costituito da un regolatore centralizzato interfacciato al sistema di supervisione cui fanno capo tutti gli elementi in campo (sonde, valvole, serrande, sensori, ecc.)

Si può prevedere un regolatore digitale integrato DDC (Controllo Digitale Diretto) per il controllo delle grandezze fisiche (temperatura e umidità) e il controllo e il comando delle utenze.

Ogni singolo modulo digitale controlla tutte le grandezze fisiche e le utenze elettriche. Tutti gli interblocchi (per le utenze controllate) sono gestiti dal programma caricato su ogni singolo modulo DDC.

Pertanto il quadro elettrico si riduce alle singole utenze di potenza poiché tutte le segnalazioni di allarme e gli interblocchi di funzionamento sono gestiti dal programma residente su ognuno dei moduli.

8. STRUMENTI DI ANALISI E PROGETTO PER LA CLIMATIZZAZIONE SOSTENIBILE

La ventilazione naturale è concepita come strategia di climatizzazione a basso consumo energetico che è in grado di garantire il benessere abitativo per tutto l'anno, attraverso sistemi di controllo flessibili, a fronte di un investimento iniziale e costi di gestione decisamente bassi. Tuttavia questo credito non può prescindere dalla valutazione dell'elemento chiave nell'analisi delle caratteristiche della ventilazione naturale: il clima. Architetti e ingegneri operativi nelle nazioni del nord Europa sono probabilmente i più inclini ad adottare simili sistemi, per via del clima variabile da freddo a moderato di quelle regioni. Questa considerazione non è però sufficiente a giustificare la rarità di simili applicazioni nel nostro paese: altri elementi potrebbero aver concorso a determinare questa disparità; tra essi un differente peso assegnato alle elaborazioni etiche sottese al concetto di sostenibilità e una conseguentemente ridotta diffusione degli strumenti analitici e numerici necessari alla realizzazione degli scopi enunciati da questa teoria.

Purtroppo questi ultimi, oltre a non essere di semplice acquisizione, non sono ancora in una fase di definizione tale da formare un corpus tecnico di validità generale.

Questo perché le competenze necessarie per la profondità della progettazione sostenibile sono più varie e presentano aspetti spesso non compresi nella prassi progettuale attuale.

Dal punto di vista termico, ad esempio, un ordine di grandezza di complessità e tempi di realizzazione separa il progetto di un edificio (inteso come involucro e impianto) realizzato sulla base dei carichi termici massimi, da un progetto in cui si tenga in conto la risposta dinamica del sistema e si persegua la minimizzazione del consumo energetico durante l'anno tipico di esercizio.

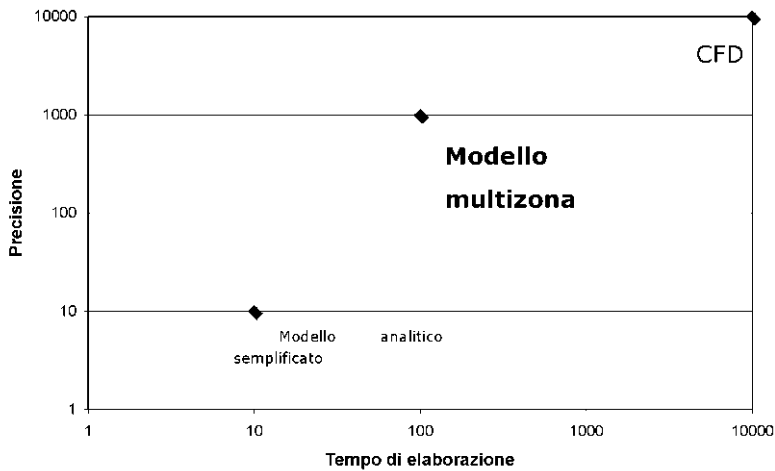


Figura 10 – Rapporto tra Ordini di Grandezza di Precisione e Tempi di Elaborazione per gli Strumenti di Analisi e Progetto

Dal punto di vista fisico si tratta di approfondire la conoscenza dei fenomeni che dominano il problema; ma il nocciolo della questione, dal punto di vista ingegneristico, risiede nella difficoltà di sviluppo di metodi semplici e affidabili, che modellino, con la necessaria precisione e in tempi ragionevoli per l'attività professionale (Figura 10), i fenomeni fisici e chimici ambientali, dei quali è spesso disponibile un modello teorico molto complesso. Infatti l'approccio sostenibile si traduce in molti casi nella necessità di dettagliare maggiormente il progetto, approfondendo la conoscenza degli andamenti delle grandezze variabili temporali e spaziali.

Per quanto concerne l'analisi temporale, cioè la dinamica del sistema, gli strumenti che appaiono più adatti sono i modelli "multi-zona", mentre la migliore definizione spaziale è fornita dall'utilizzo della CFD (fluidodinamica numerica), capace anche di analisi temporali molto precise.

8.1. Modelli multi-zona

Con "modelli-multizona" si fa riferimento a modelli matematici che descrivono l'edificio attraverso una rete di elementi e nodi. Ogni nodo rappresenta una zona, una porzione dello spazio fisico dell'edificio in cui si ritiene lecita (per il grado di precisione richiesto in questi calcoli) l'ipotesi di grandezze termodinamiche costanti nel volume, ad

esempio temperatura e pressione costanti. Una zona potrebbe essere, ad esempio, una stanza, oppure due stanze vicine in cui si suppongano le stesse condizioni operative. Allo stesso modo per un grande salone potrebbero essere necessarie più zone, per l'asimmetria delle esposizioni o dei carichi termici.

I nodi sono connessi attraverso elementi che simulano elementi fisici attraverso relazioni semplici.

Modelli multi-zona sono stati realizzati per l'analisi della ventilazione e per l'analisi termica e energetica (ad esempio i codici Comis e Energy+, sviluppati presso il Lawrence Berkeley Laboratory in California). In un modello multi-zona per la ventilazione, per esempio, gli elementi di connessione rappresentano le infiltrazioni attraverso porte e finestre, o i flussi attraverso bocchette e griglie di ventilazione, oppure, ancora, le condizioni di pressione su una facciata sulla base del coefficiente di pressione e dei dati meteo. Il modello scrive per ogni nodo un'equazione di bilancio della portata d'aria e itera fino a trovare una soluzione. Con gli attuali PC le iterazioni non sono onerose in termini di tempo-macchina, ed è possibile quindi realizzarne molte, ad esempio una per ogni ora dell'anno, disponendo dei dati meteo su base oraria.

I multi-zona sono per questo modelli molto utili, perché permettono di simulare in tempi ragionevoli gli andamenti delle grandezze durante un anno tipico di esercizio in un particolare contesto climatico. E' quindi possibile realizzare una stima precisa, ad esempio, dei consumi annui di energia per la climatizzazione, o della percentuale delle ore di un anno in cui la ventilazione naturale è sufficiente per rispettare gli standard di qualità dell'aria.

8.2. CFD

Quando sia necessario approfondire l'analisi di un particolare tema in un progetto si può ricorrere all'uso della CFD. I codici CFD calcolano numericamente la soluzione delle complesse equazioni della fluidodinamica.

Nella CFD i nodi di calcolo sono rappresentati da domini molto più piccoli di una stanza, permettendo di ottenere i dati delle grandezze variabili con precisione elevata virtualmente in ogni punto del modello. Le variabili calcolabili sono poi tutte quelle della termodinamica, poiché tutte possono essere tenute in conto attraverso un set completo di equazioni, che può contenere ad esempio (FLUENT Inc., 2000): equazioni di Navier-Stokes mediate o complete filtrate, modelli per la radiazione, modelli di cinetica chimica, modelli di scambio di calore, modelli di fluido discreto multi-fase. In linea teorica il livello di precisione raggiungibile è elevatissimo e limitato unicamente dalla capacità dei calcolatori di produrre i risultati in tempi praticamente utili.

La CFD applicata a grandi realizzazioni per una analisi dinamica rappresenta uno strumento straordinario (Figura 24), ma per nulla agile, richiedendo grandi capacità di calcolo, lunghi tempi di elaborazione e personale qualificato e esperto (Fracastoro, Perino 1999). Limitandosi ad analisi stazionarie si possono ottenere risultati in tempi ragionevolmente brevi. La precisione ottenibile è comunque figlia della complessità dell'input richiesto dal codice CFD.

L'utilizzo della CFD si va diffondendo, dai campi in cui è già uno strumento primario di lavoro, al campo dell'edilizia. In quest'ultimo è necessaria una acquisizione critica dello strumento, poiché, a differenza ad esempio dell'industria meccanica, alla fase di sviluppo del progetto non fa seguito una produzione in serie. L'investimento

suppletivo derivante dall'approfondimento progettuale deve infatti essere compensato in termini anche economici, per giustificarne una diffusione generale. In effetti, nel caso di una applicazione per la quale siano già disponibili strumenti semplici sufficienti a garantire il soddisfacimento dei requisiti di legge, l'aggravio di una analisi approfondita non sarà generalmente accettato dai professionisti, se non specificatamente richiesto e riconosciuto dal committente o dalla legge o se non rappresenta un elemento di concorrenza. In campo aeronautico, ad esempio, l'utilizzo della CFD è spinto dalla complessità generale del problema, che è correlato a considerazioni fondamentali di sicurezza del volo, di affidabilità e di risparmio. Inoltre, terminati gli enormi investimenti della progettazione, la società avvia una produzione in serie, dalla quale origina i ricavi e il rientro della spesa di ricerca e sviluppo.

Nel campo della climatizzazione in edilizia le motivazioni che spingono nella direzione di una progettazione di livello più elevato non sono attualmente così stringenti. Il dibattito sulla sostenibilità potrebbe però portare alla presa di coscienza collettiva di questa istanza, sulla base di considerazioni economiche e ambientali più ampie. Si potrebbero così aprire le porte a un mercato dell'edilizia rinnovato in chiave qualitativa, le cui dinamiche siano in grado di giustificare e sospingere un approccio progettuale più complesso.

9. CASI DI STUDIO

9.1. Edificio Minnaert presso L'Università di Utrecht

Utrecht Olanda

Architetti: Neutelings Riendijk

1993-1997

fonte delle illustrazioni: rivista EL CROQUIS, n 94, 1999

Esternamente i prospetti si presentano come un forte volume monolitico evidenziato nel paesaggio dalla colorazione ocre di Siena scura. Le pareti sono solcate da una sorta di "sistema venoso sottocutaneo", ovvero da elementi lineari che ritmano in maniera ondulata e discontinua le superfici. Tali elementi sono tubazioni che convogliano nella massa dell'involucro una circolazione di acqua di raffreddamento che ha il suo bacino di raccolta nello spazio centrale dell'edificio. Il complesso si articola infatti attorno ad una corte interna chiusa, una sorta di "motore distributivo" caratterizzato dalla presenza di un bacino d'acqua di circa cinquanta per dieci metri di ampiezza. Tale contenitore raccoglie le precipitazioni piovose attraverso un impluvium praticato nel soffitto che si presenta in forma di una serie di grandi "doccioni" sospesi sopra il laghetto, quest'ultimo è poi dotato di un livello di troppo pieno per lo scarico all'esterno dell'acqua in eccesso. Il ciclo di sfruttamento bioclimatico dell'acqua avviene, durante il giorno, mediante l'uso della medesima come liquido refrigerante fatto circolare nei già citati condotti che si integrano nella massa delle tamponature. Durante la notte tutto il liquido viene convogliato sulla copertura per potersi raffreddare naturalmente ed essere riutilizzato il giorno successivo. All'interno dell'ampio atrio ove è contenuta, la vasca d'acqua svolge anche la funzione di umidificatore dell'aria e rende possibile attraverso la riflessione della luce zenitale una interessante diffusione indiretta variabile quale testimone costante delle sempre mutevoli condizioni meteorologiche del

clima olandese. Poiché la grande sala non è condizionata le logge che si affacciano su di essa in forma di scompartimenti ferroviari e che sono contemporaneamente affacciati all'esterno sulla facciata principale, fungono da accumulatori di luce e calore per piccoli spazi incontro degli studenti. L'intera dotazione impiantistica è integrata quale arredo o elemento caratterizzante come avviene nella sala mensa in cui i condotti di mandata e ripresa d'aria sono altrettanto le lampade di illuminazione e le colonne cave che ritmano lo spazio della sala (Figura 13)



Figura 11 – Veduta Esterna

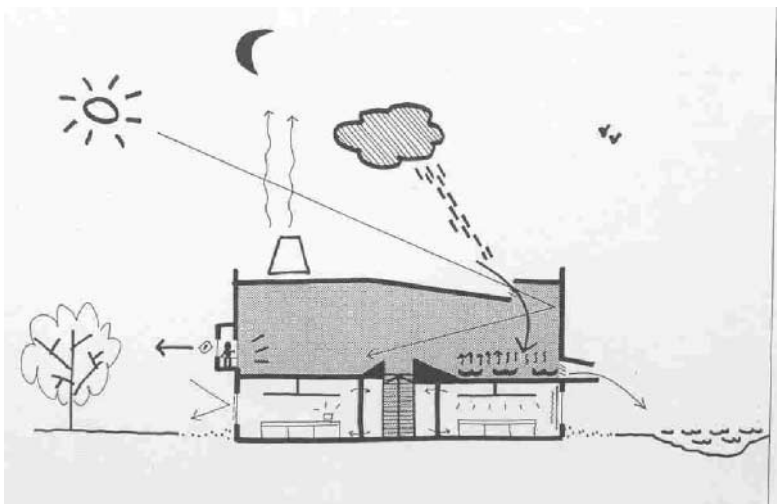


Figura 12 – Schema della Strategia Bioclimatica



Figura 13 – Sala Mensa.

9.2. Queen's Building presso la De Montfort University

Leicester Inghilterra

Architetti: Alan Short, Brian Ford

1988-1993

fonte delle illustrazioni: rivista Costruire in laterizio n 64,1998

Il complesso universitario della nuova facoltà di Ingegneria del Politecnico di Leicester si sviluppa su di una superficie di circa 10.000 metri quadrati . Considerato uno dei più importanti complessi ventilati naturalmente è stato concepito per massimizzare questa tecnica passiva ed integrare architettonicamente gli impianti necessari a realizzarla.

L'intera planimetria si articola parallelamente ad una atrio – strada di circa cinquanta metri sul quale si affacciano i quattro piani di aule ed uffici. Vera "Main Street" del complesso, l'atrio è illuminato zenitalmente da lucernari ed è ritmato dalla presenza della parte bassa dei camini di ventilazione . Questi ultimi sventano all'esterno con terminali metallici sagomati per massimizzare l'aspirazione naturale e quindi il loro



Figura 14 – Main Street, dettaglio della parte inferiore del camino di ventilazione

tiraggio e contengono altresì ventole comandate da sensori che entrano in funzione in caso di insufficiente funzionamento. Vero landmark dell'intero edificio, i camini ritmano il profilo del complesso e lo evidenziano nel contesto paesaggistico. Le aule di parlamento sono anch'esse ventilate mediante camini ed il ricambio d'aria avviene mediante l'immissione diretta (preiscaldata in inverno) dall'esterno, attraverso opportune "calettature" praticate nella tamponatura di mattoni e connesse col vano sottostante le gradonate, che funge da "plenum". I laboratori informatici sono collocati all'ultimo piano, illuminati naturalmente da lucernari collocati a nord e praticati nelle falde fortemente inclinati, e che quindi sfruttano l'effetto camino favorito dalla loro forma per evacuare il calore prodotto dalle macchine. Altrettanto avviene nei laboratori meccanici posti sul lato opposto della "mean street" e nei laboratori collocati al fondo del complesso dotati di murature portanti permeabili all'aria ovvero con funzione di alette di raffreddamento per gli spazi interni.



Figura 15 - Vista Esterna del Complesso, in Primo Piano il Locale Centrale Termica

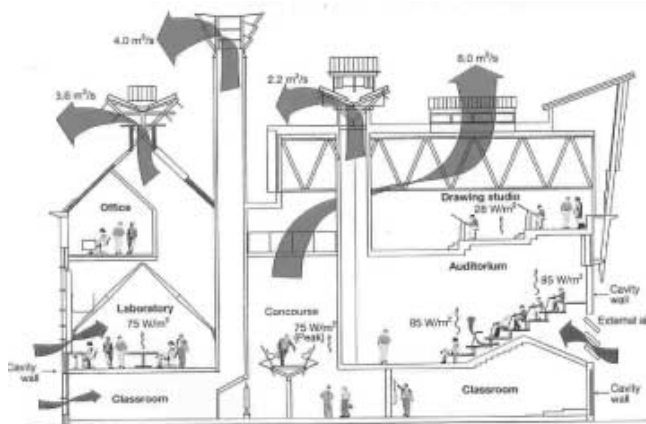


Figura 16 - Schema dei Flussi di Ventilazione e dei Carichi Termici per Ambiente

L'articolazione delle partizioni e la forte massa termica delle murature in laterizio, a cassa vuota da 45 cm con lana di roccia isolante da 10 cm di spessore, associata alla relativamente esigua presenza di aperture vetrate ha condotto l'edificio ad ottime performance energetiche. Il monitoraggio del primo anno fornisce consumi pari a 114 kWh/mq per quanto attiene al consumo di gas e a 43 kWh/mq per quanto attiene al consumo di elettricità, che corrispondono a circa il 50% del consumo medio per una destinazione funzionale analoga progettata senza accorgimenti di tipo ecosostenibile.

9.3. Jubilee Campus

Nottingham, Inghilterra

Architetti Michael Hopkins & Partners

1996-2000

fonte delle illustrazioni: C. Davies, Hopkins2, Phaidon, London 2001.

Risultato di un concorso ad inviti il Jubilee Campus rappresenta uno dei più riusciti e convincenti esempi recenti dell'architettura concepita secondo i principi della eco sostenibilità espressa anche a partire da un budget assai limitato.

L'area su cui sorge il complesso era occupata dalla più grande fabbrica di biciclette inglese, chiusa per trasferimento degli impianti in oriente negli anni Ottanta. Il progetto è concepito a partire dai dati ambientali del luogo (correnti dominanti, esposizione, protezione dal rumore, presenza di elementi paesaggistici e naturali). I materiali adottati sono stati scelti per il loro basso costo energetico di produzione (prevalenza del legno), per la loro alta riciclabilità (strutture metalliche), per il basso impatto ambientale (facile e quasi totale possibilità di ripristino al termine della vita utile dell'edificio). Sono stati sfruttati sia sistemi attivi (celle fotovoltaiche), sia passivi (serre, ventilazione naturale) di risparmio energetico. Si è inoltre adottato materiale di riciclato (coibentazione dei pannelli di parete in carta riciclata). La distribuzione del complesso comprende una serie di funzioni "guidate" dalla presenza ambientale di un piccolo lago artificiale, collocato in lunghezza davanti ad una serie di alberate su di una sponda e dagli edifici sull'altra. Le acque del laghetto fungono da raffrescatrici e umidificatici dell'aria, che con direzione costante spira in direzione perpendicolare agli affacci dei corpi di fabbrica. I singoli elementi sono costituiti da blocchi di aule e uffici accoppiati a due a due su ampi spazi a serra, che fungono da atri. La copertura degli atri contiene ventilatori a bassa velocità per l'estrazione dell'aria che ricevono l'energia necessaria al loro funzionamento dalle celle fotovoltaiche della copertura. I corpi scala collocati al fondo degli atri fungono infine da camini di ventilazione, in quanto presentano sulla sommità elementi metallici atti a massimizzare il loro tiraggio. Il ricambio dell'aria dagli uffici avviene attraverso condotti nei pavimenti, il progetto di frangisole fissi (per la limitatezza del budget) posti all'esterno, favorisce il controllo della radiazione solare. La luce negli ambienti è calcolata per essere distribuita con una porzione pari al 70% indiretta e 30% diretta.

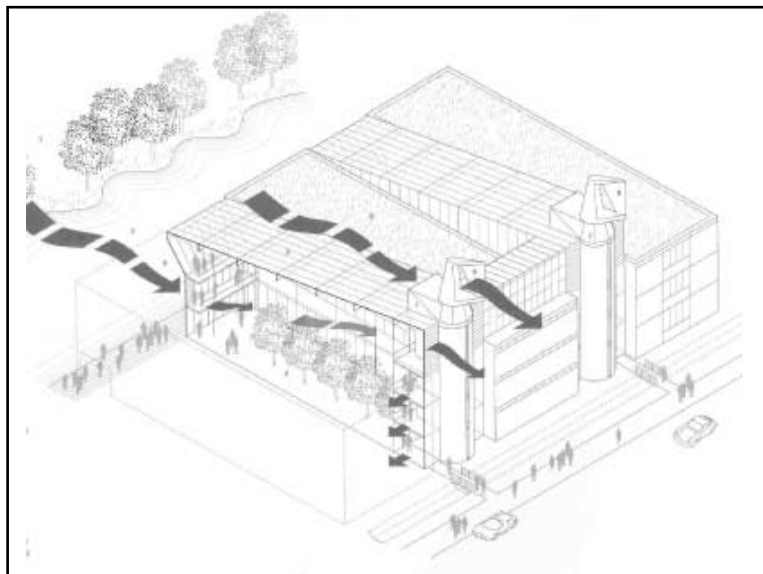


Figura 17 - Schema della Strategia Bioclimatica



Figura 18 - Atrio Interno; in Copertura Pannelli Fotovoltaici con Funzione di Frangisole

9.4. Accademia del Mont Cenis

Herne, bacino della Ruhr

Architetti : Jourda & Peraudin

1991-2000

fonte delle illustrazioni: Ed Melet, Sustainable Architecture, Nai, Rotterdam ,1999

L'edificio ovvero l'involucro che contiene gli edifici che formano le parti del complesso, una sorta di architettura nell'architettura, costituiscono una delle tappe fondamentali nel dispiegamento delle tecnologie eco-sostenibili. Considerato come il più grande tetto fotovoltaico (diecimila pannelli a coprire un volume vetrato di 168 x 72 x 15 m in altezza) integrato architettonicamente al mondo, questo complesso mostra una filosofia progettuale interamente guidata dall'obiettivo della massimizzazione dello sfruttamento attivo e passivo delle fonti rinnovabili di energia.

Dal punto di vista dei materiali, la scelta di coprire entro una serra, la cui struttura è realizzata interamente in travi reticolari e pilastri in abete, una serie di edifici e funzioni affacciate su una strada interna, ha permesso la minimizzazione nell'uso di strutture pesanti. Il controllo microclimatico attraverso la copertura in fotovoltaico a fungere da frangisole oltre che da produttore di energia, unita alla possibilità di apertura regolata dei serramenti dell'involucro, fornisce condizioni ambientali paragonabili ad una latitudine mediterranea.



Figura 19 – Cantiere dell'Involucro, si noti la Copertura in Fotovoltaico

9.5. Complesso per abitazioni uffici e commercio "Prisma".

Norimberga

Architetti : Joachim Eble

1993-1997

fonte delle illustrazioni: rivista Costruire in laterizio n 66, 1998

Il complesso Prisma esemplifica in modo chiaro la possibilità di applicare strategie ecosostenibili ad edifici polifunzionali complessi. Costituito da due corpi di fabbrica composti ad angolo ottuso occupati al piano terreno da esercizi commerciali, ai piani superiori da uffici e agli ultimi due piani da abitazioni, esso presenta un interessante esempio di mix sociale e tipologico atto ad evitare pericolose "specializzazioni" funzionali che grazie alla tecnica del cosiddetto "zoning urbanistico" hanno creato numerosi problemi in passato. Un ampio spazio a serra vetrata di circa 10.000 metri quadri rivolto a Sud si incunea tra i due corpi di fabbrica e si estende verso strada a segnalare la presenza dello spazio pubblico compreso all'interno del lotto. Arredato da un laghetto e dal ruscellamento di un piccolo canale attraverso vegetazione opportunamente piantumata con finalità fito-depurative, lo spazio serra svolge la funzione di polmone bioclimatico dell'intero complesso. Il progetto ha previsto una temperatura minima di cinque gradi centigradi per ogni ambiente affacciato sulla serra in assenza di ogni apporto di riscaldamento artificiale. Il volume vetrato, che può essere aperto per il 70% della sua superficie superiore, funge da accumulatore preriscaldatore e ricambiatore d'aria dei due blocchi su di esso affacciati. La raccolta dell'acqua piovana e la sua conservazione in tre cisterne assolve alle funzioni di umidificatore e termoregolatore del clima, di irrigazione delle piante della serra e di accumulo dell'acqua destinata all'antincendio delle autorimesse.

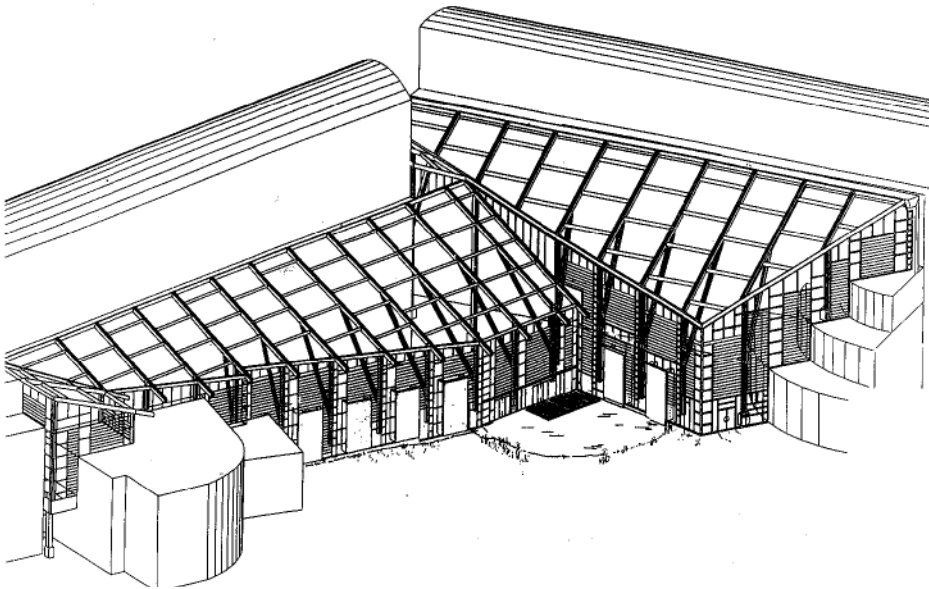


Figura 20 – Vista Assonometrica della Serra Addossata ai Copri di Fabbrica



Figura 21 – Vista Interna

9.6. “Office of the Future”

Garston – Londra
Architetti : Feilden Clegg
1992-1996

fonte delle illustrazioni: rivista Costruire in laterizio n 68,1998

Sorto all'interno del centro del BRECSU (Building Research Establishment Energy Conservation Support Unit), la più prestigiosa struttura di ricerca per l'innovazione nel campo delle costruzioni britannica, l'edificio sostituisce una precedente costruzione parzialmente danneggiata da un incendio. L'aspetto della progettazione secondo i principi eco sostenibili ha qui valore paradigmatico poiché comprende il riciclaggio e riuso di gran parte dei materiali da demolizione dell'edificio precedente, l'uso di tecnologie attive e passive e di conservazione dell'energia e di fonti rinnovabili.



Figura 22 – Dettaglio dei frangisoli e dei camini solari

Articolato secondo una manica

semplice di circa 12 metri di profondità chiusa ad L, la matrice strutturale delle solette è costituita da elementi prefabbricati in calcestruzzo ad andamento sinusoidale, sfruttati per fungere da convogliatori dell'aria di raffreddamento della ventilazione naturale e per contenere i condotti del riscaldamento / raffreddamento radiante a pavimento. La facciata è caratterizzata fortemente dalla presenza di camini solari, utilizzati anche, secondo necessità, da ventole meccaniche, quali estrattori d'aria. Tra i camini solari le logge rivolte a sud sono dotate di frangisole mobili guidati da bracci di regolazione a seconda dell'inclinazione dei raggi solari. Una superficie di pannelli fotovoltaici produce una porzione dell'energia necessaria all'edificio.

La sovrapposizione degli effetti di questa strategia progettuale architettonico impiantistica ha reso possibile la denominazione di Energy Efficient Office of the Future per questo edificio, che ha costituito il modello per numerose successive sperimentazioni. (Vedi anche Figura 4)

9.7. Commerzbank

Francoforte Germania

Architetti : Sir Norman Foster & Partners

1991-1997

fonte delle illustrazioni: D.L. Jones, *Architecture and the environment Bioclimatic building design*, Laurence king, London, 1998,

La torre per uffici della Commerzbank a Francoforte segna una svolta nell'attitudine a concepire l'edificio alto come pura esercitazione formale e strutturale. "la corsa al cielo", verso il record, non è presa in considerazione in questo edificio che si presenta come una sorte di elemento cavo, quasi uno stelo di fiore sul quale si affacciano tre "petali" costituenti la parte abitata. Lo svuotamento centrale in un atrio a tutta altezza e la frammentazione dei corpi di fabbrica alternati da spazi serra abitati da giardini, compone l'utopia di ricondurre il luogo di lavoro dell'ufficio commerciale con la natura e i suoi elementi. La minimizzazione della profondità di manica permette un ottimale sfruttamento dell'illuminazione naturale, la depurazione dell'aria esausta viene compiuta anche dagli spazi serra, tutte le acque grigie degli impianti di raffreddamento sono riutilizzate per i servizi igienici, lo spazio centrale funge da connettivo visivo interno ai piani, ma anche da convogliatore dell'aria esausta degli uffici.

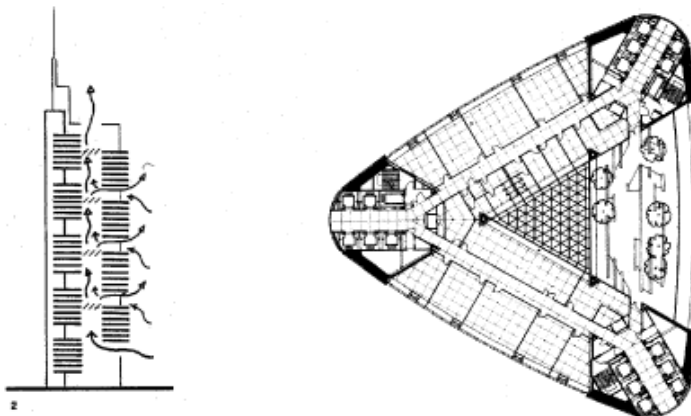


Figura 23 - Pianta e Sezione Schematica dei Flussi di Ventilazione



Figura 24 - Veduta Esterna

9.8. Progetto europeo ZED (Zero Emission- Design)

Architetti: Future Systems

1996

fonte delle illustrazioni: M. Field, Future Systems, Phaidon, London, 1999



*Figura 25 - Sin. Modello di Studio per Palazzo a Destinazione Terziaria con Integrazione di Generatore Eolico nella Matrice Strutturale.
Dest.: Plot 3d dei Vettori di Velocità da Analisi CFD (Computational Fluid Dynamic)*

L'attuale ricerca va rivolgendosi verso il tentativo di integrare gli aspetti di autoproduzione energetica e di composizione architettonica. Studi finanziati dalla Comunità Europea hanno dimostrato la reale possibilità di rendere energeticamente indipendenti edifici di varia tipologia opportunamente progettati secondo criteri che massimizzino la conservazione dell'energia e lo sfruttamento delle risorse rinnovabili.

BIBLIOGRAFIA

- M. Filippi, *L'involucro Edilizio: Passivo Attivo o Ibrido?*, Atti del convegno AICARR Progettare l'involucro edilizio; Bologna, Torino 2001, Napoli 2002
- G.V. Fracastoro, M. Perino, *Numerical Simulation of Transient Effects of Window openings*, Annex 35, HybVent forum, Sydney 1999
- M. Masoero, M. Surra, M. Simonetti, *Natural and Hybrid Systems for the Ventilation and the Air Conditioning of a University Complex*, Clima2000, Napoli 2001
- M. Surra, M. Simonetti, *Integrazione dei Sistemi di Ventilazione Ibrida negli Edifici*, Convegno AICARR Progettare l'involucro edilizio, Bologna, Torino 2001, Napoli 2002
- *Aspects of Atrium Design*, ASHRAE Technical Data Bulletin vol. 11, num 3, 1995
- K. E. Knapp e T. L. Jester, *Energy balances for photovoltaic modules: status and prospects*, 28th Photovoltaics Specialists Conference, Anchorage, Alaska 2000
- M. Masoero, *Progettare edifici energeticamente sostenibili – Intervista a Terry Dix*, Condizionamento dell'Aria n.12, Dicembre 2001
- D.L. Jones, *Architecture and the environment Bioclimatic building design*, Laurence king, London, 1998,
- A. van Hal, *Beyond the Backyard, Sustainable housing experience in their national context*, Aeneas, The Netherland, 2000.
- F. Hendriks, *Durable and sustainable construction materials*, Aeneas, The Netherland, 2000.
- C. Benedetti, Urra, *l'uso delle risorse rinnovabili in architettura*, Kappa ed. Roma, 1999.
- U. Wienke, *Dizionario dell'edilizia bioecologica*, DEI, Roma 1999.
- U. Wienke, *Manuale di bioedilizia*, DEI, Roma 2000.
- AA.VV. *Costruire sostenibile*, Alienea ed, SAIE, Bologna, Firenze, 2000.
- B. Edwards, *Sustainable Architecture*, Architectural press, Oxford, 1999.
- B. Edwards, *Green Buildings pay*, E and F Spon, London, 1998.
- R. Rogers, *Cities for a small planet*, F F, London, 1997.
- S.Lironi, *Ecologia dell'abitare*, GB d, Padova, 1996.
- M.Buono, *Architettura del vento*, Clean, Napoli, 1998.
- C. Benedetti, *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli ed, Rimini 1994.
- M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Maggioli ed, Rimini 1997.
- AA.VV. *Architettura sostenibile*, Pitagora Ed, Bologna, 1998.
- U. Sasso, *Bioarchitettura, glossario*, Ediquadro, Torino, 2000.
- AA.VV. *A green Vitruvius*, Dublino, 1999.
- Ed Melet, *Sustainable architecture*, Nai, Rotterdam, 1999.

- AA. VV, *Costruzione stratificata secco*, Maggioli ed, Rimini 1998.
- M. Nicoletti, *Architettura ecosistemica*, Gangemi, Roma, 1998.
- M. Singh, *L'energia del sole*, Euroclub Unesco, Bergamo, 1996.
- C. Slessor, *Sustainable Architecture and High Technology*, T And H, London, 1997.
- M. Cottom Winslow, *Environmental Design, Showcase Ed*, London. 1994.
- Fluent Inc, *Fluent 5 User's Guide*,.
- *Comis 3.0 User's Guide*
- *Energy + User's Guide*