

LA FLUIDODINAMICA IN ARCHITETTURA

INDICE

Introduzione	11
Fabrizio Tucci	

Prefazione	18
Valeria Cecafosso	

PARTE I FLUIDODINAMICA NEL PROGETTO CONTEMPORANEO

1. Modernità liquida e fluidodinamica	25
1.1 Il progetto architettonico nella modernità liquida	25
1.2 Dalla società solida alla società liquida	28
1.3 Architettura contemporanea e tendenze future	34
2. Approccio prestazionale e dei parametri di fluidodinamica nell'architettura	40
2.1 Il controllo prestazionale	40
2.2 Influenza dei moti d'aria nella progettazione degli edifici	44
2.3 Architettura digitale	47
2.4 Metodologia e parametri di progetto nel mondo fluido	51
3. Importanza del controllo dei flussi d'aria nell'architettura	59
3.1 Considerazioni di inquadramento	59
3.2 Evoluzioni nello studio dei flussi d'aria	60
3.3 Osservazione e studio dei flussi d'aria negli edifici	66
3.4 Influenza del flusso dell'aria sul comfort termico degli occupanti	69
3.5 Qualità dell'aria interna	70

PARTE II

FONDAMENTI, STRATEGIE, SISTEMI E METODI PER LA FLUIDODINAMICA IN ARCHITETTURA

4. Fondamenti di fluidodinamica per la regolazione dei movimenti dell'aria	73
4.1 Considerazioni di inquadramento	73
4.2 Pressione del vento	75
4.3 Ventilazione per differenza di temperatura	77
4.4 Effetto combinato	78
5. Strategie di ventilazione	80
5.1 Considerazioni di inquadramento	80
5.2 Ventilazione orizzontale	85
5.3 Ventilazione verticale	87
6. Sistemi tipo tecnologici per la movimentazione dell'aria	90
6.1 Considerazioni di inquadramento	90
6.2 Elementi di facciata: Aperture; Deflettori di vento e schermature; Griglie di ventilazione; Trickle ventilators; Facciate a doppia pelle	92
6.3 Elementi morfo-tipologici: Torri del vento; Camini di ventilazione; Torri di raffrescamento evaporativo; Condotti interrati; Muro Trombe; Camino solare; Solar Roof ventilator; Atrio	100
6.5 Elementi in copertura: Wind cowl; Wind catcher; Sun Pipe Systems e Solar powered systems; Frangivento	110
7. Metodi di calcolo dei flussi d'aria	114
7.1 Considerazioni di inquadramento	114
7.2 Metodi empirici Metodo standard inglese; Metodo ASHRAE Metodo CIBSE Valutazione della Pressione del vento	116
7.3 Metodi network multi-zona	129
7.4 Metodi CFD	132
7.5 Modellazione ibrida	133

PARTE III FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE

8. Il CFD e i suoi fondamenti	137
8.1 La simulazione come strumento di progettazione dei flussi d'aria	137
8.2 Fondamenti del CFD	142
9. Elementi chiave per una corretta impostazione del metodo CFD	155
9.1 Considerazioni di inquadramento	155
9.2 Modelli di turbolenza	159
9.3 Metodi di discretizzazione	163
9.4 Dominio di calcolo e griglia	165
9.5 Condizioni al contorno	166
9.6 Convergenza, stabilità e univocità	168
9.7 Errori ed incertezza	
10. Fasi dello sviluppo della simulazione fluidodinamica	170
10.1 Considerazioni di inquadramento	170
10.2 Creazione del modello geometrico	172
10.3 Definizione della fisica del modello	174
10.4 Creazione della griglia di calcolo	175
10.5 Calcolo della soluzione	175
10.6 Analisi dei risultati	176

PARTE IV SPERIMENTAZIONE CONTEMPORANEA: CASI DI STUDIO

11. Casi di studio: individuazione delle logiche progettuali per l'uso della ventilazione naturale	179
C.1 Arup Campus, Solihull	182
C.2 BedZED Beddington Zero (fossil) Energy Development	183
C.3 BSKyB HQ	184
C.4 Building Research Establishment office	185
C.5 Central Office for the National Trust	186
C.6 Centro visitatori National Park Zion	187
C.7 Council House 2 Melbourne	188
C.8 Department of Global Ecology - Stanford University	189
C.9 Desert Living Center	190
C.10 Druk White Lotus School	191
C.11 Eastgate Shopping & Office Complex	192
C.12 EPFL-BC: bâtiment des Communications Lausanne	193
C.13 GSW Hauptverwaltung Berlin	194
C.14 Habitat Research and Development Centre's (HRDC's)	195
C.15 Harare International School	196
C.16 Inland Revenue Center	197

C.17 Hospital Sarah Rio	198
C.18 John Madejski academy	199
C.19 Lighthouse	200
C.20 Lycée Charles de Gaulle	201
C.21 Manitoba Hydro Place	202
C.22 Masdar Headquarters	203
C.23 Monkseaton High School, Whitley Bay	204
C.24 Philip Merrill Environmental Center	205
C.25 Portland Community College Newberg Center	206
C.26 Queen's Building of Monfort University	207
C.27 RSPB Rainham Marshes Education Centre	208
C.28 School of Slavonic and East European Studies (SSEES)	209
C.29 Scuola dell'Infanzia a Ponticelli	210
C.30 Tanga School Falkenberg	211
C.31 The Frederick Lanchester library	212
C.32 The Harm A. Weber Center	213
C.33 The University of Nottingham - Jubilee Campus Extension	214

APPARATI DI SUPPORTO

Selezione critica di software per la simulazione dei flussi d'aria	217
12.1 Considerazioni di inquadramento	217
12.2 Modelli di fluidodinamica computazionale (CFD)	219
12.3 Modelli di flussi multizona	220
12.4 Modelli di bilancio energetico dell'edificio	221
12.5 Considerazioni sui software	222
S.1 Phoenix	224
S.2 Comsol	225
S.3 Flovent	226
S.4 Fluent – Ansys	227
S.5 Star-CD	228
S.6 Open Foam	229
S.7 Envi-met	230
S.8 Urbanwind	231
S.9 Comis	232
S.10 Cotam	233
S.11 LoopDA	234
S.12 Energy plus	235
S.13 Design builder	236
S.14 ESP-r	237
S.15 Trnsys	238
S.16 eQuest	239
S.17 Khamsin – SketchUp	240
S.18 Autodesk Project Vasari	241
S.19 Winair – Ecotect	242
Definizioni e termini	243
References	246

Introduzione

Fabrizio Tucci*

I livelli di criticità ambientale e climatica delle città e del pianeta sono sotto gli occhi di tutti e per questo l'impegno progettuale si sta sempre più consapevolmente rivolgendo verso la salvaguardia dell'ambiente, la valorizzazione degli assetti sociali e culturali delle città e la tutela della salute e del comfort delle persone. La qualità ambientale, energetica e bioclimatica degli edifici, degli spazi aperti e delle infrastrutture, l'assetto efficace ed efficiente dei sistemi urbani, la tutela e valorizzazione dei capitali naturale, culturale, sociale e tecnologico dei nostri territori, il benessere e l'inclusione di chi li vive, costituiscono aspetti strategici decisivi per una green growth tesa a creare condizioni favorevoli alla coesione sociale e allo sviluppo equilibrato delle opportunità economiche di lavoro e di mercato.

Nel contesto europeo l'intervento sull'ambiente costruito si è andato sempre più a configurare negli ultimi vent'anni secondo un'ottica ecosostenibile ed è approdato al riconoscimento di nuove categorie fondamentali di riferimento critico in grado di riorientare radicalmente strategie, priorità e indirizzi. La sfida da affrontare agisce su due prevalenti livelli: quello della sostenibilità dei processi di sviluppo nel loro complesso e della capacità di resilienza che in tali processi si riesce a imprimere sui contesti oggetto d'intervento; e quello della natura delle trasformazioni e innovazioni tecnologiche e il grado di efficienza, efficacia e soddisfazione che esse possono esprimere. Il primo, in continuità con i grandi sistemi ambientali, configura l'eco-efficienza dell'architettura non più come una variabile addizionale nel processo di costruzione ma come elemento su cui si misura la sua stessa qualità. Il secondo attiene allo sviluppo technological responsive e alla capacità dinamica interattiva degli elementi, componenti e funzioni morfologici, tipologici, costruttivi, distributivi e d'uso nell'ambito dei complessi sistemi tecnologici dell'architettura.

* *Fabrizio Tucci è Professore Associato di Progettazione Tecnologica presso la "Sapienza" Università di Roma, Facoltà di Architettura, Dipartimento PDTA, dove è Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura. È anche Coordinatore del Gruppo Nazionale di Lavoro "Green Economy per l'Architettura e le Città" degli Stati Generali della Green Economy, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo Economico; e Coordinatore del Cluster "Nearly Zero Energy Building" della Società Italiana di Tecnologia dell'Architettura.*

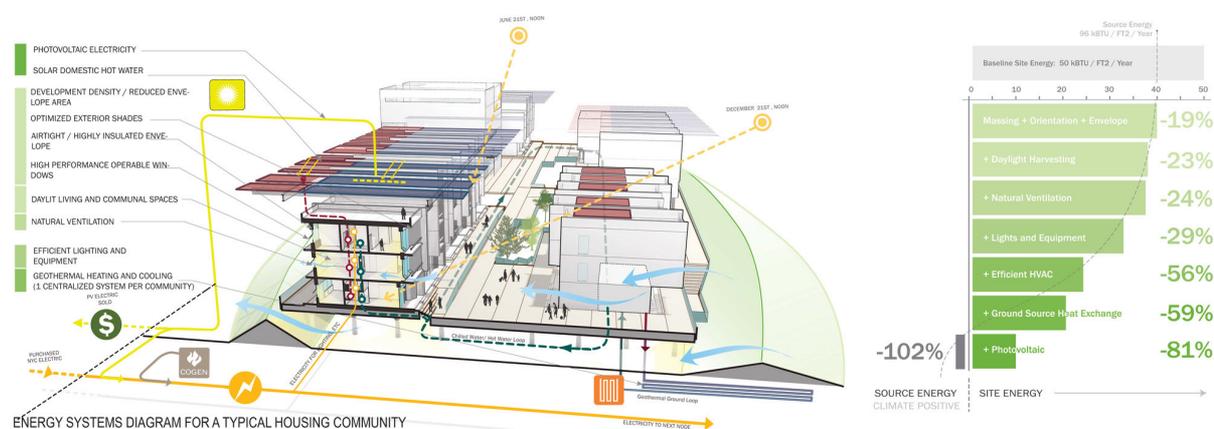


Fig. in alto: Studio di impatto della ventilazione naturale sull'efficienza energetica dell'edificio

Un organismo edilizio, un prodotto tecnologico, un sistema architettonico, un distretto urbano, un comparto di ambiente costruito, possono essere definiti efficienti dal punto di vista ambientale, ecologico e bioclimatico quando le loro trasformazioni morfologiche, strutturali e funzionali, dirette e indotte, nelle fasi di approvvigionamento, produzione, consumo e smaltimento, siano riequilibrare naturalmente o artificialmente in termini quantitativi e qualitativi; quando siano perseguiti e realizzati un'ottimizzazione e un risparmio dei consumi energetici, una drastica riduzione dei gas inquinanti e degli scarti, un'attenta valutazione e preservazione delle materie prime in via di esaurimento, una seria analisi del completo ciclo di vita di tutti gli elementi e componenti in gioco nel processo trasformativo; e infine quando sia al contempo garantita la salute psico-fisica degli operatori e dei fruitori in tutti i momenti, le fasi e gli aspetti precedentemente elencati.

L'architettura ha ormai il dovere di intervenire con responsabilità e consapevolezza ambientale su queste dinamiche e, in particolare, sulla questione della sostenibilità nelle sue sempre più ampie e profonde accezioni, sulla necessità di un uso delle risorse della terra in armonia con la continuità dei suoi sistemi ambientali e con la rigenerabilità dei suoi processi biologici; sull'inderogabile bisogno di aumentare le capacità di resilienza, adattamento e mitigazione dell'ambiente costruito a fronte dei sempre più incisivi cambiamenti climatici e dei loro minacciosi impatti ambientali. Uno degli obiettivi portanti dell'architettura in questo momento epocale di profonde trasformazioni e di crisi

è quello di rispondere a tali problematiche puntando, a tutti i livelli e a tutte le scale, su soluzioni 'passive' centrate sulle capacità prestazionali dell'architettura e delle sue tecnologie piuttosto che su quelle 'attive' basate sull'impiego diffuso, invasivo e spesso energivoro dell'ingegneria impiantistica. La progettualità non riguarda soltanto il modo di produrre cultura materiale né solo il dare forma all'ambiente costruito, ma l'intero rapporto tra azione umana e l'insieme dei riferimenti fisici che, al tempo stesso, sono paradigma delle espressioni culturali e artistiche di una società civile.

La strumentazione per intervenire con efficacia è ormai disponibile. Oggi si può costruire a 'zero consumi di energia' ma bisogna andare oltre: il saldo di energia rinnovabile fra quella prodotta e quella consumata deve essere positivo, la qualità ambientale la più elevata possibile, le emissioni nocive finalmente annullate, l'impronta ecologica drasticamente ridotta, il benessere ambientale decisamente aumentato e i benefici bioclimatici diffusi per tutti. Un deciso posizionamento in questo senso è stato operato di recente dagli Stati Generali della Green Economy per l'Architettura che hanno formulato il Manifesto "la Città Futura" e illustrato più diffusamente le sue tesi nel libro "Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy".

La ricerca che presentiamo in questo libro si inserisce in tale ambito di lavoro. Il testo mi sembra offrire un significativo contributo sperimentale, maturato in diversi anni di studi e sperimentazioni condotti dall'autrice, esplicativo delle potenzialità dei percorsi progettuali che oggi dal punto di vista tecnologico e prestazionale è possibile intraprendere nel concepire e realizzare un'architettura fortemente connotata dal punto di vista bioclimatico-ambientale.

Il libro di Valeria Cecafofso si occupa infatti di termo-fluidodinamica, un argomento a cui l'autrice ha dedicato con passione molti anni di ricerca - fin dagli studi compiuti nell'ambito della Tesi di Dottorato - e che ha coltivato con un interesse davvero speciale misurandosi su una dimensione di complessità che le ha consentito di sviluppare e accrescere una profonda sensibi-

lità e competenza, tuttora in crescita, sulle tematiche trattate.

La fluidodinamica studia il movimento dei fluidi, cioè il moto dei corpi in relazione alle forze che lo producono, dove il fluido è qualsiasi sostanza che si presenti allo stato liquido o aeriforme e le molecole non hanno una posizione reciproca fissa. Come noto, le basi per il movimento dell'aria, sia all'interno che all'esterno dell'edificio, sono dovute alle differenze di temperatura e di pressione: quando esistono differenze di temperatura fra volumi di aria adiacenti, esistono anche differenze di densità di aria; oppure, quando esistono temperature differenti fra la superficie dell'edificio e l'aria adiacente alla superficie stessa, la densità dell'aria vicina alla superficie sarà diversa dall'aria dell'ambiente. È sulla consapevolezza e la padronanza dei principi semplici e basilari della termo-fluidodinamica (capacità che gli architetti progettisti troppo spesso delegano ad altri), che si gioca la capacità di operare correttamente l'indirizzo e il controllo dei più complessi e importanti fenomeni ascrivibili all'ampio campo della bioclimatica nella progettazione dell'architettura a tutti i livelli.

Nel libro sono presenti interessanti considerazioni d'inquadramento sull'architettura contemporanea e sulle sue tendenze ed è analizzato preliminarmente il quadro di riferimento del contesto ambientale e socio culturale della tematica trattata. La ricerca architettonica, avvalendosi dei risultati della sperimentazione nel campo dei materiali e delle tecniche di lavorazione, alimenta oggi una creatività progettuale senza limiti: la riduzione degli elementi strutturali portanti, insieme all'introduzione di nuove tecnologie e strategie di controllo, permette una versatilità progettuale sempre maggiore. In questo senso viene rilevato quanto l'architettura contemporanea ponga sempre più fortemente al centro della sua ricerca l'inclusione dell'aspetto dinamico e del cambiamento del rapporto spazio/tempo. In parallelo al passaggio dalla filosofia dell'essere a quella del divenire, l'idea di architettura si evolve da statica a dinamica, non tanto nel senso di 'superamento dei requisiti di staticità' quanto nella capacità di assicurare la flessibilità di adattamento alle condizioni fisiche

circostanti, di recepire il costante flusso di input informativi, di riuscire non solo a esprimere attraverso la forma l'idea del movimento, ma a conferire alla caratterizzazione morfologica dello spazio l'abilità nell'accompagnarne, indirizzarne, ottimizzarne il sistema di flussi, di movimenti delle masse d'aria, di generazione o attenuazione degli effetti termici, di controllo delle condizioni energetiche, bioclimatiche e di comfort ambientale.

Di fatto, la progettazione della movimentazione delle masse d'aria in architettura sta diventando significativa nella sperimentazione contemporanea in quanto offre, se ben controllata e ottimizzata, contributi importanti sia per quanto riguarda il risparmio energetico, sia per gli aspetti di comfort bioclimatico e termo-igrometrico, oltre che di qualità ambientale nel senso più ampio, tanto da essere considerata uno dei fondamentali elementi strategici per il conseguimento di un'alta efficienza energetica e di una elevata efficacia ecologica nel progetto di architettura.

Oggi si può affermare senza più alcun dubbio che la ventilazione naturale costituisce un fattore prioritario del corretto funzionamento dell'edificio che, secondo l'etica del costruire sostenibile, deve comportarsi come un organismo vivente in grado di rapportarsi agli stimoli esterni e di autoregolarsi. Un autentico progetto sostenibile non può che esprimere una visione olistica di tutte le sue componenti le quali, se integrate sin dalle prime fasi della progettazione, possono contribuire a determinare l'esito morfologico ed estetico della costruzione dissolvendo i confini tra concezione architettonica e progettazione tecnologica, tra individuazione delle soluzioni dal punto di vista essenziale-prestazionale e messa a punto delle scelte progettuali in modo ambientalmente consapevole.

Il libro descrive tutti gli aspetti connessi alla ventilazione con un linguaggio rigoroso ma, al contempo, presenta una buona leggibilità e un'agile comprensibilità rendendo semplici anche concetti di non accesso immediato. Viene presentata un'ampia letteratura di riferimento e una ricca documentazione tecnico-scientifica sugli aspetti teorici della fluidodinamica e dei

relativi metodi di calcolo (empirici, network multizona e CFD) nonché sui sistemi tipo-tecnologici per la movimentazione dell'aria anche attraverso l'analisi di 33 casi di studio. Si riscontrano inoltre una esaustiva ricognizione degli strumenti di simulazione fluidodinamica con lo studio dei relativi software e la messa a punto di una griglia di valutazione delle loro potenzialità anche in vista della tendenza che sembra affermarsi dell'uso di strumenti di simulazione 'ibrida' per risolvere con maggiore affidabilità le problematiche progettuali e gli aspetti operativi dei sistemi di ventilazione e ottimizzazione, arricchiti da un utile glossario. Vengono quindi evidenziati i requisiti dell'approccio prestazionale, focalizzata l'importanza dei controlli dei flussi d'aria, individuati i parametri di fluidodinamica nell'architettura.

Nel contesto computazionale emerge così l'approccio prestazionale alla progettazione dell'ambiente costruito, dove la prestazione assume un ampio significato collegandosi a più ambiti, da quello economico e socio-culturale a quello più propriamente tecnico e tecnologico (strutturale, costruttivo, energetico, termico, acustico, ecc.). In ogni caso l'obiettivo è ancorare il progetto di architettura alla sfera prestazionale nella sua più ampia accezione e con la massima consapevolezza dei suoi comportamenti, avvalendosi delle tecnologie digitali di modellazione e simulazione nella diffusa convinzione che la serie di performance bioclimatiche, a partire da quelle fluidodinamiche protagoniste di questo libro per passare alle loro ricadute sulle condizioni termiche, energetiche e di comfort degli spazi modellati, sarà un elemento di valutazione sempre più importante non solo *ex post*, a progetto chiuso e addirittura a realizzazione avvenuta, ma soprattutto e finalmente *ex ante*, quale momento-chiave del processo decisionale e di indirizzo delle scelte progettuali.

Alla luce delle analisi dei principi che governano i flussi d'aria e delle complesse relazioni da questi generate, si afferma un approccio alla progettazione mirato all'elaborazione di modelli basati sulla capacità di operare simulazioni e computazioni fluidodinamiche contenenti gli elementi per impostare i corretti parametri prestazionali, per guidare lo sviluppo della forma e

per orientare la ricerca della soluzione performante dal punto di vista bioclimatico. È a questo fine che appaiono preziosi gli studi condotti dalla autrice sinergicamente su vari piani: insieme alla presentazione, prima menzionata, dei casi di studio di edifici realizzati dei quali viene vagliata l'efficienza e l'efficacia prestazionale nonché il quadro dei sistemi tipo-tecnologici di cui si avvalgono, sono anche affrontati criticamente gli attuali metodi di calcolo computazionali dei flussi di aria e i relativi software in costante e rapida evoluzione, e vengono prospettati i possibili sviluppi che interesseranno sempre più incisivamente il processo progettuale con l'introduzione di strumenti parametrici e algoritmi generativi non disgiunti dalle trasformazioni di contesto nelle quali l'opera di architettura simulata verrà sempre più pienamente e consapevolmente collocata.

Il risultato è un utile strumento di lavoro per chi si accosta all'affascinante e costantemente in crescita insieme di tematiche relative all'impiego della ventilazione naturale in architettura e per chi voglia approfondire le frontiere più avanzate della fluidodinamica computazionale e dell'uso delle simulazioni e ottimizzazioni che si stanno dimostrando validi strumenti per la progettazione bioclimatica dell'architettura alle diverse scale di intervento.

È noto che lo sviluppo industriale sul piano internazionale e la continua urbanizzazione hanno prodotto uno sfruttamento di risorse naturali e un inquinamento globale e micro-ambientale, che colpisce la nostra salute e causa, in prospettiva, danni alle generazioni future cui oggi si cerca di porre rimedio intervenendo in più direzioni con misure di mitigazione ambientale. La comprensione dei benefici della sostenibilità e della sua attuazione nella pratica della progettazione degli edifici è di fondamentale importanza per la tutela ambientale a lungo termine.

Questo libro si colloca nell'ambito di ricerca relativo all'efficienza energetica e ambientale degli edifici in un'ottica innovativa di progettazione che vede l'utilizzazione di strumenti di simulazione prestazionale già in fase di progettazione preliminare.

La ventilazione naturale è sempre più usata negli edifici per ridurre al minimo il consumo di energia da fonti non rinnovabili e la dipendenza dai sistemi attivi. La maggiore consapevolezza dei problemi ambientali suscita un crescente interesse sulle costruzioni eco-sostenibili ed, in particolare, sui dispositivi bioclimatici negli edifici per migliorare la qualità dell'aria, controllare la ventilazione e la trasmissione di calore e della luce.

Nella fase di progettazione di un edificio uno dei fenomeni più importanti e complessi da prevedere è quello dei flussi d'aria all'interno e all'esterno dell'edificio stesso, al fine di valutare le sue prestazioni energetiche, il comfort termico e la qualità dell'aria. Il CFD (Computational Fluid Dynamics) consente attraverso simulazioni virtuali la risoluzione di problemi per i quali in passato si richiedeva la costruzione di modelli in scala e misurazioni per via sperimentale con riflessi in termini di costi e di tempi di realizzazione. La modellistica numerica è diventata parte insostituibile di una progettazione ad alta efficienza ed affidabilità energetica e ambientale.

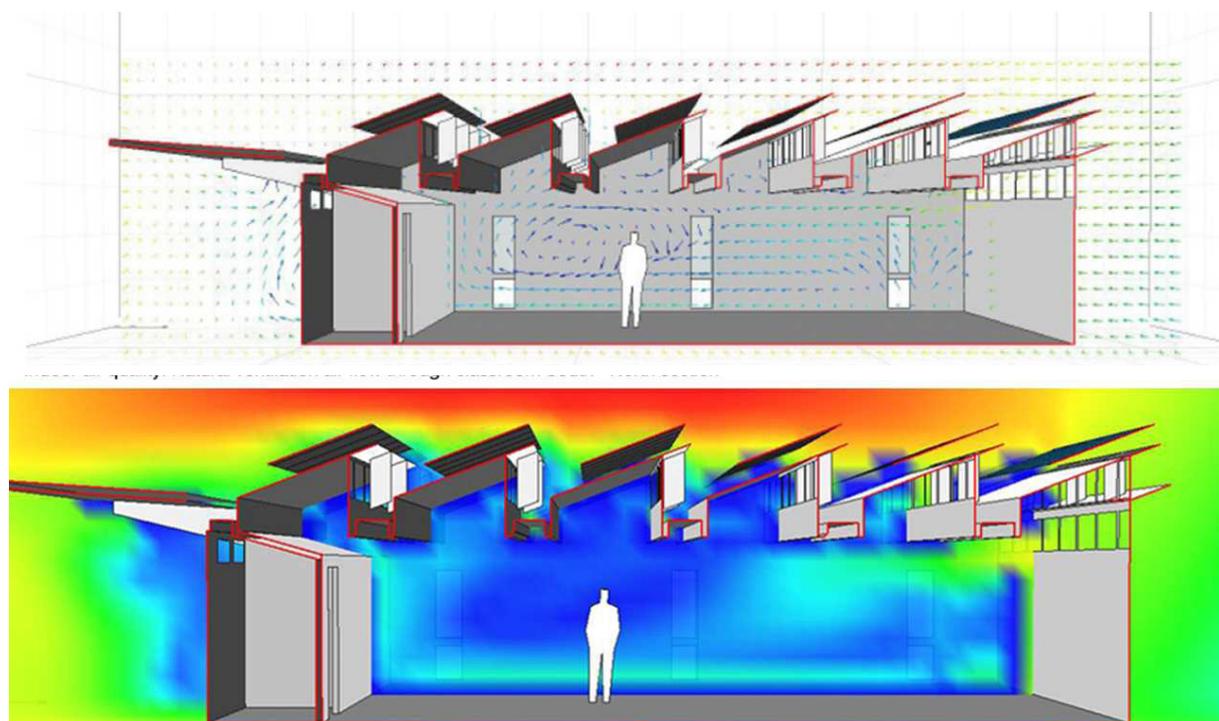
Un punto di svolta nella definizione del rapporto tra ambiente e tecnologia si è avuto con l'emergere delle problematiche ambientali. La tecnologia, pertanto, deve rispondere alle esigenze costruttive mediante la ricerca di sistemi più idonei di intervento per tutelare il contesto ambientale e l'equilibrio tra l'uomo e l'ambiente.

L'acquisizione delle problematiche ambientali restituisce centralità al progetto architettonico aprendo così nuove prospettive e nuovi linguaggi. È indispensabile che l'innovazione dei caratteri tipologici debba saper interpretare la natura dei luoghi e la cultura dell'abitare.

La progettazione delle masse d'aria in architettura sta diventando significativa nella sperimentazione contemporanea in quanto offre contributi importanti sia per quanto riguarda il risparmio energetico, sia per gli aspetti di comfort bioclimatico e termigrometrico, oltre che di benessere ambientale, particolarmente adatto nel clima mediterraneo, tanto da essere recentemente considerata uno dei fondamentali elementi strategici per il conseguimento di un'alta efficienza energetica e di un'elevata efficacia ecologica nel progetto di architettura.

L'uso razionale dell'energia nelle costruzioni impone, quindi,

Fig. in basso: Esempio di studio della ventilazione naturale



una generale rivisitazione del processo progettuale, non più come sommatoria di parti ma come integrazione delle stesse unificando linguaggi, chiavi e modelli di lettura per collocare ogni aspetto del problema nella giusta posizione gerarchica e per creare sinergie fra le diverse componenti.

Ai fini della sostenibilità ambientale degli edifici un ruolo fondamentale è svolto dall'informatica. La ricerca e l'esperienza accumulata negli ultimi anni in materia di efficienza energetica e di qualità ambientale ha consentito di mettere a punto molti strumenti di calcolo che rappresentano elementi decisivi per la progettazione.

Per ottimizzare le prestazioni dell'edificio e, quindi, anche per il controllo della qualità ambientale si può ricorrere a simulazioni che consentono di testare e/o integrare più tecnologie valutando soluzioni alternative al fine di scegliere quelle più adeguate in relazione al contesto ambientale. In particolare, le piattaforme informatiche, peraltro in continua evoluzione, consentono un'elevata efficienza energetica a vantaggio della progettazione finalizzata allo sviluppo sostenibile.

Questo libro vuole, pertanto, delineare un quadro delle avanzate esperienze in atto e ipotizzare i possibili futuri sviluppi del ruolo della fluidodinamica nel controllo bioclimatico energetico degli edifici.

Il testo si articola in quattro parti, ciascuna delle quali affronta le tematiche di studio sviluppandole attraverso la configurazione in capitoli che focalizzano, di volta in volta, specifici aspetti che, comunque, si relazionano tra loro secondo una logica comune.

Nella prima parte viene preliminarmente analizzato il quadro generale di riferimento del contesto ambientale e socio-culturale del progetto architettonico sostenibile, definita l'importanza dello studio dei flussi d'aria nel progetto contemporaneo e fornita una panoramica di casi di studio significativi per captare le logiche progettuali di ottimizzazione della movimentazione dell'aria. Inoltre, viene sviluppata la problematica della rilevanza del controllo prestazionale nel processo progettuale. Il processo di

progettazione diventa sempre più complesso e tende a un approccio olistico che inquadra tutti i fattori incidenti sulla progettazione in una visione globale e in una logica unitaria. Pertanto, nella progettazione sostenibile l'uso di metodi semplificati basati sulla formulazione di matrici tipologiche e sull'esclusiva applicazione della regola d'arte utilizzati di norma sembrano inadatti ad affrontare la complessità della sfida.

La seconda parte affronta la tematica riguardante le strategie, i sistemi e i metodi per lo sfruttamento ottimale della ventilazione naturale. Essa descrive i processi fisici che regolano i movimenti dell'aria e valuta gli effetti prodotti sul piano dell'impostazione teorica e delle ricadute progettuali. Viene fornita una panoramica delle tecniche di ventilazione naturale e dei sistemi passivi in grado di sfruttare le potenzialità delle masse d'aria con particolare attenzione alle capacità applicative in area mediterranea. Vengono poi analizzati criticamente i metodi di calcolo per la stima dei fenomeni legati al movimento dell'aria.

La terza parte è dedicata al CFD e alla sua applicazione ai problemi di ventilazione naturale discutendone in dettaglio le procedure di progettazione della simulazione. Vengono inoltre illustrate le regole per ottenere una buona simulazione e spiegati i principi su cui si basa questo metodo.

La quarta parte analizza casi di studio che fanno riferimento alla sperimentazione contemporanea con particolare attenzione alle logiche di impianto progettuale della ventilazione naturale. È infine presentata una rassegna di software analizzati con i loro punti di forza e con gli aspetti critici individuando le procedure informatiche più idonee alla soluzione di specifici problemi.

11. CASI DI STUDIO

11.1 Considerazioni di inquadramento

La progettazione della movimentazione delle masse d'aria è ritornata prepotentemente in auge in tutto il mondo per l'accresciuta sensibilità alle tematiche ambientali e per l'esigenza di contenere i costi energetici per cui i progettisti adottano sempre di più strategie "verdi" per la costruzione degli edifici avvalendosi di tecniche avanzate di modellazione computazionale per migliorare la performance prestazionale.

Camini e torri, che sfruttano le differenze di pressione per attivare la movimentazione dell'aria, sono gli elementi architettonici significativi di questi edifici che sembrano caratterizzare il nuovo approccio. In questo capitolo viene presentata una panoramica di progetti che, appunto, hanno utilizzato la ventilazione come motivo di implementazione del progetto.

La ventilazione naturale costituisce, infatti, un fattore prioritario del corretto funzionamento dell'edificio che, secondo l'etica del costruire sostenibile, deve comportarsi come un organismo vivente in grado di rapportarsi agli stimoli esterni e di autoregolarsi. Un autentico progetto sostenibile non può che esprimere una visione olistica di tutte le sue componenti che, se integrate sin dalle prime fasi della progettazione, possono contribuire a determinare l'esito morfologico ed estetico della costruzione dissolvendo i confini tra architettura e tecnologia.

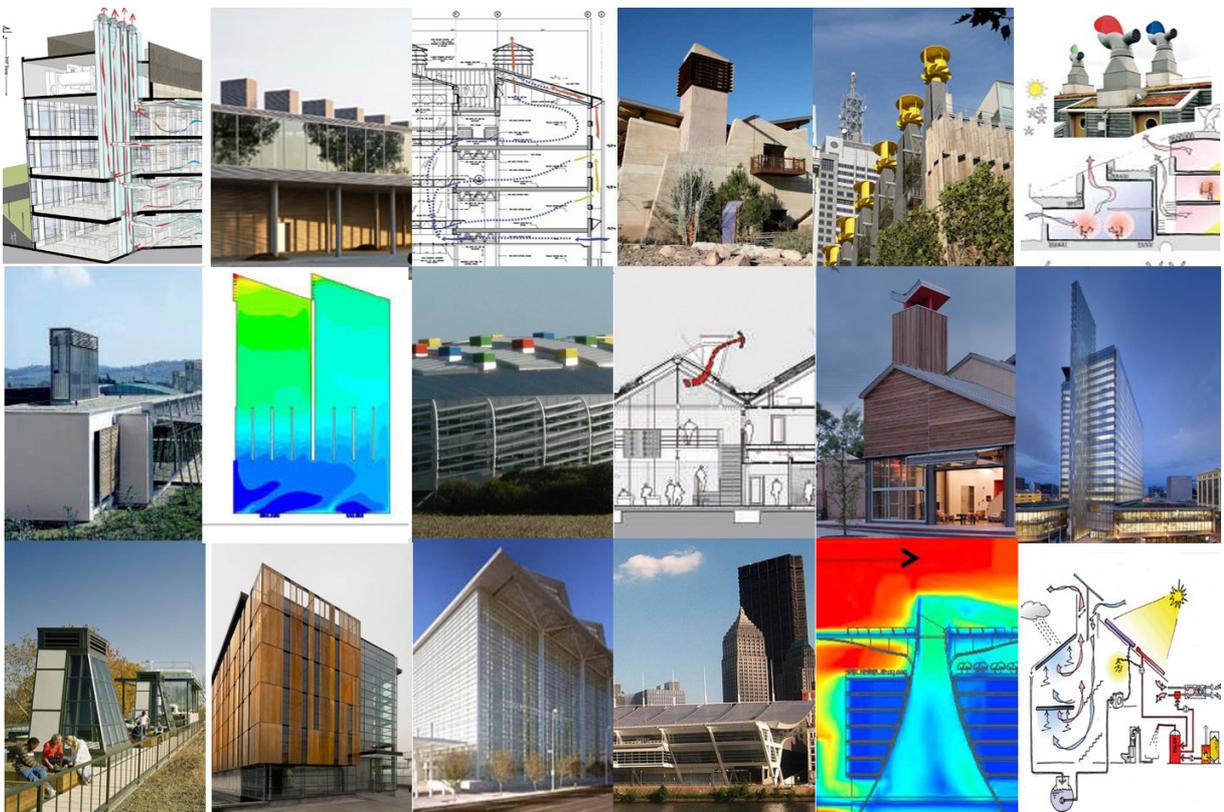
Come si vedrà nelle schede, esistono interessanti soluzioni che utilizzano l'aria per il controllo delle condizioni ambientali, da quelle totalmente naturali a quelle definite ibride, cioè che realizzano la movimentazione dell'aria avvalendosi sia della ventilazione naturale sia di quella meccanica, secondo diversi livelli di sofisticazione tecnologica degli impianti.

I tradizionali impianti d'aria condizionata possono essere così ridimensionati e i benefici economici e ambientali sono notevoli,

come dimostrano i dati di gestione degli edifici che utilizzano la ventilazione naturale. La riduzione del consumo elettrico comporta una migliore gestione della domanda di picco di energia ed una riduzione di emissioni di biossido di carbonio. Si hanno, quindi, edifici più sostenibili e bilanci di funzionamento degli stessi inferiori alla norma.

Parte del successo economico e ambientale di questi edifici deriva anche dal fatto che le strategie di ventilazione naturale, in genere, vengono associate con altre buone pratiche sostenibili. Ad esempio, alcuni sistemi tecnologici per la ventilazione possono essere utilizzati anche per l'illuminazione naturale. In altri casi la massa termica dell'edificio, che fornisce una stabilità media della temperatura radiante, contribuisce ad una buona ventilazione naturale temperando i flussi d'aria in ingresso e permettendo che il calore accumulato durante il giorno venga dissipato con la ventilazione notturna.

La riduzione dei consumi è, inoltre, dovuta all'utilizzazione di modelli computazionali che consentono di ottimizzare i tassi di



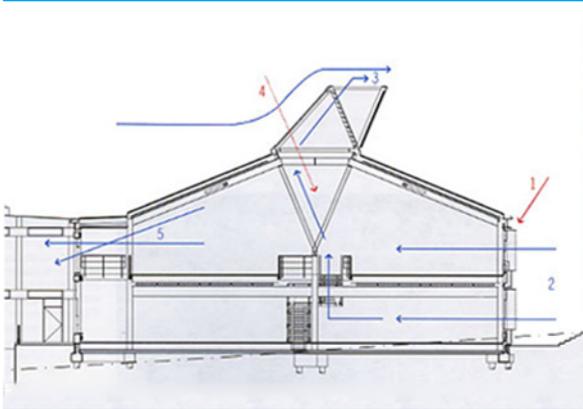
flusso d'aria dimensionando opportunamente le aperture e gli altri sistemi tipo tecnologici per la ventilazione, cui spesso vengono associati modelli in scala per un controllo incrociato con le simulazioni al computer.

Le misurazioni sui modelli in scala utilizzano generalmente due modalità: la galleria del vento e i water model. La sperimentazione di modelli in scala in galleria del vento ha dimostrato di essere uno strumento di progettazione efficace per analizzare il movimento dell'aria attraverso un edificio. Nei modelli in acqua (water model) viene utilizzato un modello dell'edificio in plastica trasparente e vengono immerse soluzioni saline colorate la cui diversa densità permette di visualizzare i moti di flussi d'aria.

Lo sviluppo di competenze e di metodi progettuali contribuisce all'uso della ventilazione naturale nei nuovi edifici.

Va rilevato, infine, che dai casi di studio emerge che i sistemi tipo tecnologici per la ventilazione (camini, torri, atri, captatori eolici, ecc.) stanno diventando elementi distintivi del progetto architettonico che ne movimentano la forma contrapponendosi agli edifici sigillati ermeticamente a blocco compatto che caratterizzano il design degli edifici che fanno largo uso di aria condizionata. Individuare e gestire i flussi d'aria consente di valorizzare una grande risorsa naturale ed innesca nuove tecnologie sostenibili per edifici a basso consumo energetico, con particolare beneficio per le tipologie complesse, come uffici, scuole ed ospedali.

C1 Arup Campus, Solihull



Il campus, che ospita la struttura multidisciplinare è immersa nel verde del Birmingham Business Park a Solihull, in Inghilterra. Uno degli obiettivi esplicitamente perseguiti nella progettazione è la realizzazione di un ambiente confortevole ed energeticamente efficiente, che prevede la sostenibilità ambientale e la fattibilità economica, il collegamento visivo e diretto con il paesaggio naturale circostante, la ventilazione naturale e buoni livelli di luce naturale. Il complesso è composto da due padiglioni di pianta rettangolare adibiti ad uffici, organizzati su due livelli open-space, collegati dal blocco della reception e dei servizi comuni.

L'intero edificio è stato progettato in relazione alle esigenze della ventilazione naturale, che si basa sull'effetto-camino favorito dal disegno della copertura: le falde inclinate culminano con i lucernai apribili che garantiscono il passaggio di un flusso d'aria costante verso l'alto, attraverso gli uffici, diffondendo inoltre la luce naturale proveniente da nord. L'introduzione dei lucernari ha permesso di ottenere una profondità del blocco uffici di circa 24 m.

La ventilazione è stata combinata alla massa termica per garantire una buona qualità dell'aria ed ottenere contemporaneamente la dispersione del calore prodotto dalle persone e dalle attrezzature informatiche; non vi sono sistemi di condizionamento meccanico. Per favorire anche la ventilazione da un solo lato, numerosi infissi sono tripartiti, con una parte fissa al centro e, al di sotto e al di sopra di questa, una parte apribile. .

Luogo

Solihull, Inghilterra

Progettista

Ove Arup&Partners

Anno di realizzazione

2001

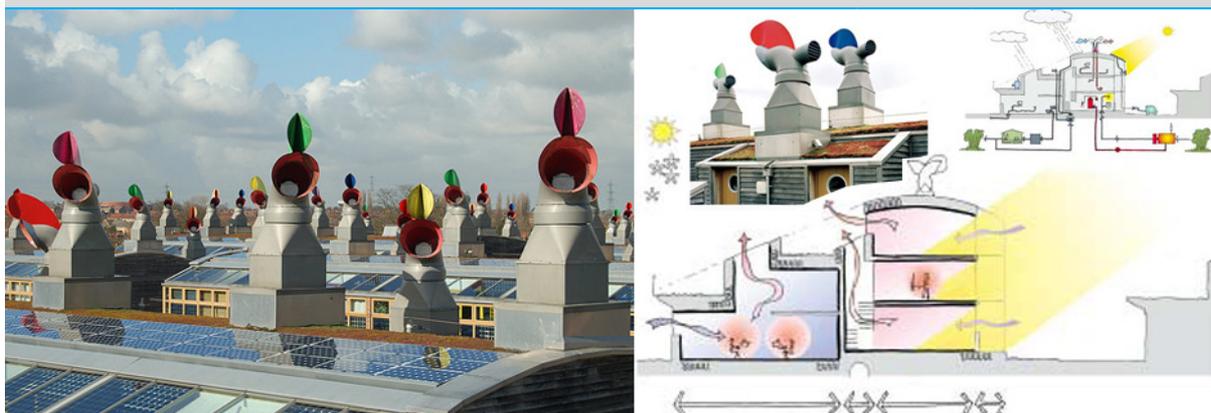
Destinazione d'uso

Edificio per uffici

Logiche progettuali per l'uso della ventilazione

Ventilazione favorita dalle particolari aperture in copertura

C2 BedZED



BedZED è l'acronimo di Beddington Zero Energy Development e il nome di un complesso composto da differenti tipologie di unità abitative, nel quartiere di Sutton, che mira ad affrontare con un approccio olistico le questioni della sostenibilità. Il progetto ha beneficiato dell'entusiasmo di un committente di ampie vedute e di uno specifico team di progettazione, oltre che del supporto delle autorità locali.

Il complesso sorge su un'area dismessa e prevede anche la costruzione di spazi di lavoro, in modo che i residenti possono lavorare vicino casa. Le unità abitative sorgono sugli spazi sottratti ai posti di lavoro. Gli edifici sono studiati per forma, esposizione ed uso per adeguarsi alle condizioni climatiche del sito. L'organizzazione planimetrica interna prevede tre zone: giardini d'inverno esposti a sud-est, che fungono da volumi di smorzamento termico, cui sono accostati locali di soggiorno, uffici e altre funzioni particolari, esposti a nord-ovest. Le facciate completamente vetrate a sud garantiscono un ottimo sfruttamento della radiazione solare che fornisce luce e calore.

Il sistema della ventilazione naturale, dotato di recupero di calore, provvede al ricambio costante dell'aria. Oltre le finestre mobili che consentono la ventilazione trasversale e i lucernari che garantiscono "l'effetto camino", ogni unità è provvista di un camino di ventilazione. Questi camini sono azionati dal vento e provvisti di scambiatori di calore in grado di preriscaldare l'aria in inverno così come di raffreddarla in estate e sono connessi ad ogni vano attraverso un sistema di condutture.

Luogo

Wallington, Surrey, UK

Progettista

Bill Dunster Architects
ZED factory and Ove
Arup & Partners

Anno di realizzazione

2002

Destinazione d'uso

Edificio residenziale/mix
funzionali

Logiche progettuali per l'uso
della ventilazione

Ventilazione ibrida con
l'ausilio di wind cowl

C3 B SkyB HQ



Harlequin è la sede per la produzione e trasmissione televisiva di Sky. L'architettura dell'edificio mostra la tecnologia integrata ed in particolare i sistemi di ventilazione naturale. I camini sono in facciata. B SkyB si è affidata ad Arup Associates per sviluppare un progetto mirato a catturare ogni valida risorsa naturale sul sito e ridurre il consumo energetico nonché adottare parametri di sostenibilità. Questa filosofia ha alimentato la creazione di un layout efficace e flessibile e alle esigenze. L'edificio ha ottenuto la valutazione "eccellente" del BREEAM.

Gli spazi per le tecniche di post-produzione sono posizionati centralmente, gli uffici si affacciano direttamente verso l'esterno per consentire l'accesso alla luce e ventilazione naturale, l'apertura delle finestre sono regolate da un sistema di gestione dell'edificio ma possono anche essere aperte manualmente dagli occupanti.

I camini di ventilazione contribuiscono alla ventilazione dell'edificio. Quando le circostanze esterne sono inadeguate per la ventilazione naturale, la ventilazione meccanica e il raffreddamento degli spazi dello studio può essere implementato. Il progetto integrerà produzione on-site di energia da fonti rinnovabili. L'edificio sarà alimentato da un sistema per il riscaldamento e raffreddamento a biomassa e due turbine eoliche forniscono energia in modo sufficientemente efficace per soddisfare i requisiti annuali di illuminazione dell'edificio. Con una certa flessibilità sono stati costruiti gli impianti in modo tale da consentire di installare in futuro facilmente nuove tecnologie sostenibili

Luogo

Londra, Regno Unito

Progettista

Arup Associates

Anno di realizzazione

2010

Destinazione d'uso

Edificio per uffici

Logiche progettuali per l'uso della ventilazione

Ventilazione ibrida con l'impiego di camini di ventilazione

C4 Building Research Establishment office



L'edificio rappresenta il risultato di un programma di risparmio energetico negli edifici ad uso ufficio, denominato Energy Efficient Office of the Future (EOF). Questo progetto ha ricevuto il punteggio più alto del metodo BREEAM registrato in quel momento con un basso consumo energetico e un'attenzione alla sostenibilità ed, in particolare, al riciclaggio dei materiali (96% del materiale dalla demolizione degli edifici che erano presenti sul posto è stato riciclato).

Tra le misure prospettate per ridurre del 30% i consumi energetici rispetto alla migliore pratica corrente sono state indicate quelle di evitare o limitare al minimo l'uso di impianti di condizionamento dell'aria, minimizzare l'uso dell'illuminazione artificiale aumentando, invece, quello della luce naturale e utilizzare la struttura dell'edificio come massa termica per moderare le temperature.

Gli elementi che caratterizzano questo edificio sono i cinque camini solari sulla facciata sud. Si sono inoltre adottati opportuni accorgimenti per consentire la massima ventilazione trasversale. Sono stati impiegati materiali edilizi massivi in grado di assorbire il calore e moderare le temperature massime. Si è favorita la ventilazione notturna per rimuovere il calore accumulato durante il giorno. Ulteriore sistema di raffreddamento avviene attraverso l'acqua fatta circolare nel soffitto. In inverno l'acqua è riscaldata da caldaie a condensazione. Tutti i sistemi di riscaldamento e raffreddamento sono gestiti dal sistema di gestione dell'edificio (BMS).

Luogo

Garston, Watford

Progettista

Feilden Clegg Bradley Architects

Anno di realizzazione

1996

Destinazione d'uso

Edificio per uffici

Logiche progettuali per l'uso della ventilazione

Ventilazione ibrida e cross-ventilation con l'impiego di camini solari

12. SELEZIONE CRITICA DI SOFTWARE PER LA SIMULAZIONE DEI FLUSSI DARIA

12.1 Considerazioni di inquadramento

Esistono molti codici, sia commerciali che interni a centri di ricerca, adatti all'analisi dei flussi d'aria all'interno e all'esterno degli edifici. Con l'avanzamento della tecnologia e con l'ampia disponibilità di strumenti di simulazione è opportuno valutare il software di simulazione più appropriato per un particolare problema. In realtà, una decisione non facile da prendere e ciò spesso porta ad usare per ogni problema lo strumento disponibile più sofisticato.

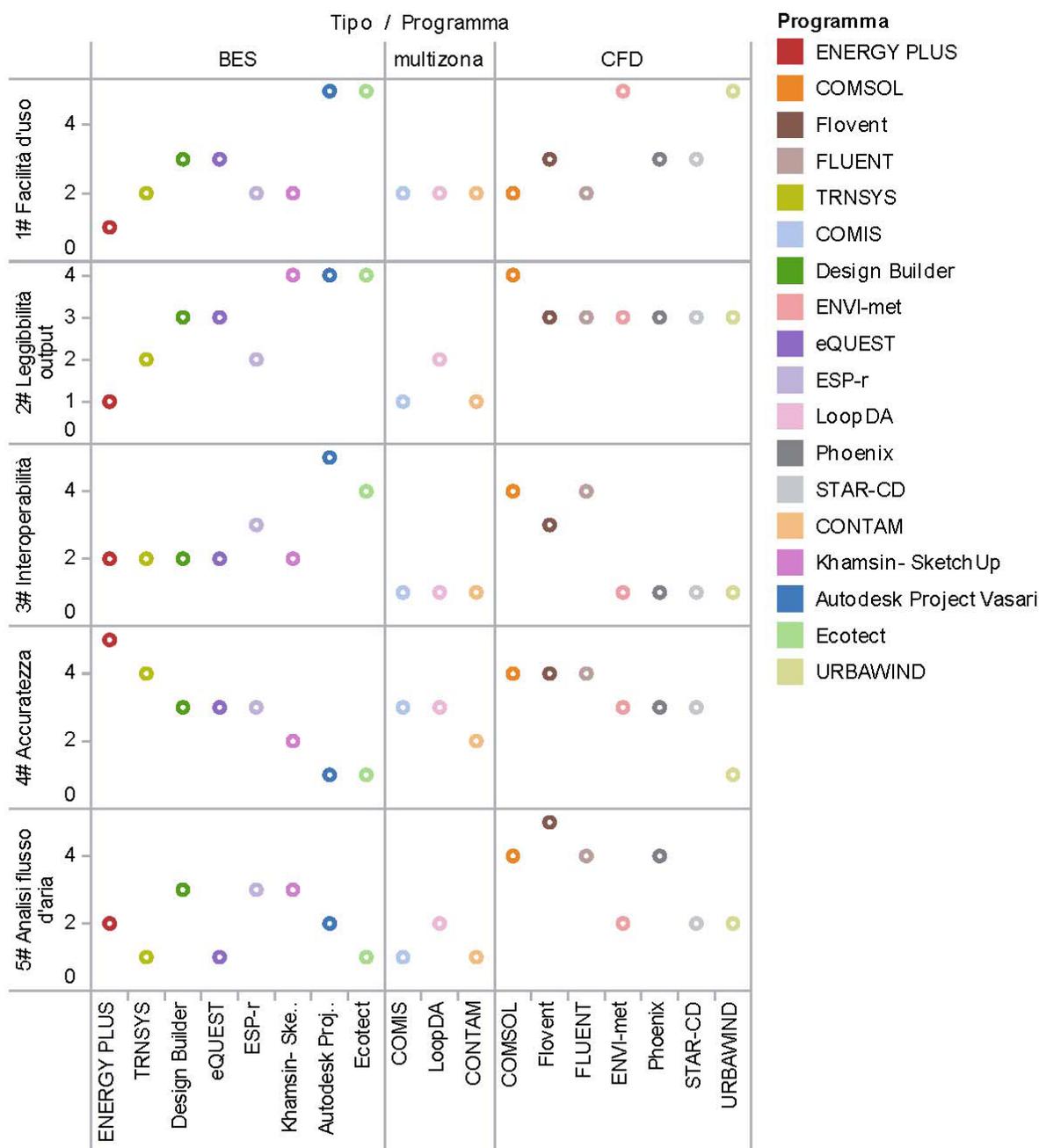
I livelli di risoluzione e la complessità sono direttamente correlati alla precisione della simulazione e al suo costo totale. Uno strumento semplice può essere più conveniente sul piano computazionale ma vi è un elevato rischio di imprecisione. Uno strumento avanzato potrebbe essere più preciso ma ha bisogno di una quantità enorme di risorse in termini di potenza di calcolo, di lavoro e di conoscenze avanzate per eseguire la simulazione e l'interpretazione dei risultati (Djuaedy, 2003). In questo capitolo si intende effettuare una selezione degli strumenti di simulazione per la previsione del flusso d'aria.

Nella simulazione dei flussi d'aria ci sono almeno tre approcci che rappresentano diversi livelli di risoluzione:

1. Modelli di fluidodinamica computazionale (CFD), che si basano sulla conservazione dell'energia, della massa e del momento in tutte le cellule che compongono il dominio di flusso, generalmente calcolati in una singola zona di un edificio.
2. Modelli di flusso multizona (AFN), che sono basati sull'equilibrio della massa e della pressione tra le varie zone, in genere applicati per un intero edificio.
3. Modelli di bilancio energetico dell'edificio (BES) che fondamentalmente si basano su valori stimati del flusso dell'aria.

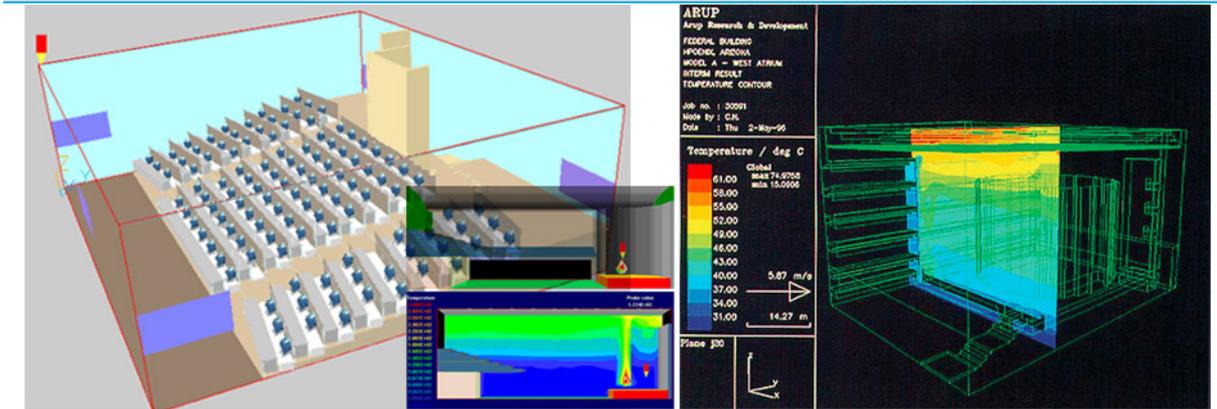
tativo di trovare una sintesi fra edifici ed impianti e sovente incorporano i software dei modelli multi zona per l'analisi dei flussi d'aria e a volte anche modelli CFD. Questi ultimi sono quelli a più forte accelerazione e come è stato più volte ripetuto i loro limiti risiedono essenzialmente nella potenza di calcolo che tutti stimano superabile a breve.

Fig. in basso matrice di valutazione dei codici per modelli di bilancio energetico e modelli CFD semplificati e multizona



S1 Phoenix

<http://www.cham.co.uk/>



Simula il moto dei fluidi e i trasferimenti di calore per un'ampia varietà di applicazioni (antincendio, diffusione del fumo e la ventilazione negli edifici). PHOENICS è stato sviluppato da CHAM (Heat Concentrazione e Momentum) nel Regno Unito.

È possibile importare la geometria. Ha una libreria di blocchi da poter utilizzare nel modello come diffusori d'aria. Altri oggetti possono essere importati da AutoCAD o generati con un generatore di forme. Il programma può utilizzare coordinate cartesiane o polari. Una vasta gamma di modelli di soluzione sono disponibili e ci sono una serie di add-ons disponibili per specifiche applicazioni.

PHOENICS permette di visualizzare i risultati in grafica 3d con la possibilità di selezionare la risoluzione delle variabili.

Si tratta di un programma collaudato che ha avuto molte implementazioni. Pur completo, necessita di librerie aggiuntive di oggetti per la progettazione degli edifici. Ha una interfaccia flessibile in lingua inglese per l'introduzione di termini di sorgente ed equazioni arbitrarie (In-Form).

È molto usato per le reazioni chimiche in fase gassosa e nella ricerca sulla combustione. Sono disponibili diversi modelli di discretizzazione e modelli di turbolenza. Ha diversi moduli di programma dedicati per la modellazione di sistemi HVAC, sistemi di raffreddamento.

Input

- modello 2d e3d
- interfaccia grafica
- import file CAD
- librerie

Output

- Output in 3d
- Analisi termiche difficili da interpretare

Altre caratteristiche

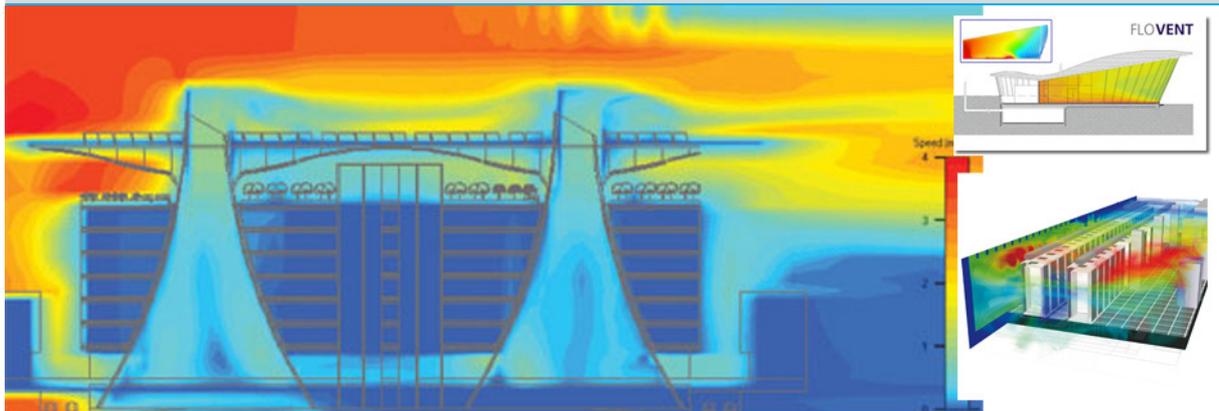
- FVM

Valutazione

- Facilità d'uso
- Leggibilità output
- Accuratezza
- Interoperabilità
- Analisi di flusso

S3 Flovent

<http://www.mentor.com/products/mechanical/products/flovent>



Flovent è un potente software che predice il flusso d'aria 3D, il trasferimento di calore, la distribuzione della contaminazione e gli indici di comfort all'interno e intorno agli edifici di tutti i tipi e dimensioni.

Flovent è veloce e facile da usare, il sistema di menu è progettato specificamente per la progettazione e ottimizzazione degli impianti di riscaldamento, la ventilazione e l'aria condizionata.

Flovent dispone anche di soluzioni per l'integrazione con software CAD.

Il solutore è basato su un sistema di griglie cartesiane, stabile e numericamente efficiente. Inoltre permette l'infittimento della griglia minimizzando il tempo della simulazione.

Il set di strumenti di visualizzazione consente anche modelli con animazione 3D del flusso d'aria e strumenti per la manipolazione dinamica dei risultati di temperatura e flusso, permette di individuare i problemi termici e di ventilazione e visualizzare i miglioramenti del progetto in modo rapido ed efficace.

Input

- modello 2d e3d
- interfaccia grafica
- import file CAD
- librerie

Output

- Output in 3d
- Analisi termiche difficili da interpretare

Altre caratteristiche

- FVM

Valutazione

- ■ ■ ■ Facilità d'uso
- ■ ■ ■ Leggibilità output
- ■ ■ ■ Accuratezza
- ■ ■ ■ Interoperabilità
- ■ ■ ■ Analisi di flusso