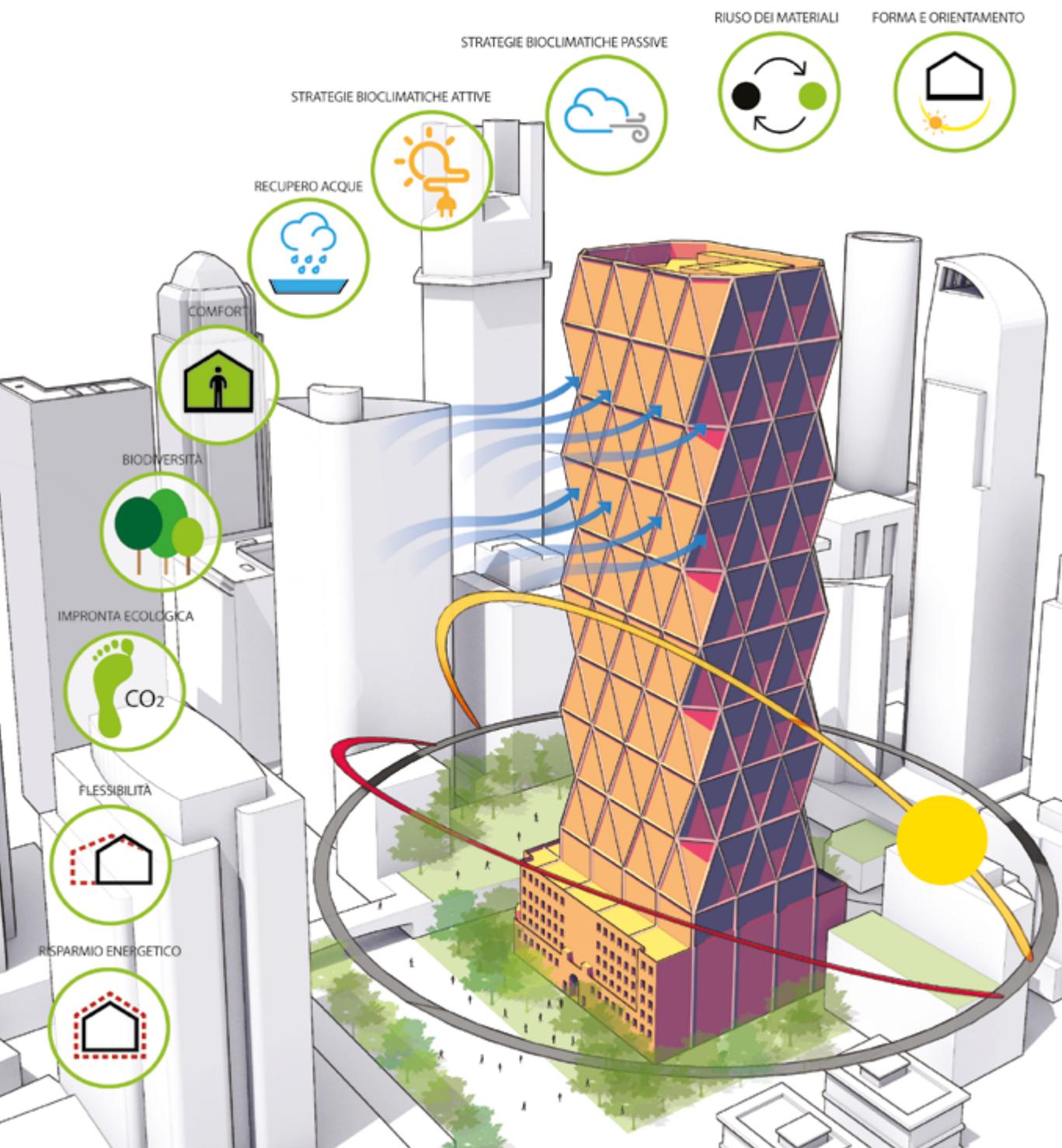




## STRUMENTI INFORMATICI NEL PROCESSO DI ELABORAZIONE DELLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE ASSISTITA

Dottorato: Orlando Sica  
Tutor: Prof. Rolando Scarano







Dottorando: Sica Orlando

**Strumenti informatici nel processo di elaborazione della  
progettazione ambientale integrata**

# INDICE

## INTRODUZIONE

INQUADRAMENTO DEL TEMA DI RICERCA	11
INTRODUZIONE, L'AUSILIO DEGLI STRUMENTI INFORMATICI	15
OBIETTIVI DELLA RICERCA	18

## **1 L'IMPORTANZA DELLA SIMULAZIONE EX-ANTE PER IL PROGETTO DI ARCHITETTURA: ORIGINI E STORIA**

1.1	COMUNICARE L'ARCHITETTURA	24
1.2	DAL MODELLO PER LA RAPPRESENTAZIONE ALLA RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO	28
1.3	ARCHITETTURA E COMPUTER	35
1.4	NUOVE METODOLOGIE PROGETTUALI	45
1.5	LA PROGETTAZIONE DIGITALE E GLI SVILUPPI FORMALI	50
1.6	IL MODELLO COME STRUMENTO DI CONOSCENZA E INTEROPERABILITÀ	56
1.7	LA SIMULAZIONE PER IL CONTROLLO E LA GESTIONE RAZIONALE DELLE INFORMAZIONI, IL BUILDING INFORMATION MODELLING	59
1.8	STRUMENTI ICT PER LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE	65
1.9	PROSPETTIVE E SVILUPPI DEL BIM E DEGLI STRUMENTI ICT	70

## **2 LE NUOVE VARIABILI DELL'ARCHITETTURA: SOSTENIBILITÀ E CAMBIAMENTO CLIMATICO**

2.1	RIFLESSIONI SULLA QUESTIONE AMBIENTALE	81
2.2	IL PESO DELL'EDILIZIA NELLA CRISI CLIMATICA	96
2.3	OLTRE LA CRISI NEL PROGETTO DI ARCHITETTURA	107
2.4	RISORSE AMBIENTALI E CONTROLLO CLIMATICO PER LA CONFIGURAZIONE ARCHITETTONICA	118
2.5	IMPLICAZIONI CONNESSE AL LUOGO	126

## **3 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE PER IL RISPARMIO ENERGETICO E IL BENESSERE AMBIENTALE**

3.1	INNOVAZIONE NELL'APPROCCIO PROGETTUALE	133
-----	--	-----

3.1.1	VISION DEGLI EDIFICI CHE DANNO PIÙ DI QUELLO CHE PRENDONO	133
3.1.2	UN APPROCCIO INNOVATIVO	134
3.2	LE COMPONENTI DEL COMFORT	137
3.3	L'ILLUMINAZIONE DIURNA	140
3.3.1	CALCOLRE IL FATTORE DI LUCE DIURNA	141
3.3.2	PRINCIPI BASE PER PROGETTARE L'ILLUMINAZIONE IN MANIERA OTTIMALE	144
3.4	AMBIENTE TERMICO	147
3.4.1	TEMPERATURA OPERATIVA	149
3.4.2	IMPORTANTI FATTORI CHE RIGUARDANO LA TEMPERATURA OPERATIVA	151
3.4.3	PRINCIPI BASE PER PROGETTARE L'AMBIENTE TERMICO IN MANIERA OTTIMALE	152
3.5	LA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA	156
3.5.1	IMPATTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA	157
3.5.2	PRINCIPI BASE SULLE STRATEGIE DI VENTILAZIONE	159
3.5.3	PRINCIPI BASE PERPROGETTARE IN MANIERA OTTIMALE UNA BUONA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA	162
3.6	ENERGIA	165
3.7	LA RICHIESTA DI ENERGIA	167
3.7.1	IL CONSUMO DI ENERGIA IN UN EDIFICIO	168
3.7.2	PRINCIPI BASE PER RIDURRE LA RICHIESTA DI ENERGIA NELLE NUOVE COSTRUZIONI	170
3.8	RIFORNIMENTO DI ENERGIA	175
3.8.1	RISORSE DI ENERGIA RINNOVABILE	176
3.8.2	COME DETERMINARE LA MIGLIORE RISORSA DI ENERGIA RINNOVABILE	177
3.9	PRESTAZIONI DELL'ENERGIA PRIMARIA	180
3.9.1	COME DETERMINARE IL CONSUMO DI ENERGIA PRIMARIA	181
3.9.2	PARAMETRI QUALITATIVI PER LA VALIDAZIONE DELL'ENERGIA SUL POSTO	182
3.10	AMBIENTE	184
3.11	CARICHI AMBIENTALI LCA	185
3.12	CONSUMO DI ACQUA FREDDA	190

3.12.1	RIDURRE IL CONSUMO DI ACQUA DOLCE	191
3.12.2	COME PROGETTARE IN MANIERA OTTIMALE IL CONSUMO DI ACQUA	192
3.13	COSTRUZIONI SOSTENIBILI	194
3.13.1	IL CONTENUTO RICICLATO	194
3.13.2	FONTE RESPONSABILE	196
3.13.3	STRATEGIA PER LO SMONTAGGIO	197
3.14	RADAR DELLA CASA ATTIVA	200
3.14.1	L'USO DEL RADAR NEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE	201
3.15	STRUMENTO DI CALCOLO DELLA CASA ATTIVA	203
	<b>ESEMPI DI CASE ATTIVE</b>	206
<b>4</b>	<b>PROGRAMMI E MODELLI DI SIMULAZIONE PER LA PRO- GETTAZIONE ARCHITETTONICA-AMBIENTALE INTEGRATA</b>	
4.1	PROGETTAZIONE AMBIENTALE E SIMULAZIONE	219
4.1.1	QUESTIONI AMBIENTALI E PROGETTO DELL'EDIFICIO	219
4.1.3	EDIFICI CON CONSUMO DI ENERGIA PARI A ZERO	222
4.1.4	L'USO DELLE RISORSE NEGLI EDIFICI	224
4.1.5	FASE DI PROGETTAZIONE E LIVELLO DI SVILUPPO	227
4.1.6	EDIFICI NUOVI E QUELLI ESISTENTI	237
4.1.7	COMFORT DEGLI OCCUPANTI	238
4.2	ANALISI CLIMATICA E DEL SITO	242
4.2.1	ANALISI DEL CLIMA	242
4.2.2	COMFORT TERMICO UMANO	275
4.2.3	CARATTERISTICHE DEL SITO DI PROGETTAZIONE	283
4.3	FONDAMENTI ENERGETICI DEGLI EDIFICI	286
4.3.1	I FLUSSI DI ENERGIA TERMICA NEGLI EDIFICI	287
4.3.2	CARICHI ENERGETICI DEGLI EDIFICI	294
4.4	STRATEGIE PROGETTUALI PASSIVE	296
4.4.1	VOLUMETRICA DELL'EDIFICIO E ORIENTAMENTO	297
4.4.2	RISCALDAMENTO PASSIVO	302
4.4.3	RAFFRESCAMENTO PASSIVO	322
4.4.4	ILLUMINAZIONE NATURALE	335

4.4.5	CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE	341
	<b>SCHEDE DEGLI STRUMENTI INFORMATICI</b>	346
	<b>STRUMENTI INFORMATICI ANALIZZATI</b>	374
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	380
	<b>SITOGRAFIA</b>	386



*“Da quando ci sono urbanisti indottrinati e architetti standardizzati, le nostre case sono malate. Non si ammalano, sono già concepite e costruite come case malate. Tolleriamo migliaia di questi edifici, privi di sentimento ed emozioni, dittatoriali, spietati, aggressivi, sacrileghi, piatti, sterili, disadorni, freddi, non romantici, anonimi, il vuoto assoluto. Danno l'illusione della funzionalità. Sono talmente deprimenti che si ammalano sia gli abitanti sia i passanti. [...] Le costruzioni uniformi simili a campi di concentramento e a caserme distruggono e appiattiscono quanto di più prezioso un giovane può apportare alla società: la creatività spontanea dell'individuo. Gli architetti non possono risanare queste case malate, che rendono malati, altrimenti non le avrebbero costruite. Si rende quindi necessaria una nuova professione: il medico dell'architettura. Il medico dell'architettura non fa altro che ristabilire la dignità umana e armonizzare la creazione umana con la natura”.*

*Friedrich Hundertwasser*

## **INTRODUZIONE**

## INQUADRAMENTO DEL TEMA DI RICERCA

Il nostro pianeta sta vivendo delle alterazioni epocali che progressivamente incidono sul nostro modo di vivere. Questi profondi cambiamenti richiedono un nuovo modello di sviluppo responsabile e sostenibile, in grado di migliorare la qualità della vita, nel rispetto dell'ambiente. Nel settore dell'architettura è ormai indispensabile un approccio integrato e trasversale nell'ambito della programmazione del progetto e della sua produzione, tutto in funzione di una proiezione innovativa.

Innovazione che diviene prospettiva strategica e sistematica dell'agire progettuale.

Secondo le nuove visioni di sviluppo nel settore delle costruzioni, nel funzionamento di un edificio è fondamentale il ruolo dell'energia ambientale per l'illuminazione naturale, il recupero di calore, la ventilazione, il raffrescamento, e, grazie al fotovoltaico, anche per la produzione di energia elettrica. In questa pluralità e simultaneità di funzioni, possono spesso presentarsi situazioni nelle quali i diversi fattori entrino in contrasto tra loro: a seconda della stagione, del momento della giornata o delle semplici condizioni meteorologiche, ma anche a seconda del modo, del tempo e della durata d'uso, possono verificarsi diverse esigenze che, in relazione a ciascuna di queste funzioni all'interno del singolo edificio, richiedono previsioni progettuali poco immediate.

La complessità riguardo tali funzioni richiede edifici "intelligenti", cioè dotati di sistemi in grado di reagire in conformità al mutamento di situazioni e condizioni. Allo scopo di formulare corretti modelli di intervento è indispensabile operare in piena consapevolezza: i fenomeni vanno compresi in tutte le loro implicazioni per poter trovare le corrette modalità di intervento. Le difficoltà aumentano notevolmente quando le necessità d'intervento non riguardano i progetti di nuova costruzione ma il miglioramento delle prestazioni del patrimonio edilizio esistente, dove la struttura deve essere preventivamente studiata nel dettaglio, comportando una serie di vincoli alla progettazione. In uno scenario in cui lo stock del costruito è pari a 145 miliardi di mq di edifici<sup>1</sup>, il settore che ormai da tempo ha acquisito una

---

1 Fonte: <http://www.pikeresearch.com/research/global-building-stock-database>.

rilevanza primaria nelle questioni dello sviluppo sostenibile è proprio quello dell'edilizia esistente, un'ampia "risorsa materica"<sup>2</sup> caratterizzata da alte percentuali di obsolescenza strutturale, energetica, tecnologica, distributiva e funzionale<sup>3</sup>.

Indagare lo stato degli edifici esistenti per intervenire su di essi con operazioni differenti rispetto alla manutenzione edilizia, migliorandone qualità e prestazioni, originariamente non previste, è consapevolezza ormai maturata all'interno delle strategie di numerosi paesi, non solo europei, per rispondere agli impegni assunti sulla riduzione delle emissioni climalteranti e dei consumi energetici.

Questo rilevante parco abitativo, responsabile di un elevato tasso di consumi, può mutare in volano di un nuovo sviluppo per ciascun paese.

"Rendere i nostri edifici più efficienti da un punto di vista energetico è uno dei modi più rapidi, semplici ed economici per creare posti di lavoro, risparmiare soldi e tagliare le emissioni nocive. È arrivato il momento di realizzare questa idea"<sup>4</sup>.

L'intervento di riqualificazione e retrofit<sup>5</sup> sul patrimonio costruito, edilizio ed urbano, è sicuramente un'opportunità; progettare consapevolmente sull'esistente, adottando scelte attente al consumo responsabile delle risorse e adeguando gli edifici a standard avanzati, energeticamente efficienti, ne migliora la vivibilità contrastando al tempo stesso l'esclusione sociale e la "fuel poverty"<sup>6</sup>, fenomeni crescenti in tutta Europa.

Va aggiunto che tale riqualificazione, intervenendo, nella quasi totalità, su edifici collocati in luoghi urbanizzati e dotati di servizi, non comprende costi esterni e ulteriore consumo di suolo, risponde adeguatamente a richieste di

---

2 Per il concetto di patrimonio edilizio esistente inteso come risorsa materica, cfr. HABITAT II – Second United Nations Conference on Human Settlements, Istanbul, giugno 1996. Documento finale, par. 40, 43, 70, 134, 136.

3 Cfr. Sergio Russo Ermolli, Valeria D'Ambrosio (a cura di), *The building retrofit challenge*, Programmazione, progettazione e gestione degli interventi in Europa, Alinea editrice, 2012.

4 Il 2 dicembre 2011 il Presidente Obama, accompagnato dall'ex-Presidente Clinton, ha annunciato l'investimento di \$ 4 miliardi per migliorare l'efficienza energetica di edifici governativi e del settore privato. Erano inoltre presenti i rappresentanti di più di sessanta organizzazioni del "Better Buildings Challenge", una iniziativa finalizzata alla creazione di posti di lavoro tramite il coinvolgimento di capitali privati per gli interventi di "energy retrofit" di edifici industriali e commerciali. L'obiettivo è migliorare l'efficienza energetica degli edifici del 20% dei prossimi dieci anni, riducendo le spese per l'energia di almeno \$ 40 miliardi.

5 Per maggiori informazioni sulle strategie di retrofit, cfr. Sergio Russo Ermolli, Valeria D'Ambrosio (a cura di), *op.cit.*

6 Sono tre i fattori principali che contribuiscono alla precarietà energetica: i bassi livelli di reddito, standard inadeguati per il riscaldamento e l'isolamento degli edifici e gli alti costi dell'energia. In Italia le famiglie spendono in media il 18% del loro reddito nella casa. Questa percentuale raddoppia per le famiglie a basso reddito. 10,8 milioni di italiani non riesce a riscaldare adeguatamente la propria casa. Fonte: Cecodhas, *Housing affordability in the EU*, 2012.

sostenibilità e salvaguardia di identità culturali dei luoghi e delle comunità. In questa nuova prospettiva di intervento green, l'architetto detiene il ruolo di demiurgo, regista colto di una possibile opera di rigenerazione consensuale. Questo compito richiede ai progettisti di pensare in termini concreti, acquisendo come realtà operativa l'utilizzo dei supporti informatici e delle loro possibili simulazioni in svariati ambiti in modo da procedere verso un futuro sostenibile attraverso un'edilizia sostenibile per il nostro futuro. Il lavoro di ricerca si propone di indagare gli strumenti informatici di supporto decisionale ed operativo capaci di guidare il progettista nella prefigurazione degli interventi di nuova costruzione, re-build e riqualificazione energetica e nel verificare l'efficacia delle trasformazioni.

“La relazione fra oggetto architettonico progettato e regole e metodi atti a definirlo è stata storicamente considerata come un rapporto problematico, alcune volte ambiguo, spesso contraddittorio”<sup>7</sup>.

Emerge ora più che mai, in questo contesto nel quale si richiede un approccio operativo di tipo olistico, focalizzato su tutti i livelli specifici previsti, la necessità di un supporto strumentale ICT (acronimo inglese di Information and Communication Technology), definibile come l'insieme dei metodi e delle tecnologie che consentono di elaborare e comunicare informazioni attraverso mezzi digitali.

L'importanza del computer, e quindi degli strumenti informatici intesi come partner ideali di un progettista nella risoluzione di sistemi complessi, è un tema celebrato già nel 1977 da W. Mitchell il quale scriveva, nella prefazione del volume *Computer-aided architectural design*: “La teoria e la pratica in questo campo sono state sviluppate a tal punto che si può prevedere con certezza che, durante gli anni '80, l'uso quotidiano delle tecniche di progettazione supportate dal computer trasformeranno radicalmente la pratica dell'architettura”. Affermati progettisti come P. Eisenman nel 1992 accoglie la nuova era elettronica comprendendo che potrebbe diventare

---

7 Per il concetto di relazione fra oggetto architettonico e regole e metodi atti a definirlo, cfr. Rolando Scarano, *Processi di generazione della configurazione architettonica*, edizione Fratelli Fiorentino 1988. “L'atteggiamento limitato, empirico e pragmatico, spesso presente nel lavoro dell'architetto, che tende a definire una “teoria”, post festum, partendo dalla base delle sue peculiari esperienze e delle sue naturalmente limitate conoscenze metodologiche, è stato gradualmente sostituito da un impostazione scientifica sempre meno empirica, orientata alla caratterizzazione di un approccio al problema della progettazione che fosse chiaramente esplicito e deduttivamente controllabile, partendo dalle premesse e seguendo l'ordine delle definizioni (...) Gli strumenti dell'operatore dovranno dunque consentire l'interpretazione, la rappresentazione e la comunicazione delle operazioni del processo di progettazione e dei loro prodotti (...) La costruzione di un adeguato modello del processo di costruzione della forma architettonica diviene la premessa di qualsiasi pratica progettuale (...) Affinché l'oggetto/progetto soddisfi i bisogni, quale sostanza del suo essere architettura, del suo farsi spazio delle attività umane, la pratica dell'architettura deve poter rispondere all'esigenza di una teoria, quale definizione di una idea, e di un processo conseguente, compatto, coerente ed inclusivo di tutti gli attributi e le caratteristiche della pratica scientifica (...).

sistema generatore di nuovi modelli spaziali, F.O: Gehry inizia ad utilizzare il software CATIA, utilizzato nell'industria aeronautica, per motivi di ordine pratico dati dall'impossibilità di gestire le morfologie complesse da lui immaginate.

“La prassi del progetto si sta modificando per l'acquisizione di una nuova pratica teorica della progettazione architettonica, in cui la 'creatività' umana viene esaltata e non annichilita dalla 'intelligenza artificiale'. [...] si sta sviluppando una tendenza radicalmente nuova di lasciare che il computer 'guidi' il processo progettuale e sia esso stesso parte integrante della 'trasformazione architettonica'”<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Cfr. Antonietta Piemontese (a cura di), *Architettura e computer*, edizione Gangemi editore, 2004.

## L'AUSILIO DEGLI STRUMENTI INFORMATICI

*“Architetto chiamerò io colui, il quale saprà con certa, e meravigliosa ragione, e regola, sì con la mente, e con lo animo divisare”.*

*Leon Battista Alberti  
(De Re Aedificatoria)*

L'attività progettuale assiste oggi al superamento del ruolo convenzionale dell'architetto come attore principale delle trasformazioni dell'ambiente costruito. Colui che, come sosteneva Alberti, disegnava con la mente è un modello passato; i complessi sistemi che regolano il processo progettuale richiedono, con sempre più frequenza, professionisti specialisti che si avvicinano al progetto in maniera integrata elaborando dati utili ad un intervento olistico.

L'elaborazione progettuale deve essere contemporaneamente gestita dagli esperti dei diversi settori disciplinari che osservando il quesito secondo prospettive differenti mirano ad interagire per dar vita ad un'unica risposta progettuale.

“Nell'inevitabile integrazione dei saperi si sviluppano infatti nuove configurazioni nei team di ricerca per il progetto con l'ingresso di specialisti 'interni' alla disciplina architettonica, portatori di “altre” competenze che, pur rientrando nell'ambito del progetto architettonico, esprimono spiccate conoscenze e capacità specialistiche in numerosi campi (...)”<sup>9</sup>.

L'intervento sull'esistente, più dell'ex novo, necessita di strategie ovvero della capacità di governare tutte le fasi del processo che esso implica. La complessa multidisciplinarietà comporta inevitabilmente l'iniezione di nuovi metodi e nuove tecnologie in grado di prefigurare le trasformazioni con la possibilità di verificarne a priori l'efficacia, sono da abbandonare gli strumenti tradizionali radicati nell'idea del produrre prima per poi passare alla verifica del prodotto.

---

<sup>9</sup> Cfr. Mario Losasso, “Il progetto come prodotto di ricerca scientifica”, *Techne*, n. 2, *Journal of Technology for Architecture and Environment*, Firenze University Press, Firenze, 2011.

Nella logica di previsione, più che il progettista, è il progetto ad assumere un ruolo principale quale strumento di governo delle scelte, ogni fase decisionale deve essere indotta da uno step di verifica, un processo in itinere in cui esaminare gli effetti delle proposte progettuali direttamente “sul modello edilizio”.

“Il progetto attiene all’ambito della predittività, della prefigurazione e dell’anticipazione, caratterizzandosi come un processo di natura complessa e multidisciplinare”<sup>10</sup>.

Topico in questo contesto è il supporto innovativo fornito dalla tecnologia informatica soprattutto dagli strumenti di Information and Communication Technology (ICT)<sup>11</sup> e Building Information Modelling (BIM).

---

10 Cfr. Losasso Mario, op.cit.

11 La definizione comunemente riportata sull’ICT: ICT (information and communications technology - or technologies) is an umbrella term that includes any communication device or application, encompassing: radio, television, cellular phones, computer and network hardware and software, satellite systems and so on, as well as the various services and applications associated with them, such as videoconferencing and distance learning. ICTs are often spoken of in a particular context, such as ICTs in education, health care, or libraries. The term is somewhat more common outside of the United States.

According to the European Commission, the importance of ICTs lies less in the technology itself than in its ability to create greater access to information and communication in underserved populations. Many countries around the world have established organizations for the promotion of ICTs, because it is feared that unless less technologically advanced areas have a chance to catch up, the increasing technological advances in developed nations will only serve to exacerbate the already-existing economic gap between technological “have” and “have not” areas. Internationally, the United Nations actively promotes ICTs for Development (ICT4D) as a means of bridging the digital divide.

ICT stands for “Information and Communication Technologies.” ICT refers to technologies that provide access to information through telecommunications. It is similar to Information Technology (IT), but focuses primarily on communication technologies. This includes the Internet, wireless networks, cell phones, and other communication mediums.

In the past few decades, information and communication technologies have provided society with a array of new communication capabilities. For example, people can communicate in real-time with others in different countries using technologies such as instant messaging, voice over IP (VoIP), and video-conferencing. Social networking websites like Facebook allow users from all over the world to remain in contact and communicate on a regular basis.

Modern information and communication technologies have created a “global village,” in which people can communicate with others across the world as if they were living next door. For this reason, ICT is often studied in the context of how modern communication technologies affect society.

Per ulteriori specifiche, cfr. ICT and Regional Economic Dynamics: A Literature Review, JRC Scientific and Technical Reports 2010 p11: “At face value, ICT are a collection of technologies and applications, which enable electronic processing, storing, retrieval, and transfer of data to a wide variety of users or clients.(...) Unfortunately, there exists no clear or unambiguous agreement on the definition of ICT, or what sectors should be termed ICT sectors, which has been generally accepted (Schwartz,1990; Malecki, 1991; Graham & Marvin, 1996).

Per maggiori informazioni sul rapporto tra ICT ed efficienza energetica, cfr. European Commission DG INFSO, Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency, Final report September 2008, p23 viene riportata questa definizione di ICT: “Information and Communication Technology (ICT) can be defined as the use of telecommunications equipment, electronic computing equipment and respective software to convert, store, protect, process, transmit and retrieve mostly digitalized information.” È possibile verificare nel report, come

Le innovazioni tecnologiche, hardware e software, hanno progressivamente rivoluzionato l'intervento progettuale, il contributo indotto dalla prefigurazione, già nelle fase preliminare del processo, consente ai progettisti di verificare la correttezza e la qualità delle scelte da operare.

“Verificare a priori, cioè prima della costruzione materiale, i tratti essenziali della capacità di funzionare degli interventi secondo i requisiti di qualità attesi, attraverso la simulazione dei principali componenti e sistemi assemblati nell'oggetto architettonico, ma soprattutto della loro integrazione nell'insieme organico e armonico che formano gli edifici”<sup>12</sup>.

Tra gli strumenti informatici utili alla progettazione saranno successivamente presi in esame quelli attinenti gli scambi energetici tra “ambiente” ed edificio. La continua ricerca sulle innovazioni tecnologiche ha portato allo sviluppo di software sempre più efficienti e in grado di simulare con maggior precisione le caratteristiche reali di comportamento; si consente, all'interno di uno “spazio virtuale”, di indagare, tenendo sotto controllo, le prestazioni di un manufatto con notevole precisione ed affidabilità.

Le attuali potenzialità e i crescenti sviluppi offerti dagli strumenti di Information and Communication Technology, seppur dotati di approcci sempre più user friendly, per essere utilizzate in maniera ottimale necessitano di discrete e sempre più aggiornate competenze da parte degli operatori del settore.

Un determinato know how consente di scegliere e gestire opportunamente gli strumenti utili al caso e di interpretare con consapevolezza gli output forniti, evitando scelte inappropriate e l'immissione di dati imprecisi all'interno del progetto.

Attualmente non vi è un unico strumento in grado di fornire un'analisi globale ma differenti software che, opportunamente inseriti all'interno di una “work methodology”, affrontano le diverse fasi di indagine, secondo diversi livelli di approfondimento che partendo dall'analisi ambientale conducono fino alla verifica dell'intenzione progettuale. Le prospettive di un immediato futuro sono però differenti, gli svariati software stanno per diventare strumenti di un'unica piattaforma BIM; questa intenzione è evidente grazie a colossi aziendali di sviluppo software come Autodesk che sta lavorando a tal proposito. Negli ultimi anni l'azienda ha terminato l'aggiornamento e la possibilità di download di vari programmi con l'intenzione, in breve tempo, di immettere sul mercato corrispettivi plug-in per il loro BIM.

---

descritto a pagina 11: “In this context, this study examines the impacts of ICT on the energy efficiency in Europe with a 2005-2020 outlook.”

12 Cfr. Ezio Arlati, Il vantaggio della modellazione è radicale nella concezione e nella operatività, *Ingenio* n.7, Novembre 2012.

## OBIETTIVI DELLA RICERCA

La ormai raggiunta consapevolezza delle catastrofi generate dai processi di antropizzazione, in gran parte conseguenti l'internazionalizzazione dei sistemi costruttivi che con impeto esplosivo ha sedimentato ingenti quantità di gas serra, cementificando in maniera incontrollata e indifferente a ogni luogo, pone in evidenza i limiti raggiunti da una tracotante crescita urbana, sia in termini di quantità ma soprattutto di qualità insediativa che in termini di ingestibilità di una sempre più incontenibile dissipazione energetica che tali processi comportano.

La soglia raggiunta in termini di CO<sub>2</sub> impone un immediato e radicale mutamento nell'approccio progettuale che riversi maggiore attenzione e sensibilità nei confronti delle risorse ambientali, quale elemento inscindibile da ogni intervento architettonico, e del raggiungimento del giusto comfort da parte degli occupanti, quale scopo ultimo da ottenere prevalentemente con strategie passive e successivamente con quelle attive provenienti in maggior misura possibile da fonti alternative; questi due "semplici" aspetti, se ben gestiti, portano alla definizione di edifici a consumo di energia pari a zero NZEB o, ancor meglio, edifici attivi che autoproducono più energia di quella che chiedono per l'intero ciclo di vita (produzione, gestione e dismissione) tutto salvaguardando il benessere dell'utente.

Questo compito, soprattutto quando gli interventi riguardano operazioni di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, richiede ai progettisti un enorme sforzo in termini di competitività, interoperabilità e innovazione. L'importante richiesta di conoscenze, sempre meno empiriche, è in parte agevolata dall'attuale specificità degli strumenti informatici; grazie alle loro possibili simulazioni ex-ante, sempre più simili ad un comportamento reale, è eseguibile un controllo di tutte le strategie progettuali in relazione ai sistemi di variabili propri di ogni caso specifico.

È opportuno, quindi, verificare una serie di strumenti e metodologie di intervento, diretti non solo alla comprensione delle questioni che il superamento di quei limiti, di cui prima, sta drammaticamente ponendo, ma anche individuare soluzioni e mezzi di verifica idonei alle circostanze specifiche di intervento.

La ricerca ha quindi lo scopo, in particolare, di intensificare la discussione non solo sulle questioni che il complesso dei sistemi e delle tecniche volte alla produzione di energie rinnovabili pone nei suoi aspetti tecnici, dimensionali e quantitativi, ma di individuare come il supporto informatico possa tradurli in strategie vincenti in grado di configurare soluzioni proprie del luogo e rispondenti alle reali esigenze di comfort, a scala edilizia e urbana. Obiettivo primario è, quindi, quello di tradurre la progettazione architettonica-ambientale integrata, ponendo particolare attenzione all'espressione energetica, fisica, materica e sociale che le nuove configurazioni devono assumere soprattutto in relazione all'ambiente e allo spazio di competenza, in operatività mediante gli strumenti informatici.

# **1 L'IMPORTANZA DELLA SIMULAZIONE EX-ANTE PER IL PROGETTO DI ARCHITETTURA: ORIGINI E STORIA**



*“In una grande parte del processo di progettazione, le supposizioni e le valutazioni intuitive sono usate in problemi che dovrebbero essere risolti mediante la raccolta di informazioni e l'analisi di queste informazioni; ma, in realtà, molti di essi sono affrontati intuitivamente.*

*È particolarmente la prima parte del processo di progettazione architettonica che è avvolta nel mistero. Il punto di partenza di un processo di progettazione è l'analisi dei requisiti del problema specifico. I cosiddetti aspetti “creativi” della progettazione si pongono tra il momento in cui vengono inizialmente formulate le esigenze e la concettualizzazione di queste esigenze in forma grafica”.*

*Roslyn Lindheim*

*(Computers and Architecture in Landscape spring 1965)*

Dati gli estremi di un problema afferenti l'attività umana, il compito dell'architetto è progettare gli spazi che rendono possibile lo svolgimento di tale attività.

In questa definizione, “progettare” è inteso nel senso di prevedere una forma che sia determinata da una processualità di eventi, che entri a farne parte e che ne faciliti il divenire.

Se si accetta questa definizione, sembra ovvio che l'architetto debba utilizzare, nel suo lavoro, una metodologia che lo metta in grado di individuare, via via che se ne presenti la necessità, i vari aspetti delle relazioni uomo-ambiente.

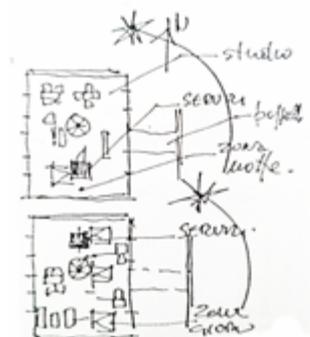
L'applicazione di questa metodologia nella progettazione avviene, quindi, attraverso una sequenza di differenti operazioni: quelle che consentono di individuare la problematica dell'insediamento umano, quelle che danno la conoscenza dei mezzi tecnologici atti a risolvere quei problemi e quelle che permettono di progettare una forma che esprima il rapporto fra quella problematica e quei mezzi risolutivi.

L'individuazione delle problematiche e l'acquisizione dei mezzi sono processi attivi di ricerca da verificare nella sintesi architettonica; ma è in quest'ultima che si manifesta il segno distintivo dell'architetto. L'esercitazione progettuale parte da una problematica e conclude con una forma attraverso un iter

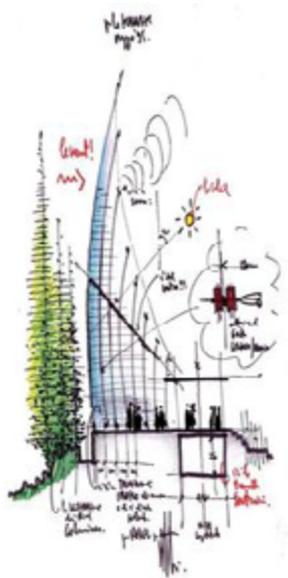
**1.** Nella pagina accanto, modello dell' ENDESA Pavilion; è un prototipo solare autosufficiente in scala 1:1 progettato dall' IAAC (Institute for Advanced Architecture of Catalonia) e presentato nel 2010 al Solar Decathlon Europeo tenutosi a Madrid.



2. Schema di struttura statica.



3. Schema di analisi funzionale.



4. Scizzo progettuale dell'Architetto Renzo Piano per il Centro Culturale Jean Marie Tjibaou in Nuova Caledonia.

metodologico.

La metodologia è lo studio del processo migliore per affrontare determinati problemi; “essa non ricerca delle soluzioni, ma la chiave dei criteri per trovarle, integrando la conoscenza acquisita sui metodi in vigore nelle diverse discipline scientifiche e filosofiche”<sup>13</sup>.

Si intende per metodo un procedimento mentale che conduce a delle scelte relazionate alle loro motivazioni; nel campo dell'architettura, si tratta, ovviamente, di scelte atte a condurre ad una forma architettonica. Al variare dell'intervento progettuale è chiaro che il metodo, così definito, può essere considerato costante.

L'accettazione di questa metodologia, contraria ai criteri tradizionali basati fondamentalmente sull'esperienza e sull'intuizione, coinvolge i due importanti problemi dell'informazione e della formazione degli operatori del settore.

Il processo di elaborazione progettuale non è un intervento che si possa improvvisare, l'architettura è un sistema complesso che fonde elementi ben distinti: sociali, scientifici, artistici ed economici, per generare un servizio utile alla collettività.

L'edificio è un organismo dotato di una complessa struttura statica, funzionale ed estetica, articolati sono i rapporti che intrattiene con il paesaggio circostante. Un prodotto architettonico mal progettato avrà gravi impatti su tutti i suoi componenti e sulle relazioni instaurate con l'ambiente esterno molto difficili da correggere successivamente.

L'architettura, fondamentalmente, è un'arte visiva quindi, durante il processo di progettazione, la visualizzazione è il mezzo predominante per la comprensione e la verifica ex-ante utile allo scambio di idee e al buon esito dell'elaborazione.

Per progettare un edificio gli architetti, da sempre, si sono serviti di modelli che consentono loro di simulare la costruzione e prevederne gli effetti. Attraverso la comunicazione visiva, in quanto simulazione materiale o virtuale, gli architetti possono testare alternative progettuali e prendere decisioni di successo. La comunicazione assiste i progettisti nel trovare un modus operandi ragionevole a sviluppare un progetto e garantire che il processo di progettazione si muova verso la corretta direzione.

Oggi il computer ci permette di costruire con grande facilità ed estrema precisione modelli numerici tridimensionali e di osservarli da ogni possibile punto di vista, come se si trovassero realmente di fronte a noi ma non è sempre stato così. Gli sviluppi relativamente recenti legati alle tecnologie dell'informazione e ai metodi della comunicazione hanno radicalmente modificato il modo di concepire documenti e supporti destinati a trasmettere

13 Cfr. Roland Cude, *Méthodologie vers une science de l'action*, edizione Gauthier-Villars, Parigi 1964.

la conoscenza, in un processo che è tuttora in corso di evoluzione.

Riportando parte degli studi sulla teoria della comunicazione visiva che introduce il tema di ricerca, saranno esposti, in questo primo capitolo, gli elementi fondativi derivanti dall'esame della letteratura scientifica riguardante la trasmissione dell'informazione in architettura mediante modelli, concepiti sia nel loro senso tradizionale di maquette fisiche che in quello contemporaneo di metaversi<sup>14</sup> digitali.



5. Plastico del progetto The Shard dell'Architetto Renzo Piano.



6. Simulazione virtuale notturna (rendering) del progetto The Shard dell'Architetto Renzo Piano.

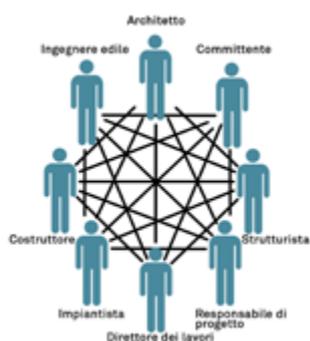


7. Simulazione virtuale diurna (rendering) del progetto The Shard dell'Architetto Renzo Piano.

---

14 Fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Metaverso>: Metaverso (in inglese Metaverse) è un termine coniato da Neal Stephenson in Snow Crash (1992), libro di fantascienza Cyberpunk, descritto come una sorta di realtà virtuale condivisa tramite internet, dove si è rappresentati in tre dimensioni attraverso il proprio avatar.

## 1.1 COMUNICARE L'ARCHITETTURA



8. Schema dell'attuale processo edilizio.

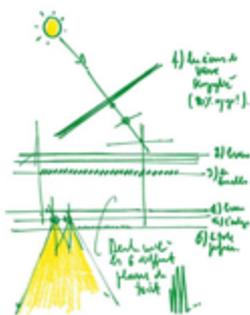
Nella progettazione architettonica, l'informazione non si esaurisce in una raccolta di dati ma dà luogo alla delicata operazione di traduzione di essi in maniera utile allo sviluppo decisionale, riguarda la possibilità di disporre e comunicare con chiarezza la più ampia quantità di indicazioni, codificate e catalogate, relative a tutti i livelli dell'intervento progettuale.

La comunicazione dei dati costituisce una delle maggiori difficoltà da superare per poter ottenere una razionalizzazione del processo edilizio.

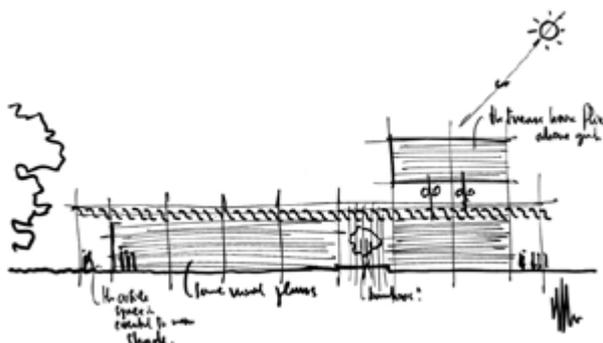
Come precedentemente accennato, la visualizzazione architettonica è un importante tipo di comunicazione, è l'atto o il processo di interpretare lo spazio in termini visivi utile agli architetti per mostrare e informare sulle loro idee progettuali ovvero per comunicare e testare ipotesi alternative.

Il processo edilizio nel suo insieme è estremamente complesso, in esso intervengono progettisti, consulenti, appaltatori, committenti e altri specialisti. La quantità e la varietà dei dati e dei documenti che circolano fra gli interessati a tale processo è notevole; ciascuno ha esigenze di informazione diverse, e deve sempre poter ricevere queste, quando necessario, rapidamente e nella versione più aggiornata.

Il modello delle comunicazioni nell'intero processo edilizio tende a diventare sempre più intricato e, ancora oggi, scelte anche importanti vengono compiute servendosi solo dell'esperienza e dell'intuizione. Ci si ritrova spesso di fronte ad un numero molto elevato di elementi complessi da



9. Schizzo progettuale di dettaglio dell'Architetto Renzo Piano.



10. Schizzo progettuale della Menil Collection dell'Architetto Renzo Piano.

organizzare e finalizzare alla soluzione di un determinato problema; spesso molte informazioni significative non riescono a circolare, sia all'interno dei vari settori che fra un settore e l'altro, rendendo così impossibile l'attività di controllo.

Soprattutto per i partecipanti non progettisti, come clienti e utenti, a causa della difficoltà di comprendere disegni professionali quali planimetrie, sezioni e prospetti, la visualizzazione architettonica può essere molto utile per comunicare aspetti quali funzione e forma. Maggiore è la fedeltà della visualizzazione architettonica, migliore sarà la comunicazione tra i progettisti e tra progettisti e utenti; informazioni dettagliate sono importanti per l'efficienza e l'efficacia della comunicazione architettonica. Senza questa possibilità, la maggior parte degli architetti sarebbe d'accordo che il processo di progettazione potrebbe divenire quasi impossibile.

La storia della visualizzazione architettonica è il frutto di uno sviluppo graduale che passo dopo passo ha migliorato la veridicità; inizia con l'immagine disegnata a mano per arrivare, più di recente, alla realtà virtuale, il risultato inevitabile di sforzi per aumentare notevolmente la precisione nei dettagli della visualizzazione ovvero il frutto di un processo che richiede costantemente un più elevato livello di fedeltà<sup>15</sup>.

Quello da poco conclusosi è stato definito come il secolo della comunicazione, un periodo durante il quale si è assistito al passaggio dall'epoca meccanica a quella elettrica in cui il nuovo uomo, abitante di quel villaggio teorizzato dal sociologo canadese Marshall McLuhan, è sospeso tra psiche e techne<sup>16</sup>.

Secondo McLuhan, la nuova tecnologia si è resa organica all'umanità, estende la percezione non solo degli occhi ma anche dell'intero sistema nervoso, così



11. Plastico di dettaglio del Art Institute of Chicago dell'Architetto Renzo Piano.



12. Dettaglio in scala 1:1 del sistema di copertura dell'Art Institute of Chicago dell'Architetto Renzo Piano.

15 Per la definizione di fedeltà il dizionario Treccani recita: "Di cose, rispondenza esatta, conformità perfetta (al vero, all'originale, ecc.): f. di un ritratto, di una traduzione, di una copia; f. nel raccontare, nel riprodurre; narrare i fatti con assoluta f. storica.

Ci sono tre componenti chiave per la fedeltà nella visualizzazione architettonica attuale: la rappresentazione realistica del mondo virtuale, il livello di immersione e l'interattività. Il mondo virtuale, a sua volta, è costituito da tre componenti: la geometria, il materiale e la luce. Lo spazio virtuale è uno spazio immaginario che descrive un insieme di oggetti e le regole e relazioni che disciplinano tali oggetti. Oltre il mondo virtuale, l'interattività e l'immersione sono anch'essi componenti cruciali della visualizzazione architettonica. L'interattività può essere definita come la capacità dell'osservatore di incidere sulla visualizzazione, come la possibile modifica dei punti di vista all'interno di un mondo virtuale. Anche se l'interattività non è un elemento indispensabile per la visualizzazione architettonica, in modo significativo migliora la fedeltà della visualizzazione architettonica rendendo l'esperienza più vicina ad una interazione fisica. In termini di visualizzazione, per immersione si intende la sensazione di sentirsi in un ambiente attraverso uno stato puramente mentale che scatena incredulità e coinvolgimento.

16 Per maggiori informazioni sull'argomento, cfr. Umberto Galimberti, *Psiche e techne*. L'uomo nell'età della tecnica, edizione Feltrinelli, 2000. Egli sostiene che la tecnica ha sostituito la natura che ci circonda e costituisce oggi l'ambiente nel quale viviamo. Noi però ci muoviamo in esso con i tratti tipici dell'uomo pre-tecnologico che agiva in vista di scopi, con un bagaglio di idee proprie e di sentimenti in cui si riconosceva. Ma la tecnica non tende a uno scopo, non apre scenari di salvezza, non svela verità, la tecnica "funziona".

che l'organismo fisico diviene esso stesso parte di una rete di comunicazione, messaggero di una realtà "ricca di scambi, di influenze, di un afflusso continuo di dati"<sup>17</sup>.

Tale scenario non risulta immune da pericoli, il frenetico interscambio generato conduce, come sostiene il filosofo e psicanalista James Hillmann, ad una "intossicazione comunicativa e informatica"<sup>18</sup> che rende l'uomo schiavo di una continua corsa alla conoscenza per restare al passo con la società e bersaglio di un enorme quantitativo di informazioni per lo più prive di filtri culturali, sostanzialmente dannose poiché portatrici di false informazioni.

Tramite i media elettronici, secondo Derrick De Kerckove, è possibile dominare il tempo: "Per la prima volta ora possiamo realmente creare il tempo e controllarlo, nello stesso modo in cui abbiamo gradualmente imparato ad organizzare e controllare lo spazio"<sup>19</sup>. Da qui deriva l'attenzione dell'uomo verso le tecnologie, strumento mediante il quale è possibile manipolare lo spazio, il tempo e gestire, tramite le chiavi di lettura dei messaggi veicolati, le comunicazioni tra emittente e ricevente appartenenti anche a culture differenti, risoluzione quest'ultima ad una globalizzazione selvaggia accusata dell'appiattimento delle ricchezze individuali: "Più diventiamo globalmente consapevoli e più ci troviamo consci e protettivi nei confronti della nostra identità locale: nasce di qui il paradosso del villaggio globale. L'iperlocale è il necessario completamento dell'iperglobale"<sup>20</sup>, ma questa è un'altra storia. Tracciare, seppur in estrema sintesi, il rapporto esistente tra tecnologia e comunicazione è un atto necessario per poter comprendere le possibili relazioni esistenti tra le rappresentazioni in architettura e gli strumenti dalle potenzialità forse ancora non totalmente espresse. Bisogna, a questo punto, concentrare l'attenzione sul significato di linguaggio e comunicazione in architettura sussumendo informazioni in merito alle teorie di coloro che possiamo considerare i padri fondatori della linguistica moderna. Il linguista e semiologo svizzero Ferdinand de Saussure immette alcune definizioni e opposizioni fondamentali per la linguistica e la semiotica contemporanea, concepì la linguistica come parte di un più ampio studio dei segni, la semiologia; la "langue", prodotto sociale della facoltà del linguaggio, è intesa come un sistema di segni che formano il codice di un idioma, un insieme di significati e significanti condivisi che permettono gli atti della "parole". Il segno linguistico è un'entità costituita da una unione "arbitraria" di un



13. C.K. Ogden. I.A. Richards, Triangolo di Ogden-Richards in Umberto Eco, La struttura assente, Bompiani 1968.

17 Cfr. Marshall McLuhan, Gli strumenti del comunicare, edizione Il Saggiatore, Milano 1964.

18 Cfr. Massimo Arcangeli, Lingua e società nell'era globale, edizione Meltemi, Roma 2005.

19 Cfr. Derrick de Kerckhove, "La conquista del tempo nell'età della rete", Editori Riuniti, Roma 2003.

20 Cfr. Derrick de Kerckhove, "The Skin of Culture", 1995. Traduzione italiana a cura di M. Carbone, "La pelle della cultura", edizione Costa & Nolan, Milano 2001.

concetto “significato” e della sua immagine acustica “significante”. Il linguista e filosofo danese Louis Trolle Hjelmslev definisce il significante espressione e il significato contenuto. Appare evidente che la codifica grafica di un segno in architettura rappresenti un messaggio latore di un’informazione, individuabile pertanto come un significante riferito ad un significato. Scrive a riguardo l’architetto Marcello Petrignani: “nulla è intrinsecamente segno o veicolo segnico, ma diventa e rimane tale solo in quanto consenta la trasmissione di un’informazione, rendendo noto qualcosa a qualcuno”<sup>21</sup>. Anche per il linguista e semiologo Roman Jakobson il messaggio espresso deve seguire delle regole che siano note in tutto o in parte sia al mittente che al destinatario, deve cioè riferirsi a un codice condiviso da entrambi. La comunicazione dunque va oggettivizzata, in maniera chiara e precisa bisogna comunicare il significato voluto attraverso un giusto significante, affermava il filosofo, ingegnere e logico austriaco Ludwig Wittgenstein: “Lavorare filosoficamente vuol dire lavorare su se stessi e questo vale spesso anche nell’attività dell’architetto: lavorare sulle proprie percezioni, su come si vedono le cose e su ciò che chiediamo da esse”.

Fornite le doverose premesse, distogliendo l’attenzione da teorie più propriamente linguistiche, la simulazione ex-ante nell’elaborazione progettuale è un processo comunicativo che descrive l’architettura in tutte le sue componenti e necessita di precise ed oggettive traduzioni tra significanti e significati utili al controllo delle decisioni, può essere quindi considerata una metodologia creativa, conoscitiva, modificabile e perlustrabile in tempo reale. Proprio l’esigenza di comunicare il progetto ad una committenza e quindi di mostrare in anticipo ciò che successivamente sarà realizzato, fa sì che per l’architetto l’esigenza della visualizzazione e della rappresentazione diventi sempre più importante, se non estremamente necessaria. L’uso del modello, per tale scopo, è fondamentale nella pratica dell’architetto e, come asserisce lo storico statunitense Richard A. Goldthwaite, già nella Firenze del quattrocento ha fondamentale contribuito a modificare il rapporto con la committenza, in effetti si abitua a vedere in anticipo il prodotto da lui commissionato.

---

21 Cfr. Marcello Petrignani, *Disegno e progettazione*, edizione Dedalo, Bari 1967.

## 1.2 DAL MODELLO PER LA RAPPRESENTAZIONE ALLA RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO

*“Tra l’opera grafica del pittore e quella dell’architetto c’è questa differenza: quello si sforza di far risaltare sulla tavola oggetti di rilievo mediante ombreggiature e il raccorciamento di linee ed angoli; l’architetto invece, evitando le ombreggiature, raffigura i rilievi mediante il disegno di pianta, e rappresenta in altri disegni la forma e l’estensione di ciascuna facciata e di ciascun lato servendosi di angoli reali e di linee non virtuali: come chi vuole che l’opera sua non sia giudicata in base ad illusorie parvenze bensì valutata esattamente in base controllabili. E’ dunque opportuno costruire modelli”.*

*Leon Battista Alberti  
(De Re Aedificatoria)*

Fin dai tempi più antichi il ricorso alla riproduzione in scala di “modelli” fisici a scopo informativo, di verifica delle scelte progettuali e comunicazione delle proprie idee, è stato considerato dagli architetti come un sistema di comunicazione veloce e inequivocabile.

Come ha efficacemente argomentato Jacques Guillerme, “il modello è un artificio che si colloca in un processo di progettazione grazie alle sue capacità (variabili) di simulazione”<sup>22</sup>.

Il termine stesso infatti scaturisce etimologicamente dal latino *modellus* derivante da *modulus*, inteso come misura, forma, che si assume come modello a cui attenersi, o come elemento fondamentale secondo il quale determinare o proporzionare le misure di un insieme.

Non è un caso che, soprattutto in epoca rinascimentale, in taluni documenti scritti è utilizzata la parola modello in sovrapposizione a quella di disegno<sup>23</sup>. In età classica, riferito sempre alla stretta connessione tra modello e realtà,



**14.** Modello architettonico recuperato in Mesopotamia, a Selemye, risalente intorno al XIV secolo.

<sup>22</sup> Cfr. Jacques Guillerme, *Il modello nella regola del discorso scientifico*, Rassegna, 1987.

<sup>23</sup> Cfr. Richard A. Goldthwaite, *La costruzione della Firenze rinascimentale*, edizione Il Mulino, Bologna 1984.

ritroviamo terminologie greche quali *paràdeigma* e *tòpos* per identificare prototipi, modelli, simulacri e oggetti da riprodurre. La professoressa Béatrice Muller, nel corso della sua ricerca sul significato dei modelli in architettura dell'antichità, distingue per la prima volta il modello per l'architettura da quello architettonico<sup>24</sup>; il primo modello, più comune, rappresenta la duplicazione in scala modesta di manufatti architettonici già realizzati mentre il secondo è quello che viene utilizzato per la simulazione di opere da realizzare. Svariati modelli per l'architettura sono pervenuti fino a noi, tra i vari, di grande rilievo sono i ritrovamenti del Medio Oriente, per lo più Siria e Palestina relativi all'antica civiltà della Mesopotamia. Numerosi sono anche i modelli risalenti alla civiltà egizia prefaraonica, all'età greca e a quella romana. Vitruvio, nella parte conclusiva del *De architectura*, fa menzione dell'uso dei modelli quando descrive l'importanza dei simulacri per la verifica del funzionamento delle cosiddette macchine per la guerra<sup>25</sup>. Nel trattato di Vitruvio non vi sono chiari riferimenti ai modelli di simulazione in architettura, tuttavia alcuni studiosi hanno individuato nel termine *scaenografia* un possibile significato di "riproduzione in scala".

Dell'epoca medievale pochissimi sono le informazioni sull'utilizzo di modelli per comunicare o tramandare l'architettura, probabilmente ciò è da imputare al costume allora molto diffuso di distruggere tutti gli esemplari non utili alla costruzione.

Lo storico d'arte Roland Recht scrive a riguardo: "Per quali ragioni i disegni di architettura si sono conservati o, in altri casi, sono andati distrutti?"

La decisione del 18 novembre 1367 con la quale la fabbrica del Duomo di Firenze ordinò la distruzione di tutti i progetti o modelli relativi al campanile ad eccezione di quello che doveva essere realizzato, è forse un caso meno eccezionale di quanto non si creda<sup>26</sup>.

Giorgio Vasari nel 1550 pubblica quello che sarà il suo più importante trattato, le "Vite de' più eccellenti pittori, scultori e architettori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri", una vera e propria pietra miliare della storiografia artistica, rassegna biografica di numerosi artisti tra i quali spicca la figura dell'ammirevole Filippo Brunelleschi, il genio autore dell'avveniristica cupola della cattedrale di Santa Maria del Fiore, in quella Firenze quattrocentesca nella quale umanesimo e rinascimento sono straordinariamente confluiti in un'antologia urbana di architetture uniche al mondo. Proprio riferendosi alla presenza del maestro in cantiere, o per meglio dire nella "fabbrica", scrive Vasari: "[...] egli stesso andava alle fornaci dove si spianavano i mattoni, e



15. Modelli architettonici recuperati in Egitto.



16. Modello architettonico recuperato in Egitto.



17. Modello architettonico recuperato in Grecia.



18. Modello architettonico di età Precolombiana.

24 Cfr. Béatrice Muller, *Avant-propos*, in *Maquettes architecturales de l'Antiquité*, Actes du Colloque de Strasbourg, edizione De Boccard, Paris 2001.

25 Cfr. Marcus Vitruvius Pollio, *De Architectura*, Libro X, cap XVI.

26 Cfr. Roland Recht, *Il disegno d'architettura. Origine e funzioni*, Jaca Book, Milano 2001.

19. Modello della cupola della Cattedrale di Santa Maria del Fiore in esposizione a Firenze, di Filippo Brunelleschi.



20. Modello architettonico della lanterna della Cupola del Duomo di Firenze di Filippo Brunelleschi (1430-46).

voleva vedere la terra, et impastarla, e cotti che erano, gli voleva scerre di sua mano con somma diligenza. E nelle pietre a gli scarpellini guardava se vi era peli dentro, se eran dure, e dava loro i modelli delle ugnature e commettiture di legname e di cera, così fatti di rape; e similmente faceva de' ferramenti ai fabbri<sup>27</sup>. Brunelleschi si recava tra i banchi del mercato fiorentino di buon mattino per scegliere le rape che avrebbe poi intagliato nel corso della giornata per illustrare alle maestranze la morfologia e il plasticismo delle sue intuizioni. Brunelleschi era così un modellatore ante-letteram, la sua creatività gli permetteva di tramutare il proprio pensiero in una visione tridimensionale, di comunicare in modo inequivocabile con suoi interlocutori.

La nascita in questo periodo del rinnovato interesse verso i canoni classici per lo sviluppo di nuovi codici, necessita di nuovi sistemi di controllo per i quali l'utilizzo di modelli di rappresentazione risulta quanto mai necessario nell'ideazione dei grandi edifici<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> Cfr. Nicolò Sardo, *La figurazione plastica dell'architettura. Modelli di rappresentazione*, Edizioni Kappa, 2004.

Di qui in avanti l'utilizzo dei modelli in ambito progettuale sarà considerato quale miglior strumento per la simulazione ai fini della comunicazione dei componenti dell'architettura, soprattutto nei confronti dei meno esperti. Il modello diventa il principale elemento guida per la costruzione, la riproduzione in scala si estenderà dagli interi edifici ai dettagli di essi particolarmente per quelli in cui si necessita di maggiori approfondimenti; svariate sono le testimonianze della presenza di plastici all'interno dei cantieri per l'intera durata dei lavori come punto di riferimento per la costruzione.

Una delle principali fonti da cui è possibile dedurre la diffusione di questa nuova pratica, oltre alle testimonianze del Vasari, è l'archivio dei documenti in cui sono riportati i termini di pagamento agli artigiani che eseguirono i modelli.

Interessante ricordare alcune vicende della cupola di San Pietro, dove un difetto nella costruzione dell'emiciclo del transetto della basilica, che con elevate probabilità causò una serie di crolli, fu dimostrato mediante il modello ligneo alto cinque metri e largo quattro, realizzato dalle mani esperte di Michelangelo Buonarroti. L'architetto dimostrò la correttezza del proprio progetto e quindi l'errore esecutivo commesso dalle maestranze in cantiere durante la realizzazione.

Il modello ebbe un uso imprevisto anche dopo la morte di Michelangelo, intorno al 1700 quando sulla cupola iniziarono a comparire delle crepe, il plastico servì da studio per il restauro e quindi il posizionamento delle cerchiature per il consolidamento. Qualche anno più tardi, lo stesso modello, servì a Giacomo della Porta per apportare le modifiche alla calotta.

Nonostante la consuetudine ormai consolidata di produrre modelli, solamente una piccola parte dell'intero patrimonio di maquettes realizzate tra il XVII e il XVIII secolo è tutt'oggi visibile in quanto conservata.

Dall'analisi di ciò che è sopravvissuto evince la ricerca della fedeltà, soprattutto per i modelli barocchi dove non si vuole evidenziare solamente il carattere volumetrico e compositivo quanto più la completa descrizione di ogni particolare decorativo. Nel periodo barocco si intuisce più che mai che il disegno è lo strumento meno adeguato a comunicare la complessità delle forme, il ricorso ai plastici si consolida come prassi della progettazione. Una lettera di Luigi Vanvitelli al fratello Urbano conferma che i plastici fanno "molto meglio effetto che i disegni", con riferimento al modello della Reggia di Caserta presentato al sovrano Carlo di Borbone, egli stesso si sorprende dell'uso dei modelli, con i quali "l'architettura seria più vista in opera che in disegno"<sup>28</sup>.

Sembra giusto, a proposito del disegno, aprire un'importante parentesi

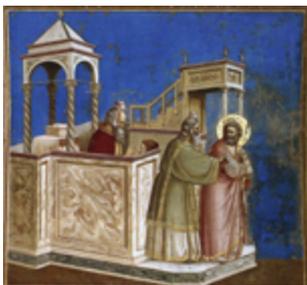


**21.** Michelangelo presenta a Papa Giulio II il modello per la Basilica di San Pietro", Il dipinto ritrae il momento in cui l'artista presenta a Sua Santità il modello fisico per il completamento di San Pietro. Dipinto su tela di Domenico Cresti da Passignano (Tavarnelle Val di Pesa 1559-1638).



**22.** Modello ligneo originale della Cupola di San Pietro prodotto da Michelangelo.

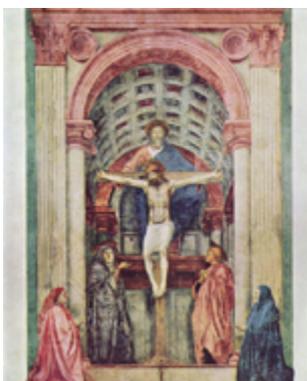
28 Cfr. Franco Strazzullo, Le lettere di Luigi Vanvitelli della Biblioteca Palatina di Caserta, edizione Congedo, 1976.



23. Affresco di Giotto per la Cappella Arena di Assisi.



24. Affresco della Flagellazione di Cristo di Piero della Francesca, ubicato nella Galleria Nazionale delle Marche, Urbino.



25. Affresco La Trinità di Masaccio, conservato nella terza campata della navata sinistra della basilica di Santa Maria Novella a Firenze e databile al 1426-1428.

sulla rappresentazione prospettica in architettura le cui prime discussioni risalgono al 1435 dC. Sebbene ha avuto luogo molti secoli fa, gli sforzi per la ricerca della fedeltà in prospettiva erano simili a quelli per le visualizzazioni attuali. Al fine di creare un'immagine realistica, artisti, architetti, scienziati e matematici hanno immesso le proprie conoscenze nello studio della prospettiva, utilizzando tutte le tecnologie possibili.

Sebbene un secolo prima dell'invenzione della prospettiva ci sono stati alcuni tentativi di esprimere l'architettura nei disegni, come è possibile vedere nei dipinti di Giotto per la Cappella Arena e gli affreschi di Assisi, la mancanza di informazioni accurate e regole geometriche precise limitano la fedeltà. L'invenzione della prospettiva è stata quindi una tappa fondamentale per ottenere una maggiore fedeltà della visualizzazione, per la prima volta c'è stata la possibilità di rappresentare accuratamente il mondo tridimensionale su un supporto bidimensionale, una finestra per rappresentare il mondo.

Ancora oggi le regole della rappresentazione prospettica sono il frutto degli scritti del 1435 dC ad opera di Leon Battista Alberti, pietra miliare nella storia dello sviluppo della prospettiva. Nel suo trattato Alberti ebbe il merito di introdurre due concetti di base: la convergenza verso un punto di fuga unico di tutte le rette perpendicolari al piano della rappresentazione e la progressiva diminuzione delle dimensioni apparenti degli elementi al crescere della loro distanza, da valutarsi attraverso la costruzione di un punto laterale detto punto di distanza. Il metodo abbreviato forniva un criterio per la costruzione della prospettiva molto efficace e fu utilizzato dagli artisti dell'epoca per mettere in scorcio una pianta quadrettata o per realizzare un vero e proprio reticolo spaziale di riferimento per la realizzazione della prospettiva.

Con l'applicazione delle nuove teorie, numerosi artisti del calibro di Piero della Francesca, Masaccio, Francesco di Giorgio Martini, Paolo Uccello e Donatello hanno creato molti e meravigliosi esempi di prospettiva; tuttavia seppur l'applicazione sapiente del colore ha contribuito al miglioramento della fedeltà del volume e dello spazio, non c'erano regole scientifiche per l'uso del colore.

Per quello che interessa la simulazione, si può concludere affermando che la prospettiva ha radicalmente influenzato la rappresentazione architettonica come quella artistica, i maggiori architetti hanno espresso le proprie idee anche mediante tale strumento riscontrando un notevole contributo allo sviluppo del progetto.

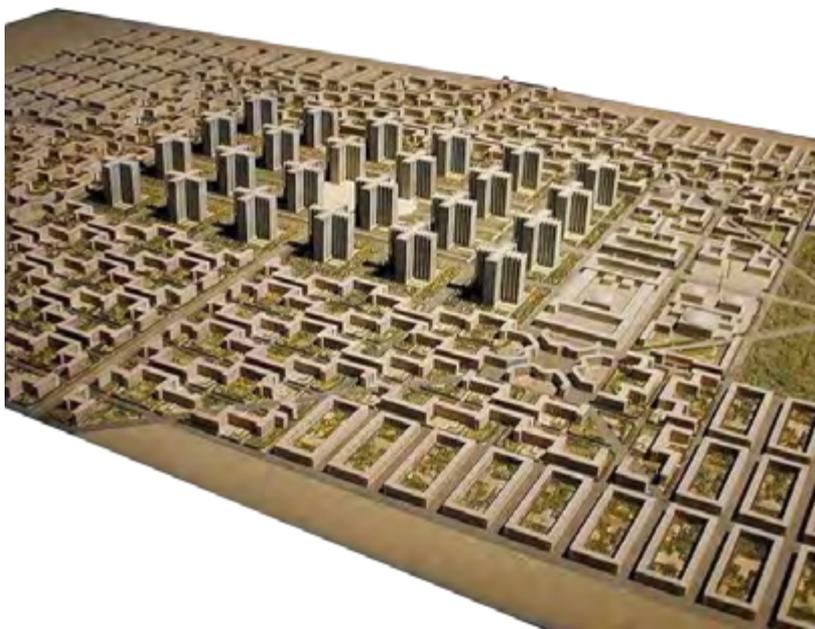
Ritornando quindi all'utilizzo dei modelli per la simulazione ex-ante del progetto di architettura, notiamo che la pratica di costruire plastici preliminari, ai fini quasi esclusivamente descrittivi della forma, subisce una significativa svolta durante il XIX secolo quando i plastici, ad opera degli studi ingegneristici per le grandi opere, diventano veri e propri prototipi

fondamentali per gli studi e le verifiche statiche delle costruzioni che andranno a realizzarsi.

Sul finire del secolo appare la figura dell'architetto Antoni Gaudì che, con grande anticipo sul movimento moderno, utilizza il modello fisico come principale elemento di controllo delle caratteristiche plastiche frutto della propria espressione formale.

La consuetudine al controllo attraverso il modello, radicata profondamente nel processo progettuale dell'architetto, continuerà, in cantieri come per la nota Sagrada Familia, anche dopo la sua morte. Ancora oggi i modelli della cattedrale guidano gli architetti nello sviluppo di simulazioni grafiche digitali. Da qui in avanti si afferma l'epoca della sperimentazione e delle avanguardie dell'architettura moderna, i protagonisti riscoprono la necessità della figurazione dello spazio utilizzando i modelli come elementi di sintesi del nuovo linguaggio.

La simulazione modellistica, in questi anni, subisce un cambiamento anche nella scala di rappresentazione, dalle verifiche su singoli edifici si passa alla simulazione di interi quartieri o anche intere città. A tal proposito sono da ricordare i modelli di studio di Le Corbusier per il Plan Voisin di Parigi e per la Ville Contemporaine; i plastici dell'architetto, elemento inscindibile di ogni sua opera che siano modelli sperimentali o descrizioni di particolari costruttivi, sono tutti dotati di un incredibile energia comunicativa.



26. Plastico della Sagrada Familia di Antoni Gaudì.



27. Plastico di studio di Le Corbusier.



28. Le Corbusier davanti un plastico dell'Unité d'Habitation, Berlino 1957.

29. Modello urbanistico del Plan Voisin di Le Corbusier, presentato per l'esposizione internazionale di Arti Decorative e Industriali Moderne, tenutasi a Parigi nel 1925.

In questo panorama è impossibile non citare Ludwig Mies Van der Rohe, i cui modelli sono chiara dimostrazione della svolta formale dell'architetto, da espressionista a minimalista.

Il periodo più fertile è sicuramente quello a cavallo delle due grandi guerre, numerosi concorsi internazionali di architettura richiedono ai partecipanti, tra cui i più noti maestri dell'epoca, la realizzazione di modelli quale simulazione fisica delle proprie idee formali.

Nel secondo dopoguerra, numerose sono le sperimentazioni soprattutto nella definizione di proposte in ambito urbano; formalismi differenti che hanno utilizzato il plastico come unico strumento di comunicazione dei cambiamenti linguistici si avvicinano sempre più alla tecnologia informatica quale supporto espressivo di un'architettura contemporanea.

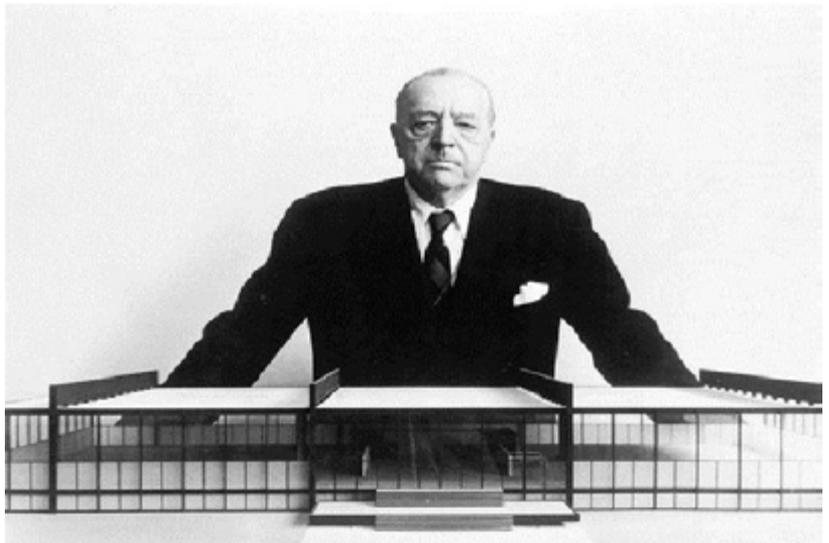
La nuova architettura è concepita e narrata anche per mezzo di nuove tecnologie ormai in fase di consolidamento, la simulazione progettuale sviluppata attraverso la modellazione plastica è oggi assistita dal supporto informatico, ottenuto mediante la computer grafica.

Come si illustrerà successivamente, l'utilizzo dello strumento informatico in architettura oltre a modificare i metodi di rappresentazione, dal modello utile alla visualizzazione dell'idea progettuale si è passati alla visualizzazione del modello 3D sullo schermo, ha influenzato le correnti architettoniche come mai è accaduto prima.



**30.** Ludwig Mies Van der Rohe e Philip Johnson di fronte ad un modello del Seagram Building di New York, nel 1958.

**31.** Ludwig Mies Van der Rohe dietro un modello del Crown Hall (Courtesy Illinois Institute of Technology).



### 1.3 ARCHITETTURA E COMPUTER

*“Nei cinquant’anni trascorsi dalla fine della seconda guerra mondiale, si è verificato un cambiamento che potrebbe incidere profondamente sull’architettura: lo spostamento del paradigma meccanico a quello elettronico. [...] Il paradigma elettronico propone una difficile sfida all’architettura, in quanto definisce la realtà attraverso i media e la simulazione, privilegia l’apparenza rispetto a ciò che è. [...] L’architettura [...] considera il vedere in maniera preminente, [...]. È proprio questo concetto tradizionale del vedere che il paradigma elettronico vuole mettere in dubbio”.*

*Peter Eisenmann*

*(Oltre lo sguardo: l’architettura nell’epoca dei media elettronici, Domus 734)*

Importanti rivoluzioni tecnologiche hanno modificato, in diversi momenti di sviluppo della società umana, la vita culturale, sociale ed economica. Ognuna di esse ha influenzato notevolmente l’architettura, la città e il territorio.

Quest’ultima rivoluzione, accelerata in maniera esplosiva dal susseguirsi della rapida comparsa di nuove tecnologie sempre più economiche e alla portata di tutti, si è diffusa in tutto il mondo nell’arco di pochi decenni ed è stata, in ordine di grandezza, più veloce della rivoluzione industriale; sta sostituendo sempre più l’uso del “cervello umano” con macchine che elaborano istantaneamente le informazioni.

Non abbiamo più soltanto un’economia agricola e un’economia energetica, ma anche un’economia, di sempre maggiore importanza, basata sull’informazione. Siamo vivendo l’era in cui la raccolta, l’elaborazione e la diffusione delle informazioni assumono un ruolo dominante nella vita economica.

Nel 1948, quando i possibili sviluppi informatici erano solo immaginabili, Norbert Wiener nel suo pionieristico libro *Cybernetics* ha anticipato i profondi effetti sociali introdotti dalla disponibilità di un’intelligenza a basso costo: “Posso forse chiarire il contesto storico della situazione presente sostenendo che la prima rivoluzione industriale, la rivoluzione degli ‘scuri e satanici opifici’, consisteva nella svalutazione del braccio umano per

mezzo della competizione con la macchina. Non esiste livello di paga, per basso che sia, per il quale un operaio scavatore degli Stati Uniti possa competere con il lavoro di un escavatore a vapore. La rivoluzione industriale moderna agisce allo stesso modo nel deprezzare il cervello umano, almeno nelle sue decisioni più elementari e di routine. Certo, allo stesso modo in cui i più abili carpentieri, meccanici e sarti sono in qualche modo stati capaci di sopravvivere alla prima rivoluzione industriale, gli scienziati e gli amministratori più preparati potranno sopravvivere alla seconda. Ad ogni modo, nel momento in cui il comune essere umano di mediocre (o ancor più basso) livello arriverà a riconoscere l'avvento della seconda rivoluzione industriale, si troverà nella condizione di non aver più nulla da vendere che possa valere il denaro di qualcuno”.

La rivoluzione informatica ha indubbiamente caratterizzato, e continua ancora oggi, quella che comunemente viene definita “architettura digitale”, definizione che in realtà accoglie una transizione epocale non solo per gli strumenti di comunicazione e rappresentazione adottati ma più in generale per i processi creativi e generativi introdotti.

L'avvento dell'era dell'informazione e l'ingresso del computer nella professione dell'architetto, oltre a portare con sé problemi di progettazione più complessi, ha posto una serie di domande ancora molto attuali, ossia cercare di capire in che modo la madre di tutte le arti avrebbe davvero beneficiato di questa macchina ingombrante, costosa e apparentemente incomprensibile.

“All'accelerare dello sviluppo delle informazioni e della conoscenza” è corrisposto “un aumento del dubbio”<sup>29</sup>.

Nel corso degli anni '60 del Novecento, parallelamente ai discorsi sull'architettura che spesso si fondavano su concezioni esclusivamente artistiche, si andavano sviluppando ricerche sulle metodologie scientifiche e sui nuovi sviluppi dell'elettronica nelle possibili applicazioni nel campo dell'architettura. Vengono realizzati una serie di conferenze e pubblicazioni, la prima può essere considerata quella di Londra del 1962, che hanno affrontato le implicazioni dei calcolatori in architettura, poste in occasione della prima conferenza, dal titolo Architettura e computer, organizzata dal Boston Architecture Center (BAC), al Computer Grafica in Architettura e Design presso la Scuola di Arte e Architettura dello Yale nel 1968, e nel numero doppio di Quarterly dal titolo “Design e il Computer” nel 1966.

Queste confluenze hanno riunito i rappresentanti di architettura, urbanistica, design, ingegneria e informatica. Gli eventi e le pubblicazioni hanno avuto luogo all'interno di mainstream della formazione in architettura e si sono avvalsi di partecipanti del calibro di Walter Gropius, Charles Moore, e Louis



**32.** Foto scattata in occasione della conferenza dal titolo Architettura e Computer tenutasi al Boston Architecture Center nel 1964.

29 Cfr. Karl Popper e Bertrand Russell, citati da Jack Landau in Footnotes in this passage, underscoring the positivistic aspect of the argument. Ibid.

Kahn, oltre ad architetti e tecnologi del settore progettuale; gli interventi si possono ritenere precursori dell'intensa attività scientifica e convegnistica che da questo momento coinvolgerà per quasi un ventennio gruppi di giovani architetti, in special modo in Inghilterra e negli Stati Uniti.

In questo fertile contesto i computer erano rari e costosi, appartenenti per lo più a grandi istituzioni educative, ad aziende servite da contratti militari e a grandi imprese. Il MIT si è rivelato molto importante a questo riguardo perché ha offerto risorse di calcolo ai propri studenti, docenti e ricercatori, nonché ad altre università e imprese dell'area.

Alla metà del 1960, per gli ingegneri e gli imprenditori, l'uso del calcolatore era già divenuto parte integrante del business lavorativo giornaliero mentre per la creativa disciplina dell'architettura il discorso sul tema era ancora alla sua infanzia, gli esperimenti di calcolo venivano condotti in isolate conclave universitarie e in alcuni importanti uffici aziendali come il SOM negli USA. Questa era una situazione che gli organizzatori della conferenza al BAC miravano a correggere.

Inizialmente concepito come una parte modesta del programma del BAC, Architettura e computer avrebbe presto riscosso un notevole interesse. Decine di prime iscrizioni, provenienti da quasi tutte le principali istituzioni e studi di architettura, hanno chiarito che l'argomento aveva colpito una corda tesa. Gli interessi vennero sia da parte di studenti, come quelli di Princeton, che da professionisti di importanti studi del settore delle costruzioni. Il successo fu tale che IBM ha donato 1.500 dollari per l'evento e la fondazione Graham la possibilità di un successivo incontro.

Il 5 dicembre 1964, si sono riuniti oltre 600 partecipanti, il coinvolgimento è stato chiaramente superiore alle previsioni degli organizzatori della conferenza.

Tra gli ospiti non vi erano solo progettisti architetti ma anche storici dell'architettura, ingegneri informatici, ingegneri meccanici, ingegneri elettronici, cartografi e i rappresentanti di grandi aziende americane come IBM e Westinghouse.

Le opinioni erano più confuse che divise. Si andava da entusiasmo a terrore, riflettendo sul ruolo tradizionale dell'architetto. Di tutti i relatori invitati, una notevole apertura mentale si è riscontrata nell'ottantunenne Walter Gropius che volutamente ha rivolto un comunicato a tali preoccupati, dal titolo: Computer per la progettazione architettonica?

Egli ha osservato con sarcasmo: Alcune persone disprezzano violentemente l'idea che le macchine senza vita potrebbe essere un vantaggio al pensiero creativo [...] credo che questo atteggiamento da bambino vada cacciato via con un lavaggio<sup>30</sup>.

---

30 Cfr. Walter Gropius, Computer for Architectural Design?, Boston Architectural

C'era un chiaro movimento distinto in due fazioni: uno dei tecnofili innamorati del computer quale strumento di immediatezza di applicazione nel processo di progettazione, l'altro di tecnico-intellettuali investiti in un progetto a lungo termine verso una teorizzazione critica di calcolo. Per i membri di questo ultimo gruppo, tra cui l'informatico e scienziato Marvin Lee Minsky, il calcolo nei campi creativi, attraverso l'intelligenza artificiale (AI, da artificial intelligence) avrebbe permesso il raggiungimento di nuovi limiti sconosciuti. Rispondendo alla discussione sulla praticità del computer nei confronti della riproduzione o della prospettiva, Minsky ha supplicato: "cerchiamo di non preoccuparci di [...] come i computer possono essere utili, come possono aiutare noi in piccole cose. Fra non più di 30 anni, i computer potrebbero essere intelligenti, o più intelligenti della gente". Come osservò anche François Vigier, il modo di utilizzare il computer solo come un tecnigrafo veloce ma stupido non sembrava essere davvero il miglior uso dell'animale<sup>31</sup>.

In tale sede, l'architetto Christopher Alexander, di cui si parlerà in seguito, è stato criticato sconsideratamente come assorbito dall'applicazione di uno strumento fine a sé stesso. Nel suo famoso saggio che ha contribuito alla causa, egli avverte che: "le persone che chiedono come possiamo applicare il computer all'architettura sono pericolose, ingenui e sciocche. [...] perché la sua preoccupazione in realtà può impedirvi di raggiungere tale comprensione concettuale e di vedere i problemi come sono realmente".

L'interesse verso l'argomento è stato di portata mondiale, tuttavia le domande fondamentali circa la strumentalità del computer nel processo creativo sono rimaste in gran parte senza soluzione.

Alla fine degli anni sessanta l'esimio professor Jonathan Barnett ha pubblicato su "Architectural Record" un articolo intitolato Architecture in the Electronic Age, un tema tutt'oggi attuale, in cui si affrontava l'influenza dell'elettronica nel mondo dell'architettura.

L'articolo di Barnett ha approfondito le problematiche innescate dai rapporti tra architettura e tecnologia ad essa "sottomessa". L'architetto John Johansen aveva appena inviato al professore un suo scritto nel quale prefigurava i cambiamenti nel campo dell'architettura dovuti ai nuovi strumenti della comunicazione di massa.

Johansen, da progettista, si chiedeva in che modo la rivoluzione elettronica avrebbe trasformato i modi tradizionali del fare e trasmettere l'architettura. Nello stesso numero della rivista, casualmente, figurava un articolo nel quale si riportavano i primi risultati della progettazione computerizzata, quella che

---

College Archives.

31 In Architecture and the Computer, conferenza del Boston Architecture Center (BAC), 1964.

più tardi si sarebbe denominata CAD (Computer Aided Design).

In risposta ai cambiamenti in atto, la professione dell'architetto ha iniziato ad utilizzare il computer e ben presto anche l'intelligenza artificiale. Il ruolo centrale dell'architetto nel processo di progettazione si è trasferito in parte sui nuovi calcolatori che hanno iniziato a generare soluzioni architettoniche oltre le capacità del singolo progettista. Il periodo compreso tra il 1960-1980 è stato significativo perché ha segnato l'introduzione del computer nell'universo architettonico e il suo utilizzo nei principali studi di architettura.

Durante questa dissertazione si svilupperà il concetto di "sistemi generativi in architettura"; cioè quei sistemi che, incorporando i modelli dell'intelligenza, interagiscono con gli utenti sia in fase di progetto che di restituzione.

In questo ventennio paradigmatico, i tre architetti Alexander, Negroponte e Price si sono distinti per il loro pionieristico contributo; entrambi hanno risposto ad un impulso comune utilizzando il calcolatore e i concetti dell'intelligenza artificiale nel loro lavoro.

Tutti hanno sfidato il ruolo tradizionale dell'architetto, Negroponte e Price sono arrivati a chiamare se stessi in modo esplicito con l'appellativo di "anti-architetto" mentre Alexander ha inveito contro il ruolo dell'architetto come "genio"<sup>32</sup>.

Il modo in cui Alexander, Negroponte e Price si sono avvicinati alla tecnologia è stato diverso, Alexander ha cercato di usare il computer per l'elaborazione dei dati e la risoluzione dei problemi per il suo libro "A Pattern Language". Negroponte ha solo rafforzato l'importanza del computer nel concetto di quella che definisce una "architecture machine", nel 1970 affermava che "i computer sono macchine intellettuali che ci permettono di simulare il comportamento umano".

A differenza di Negroponte e Alexander, Price non ha posto sul computer il suo interesse centrale ma si è rivolto alla tecnologia poiché da essa ha ricevuto interazioni inattese che hanno alimentato il suo interesse.

Alexander, Negroponte e Price hanno sfidato le tradizioni progettuali architettoniche e i processi creazione-forma, sistemi che hanno generato soluzioni architettoniche in simbiosi uomo-computer; di seguito si riporta una sintesi del loro operato.

---

32 Price si definiva anti- architetto per quanto riguarda Fun Palace; Negroponte si riferiva a se stesso con l'appellativo di "anti-architetto" per tenersi alla lontana dalla definizione di "anti-architettura" mentre Alexander non ha chiamato se stesso anti-architetto ma spesso ed esplicitamente ha contestato il ruolo dell'architetto, già in Notes on the Synthesis of Form.

Vedere Stanley Mathews, An Architecture for the New Britain: The Social Vision of Cedric Price's Fun Palace and Potteries Thinkbelt, Columbia University, 2003. Nicholas Negroponte, Soft Architecture Machines, Cambridge, Mass: The MIT Press, 1975. Serge Chermayeff and Christopher Alexander, Community and Privacy; toward a New Architecture of Humanism, Garden City, N.Y: Doubleday, 1963.



33. Foto scattata a Christopher Alexander nel 2005.

### **Christopher Alexander: Da Problem-Solving a Pattern-Generating**

Un approccio computazionale il lavoro di Alexander nel corso degli anni 1960 e '70.

Ha iniziato la sua carriera cercando di usare il computer per scopi architettonici, infatti, è stato uno dei pochi architetti con la competenza matematica che, nei primi anni del 1960, gli ha permesso di riuscire a programmare e utilizzare un computer. Nel corso dei successivi 15 anni, tuttavia, il computer, utilizzato come dispositivo di elaborazione, ha cessato di occupare una posizione così centrale nel lavoro di Alexander che, invece, ha continuato ad applicare la logica e la struttura informatica per il calcolo dei modelli e dei modelli di linguaggio. (Pattern Language). Alexander ha applicato la cibernetica e l'intelligenza artificiale all'architettura nel tentativo di affrontare la crescente complessità dei problemi di progettazione. Ha notato la difficoltà di progettare per penetrazione sistemica, anche quando l'oggetto stesso progettato, grande come un villaggio o piccolo come un teiera, sembrava semplice. "Nonostante la loro semplicità superficiale, anche questi problemi hanno un background di bisogni e di attività che sta diventando troppo complessi per coglierli intuitivamente", ha scritto nella sua tesi Notes on the Synthesis of Form nel 1964. In "Systems Generating Systems", un articolo del 1968 di Alexander, nel quale scrisse: "Per parlare di qualcosa come un sistema, dobbiamo essere in grado di indicare chiaramente: il comportamento olistico su cui ci stiamo concentrando; le interazioni tra questi componenti che causano il comportamento olistico che abbiamo definito; il modo in cui questa interazione tra le parti provoca il comportamento olistico definito". A Pattern Language ha fornito 253 modelli linguistici semplici che hanno affrontato la possibilità di costruire in qualsiasi scala, fornendo una grammatica che chiunque avrebbe potuto usare per progettare i propri ambienti senza l'aiuto di un architetto. Ha offerto quelli che oggi chiameremmo modelli di librerie digitale, modelli per l'architettura sistemica, linguaggi di programmazione e interfacce contemporanee.



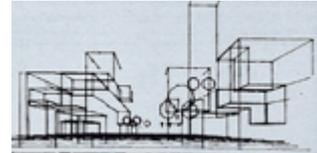
34. Foto scattata a Nicholas Negroponte nel 2012.

### **Nicholas Negroponte: "Architecture Machines"**

Nicholas Negroponte è meglio conosciuto oggi come guru della tecnologia e fondatore del MIT Media Lab; ci si è interessati al suo essere architettonico e alla nozione di "Architecture Machine", con la quale pensava che avrebbe cambiato il fare architettura.

Una macchina per l'architettura, nella stima di Negroponte, avrebbe trasformato il processo di progettazione in un dialogo che avrebbe alterato la tradizionale dinamica uomo-macchina. Senza dubbio, in tale simbiosi il progettista umano avrebbe operato delle decisioni a stretto contatto con la macchina integrante l'intelligenza artificiale. L'intelligenza per Negroponte

non è quindi una qualità passiva, ma attiva e migliorabile nel tempo. “Architecture Machine” è stato forse il fallimento del proprio successo. Ha illustrato la difficoltà di costruire sistemi generativi che hanno offerto la possibilità di esprimere la propria intelligenza, facendo la cosa giusta al momento giusto. Semplicemente la tecnologia non era abbastanza avanzata per realizzare le idee e i modelli teorici.



35. “Urbana 5”, ideato da Negroponte, era un partner online di supporto alla pianificazione.

36. “Architecture machine”, di Nicholas Negroponte.

### **Cedric Price: Buildings with “Minds of their Own”**

Ha incorporato la cibernetica e tecnologia di comunicazione nel suo lavoro come un mezzo per consentire nuovi tipi di interazione sociale. Per Price “l’hardware della forma architettonica è diventato secondario rispetto al software dell’attività umana” e la tecnologia a disposizione era il mezzo utile all’architettura per aumentare le scelte e la flessibilità.

Price ha progettato Generator (1976-1979, non ultimato) per creare le condizioni personali e mutevoli di interazione con l’ambiente. Ha sviluppato uno schema di 150 cubi, 12’ per 12’ modificabili, costruiti con pannelli di riempimento, vetri e porte scorrevoli in vetro che avrebbero potuto essere mossi da gru, in base alle richieste dagli utenti per svolgere qualunque attività. L’intenzione del progetto è quello di creare un’architettura sufficientemente sensibile alla volontà di un cambiamento costruttivo.

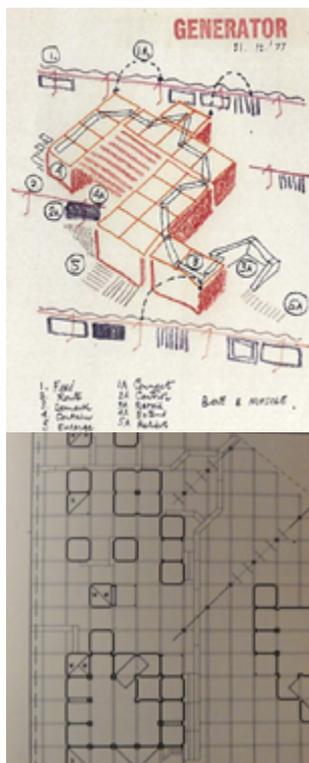
Anche se Price non aveva le competenze di programmazione di Negroponte e Alexander ha continuamente investito sulle possibilità informatiche e tecnologiche per consentire nuove interazioni all’interno della sua architettura.



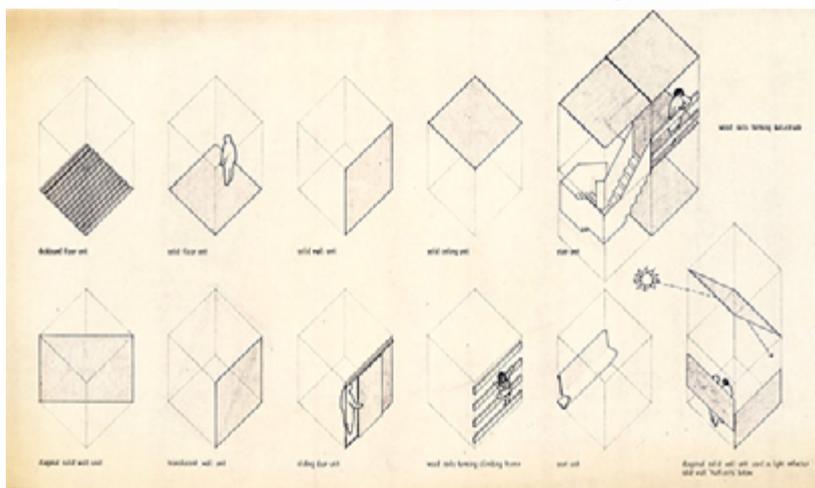
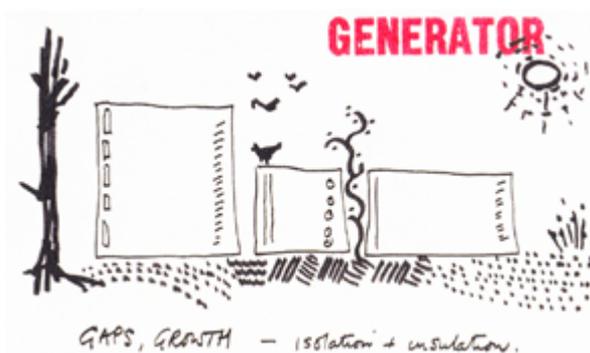
37. Foto di Cedric Price.



38. Foto di Generator, progettato da Cedric Price.



39-40-41-42. Illustrazioni e schemi di Generator, progettato da Cedric Price.



L'importanza vitale è capire il ruolo che i sistemi generativi hanno giocato nel metodo architettonico in relazione alle conoscenze di quel tempo, in modo da esplorare la loro eredità contemporanea.

In via generale, i quesiti posti dall'avvento del computer troppo spesso sono stati visti sotto una luce sbagliata, per non parlare dei pregiudizi e delle paure esistenti. A volte c'è stato qualcuno che ha preferito addirittura ignorare quella macchina, perché l'ha considerata adatta solo alla soluzione di problemi particolari. La struttura professionale era assai arretrata, e il computer rispetto ad essa sembrava arrivato troppo in anticipo.

Il computer è stato spesso considerato come una macchina che compie solo operazioni e che tratta informazioni con una velocità fantastica, qualcuno l'ha definito uno "stupido servo", per tale motivo si è spesso imposto alla tecnologia informatica di assumere sembianze di copia elettronica degli strumenti tradizionali quali ad esempio la calcolatrice, lo schedario, la macchina da scrivere e il tecnigrafo. Siamo diventati vittime di un vero e proprio equivoco, quello di valutare il computer, nello specifico la stazione grafica, come un potente tecnigrafo, uno strumento per disegnare, modificare, replicare, campire, quotare con grande economia di tempi.

La scelta di simulare tecniche e strumenti tradizionali ha però rallentato il naturale percorso evolutivo dello strumento informatico e lo sviluppo di nuove metodologie operative.

C'è un fervore parallelo che lega le più specifiche ricerche nel campo dell'elettronica e dei CAD a quelle degli architetti militanti che comprendono l'avvento di una rottura epistemologica nel campo dell'architettura, in cui la concezione dello spazio può e deve essere modificata.

Ai progettisti e ai designer più attenti e consapevoli si è aperta l'opportunità di contribuire direttamente allo sviluppo digitale e di applicare questi nuovi e straordinari strumenti alle più importanti mansioni sociali e culturali.

Il problema della formazione di questa sensibile classe professionale ha riguardato l'acquisizione delle tecniche relative all'uso di nuovi strumenti che avrebbero fornito un valido aiuto alla progettazione, "strumenti a contenuto logico, altamente formalizzato, che avrebbero consentito di prevedere [...] i comportamenti futuri delle coazioni e delle interazioni avvenenti nell'intreccio di ambienti o sistemi che formano il grande quadro dell'architettura del nostro tempo"<sup>33</sup>.

Queste operazioni complesse possono essere simulate mediante modelli, processi di proiezione, di trasformazione, di continua verifica e modificazione. Si può disporre di modelli reali, "fisici", se costituiti da elementi materiali, presenti nel sistema che si vuole simulare, o "fisico analogici"<sup>34</sup> o di modelli dialettici costituiti dalla logica del sistema che si vuole simulare, descritta in vari linguaggi.

Con un opportuna predisposizione del software per l'utilizzazione di questi modelli, è stato possibile servirsi del computer e dei suoi dispositivi di uscita periferici per operare e rappresentare sintesi parziali e simulazioni di comportamento.

È stato così possibile prevedere il comportamento degli oggetti negli eventi o nei processi, elaborando con il computer i dati numerici mediante le istruzioni del programma.

Le esperienze qui riportate, come quella già molto nota di Alexander, sono un esempio significativo di come l'uso del computer possa risolvere il problema di valutare, secondo la loro importanza, un notevole gruppo di parametri interagenti per ottenere una soluzione che sia congruente con il contesto in cui si pone.

I dibattiti sull'uso del computer nell'architettura hanno dato avvio alle

---

33 Cfr. Giuseppe Ciribini, *Progettazione architettonica e disegno dei componenti edilizi prodotti industrialmente*, Torino 1976.

34 Cfr. le ultime esperienze condotte presso l'Istituto di Costruzioni Edili della Facoltà di Ingegneria di Napoli diretto dal Prof. Guido Guerra; in modo particolare si rimanda a: Guido Guerra, *Condizionamenti della progettazione per il raggiungimento degli ottimi ambientali*, Napoli 1968.

ricerche sui “design methods” e ai rapporti tra uomo e ambiente, come documentato dagli atti delle conferenze annuali dell’EDRA, Environmental Design Research Association, nelle quali, a partire dal 1969, si affrontano i problemi della progettazione in relazione a molteplici aspetti che vanno da quelli sociali, a quelli ambientali, a quelli della cognizione e della percezione, sino ad arrivare alle problematiche della simulazione come premessa a quello che sarebbe stato definito come mondo della progettazione virtuale e cyberspazio.

## 1.4 NUOVE METODOLOGIE PROGETTUALI

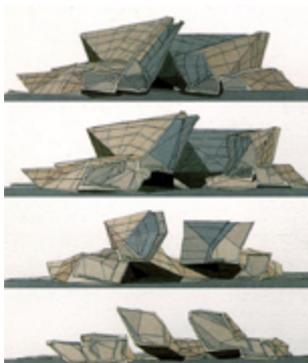
*“Tutte le macchine per la simulazione, come la mente di Prometeo (che pensa in anticipo), sono essenzialmente ‘proiettive’: mostrano simulazioni di cose che non sono ancora realizzate, [...] i computer provvedono alla gratificazione quasi istantanea dei nostri desideri concettuali”*

*Derrick de Kerckhove  
(Architettura dell'intelligenza)*

I media digitali hanno contribuito al mutamento dei concetti fondativi dell'architettura, rielaborando i metodi espressivi tradizionali e producendone di nuovi, la progettazione è gestita in un cyberspazio<sup>35</sup> dove spazio e tempo hanno acquistato valenze del tutto nuove e il materiale diventa immateriale, la linearità si evolve in flusso, lo spazio si trasforma in informazione, uno scambio di impulsi che incanala un'espressione olistica di dati architettonici. Le innumerevoli potenzialità insite nel medium digitale si esprimono compiutamente nella prefigurazione di ciò che sarà attraverso modelli, simulazioni numeriche e visive in grado di raccontare lo spazio e il tempo, esplicitandone i dettagli più tecnici e non solamente quelli grafici. Per secoli la rappresentazione non è stata altro che la possibilità di rendere visibile le proiezioni mentali degli architetti che creavano una riproduzione

---

35 Sono state proposte diverse definizioni adatte di cyberspazio (o cyberspazio), una delle più complete è quella di Michael Benedict in *Cyberspace: First Steps*, nel quale ha scritto molto su questo argomento. Benedict definisce il cyberspazio come “una realtà multidimensionale, artificiale o ‘virtuale’ generata, fruita e sostenuta tramite computer e diffusa globalmente”, ma aggiunge a questa spiegazione attentamente circoscritta una descrizione più lirica sostenendo che “ovunque si si raccolgono e si immagazzinano dati. La sua profondità aumenta con ogni immagine o termine o numero, con ogni addizione, ogni contributo, di dati o pensieri. I suoi orizzonti indietreggiano in ogni direzione; respira più profondamente, diventa più complesso, abbraccia ed impreziosisce. Fluttuante, scintillante, ronzante, fluente, una biblioteca borghese, una città, intima, immensa, ferma, liquida, allo stesso tempo riconoscibile ed irriconoscibile”. Un universo parallelo, un luogo senza confini al quale può accedere, ovunque, chiunque disponga della tecnologia adatta. Il termine *Cyber* deriva dal greco *kyberman* (guidare o controllare) e questo forse rappresenta l'attrazione maggiore per gli architetti, il cui impulso istintivo di controllo è molto forte. Il termine *Spazio* è in genere associato alla geometria Euclidea, oppure considerato infinito, o etere vuoto; spazio come luogo mentale.



43. Peter Eisenman, modello digitale del progetto per la Chiesa di Tor Tre Teste Roma.

in cui chiunque poteva essere coinvolto, la figurazione digitale non vuole solamente essere apparenza e visualizzazione ma anche scambio documentato, come intende de Rubertis<sup>36</sup>, tra mimesi della rappresentazione e semantica conoscitiva. Queste sono le necessarie considerazioni che hanno portato all'analisi di strumenti in grado di implementare il disegno sulla base di dati, per amplificarne le possibilità di esplorazione conoscitiva di entrambi.

L'ingresso dell'informatica nel settore disciplinare dell'architettura, nei primi anni ottanta, lasciò ancora molti ricercatori incerti su quale sarebbe stato il ruolo del computer nell'elaborazione del progetto. Successivamente nei primi anni novanta, con l'avvento dei primi programmi di disegno in 3D, le cose iniziarono a cambiare; si è verificata una svolta nell'uso del computer per l'elaborazione del progetto, tanto che alcuni critici parlano di architettura digitale, in riferimento ai contributi di alcuni progettisti come Eisenmann, Gehry, Grimshaw ed altri. Si tratta di un cambiamento epocale, poiché il computer non è più utilizzato solo per redigere il progetto ma viene usato nella fase ideativa, entro certi limiti, si può dire che il computer integra lo schizzo a mano libera o lo sostituisce; è evidente che l'innovazione porta ad un nuovo concetto di forma architettonica.

Nel 1992 Peter Eisenmann, in un articolo pubblicato su un numero di *Domus*<sup>37</sup>, decanta la nuova era elettronica come virtuale contenitrice di nuove spazialità che permette la proiezione futura di differenti modelli percettivi e la gestione di nuove spazialità. Da sperimentatore di nuove ed ardite configurazioni architettoniche e raffinato intellettuale comprende che il nuovo mondo della comunicazione di massa può sviluppare inedite opportunità spaziali e configurazionali, che l'elettronica non è solo la tecnologia dei computer, o l'affermazione di un mondo virtuale, ma potrebbe diventare sistema generatore di nuovi modelli spaziali. Il digitale non porta esclusivamente a un sistema di rappresentazioni virtuali, ma, oltre che raffigurazioni, potrebbe generare comportamenti spaziali dinamici<sup>38</sup>.

Eisenmann da subito riconosce le potenzialità delle nuove metodologie progettuali riconoscendo nel computer un importante alleato. Utilizza il modello tridimensionale per l'analisi dello spazio, modella contemporaneamente dall'esterno e dall'interno ottenendo un pieno controllo progettuale. La sua progettazione manipola le forme attraverso la conformazione dello spazio alla ricerca di uno sviluppo dinamico che, tramite il computer, riesce a controllare, grazie ad una tecnica utilizzata nel cinema chiamata *morphing*, un procedimento che interpola fluidamente due

36 Per approfondimenti sul tema cfr. R. de Rubertis, *Il disegno digitale: libertà o coartazione espressiva*, in Sacchi-Unali, 2003.

37 Cfr. Peter Eisenmann, *Oltre lo sguardo: l'architettura nell'epoca dei media elettronici*, *Domus* 734, 1992.

38 Cfr. Antonietta Piemontese (a cura di), *op.cit.*



**44.** Peter Eisenman, rendering del New Housing Complex di Milano.

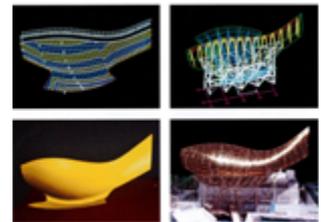
differenti livelli di aggregazione formale in una forma continua; possiamo dire che la sua progettazione ruota intorno al controllo tridimensionale dello spazio.

I modelli informatici sono utilizzati in modo estremamente creativo e dinamico, sono impiegati in numerose teorie da lui investigate come quella dei frattali, del caos, delle catastrofi, del DNA, degli atomi Leibniziani e del comportamento dei cristalli liquidi.

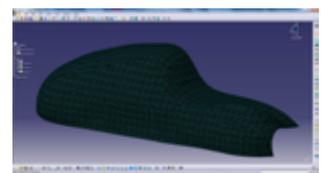
Contrariamente alle visionarie concezioni intellettuali di Eisenman, Frank O. Gehry si avvicina in un primo momento al mondo digitale esclusivamente per esigenze pratiche, inizialmente il computer viene inteso come una tecnologia di verifica e di supporto al progetto, un ausilio ai vecchi schemi di concezione professionale e non sperimentale. I software di progettazione fecero la loro comparsa nello studio del noto architetto in occasione della realizzazione del modello del progetto del Barcelona Fish per il Villaggio Olimpico di Barcellona, nel 1992. La materiale impossibilità di gestire morfologie estremamente complesse in termini tradizionali, lo spinge verso l'impiego di innovativi software come il CATIA (Computer Aided Three dimensional Interactive Application), adoperato nell'industria aeronautica<sup>39</sup>. Fu realizzato un modello digitale, basato su un controllo numerico in cui le superfici erano descritte dal software secondo equazioni polinomiali. Il modello realizzato permetteva la localizzazione del posizionamento spaziale di ogni punto sulla superficie.



**45.** Frank O. Gehry, Barcellona fish.

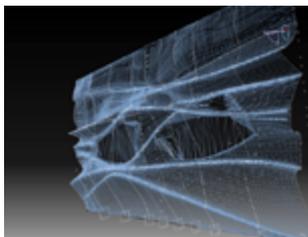


**46.** Frank O. Gehry, modello tridimensionale del Barcellona fish.



**47.** Immagine di una modellazione mediante il software CATIA.

<sup>39</sup> Il Boeing 777 è stato, a metà degli anni Novanta del Novecento, il primo aeroplano completamente progettato e "preassemblato" in forma digitale; i progressi digitali hanno ridotto i tempi e migliorato al tempo stesso la qualità. L'utilizzo di CATIA, un software digitale 3D sviluppato prima da IBM (1976) poi ceduto ad un'industria aerospaziale francese, la Dassault Systèmes, ha consentito ai progettisti della Boeing di visualizzare sullo schermo i componenti come immagini digitali e di simularne quindi l'assemblaggio sullo schermo stesso, correggendo facilmente possibili disallineamenti o eventuali problemi di interferenza.



48. Immagine di una modellazione mediante il software CATIA.

49. Foto del Guggenheim di Bilbao di Frank O. Gehry.

Dai modelli digitali prodotti tramite CATIA si è permessa la realizzazione, mediante accurata documentazione, di precisi dettagli costruttivi dai quali sono stati ricavati i parametri necessari alla realizzazione, tramite frese CNC (Computer Numeric Control), delle casseforme in polistirolo utili alla creazione di elementi prefabbricati in calcestruzzo.

Questa nuova metodologia progettuale, utilizzata successivamente anche per il Guggenheim Museum di Bilbao, parte dal disegno e dallo studio del rivestimento analizzato mediante il modello digitale, procedura molto comune nell'industria automobilistica. Per la prima volta i disegni di un architetto sono stati influenzati dal grado di libertà concesso dal computer e dalla capacità del software di gestire le complesse geometrie.



50. Modello tridimensionale del Guggenheim di Bilbao di Frank O. Gehry.

CATIA ha certamente aperto nuove prospettive creative limitate alla sola immaginazione umana ma in molti si chiedono dove condurrà questa tecnologia e se vi sia un limite, dal momento in cui si parla di pura forma senza una solida base teorica. Per Gehry, il vero miracolo di questa innovazione è l'avergli permesso di mantenere lo slancio formale voluto, oltre a rispettare il budget limitato previsto per la realizzazione del Guggenheim.

È evidente la volontà di indirizzare la pratica progettualità verso un metodologia differente che sappia utilizzare le notevoli potenzialità che la tecnologia digitale offre, un territorio fertile per una progettazione architettonica fino ad ora inimmaginabile.

Le logiche tradizionali del progetto si stanno modificando per l'acquisizione di una nuova pratica teorica in cui la creatività umana viene esaltata e non annichilita dalla intelligenza artificiale. Già nel 1977 William Mitchell, a proposito dell'uso del CAD non soltanto come supporto tecnico all'elaborazione grafica del progetto, bensì ad uno strumento che permettesse di gestire, durante tutto l'iter, l'intero processo progettuale; scriveva nella prefazione del volume *Computer-aided architectural design*: "La teoria e la pratica in questo campo sono state sviluppate a tal punto che si può prevedere

con certezza che, durante gli anni '80, l'uso quotidiano delle tecniche di progettazione supportate dal computer trasformeranno radicalmente la pratica dell'architettura”.

Guardava al processo progettuale come un risolutore di problemi, “problem solving”, un processo di ricerca finalizzato ad individuare lo stato che meglio rispondesse a determinati criteri o obiettivi. Ipotizzava che l'era elettronica, oltre ad offrire strumentazioni più veloci e più pratiche per aiutare il lavoro progettuale, avrebbe introdotto un processo continuo di ricerca per la creazione e il controllo di nuove prassi progettuali.

Rispetto alla tendenza che vede coinvolti i grandi studi professionali dell'high-tech, con l'acquisizione di un determinato know-how e le continue possibilità di verifica ex-macchina che la progettazione digitale offre, si realizzano architetture di maggiore qualità, in cui i processi di simulazione servono preminentemente per ottimizzare problemi inerenti al microclima e alla dispersione energetica. Nel frattempo, iniziano a strutturarsi studiosi e gruppi di giovani progettisti, “nati con il computer”, per i quali il virtuale diventa il campo entro cui definire il linguaggio per tracciare le informazioni dello spazio architettonico, lo sviluppo di questa tendenza radicalmente nuova lascia che il computer “guidi” il processo progettuale e diventi esso stesso parte integrante della “trasformazione architettonica”.

Si stava definendo una visione ma soprattutto una concezione scientifica dello spazio architettonico in cui trasversalmente potevano confluire i differenti modelli interpretativi e le curiosità individuali, le immense possibilità di calcolo e le nuove geometrie non sono più un ausilio. Il computer e le rappresentazioni digitali, se all'inizio sono considerate un servizio sostitutivo della manualità del lavoro professionale, vengono ad assumere un carattere propositivo, prassi nei processi di generazione della forma architettonica.



51. Foto del Cultural Matrix della Città della Cultura di Galizia di Peter Eisenmann.



52. Immagine renderizzata della House VI di Peter Eisenmann.

## 1.5 LA PROGETTAZIONE DIGITALE E GLI SVILUPPI FORMALI

Il cambiamento radicale che ha avuto luogo nella concezione architettonica è avvenuto al livello più essenziale dello spazio, uno “spazio simulato”, il mezzo intangibile più familiare all'architetto, in cui creare, conoscere, manipolare e perlustrare in tempo reale l'organismo architettonico attraverso una metodologia progettuale digitale.

Per progettazione digitale s'intende un processo progettuale che, dall'ideazione alla realizzazione, è interamente gestito attraverso mezzi digitali.

Non si tratta più di uno strumento di ausilio al progetto, quanto di poter trasferire l'intero processo metodologico (analisi-progetto-verifica) in forma digitale, operando progettualmente su un modello visualizzabile con accessibilità continua nello spazio e nel tempo, allo scopo di realizzare sistemi dinamici e restituzioni di dati che risultino essere facilmente analizzabili anche da parte di operatori non esperti.

Quanto accaduto negli ultimi anni ha rappresentato dunque un'evoluzione nella formulazione del metodo tradizionale, ha reso il progettista gestore del processo decisionale, non più solo tramite i dati numerici in sé ma mediante i meccanismi conoscitivi legati alla loro visualizzazione. La figura del modello, sia materiale che digitale, diventa un elemento sempre più importante per quanto riguarda la fase ideativa ma il significato che diamo a tale modello si discosta sicuramente da quello che veniva dato in passato. Il modello non è più inteso come costruzione di un prototipo materiale, la cui essenza consisteva fondamentalmente di essere da esempio di quello che sarebbe stato realizzato, bensì come mezzo necessario all'elaborazione di una serie di sistemi conoscitivi attraverso i quali siamo in grado di manipolare la forma e tutti i parametri utili alla definizione e realizzazione dell'oggetto. Il processo di progettazione ha assunto così una base comunicativa fondamentalmente incentrata sulla visualizzazione che non si presenta più come una serie antologica di immagini statiche ma un itinerario continuo che permette la perlustrazione dall'esterno all'interno di ogni componente e dell'intero progetto; l'oggetto rappresentato può essere visto e visitato nella sua astratta concretezza, la traduzione di forme mentali offerte dal computer può risultare,

soprattutto nei casi di forme più complesse, più efficaci di uno schizzo, dal momento in cui il computer ne effettua una visualizzazione particolarmente chiara che può essere ruotata nello spazio.

Il rapido processo di integrazione tra architettura e i nuovi strumenti informatici, tra progettazione architettonica e digitale, ha permesso al progettista prospettive e opportunità precedentemente inattuabili, quindi la possibilità di esplorare orizzonti finora sconosciuti generando nuove forme architettoniche. In questi ultimi anni, per via di queste prominenti peculiarità, l'architettura sta subendo una mutazione che la spinge a ridefinire le proprie forme e i propri codici; essa diviene sempre più investigativa nei confronti di nuove geometrie dalle superfici libere, scolpite attraverso la modellazione generativa e cinematica, che attraggono l'interesse soprattutto dei progettisti più giovani.



**53.** Foto del Heydar Aliyev Cultural Centre di Baku in Azerbaijan, progettato da Zaha Hadid.

L'inedito cortocircuito fra calcolo e ispirazione artistica, congiuntamente alla nozione di “non standard”, ha aperto una nuova finestra sul panorama della ricerca progettuale, che si prospetta fra le più feconde di sperimentazioni.

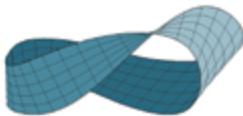
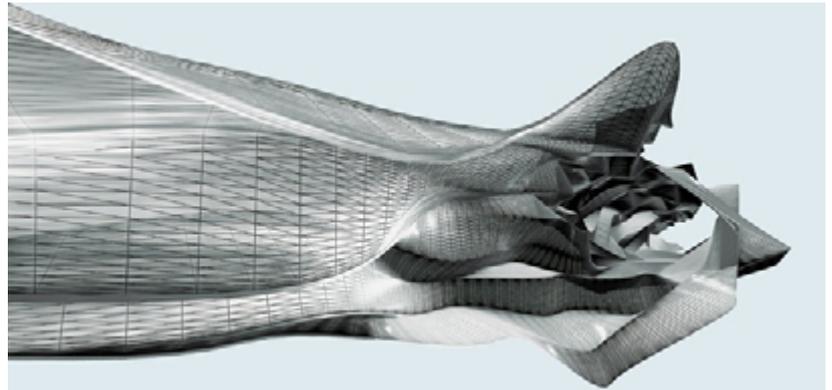
La combinazione di variabilità e continuità, fondamentali attributi di queste recenti geometrie, produce una qualità che il professor Greg Lynn chiama *intricacy*. Le forme ‘intricate’ visivamente indicano in questo senso un carattere organico, cioè proprie di un organismo fisiologico, ma questo non significa che possano essere derivate semplicemente da modelli della natura, né che siano forme naturali, o ottenute dal tentativo di mimesi di forme di vita esistenti. Per generare *intricacy* è necessario lavorare con il rigore e le proporzioni del calcolo differenziale.

Sebbene sia passato più di trecento anni, solo oggi il calcolo differenziale grazie al computer ha permesso ai progettisti di lavorare intuitivamente con una nuova classe di forme basate su differenziazione ed elevato grado di continuità, sviluppando un nuovo modo di progettare l'architettura.

Si tratta di superfici caratterizzate topologicamente<sup>40</sup> da maglie poligonali che le sostengono, ottenute a partire da network di curve continue.

Lo spazio virtuale in cui l'architettura è concepita, come affermato anche dal professor Lynn, viene ripensato grazie all'introduzione di strumenti di animazione e di una costellazione di nuovi programmi per i computer; una volta acquisita la consapevolezza che il computer è un elemento integrante ed interagente la progettazione, si assiste ad un panorama di ricerca indirizzato verso svariati fronti. Per teorici come Enrique Limon, "la geometria euclidea ha determinato l'architettura della storia più antica fino alla modernità. Domani noi costruiremo con la topologia"<sup>41</sup>.

54. Modellazione di geometria non euclidea, realizzata da Karl S. Chu.



55. Nastro di Moebius.



56-57. Bottiglia di Klein, una superficie non-orientabile di genere 2, cioè una superficie per la quale non c'è distinzione fra "interno" ed "esterno".

40 Il nome Topologia deriva dal greco τόπος che indica il luogo e λόγος che indica lo studio, è lo studio delle proprietà delle figure e delle forme che non cambiano quando viene effettuata una deformazione senza "strappi", "sovrapposizioni" o "incollature". Eulero nel 1736 teorizzò le prime invarianti topologiche che vengono conservate attraverso ogni deformazione delle superfici, fintanto che se ne rispettino le continuità; il grafico ottenibile dai suoi calcoli è la prima manifestazione di topologia, in cui il problema è ridotto alla sua essenza e dove la struttura geometrica si è trasformata in una struttura flessibile.

Nel 1858 August Ferdinand Moebius descrisse una nuova superficie tridimensionale nota da allora con il nome di "nastro di Moebius" attraverso cui, per la prima volta, provò a descrivere le proprietà delle monosuperfici in termini di non orientabilità.

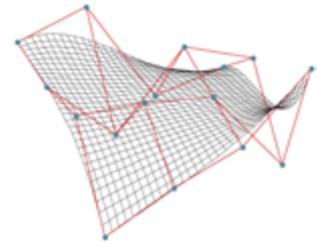
Le proprietà di questa superficie consistono nel fatto che se la si percorre secondo l'asse più lungo, ci si accorge che si ritorna esattamente al punto di partenza; il nastro di Moebius ha la caratteristica di avere una sola faccia.

Il primo ad usare il termine topologia fu J.B. Listing nel 1848, le sue idee in materia derivarono essenzialmente dall'opera di Gauss. Egli pubblicò una serie di scritti sull'argomento della connettività delle superfici tra i quali anche una bozza di descrizione del nastro di Moebius, qualche anno prima che questi lo teorizzasse. Listing si limitò ad esaminare la connettività delle superfici in tre dimensioni mentre Enrico Betti lo estese a  $n$  dimensioni. L'idea di connettività venne ulteriormente sviluppata da Henri Poincaré che definiva la topologia come la scienza che fa conoscere le proprietà delle figure geometriche non solo nello spazio ordinario ma anche in quello a più di tre dimensioni. Altri contributi di Poincaré allo studio della topologia, vennero dal suo interesse per le equazioni differenziali maturato al seguito di alcuni problemi astronomici.

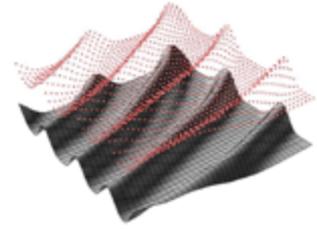
In conclusione, la topologia studia la proprietà di uno spazio, inteso come insieme di punti in qualche modo vicini gli uni agli altri che rimangono inalterati eseguendo una qualunque trasformazione biunivoca e bicontinua, cioè una trasformazione che muta, in entrambi i sensi, punti vicini in punti vicini.

41 Cfr. Enrique Limon, Paul Virilio and the Oblique, in Sites & Station. Provisional Utopias, Lusitania Press, New York 1995.

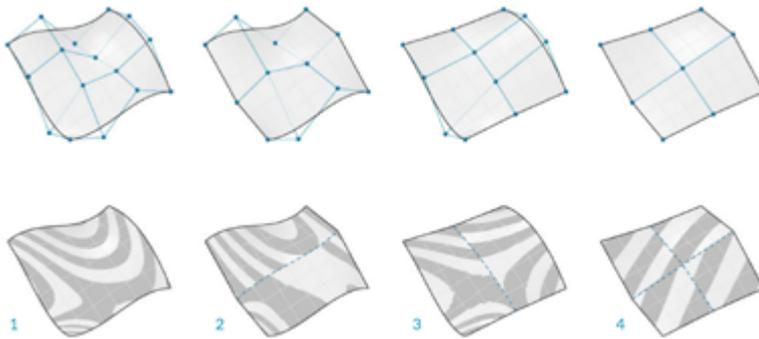
Questa geometria non euclidea, la cui forma si discosta dalle superfici classicamente considerate nel disegno geometrico tradizionale, è rimasta per molti anni un campo riservato alle elaborazioni teoriche che ha da poco trovato applicazione, grazie agli sviluppi offerti dall'informatica mediante l'utilizzo di nuovi programmi creati nell'ambito della meccanica automobilistica e con le possibilità offerte dalle NURBS (non uniform rational b-splines). Queste ultime consentono di descrivere e rappresentare le superfici di qualsiasi forma che non possono essere rappresentate per via analitica e/o geometrica. Le superfici NURBS sono determinate, come dei fogli elastici facilmente deformabili che possono quindi essere modellati in modo da assumere qualsiasi forma geometrica. L'utilizzo di nuovi software, inoltre, ha consentito di sviluppare curvature estremamente complesse, la cui descrizione è caratterizzata da una forma parametrica, delimitata da bordi (edges) e composta da curve (splines), che per punti vincolati, detti punti di controllo, assegna le coordinate della superficie al variare di due parametri chiamati  $u$  e  $v$ . Questi punti di coordinate  $x, y$  e  $z$ , uniti da linee costituenti il poligono di controllo, involuppano la curva e, spostando in modo arbitrario ognuno di essi, si ottiene una modifica della parte di curva da esso controllato. L'applicazione del concetto di non standard nel campo del progetto è stata sviluppata secondo vari temi tradotti in elementi formali, come le supersuperfici e le ipersuperfici, che, servendosi di un repertorio topologico



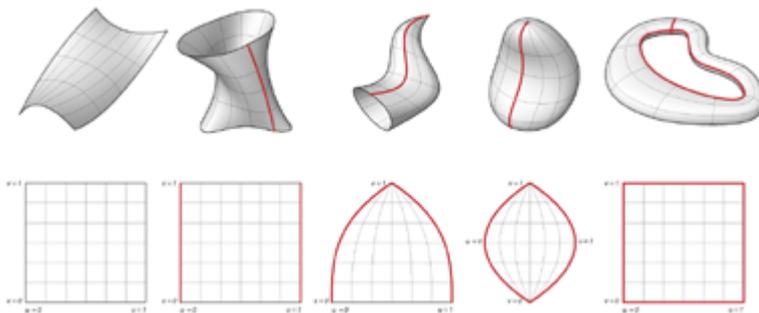
**58.** Esempio di modellazione NURBS attraverso il poligono di controllo.



**59.** Esempio di una superficie complessa con modellazione NURBS e del suo poligono di controllo.



**60.** Superfici NURBS.



**61.** Superfici topologiche ottenuta con modellazione NURBS.

(folds, layers, loops, nodes e via dicendo), è capace di sviluppare una “modellazione generativa”. La modellazione generativa è uno strumento analitico real-time, che permette alla forma e all’organizzazione del programma, a partire da un’illimitata selezione tra differenti altre possibilità, di derivare da una scelta che può sembrare apparentemente casuale.

Una tematica dell’architettura generativa interessa l’utilizzo di superfici free-form come sistema fabbricabile, uno sviluppo progettuale che richiede l’impiego connesso di istanze geometriche e di nuovi metodi di computazione strutturale.

Un’altra applicazione del sistema generativo è quella delle cosiddette superfici quasi sviluppabili, utilizzata anche da Gehry, una geometria di base non direttamente tracciabile in cantiere, in cui la composizione avviene solitamente mediante la suddivisione della superficie in maglie. La soluzione adottata con maggiore frequenza è quella della discretizzazione e della sua suddivisione in una maglia triangolare della superficie, componibile mediante lastre piane. Negli ultimi anni, allo scopo di favorire la massima flessibilità compositiva, sono stati condotti vari studi e diversi metodi per produrre superfici free-form costituite da maglie formate da poligoni con un numero di lati maggiore di tre, attraverso una serie di soluzioni che prospettano nuove architetture.

Gli sforzi compiuti da alcuni progettisti e studi, come Asymptote Architecture, dECOi, Foreign office architects, Greg Lynn, Karl S. Chu, Marcos Novak, NOX e UN Studio, per la realizzazione di famiglie di architetture morfogenetiche, generate senza l’utilizzo di primitive, hanno tratto maggiore validità proprio dalle premesse dinamiche della topologia matematica piuttosto che dalle estetiche formale.



**62-63.** Superfici realizzate da dECOi.

**64.** Foto del One Main di Boston di dECOi.





**65.** Foto del Harbin Opera House dei MAD-Architects a Beijing.

Un esempio di impiego di un sistema definito generativo, che implica la progettazione dell'algoritmo, può essere quello dell'architettura di Robert Aish, inteso quale insieme di regole di un linguaggio naturale. Le componenti generative di Aish sono ottenute a partire da un sistema di progettazione parametrico e associativo basato sui grafi.

La progettazione parametrica è applicabile a tutti i livelli del progetto, dalla fase ideativa ed esplorativa della forma dell'edificio fino allo sviluppo di componenti parametrici e adattivi entro un framework concettuale, consentendo la prototipizzazione dei componenti non standard utili per le successive fasi di fabbricazione; il progettista deve modellare, oltre al manufatto a cui sta lavorando, anche una struttura concettuale che ne guidi le variazioni, è evidente che la parametrizzazione incrementa la complessità del sistema sia nell'operatività progettuale che nell'interfaccia di controllo.

L'evoluzione di questa nuova pratica progettuale, ora più che mai, rende indispensabile il processo simulativo ex-ante, non più come possibile supporto alla progettazione ma come elemento inscindibile da essa; tuttavia, quando l'attenzione si concentra sul cyberspazio rispetto allo spazio reale, si pensa soltanto alla possibilità di accentuare la varietà formale. Molti dei modelli e delle immagini prodotte in questa direzione sono letteralmente quello che Novak definisce "architettura liquida", una sorta di strano espressionismo formalista. Si finisce con il creare un'architettura del e per il virtuale invece di sfruttare le potenzialità della tecnologia per fini più concreti. Mentre i cyberarchitetti tendono ad un formalismo spesso ingenuo nel tentativo di proiettare il modello virtuale nel modo reale, la realtà intorno a noi inizia a sfaldarsi.



**66.** Foto del Noken Bathroom Design di Zaha Hadid.



**67.** Foto del Kinetic Double Sided Bench progettato dal Columbia University GSAPP.



**68.** Foto del Burnham Pavilion progettato dagli UNStudio.

## **1.6 IL MODELLO COME STRUMENTO DI CONOSCENZA E INTEROPERABILITÀ**

La progettazione ai giorni nostri, e sempre più in futuro, all'anacronismo del gesto del singolo progettista, che intuisce e decide secondo la propria sensibilità creativa, dovrà sostituire approcci integrati, forniti da professionisti specialisti, che sappiano gestire i complessi sistemi che regolano tale processo progettuale, elaborando informazioni e metodi sempre più scientifici. In questa nuova logica, conservando esaurientemente il controllo progettuale, l'architetto si avvale dell'opera del calcolatore in quanto indispensabile strumento di problem solving, utile ad operazioni come la raccolta, diffusione ed organizzazione delle informazioni, l'analisi delle complessità e la loro successiva sintesi in termini utili alla progettazione, tutto rappresentato mediante l'impiego di modelli digitali.

La rappresentazione della conoscenza è una vera e propria disciplina che da diversi anni investiga sulla possibilità di applicare linguaggi, in grado di trarre conclusioni, in rami disciplinari che dalla logica giungono fino all'intelligenza artificiale.

Secondo studi consolidati, il complesso processo di progettazione dell'architettura non ha ancora rilevato un sistema di simulazione capace di canalizzare tutti gli aspetti comprendenti le procedure, le gerarchie decisionali, i tempi, le proprietà intellettuali e le tante altre caratteristiche. La rappresentazione tridimensionale del modello, però, contribuisce a migliorare la visualizzazione, la conservazione e la comunicazione delle informazioni, semplificandone l'organizzazione e la restituzione con un sistema di dati informativi.

L'attributo che maggiormente definisce tali modelli, infatti, è quello di prestarsi a essere potenti "sistemi conoscitivi" del manufatto stesso, ogni modello non rappresenta semplicemente un calco, ma un sistema informativo capace di restituire in modo associativo proprietà dell'oggetto e analiticità spaziale, consentendo al progettista di essere ideatore e "costruttore" della propria opera, in quanto essi non solo raffigurano l'oggetto concepito, ma anche, come con Gehry, il codice che ne permetterà la realizzazione su macchine a controllo numerico e/o con processi automatizzati.

La considerazione che l'approccio al computer richieda la sistematizzazione dei dati ed un lavoro altamente organizzato non contribuisce a classificare diversamente il processo progettuale che certamente non viene a differenziarsi in modo sostanziale da una buona progettazione tradizionalmente razionalizzata, quale potrebbe essere svolta senza l'ausilio del computer. Il cambiamento sostanziale risiede nella pratica dell'interoperabilità tra i progettisti, prassi che sembra essere ancora utopia in quanto lontana da una reale applicazione abituale, determinando notevoli criticità durante lo svolgimento della fase di progettazione esecutiva con il rischio di errori e la perdita delle informazioni nel trasferimento e nella gestione dei dati. Complessivamente è possibile affermare che si tratta più semplicemente di una vera e propria evoluzione dello sviluppo progettuale che consente di analizzare in modo parametrico quello che in precedenza era valutato esclusivamente qualitativamente, e inoltre di rendere visibile ciò che invece era campionato e numerico. In definitiva, la progettazione digitale prospetta, sotto vari aspetti, una rivoluzione del concetto stesso di rappresentazione e simulazione così come si è andato definendo attraverso due millenni.

Già alla fine degli anni '60 si era intuito che all'interno della pratica progettuale che si andava delineando, i computer avrebbero potuto assumere un ruolo di notevole interesse. In particolare, i servizi time-sharing avrebbero contribuito efficacemente a razionalizzare il modello delle comunicazioni nel processo edilizio, sarebbe stato possibile utilizzare un servizio time-sharing per far convergere su di esso gli utenti interessati allo stesso problema. Il progettista avrebbe potuto depositare nel computer il progetto, i disegni esecutivi, i particolari, il contratto, gli accordi verbali, ecc. Gli ingegneri delle strutture e degli impianti avrebbero attinto a queste informazioni, con la possibilità di aggiungere altri dati, o proposte di varianti ai disegni, ed archiviare le informazioni di ritorno. I calcolatori avrebbero potuto aprire una gamma molto estesa di possibilità: la comunicazione fra i vari progettisti sarebbe potuta essere più rapida e più efficace, permettendo così di accelerare moltissimo tutta la fase di progettazione. Questa strada, se opportunamente sviluppata, avrebbe potuto portare alla massima integrazione tra l'uomo e la macchina, alla quale sarebbero stati affidati, se precedentemente programmati, anche compiti di controllo e di scelta.

Secondo il professor Gianfranco Carrara<sup>42</sup>, gli attuali attori del processo devono interagire in modo da immettere reciprocamente, nella soluzione progettuale complessiva, le soluzioni parziali di ognuno, via via che vengono elaborate; queste possibilità consentono quindi di affrontare la progettazione tenendo conto della globalità dei problemi, possibilità che, in molti casi,

---

42 Cfr. Gianfranco Carrara, B.K.M. Un ambiente per la collaborazione progettuale basato su tecniche di rappresentazione e gestione della conoscenza, 2008.

esiste solo quando è stato operato un certo coordinamento di programmi che riguardano aspetti diversi da integrare.



**69-70-71.** Foto e dettaglio del Kunsthaus Museum di Zurigo progettato da Karl Moser.



## 1.7 LA SIMULAZIONE PER IL CONTROLLO E LA GESTIONE RAZIONALE DELLE INFORMAZIONI, IL BUILDING INFORMATION MODELLING

*“Un approccio fondamentale delle tecnologie contemporanee di progettazione assistita da computer per l’Architettura è la questione dell’integrazione per il maggior numero possibile dei settori della conoscenza specializzata, dedicata a sviluppare le caratteristiche che concorrono a configurare un progetto architettonico completo e organico. [...] rappresentare e controllare il sistema di rapporti governando la qualità della soluzione architettonica|...|”*

*Ezio Arlati*

*(The architectural heritage’s representation by models: the contribution of design technologies from interoperability to simulation)*

Uno indirizzo di ricerca specifico ha focalizzato l’attenzione sull’impiego di modelli 3D digitali come matrice del sistema informativo, attraverso esperienze che non si limitano a sostituire la tradizionale visualizzazione proiettiva con quella iconica, piuttosto smontando l’idea concettuale che ha sempre considerato la figurazione come un semplice attributo e/o segmento del sistema conoscitivo.

Il recente sviluppo di tecnologie basate su archivi di progetto integrati, o Integrated Project Database (IPDB), risulta di particolare rilevanza per i positivi effetti sul processo progettuale. L’evoluzione tecnologica ha reso possibile il passaggio da visualizzazioni piane CAD dell’organismo edilizio a rappresentazioni virtuali volumetriche, che vedono l’edificio come un unico archivio di progetto integrato, come detto IPDB, e che, per motivi legati al marketing dei software parametrici, perché più semplice da ricordare, saranno definite con l’acronimo BIM<sup>43</sup> (Building Information Modelling),

---

<sup>43</sup> Il National Institute of Building Science nel documento National Building Information Modeling Standard riporta questa definizione: “BIM is an emerging process supported by a broader toolset and data standards for the creation and use of project and building lifecycle information. The changes in the tools support new processes allowing professionals to integrate intelligent and standardized data, graphics, databases, web services, and decision support

anche se il concetto espresso rimane il medesimo. L'attuale generazione di strumenti BIM per la gestione in ambito Architecture, Engineering, Construction (AEC) è l'esito di oltre mezzo secolo<sup>44</sup> di Ricerca e Sviluppo sul disegno digitale 2D e 3D, conclusosi con la progettazione parametrica degli edifici<sup>45</sup>. Le piattaforme BIM attualmente disponibili per i professionisti del settore AEC sono varie, poiché negli ultimi anni si sta assistendo ad un continuo sviluppo e una implementazione dei differenti software.

I presupposti fondamentali affinché uno strumento possa essere definito BIM sono:

- L'immissione di tutti i dati relativi al progetto in un unico 3D intelligente, non più costituito da file bidimensionali separati;
- La facoltà di contenere, oltre a dati dimensionali 3D, anche tutte le informazioni integrate all'interno dello stesso modello, utili alle analisi del progetto;
- La possibilità di organizzare e gestire il modello mediante modalità parametriche;
- La capacità interattiva del database che permette modifiche

---

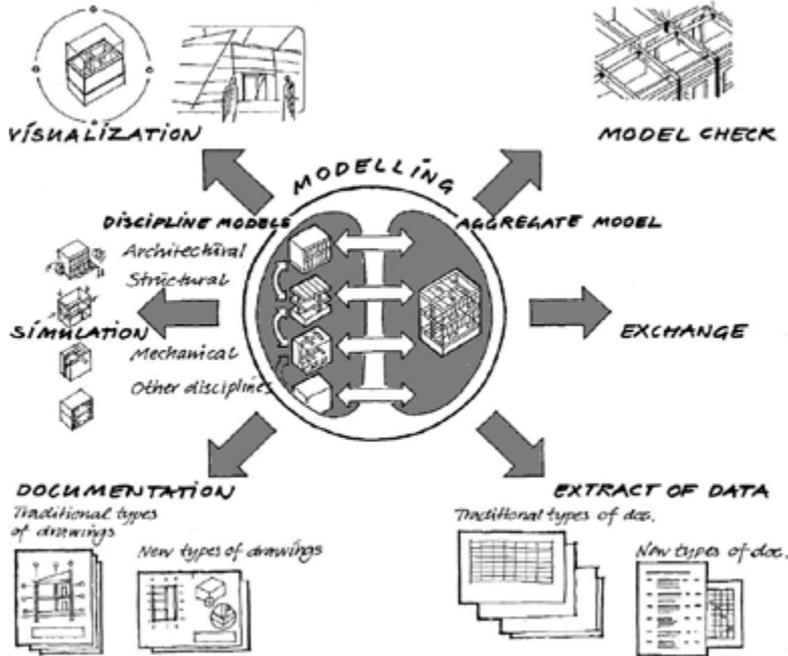
methodologies changing the human-computer interaction and richness of data supported in the process", fonte: [http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1\\_p1.pdf](http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf)

Il NBIMS-US Project Committee (National Building Information Model Standard Project Committee) descrive il BIM come: "a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition. A basic premise of BIM is collaboration by different stakeholders at different phases of the life cycle of a facility to insert, extract, update or modify information in the BIM to support and reflect the roles of that stakeholder", fonte: <http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/nbims/faq/#faq1>

<sup>44</sup> La possibilità di raffigurare composizioni di semplici forme primitive, esclusivamente per il controllo visivo, è stata concepita a partire dalla fine degli anni '60. Da allora, la capacità di creare e modificare solidi 3D è sviluppata distintamente da tre gruppi: dalla Cambridge University con Ian Braid, dalla Stanford con Bruce Baumgart e dall'Università di Rochester con Ari Requicha e Herb Voelcker. Fondamentale menzionare il passo in avanti compiuto fra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 con lo sviluppo dei sistemi CAD. Le industrie aerospaziali e manifatturiere, a differenza della maggior parte dell'industria delle costruzioni che utilizzò il software di disegno AutoCAD in modalità 2D, immediatamente individuarono le potenzialità del CAD e i benefici in termini di capacità di analisi e di riduzione degli errori, dedicandosi con le compagnie dei software all'implementazione di questi sistemi. Alla fine degli anni '80 la modellazione parametrica inizia ad essere sviluppata principalmente per il progetto degli impianti meccanici ma innovazioni significative iniziano ad essere avviate anche nel processo progettuale. Contrariamente dal tradizionale CAD 3D in cui tutto deve essere modificato, il modellatore parametrico consente di gestire in modo interattivo la forma e l'insieme delle componenti geometriche consentendo di operare modifiche in modo coordinato. Nel 1986 Graphisoft introdusse ArchiCAD il primo Virtual Building Solution un software rivoluzionario che consentiva di creare rappresentazioni virtuali tridimensionali del proprio progetto invece del tradizionale disegno bidimensionale. Nell'ultimo ventennio numerosi sono stati i progressi nel settore della progettazione parametrica e molte avanzate funzioni di modellazione BIM sono al momento disponibili con software sviluppati da differenti aziende.

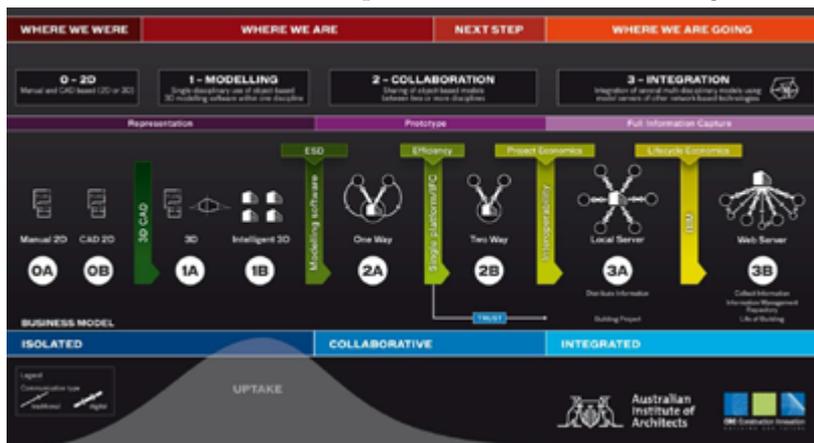
<sup>45</sup> Cfr. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook. A guide to Building Information Modelling for owners, managers, designers, engineers and contractor, John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.

automatiche e senza errori in tutti i disegni e gli archivi del progetto<sup>46</sup>.



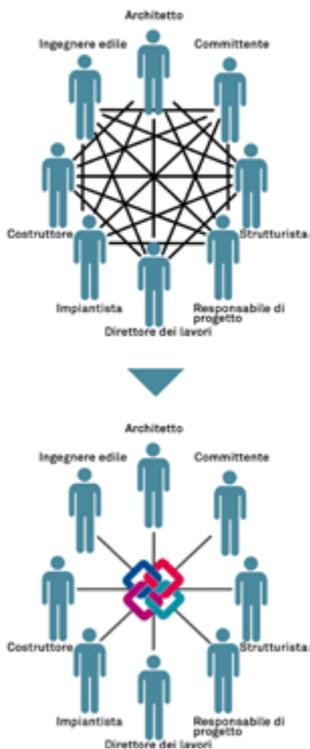
72. Schema del processo progettuale basato su un modello integrato, 3D object-based model.

Il processo di prototipazione digitale in architettura richiede che le informazioni connesse allo sviluppo progettuale siano di tipo rappresentativo, il modo in cui si presenta un edificio, il metodo con cui è stato costruito e la maniera in cui funziona, può essere “raccontata” all’interno di questo modello integrato. La modellazione informativa degli edifici, così come descritta dal professor Chuck Eastman nel suo celebre libro BIM Handbook, diviene così l’elemento di integrazione delle diverse componenti, documento unico in grado di contenere tutti i tipi di informazioni relative al progetto e destinato a sostituire il suo antenato CAD quale strumento di elaborazione grafica.



73. Schema in cui è rappresentata l’evoluzione dal CAD al BIM e le future prospettive di integrazione e collaborazione.

46 Cfr. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, op. cit.



**74.** Schema in cui si mostra la differenza tra un approccio tradizionale di tipo CAD (primo) e uno di tipo BIM (secondo).

La differenza tra un approccio CAD tradizionale, in cui ogni documento è gestito separatamente, e l'idea del BIM, in cui l'intera documentazione di progetto fa riferimento ad un singolo archivio unificato, definito intelligente poiché in grado di stabilire relazioni tra tutti i componenti del progetto, è contrassegnata dalla metodologia operativa che, se sviluppata correttamente, ottiene risvolti positivi sull'iter progettuale e costruttivo; la sola diminuzione delle modifiche consente di avere delle riduzioni in termini di tempistiche di lavoro fino al 30% rispetto ai metodi di progettazione tradizionali. È fondamentale però che il team di progetto che impiega il BIM, oltre a saper utilizzare tecniche digitali di organizzazione dell'informazione, sia consapevole dell'importanza di descrivere l'edificio non solo in termini di rappresentazioni grafiche, piuttosto come modello digitale quanto più possibile integro di tutti i componenti che lo costituiscono. La visualizzazione del progetto, la sua comprensione, la comunicazione e la collaborazione tra i partecipanti, si dovrebbero rapportare come vertici di un ideale tetraedro, come indicato dal professor Willem Kymmel in "Building information modeling - Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations".

Secondo lo studio di trentadue progetti emblematici realizzati applicando il BIM, condotto dallo Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE15), i principali benefici conseguiti sono stati così misurati:

- Precisione relativa alla stima dei costi entro il 3%;
- Riduzione dei tempi di progettazione fino al 7%;
- Attraverso il riconoscimento dei conflitti di progetto si è ottenuto un risparmio sul valore del contratto fino al 10%;
- Variazioni non previste ridotte fino al 40%;
- Tempo necessario per produrre un preventivo di spesa ridotto fino all'80%.

In progetti estremamente articolati come quello che ha riguardato l'estensione del Denver Art Museum progettato da Daniel Libeskind e inaugurato nel 2006, che presentava una configurazione geometrica assai complessa, ha riportato benefici tali da rendere ormai indispensabile la nuova applicazione. Infatti, l'integrazione dei sistemi meccanici e strutturali in un sistema tipo BIM è stato essenziale per riuscire a realizzare il progetto. La modellazione dell'esatta organizzazione spaziale degli elementi della struttura ha notevolmente ridotto gli errori e ha limitato le richieste di informazioni integrative. Inoltre, le singole parti sono state costruite come elementi non standard direttamente dal modello, eliminando interamente la necessità di ulteriori disegni 2D.

Il modello così concepito può essere continuamente ridefinito durante il processo di approfondimento e progressivamente incrementato di una enorme



**75.** Foto del Denver Art Museum progettato da Daniel Libeskind, Colorado 2006.

quantitativo di informazioni che fanno di esso un data-base tridimensionale integrato, in grado di gestire efficacemente tutte le informazioni utili del progetto.

Tale modello integrato, unico per definizione ed utilizzabile iterativamente da tutte le figure operanti in ogni fase del processo, riduce ai minimi termini la perdita di informazioni del dataset<sup>47</sup>; le successive modifiche di approfondimento progettuale, di servizi e di funzionalità, condizionano regressivamente a cascata le aree di informazione connesse, aggiornando in maniera efficace e senza ambiguità l'intera documentazione, oltre a costituire preziosi strumenti di indagine, valutazione e sviluppo progettuale, utilizzati per studiare soluzioni alternative, per simulare e ottimizzare.



**76.** Immagine da schermo di un progetto gestito con il software BIM Autodesk Revit.

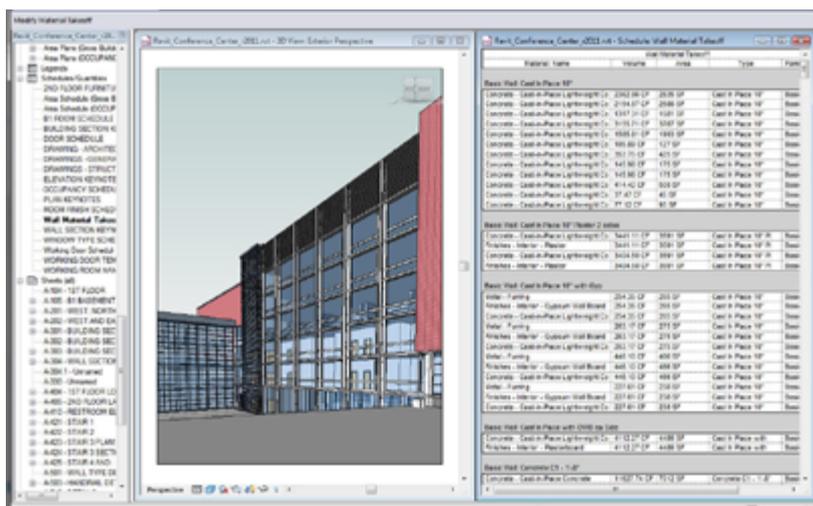
<sup>47</sup> Un dataset costituisce un insieme di dati strutturati in forma relazionale, cioè corrisponde al contenuto di una singola tabella di database, oppure ad una singola matrice di dati statistici, in cui ogni colonna della tabella rappresenta una particolare variabile, e ogni riga corrisponde ad un determinato membro del dataset in questione.

Queste tecnologie software possono essere in grado di organizzare e mantenere aggiornate rappresentazioni multidimensionali che possono riguardare l'intero life cycle del prodotto, come design/engineering, manufacturing, servizi e funzionalità, alle quali sono associati dati eterogenei fondamentali alla comunicazione, alla collaborazione e alla simulazione all'interno del processo progettuale. Le caratteristiche del sito, la quantità dei materiali utilizzabili con le relative proprietà e il confronto di alternative tecniche per la nuova costruzione e/o riqualificazione, la stima dei costi, il rendimento energetico, la qualità dell'illuminazione, sono solo alcuni tipi di informazioni, servizi e funzionalità che costituiscono preziosi strumenti di indagine e valutazione per lo sviluppo progettuale, disponibili e controllabili tramite gli applicativi BIM per studiare soluzioni alternative, per simulare e ottimizzare. La capacità di simulare, già peculiare dei modelli fisici, è decisamente enfatizzata in quelli digitali, grazie alla semplice ed immediata modificabilità. La simulazione è infatti definita come la capacità di manipolare un modello nella sua definizione di spazio e di tempo, al fine di permettere la rapida percezione delle interazioni non immediatamente evidenti.

I modelli simulati possono essere dotati di tutte le proprietà del reale e fornire possibili e molteplici visualizzazioni dell'oggetto finale, obiettivo fondamentale di tali modelli non è tanto quello di offrire una simulazione fotorealistica del reale, una prefigurazione formale, una simulazione strutturale o funzionale, quanto piuttosto quella di poter funzionare come veri e propri prototipi virtuali dotati di corrispondenza con il reale in tutti gli aspetti come quello comportamentale, prestazionale, geometrico e percettivo.

Dopo la realizzazione del manufatto, il BIM mantiene la sua utilità, continua a funzionare durante tutto il ciclo di vita dell'edificio come risorsa di conoscenza e di orientamento delle decisioni.

**77.** Immagine da schermo che mostra una serie di materiali utilizzati all'interno di un progetto gestito con il software BIM Autodesk Revit.



## 1.8 STRUMENTI ICT PER LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE

Come descritto precedentemente, a partire dagli anni '90 l'intero pianeta è organizzato intorno a reti telecomunicanti di calcolatori; oggi, la quasi totalità delle attività umane dipende dalla disposizione dei mezzi di informazione, le cui necessità accrescono in misura direttamente proporzionale al progressivo aumento delle innovazioni tecnologiche.

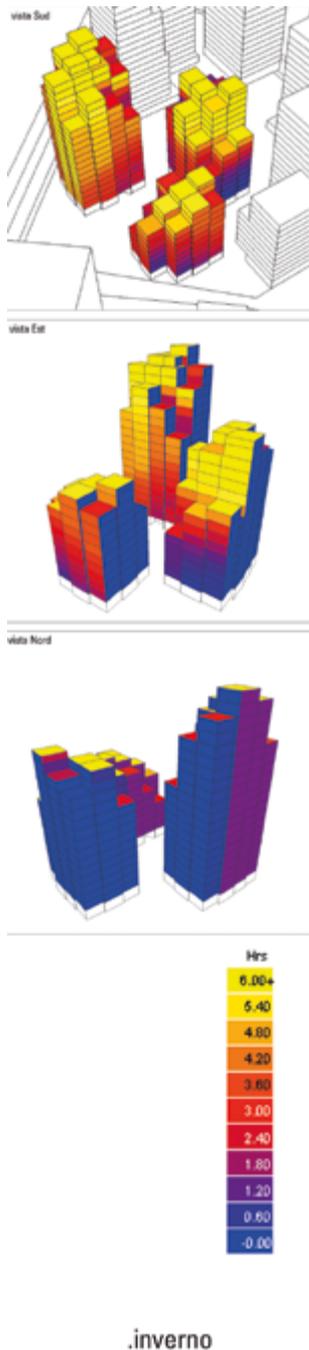
L'accessibilità ed il possibile utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione rappresentano, quindi, un prerequisito per lo sviluppo di una società, la possibilità dei paesi di modernizzare i loro sistemi di produzione ed incrementare la loro competitività tanto quanto mai in passato; l'equivalente dell'elettricità ai tempi dell'era industriale. Dal tipo di scelta che viene effettuata si può decidere il tipo di futuro, è ovvio che in tale ottica lo sviluppo dipende fortemente dalle capacità di accesso alla tecnologia, in particolare diviene motivo di dibattito il ruolo che lo Stato dovrebbe svolgere nel promuovere tale accesso<sup>48</sup>.

L'informatica ha rappresentato un cambiamento epocale che ha completamente rivoluzionando l'intera società in cui viviamo, è certamente uno dei temi più importanti per professionisti, imprenditori e ricercatori in tutti i campi. Per quello che concerne il settore disciplinare dell'architettura si è registrato un vero e proprio "salto" tecnologico che inevitabilmente ha e ancora di più avrà conseguenze nella costruzione e nella progettazione; è apparsa abbastanza presto chiara l'esigenza di una progettazione che dovesse essere compiuta mettendo in circolo nuove idee, nuove funzioni, nuove modalità economiche e anche naturalmente nuove estetiche. Sono nate e sempre più si sono affermate progettazioni "complesse", con l'obiettivo, quindi, che non si limita ad affrontare un semplice problema di appropriatezza ma che riguarda la capacità di controllare lo sviluppo del progetto nelle sue fasi formali iniziali.

---

<sup>48</sup> L'uso di internet, ad esempio, può fornire molteplici benefici, sia in ambito sociale che economico. Quindi l'accesso alla rete permetterebbe di accedere a moltissime banche dati e quindi informazioni. Ed è proprio in tale ottica che l'accesso alla ICT, ed in particolare alla rete, diviene motivo di dibattito.

78. Immagine che rappresenta l'analisi delle ore di sole incidenti sulle facciate di un edificio durante l'inverno, progetto dell'Architetto Mario Cucinella Architect.



Da qualche anno tra Architettura e Informatica si sta sviluppando un'area di intreccio che è stimolante indagare, una crescente concezione delle interconnessioni tra architettura e ambiente. Il raggiungimento di elevati livelli prestazionali e di condizioni di comfort interno e l'idea stessa di "sostenibilità", richiede specifiche analisi reiterate di soluzioni tecniche alternative durante il processo progettuale che necessitano di un ruolo sempre più attivo dell'informatica e di una progettazione sempre più gestita da parametri scientifici: un'architettura che assuma su di sé alcune componenti di un vero e proprio sistema "bio", un'architettura ergonomica all'uomo, a zero consumo di energia da fonte fossile (NZEB). Ai temi più noti, quindi, si affiancano tutta una serie di nuove tecnologie e opportunità che possono incidere in modo determinante sulla creazione di nuovi prodotti e servizi; molteplici software specifici ICT<sup>49</sup>, per definirli con l'acronimo inglese Information and Communications Technology, costituiscono indubbiamente una delle chiavi innovative dell'ultimo secolo, nuovo paradigma tecnologico<sup>50</sup> per tutti gli usi che nel caso specifico consentono di simulare e comprendere il complesso comportamento energetico degli edifici al fine di indirizzare i progettisti verso scelte progettuali più consapevoli.

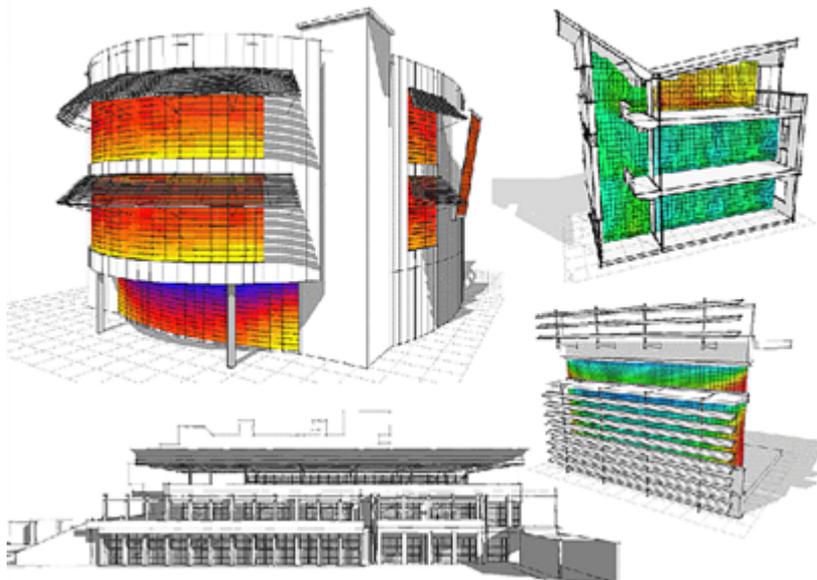
Si tratta di tecnologie complesse e innovative, che devono essere conosciute, sviluppate e plasmate per ottenere i possibili vantaggi attesi. La disponibilità di conoscenze strutturate è ancora limitata e parziale, legata all'oggettiva instabilità dei prodotti di base e intermedi la cui evoluzione pone, come già detto, esigenze di aggiornamenti non facili da soddisfare, aumentando incertezze e rischi di errore. Una nuova frontiera della ricerca, questa, che tuttavia, unita alla conseguente complessità operativa di cui è latrice, sembra paradossalmente configurarsi come una delle cause dell'attuale crisi del progetto di architettura a cui sempre più spesso si fa riferimento con crescente preoccupazione<sup>51</sup>.

Sicuramente gli ICT non sono la causa dei cambiamenti che stiamo vivendo ma uno strumento senza il quale niente di ciò che sta cambiando le nostre vite sarebbe possibile, negli ultimi anni hanno acquisito sempre più rilevanza strategica, come strumenti atti a produrre informazioni, nuova conoscenza e nuovi contenuti, contribuendo ad eliminare le barriere alla circolazione delle

49 La ICT (Information and Communication Technology), che ha finito con il legare sempre più la componente Information Technology (IT) con quella relativa alla Communication Technology (CT), è l'insieme delle tecnologie che consentono di comunicare ed elaborare informazioni attraverso mezzi digitali, sono tutti ambiti di sviluppo e di innovazione che caratterizzano, tra i tanti, i campi di applicazione del settore delle costruzioni.

50 Un paradigma tecnologico se non sostenibile può creare molti problemi che, tra l'altro, potrebbero ritornarci indietro in modo amplificato, come ad esempio i problemi ambientali.

51 Cfr. Cesare De Seta, L'architettura della modernità tra crisi e rinascite, Bollati Boringhieri, Torino, I, 2002.



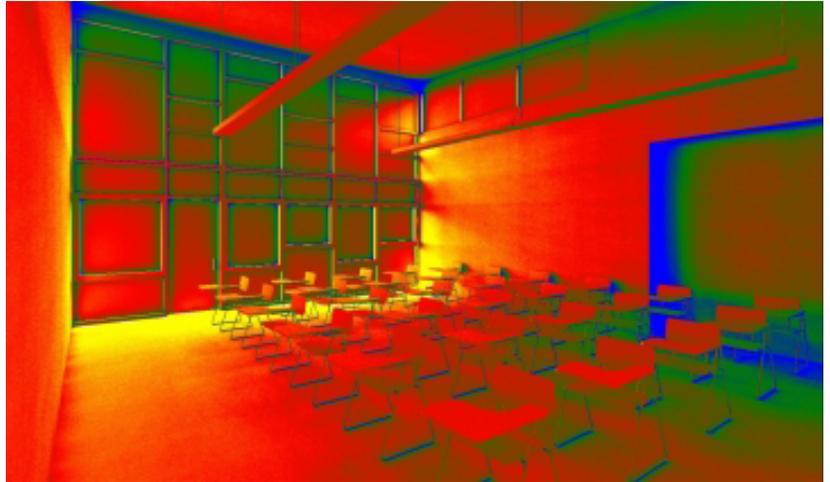
**79.** Immagine che rappresenta l'analisi del controllo della radiazione solare mediante delle schermature, Autodesk Ecotect.

idee, aprendo la strada ad imprevedibili scenari difficilmente gestibili. Le potenzialità attualmente offerte dagli strumenti ICT, dovute alla crescente innovazione tecnologica di tipo software, negli interventi progettuali hanno determinato lo sviluppo di sempre più efficaci strumenti di simulazione e controllo che consentono di analizzare e controllare, in maniera dettagliata, le prestazioni offerte da un manufatto edilizio come difficilmente è stato possibile in passato. L'attuale strumentazione informatica con le sue applicazioni per la gestione dei processi progettuali e dei modelli digitali consentono di definire le nuove tematiche di innovazione e sviluppo architettonico. Al momento, non esiste un unico strumento in grado di fornire un'analisi completa dell'edificio ma differenti software le cui prospettive sono di divenire un insieme di strumenti per un unico BIM che offra la possibilità di un controllo globale del manufatto architettonico.

Attualmente quindi, i vari strumenti ICT possono essere in grado di simulare la realtà con differenti livelli di precisione, ciononostante, è l'uso appropriato degli stessi che determina il grado con cui contribuiscono alla progettazione efficiente dell'edificio. A tal proposito, anche se destinati ad utenze sempre più ampie grazie a nuovi approcci di tipo user friendly che hanno concesso la possibilità di gestire tutta una serie di procedure che prima richiedevano conoscenze estremamente dettagliate, è fondamentale, prima dell'utilizzo, una consapevolezza teorica di progettazione ambientale e una buona conoscenza delle innovazioni tecnologiche software per scegliere gli strumenti appropriati alle varie esigenze e per utilizzare ogni applicazione con la consapevolezza dei limiti e delle capacità, nonché per la corretta elaborazione degli output generati che diverranno successivamente input

utili alle soluzioni progettuali; non a caso, l'utilizzo di strumenti ICT da parte di utenti inesperti può generare scelte poco appropriate soprattutto in fasi decisionali che riguardano la simulazione del comportamento energetico degli edifici, riguardanti prestazioni termiche, soleggiamento, ventilazione naturale, comfort, e così via.

**80.** Immagine che rappresenta l'analisi dell'illuminazione naturale presente all'interno di un'aula studio, Autodesk Radiance.



Correttamente eseguiti, i suindicati strumenti sono in grado di fornire molteplici opportunità di verifica all'interno di uno "spazio simulato" che consente di prevedere gli esiti della progettazione con precisione e affidabilità che contribuiscono a ridurre al minimo errori e possibili variazioni in fase esecutiva, come per il BIM ma, in questo caso, il modello permette solo il controllo del caso specifico di analisi<sup>52</sup>.

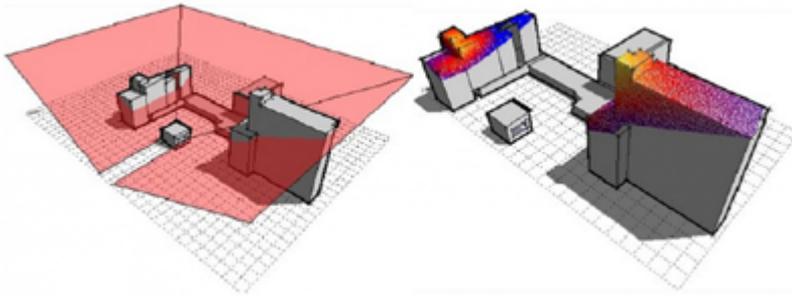
Il modello digitale dell'edificio è dotato di perfetta analogia prestazionale e comportamentale con l'edificio da realizzare, se il progetto riguarda un intervento ex-novo, o con l'edificio esistente, se l'operazione prevista interessa una riqualificazione, tale affinità consente di anticipare la verifica di quello che sarà la rispondenza dell'edificio, prima dell'intervento materiale di costruzione, ovvero, come sostenuto dal professor Ezio Arlati, di "verificare a priori, cioè prima della costruzione materiale, i tratti essenziali della capacità di funzionare degli interventi secondo i requisiti di qualità attesi, attraverso la simulazione dei principali componenti e sistemi assemblati nell'oggetto architettonico, ma soprattutto della loro integrazione nell'insieme organico e armonico che formano gli edifici".

L'esplicita comunicatività di questi dettagliati prototipi virtuali è lo strumento chiave per la fedele realizzazione delle previsioni progettuali. Infine, è da

---

<sup>52</sup> I dati di analisi di cui si fa menzione, al momento, sono ottenuti solo per mezzo di pochi software di tipo BIM che implementano indagini di tipo energetico. L'attuale obiettivo di alcune importanti case di sviluppo software è quello di implementare tutti gli strumenti utili ad un'analisi globale all'interno di un unico BIM, come descritto nel paragrafo successivo.

sottolineare che il grado di precisione dei dati del software è dovuto al tipo di algoritmo utilizzato, riguardo a quest'aspetto possiamo identificare strumenti di analisi in regime stazionario e in regime dinamico. Gli strumenti in regime stazionario utilizzano dati climatici aggregati, consentendo di indagare le prestazioni di un edificio in maniera parziale, trascurano le variazioni periodiche di temperatura e l'apporto fornito dalla radiazione solare. Questi software permettono controlli globali e/o controlli specifici. I primi, che solitamente garantiscono anche controlli specifici, consentono di analizzare il modo in cui l'involucro e/o i componenti progettati rispondono alle sollecitazioni ambientali esterne ed interne all'edificio, sono basati su codici di simulazione dettagliati che, mediante procedure di calcolo, descrivono approssimativamente tutti i sintomatici fenomeni termodinamici e di trasferimento del calore. Gli strumenti in regime dinamico impegnano algoritmi molto complessi generando analisi complete più realistiche e quindi dati più affidabili.



**81.** Immagine dell'analisi dell'illuminazione naturale e delle ombre recate dalle ostruzioni, Autodesk Ecotect.

## 1.9 PROSPETTIVE E SVILUPPI DEL BIM E DEGLI STRUMENTI ICT

Come si vedrà in seguito, il mondo sta vivendo dei mutamenti epocali che progressivamente incidono sui nostri comportamenti. Questi profondi cambiamenti richiedono un nuovo modello di sviluppo responsabile e sostenibile, in grado di coniugare crescita, competitività, occupazione e qualità della vita. È indispensabile, oggi più di ieri, un approccio integrato e trasversale nell'ambito della programmazione del progetto e della sua produzione, seguito dal filo conduttore dell'innovazione.

Innovazione che diviene prospettiva strategica e sistematica dell'agire progettuale.

Secondo le nuove prospettive di sviluppo nel settore delle costruzioni, nel funzionamento di un edificio è fondamentale il ruolo dell'energia ambientale per l'illuminazione naturale, il recupero di calore, la ventilazione, il raffrescamento, e, grazie al fotovoltaico, anche per la produzione di energia elettrica. In questa pluralità e simultaneità di funzioni, possono spesso presentarsi situazioni nelle quali i diversi impieghi entrino in contrasto tra loro: a seconda della stagione, del momento della giornata o delle semplici condizioni metereologiche, ma anche a seconda del modo, del tempo e della durata d'uso, possono verificarsi diverse esigenze che, in relazione a ciascuna di queste funzioni all'interno del singolo edificio, richiedono previsioni progettuali poco immediate.

La complessità riguardo tali funzioni esige che gli edifici siano "intelligenti", cioè dotati di sistemi in grado di reagire in conformità al mutamento di situazioni e condizioni. Allo scopo di formulare corretti modelli di intervento è indispensabile operare in piena consapevolezza: i fenomeni vanno compresi in tutte le loro implicazioni per poter trovare le corrette modalità di intervento. Questa consapevolezza richiede ai progettisti di pensare in termini concreti, acquisendo come realtà operativa l'utilizzo dei supporti informatici e delle loro possibili simulazioni in svariati ambiti in modo da procedere verso un futuro sostenibile attraverso un'edilizia sostenibile per il nostro futuro.

*“Lo sviluppo sostenibile delle aree urbane è una sfida di fondamentale importanza e richiede tecnologie e servizi nuovi, efficienti e di facile*

*utilizzo, in particolare nei settori dell'energia, dei trasporti e delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT)*<sup>253</sup>.

È necessario infatti, nel settore delle costruzioni, uno spostamento del baricentro degli interessi di tutti i protagonisti verso un approccio alla progettazione di tipo soft, basato sull'informazione, la comunicazione e l'organizzazione, recuperando la centralità del progetto come catalizzatore di apporti diversificati e sempre più complessi.

Un richiesta, questa, di grande modernizzazione che, anche a livello internazionale, è tra gli obiettivi più significativi, interessando enti di ricerca e di normazione.

Negli ultimi anni, talune interessanti ricerche sono orientate alla produzione di metodi informatizzati di controllo precoce delle prestazioni, come quelle ambientali, che permettono di valutare un progetto già a livello di configurazione concettuale e di schema.

A scala internazionale, definire un linguaggio comune delineato da protocolli efficaci e standard condivisi per il corretto scambio di dati è una questione chiave per aprire la strada ad un'effettiva interoperabilità nel settore delle costruzioni. Queste avanzate ricerche a livello internazionale si concentrano anche nel descrivere il tipo di informazione che i diversi attori del processo devono generare e il modo in cui queste debbano essere trasferite in modo efficace all'interno dei team, senza perdita di dati e senza errori, durante tutto il ciclo di vita di un manufatto edilizio.

Vari progetti sperimentali di ricerca stanno ponendo le basi per una concreta adozione del BIM come unico strumento di elaborazione e interscambio dati nel settore AEC.

Tra i leader nella R&S su questo tema a livello internazionale si trovano paesi quali gli Stati Uniti, il Canada, l'Australia, la Repubblica di Singapore, la Finlandia, la Norvegia, la Danimarca, la Svezia e il Regno Unito. Di particolare rilevanza il BIM Project Execution Planning Guide del 2010 e il BIM Planning Guide for Facility Owners del 2013 nei quali l'uso adeguato del BIM viene definito in modo dettagliato a seconda delle specifiche del progetto e degli obiettivi e delle competenze del team.

Riflettendo le direzioni di ricerca internazionali, le relazioni complesse fra ricerca, progetto e produzione dovrebbero essere affrontate con l'ausilio di tecnologie informatiche in un progetto collaborativo, contrariamente, l'Italia è ancora distante dall'adozione del BIM in maniera diffusa e condivisa. L'attuale modello di lavoro è prevalentemente basato su metodi tradizionali in cui lo scambio di dati e informazioni avviene per lo più attraverso documenti cartacei. È evidente la mancanza di un retroterra culturale indispensabile

---

53 Cfr. Incentivi europei con Horizon 2020: Info Day sul Work programme 2016-2017 Smart Cities&Communities, <http://www.horizon2020news.it/horizon-2020-52>.

per innescare un reale cambiamento fondato su modalità di svolgimento concretamente integrate e condivise.

Il Bel paese offre l'occasione di un immenso patrimonio edilizio che necessita di ingenti riqualificazioni, ciò dovrebbe essere colto come un'opportunità da cogliere per sfruttare la portata innovativa di tali tecnologie, inducendo a prendere in considerazione i nuovi concetti di sostenibilità, ricorrendo all'uso della rete per ottimizzare la massa critica e introducendo nuovi paradigmi di produzione ed organizzazione.

Inversamente, molto deve essere ancora fatto a livello nazionale ad eccezione di sporadiche iniziative di adeguamento al cambiamento, il quadro attuale mostra un Paese che rischia di essere tra gli ultimi di questa necessaria evoluzione della cultura tecnica, metodologica e operativa.

È ormai evidente che la competitività non può più essere una caratteristica individuale ma propria di un sistema, bisogna prendere coscienza che più si collabora e si è solidali più si è competitivi. Le nuove tecnologie, come abbiamo visto, azzerando le distanze ed accelerando in modo esponenziale i tempi, consentono agli attori, grandi e piccoli, pubblici e privati, d'interagire tra loro in tempo reale ovunque si trovino nel mondo. Le tecnologie ICT contribuiscono ad eliminare le barriere alla circolazione delle idee, aprendo la strada ad imprevedibili scenari difficilmente gestibili in passato.

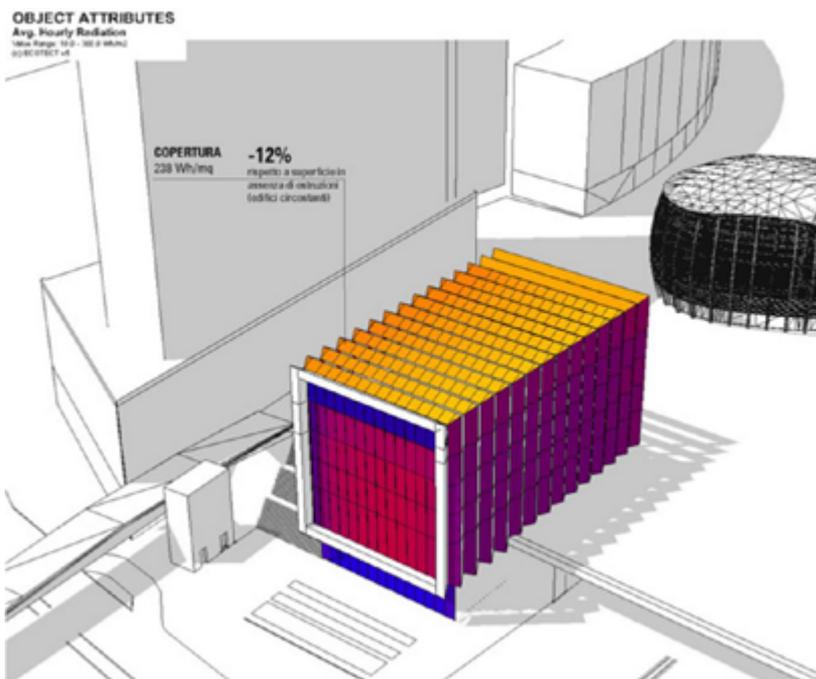
*“Un approccio fondamentale delle tecnologie contemporanee di progettazione assistita da computer per l'Architettura è la questione dell'integrazione per il maggior numero possibile dei settori della conoscenza specializzata, dedicata a sviluppare le caratteristiche che concorrono a configurare un progetto architettonico completo e organico. [...] rappresentare e controllare il sistema di rapporti governando la qualità della soluzione architettonica|...|”<sup>54</sup>.*

Indispensabile è valutare globalmente e olisticamente ogni azione, prendere in considerazione i nuovi concetti di sostenibilità, ricorrere all'uso della rete per ottimizzare la massa critica e introdurre nuovi paradigmi di produzione ed organizzazione, diversamente si corre il rischio di non ottenere nessun risultato sulla riduzione delle emissioni: un edificio isolato termicamente, costruito con materiali non eco-compatibili, avrà certamente una caldaia che emette meno ma rischia che il suo futuro smaltimento richieda più energia di quanto se ne sia risparmiata in fase di gestione.

Infatti, azioni tese alla riduzione dei consumi energetici puntuali non sono necessariamente in sintonia con la riduzione dei consumi e delle influenze ambientali complessive, in sintesi, un edificio dotato di certificazione

---

54 Cfr. Ezio Arlati, Bazjanac V., “The architectural heritage's representation by models: the contribution of design technologies from interoperability to simulation”, Conferenza Internazionale “Online Repositories in Architecture”, Venezia, Teatro Piccolo, Corderie dell'Arsenale, 20 -21 Settembre 2008.



82. Immagine di un'analisi della radiazione solare incidente sull'involucro dell'edificio COIMA Headquarters progettato da Mario Cucinella Architect.

energetica potrebbe non essere compatibile dal punto di vista della sostenibilità ambientale.

Le tecnologie e gli strumenti di informazione e comunicazione, l'utilizzo sempre più ampio di modelli e strumenti di simulazione, che si basano su reti di rilevamento e integrazione di informazioni disseminate sul territorio, elaborate attraverso piattaforme informatiche, costituiscono il presupposto per una città intelligente. Tali città, ambientalmente congruenti, non ostili, sono l'obiettivo dei prossimi anni di interventi.

In tale visione, il tema della cooperazione tra i soggetti della filiera per costituire uno scenario di interessante è al contempo urgente, non soltanto per superare le crisi, ma soprattutto per generare nuovi livelli di qualità architettonica in grado di offrire risposte adeguate ai bisogni concreti che attendono di essere soddisfatti. Si richiede una cooperazione sempre più simultanea, l'elaborazione sequenziale viene sostituita dal confronto in tempo reale tra diverse competenze. Si delinea una nuova cultura del progettare e del costruire che ha come punto di forza ciò che nella ricerca sociologica e antropologica è stata recentemente definita come "intelligenza collettiva"<sup>55</sup>.

In questa prospettiva cambia soprattutto l'orizzonte strumentale di riferimento: l'interoperabilità tecnico-gestionale e l'information and communication

55 Cfr. P. Lévy, *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del Cyberspazio*, Feltrinelli, Milano, IT 1996.

*L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, Éditions La Découverte, Paris).

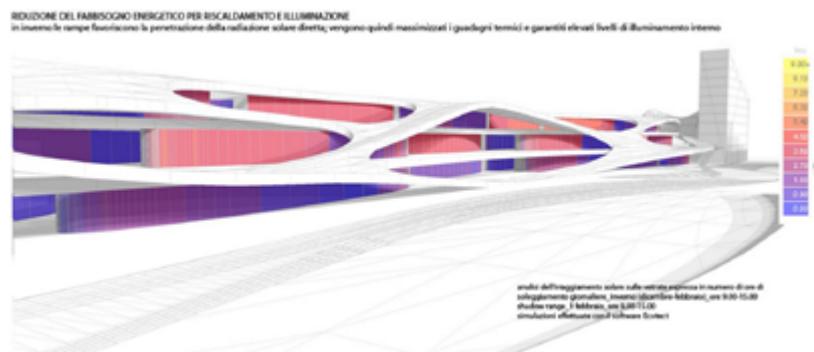
technology applicate al progetto e alla costruzione costituiscono l'unica possibilità per attivare concretamente questa intelligenza collettiva.

Le esperienze del “building information modeling” sono orientate verso questo obiettivo.

La sfida futura potrebbe essere quella dell'integrazione fra il BIM, l'ICT e l'Integrated Project Delivery (IPD). L'IPD è un innovativo approccio al processo progettuale che integra già dalle prime fasi della progettazione le competenze collettive dei soggetti interessati allo sviluppo del progetto, aumentando incisivamente le probabilità della buona riuscita del progetto. La possibilità di comprendere progressivamente, durante la modellazione del progetto, le sue principali istanze qualitative ed economiche, permette di assumere le fasi di progettazione come operazioni strategiche, gestite per priorità logiche e temporali in funzione dell'interoperabilità con le fasi successive.

Questo approccio sembra più oneroso in termini di tempo in quanto anticipa la risoluzione di parte delle problematiche solitamente gestite nelle fasi più avanzate della progettazione ma viceversa consente di velocizzare notevolmente tutte le procedure, dall'ideazione alla costruzione fino alla gestione del manufatto<sup>56</sup>.

**82.** Immagine di un'analisi delle ore di illuminazione invernali sull'involucro dell'edificio del quartiere di San Berilio progettato da Mario Cucinella Architect.



56 Il BIM è stato recentemente (febbraio 2013) al centro della presentazione del XX rapporto congiunturale e previsionale “Il Mercato Delle Costruzioni 2012-2016” pubblicato dal Cresme (Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio). Nel documento, “La rivoluzione BIM” questi strumenti vengono presentati come la soluzione per poter abbattere i costi nella filiera con stime sino al 30% di riduzione rispetto ai tradizionali processi di lavoro.



## **2 LE NUOVE VARIABILI DELL'ARCHITETTURA: SOSTENIBILITÀ E CAMBIAMENTO CLIMATICO**



*“All’abitare, così sembra, perveniamo solo attraverso il costruire. Quest’ultimo, il costruire, ha quello, cioè l’abitare, come suo fine”.*

*Martin Heidegger  
(Saggi e discorsi, Costruire Abitare Pensare)*

Da qualche decennio si è accertato che se da un lato il processo scientifico ha fornito una serie di supporti tecnologici, impensabili fino a poco prima del secolo scorso, che offrono una rispondente serie di vantaggi e comodità, parallelamente ha condizionato del tutto l’ambiente nel quale l’uomo ha vissuto per millenni, provocando enormi squilibri di ordine ecologico e antropologico che hanno condotto ad una indiscutibile frattura tra l’evoluzione data dal progresso e la capacità di assimilazione dell’ambiente. Siamo ormai figli della cultura delle grandi trasformazioni industriali che ha generato da una parte il miglioramento della qualità della vita, della tecnologia e dello sviluppo per alcuni ma che, dopo diversi anni, ha presentato per tutti il conto ambientale e sociale con conseguenze planetarie in termini di sopravvivenza. È fondamentale capire dove siamo e cosa sta accadendo, l’architettura ha un posto rilevante nel dibattito ambientale, essa è rappresentazione della cultura, della politica e delle ambizioni di un tempo: questo è il periodo in cui il settore edilizio consuma una tale quantità di energia che, come progettisti, bisognerebbe provarne una certa vergogna.

Da sempre l’uomo è intervenuto sull’ambiente cercando di adattare la natura alle proprie esigenze. Questa trasformazione, definita antropizzazione (dal greco *ánthrōpos* = uomo), ha portato, con il passare dei secoli, ad inevitabili alterazioni che in certi casi sono sfociate nel depauperamento delle risorse, degrado ambientale e allarmanti stadi di inquinamento.

Innumerevoli reperti archeologici sembrano suggerire che l’uomo possa sopravvivere, senza assistenza, praticamente in tutte quelle parti della terra che sono adesso disabitate, eccezion fatta per le aree estreme (gelide e aride). Con il progredire, non accontentandosi di sopravvivere, l’uomo ha ricercato, in misura sempre maggiore, benessere e comodità; questa esplorazione ha portato, alla fine del XIX secolo ad un’architettura identitaria dotata di forte

**83.** Nella pagina accanto, foto della città di Hong Kong appartenente alla serie *Architectura de densidad* 2009, di Michael Wolf ©Prix Pictet.



**84.** Tipico contesto architettonico mediterraneo.



**85.** Tipica architettura austriaca.



**86.** Tipica architettura cinese.



**86.** Tipico esempio di architettura internazionale con l'aggiunta di protesi ambientali (condizionatori).

riconoscibilità, aveva infatti ancora senso parlare di “architettura cinese”, “architettura mediterranea”, “architettura austriaca” in quanto l’architettura era strettamente connessa al sito, al clima, ai materiali da costruzione locali e al sole. A tal proposito in *De Architectura*, Vitruvio scriveva:

“Lo stile degli edifici dovrebbe essere manifestamente diverso in Egitto e in Spagna, nel Ponto e a Roma e nei paesi e nelle regioni di diversa natura. Perché in una parte la terra è oppressa dal sole, in un’altra parte la terra è troppo lontana da esso, in un’altra ancora è ad una distanza moderata”<sup>57</sup>.

Agli albori del secolo scorso, con l’avvento del carbon fossile e grazie alle potenzialità innovative del calcestruzzo, spinti probabilmente da una prima ondata di globalizzazione, si è pubblicizzata un’architettura moderna priva di tutti quei richiami alle forme storiche e tradizionali, con l’intento di rendere unico il linguaggio internazionale, si è coniata l’espressione *International style*.

L’internazionalizzazione dei sistemi costruttivi, indifferente al contesto, ha generato la diffusione di modelli non adeguati al clima e alle condizioni locali, tanto da convertire il costruito in un problema energetico planetario piuttosto che in opportunità.

Per troppo tempo si è creduto all’illusione della tecnologia, tutto controllabile artificialmente, luce e aria condizionata, enormi vetrate indifferenti al clima ma perfettamente prodotti dall’industria, all’illusione che il problema climatico avrebbe trovato risoluzione se analizzato come somma di due parti e non come organismo unitario, un sistema costruttivo unico e indifferente a cui associare le protesi ambientali, il condizionamento ovunque e comunque. Un minimo guasto di queste apparecchiature o un’interruzione della corrente elettrica possono rendere inabitabili questi edifici. Si è determinata in misura sempre maggiore una frattura tra i supporti ambientali, in continuo sviluppo e sempre più vicini a determinare le condizioni di un finto benessere, e i



**87-88.** Esempio di architettura internazionale, foto scattate ad Hong Kong da Michael Wolf ©Prix Pictet.

57 Cfr. Marcus Vitruvius Pollio, *De Architectura*, libro VI, capitolo I, ca. 29-23 a.C.

modi di concepire l'edificio, privi di un'impostazione originale. Per ottenere condizioni confortevoli, si è fatto affidamento sul controllo meccanico dell'ambiente interno piuttosto che sullo sfruttamento dei fattori climatici e degli altri processi naturali.

La conseguenza è stata la volgarizzazione dei modelli edilizi, in tutto il paese si può vedere sostanzialmente il medesimo tipo di edificio, che ha portato non solo ad una afasia architettonica, con il derivante appiattimento del paesaggio urbano e una indifferenza ai diversi bisogni, ma ha generato un problema di consumi spesso inconciliabili con le microeconomie, provocando inoltre livelli di inquinamento incompatibili con la vita delle persone.

Nell'attuale fase di stallo evolutivo, siamo ancora convinti dell'illusione di poter costruire straordinarie città con edifici fuori dal comune, che sfidano le leggi di gravità o peggio la comune volgarità, estranei al rapporto con la città e dove la relazione con l'uomo, con la tecnologia e con l'ambiente è secondaria, se non addirittura insignificante.

In questo contesto si inserisce in maniera del tutto accessoria la sostenibilità. C'è un evidente scollamento tra proposito e realtà quando si parla di sostenibilità; si evita qualunque definizione lasciando al buon senso il significato della parola.

Il paradosso è quello di approcciarsi alla sostenibilità il più delle volte secondo valenze estetico-formali non occupandosi della qualità dei rapporti umani e ambientali; bisognerebbe tenere a freno e controllare una stravaganza che non è creatività e che impone luoghi insignificanti dalle scenografie sorde.

L'attuale visione è ancora troppo legata alla performance tecnologica degli edifici che, nell'ipotesi migliore, porta ad una riduzione dei consumi, ma pur sempre consumi; si ricorda che l'energia è un tema invisibile, nessuno la vede ed è quindi facile dichiarare qualunque cosa, e questo è l'aspetto peggiore.

Dentro questa logica perversa non c'è spazio per un vero cambiamento. Cambiare ora vuol dire rivedere alcuni aspetti fondamentali del rapporto



**89-90-91-92.** Progetto residenziale The Interlace di OMA Architecture, tipico esempio di Architettura contemporanea in cui la relazione con l'ambiente è del tutto secondaria.

con la tecnologia e i contesti, “rimodellando paesaggi” in cui l’architettura riacquisisce la sua vera identità, divenendo la soluzione al problema energetico e sociale.

Dovremmo immaginare edifici a bassa tecnologia impiantistica (net zero energy buildings) per far lavorare di più la forma e i materiali, allacciando una profonda relazione con il clima e con il luogo.

Finché non ci liberiamo dell’eredità del secolo scorso e delle abitudini ormai fin troppo consolidate, sarà sempre più difficile esprimere attraverso l’architettura una nuova società, un nuovo modo di avere cura del capitale naturale e del capitale sociale.

La sfida è tutta qui e, contrariamente a quanti considerano la sostenibilità qualcosa di accessorio o una moda, è fondamentale credere in un impegno quotidiano che aiuti a migliorare il nostro lavoro, costruendo edifici più sani dentro e fuori, magari non perfetti, ma che segnino l’inizio di una nuova era. È arrivato il momento di decidere se investire nel sogno di risiedere in città più vivibili, lasciando dietro di noi il mondo delle illusioni, sperando di non aver dimenticato del tutto il corretto modo di abitare e che non sia troppo tardi.

## 2.1 RIFLESSIONI SULLA QUESTIONE AMBIENTALE

*“Perdere il mio futuro non è come perdere un’elezione o alcuni punti sul mercato azionario. Sono qui a parlare a nome delle generazioni future. Sono qui a parlare a nome dei bambini che stanno morendo di fame in tutto il pianeta e le cui grida rimangono inascoltate. Sono qui a parlare per conto del numero infinito di animali che stanno morendo nel pianeta, perché non hanno più alcun posto dove andare. Ho paura di andare fuori al sole perché ci sono i buchi nell’ozono, ho paura di respirare l’aria perché non so quali sostanze chimiche contiene. [...] Voi continuate a dire che ci amate, ma io vi lanciao una sfida: per favore, fate che le vostre azioni riflettano le vostre parole”.*

*Severn Suzuki  
(Earth Summit, Rio de Janeiro)*

Sono trascorsi più di vent’anni dalla Conferenza mondiale sull’ambiente tenuta a Rio de Janeiro nel giugno del 1992, nella quale l’allora dodicenne Severn, con il suo discorso, fece ammutolire per sei minuti l’intero uditorio. Qualche anno prima, a partire dalla fine degli anni ’80, si era già diffusa la consapevolezza che i problemi ambientali sono globali nella scala, penetranti nei loro effetti e soprattutto generatori di conseguenze di rilievo in capo alle generazioni future. Gli esperti, allarmati, iniziarono ad allertare sugli effetti irreversibili di quattro macro-fenomeni in atto:

- Il rapido aumento della popolazione;
- Lo spreco di materie prime e di fonti di energia fossile;
- La produzione di una insostenibile quantità di rifiuti;
- Il degrado dell’aria, dell’acqua e del suolo.

Il “Summit della Terra” di Rio fu un pretesto per sensibilizzare l’opinione pubblica sulle conseguenze di tali problemi, quindi pose l’accento sul saccheggio delle materie prime, sull’aumento inquietante dell’effetto serra e sul degrado tanto rapido quanto vistoso degli equilibri economici<sup>58</sup>.

58 Oggi il 20% della popolazione mondiale consuma l’80% delle risorse naturali. Un



93. Foto scattata a Severn Suzuki in occasione dell’Earth Summit di Rio.



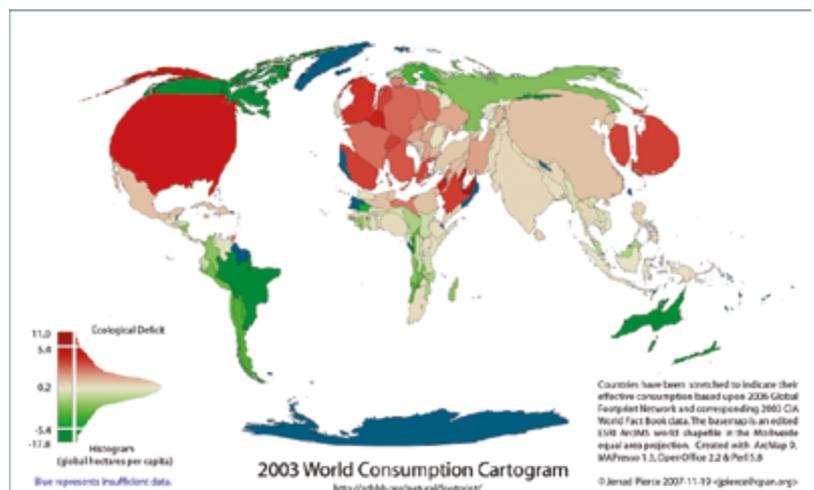
94. Un albatro morto mostra tristemente cosa succede a gettare i rifiuti irresponsabilmente. Una pattumiera vivente.

Gli impegni presi a Rio furono convertiti in numerose misure che riguardarono, tra l'altro, le attività industriali, i trasporti, la gestione dell'energia e quella dei rifiuti; misure che a loro volta portarono alla definizione di diversi provvedimenti quali:

- Il diritto allo sviluppo per un equo soddisfacimento dei bisogni sia delle generazioni presenti che di quelle future;
- La tutela ambientale come parte integrante del processo di sviluppo;
- La partecipazione dei cittadini, a vari livelli, per affrontare i problemi ambientali;
- Il principio di chi inquina paga per scoraggiare gli sprechi e stimolare la ricerca e l'innovazione tecnologica al fine di attuare processi produttivi che minimizzino l'uso di materie prime.

Dal '92 ad oggi qualcosa è cambiato, ma in peggio. In altri termini la concentrazione nell'area di sostanze cosiddette "climateranti" era di 356 parti per milione (ppm) nel 1992 mentre oggi ha superato le 400ppm<sup>59</sup>. Viviamo l'era dell'Antropocene in cui le attività dell'uomo associate allo sviluppo economico-industriale, entrambe caratterizzate da una pesante impronta<sup>60</sup> sull'ecosistema, hanno iniziato ad alterare la composizione dell'atmosfera, contribuendo a influenzare il clima globale e inducendo cambiamenti più repentini di quelli osservati in passato.

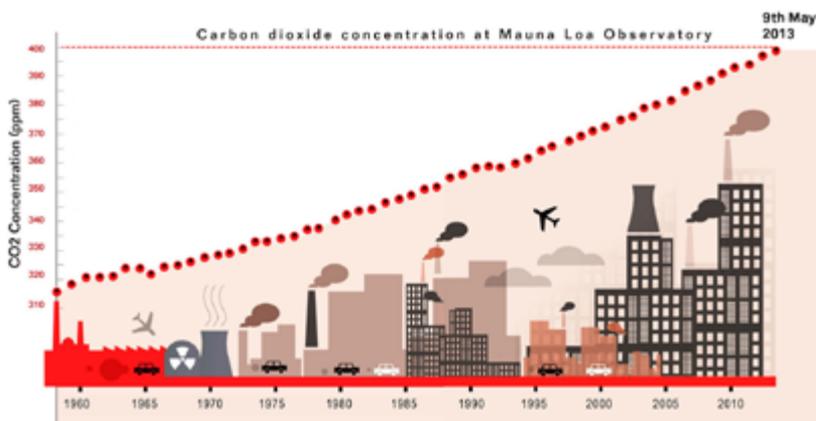
**95.** Immagine che mostra l'impronta ecologica sostenuta dalla Terra che mette in relazione il consumo umano di risorse naturali con la capacità della Terra di rigenerarle. I singoli Paesi sono stati deformati per indicare la quantità di territorio in grado di produrre il loro effettivo consumo di risorse naturali.



sesto degli abitanti del Pianeta, il più ricco, utilizza il 50% della produzione energetica globale; il sesto più povero appena il 4%. Un disequilibrio sociale e una minaccia ambientale.

<sup>59</sup> Il livello di 400 parti per milione (ppm) di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera era considerato il limite da non valicare, il semaforo rosso che avrebbe avvisato che avevamo passato la frontiera della futura devastazione climatica, con conseguenze imprevedibili. Ebbene, la Nasa dice che, dopo qualche breve incursione negli anni passati, quella soglia ormai l'abbiamo oltrepassata nel 2015, raggiungendo le 405,56ppm.

<sup>60</sup> L'impronta ecologica mette in relazione il consumo umano di risorse naturali con la capacità della Terra di rigenerarle. Al giorno d'oggi viviamo come se avessimo a disposizione 1,87 pianeti.



96. Grafico che mostra la concentrazione di diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) in atmosfera in un determinato lasso di tempo.

L'energia che utilizziamo costituisce un bene fondamentale e necessario alla società moderna, il suo consumo in misura sempre più eccessiva, in quanto alla base di quasi tutte le attività dell'uomo, apporta benefici imprescindibili al nostro modo di vivere, tuttavia le frenetiche modalità del suo reperimento sono responsabili di una sensibile alterazione dell'ambiente su scala planetaria, le cui conseguenze sono state riconosciute solo di recente. L'energia è considerata il carburante della crescita ma il modo in cui la produciamo, quasi esclusivamente da fonti di origine fossile attraverso il processo di combustione con formazione di anidride carbonica, è causa del lento riscaldamento del pianeta per "effetto serra"<sup>61</sup>. Per le sue attività e per il suo benessere, inoltre, l'uomo delle regioni industrializzate produce una serie di ulteriori gas nocivi che vanno ad alterare l'equilibrio atmosferico ed ambientale stabilitosi durante il corso di centinaia di milioni di anni. Questi agenti sono la causa di una serie di danni ambientali che si ripercuotono su tutti gli organismi viventi<sup>62</sup> tra cui l'essere umano, secondo Ortega y Gasset:

la "[...] realtà circostante costituisce l'altra metà della mia persona: solo con il suo tramite posso integrarmi ed essere pienamente me

61 Il globo terrestre è circondato da uno strato di gas composto principalmente da azoto (78% del volume dell'atmosfera), ossigeno (21%) e da altri gas. Il pianeta capta l'irraggiamento solare e a sua volta rilancia verso lo spazio un irraggiamento di natura infrarossa, che a sua volta viene parzialmente rimandato sulla terra dai gas serra. Questo fenomeno naturale ha avuto negli ultimi cinquant'anni un inquietante incremento, e gli esperti ritengono che il riscaldamento del pianeta sia essenzialmente legato proprio a quest'aumento dell'effetto serra. La comunità scientifica, infatti, è ormai concorde nel ritenere che la causa del riscaldamento globale sia da ricercare nell'aumentata concentrazione di gas serra in atmosfera, soprattutto anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Il 70% dell'aumento di CO<sub>2</sub> è dovuto all'uso massiccio di combustibili fossili a scopi energetici; il 30% è, invece, legato ad altre cause.

62 Il numero di specie che si sono estinte in questi anni non ha precedenti nella storia biologica. Se la frequenza delle estinzioni dovesse procedere con l'attuale velocità, circa 30.000 specie per anno secondo alcune stime, o se addirittura, come sembra stia avvenendo, dovesse accelerare, il numero delle specie estinte nella prossima decade potrebbe eguagliare e superare quello osservato in occasione delle grandi estinzioni di massa, l'ultima delle quali, risalente a 65 milioni di anni fa, provocò la scomparsa dei Dinosauri.



**97.** Foto che mostra quintali (letteralmente) di prodotti elettronici guasti e ammassati nei paesi in via di sviluppo per estrarne metalli preziosi usando sostanze nocive e mortali.



**98.** Foto che mostra un impianto di incenerimento rifiuti e il suo circondario in Bangladesh.



**99.** Foto che mostra un impianto Nucleare.

stesso, io sono io e la mia circostanza, e se non salvo lei non salvo neppure me”<sup>63</sup>.

Oggi i cambiamenti climatici cominciati nel XX secolo diventano sempre più evidenti e tutto questo nonostante sia in vigore dal 2005 il Protocollo di Kyoto sulla riduzione dei gas serra.

Nello specifico, i delegati alla “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico” (UNFCCC)<sup>64</sup> hanno sottoscritto un Protocollo in base al quale i paesi industrializzati si sarebbero dovuti impegnare a ridurre in media le loro emissioni di gas ad effetto serra del 5,2%, rispetto ai livelli registrati nel 1990 sull’arco temporale 2008-2012. La novità del Protocollo di Kyoto è stata che, mentre i paesi in via di sviluppo non erano affatto tenuti a ridurre le loro emissioni, i paesi avanzati, per mitigare i costi derivanti dalla implementazione dell’intesa, avrebbero potuto utilizzare i “permessi di emissione”: il paese che avesse già superato la quota pattuita di emissioni avrebbe potuto comprare i “permessi di inquinare” da quei paesi che fossero rimasti al di sotto. Col senno di poi, si deve riconoscere che aver esonerato i paesi in via di sviluppo, il famoso BRICS, dall’impegno di ridurre i gas serra è stato un errore e ciò sia perché alcuni di tali paesi, come Cina, India e Brasile, sono oggi tra i massimi generatori di emissioni, sia perché la riduzione dei soli paesi avanzati non sarebbe bastata comunque ad assicurare gli obiettivi fissati.

La Conferenza dell’Aja del novembre 2000, convocata perché il Protocollo di Kyoto potesse iniziare il suo iter applicativo già dal 2012, termina invece con un clamoroso fallimento, nonostante l’impegno delle delegazioni che, dopo Rio e quindi la sottoscrizione della Convenzione, decisero di incontrarsi annualmente nella Conferenza delle Parti (COP)<sup>65</sup> per portare avanti le trattative di negoziazioni internazionali sui cambiamenti climatici.

Ad oggi, gli incontri internazionali ai fini di stabilire le azioni per la riduzione delle emissioni climalteranti sono stati 21, ripercorrendo le tappe salienti: il primo incontro è avvenuto in Germania nel 1995, riconosciuto con il nome di “Mandato di Berlino” nel quale emersero una serie di preoccupazioni sull’efficacia delle misure elaborate dai singoli stati per mantenere gli impegni della Convenzione; nella seconda conferenza sul cambiamento climatico, svoltasi a Ginevra nel 1996, gli esperti hanno confermato che “i disastri naturali significativi si erano quadruplicati nel corso degli ultimi trent’anni”; il COP 3 è ben noto per l’accordo internazionale in materia ambientale sui cambiamenti climatici, si tratta del già citato Protocollo di Kyoto; seguirono una serie di incontri tecnici a quello del 2000 all’Aja, segnato da contrasti che

63 Cfr. Ortega y Gasset, L’individuo, la circum-stanza e il mondo.

64 Acronimo di United Nations Framework Convention on Climate Change.

65 Acronimo di Conference of the Parties.

opposero la delegazione dell'Unione Europea a quella degli Stati Uniti; dopo il COP 6 all'Aja, i successivi riguardarono principalmente la definizione e la messa a punto di metodologie e procedure d'attuazione, la COP 13 del 2007 a Bali iniziò invece a smuovere le acque tracciando finalmente il percorso verso il nuovo processo negoziale per affrontare il cambiamento climatico in maniera "condivisa", adottando come base dei propri lavori il IV Rapporto IPCC<sup>66</sup>, risultato dell'opera di oltre 2500 scienziati di tutto il mondo; la Conferenza delle Parti successiva, Poznan 2008, compie importanti passi verso la definizione di meccanismi di supporto ai Paesi in via di sviluppo, tra cui un Fondo di adattamento nel quadro del protocollo di Kyoto per ulteriori impegni post 2012; l'obiettivo del COP 15 è stato quello di stabilire un ambizioso accordo globale sul clima, tuttavia le tre pagine dell'accordo di Copenaghen non fanno altro che rimandare il compito al 2015. Il testo finale per la prima volta introduce in maniera ufficiale la necessità di evitare il superamento della soglia di 2°C nell'aumento delle temperature del pianeta; la COP 16 di Cancún porta all'approvazione di un pacchetto di misure per aiutare le nazioni in via di sviluppo in materia di cambiamenti climatici, tuttavia il testo è carente delle modalità operative. Nessuna decisione neppure riguardo al secondo periodo di adempimento del Protocollo di Kyoto, in cui si stabilisce che bisognerà tagliare le emissioni di gas serra dal 20% al 40% entro il 2020; a Doha nel 2012 si tiene la COP18 con la quale si assicura una seconda stagione del Protocollo con un'estensione fino al 2020, ad accettare il Kyoto bis sono solo i paesi, come l'Unione Europea, responsabili insieme del 15-20% delle emissioni; segue Varsavia con il COP 19 che compie passi avanti su alcuni risultati importanti ma un nulla di fatto su molte altre decisioni necessarie; il più importante punto stabilito nel COP 20 di Lima è la decisione che tutti i governi presentino all'ONU i rispettivi piani nazionali per frenare le emissioni di gas serra, i cosiddetti Intended Nationally Determined Contributions (INDC's) entro il termine informale del 31 marzo 2015; l'attesissima COP 21 di Parigi, da poco conclusasi, ha registrato posizioni differenti e difficilmente conciliabili rendendo sempre più complessa la stesura di un testo condiviso. La sconfitta più grande riguarda la decisione di abbassare il limite di riduzione della temperatura, precedentemente fissato a 2°C, a 1,5°C rispetto ai livelli pre-industriali<sup>67</sup>.

Come si può cogliere da questa breve sintesi, l'alterazione dell'ambiente su scala planetaria, determinata dal modello di sviluppo economico dei paesi industrializzati è, ormai da anni, al centro del dibattito sul futuro "sostenibile"

66 Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico da cui l'acronimo di Intergovernmental Panel on Climate Change. (<http://www.ipcc.ch/>).

67 Per maggiori informazioni sull'ultimo COP, il 21 tenutosi a Parigi, è possibile visionare il documento finale approvato dall'assemblea al sito: [unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/in-session/items/9320.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/in-session/items/9320.php).



100. Foto scattata durante la conferenza delle parti di Kyoto.



100. Foto scattata al delegato di Haiti in occasione della COP 15 di Copenaghen.



101. Foto scattata a Pechino, la foto risulta sfocata a causa della nebbia.



102. Foto scattata a Pechino, la popolazione è costretta ad indossare le maschere a causa dello smog.

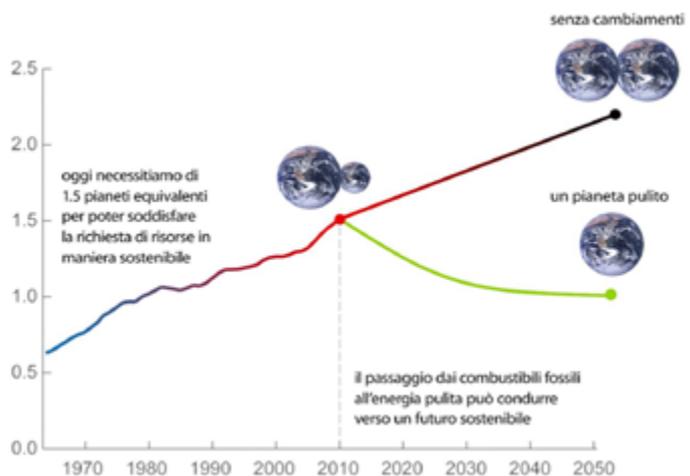


103. Foto scattata a Pechino, la visibilità è limitata a causa dello smog.

del nostro pianeta. Le varie Conferenze delle Parti, nel registrare lo stato dell'arte in materia di sostenibilità ambientale hanno reso cosciente, come affermato anche da Ralph Waldo Emerson, che “non abbiamo ereditato la terra dai nostri genitori; la stiamo prendendo in prestito dai nostri figli” e quindi, a fronte di ciò, hanno delineato, pur tra fallimenti e turbolente mediazioni, i tratti di nuovi modelli di sviluppo che possano assicurare alle generazioni future uno stock di “risorse ambientali” almeno pari a quelle attuali, prevedendo che entro il 2020 le energie rinnovabili dovranno coprire almeno il 20% della produzione di energia, arrivando nel 2050 a superare la quota del 50%.

“Il punto è prevedere che cosa sta per accadere prima che accada”, dice Gavin Schmidt, esperto di modelli climatici e direttore del Goddard Institute for Space Studies della NASA, “per sapere che cosa avverrà nel 2050, il problema non è la sensibilità del clima, ma su quale percorso ci siamo incamminati per gestire le emissioni”.

**104.** Diagramma che mostra le prospettive future del nostro pianeta in termini di consumo di risorse, realizzato da Mario Cucinella.



**105.** Foto dell'uragano Sandy, New York.



**106.** Foto scattate nei giorni successivi al passaggio dell'uragano Sandy, New York.

La previsione in ambito climatico mediante supporti informatici, con la divisione del mondo in celle di 10.000 chilometri quadrati per rendere digeribili a un computer i 510 milioni di chilometri quadrati della Terra, riserva ancora oggi svariate incertezze, la furiosa maestà di un temporale, ad esempio, sfugge a qualunque simulazione al computer, una pioggia che si riversa su due chilometri quadrati è troppo piccola per essere prevista in modo corretto in una simulazione del clima e lo stesso si può dire per un uragano come Sandy, che nel 2012 si estendeva per 280 chilometri su mare e terraferma.

Al contrario, al giorno d'oggi, ciò che maggiormente interessa la concentrazione di CO<sub>2</sub>, il principale componente<sup>68</sup> responsabile dell'effetto

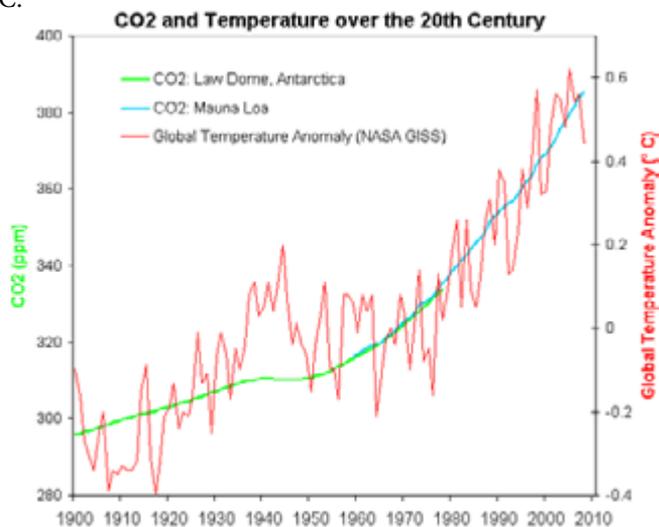
<sup>68</sup> I cambiamenti climatici non sono guidati solo dalla CO<sub>2</sub> e dagli altri gas serra emessi con il consumo di combustibili fossili e altre attività umane. È influenzato anche dalla

serra e del riscaldamento globale antropogenico nonché una delle principali fonti di inquinamento dell'aria soprattutto in ambiente cittadino, risulta ben documentato e il suo potenziale effetto simulato è ampiamente riportato nei modelli climatici, soprattutto in quelli considerati dall'IPCC.

È facile quindi analizzare e prevedere come l'attività umana influenzi il clima del pianeta ma è difficile anticipare la sempre maggiore incidenza di quelle che possiamo definire "sorprese ambientali", ossia gli anomali comportamenti del clima a seguito dei quali i vari ecosistemi globali, da noi percepiti come stabili, improvvisamente collassano; "è un po' come guardare un incrocio trafficato per un'ora", spiega Reto Knutti, climatologo dell'ETH di Zurigo, "si può imparare molto sui fenomeni che regolano il traffico, ma è molto difficile prevedere come cambierà il traffico nel prossimo decennio o nel prossimo secolo."

Questa indeterminatezza ha indotto la comunità scientifica ad impegnarsi sempre più nello studio delle cause per l'identificazione della variabilità degli effetti su diverse scale.

Tra tutti i numeri comunemente sbandierati come causa del riscaldamento globale, il più importante per il cambiamento climatico non è 400ppm, cioè il valore della concentrazione dell'anidride carbonica in atmosfera, non è neppure 1000 miliardi, la quantità di anidride carbonica che possiamo immettere in atmosfera entro il 2050 per evitare un riscaldamento superiore ai 2 gradi, e neanche i 100 miliardi in fondi annuali per l'adattamento climatico. In realtà, secondo il più recente rapporto dell'IPCC, non si tratta di un singolo numero ma di un intervallo, quello compreso tra 1,5 °C e 4,5 gradi °C.

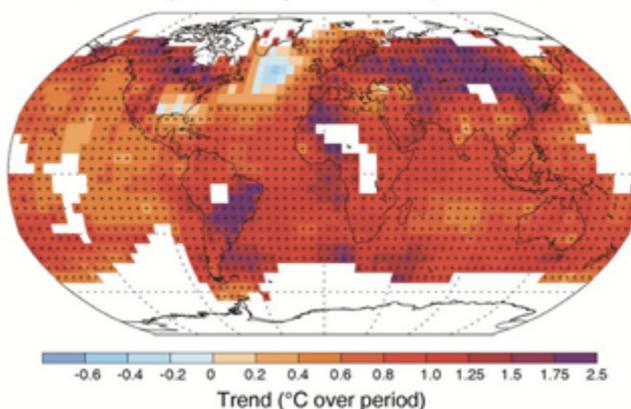


**107.** Grafico che mostra l'andamento delle temperature in relazione alle variazioni del tasso di CO<sub>2</sub> presente in atmosfera.

deforestazione per fare spazio ai terreni agricoli o dal rimboschimento, dai capricci dell'intensità del Sole, dal soffocante inquinamento della Cina e da altre forme di emissione incontrollata di aerosol che deturpano l'atmosfera.

**108.** Mappa delle variazioni della temperatura superficiale osservate tra il 1901 e il 2012, ricavate dai trend di temperatura determinati dalla regressione lineare di un set di dati. I trend sono stati calcolati dove i dati disponibili permettono di fare una stima robusta (vale a dire, solo per le celle della griglia con più del 70% di record completi e con una disponibilità di dati maggiore del 20% nel primo e del 10% nell'ultima parte del periodo di misura). Le altre celle sono bianche. Le celle dove il trend è significativo al 10% sono indicate da un segno +.

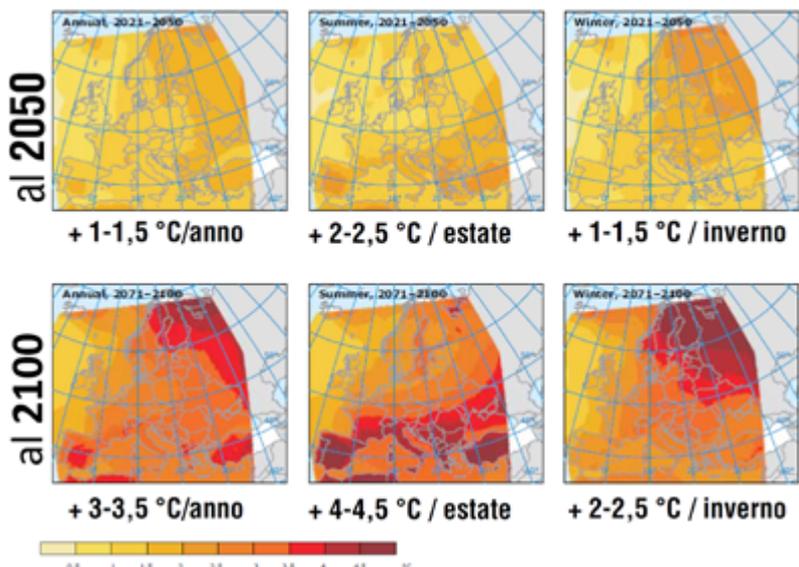
Observed change in average surface temperature 1901–2012



Questo è il riscaldamento globale atteso nei prossimi secoli per effetto di un raddoppio della CO<sub>2</sub> atmosferica in base ai risultati di circa 40 simulazioni su scala planetaria degli oceani e dell'atmosfera, note come modelli climatici globali. Ogni modello, come il Community Earth System Model del National Center for Atmospheric Research a Boulder, in Colorado, è eseguito su enormi supercomputer.

Il nome formale del numero più importante è “sensibilità climatica all'equilibrio”, e rappresenta il nuovo equilibrio delle temperature superficiali dopo un cambiamento nella quantità di energia solare che è intrappolata sulla Terra invece di essere irradiata verso lo spazio. Il numero è una stima di un intervallo di riscaldamento perché né gli scienziati né i modelli al computer riescono a trovare un accordo su quanto siano sensibili i cicli biogeochimici terrestri alla coltre, sempre più spessa, di gas serra invisibili, che a sua volta intrappola più calore. Poi ci sono i difetti fin troppo umani di un'azienda come la Volkswagen, che ha mentito sulle emissioni delle automobili che producono, addirittura abbastanza da confondere le stime dell'inquinamento prodotto nell'elaborazione di modello, e quindi le previsioni del futuro generate da quel modello. In altre parole, i feedback hanno elementi che non sappiamo di non sapere.

In effetti, nonostante decenni di osservazioni e simulazioni sempre migliori, questo intervallo di sensibilità climatica non è cambiato molto dal 1979, quando un rapporto del National Research Council sui cambiamenti climatici curato dal meteorologo Jule Charney Gregory valutò la sensibilità climatica in 2-4 gradi °C di riscaldamento per un raddoppio di CO<sub>2</sub> atmosferica, anche i calcoli fatti a mano da Guy Callendar nel 1938 hanno fatto un buon lavoro nel prevedere il cambiamento climatico come è poi avvenuto, il che suggerisce che la sensibilità del clima a lungo termine potrebbe non essere importante quanto le risposte del clima nei prossimi decenni. Molti climatologi sono d'accordo con i loro predecessori: un raddoppio della CO<sub>2</sub> atmosferica



**109.** Previsione dell'aumento di temperatura al 2050 e al 2100 in Europa.

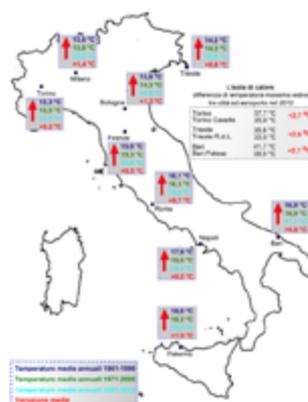
significherà un riscaldamento di temperature medie globali di circa 3 °C, con un'incertezza di più o meno un grado. "L'incertezza può essere rimasta quella di prima, ma ora ha basi molto più solide", spiega Schmidt.

A questo proposito, l'istituto di ricerca climatologica di Potsdam osserva che "il dato relativo all'aumento di 1,5 °C è ormai cosa certa e insita nel sistema, con una serie rilevante di effetti.

Le temperature medie annuali in Italia sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7°C, pari a oltre 0,8°C per secolo, ma il contributo più rilevante a questo aumento è avvenuto in questi ultimi 50 anni, per i quali l'aumento è stato di circa 1,4°C.

Il tasso di crescita delle temperature medie in Italia è circa il doppio di quello medio globale. Sono aumentate di più le temperature minime, soprattutto al nord, che le massime, e di più le temperature invernali, soprattutto al sud, che quelle estive. Tuttavia, la situazione si capovolge se si analizzano soltanto i dati degli ultimi 50 anni. Infatti, sono aumentate di più le temperature massime di quelle minime e, conseguentemente, sono aumentate anche le escursioni termiche giornaliere.

Nel 2006 il documentario *An inconvenient Truth*, noto in Italia come *Una scomoda verità*, dell'ex candidato alla presidenza USA, Al Gore, ha illustrato gli effetti già visibili dei mutamenti climatici e quelli che ancora verranno. La discussione è stata in seguito approfondita con la pubblicazione del quarto rapporto IPCC della Commissione ONU sul clima<sup>69</sup> nel 2007, con il quale si è preso atto del ritmo accelerato con cui avvengono i cambiamenti climatici. L'IPCC ritiene che nel corso del Novecento il livello degli oceani, a seguito



**110.** Aumento delle temperature in Italia.

69 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report, Summary for Policy-makers (AR4), 2007.



**111.** Aumento delle temperature in Italia.



**112.** Aumento delle temperature in Italia.

**113.** Un elefante in stato di decomposizione, deceduto a causa della siccità.

lo scioglimento progressivo dei ghiacciai e delle calotte polari, sia aumentato dai 15 ai 25 centimetri e per i prossimi decenni si prevede una accentuazione sostanziale di questo fenomeno. Se non verranno rapidamente prese delle misure efficaci, ci si potrebbe verosimilmente aspettare ne corso del XXI secolo un innalzamento del livello degli oceani che causerà la fine di molte città. A causa dell'aumento delle temperature delle acque superficiali, marine ed oceaniche, i cicloni tropicali diverranno più frequenti ed intensi, estendendosi anche alle fasce marginali delle zone temperate, mentre i bacini chiusi delle medie latitudini, come il Mediterraneo, potrebbero trasformarsi in veri e propri mari tropicali. Dato che le condizioni meteorologiche della Terra sono in larga misura il prodotto delle differenze di temperatura tra zone polari ed equatore, si avranno mutamenti di forza e direzione dei venti, delle precipitazioni e delle correnti oceaniche. Aumenteranno le oscillazioni attorno a valori medi, con fenomeni estremi più frequenti e imprevedibili, capiterà sempre più spesso di passare repentinamente da forti ondate di caldo a vere e proprie gelate fuori stagione, o di vedere periodi di bel tempo intervallati da giornate con piogge torrenziali. Ci saranno tornado sempre più devastanti e un maggior numero di trombe d'aria sulla nostra Penisola; violenti temporali e nubifragi si abatteranno sulle regioni temperate e i monsoni diverranno ancora più piovosi, dall'altro diventeranno più duraturi i periodi di siccità, provocando l'inesorabile avanzamento dei deserti.



Sull'Europa potranno manifestarsi riduzioni medie delle piogge fino a 1 millimetro al giorno durante l'inverno. Secondo gli studi del CNR-ISAC, le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale di circa 5% a secolo, con maggiori riduzioni (9%) in primavera. La riduzione è più accentuata nelle regioni centro-meridionali rispetto a quelle settentrionali, è diminuito anche il numero complessivo dei giorni di pioggia, soprattutto in

questi ultimi 50 anni: la diminuzione è pari a circa 6 giorni per secolo nelle regioni settentrionali e a circa 14 giorni nel centro-sud. La tendenza generale, per tutte le regioni italiane, è un aumento dell'intensità delle precipitazioni e una diminuzione della loro durata. Sono in aumento anche i fenomeni siccitosi, la cui persistenza è maggiore in inverno nelle regioni settentrionali e maggiore in estate al sud.

I cambiamenti climatici quindi hanno ripercussioni di enorme peso nelle zone più aride poiché inaspriscono e accelerano processi di desertificazione già in atto<sup>70</sup>. La desertificazione è una delle emergenze ambientali più gravi degli ultimi decenni secondo le stime della UNCCD<sup>71</sup>, la Convenzione ONU per la lotta alla desertificazione, si stima che sono ben 135 milioni le persone a rischio di diventare profughi ambientali.

Al termine desertificazione è associato, nell'immaginario collettivo, il processo di espansione dei deserti sabbiosi, in realtà, è quel fenomeno che porta alla progressiva riduzione della fertilità dello strato superficiale del suolo e della capacità produttiva delle terre aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a stress di natura climatica e alla pressione, spesso non sostenibile, delle attività umane sull'ambiente. In Italia, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna, presentano già fenomeni avanzati di desertificazione dovuti alla intrinseca aridità stagionale.

A questi disastri su ampia scala si associa l'aumento dei fenomeni meteorologici di estrema violenza che costituiscono una minaccia anche per le comunità locali, che si trovano a dover affrontare situazioni di emergenza mai viste prima. Periodicamente anche nel nostro Paese accadono eventi imprevedibili, genericamente individuati come "naturali", che assumono caratteristiche tali da essere definiti "catastrofici". Tali eventi hanno effetti devastanti sui territori e sulle comunità; essi sono segnati da distruzioni, danneggiamenti gravi e morti. La casistica è lunga, dalle esondazioni del Po nel Polesine al Vajont, per arrivare agli allagamenti di parte del Lazio, della Toscana e dell'Umbria, passando per i sismi dell'Aquila e del modenese-reggiano. Dopo ogni evento si ha netta la percezione che nulla tenga, che il dissesto idrogeologico sia tale che gli stessi insediamenti umani storicamente consolidati stiano da un momento all'altro per andare sottacqua o per essere distrutti.

Il clima che sembra "impazzire" presenta un conto molto salato, come strade interrotte, case distrutte, imprese allagate, campi sommersi, senza contare i danni alle persone, sono tutte manifestazioni che rendono sempre più necessario un rapido intervento. Il cambiamento climatico globale è ormai divenuto una realtà comprovata che rischia di compromettere i fondamenti



**114.** Danneggiamenti causati da catastrofi ambientali dovute ad alterazioni climatiche.



**115.** Danneggiamenti stradali causati da catastrofi ambientali dovute ad alterazioni climatiche.

70 Ogni due secondi, nel mondo, si perde un'area forestale grande quanto un campo da calcio.

71 La Convenzione per Combattere la Desertificazione di cui l'acronimo United Nations Convention to Combat Desertification.

**116.** La catastrofe di Manila, città sommersa dall'acqua che ha causato decine di morti. Filippine devastate causa monsoni.



della nostra esistenza.

Gli esperti dell'Organizzazione meteorologica mondiale ritengono che l'aumento massimo ancora tollerabile delle temperature prima che intervenga un danno irreversibile al sistema climatico è ancora di 2°C. Un modo per verificare se questo consenso è corretto consiste nel ricercare il “noumeno”, il superamento del limite, la tracotanza, continuando a privilegiare gli interessi dei singoli e delle lobby rispetto al concetto di “bene comune” investendo sull'attuale modello di sviluppo, basato sul consumo di combustibili fossili, deforestazione e altre attività che emettono gas serra a discapito anche della popolazione debole che è sempre più vittima designata del malaffare. Secondo il Rapporto Stern, dal nome dell'economista di Oxford, proseguendo con l'attuale tasso di emissione, nel 2035 si arriverà a 550 parti per milione, un livello questo cui corrisponde un aumento irreversibile della temperatura di due gradi centigradi che rappresentano una seria minaccia globale. Di qui l'urgenza di intervenire con risposte adeguate.

Per non superare questo punto di non ritorno bisogna mantenere la concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> sotto la soglia di 450ppm entro la fine del XXI secolo, la comunità scientifica ritiene il livello di “sicurezza” al di sotto delle 350ppm; considerando la quantità attualmente riscontrata e la stima di crescita annuale pari a 2ppm ne consegue che, se non vi sarà un repentino cambio di rotta, la temperatura globale è destinata a crescere ancora al punto che gli scienziati sostengono che salirà di ben due gradi entro il 2050 e di 2,8 gradi entro il 2080, con effetti devastanti per l'intero ecosistema terrestre.

L'ex economista in capo della Banca Mondiale, sir Nicholas Stern, che non è un ambientalista né un uomo dai facili allarmismi, dopo aver osservato che il cambiamento climatico costituisce oggi per l'umanità intera la minaccia più seria a livello globale, stila un Rapporto che parte dalla considerazione che gran parte dei gas responsabili dell'effetto serra sono conseguenza diretta dell'attività umana; sono cioè emissioni antropogeniche.

Fin dalla sua pubblicazione nel 2006, il Rapporto è stato recepito come

l'inizio di un nuovo periodo nell'ambito dell'economia dei cambiamenti climatici, l'idea di base è la considerazione del mutamento climatico come caso specifico e peculiare di esternalità negativa e quindi come un caso tipico di fallimento del mercato. Stern, valutò per la prima volta in termini numerici e da un punto di vista strettamente economico i rischi e i costi indotti dal cambiamento climatico globale, egli giunse a conclusione che i vantaggi derivanti da un'azione decisa e in tempi utili sono di gran lunga superiori ai costi risultanti dal non agire.

Duplica la novità del Rapporto, la prima è nell'adozione di un approccio pluridimensionale per trattare la questione del cambiamento climatico. In aggiunta all'aspetto economico, vengono prese in considerazione sia la dimensione socio-politica sia quella etica.

È forse per questa sua caratteristica che costituisce oggi una sorta di paradigma di riferimento nelle discussioni in materia. Il Rapporto Stern non si limita a mettere in guardia dai rischi incombenti, ma propone anche una serie di misure per la loro riduzione. Si tratta di assicurare che ogni politica ambientale, se vuole risultare di successo, deve soddisfare simultaneamente, i requisiti dell'efficacia, dell'efficienza e dell'equità.

Per quanto concerne l'adozione degli strumenti di policy, Stern si sofferma su quelli di stabilizzazione, mitigazione e di adattamento indicando quali misure essenziali di intervento. In fine, suggerisce un più massiccio uso di fonti energetiche rinnovabili, l'impiego di tecnologia a bassa produzione di anidride carbonica e un aumento significativo dell'efficienza energetica, in quanto, il vertiginoso aumento dei prezzi dell'energia degli ultimi anni è un chiaro segnale della limitatezza delle fonti di origine fossile e il divario tra domanda e offerta comincia ad aumentare; le riserve di petrolio e di gas si riducono in fretta, e la loro estrazione diventa sempre più difficile e onerosa, si stima come possibile durata di ciascuna fonte energetica:

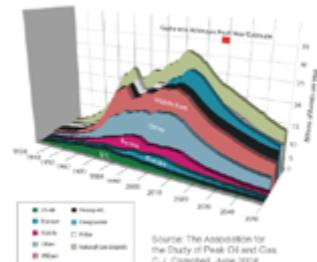
- Petrolio, 40 anni;
- Gas naturale, 60 anni;
- Carbone, 200 anni;
- Uranio, 40 anni.

Quando sarà raggiunta la quota massima di estrazione del petrolio a livello mondiale, il cosiddetto *peak oil*<sup>72</sup>, sarà esaurita la metà delle riserve di petrolio. Il punto di svolta, atteso entro il 2020, segnerà l'inizio della fine

72 Per quanto riguarda il picco del petrolio a livello mondiale, esistono diverse date e previsioni. Per esempio secondo l'AIE (Agenzia Internazionale per l'Energia), il picco del petrolio è eminente o è arrivato nel 2012. Secondo l'AIE la produzione di petrolio convenzionale è già in calo dal 2008 e l'apporto di petrolio non convenzionale (principalmente il petrolio da sabbie bituminose) non sarà in grado di coprire il deficit che si sta ponendo tra domanda ed offerta. Altre stime, come ad esempio quella dell'UK Energy Research Centre o della University of Oxford, collocano il picco di petrolio a cavallo tra il 2015 e il 2030, con una forte probabilità che avvenga entro il 2020. Per saperne di più: [www.peakoil.net](http://www.peakoil.net).



117-118. Foto di centrali nucleari.



119. Grafico che mostra una previsione di peak oil.

dell'era petrolifera, con l'insorgere di una sempre più ampia discrepanza tra fabbisogno energetico e massima estrazione. Sembra inevitabile, quindi, che a breve i prezzi del petrolio e del gas aumentino drammaticamente, spostando l'interesse su alternative più economiche, su combustibili come il carbone e i fossili non convenzionali che potenzialmente possono contribuire all'emissione di una quantità di CO<sub>2</sub> capace di innescare con maggiore rapidità un cambiamento climatico irreversibile.

Secondo la US Energy Information Administration, il carbone è responsabile del 74,3% delle emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte per la generazione di elettricità, il gas naturale è responsabile del 24,4% mentre il petrolio genera un contributo pari allo 0,8%.

L'aumento della temperatura implicherà anche maggiori quantità di energia, nel frattempo il consumo energetico mondiale è raddoppiato in trent'anni, l'80% circa del consumo globale di energia si basa attualmente sulle fonti di origine fossile e sul nucleare.

I cambiamenti dello stile di vita e dei tipi di comportamento possono contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici in tutti i settori ma per conservare o addirittura migliorare il nostro comfort, salvaguardando le risorse naturali, si impone una revisione radicale della nostra strategia energetica, trovando modalità di produzione diverse da quelle attuali e una volontà politica forte, accompagnata da incentivi finanziari.

Le soluzioni dei problemi legati alla produzione e al consumo di energia è di fondamentale importanza per uno sviluppo futuro di carattere globale e sostenibile. Sulla base del potenziale energetico naturale, quantitativamente di gran lunga superiore a quello delle fonti di energia tradizionali, delle tecnologie di cui disponiamo e delle possibilità delle loro applicazioni, con un adeguato apporto pratico e creativo è plausibile pensare che sia del tutto possibile sostituire le fonti di energia tradizionali con fonti rinnovabili.

A rigore tutte le forme di energia sono rinnovabili, la differenza sta nella "velocità" con cui esse si riproducono, quelle fossili necessitano di milioni di anni<sup>73</sup>:

- Gas e petrolio, dai 20 ai 440 milioni di anni;
- Carbone, dai 10 ai 370 milioni di anni.

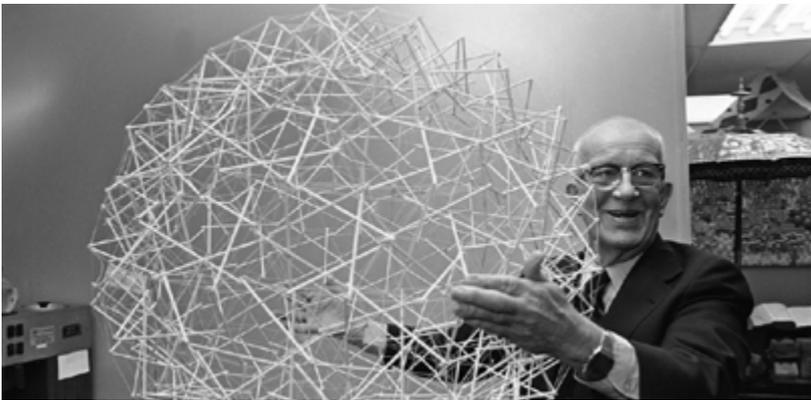
Mai come ora si sente il bisogno di passare a un'azione pronta ed efficace, considerando la progressiva diminuzione e il prevedibile esaurimento delle scorte di combustibili fossili, l'acuirsi dei conflitti per il loro approvvigionamento e l'aumento costante dei prezzi delle fonti energetiche quale risultato della legge della domanda e dell'offerta.

Per le sue caratteristiche di rinnovabilità ed eco-compatibilità, l'energia

---

73 Cfr. Rolando Scarano e Paolo Portoghesi, *L'architettura del sole*, Gangemi editore, 2004.

solare<sup>74</sup> è probabilmente la risposta più adeguata che oggi siamo in grado di offrire, è compatibile con l'equilibrio del pianeta ed è in grado di soddisfare le esigenze di incremento della qualità della vita dell'"habitat tecnologico" in cui viviamo, tutte le altre forme di energia dipendono in qualche modo da essa. "Abbiamo i mezzi per limitare il cambiamento climatico", sostiene il presidente dell'IPCC, Rajendra Pachauri, che aggiunge: Le soluzioni sono molte [...] tutto ciò di cui abbiamo bisogno è la volontà di cambiare [...] e la volontà di capire "come far funzionare il mondo" correttamente, come suggerito appunto nell'opera di Buckminster Fuller, "How to make the world work". Le informazioni relative al funzionamento delle singole parti all'interno del tutto diventano il punto di partenza per il suo "system's approach": le strategie per la risoluzione dei problemi partono dall'integrazione delle single funzioni. Nella concezione di Fuller, il globo terrestre è come una macchina costruita integralmente, concepita e messa in funzione con un'efficienza duratura, come se fosse un'entità unica. Quando Fuller parla di "istruzioni per l'uso", vuole soprattutto mettere in evidenza la loro totale assenza: l'umanità vive sul pianeta Terra senza aver ricevuto un libretto di istruzioni per il suo corretto uso e funzionamento. Questa mancanza intenzionale ha anche un suo risvolto positivo, dato che serve da stimolo all'uomo "a usare il proprio intelletto, questa eccelsa abilità di compiere esperimenti scientifici e di saper interpretare in maniera efficace il significato dei relativi risultati. E proprio in conseguenza dell'assenza di istruzioni, egli è in grado di imparare a prevedere quali conseguenze vengano originate da un numero sempre maggiore di alternative per migliorare in modo soddisfacente la sua sopravvivenza e la sua crescita – sia fisica che metafisica"<sup>75</sup>.



**119.** Foto di Buckminster Fuller in cui regge una sfera Tensegrity. 18 aprile 1979.

74 La quantità di energia varia a seconda della fonte: il sole è di gran lunga la fonte che possiede la maggiore quantità di energia, con il 99,9% del totale energetico disponibile, seguito dal calore geotermico con lo 0,02%, mentre l'energia delle maree rappresenta solo la decima parte di quest'ultimo valore.

75 Cfr. Buckminster Fuller R., *Einflüsse auf meine Arbeit*, in: *Bedienungsanleitung für das Raumshiff Erde und andere Schriften*, Reinbek 1973, (traduzione italiana in: *Atlante della sostenibilità*, Utet 2008).

## 2.2 IL PESO DELL'EDILIZIA NELLA CRISI CLIMATICA

*“[...] se da un lato il progresso scientifico ha fornito una serie di supporti tecnologici, impensabili nel secolo scorso, che offrono una corrispondente serie di vantaggi e comodità, è anche vero che parallelamente ha modificato del tutto l'ambiente nel quale l'uomo ha vissuto per millenni, provocando così squilibri di ordine ecologico ed antropologico, con una palese frattura tra l'evoluzione del progresso e la capacità di assimilazione. Inoltre[...] la tendenza alla eccessiva tecnicizzazione delle soluzioni proposte, [...] conduce a soluzioni che allontanano l'uomo dall'ambiente naturale”.*

*Reyner Banham  
(Ambiente e tecnica nell'architettura moderna)*

Come precedentemente descritto, il degrado dell'ambiente naturale e le modificazioni del clima sono strettamente legate alle attività umane, tra i vari gas serra immessi dall'uomo vi è il CO<sub>2</sub>, prodotto dalle industrie, dai mezzi di trasporto e dal settore delle costruzioni, e altri, tipo il metano proveniente dagli allevamenti intensivi e dalle risaie.

Nel caso specifico, i dati riportano che il settore delle costruzioni e quello dei trasporti emettono una quantità di CO<sub>2</sub> rilevante, raddoppiata in poco meno di 70 anni. Tra i due, il settore delle costruzioni è quello che emette più di qualsiasi altro, mentre quello industriale registra una stabilità, quale effetto della fase di post-industrializzazione che stiamo vivendo negli ultimi 20 anni. Il settore edile si configura, infatti, come il più grande emettitore di gas serra del pianeta e, di conseguenza, è il principale responsabile del cambiamento climatico di origine antropica.

Quasi la metà di tutte le emissioni di CO<sub>2</sub>, il 44,6 %, registrate nel 2012 è stata causata dal settore delle costruzioni, mentre il settore dei trasporti ha contribuito per il 34,3 % delle emissioni e quello dell'industria per il 21,1 %. Intraprendendo un focus sul rapporto costruzioni-ambiente si ottengono dati accurati che svelano rilevanti impatti ambientali, sia di tipo indiretto che

diretto.

L'effetto indiretto sull'ambiente e sui cambiamenti climatici in corso è il risultato delle attività connesse al processo di costruzione; esso include l'intero iter che va dall'estrazione di materie prime, alla lavorazione e al loro trasporto. Quest'ultimo, per esempio, è responsabile di 1/3 del traffico stradale e, dato che i mezzi utilizzano combustibile fossile, è anche responsabile di una buona quota di emissioni nel settore. A ciò si aggiungono altri effetti alterativi, quali l'inquinamento dell'acqua, la produzione di rumore e soprattutto di rifiuti. In sostanza, il settore delle costruzioni, dalla fase di estrazione dei materiali alla gestione del cantiere:

- assorbe, utilizza e consuma il 50% delle risorse estratte ogni anno e il 16% dell'acqua;
- genera il 25% dei rifiuti<sup>76</sup>, circa 450 milioni di tonnellate, di cui il 60% è costituito prevalentemente da prodotti di demolizioni, il 5% da inerti, mentre il 29% è assimilabile a rifiuti domestici e il 6% è rifiuto pericoloso, la costruzione e demolizione degli edifici produce una quantità di rifiuti maggiore di quelli prodotti in ambito domestico.

L'influenza diretta è conseguente all'uso di energia, particolarmente in fase di gestione; il settore delle costruzioni consuma più del 40% dell'energia prodotta emettendo il 36% di gas serra, responsabili dei cambiamenti climatici. È da specificare che buona parte dell'energia consumata, prevalentemente prodotta da fonti non rinnovabili, serve alla climatizzazione degli edifici, infatti del consumo totale di energia il 70% è utilizzato a tale scopo<sup>77</sup>.



**120.** Foto in cui si nota l'estrema necessità di climatizzare gli edifici, scattata ad Hong Kong da Michael Wolf ©Prix Pictet.

---

<sup>76</sup> La costruzione e demolizione degli edifici producono una quantità di rifiuti molto maggiore di quelli prodotti in ambito domestico, in Italia il settore edilizio produce 40 milioni di tonnellate/anno di rifiuti a fronte di un recupero dei materiali pari solo al 10%. La Francia produce 31 milioni di tonnellate/anno e la virtuosa Olanda ne produce 20 milioni, riuscendo a recuperarne l'80%, ossia 16 milioni/anno.

<sup>77</sup> L'energia elettrica e quella utilizzata per riscaldare o raffreddare un edificio costituiscono circa la metà dell'intero fabbisogno energetico della società contemporanea, questo cambiamento di rotta rappresenta il fattore più significativo della svolta energetica.

Il risultato è che, a causa della scarsa efficienza energetica degli edifici a cui si somma un sistema dei trasporti inadeguato alle esigenze delle aree urbane, le città sono oggi responsabili, mediamente, del 70% delle emissioni di gas serra e di oltre il 60% dell'energia consumata a livello mondiale. A questo si aggiungono ulteriormente problemi relativi all'inquinamento acustico e alla qualità dell'aria, tipici dei centri urbani.

Oggi la terra sostiene 145 miliardi di metri quadri di edifici<sup>78</sup>, con un impatto ambientale di 15 gigaton/a in emissioni di CO<sub>2</sub>, il 47 % dei gas serra emessi in atmosfera a livello globale<sup>79</sup>, dato allarmante se si considera il graduale incremento della popolazione mondiale a cui è legato il bisogno di migliorare gli standard di vita<sup>80</sup> e quindi un progressivo aumento della domanda di energia e quindi di emissioni climalteranti; si pensi solo, da esempio, al conseguente aumento delle automobili e dei veicoli in genere, il '92 vedeva circolare poco meno di 600 milioni di veicoli, oggi se ne contano poco più di un miliardo.

A causa di quest'estrema cementificazione<sup>81</sup>, data dalla sconosciuta espansione edilizia e degli interventi infrastrutturali, il consumo del suolo<sup>82</sup> ed il fenomeno del soil sealing<sup>83</sup> sono in continuo aumento e con essi il grado di vulnerabilità del territorio. I dati presentati dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) mostrano come in Italia negli

---

78 Per ulteriori informazioni: <http://www.pikeresearch.com/research/global-building-stock-database>.

79 Per ulteriori informazioni: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/> e <http://www.pikeresearch.com/research/global-building-stock-database>.

80 Ogni giorno in Europa un cittadino consuma in media 15 litri di petrolio per sostenere il suo stile di vita, tenore non più sopportabile in quanto ci avviciniamo sempre più al "punto del non ritorno, del climate change".

81 Il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, con la collaborazione dell'INEA, di ISPRA e dell'ISTAT ha prodotto recentemente un documento dal titolo abbastanza eloquente: *Costruire il futuro: difendere l'agricoltura dalla cementificazione*. "[...]Secondo l'ISTAT, dagli anni '70 del secolo scorso ad oggi l'Italia ha perso una superficie agricola (Superficie Agricola Utilizzata, SAU) pari a Liguria, Lombardia ed Emilia-Romagna messe insieme [...] la cementificazione, o impermeabilizzazione del suolo [...] è il fenomeno che desta maggiori preoccupazioni. Essa, infatti, oltre ad essere irreversibile e con un elevato impatto ambientale, interessa i terreni migliori sia in termini di produttività che di localizzazione [...]. Secondo l'ISPRA, l'Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ogni giorno in Italia vengono impermeabilizzati 100 ettari di terreni naturali". (Fonte: Ferdinando Terranova, Documentazione sulla "Questione ambientale" *Technè* 5, 2013).

82 Non esiste ancora una definizione condivisa a livello europeo del consumo di suolo, genericamente è definito come una modificazione della copertura piuttosto che del suo uso. Nel nostro caso è di interesse quel suolo che scavato, manipolato, compattato e coperto con materiali impermeabili, vede compromesse le sue funzioni ecologiche.

83 "Per impermeabilizzazione del suolo (soil sealing) si intende la copertura del suolo con materiali "impermeabili" quali cemento, metallo, vetro, asfalto, plastica in modo tale da inibire la funzionalità ecologica del suolo (European Commission, 2012) [...] l'impermeabilizzazione [...] mette a repentaglio la biodiversità, aumenta il rischio di inondazioni e di rarefazione delle risorse idriche e contribuisce al riscaldamento climatico. L'impermeabilizzazione del suolo è dovuta all'edificazione, il fenomeno è strettamente legato alla sfera economica, non è connessa all'andamento demografico".



121. Foto scattata nelle favelas di Rio de Janeiro.

ultimi cinquanta anni si siano consumati in media 7 metri quadri di suolo al secondo. Se dal dopoguerra alla seconda metà degli anni '70 il consumo di suolo rispondeva ad una certa domanda abitativa ed urbana, in relazione a una fetta sempre crescente di popolazione, negli ultimi decenni non è stato più possibile individuare questa correlazione. Spesso si è assistito ad una diffusione urbana senza criteri<sup>84</sup>. L'uso del suolo contribuisce ad aumentare il rischio idrogeologico nel momento in cui avviene un'urbanizzazione di un territorio e aumenta notevolmente l'impermeabilizzazione del suolo stesso. Un'area impermeabilizzata ad alta urbanizzazione, di fatto, inibisce quasi completamente l'infiltrazione in falda, sia superficialmente che in profondità.

Al giorno d'oggi, esiste una percezione di questi rischi ma è sicuramente sottodimensionata rispetto a quella che è la realtà. Zone che erano state pianificate in aree considerate non a rischio, potrebbero diventarlo o esserlo già diventate. I cambiamenti climatici, con l'aumento dei fenomeni estremi, hanno espresso la necessità di una pianificazione che tenga conto di questi fenomeni. I disastri legati alle alluvioni in Liguria, in Toscana ed in Sicilia, le frane e le calamità da dissesto idrogeologico, riportano chiaramente la fragilità e la vulnerabilità e di gran parte del nostro territorio.

La sconsiderata risposta a questi avvenimenti è che entro il 2030 sono previsti nel mondo 73 miliardi di metri quadri di nuovi edifici<sup>85</sup>, la stima

---

84 La crescita urbana non è un fenomeno strettamente connesso all'incremento della popolazione, si fa notare, ad esempio, che in Italia lo stock residenziale è pari a 28.5 milioni di abitazioni, il 75% del costruito, per 25.8 mln famiglie (Fonte: Cecodhas housing Europe, Housing Europe review 2012, disponibile a [housingeurope.eu](http://housingeurope.eu).); il 20% è inutilizzato, pari a 5.7 milioni di abitazioni, nonostante la crisi finanziaria e una crescita demografica pari a zero, il settore residenziale continua a crescere dell'1%/a, +2.5 mln mq/a.

85 Per ulteriori: <http://www.pikeresearch.com/research/global-building-stock-database>.

non sorprende se si tiene conto che quasi 25 anni fa eravamo poco meno di 5 miliardi e mezzo di esseri umani mentre oggi abbiamo superato i 7 miliardi<sup>86</sup>.

**122-123.** (da sinistra) Foto di Città del Messico e di Shanghai.



**124-125.** (da sinistra) Foto di Pechino e Tokyo.



A fronte di queste problematiche, è facile dedurre che le prospettive delle attuali tendenze, portano ad un collasso dell'ecosistema come conseguenza di tre principali motivi da effetto domino:

- in primo luogo, perché se nel XIX secolo solo il 3% della popolazione viveva nelle città, oggi la percentuale ha superato il 50%, con una previsione del 70% entro il 2050<sup>87</sup>;
- in secondo luogo, perché attualmente i cittadini, soprattutto quelli europei, trascorrono il 90% del loro tempo negli ambienti indoor costruiti, spesso causa della cosiddetta sick building syndrom (SBS) che si manifesta in circa un terzo degli edifici di nuova occupazione;
- in terzo luogo, perché il nostro “habitat” diventa ogni giorno più tecnologico, causando un notevole incremento della richiesta di energia. Secondo gli attuali trend, si prevede che la domanda energetica per il settore edilizio aumenti del 60% entro il 2050.

A conclusione dell'angoscioso quadro sullo stato dell'arte si aggiunge che circa i tre quarti del patrimonio edilizio esistente necessita di interventi di riqualificazione, vi è un problema sicuramente di quantità ma soprattutto di qualità. Nella fase di ideazione, si è operato separando artificialmente due

---

<sup>86</sup> L'area metropolitana di Città del Messico ha quasi raggiunto i 25 milioni di abitanti, la città di Shanghai ne registra poco più di 24 milioni, Karachi in Pakistan conta 23,5 milioni, mentre Pechino sfiora quasi i 20 milioni ma è l'area metropolitana di Tokyo a guidare la classifica con i suoi quasi 38 milioni di cittadini in un'area di circa 13.500 km<sup>2</sup>; per comprendere l'ultimo dato, è come se più della metà della popolazione che vive in Italia risiedesse in un'area poco più piccola della Regione Campania.

<sup>87</sup> È in atto e continuerà per anni un enorme migrazione verso le città, mai avvenuta in nessun precedente periodo della storia dell'umanità.

parametri fondamentali dell'architettura, i modi costruttivi ed i supporti ambientali, che sarebbero dovuti essere intimamente fusi tramite l'operazione progettuale. Si è così progressivamente determinato, in misura sempre maggiore, un contrasto tra i supporti ambientali, in continuo sviluppo, ed i modi di concepire gli edifici, privi di originalità e della possibilità di impiegare in modo proficuo le potenzialità offerte dalla tecnologia; a questa problematica si è aggiunta una standardizzazione anche funzionale frutto di un incosciente disinteresse verso le nuove esigenze comportamentali, l'articolazione degli spazi dei nostri edifici ristagna su modelli generati dai comportamenti tipo degli anni '50, quasi settant'anni fa, periodo in cui la ricerca si concentrava sulla “[...] sfida dell'architettura contemporanea” in grado “[...] di realizzare un habitat per il grande numero, tenendo però presente la qualità della vita di ogni individuo”<sup>88</sup>. Il risultato è che oggi i nostri edifici non sono confortevoli e non rispondono alle mutevoli esigenze delle società e delle persone; a dimostrazione, 14 milioni di italiani, il 23% del totale, vivono in abitazioni sovraffollate o insalubri, 2,3 mln di abitazioni ha un'illuminazione naturale inadeguata e nel 20% si verificano infiltrazioni dal tetto.

In Italia le famiglie spendono in media il 18% del loro reddito nella gestione della casa, questa percentuale raddoppia per le famiglie a basso reddito mentre 10,8 milioni di italiani non riesce a riscaldare adeguatamente la propria casa, questo fenomeno, definito “fuel poverty”, è in notevole crescita in tutta Europa, responsabilità dovuta anche al riscaldamento globale.

Seppur laconica, l'analisi dei dati ci indica che il settore delle costruzioni è fortemente energivoro e, poiché la quasi totalità di energia che consuma è originata da fonti fossili, esso è anche fortemente emissivo con ripercussioni sull'ambiente e sul clima.

L'attuale scenario e i dati dell'IPCC ci responsabilizzano a farci carico di considerazioni e azioni immediate per la soluzione del problema. Non a caso, in questi anni il dibattito sui cambiamenti globali del clima, che si è focalizzato principalmente intorno al Protocollo di Kyoto e al suo seguito, prevede come concretizzazione degli impegni un miglioramento della gestione del territorio, dell'urbanistica e dell'architettura. È in effetti nel settore delle costruzioni e dei lavori pubblici, per gli edifici nuovi e per quelli esistenti, che è necessario lo sforzo più importante sul piano dei risparmi energetici e di materie prime, della riduzione dei gas serra e della riduzione del volume dei rifiuti. Le proiezioni individuano che circa il 30% delle emissioni di gas serra del settore residenziale può essere evitato entro il 2030; edifici efficienti dal punto di vista energetico, oltre a limitare la crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub>, possono migliorare la qualità dell'aria interna ed esterna, migliorare



**126.** Foto di edificio in evidente stato di obsolescenza, la scarsa qualità di edifici come questo causa fenomeni di sick building syndrom (SBS).

il benessere sociale ed aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, generando contemporaneamente un beneficio economico netto. Inevitabile è che le politiche e le azioni energetiche, anche quelle di trasformazione del territorio, debbano aspirare alla riduzione di tali emissioni per arginare gli effetti negativi, è necessario che le città e il costruito non siano più dissipatrici di risorse ma possano contribuire gradualmente a ridurre i consumi e ad autoprodurre l'energia necessaria.

Nelle culture più sensibili ed evolute la preoccupazione per un più equilibrato rapporto tra sviluppo e rispetto per l'ambiente è diventato un tema appartenente alla coscienza collettiva, acquisito con modalità e priorità differenti.

La Commissione europea nel programma Horizon 2020, assunta la portata dei cambiamenti climatici e delle cause che li producono, individua lo sviluppo sostenibile e le azioni per il clima come priorità trasversali per l'intero programma, ritenendo le azioni sulle costruzioni come la risposta più efficace per ridurre l'effetto serra e il degrado degli ambienti naturali. Il programma è orientato proprio in tale direzione: "Il settore edilizio è il percorso principale per de-carbonizzare l'economia europea entro il 2050. Per raggiungere questo obiettivo è necessario ridurre le emissioni di CO2 del 90% e il consumo di energia fino al 50%. Questa è un'opportunità unica per la crescita della sostenibilità, a condizione che i prodotti e i servizi correlati, sia per gli edifici nuovi che per quelli ristrutturati, siano accessibili e durevoli, in linea con le varie direttive europee attuali o future".

A tale scopo la Comunità Europea pone tra i principali obiettivi "[...] ridurre le emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2020, con una ulteriore riduzione dell'80-95% entro il 2050. Inoltre, le energie rinnovabili dovrebbero coprire il 20% del consumo finale di energia nel 2020 combinato con un obiettivo di efficienza energetica del 20%", il famoso "obiettivo 20-20-20"<sup>89</sup>, schematizzabile come:

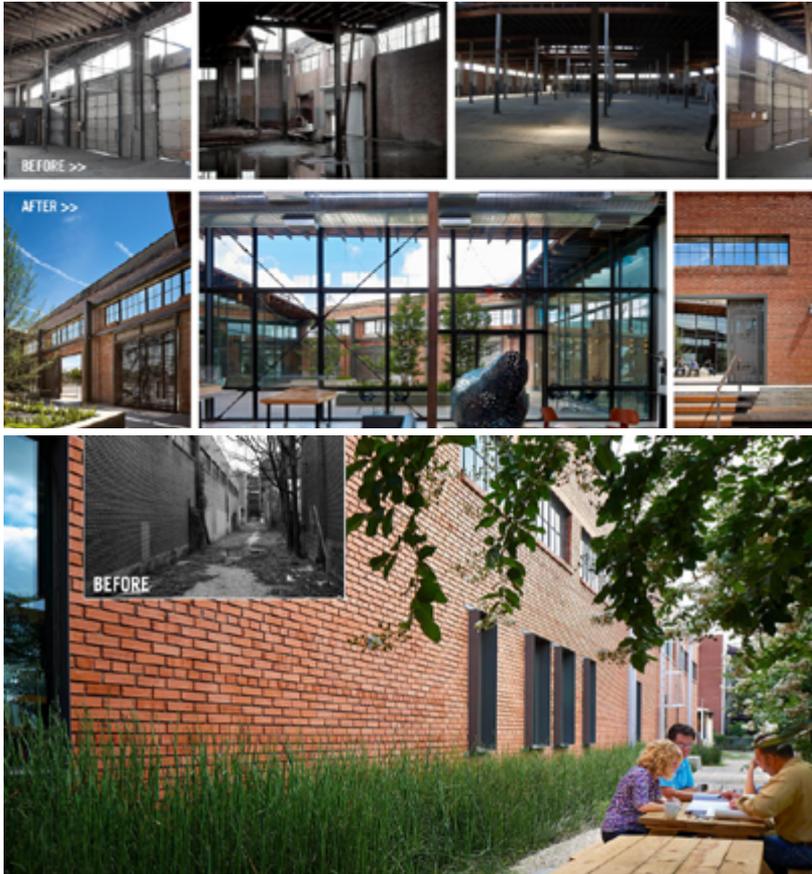
- riduzione del 20% le emissioni di gas serra rispetto al dato storico del 1990;
- riduzione del 20% il consumo globale di energia primaria rispetto ai valori del 1990;
- portare al 20% la quota delle fonti di energia rinnovabili nel mix energetico complessivo dell'UE.

Le strategie della politica energetica dell'UE mirano a una rapida adozione e attuazione degli obiettivi del "Pacchetto energia-clima", entrato in vigore nel giugno 2009 dando seguito alle indicazioni del Consiglio europeo, come priorità assoluta; tali obiettivi sono in allineamento con la Direttiva Europea 31/2010 UE sulle prestazioni energetiche degli edifici, conferendo

---

89

Riconosciuto anche con il nome di Pacchetto energia-clima.



**127.** Esempio di riqualificazione ben riuscita. Foto, prima e dopo, del Hughes Warehouse Adaptive Reuse in San Antonio Texas U.S. progettato da AREA Real Estate.

una maggiore importanza alla certificazione delle prestazioni energetiche dei prodotti edilizi.

La prima importante scelta effettuata interessa la riduzione delle nuove costruzioni. Infatti se fino a qualche anno fa gli investimenti in edilizia, relativi alla nuova edificazione, costituivano il 60% del mercato europeo, oggi quasi la metà degli investimenti è rappresentata da interventi di riqualificazione, gran parte dei quali rivolti al patrimonio residenziale privato, responsabile di una buona quota del consumo di energia e di emissioni di gas serra.

Il nuovo concetto dell'abitare sostenibile non fa riferimento solo a ciò che si deve costruire ma soprattutto a ciò che esiste già<sup>90</sup>, non escludendo la sostituzione, parziale o totale, nei casi in cui è necessaria. In definitiva, ottimizzare le performance degli edifici, soprattutto quelli esistenti, è obiettivo indispensabile che può portare a una riduzione dei consumi energetici anche superiori al 40%, andando gradualmente verso edifici

<sup>90</sup> Agendo su quegli edifici e su quei contesti fortemente energivori, andrebbero ridotti e razionalizzati i consumi energetici, diretti e indiretti, attraverso strategie di isolamento e utilizzo di sistemi passivi, facendo contemporaneamente uso di materiali che, valutati nel loro intero ciclo di vita, generano bassi impatti ambientali.

Carbon Neutral e Near Zero Energy<sup>91</sup>. Il rinnovamento edilizio, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi, deve poter adoperare qualsiasi applicazione utile al raggiungimento degli obiettivi, dai principi di bioclimatica alla rifunzionalizzazione architettonica ragionata, dall'uso di materiali eco-compatibili e con bassa energia incorporata all'uso di fonti energetiche rinnovabili, dal riutilizzo delle acque meteoriche al trattamento delle acque di scarico, dalla mitigazione del degrado ambientale alla riduzione del consumo di suolo.

Le direttive dell'UE sono state recepite in maniera differente dai vari stati membri; in taluni casi è stato recepito l'aspetto energetico dell'edificio quale semplice riduzione dei consumi della fonte di energia utilizzata per il riscaldamento, non tenendo conto del tipo di materiale isolante scelto, della sua Embodied Energy.

A titolo di esempio, l'Olanda, unitamente alla Germania e ai Paesi Scandinavi, ha portato un contributo significativo nell'ambito dello sviluppo sostenibile nel settore edile, sia con programmi politici ad ampio raggio che con progetti e realizzazioni sperimentali. In Italia, invece, l'approccio finora utilizzato verso l'edilizia sostenibile è stato quasi esclusivamente concentrato sugli aspetti ecologici e di conservazione dell'energia. Occorre quindi inserire in modo organico obiettivi, priorità e azioni, in un "Piano di azione del Costruire Sostenibile", in grado di veicolare messaggi chiari a tutti gli attori del processo edilizio e della pianificazione.

A tal proposito, le tematiche connesse alle questioni energetico-ambientali suindicate, inducono alla realizzazione di interventi architettonici che tendenzialmente assolvono al compito di contenere i consumi energetici, tuttavia bisogna tener presente che non è un insieme di tecniche adoperabili nel progetto di architettura che rendono un edificio "sostenibile" ma un approccio strategico di tipo culturale che intende ripensare le pratiche dell'architettura mediante principi confrontabili con differenti fattori strettamente connessi che si completano a vicenda e influenzano l'efficienza generale dell'intervento:

- sociali (sensibilizzazione, educazione, partecipazione, sicurezza sociale, ecc.);
- ecologici (materiali da costruzione, energia, rifiuti, rumore, uso del suolo, qualità dell'aria, ecc.);

---

91 Per near Zero Energy Building (nZEB), edificio a energia quasi zero, si intende un edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno, molto basso o quasi nullo, dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia prodotta da fonti rinnovabili, compresa quella da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze. Prioritariamente per la produzione di energia andrebbero utilizzate altre tecnologie non emmissive, attraverso l'uso di fonti rinnovabili, attivando così un circuito produttivo virtuoso e autoalimentato.

- economici (costi-benefici, affidabilità di risparmio energetico, ecc.);
- culturali (norme di comportamento, ecc.);
- architettonici (funzionalità, estetica, comfort, ecc.);
- tecnici (tecnologie innovative, tecnologie di risparmio energetico, ecc.).

L'impatto dei cambiamenti climatici nei prossimi anni richiederà il ricorso a due fondamentali azioni di progettazione: la mitigazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e l'adattamento alle condizioni climatiche future.

La mitigazione è l'obiettivo di riduzione e di contenimento delle emissioni di gas serra, e quindi degli impatti ambientali, derivanti dall'esecuzione di opere architettoniche, che comportano trasformazioni dell'uso del suolo e degli insediamenti umani; l'adattamento prevede azioni finalizzate alla riduzione della vulnerabilità e all'aumento della resilienza agli inevitabili impatti di un clima che sta cambiando.

Alla domanda "ce la faremo?" è difficile dare risposta, probabilmente siamo già in ritardo, ma vale sicuramente la pena provare non essendoci alternative. L'Europa affronta una sfida di notevole portata cercando di introdurre politiche e strumenti in grado, possibilmente, di vincerla. La volontà di modificare il mix energetico del nostro continente si traduce nello sviluppo di numerosi Piani d'Azione a scala urbana, regionale e nazionale. Non a tutti è noto che i nostri governi hanno il 4% del loro bilancio comunitario, circa 8 miliardi di euro, destinabile a progetti di efficientamento energetica, come risultato del disavanzo tra progetti FESR e la capacità di spesa. Il Parlamento Europeo ha infatti emanato una disposizione in base alla quale i fondi non spesi dai Paesi Membri possono essere utilizzati per l'efficienza energetica degli edifici e per l'energia rinnovabile<sup>92</sup>.

I risultati generali delle politiche europee registrati nel 2012 rilevano che:

- le emissioni di gas serra sono diminuite del 18% rispetto al 1990 e, con le politiche attuali, si prevede un'ulteriore riduzione rispetto al medesimo anno del 24% e del 32%, rispettivamente nel 2020 e nel 2030;
- nel 2012 la percentuale di energia finale consumata rappresentata da energie rinnovabili è arrivata al 13% e dovrebbe aumentare ulteriormente, salendo al 21% nel 2020 e al 24% nel 2030;
- alla fine del 2012 era installato nell'UE circa il 44% degli impianti per la produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili presenti nel mondo (escluse le centrali idroelettriche);
- tra il 1995 e il 2011 l'intensità energetica dell'economia dell'Unione europea si è ridotta del 24%, mentre il miglioramento registrato dal

---

<sup>92</sup> "[...] in ogni Stato Membro, le spese per l'efficienza energetica e per l'utilizzo di energie rinnovabili nell'edilizia esistente sono ammissibili fino ad un importo pari al 4% dello stanziamento FESR totale" (Articolo 7 del regolamento (CE) n.1080/2006).

comparto industriale si è attestato intorno al 30%;

- tra il 1995 e il 2010 l'intensità di carbonio dell'economia dell'Unione europea si è ridotta del 28%.

I risultati positivi hanno spinto la Commissione europea a definire gli "obiettivi 40-30-40" per il 2030 che prevedono:

- una riduzione di almeno il 40% delle emissioni interne di gas serra rispetto ai livelli del 1990;
- la produzione di almeno il 30% del consumo finale complessivo di energia da fonti energetiche rinnovabili;
- un'efficienza energetica del 40% in linea con le ricerche sul potenziale di risparmio energetico efficace in termini di costi.

In questo cammino verso uno sviluppo più sostenibile le maggiori responsabilità le hanno sicuramente i governi ma non dimentichiamo che la spinta propulsiva di ogni "rivoluzione" parte dal basso e in quest'ottica ai cittadini è richiesto un grande sforzo culturale nella modifica delle loro abitudini di consumo e dei loro stili di vita.

## 2.3 OLTRE LA CRISI NEL PROGETTO DI ARCHITETTURA

*“Parlare di un’architettura più legata alle molteplici problematiche ambientali significa dare un senso al concetto di architettura [...], la quale non può prescindere da una migliore consapevolezza dei problemi energetici”.*

*Rolando Scarano  
(L’architettura del sole)*

La crisi ambientale delle nostre aree metropolitane, dal nord al sud del mondo, ci obbliga ad alcune riflessioni di metodo su quella che tutti i più grandi intellettuali del nostro tempo stanno ormai definendo una delle sfide centrali della nostra epoca ovvero la necessità di ridefinire il ruolo del sistema antropico nei confronti del sistema naturale su cui insiste. Diviene sempre più incombente capire come affrontare quanto meno correttamente e con consapevolezza l’eccessiva ma inderogabile problematica sul tema dell’ambiente, contraddistinta dall’irreversibile processo di depauperamento e diminuzione delle risorse a disposizione sulla terra e dal crescente insorgere di situazioni di sempre più radicale emergenza ambientale e climatica in ogni punto del pianeta. Siamo chiamati a rivalutare l’importanza delle risorse ambientali o, in altri termini, riferirci agli ecosistemi per definire e riorganizzare in modo strategico le attività insediative, in quanto principali attori dei processi di trasformazione dei territori.

Tra gli anni 1950 e 1960 la gestione dell’acqua sull’involucro dell’edificio era considerata l’unica attenzione ambientale. Con il passare degli anni le cose iniziarono a cambiare, dal 1976 al 1948 lo stesso Tomás Maldonado, pittore, designer e filosofo argentino, insegnò Design ambientale presso l’università di Bologna e in seguito Progettazione Ambientale presso il Politecnico di Milano. Il suo libro “La speranza progettuale. Ambiente e Società”, è una delle prime opere scritte sulla relazione tra ambiente e progetto, in cui si manifesta con fermezza il degrado del nostro ambiente fisico, proponendo come unica via per il recupero ambientale la speranza progettuale. Furono questi

gli anni in cui iniziò a maturare una più moderna visione ambientale della disciplina, l'idea del processo edilizio come sistema<sup>93</sup>, di cui un componente fondamentale, oltre quello tecnologico, era il sistema ambientale. Solo di recente, però, la Composizione si è avvicinata ad una "configurazione sostenibile" su più vasta scala, probabilmente per la forza superficiale che il concetto ha avuto nel pensiero uniforme e per le sue potenziali ricadute sulla professione; in sostanza si è diffusa un'architettura più preoccupata di apparire che di essere utile. Pertanto l'effettiva traduzione del concetto di sostenibilità nell'architettura è ancora in affannosa emergenza, anche dopo quasi trent'anni dalla definizione di sviluppo sostenibile da parte della Dottoressa Gro Harlem Brundtland nel 1987, che avvia un dibattito e l'elaborazione concettuale relativa alle relazioni edificio-contesto, scelta dei materiali, interazione climatologica alle varie scale, coerenza energetica, gestione, manutenzione, demolizione e riciclaggio; tutto viene collocato all'interno del concetto di sostenibilità ambientale.

Dobbiamo credere che le tacite risposte sono soprattutto dovute ad una perdita di competenze e di inadeguatezza del sapere?

Se la crisi del progetto non è solo un problema di competenza, forse questo ritardo affonda le sue radici sulla sconnessa relazione esistente tra l'architettura ed il concetto di sostenibilità. Come ben sappiamo, ogni edificazione prevede l'approvvigionamento di materiali e la loro modifica, tutto mediante un lungo processo che, utilizzando macchine ed operai, dissipa enormi quantità di energia, di gas serra e di rifiuti. Questo passaggio di energia tra l'ambiente e l'oggetto finito non avviene mediante un processo circolare, infatti la costruzione, un prodotto indifferente e concluso, una creazione innaturale, statica, non restituisce nulla di ciò che ha consumato per la propria realizzazione o per il proprio utilizzo e tale andamento non è sostenibile per definizione. L'idea di sostenibilità del sistema insediativo come obiettivo di raggiungimento di uno stato di equilibrio perfetto costituisce quindi un orizzonte progettuale ideale ma quasi impossibile da raggiungere.

Nonostante questa amara confessione che sembra erodere ogni speranza e una crisi economica che si riflette negativamente sull'ambiente antropico e sull'architettura, la crisi energetica ed ecologica costringe il mondo ad una sempre più urgente e severa riflessione sull'attuale modello di sviluppo e sulla sua patologica dipendenza dai combustibili fossili che è per noi un enorme responsabilità.

---

93 L'approccio sistemico è una metodologia che consente di affrontare quella quantità enorme di nozioni, di discipline, di tecniche secondo la teoria generale dei sistemi ovvero scomponendo un fenomeno in parti costitutive in riferimento alla totalità. La logica sistemica consente un approccio al costruire che permette il controllo del tutto attraverso le parti e viceversa, nonché le loro interrelazioni: il sistema edilizio viene suddiviso in due sottosistemi, quello tecnologico e quello ambientale.

L'enorme sviluppo ottenuto tramite le tecnologie al servizio dell'uomo, durante questo secolo, ha portato alla costruzione di un ambiente prevalentemente antropizzato e artificializzato, nel quale è difficile trovare spazi naturali incontaminati. La divergenza tra naturale e artificiale e la preoccupazione nei confronti della deperibilità dell'ambiente naturale non sono nati però in relazione alla quantità degli spazi destinati al costruito, indispensabili all'uomo per abitare, ma piuttosto in rapporto alla qualità di tali spazi. L'architettura, come descritto precedentemente, è un artefatto, è un prodotto dell'attività umana che trasforma uno spazio in un luogo, dotando lo spazio di senso, delimitandolo, dandogli forma e attrezzandolo per renderlo funzionale alle nostre esigenze<sup>94</sup>. Il degrado dell'ambiente avviene anche nel momento in cui l'architettura perde il proprio significato e la propria funzione. Piuttosto va indagata la modalità del costruire, i suoi tempi, e la sua capacità, o incapacità, di rigenerazione.

In quest'ottica, il rispetto dell'ambiente sollecita il progettista alla presa di coscienza che le costruzioni architettoniche sono sottoposte ad una sempre più rapida obsolescenza e che quindi uno dei requisiti che si richiede agli edifici è quello di poter essere rapidamente sostituiti, di essere oggetti facilmente alterabili e trasformabili, flessibili e reversibili. Si deve evitare quantomeno un divenire che comporti un "usa e getta" architettonico con la conseguente formazione di macerie, detriti o ancor peggio costruzioni abbandonate.



**128.** Foto di un edificio belle époque; l'edificio abbandonato, anche se di importante valore storico ed estetico, risulta come un obsoleto volume da cui consegue un degrado urbano.

---

94 Cfr. Giorgio De Michelis, *Aperto, molteplice, continuo*, Dunod, Milano, 1998.



**129-130-131-132.** Foto della Sliding House, di Suffolk UK progettata dal gruppo D R M M . L'edificio è un chiaro esempio di flessibilità degli spazi rivolta al risparmio energetico.

Il degrado dell'ambiente avviene anche nel momento in cui l'architettura perde il proprio significato e la propria funzione. Occorre dunque delineare un metodo di programmazione oltre che di progettazione che gestisca tutte le fasi: nascita, vita e dismissione-riutilizzo. Dunque una responsabilità etica del progettista è quella di non limitare la progettazione alla sola risoluzione dei problemi relativi alla costruzione, ma di prevedere all'interno del processo progettuale:

- le modalità di uso e gestione dell'edificio, ovvero le questioni relative all'adattabilità e alla flessibilità degli spazi ma soprattutto al risparmio energetico;
- le procedure di manutenzione dei componenti, transitando dal concetto di manutenzione come intervento "a guasto avvenuto" alla previsione dell'obsolescenza, ossia alla manutenibilità<sup>95</sup>;
- il metodo di smontaggio e riciclaggio dei materiali al momento della "cessazione" dell'edificio, ossia della fine della sua utilità funzionale, evitando la creazione di luoghi di degrado e di abbandono.

Si sviluppa in questo modo una più matura attenzione verso la vita dell'edificio, tradizionalmente ignorata. Si tratta di manutenzione programmata e di smontabilità degli elementi ormai degradati, in modo tale da prolungare la vita dell'edificio oltre il ciclo di vita utile dei suoi componenti. Si prevede la sostituibilità dei componenti in modo da differenziare la conformazione dello spazio a seconda delle varie esigenze funzionali. Si tratta di prevedere la reversibilità dell'intera costruzione, in modo da poterla smontare e poter riciclare i materiali che la costituiscono quando si è esaurita la sua "vita", o meglio la sua utilità.

Questi nuovi sviluppi<sup>96</sup> basate sull'assemblaggio a secco di componenti si prospettano dunque come tecniche della sostenibilità, in quanto ammettono la disconnessione degli elementi e quindi il recupero dei materiali e la sostituibilità dei componenti.

Come è evidente, nei prossimi anni il settore delle costruzioni è destinato ad intraprendere un processo di innovazione rilevante. Si tratta di uno sviluppo guidato dalle dinamiche della globalizzazione, dall'evoluzione tecnologica e dalla questione energetico-ambientale.

L'innovazione e il know-how faranno sempre più la differenza in termini di qualità, prestazioni, sostenibilità, tempi e costi. Ogni decisione non può

<sup>95</sup> Cfr. Massimo D'Alessandro, a cura di, Dalla manutenzione alla manutenibilità. La previsione dell'obsolescenza in fase di progetto, FrancoAngeli, Milano, 1994.

Claudio Molinari, a cura di, Manutenzioni in edilizia, Nozioni, problemi, prospettive, FrancoAngeli, Milano 1989.

<sup>96</sup> La programmazione della smontabilità e riciclabilità dell'edificio e delle sue parti è idea recente, ma possiamo rintracciarne i prodromi già in opere risalenti alla rivoluzione industriale, come il Crystal Palace di Joseph Paxton del 1851 e il Kibble Palace a Glasgow di John Kibble del 1873.

prescindere da un'attenta valutazione delle ripercussioni e degli impatti che essa determina sull'intero sistema, si pensi a tal proposito alle possibili strategie per la riduzione del consumo delle risorse, alle tecnologie innovative che trasformano la materia in prodotto ma anche all'utilizzo di tecnologie per l'efficienza energetica nel rispetto delle qualità ambientali, culturali, identitarie del territorio, che non devono essere utilizzate come "un puro supporto tecnico"<sup>97</sup>; sono tutti settori strettamente relazionati al progetto d'architettura ma che richiedono il coinvolgimento e quindi il contributo di svariate competenze.

Il tema della cooperazione tra gli attori della filiera rappresenta quindi uno scenario di riferimento interessante e al contempo fondamentale, urgente, non soltanto per superare la crisi, ma soprattutto per ricercare un nuovo e sincero modello di architettura sostenibile e per studiare nuovi livelli di qualità architettonica capaci di offrire risposte adeguate ai bisogni concreti che necessitano di essere soddisfatti.

In questo scenario, in che modo la ricerca può aiutare il progetto di architettura a ridefinire quel ruolo necessario ad affrontare la complessità delle crisi attuali?

Il disfacimento ambientale è quello che più da vicino preoccupa e interessa il progetto e la ricerca in architettura, chiamando in causa le tecnologie, ora come strumento di salvezza ora come concorrenti alla crisi<sup>98</sup>. Il rinnovamento dei processi costruttivi e della produzione di componenti edilizi in un'ottica sostenibile richiede una continua ricerca e sperimentazione di materiali, modalità di assemblaggio e capacità produttive sempre in bilico tra tradizione e innovazione.



**133.** Foto della nuova sede dello Studio Traverso-Vighy, a pochi chilometri da Vicenza; la struttura è interamente montata a secco.

97 A. Magnaghi, (2010), *Il progetto locale. Verso la coscienza di luogo*, Bollati Boringhieri, 1° ed. 2000, Torino.

98 Cfr. Maria Chiara Torricelli, *Oltre la crisi. Lottimismo della ricerca*, *Techne* 01, 2011.



**134.** Foto del Aldar Headquarters, soprannominato anche la conchiglia di Abu Dhabi; l'edificio è un tipico esempio di aggressione innaturale.



**135.** Foto di un tipico Trullo Pugliese, esempio di architettura vernacolare.



**136.** Foto di camini del vento (badgir) a Yazd in Iran, esempio di architettura vernacolare.

Su queste connessioni la ricerca in architettura deve indagare, promuovendo direzioni specifiche per un apporto di eccellenza nella pratica progettuale: tecnologie innovative, prestazionali, efficienti e, allo stesso tempo, mirate alla tutela, alla riqualificazione, al recupero e alla valorizzazione dei territori, del patrimonio costruito, del paesaggio<sup>99</sup>; indirizzi questi che muovono tutti dal superamento dell'idea delle tecnologie come protesi aggiunte ad un edificio pensato altrove.

Già negli anni '70 un teorico come Reyner Banham aveva più volte evidenziato come le innovazioni tecnologiche avessero influenzato la qualità della vita. Erano tempi in cui una tecnologia trionfante e dispersiva dal punto di vista energetico avrebbe condotto sicuramente, come è avvenuto, al collasso e al degrado ambientale. Banham, a quei tempi eterodosso, cercava di spostare l'attenzione della critica contemporanea dalla sola analisi stilistica dell'architettura alla "funzione ambientale" degli spazi e alla loro vivibilità, evidenziando l'importanza della questione ambientale nell'ambito dell'architettura. Generare una sinergia tra linguaggio, innovazione tecnologica, natura ed ecologia del costruito significa attivare possibili nuovi processi, non più casuali ma intenzionali, al fine di relazionare intimamente il sistema architettonico all'ambiente e alla sua storia. I passati avvenimenti dell'architettura sono densi di rapporti contraddittori fra l'oggetto architettonico ed il contesto in cui esso viene inserito. Spesso è la storia di conflitti ed incompatibilità fra aggressioni innaturali e modelli mimetici che negano la stessa trasformazione spaziale per un'eccessiva insicurezza nel modificare.

Il settore scientifico dell'Architettura ha da tempo incorporato la disciplina della progettazione ambientale<sup>100</sup>, dando esplicita visibilità ad approcci già presenti sin dalla fondazione del proprio regolamento, si ricordano le architetture vernacolari, che negli ultimi anni però, a fronte dell'emergere della problematica ambientale, ha subito una notevole estensione semantica e contenutistica.

Si consolidano nella ricerca i temi della climatologia alle varie scale territoriali, dell'ottimizzazione energetica dell'ambiente costruito, dell'utilizzo dei sistemi passivi e attivi a scala di edificio e micro urbana e si approfondiscono alcuni settori specifici: la progettazione del verde, il comfort degli spazi esterni, lo studio dei cicli delle altre risorse naturali quali l'acqua, i rifiuti, l'aria fino all'impostazione della città ecocompatibile.

99 Cfr. Salvatore Settis, *Paesaggio, costituzione, cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino, 2010.

100 Tra gli anni 1990-2000 quasi tutte le sedi accademiche italiane introducono le tematiche ambientali nella ricerca e nella didattica, un campo che ancora oggi necessita di ricerca ed approfondimenti.

La progettazione ambientale non è più una battaglia per l'avanguardia<sup>101</sup>, per gli esploratori, ma una cultura acquisita e consolidata che dal punto di vista operativo ha introdotto molti spazi di innovazione, di sviluppo, di affermazione e di mercato.

Anche Le Corbusier finisce nella trappola del modello unico quando propone una casa che potesse andar bene in qualsiasi luogo e clima, esemplificazione che contrasta con quelle curiosità mediterranee che lo stesso architetto sottolineava nei suoi itinerari.

Generata infatti come alternativa culturale a una tendenza progettuale sempre più esplicitamente autoreferenziale e prioritariamente circoscritta agli aspetti formali dei manufatti edilizi e urbani, questo nuovo orientamento ha progressivamente introdotto metodologie progettuali basate su specifici e inediti apporti analitici e strumentali, provenienti anche da altri ambiti disciplinari che partecipano alla definizione dell'architettura.

Spesso, si parla quasi esclusivamente di “sostenibilità dei materiali e dei prodotti”, legata a tecnologie e norme, vi è soprattutto la necessità di progettare la gestione<sup>102</sup> dell'edificio e a tal proposito esiste una fondamentale “sostenibilità dei metodi e dei processi”, che tende a migliorare la comprensione dei problemi e la qualità delle decisioni, ottimizzando le risorse naturali e garantendo il risparmio energetico.

Non è più la tecnologia che domina, sconvolge e sottomette la condizione ambientale, ma è la condizione ambientale che aggiorna, controlla, indirizza le soluzioni tecnologiche corrispondenti. Il dato ambientale non è più visto quindi come limite, ma come strumento da impiegare in una dialettica del tutto diversa di inserimento e di siner-gica interazione con le risorse dell'ambiente. Sono evidenti le conseguenze sulla cul-tura progettuale.

La sostenibilità e la qualità ambientale diventano i paradigmi di riferimento nei processi di innovazione tecnologica che caratterizzano questa architettura contemporanea mentre gli edifici si convertono nel luogo artificiale dell'ottimizzazione delle risorse naturali, quali l'orientamento, l'illuminazione e la ventilazione, dove la sofisticata scientificità delle tecniche si confronta con l'imprevedibile ciclicità della natura. “La fonte di ogni energia di cui l'uomo ha bisogno per azionare i suoi molti strumenti, sia animati che inanimati, è il sole. [...] La progettazione degli edifici su base scientifica è un'attività che si collega più agli astri che alla terra”<sup>103</sup>.

---

101 Spesso in un recente passato si è parlato di linguaggio dell'architettura sostenibile come uno dei pochi davvero perseguibili nell'architettura contemporanea. Questa intenzione ha portato, e porta ancora oggi, allo sviluppo di architetture che di sostenibile hanno solo il “linguaggio”.

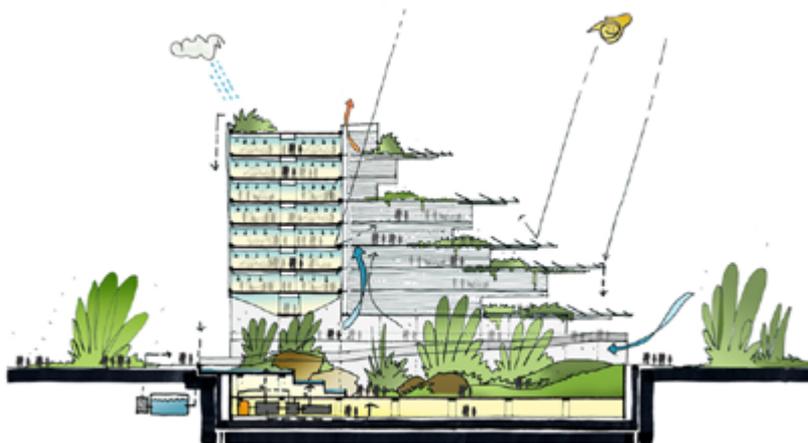
102 Si ricorda che il settore delle costruzioni consuma più del 40% dell'energia prodotta emettendo il 36% di gas serra, come specificato nel paragrafo precedente.

103 Cfr. Buckminster Fuller R., *Nine Chains to the Moon*, Philadelphia, 1938.

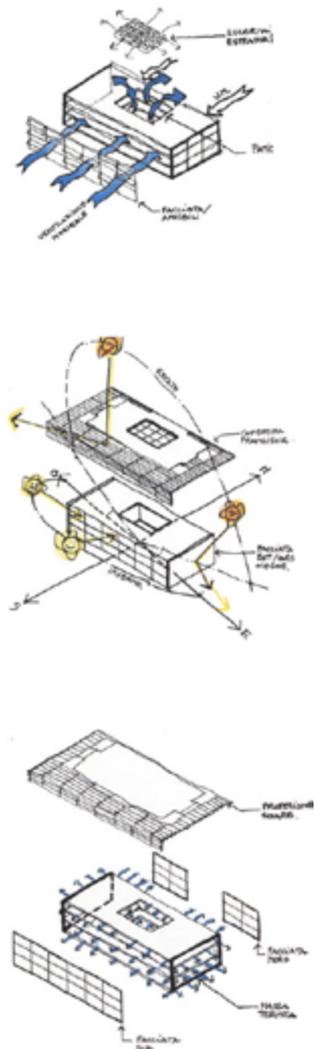


**137-138-139.** Foto dell'edificio Acros Fukuoka, Giappone; caratteristico esempio di linguaggio sostenibile.

**140.** Schema di strategie bioclimatiche del SIEEB di Pechino, progettato da Mario Cucinella Architect.



**141.** Schemi di strategie bioclimatiche dell'edificio iGuzzini di Racanati, progettato da Mario Cucinella Architect.



Solo se saremo in grado di ideare nuove forme del costruire e dell'abitare che puntino allo sviluppo dell'identità, nelle quali la ricerca di una migliore qualità di vita si coniughi al rispetto dei limiti imposti dai principi di natura, ciò che costituisce una necessità ecologica può diventare anche politicamente realizzabile e capace di catalizzare gli interessi della maggioranza. Di fatto, consapevolezza ormai raggiunta è di doversi confrontare con un contesto ambientale che richiede scelte etiche e risparmio energetico. L'affermazione di Norman Foster: "L'architettura solare non è una questione di moda, è una questione di sopravvivenza", acquista connotazioni importanti per il significato diverso che deve avere la progettazione in riferimento ai problemi del degrado ambientale e della vivibilità umana.

Qualsiasi soluzione riguardante la regolazione del comfort interno, la riduzione dei consumi energetici e il controllo dei rapporti tra microclima interno e ambiente esterno, pur soddisfacendo le esigenze di qualità ambientale degli spazi di vita, è fondamentale per il risparmio delle risorse naturali e quindi per evitare il depauperamento dell'ambiente.

L'attenzione posta a queste strategie va a riflettersi quindi in maniera quasi diretta sulla composizione volumetrica dell'edificio e sulla sua conformazione tipologica, sull'orientamento e sulla distribuzione interna degli ambienti, sulle proprietà delle scelte materiche e sulle modalità costruttive.

Tali strategie, propriamente definite bioclimatiche, difatti, coinvolgono principalmente lo studio dell'involucro, in quanto sono i sistemi di chiusura di un edificio a regolare il microclima interno calibrando i flussi energetici e climatici tra l'ambiente interno e quello esterno e quindi a presentare le condizioni adatte per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile. Gli edifici, essendo esposti al sole e alle correnti d'aria, sono in grado da un lato di beneficiare dalla fonte di energia per eccellenza, quella solare, che fornisce l'illuminazione e il calore immagazzinabile mediante masse di accumulo

termico o sfruttabile immediatamente concependo l'edificio come captatore di energia, dall'altro di trarre vantaggio dalle variazioni di pressione e dagli effetti dell'energia eolica; essendo inoltre direttamente a contatto con il suolo terrestre, possono sfruttare il livello costante della sua temperatura oppure l'energia geotermica delle sue profondità maggiori.

Vi sono ulteriori svariate tematiche che rientrano in una concezione bioclimatica dell'architettura, in cui l'armonia con la natura viene stabilita mediante l'utilizzo di prodotti artificiali, tipicamente antropici, ma atti a ottimizzare l'energia e le risorse naturali allo scopo di regolare il comfort interno, è il progettista che, avvalendosi di un comportamento etico nei confronti dell'ambiente<sup>104</sup>, deve essere in grado di adattare le possibilità offerte dall'industria edile per rispondere alle esigenze specifiche del singolo progetto, in relazione al contesto ambientale, ai bisogni di comfort espressi dall'utenza, ai parametri climatici, alle aspettative linguistiche.

Le tecniche bioclimatiche devono entrare necessariamente nella progettazione degli edifici al fine di sfruttare in maniera ottimale l'energia per il riscaldamento o il raffreddamento degli ambienti e quindi presentare un progetto di sfruttamento energetico concepito ad hoc; ciascun edificio deve essere dotato di quei dispositivi che si adattano al meglio alle condizioni topografiche e bioclimatiche locali, sviluppando modalità configurazionali estremamente interessanti e innovative. Le tecnologie tradizionali necessitano di essere ibridate e contaminate con tecnologie evolute legate a nuovi materiali e nuovi componenti dalle prestazioni sempre più specializzate. Tutte le strutture, incluse le abitazioni, diverranno in questa nuova logica, autosufficienti dal punto di vista energetico, convertendo il ruolo della rete da distributrice a compensatrice. Numerosi esempi reali mostrano che tutto questo è possibile. Pur considerando i molti progressi realizzati nel settore delle nuove costruzioni, non bisogna dimenticare che le maggiori potenzialità ecologiche sono nella riqualificazione di ciò che già esiste, ovvero un patrimonio edilizio sfinito da logiche di intervento speculativo, dalla bassa qualità del costruito a cui si è accompagnata l'occupazione degli spazi ancora liberi per l'edificazione che ha generato un drammatico consumo di suolo.

---

104 Fino alla rivoluzione industriale non ci si era mai posto il problema dell'equilibrio artificio-natura, o al limite il senso era opposto a quello attuale, poiché tutti gli sforzi dell'uomo erano tesi a difendersi dall'ostilità della natura, ma dopo gli eccessi nel prelievo delle risorse, operati a seguito dell'introduzione dell'impiantistica e delle macchine, si è reso evidente il superamento dei limiti di sfruttamento della natura. Il soddisfacimento dei bisogni è stato in un primo tempo ottenuto tramite un utilizzo eccessivo degli impianti e tramite un uso enfatizzato delle possibilità raggiunte dalla tecnologia per la regolazione del microclima interno, ma la crisi ambientale ha fatto vacillare il convincimento dell'uomo di poter trarre illimitatamente le risorse energetiche dalla natura. Negli anni settanta i primi sintomi, sotto forma di inquinamento e di esaurimento delle risorse, hanno messo in luce l'incapacità della natura di sopportare il suo uso indiscriminato: nel 1972, con il Rapporto del MIT (Massachusetts Institute of Technology) di Boston su I limiti dello sviluppo, viene dimostrata l'esauribilità delle risorse naturali.

**142-143-144-145-146-147.**

Riqualificazione del National Trust Headquarters di Swindon UK, progettato da Feilden Clegg Bradley Studios, l'edificio per uffici è un buon esempio di riqualificazione con strategie bioclimatiche. Le foto mostrano gli esterni, una corte interna e gli interni.



In un panorama dell'architettura moderna che ha da tempo trascurato i problemi legati all'ecologia, al clima e ai costi di riscaldamento, perché giudicati di facile soluzione, un migliore orientamento e isolamento degli edifici non rappresenta più una possibile alternativa, ma è oggi diventato il minimo imperativo irrinunciabile.

Un atteggiamento orientato alla tutela e alla conservazione del patrimonio esistente presuppone una strategia sostenibile di riutilizzo e adattamento che sappia offrire all'antico nuove opportunità di vita. Il campo della riqualificazione ambientale urbana e quello della manutenzione del territorio, finalizzati alla trasformazione dell'ambiente antropizzato in ambiente ecologicamente compatibile e alla trasformazione delle croste urbane in tessuti organici energeticamente intelligenti e climatologicamente reattivi, rappresentano un importante mercato che, nei prossimi anni, assorbirà forti investimenti, spingerà la ricerca, quindi la domanda e il mercato di conoscenze e materiali alternativi.

L'architettura e l'edilizia presentano elevate potenzialità di intervento nello sviluppo sostenibile dell'ambiente e pertanto noi tutti siamo chiamati a compiere ogni sforzo per incrementare il rendimento energetico dei materiali sia nella costruzione degli edifici che nel loro utilizzo. Ciò che appare assolutamente necessario è prendere coscienza dell'intero problema ed essere disposti a un radicale cambiamento di mentalità, una questione questa che nessun architetto o committente o semplice cittadino si è mai posto con la dovuta attenzione<sup>105</sup>. L'atteggiamento di fondo viene espresso in maniera molto chiara anche da Peter Eisenman, che dice: "Affrontare il tema

105 La tendenza di un cambiamento necessario sarà determinata non solo dalle necessità naturali o dalla cura delle risorse, ma saranno piuttosto gli obiettivi politici e le norme culturali a decidere quali forme dovrà assumere uno stile di vita ecologicamente consapevole.

della sostenibilità è per me come affrontare il tema della procreazione. Sono forse contro la procreazione? Certamente no. Ma sarei disposto a passare il mio tempo procreando? Direi proprio di no. Preferirei invece andarmene a vedere una partita di baseball”. La sostenibilità sembra essere ancora oggi un tema ostico per intellettuali e creativi.

Affrontare i prossimi anni in maniera responsabile vorrà dire coinvolgere i prodotti dell'architettura e soprattutto i metodi della progettualità in una nuova etica del progetto, in cui la sopravvivenza dell'uomo e dell'ambiente siano un'unica e inderogabile esigenza. “L'ambiente non viene inteso come una realtà neutra [...]. Individui e ambiente formano, in questa prospettiva, una coppia inseparabile”<sup>106</sup>.

Sicuramente l'architettura da sola non potrà essere il soggetto sostenitore di un cambiamento ecologico dei comportamenti umani ma potrebbe decisamente contribuire alla rifondazione ideologica del concetto di vivibilità su questa terra e alla generazione di una nuova spazialità maggiormente sensibile all'ambiente.

---

106 Cfr. Cristina Grasseni e Francesco Ronzon, *Pratiche e cognizione. Note di ecologia della cultura*, Meltemi editore, Milano 2004.

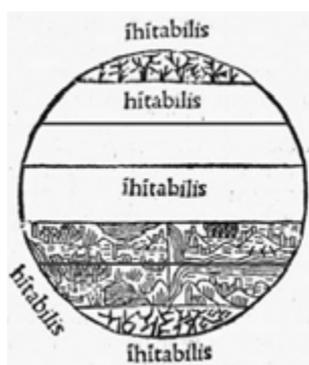
## 2.4 RISORSE AMBIENTALI E CONTROLLO CLIMATICO PER LA CONFIGURAZIONE ARCHITETTONICA

*“La ricerca della qualità ambientale è un’attitudine ancestrale a stabilire un equilibrio armonico tra l’uomo e la natura che lo circonda. Praticata per necessità per molti secoli, in particolare nell’architettura locale e vernacolare, è caduta in disuso dopo la rivoluzione industriale, in un’epoca in cui l’uomo ha creduto nella propria onnipotenza e ha attinto senza misura alle risorse del pianeta”.*

*Dominique Gauzin-Müller  
(Architettura sostenibile)*

In passato l’attenzione al luogo e al suo clima ha costantemente ricoperto un ruolo fondamentale nel costruire, per millenni infatti il possibile insediamento e la forma dell’architettura è stata influenzata dai materiali reperibili localmente per la propria realizzazione e dalla ridotta o assente disponibilità energetica che non permetteva ai progettisti di poter ignorare le componenti climatiche che inevitabilmente contribuivano quindi a definire le scelte di progetto, quanto più le condizioni climatiche risultano estreme tanto più rigide e determinate risultano essere le soluzioni possibili. Questa condizione di controllo tecnico-materico ha fortemente dimensionato l’immagine complessiva dell’opera architettonica ma ha anche portato alla realizzazione di edifici di indubbia qualità formale e di qualità costruttive tali da renderli modello di riferimento ancora oggi.

La storia dell’architettura spontanea è piena di esempi di adattamento al clima. L’astronomo inglese Giovanni Sacrobosco nel suo *Sphaera Mundi* (1230 ca), proiettò le cinque zone celesti virgiliane sulla terra facendo coincidere la zona centrale con la condizione ‘ihitabilis’ (inabitabili), dovuto al calore eccessivo del sole, così come le ulteriori due zone coincidenti con i poli della terra, ‘ihitabiles’ per l’intenso freddo<sup>107</sup>. Solo le zone temperate venivano ritenute



**148.** Schema delle regioni climatiche di Giovanni Sacrobosco dal suo trattato *Sphaera Mundi*, 1230 ca.

<sup>107</sup> Cfr. Victor Olgyay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & c. editore, 1981.

adatte alla vita, la maggior parte delle civiltà del mondo classico coincide con quelle. La classificazione di Sacrobosco ad un'analisi poco attenta farebbe pensare che nelle zone temperate, come nelle regioni mediterranee, si potrebbe immaginare che le condizioni ambientali influenzino meno l'architettura mentre, proprio nei climi in cui vi sono molteplici ma lievi variazioni climatiche, le soluzioni sono strettamente legate al microclima locale specifico e agli aspetti delle culture materiali. Esistono problematiche legate al freddo invernale e quelle legate al caldo estivo, entrambe con apporti di umidità più o meno intensi che producono effetti anche molto diversi, ma il problema delle stagioni intermedie, con le condizioni di caldo e di freddo che si possono presentare in rapida successione e in breve distanza di tempo, risulta il fattore più critico. La difficoltà di risolvere contemporaneamente problemi opposti dovuti alle articolate interazioni dei climi temperati, richiede un'architettura definita "dalla complessità climatica".

Nel suo libro *La progettazione ambientale*<sup>108</sup>, James Marson Fitch sottolinea il fatto che tutti gli esseri viventi, tra cui gli animali, adoperando i fenomeni naturali a proprio favore, realizzano la propria tana in modo da ottenere condizioni ambientali migliori rispetto a quelle dell'ambiente esterno e quindi più adatte allo svolgimento delle loro attività. In seguito alla rivoluzione industriale è invece iniziata a prevalere l'assurda convinzione che gli edifici potessero essere costruiti indistintamente con identiche caratteristiche per qualsiasi condizione climatica, assegnando esclusivamente agli impianti il compito di correggere le condizioni del mancato benessere all'interno degli ambienti. "Pensare che la tecnologia possa compensare ogni lacuna lasciata da scelte che si concentrano sul solo disegno della forma comportando un maggior consumo di energia e di materiali significa travisare il senso stesso dell'atto di costruire"<sup>109</sup>.

È altrettanto vero, non per giustificare, che le tendenze del mercato, nel richiedere tempi di costruzione ridotti e a costi limitati in aggiunta ad un basso valore economico dell'energia, hanno portato all'exasperazione di alcuni criteri progettuali, sviluppando una propensione, da parte dei professionisti e dei costruttori, a fare sempre più affidamento sulle tecnologie attive, limitando la progettazione degli edifici ad un atto formale essenziale. Intanto, il distacco dai criteri di progettazione che tenevano conto dei fattori ambientali a cui si somma il massiccio utilizzo del cemento armato che si sostituisce, in tutto o in parte, ai materiali locali e alle soluzioni passive e tecnico-costruttive tradizionali, non avvengono senza arrecare conseguenze sia in termini di perdita di conoscenza dei tradizionali saperi legati alle culture



**149-150.** Foto di termitai del Kenya.

108 Cfr. James Marson Fitch, *La progettazione ambientale*, Franco Muzzio editore, Padova, 1980.

109 Cfr. Sergio Los, *Processo: progettare e costruire edifici sostenibili* in Maria Antonia Barucco, Dario Trabucco, *Architettura\_Energia*, EdicomEdizioni, 2007.

costruttive locali che, soprattutto, di impatto ambientale. “La rimozione della dimensione ‘naturale’ del costruire, che ha connotato l’era fisiocratica, ne ha trasformato il significato e gli esiti”<sup>110</sup>.

Con le intenzioni di questo malsano principio di internazionalizzazione costruttiva e sotto la spinta del capitale e dell’industria, nella seconda metà del XIX secolo si realizza il rinnovamento della città in senso moderno. La grande città europea oltrepassa violentemente le mura che ne contenevano il perimetro, svincolandosi anche psicologicamente da quella recinzione che in un certo senso rappresentava il ricordo del passato e la separazione del moderno dall’antico. Si assiste quindi ad un’enorme esplosione urbana, emblema della fiduciosa speranza nel progresso, di cui la “nuova” architettura ne rappresenta i detriti.

Da questo momento in avanti l’architettura intraprende nuovi percorsi estetici e formali, fine a se stessi, sperimentando complesse articolazioni compositive e progressive smaterializzazioni dell’involucro, contando sull’innovazione e sulla tecnologia come unico rimedio a ciò che l’estetica e l’espressione erano costrette a sacrificare. Lo stesso Walter Gropius, durante gli anni del decadimento dell’architettura del movimento moderno nell’International Style, precisava il ruolo del clima e del contesto: “il carattere regionale non può essere conseguito attraverso un’interpretazione sentimentale o limitativa, incorporando antichi emblemi o nuove mode locali, che spariscono tanto rapidamente, quanto appaiono. Però se si adotta un ‘differenziale di base’ imposto al progetto architettonico dalle condizioni climatiche, si può ottenere come risultato una diversità di espressione se l’architetto utilizza la relazione di contrasto tra l’interno e l’esterno come idea per la concezione del progetto”<sup>111</sup>.

Più di recente, come se non bastasse, grazie alle innovazioni tecnologiche e ai nuovi materiali, importati anche da altri settori produttivi, l’architettura, favorita da una tecnologia che rende possibile ogni sperimentazione, ha oltrepassato il limite formale imposto dai materiali cosiddetti tradizionali. “Ne derivano progetti in cui la tecnologia è costretta a forzare la natura stessa dei materiali, contrastando le leggi fisiche per seguire voli pindarici che possono dar esito ad interessanti risvolti compositivi ma che si rivelano fortemente contraddittori sotto il profilo statico-costruttivo, quanto decisamente inefficienti sotto il profilo tecnico-funzionale”<sup>112</sup>.

---

110 Cfr. Renato Morganti, Alessandra Tosone, Processi trasformativi del costruito e sostenibilità. Orientamenti e indirizzi operativi in Jacopo Gaspari, “Sfide per una dimensione sostenibile del costruire”, EdicomEdizioni, 2009.

111 Cfr. Walter Gropius, Per un’architettura totale tradotto da Giovanni Alberti, Abscondita - milano, 2007.

112 Cfr. Giovanni Zannoni, I limiti della composizione architettonica tra possibilità tecnologiche e aspetti di sostenibilità in Jacopo Gaspari, Sfide per una dimensione sostenibile del costruire, EdicomEdizioni, 2009.



**151-152.** Foto della Università di Tecnologia di Sydney progettata da Frank O. Gehry, esempio di progettazione formale.



L'uomo tecnologico, al contrario del predecessore, l' homo faber che si adattava all'ambiente circostante per il proprio modo di vivere, elabora strumenti al fine di condizionare l'ambiente al proprio stile di vita. Fino ad oggi però la spinta dell'architettura verso l'appropriazione tecnologica è risultata deludente, sfacciata, completamente indifferente all'ambiente. "L'ecosistema, da scenario sconfinato talora amico, spesso onnipotente nemico, sta diventando vittima dell'uomo tecnologico"<sup>113</sup>. Esaminando l'andamento dell'edilizia degli ultimi quarant'anni si riscontra che l'aumento dei costi degli alloggi è principalmente legato all'incremento del valore delle aree edificabili e, soltanto in quota ridotta, al costo dei materiali e della mano d'opera. In tale contesto, il valore di mercato del prezzo degli alloggi risulta indipendente, sconnesso da una qualità intrinseca dell'edificio, con il risultato che qualsiasi miglioria apportabile rischia di rendere l'edificio poco appetibile al mercato. Questo contorto meccanismo conduce gli imprenditori del settore a valutare con enorme preoccupazione ogni imposizione normativa che richiede una qualità superiore del costruito. Il risultato è un appiattimento edilizio a cui consegue un squilibrio con l'ambiente e un notevole discomfort, perché "una scatola per l'abitare" costruita in Trentino non può avere le medesime fattezze di una sita in Sicilia, e così via nel resto del mondo. I risultati di questa progettazione sono edifici che funzionano peggio del clima e, in talune condizioni ambientali, risultano invivibili se privi di condizionamento meccanico; il principale aspetto di criticità che accompagna questo processo di forzatura e di adattamento a posteriori, del progetto tecnologico rispetto a

113 Cfr. Luigi Sertorio, *Storia dell'abbondanza*, Bollati Boringhieri, Torino, 2000.

quello architettonico, ruota inevitabilmente intorno all'uso dell'energia. Tale malcostume che ha portato ad un meccanismo energivoro esige oggi, con immediata necessità, una nuova e differente forma di controllo dei processi trasformativi dell'ambiente costruito attraverso cui ricostruire una nuova metodologia progettuale, connotata in termini etici da un principio di responsabilità.

Si è giunti così a dover valutare attentamente il problema della compatibilità dell'architettura con l'ambiente, quasi come se si fosse dimenticato che in passato il rapporto spontaneo tra architettura e natura era alla base stessa dell'arte del costruire. "Quello che continua ad essere ancora l'equivoco di molti, ogni qualvolta si accenni agli esempi famosi di architettura spontanea è di credere che con questo si voglia incitare ad un "ritorno alla natura" quando tale ritorno è ovviamente impossibile e insensato"<sup>114</sup>. Questa nuova visione, infatti, non richiede un ritorno alle pratiche tecnico-costruttive ormai sorpassate ma cercare il giusto equilibrio tra le esigenze di sviluppo della società e la conservazione delle risorse naturali, da cui scaturisce la garanzia di vedere soddisfatte le esigenze di benessere primarie dell'uomo e quindi un'architettura per l'uomo in armonia con l'ambiente. Operando secondo l'ottica della tecnologia ambientale, oltre ad apportare vantaggi all'ambiente vissuto, si potrà operare una effettiva rivoluzione nell'architettura che potrà risultare nuovamente convincente.

La nuova sfida dell'architettura riguarda quindi queste tematiche: creare un'architettura per l'uomo e compatibilità con l'ambiente, puntare ad una consapevole riduzione dei consumi energetici, ripensare all'essenza stessa dell'architettura.

"Un interessante modello per descrivere le relazioni che legano l'edificio e il suo intorno è quello di considerare l'edificio come parte componente di un ecosistema naturale che mantiene complesse relazioni energetiche con l'ambiente che lo circonda"<sup>115</sup>.

Lo stato energetico interno di un edificio è determinato dall'equilibrio tra l'energia fornita e quella persa dall'edificio in relazione alla sua capacità di accumulo. Questo stato in maniera approssimata si riferisce alla "temperatura risultante"; in relazione alle condizioni climatiche e all'uso si possono ottenere periodi di tempo in cui si ha eccesso o necessità di energia all'interno.

Obiettivo di un progetto efficiente energeticamente è quello di ottimizzare i sistemi passivi di controllo atti a regolare simultaneamente i guadagni energetici naturali e le perdite attraverso l'involucro dell'edificio.

Reiner Banham distingue tre modelli che denotano le caratteristiche

---

114 Cfr. Gillo Dorfles, *Artificio e natura*, Einaudi, Torino, 1968.

115 Cfr. Rafael Serra, *Clima Lugar y Arquitectura*, Manual de Diseño Bioclimatico, CIEMAT, 1989.

energetiche di un edificio<sup>116</sup>:

- modello conservativo, tale modello si basa sull'impiego di grandi masse murarie con grandi spessori poche aperture di dimensioni ridotte e volumi compatti. La tecnica è quella di aumentare al massimo l'inerzia termica dell'involucro edilizio per evitare che le condizioni termo-igrometriche ricreate all'interno si disperdano all'esterno, un controllo conservativo; lo si adotta per climi estremi, caratterizzati da valori delle temperature estremamente alti o bassi. L'involucro è concepito come una caverna, dove fa fresco d'estate e caldo d'inverno perché è tutto chiuso su se stesso, spesso, pesante e privo di aperture.
- modello selettivo, intende filtrare all'esterno le condizioni climatiche desiderate all'interno. Per tale motivo ricorre ad elementi tecnologici che regolano il passaggio della luce del sole per l'illuminazione e il riscaldamento passivo. E' tipico dei climi tropicali, contraddistinti da elevati valori di umidità relativa, soleggiamento e ventilazione.
- modello rigenerativo, incarica l'impianto di condizionamento artificiale di ricreare le condizioni termo-igrometriche desiderate all'interno. Tale modello ha un senso solo quando si serve di energia derivante da fonti rinnovabili. È ovvio che per la sua indipendenza dall'ambiente esterno, può essere adottato a tutte le latitudini e in tutte le condizioni climatiche.

Dalla fusione di questi tre modelli si ricava un modello energetico ecoefficiente, ambientalmente interattivo, che tende a realizzare architetture che non gravino sull'ambiente perché completamente integrato ad esso:

- modello bioclimatico avanzato, indica una totale armonia tra edificio e contesto, una sintonia che consente di raggiungere ottimali condizioni climatiche interne. La progettazione architettonica secondo tale modello tiene in considerazione la presenza e l'importanza di tutti gli elementi naturali, qualsiasi dettaglio viene progettato tenendo conto dell'influenza dell'ambiente esterno.

In tutti i casi il comportamento energetico di un edificio è il risultato della combinazione delle scelte progettuali, più o meno casuali, dei modelli di Banham, più si raggiunge un equilibrio tra le tre parti in relazione al contesto maggiore sarà la corrispondenza ad un modello bioclimatico avanzato che scaturisce quindi da un corretto bilanciamento dei differenti modelli strategici in un'architettura per l'uomo ed in sintonia con l'ambiente.

L'approccio bioclimatico<sup>117</sup> alla progettazione, che si sviluppa alla fine degli

---

116 Cfr. Reiner Banham, (a cura di Giovanni Morabito), Ambiente e tecnica nell'architettura moderna, Editori Laterza, 1993.

117 Il termine bioclimatico deriva dalla disciplina della bioclimatologia, ideata da Wladimir Köppen il quale, usando come criterio la relazione tra clima e vegetazione, individuò

153-154-155-156-157-158-159.

Foto della Federal Environmental Agency di Dessau DE progettata dagli Architetti Sauerbruch & Hutton, esempio di progettazione bioclimatica avanzata.



anni '50 con Victor Olgyay<sup>118</sup>, definisce questo nuovo metodo per relazionare le scelte di progetto con le condizioni climatiche locali anche tramite una serie di analisi e procedure di verifica che consentono di orientare consapevolmente le scelte morfologiche, di localizzazione, di orientamento e tecnologiche. Questa sperimentazione ha avuto il grande merito di produrre un ripensamento metodologico, recuperando le regole antiche del costruire legate al microclima locale e ad altre risorse locali disponibili, desideroso di porre fine ad una cultura progettuale da modello rigenerativo di Banham.

Il metodo di Olgyay ha quindi come obiettivo la realizzazione di edifici energeticamente efficienti, adatti a soddisfare al meglio le esigenze fisiologiche degli utenti, mediante lo sfruttamento equilibrato delle potenzialità naturali del contesto ambientale e dei fattori climatici del luogo. A tale approccio si possono aggiungere i benefici ottenibili mediante l'impiego delle energie rinnovabili, in particolare dell'energia solare, limitando l'uso dei sistemi attivi di climatizzazione sia estiva che invernale e l'impiego di energie fossili. È convinzione ormai radicata che l'impiego dei sistemi che sfruttano le risorse rinnovabili per il raggiungimento dell'efficienza energetica siano lo strumento in grado di 'correggere' quei processi progettuali che non considerano pragmaticamente la relazione tra l'edificio e l'ambiente biofisico e bioclimatico.

È così che l'innovazione tecnologica dovrebbe entrare nel progetto di architettura, attraverso una nuova dimensione, quella della consapevolezza, che consente di mettere a sistema le componenti ambientali, tecniche, economiche ma ugualmente quelle culturali e sociali, rivestendo un ruolo cruciale come veicolatrice di conoscenze, contenuti e metodi che sempre più

---

cinque zone climatiche fondamentali che, in linea di massima, corrispondono alle cinque principali caratteristiche vegetali del mondo: deserto, foresta di latifoglie e di conifere, foresta pluviale, savana-steppa, tundra. Questa classificazione climatica è la più usata tra le classificazioni climatiche a scopi geografici.

118 Per maggiori approfondimenti cfr. Victor Olgyay, op.cit.

dovrebbero tendere a caratterizzare il progetto di architettura, sottolineando l'importanza dell'integrazione con l'edificio e di quest'ultimo con l'ambiente, in un sistema che diventi organico, in modo tale da ottenere un bilancio ecologico positivo.

Bisogna precisare che con sistemi bioclimatici non si fa riferimento tanto all'insieme delle tecnologie hard, quanto al controllo dell'informazione che implica l'integrazione di tecnologie soprattutto soft nel processo di progettazione. Il problema di tali tecnologie non può essere risolto cercando unicamente di sovrapporre alla costruzione o, ancor peggio, di camuffarle all'interno delle strutture dell'edificio, occorre piuttosto esaltarne le potenzialità formali e tecnologiche, ponendo eventualmente la componente energetica alla base del linguaggio progettuale. Da qui la necessità di una strettissima relazione tra tecnologia ed edificio.

In quest'ottica la possibilità di nuove opportunità tecnologiche non è intesa come un'assenza di vincoli che permette totale libertà immaginativa, ma di assumere responsabilmente le scelte più appropriate per ottimizzare il processo di costruzione.

La tecnologia diviene dottrina dei processi di trasformazione, volta per la sua stessa natura, quindi, a guidarli e a motivarli, "una tecnologia della mediazione, una scienza riparatrice in grado di ricercare un nuovo equilibrio tra uomo e ambiente"<sup>119</sup>.

La progettazione bioclimatica permette quindi di rendere gli edifici efficienti dal punto di vista energetico attraverso il controllo passivo delle condizioni microclimatiche e mediante un'attività progettualmente consapevole nell'uso delle risorse disponibili, ricerca ogni soluzione che, semplice o composta, abbia come risorsa una fonte energetica rinnovabile e contribuisca non solo all'immediato soddisfacimento di un'esigenza funzionale, ma al più ampio bisogno di limitare l'uso e il consumo dell'ambiente, nell'ottica di una visione sostenibile del processo di costruzione.

"L'interesse del progetto va allora all'attivazione di un processo osmotico tra società e ambiente, tra la cultura tecnologica che questa società produce e l'ambiente nel quale essa vive, in un rinnovato patrimonio di contenuti che delinea, in prospettiva, la condizione umana come progetto, in cui la tecnica sposa le motivazioni dei migliori valori umani e ambientali, capovolgendo il senso della corsa all'accentramento, all'appropriazione totalizzante del supporto naturale, alla standardizzazione indiscriminata dei luoghi, dei beni e dei comportamenti"<sup>120</sup>.

---

119 Cfr. Giuseppe Ciribini, *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino 1984.

120 Cfr. Salvatore Dierna, *Architettura biologica: assunti teorici e pratiche di progetto* in Alessandra Battisti, Fabrizio Tucci, *Ambiente e Cultura dell'Abitare*, Editrice Librerie Dedalo, Roma 2000.

## 2.5 IMPLICAZIONI CONNESSE AL LUOGO

*“Il procedimento desiderabile sarebbe quello di lavorare con e forze della natura, non contro di esse, e sfruttare le loro potenzialità per creare migliori condizioni di vita. La struttura che, in un determinato ambiente, riduce gli stress indesiderabili e allo stesso tempo utilizza tutte le risorse naturali favorevoli al comfort umano può essere definita ‘climaticamente equilibrata’”.*

*Victor Olgyay*

*(Progettare con il clima, un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico)*

Per quanto detto in precedenza, occorre tenere presente che le finalità dell'architettura bioclimatica non possono essere limitate alla necessità di contenere le spese energetiche. Risulterebbe notevolmente riduttivo porre quest'ultimo problema come unica anche se importante giustificazione per l'approfondimento delle metodologie bioclimatiche. Ragionando per ipotesi, al solo scopo di contenere i consumi energetici, la ricerca si sarebbe conclusa essenzialmente indagando l'involucro esterno degli edifici, concependo un sistema chiuso su sé stesso, sigillato ermeticamente, al fine di controllarne le dispersioni in modo ottimale, ottenendo il desiderato microclima medio interno, la minimizzazione delle dispersioni e la conseguente riduzione del costo economico dell'approvvigionamento energetico. Ma non è il nostro scopo.

Il binomio uomo/ambiente risulta uno dei temi cruciali nel ridefinire un approccio sostenibile alla progettazione, i comportamenti umani all'interno di un edificio, quelli dipendenti dal comfort, rivelano e qualificano, in gran percentuale, il funzionamento di un edificio, quindi l'esito delle previsioni del progettista.

Il rapporto fra l'ambiente costruito dall'uomo ed il clima non nasce certo con la crisi energetica ma esiste da millenni. In fondo non è altro che un particolare aspetto del rapporto esistente fra l'uomo stesso ed il clima, rapporto che ha generato prima la localizzazione degli insediamenti umani

e poi la necessità di correggere condizioni climatiche non ottimali, laddove la localizzazione dell'insediamento stesso è dipesa da motivazioni diverse da quelle climatiche.

In passato l'uomo era convinto che il clima avesse notevoli effetti sulla propria fisiologia e sul proprio temperamento. Più di recente gli interessi si sono concentrati sul rapporto tra energia umana e ambiente. Il geografo statunitense Ellsworth Huntington ha postulato delle condizioni climatiche ritenute ottimali per il progresso umano:

- temperatura media da circa 5°C nei mesi più freddi a circa 21°C in quelli più caldi;
- venti o tempeste frequenti, per mantenere abbastanza alta l'umidità relativa (ad esclusione dei periodi più caldi) e fornire pioggia in tutte le stagioni;
- una successione costante di temporali ciclonici che producano frequenti, moderate variazioni di temperatura, ma non siano tanto forti da provocare danni.

Agli inizi del '900, Jean Gaspard Dollfus<sup>121</sup> esamina e campiona le abitazioni in tutto il mondo allo scopo di confermare che le caratteristiche distintive sono il risultato della volontà di raggiungere come obiettivo principale le condizioni termostatiche. Secondo l'autore infatti, gli stili edilizi sono definiti dalle zone climatiche più che dalle frontiere nazionali; pur con qualche variante locale dovuta ad un gusto tradizionale, le forme generali delle abitazioni sono strettamente relazionate all'ambiente.

Quando le condizioni climatiche esterne sono prossime a quelle interne di benessere non si hanno molti problemi energetici per gli edifici. I problemi nascono quando le condizioni esterne si allontanano da quelle di benessere interne e in misura tanto maggiore quanto maggiori sono gli scarti fra le due condizioni climatiche.

Il fisiologo statunitense Walter Bradford Cannon sosteneva che: "La creazione di uno stato quasi termostatico nei nostri edifici dovrebbe essere considerato come uno dei più apprezzabili progressi nell'evoluzione degli edifici".

La progettazione di un edificio, pertanto, deve tenere conto in modo assoluto del clima esterno e non può essere plagiata senza tenere conto delle conseguenze che le variazioni climatiche comportano.

Dal punto di vista termo-igrometrico, alla scala edilizia occorre analizzare le quantità e le qualità degli scambi tra l'organismo umano e l'ambiente circostante, in sintonia, s'intende, con l'evolversi della struttura dei comportamenti, connessi a motivazioni di ordine socioeconomico e culturale variabili nel tempo e nello spazio.

---

121 Cfr. Jean Gaspard Dollfus, *Les aspects de l'architecture populaire dans le monde*, Paris 1954, in Victor Olgyay, op.cit.

Pertanto contrariamente a quanto auspicato dal modello internazionale non si tratta di pervenire alla definizione di un modello di organizzazione spaziale generalizzato, valido a tutte le latitudini e riconducibile ad una prefigurazione univoca della forma architettonica.

Il processo per definire una casa equilibrata climaticamente, come descritto da Olgyay, si può dividere in quattro fasi, di cui solo l'ultimo riguarda l'espressione architettonica.

Questo procedimento infatti vede la combinazione delle prime tre fasi di analisi (climatica, biologica e tecnologica) in un'unità architettonica.

Specificamente, la sequenza per l'aggiustamento ambientale è la seguente<sup>122</sup>:

1. La prima fase è uno studio degli elementi climatici di una determinata località, prendendo in esame le caratteristiche annuali, preferibilmente un arco temporale lungo di circa 30 anni, che riguardano elementi come la temperatura, l'umidità relativa, la radiazione solare e gli effetti del vento. È opportuno prendere in considerazione gli effetti modificati dalle condizioni microclimatiche.
2. Dato che in architettura il metro fondamentale è l'uomo e gli edifici sono destinati a soddisfare i suoi bisogni biologici, la seconda fase è quella di valutare ogni termine climatico in termini fisiologici, basata sulle sensazioni umane. Riportando i dati climatici sul diagramma bioclimatico (psicrometrico) a intervalli regolari si otterrà una "diagnosi" del luogo, con l'implicazione di ogni elemento climatico. Si ottengono così, per ogni data dell'anno, le misure necessarie per ristabilire le condizioni di comfort.
3. Successivamente alla formulazione dei requisiti, è necessario studiare le soluzioni tecnologiche da applicare ad ogni problema di comfort climatico, intercettando gli effetti svantaggiosi e sfruttando quelli vantaggiosi nel momento giusto e nella quantità adeguata. Questa necessaria funzione dovrebbe analizzare:
  - a. La scelta del sito, effettuabile negli intervento ex-novo.
  - b. L'orientamento, condizionata dalla radiazione solare, sia per gli aspetti positivi (riscaldamento nei periodi freddi) che per quelli negativi (surriscaldamento nei periodi caldi). Bisogna trovare il giusto equilibrio tra "periodo sottoriscaldato" e "periodo surriscaldato".

---

122 Le informazioni sono riportate in estrema sintesi, per approfondimenti sull'argomento:

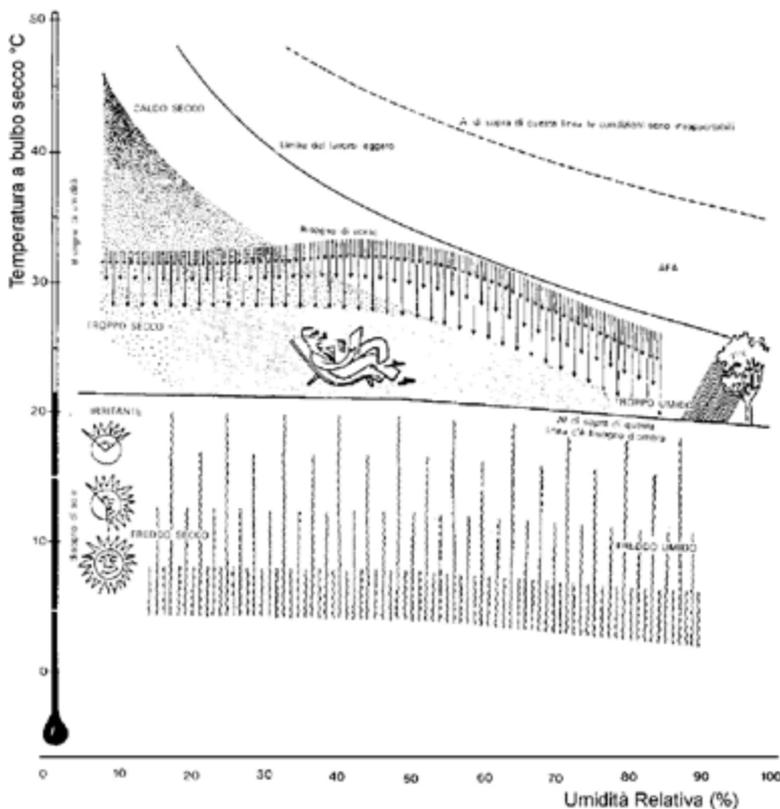
cfr. Victor Olgyay, *op.cit.*;

Cfr. Alessandro Rogora, *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*, Wolters Kluwer editore, 2012;

Cfr. Stefano Comandini, Andrea Del Fiume e Andrea Ratti, *Architettura sostenibile*, Pitagora editrice, Bologna, 1998.

- c. Il calcolo delle ombre, come per l'orientamento, si basa sul principio di favorire le radiazioni solari nei periodi sottoriscaldati e ostruire le stesse nel periodo surriscaldato.
  - d. Le forme degli edifici, di cui sono stati individuati i seguenti principali parametri: la compattezza, la forma della pianta, la snellezza, la forma della sezione e la porosità.
  - e. I movimenti dell'aria che possono essere suddivisi in venti e brezze, a seconda della loro desiderabilità. I venti dovrebbero essere intercettati poiché ricorrono nei periodi sottoriscaldati, contrariamente le brezze andrebbero intercettate per rinfrescare nei periodi surriscaldati.
  - f. L'equilibrio della temperatura interna che può essere ottenuta anche attraverso il corretto utilizzo dei materiali.
4. Infine, i risultati delle prime tre fasi di analisi dovrebbero essere combinate per dar forma all'applicazione architettonica.

**160.** Diagramma bioclimatico di Victor Olgay<sup>123</sup>.



123 Per ulteriori informazioni sul diagramma bioclimatico di Victor Olgay e del suo uso, cfr. Victor Olgay, op.cit.

### **3 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE PER IL RISPARMIO ENERGETICO E IL BENESSERE AMBIENTALE**



Qualsiasi tipo di edificio dovrebbe garantire agli utenti condizioni di utilizzo superiori alla mera sopravvivenza, sembrerebbe una considerazione lapalissiana ma non è affatto così, gran parte degli edifici funziona “peggio del clima” e nel migliore dei casi la sopravvivenza è garantita solo da fonti energetiche non rinnovabili. Tali condizioni di “degrado” sono talmente diffuse da essere scambiate, di consueto, come ordinaria qualità dell’abitare. L’obiettivo di un progettista dovrebbe essere quello di creare spazi di qualità idonei allo svolgimento delle funzioni primarie, realizzare, nel miglior modo possibile, un organismo architettonico capace di lavorare con le forze della natura, non contro di esse, e sfruttare le potenzialità climatiche per creare migliori condizioni di vita.

Infondo costruire, in passato e per lungo tempo, ha rappresentato un’attività specifica di mediazione tra l’uomo e l’ambiente naturale. La costruzione, in quanto rifugio, definiva quella dimensione di meso-ambiente capace di garantire la sostenibilità dell’esistenza umana. In questo senso l’abitare è stato per molto tempo un’attività tutta interna alla sfera della natura; le volumetrie, le articolazioni spaziali, le configurazioni degli elementi predisposti al controllo del confort climatico derivavano specificamente dal contesto di riferimento e determinavano un processo progettuale e costruttivo in totale simbiosi con l’ambiente circostante.

La salute e l’energia dell’uomo dipendono in buona parte dagli effetti diretti di questo ambiente circostante. È esperienza comune riscontrare che in alcuni giorni le condizioni atmosferiche stimolano e corroborano le nostre attività, mentre in altri deprimono le attività fisiche e mentali. Dove le condizioni climatiche sono più avverse l’energia corporea si riduce per l’eccessivo sforzo di adattamento<sup>124</sup>.

È intuitivo dedurre che l’attività mentale e la forza fisica dell’uomo sono al massimo all’interno di un determinato intervallo di condizioni climatiche, fuori dal quale diminuisce l’efficienza ed aumenta lo stress.

Il benessere non può essere determinato rigorosamente ed univocamente

---

124 Per un approfondimento sul tema dell’effetto del clima sulla salute, cfr. Ellsworth Huntington, *Principles of Human Geography*, New York: John Wiley and Sons, 1951, pp 399-404.

**161.** Foto di Home for Life, la prima casa attiva al mondo costruita in Danimarca nel 2009.

attraverso una precisa misurazione, ma a livello più che indicativo possono essere fissate delle corrispondenze quantitative tra l'insieme degli stimoli esterni, ovviamente oggettivi, e le relative risposte soggettive che sono adattate il più possibile a criteri di uniformità.

Si può cercare di descrivere le stimolazioni ambientali come l'insieme complesso di grandezze che fissano il rapporto tra il mondo esterno e quello delle sensazioni, queste componenti sinteticamente si descrivono come: climatica, luminosa, acustica, spaziale e biologica<sup>125</sup>.

Le componenti ambientali agiscono tutte direttamente sul corpo umano, che per adattarsi cerca di raggiungere il punto in cui necessita della minima spesa energetica. Le condizioni in cui riesce a farlo rientrano nell'area definita come "zona di comfort".

L'edificio è il principale strumento per soddisfare i requisiti di comfort in quanto modifica l'ambiente naturale migliorando le condizioni di vivibilità e determinando una sensazione di completo benessere psicofisico ai soggetti ospite.

Progettare un ambiente confortevole dovrebbe quindi essere un elemento prioritario e irrinunciabile dell'architettura, l'approccio di un progettista dovrebbe essere riformulato in termini di comfort.

Idealmente, con il soddisfacimento di tutte le esigenze fisiologiche si ottiene un edificio ambientalmente equilibrato. Le articolate interazioni che si verificano tra l'uomo e lo spazio che lo circonda, e tra quest'ultimo e i molteplici elementi che lo delimitano e lo caratterizzano, sono estremamente complessi da analizzare. Per questa ragione si preferisce adottare spesso un sistema valutativo di tipo deterministico, cioè incentrato sullo studio delle singole parti che compongono il totale, il comfort. Si opera quindi un'articolata scomposizione del problema, non perdendo mai di vista che la sommatoria funzionale delle parti è sempre differente alla somma delle prestazioni prese singolarmente, il punto di vista metodologico rimane olistico.

In relazione a questa scomposizione, nel seguito verrà offerta maggiore importanza all'equilibrio termico, senza il quale qualsiasi definizione di comfort potrebbe risultare impropria, senza escludere però le problematiche energetiche, ambientali e di comfort in generale.

---

125 Per un approfondimento sull'argomento, cfr. James Marston Fitch, *American Building, The Forces That Shape It*, Boston: Houghton-Mifflin Company, 1948, [tr. It. *La progettazione ambientale*, Padova, Franco Muzzio Editore, 1980].

## **3.1 INNOVAZIONE NELL'APPROCCIO PROGETTUALE**

### **3.1.1 VISION DEGLI EDIFICI CHE DANNO PIÙ DI QUELLO CHE PRENDONO**

Attualmente il mondo si trova ad affrontare molte sfide ambientali. È evidente che le risorse naturali sono sempre più scarse, bisogna affrontare il crescente surriscaldamento globale e l'ormai eminente esaurimento delle risorse di energia da fonti fossili.

Nel frattempo il settore delle costruzioni è in crisi, è evidente la necessità di riscoprire i bisogni e le esigenze umane essenziali, da tempo dimenticate, per soddisfare quei criteri di vivibilità perduti, tra i quali, la garanzia di un salutare e confortevole clima interno agli edifici.

Queste specifiche, devono rappresentare l'attuale generazione di interventi sostenibili per la realizzazione e la riqualificazione degli edifici tramite operazioni che, influenzando positivamente sulla salute, sulla sicurezza e il benessere degli uomini, sono focalizzate sul controllo dell'ambiente interno ed esterno e sull'uso efficiente dell'energia.

Recenti ricerche dimostrano che questa specifica visione progettuale ha portato alla realizzazione di case attive<sup>126</sup>, ovvero edifici che, combinando efficienza energetica, attenzione specifica al comfort e alla salute dell'utilizzatore, al clima interno e all'ambiente, forniscono più energia di quanta ne necessitano per la loro costruzione e la loro gestione.

Questa definizione, che ha ormai sorpassato il concetto di edificio passivo, necessita di approcci tecnici innovativi, introducendo obiettivi di qualità architettonica e di design ambientale, favorendo allo stesso tempo l'efficienza energetica.

Vivere in una casa attiva indica la svolta giusta verso un futuro ergonomico all'uomo che non rappresenta quindi un ostacolo e un sacrificio per gli

---

126 Per il concetto di casa attiva come approccio innovativo alla progettazione, di cui si riportano specifiche e immagini in questo capitolo, cfr. Active House – the guidelines, Bruxelles, 2015, disponibile su: <http://www.activehouse.info/>.

occupanti anche se sono bambini, genitori, nonni o persone con bisogni speciali e limitazioni fisiche, gli ambienti sono salubri e confortevoli per i suoi occupanti, senza influenzare negativamente il clima e l'ambiente, per un mondo più pulito, salutare e sicuro.

Con la metodologia della casa attiva è possibile creare edifici sostenibili ovunque nel mondo, assegnando delle adeguate risposte alle tre sfide principali che oggi l'industria dell'edilizia affronta: comfort, energia e ambiente.

Altro aspetto importante da tenere in considerazione riguarda la sostenibilità economica. Attraverso diverse tecnologie e soluzioni, i progettisti devono mirare all'accessibilità e all'efficienza dei costi attraverso la definizione delle necessità e degli obiettivi già all'inizio del processo progettuale. Il bilancio tra le necessità e i costi va individuato e discusso in fase preliminare, così come il rientro delle spese e lo studio per la riduzione dei costi inaspettati.

### **3.1.2 UN APPROCCIO INNOVATIVO**

La metodologia di seguito descritta, utilizzabile nella fase preliminare di programmazione e dopo la realizzazione dell'edificio, immette all'interno della progettazione argomenti chiave che influenzano la valutazione del concetto di efficienza degli edifici.

La casa attiva, come accennato, è definita sulla base dell'interazione tra le condizioni climatiche interne, il consumo di energia e l'impatto sull'ambiente.

- Il clima interno contribuisce notevolmente a stabilire una vita confortevole e salutare.

Obiettivo primario è creare delle condizioni climatiche interne sicure e confortevoli per gli occupanti assicurando un rifornimento giornaliera di luce ed aria fresca; anche i materiali utilizzati devono avere un impatto neutrale sulle condizioni climatiche interne.

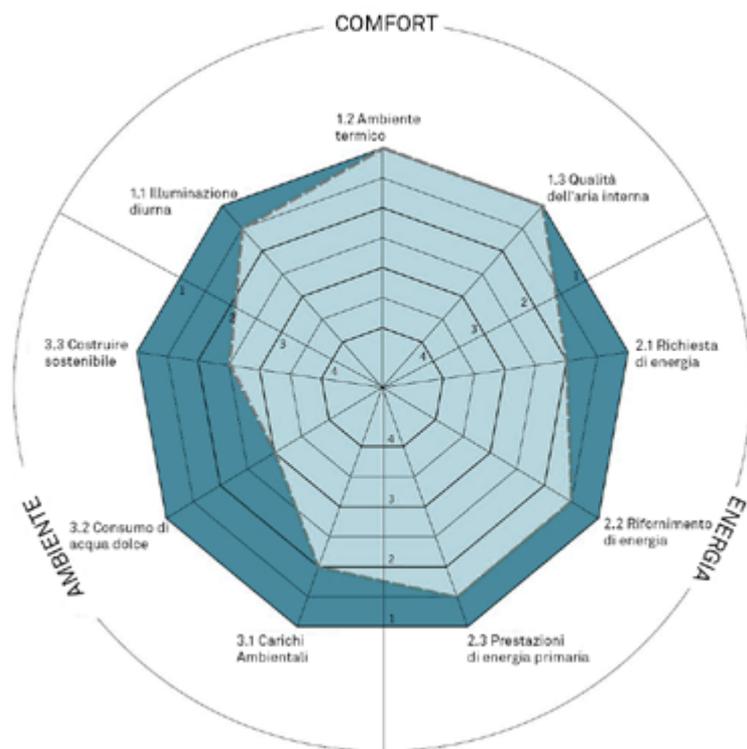
- L'energia deve influire positivamente sul bilancio energetico dell'edificio. Un edificio attivo deve essere altamente efficiente da un punto di vista energetico, tutti o la maggior parte dei bisogni energetici devono essere forniti da risorse di energia rinnovabile, mediante sistemi integrati nell'edificio, tramite sistema collettivi nel vicinato e dalla rete elettrica.

- L'impatto sull'ambiente deve essere più neutrale possibile.

Un edificio attivo interagisce con il contesto locale e con l'ambiente

attraverso una relazione ottimizzata, si analizza il ciclo di vita delle risorse utilizzabili e il loro impatto complessivo sull'ambiente.

**162.** Radar per il controllo del processo progettuale di una casa attiva.



La metodologia si focalizza su criteri qualitativi e quantitativi che stabiliscono le specifiche della casa attiva. Gli strumenti di controllo di una casa attiva avvengono mediante il radar e le classificazioni, usati per descrivere le realizzazioni interne ad uno specifico progetto, inclusa la possibilità di creare un radar di confronto su valori di progetto o monitorati, che, se positivo, può essere utilizzato come riferimento nazionale. I parametri quantitativi descritti rappresentano i 9 argomenti più importanti della valutazione di una casa attiva. Ogni parametro è valutato in maniera individuale ed è usato nel diagramma del radar della casa e nella classificazione.

Quindi le linee guida si focalizzano principalmente su questi 9 parametri quantitativi, consigliando e offrendo soluzioni per realizzare una buona casa attiva raggiungendo alti risultati per ogni criterio.

I parametri qualitativi rappresentano il livello di performance raggiunto su una scala da 1 a 4 dove 1 rappresenta il livello più alto di performance.

Le specifiche categorie descrivono i principali parametri che devono essere valutati in una casa attiva e stabiliscono i livelli specifici richiesti per il raggiungimento dei diversi livelli.

La complessa interazione riguardo questi molteplici macro aspetti, allo scopo di formulare un corretto intervento, esige un approccio olistico che garantisca la piena risoluzione di tutti i fenomeni implicati.

L'ambizione e l'esecuzione della casa attiva è basata sul calcolo, composto da valori predefiniti e aspettative sul comportamento dell'utilizzatore. È fortemente consigliato eseguire il monitoraggio dell'edificio realizzato, esso dovrebbe durare almeno un anno al termine del quale è opportuno descriverne e divulgarne gli esiti. Altro aspetto innovativo di questa visione riguarda proprio la condivisione della conoscenza, delle esperienze e dei commenti, chiunque può interagire con i database online, partecipare ad incontri e workshops che, frequentati da specialisti di provenienza internazionale, sono utili a prefigurare criteri e specifiche più concisi e rilevanti<sup>127</sup>.

---

127 Per ulteriori specifiche: [www.activehouse.info](http://www.activehouse.info).

## 3.2 LE COMPONENTI DEL COMFORT

Le persone nelle società moderne trascorrono la maggior parte del loro tempo all'interno degli edifici, nei loro posti di lavoro o svolgendo attività ludiche. Grazie alle nuove tecnologie, possiamo fare quello che vogliamo quando lo vogliamo, ma qual è l'impatto sul nostro benessere?

Obiettivo di un progettista dovrebbe essere quello di promuovere soluzioni per le persone, progettando edifici confortevoli e realizzati per gli esseri umani. Dopo tutto è importante non dimenticare che la funzione primaria dell'edificio è principalmente quella di fornire ambienti da vivere sicuri per i suoi abitanti, aspetti che non dovrebbero essere mai trascurati.

Infatti, in quanto spazio artificiale fortemente specializzato capace di soddisfare le esigenze dell'uomo, l'Architettura dovrebbe essere in grado di armonizzarsi con le necessità umane senza procurare alcun tipo di insofferenza, disagio o rifiuto, al contrario dovrebbe fornire al proprio utilizzatore il necessario benessere che difficilmente lo spazio naturale è in grado di assicurare.

Lo scopo del progettista in questo approccio è quello di organizzare, in modo logico, i complessi fenomeni che sono alla base della percezione del comfort degli utenti, in modo da configurare un edificio ergonomico alle esigenze umane. Nel corso degli anni si sono sviluppati segmenti, soprattutto nel campo della fisica tecnica, in grado di definire e regolamentare parte di questi complessi fenomeni, tra cui il benessere luminoso, quello termo-igrometrico e la qualità dell'aria.

Le condizioni di luce naturale sono un aspetto importante nella definizione del comfort all'interno di una casa, essa può aver un forte impatto sul nostro benessere. Ricerche nell'ambito dell'illuminazione hanno rivelato che la qualità e la quantità di luce percepita dagli occhi non influisce solo sulla vista, ma anche sull'esposizione non visiva quando si dorme e quando ci si sveglia, sullo stato d'animo, sulla produttività, sulla prontezza di riflessi e, molto importante, sullo stato di salute a lungo termine. Nella valutazione delle condizioni di illuminamento riveste grande importanza l'analisi del contesto, con i relativi dati meteorologici, la morfologia del territorio, la presenza di ostacoli fisici e di qualsiasi altro elemento che influisce sulla diffusione dei

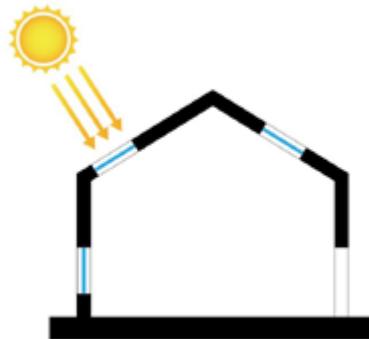
raggi solari.

Il comfort termico invece gioca un ruolo vitale nel raggiungimento del benessere. Una casa dovrebbe essere progettata per fornire il giusto comfort termico, durante l'intero arco dell'anno, dai periodi più freddi a quelli più caldi. La capacità umana di adattarsi a diverse temperature, così come il nostro bisogno di variare la temperatura durante il corso del giorno e nelle diverse camere della casa, si dovrebbe prendere in considerazione. Il comfort termico in una casa, come si vedrà in seguito, è valutato sulla base della temperatura operativa.

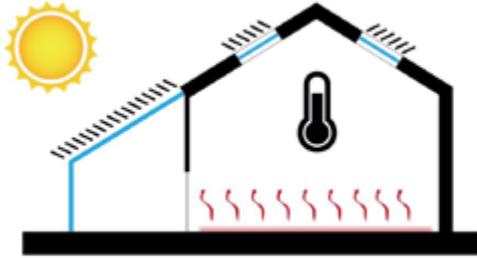
Oltre al confort termico e a quello dato dall'illuminazione, la qualità dell'aria interna è un altro fattore cruciale nel raggiungimento di un ambiente interno salutare. La quantità di aria che gli uomini respirano al giorno raggiunge i 15 kg, e dato che spendiamo circa il 90% del nostro tempo all'interno degli edifici è l'aria interna quella che respiriamo. La casa attiva riflette questi bisogni fissando dei limiti ambiziosi alla qualità dell'aria interna della temperatura e dell'illuminazione naturale.



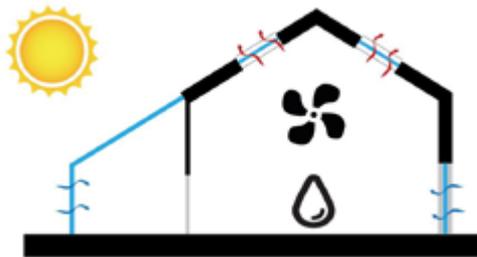
Per motivi di comfort, la forma e l'orientamento di una casa va ottimizzato rispetto al clima esterno. Le soluzioni sono sempre dipendere dal clima esterno, che sia caldo o freddo.



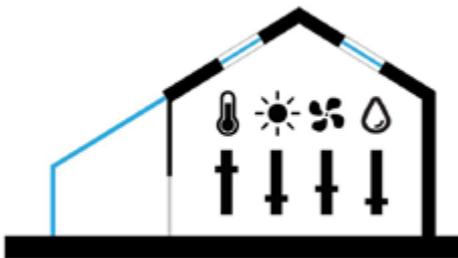
La luce naturale svolge un ruolo importante per la salute delle persone. Una casa deve essere concepita in modo tale da fornire luce ottimale in tutte le camere.



Il comfort termico gioca un ruolo fondamentale nel raggiungimento di condizioni di vita confortevoli. Una casa va progettata in modo da offrire un comfort termico ottimale sia durante i periodi invernali che estivi.



La quantità di aria che ogni essere umano respira ogni giorno raggiunge circa i 15 kg, e siccome spendiamo fino al 90% del nostro tempo in ambienti chiusi, è l'aria interna che respiriamo. La casa dovrebbe rispecchiare queste esigenze, impostando requisiti ambiziosi per la qualità dell'aria interna.

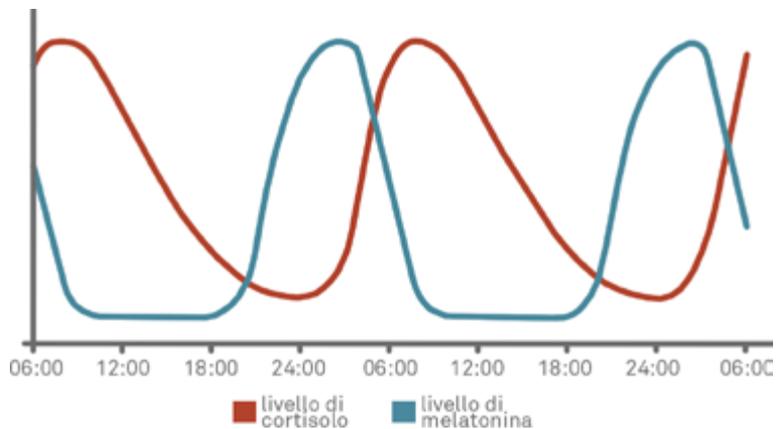


Sistemi intelligenti sono importanti nelle case moderne e aiutano ad ottimizzare il clima interno. È importante ottimizzare attraverso un controllo intelligente i principali parametri di comfort.

### 3.3 L'ILLUMINAZIONE DIURNA

La luce naturale è utilizzata da secoli come fonte di luce primaria negli edifici, ma solo di recente sono state fatte delle ricerche sulla luce, tali ricerche hanno rilevato che i benefici associati ad essa vanno oltre il nostro bisogno di dover vedere, la luce è una componente vitale per la salute psicologica e psichiatrica delle persone.

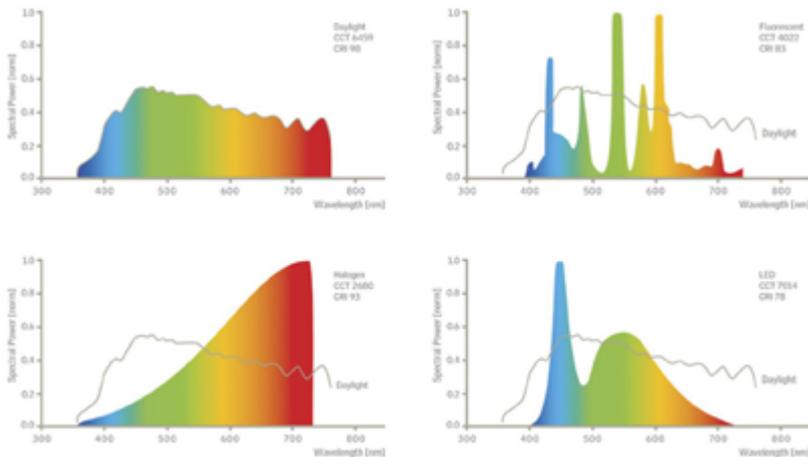
Noi ci siamo evoluti sotto la luce del sole e i nostri corpi sono strettamente legati al ciclo della luce e le variazioni del mondo naturale ci coinvolgono, l'esposizione ad alti livelli di luce durante la giornata e il buio durante la notte ha una forte influenza sul coinvolgimento del sistema circadiano<sup>128</sup> attraverso la regolazione degli ormoni che interessano il ciclo del sonno e del risveglio, lo stato d'animo, la produttività, la vigilanza e il benessere in generale. Se da un lato è vero che alcune tipologie di luce artificiale possono generare uno spettro simile a quello della luce naturale, nessuna è fatta in modo da poter mimare la qualità di tale spettro, con le variazioni naturali che ci sono durante il giorno e durante le stagioni dell'anno.



163. Produzione di melatonina e cortisolo<sup>129</sup>.

128 Il ritmo circadiano è caratterizzato da un periodo di circa 24 ore. Il termine "circadiano", coniato da Franz Halberg, viene dal latino circa diem e significa appunto "intorno al giorno". Esempi di ritmo circadiano sono il ritmo veglia-sonno, il ritmo di secrezione del cortisolo e di varie altre sostanze biologiche.

129 Brainard, G. C. (2002) Photoreception for Regulation of Melatonin and Circadian System, 5th International LRO Lighting Research Symposium.



**164.** Composizione spettrale delle quattro sorgenti luminose tipiche utilizzate nelle abitazioni, la luce del giorno (in alto a sinistra), a fluorescenza (in alto a destra), alogeno (in basso a sinistra), LED (in basso a destra).

La figura nella pagina accanto mostra le variazioni che ci sono tra le composizioni dello spettro e delle risorse tipicamente usate nelle case.

Insieme alla qualità della luce naturale, le finestre offrono una vista sull'ambiente esterno e soddisfano il nostro bisogno di essere a contatto con la natura e di essere informati sulle condizioni meteorologiche, sull'ora del giorno, sulle stagioni e sull'orientamento. Numerosi studi hanno dimostrato che le persone preferiscono la luce solare a quella artificiale e edifici con una vista sull'ambiente e sulla natura. La vista sulla natura può avere un'influenza sul benessere delle persone, sulla salute fisica, sullo stato d'animo, la qualità del sonno e molto altro<sup>130131132</sup>.

### 3.3.1 CALCOLRE IL FATTORE DI LUCE DIURNA

Le tradizionali necessità riguardo le superfici aeroilluminanti negli edifici residenziali sono state spesso dimensionate su regole semplici, ad esempio fissando l'ampiezza delle superfici vetrate apribili in proporzione alle superfici di pavimento nel rapporto di 1:8. Questi requisiti non possono assicurare

130 Lam, W. (1977) Perception and Lighting as Formgivers for Architecture, Mc-Graw-Hill.

131 Grinde, B., and Grindal Patil, G. (2009) Biophilia: Does Visual Contact with Nature Impact on Health and Well-Being? International Journal of Environmental Research and Public Health. September; 6(9): 2332-2343.

132 Kaplan, R. (2001) The nature of the view from home: Psychological benefits. Environment and Behavior, 33(4), 507-542.

che l'illuminazione sia sufficiente e che sia correttamente distribuita in una stanza, tali metodi spesso non sono adeguati al raggiungimento di un alto livello di qualità dell'illuminazione interna ad un edificio.

Gli odierni software di simulazione dell'illuminazione permettono di valutare sia la qualità che la distribuzione della luce in una stanza, tenendo in considerazione i parametri chiave come ad esempio la presenza di una finestra, le ostruzioni e la trasmittanza dei vetri.

Le condizioni di illuminazione sono valutate utilizzando il metodo del fattore di luce diurna FLD (o DF dall'acronimo inglese daylight factor), un valido strumento di simulazione dell'illuminazione.

Per definizione, il fattore di luce diurna è l'illuminamento (E) su una superficie, espresso come la percentuale dell'illuminazione esterna diffusa.

$$FLD = (E_{\text{superficie}}/E_{\text{esterna}}) \times 100\%$$

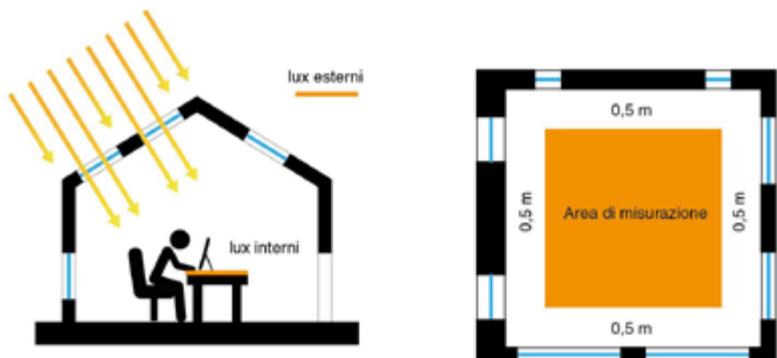
I livelli del fattore medio di illuminazione dovrebbero essere determinati per la maggior parte degli ambienti interni, ad esempio nella casa bisognerebbe calcolarlo in cucina, nel salotto, nella sala da pranzo, nella stanza dei bambini e nella stanza dei giochi. Altre aree di interesse da considerare nel calcolo sono tutti gli ambienti usati durante il giorno, come i bagni e quelli principali di passaggio.

Un fattore medio di illuminazione del 5% assicurerà che una stanza sembri sostanzialmente illuminata, mentre un fattore medio di illuminazione del 2% fornirà solo una modesta quantità di illuminazione, in quest'ultimo ambiente la luce elettrica sarà frequentemente utilizzata.

I livelli del fattore di illuminazione dovrebbero essere calcolati all'altezza del piano di lavoro, circa 0,85 m da terra, e lasciando 0.5 m di bordo tra le mura ed il perimetro del piano di lavoro, come mostrato nell'esempio di seguito.

**165.** Diagramma che mostra i punti di misura di calcolo del fattore di luce diurna FLD.

**166.** Diagramma che mostra un esempio di zona per la misurazione del fattore di luce diurna, lasciando un perimetro 0.5m dalle pareti della stanza.



Un'accurata simulazione del fattore di luce diurna FLD permette di prendere in considerazione importanti fattori che riguardano la disponibilità e la

distribuzione della luce negli edifici. È molto importante avere una buona competenza degli strumenti di simulazione utilizzati nei calcoli per conoscere i limiti di tali strumenti e per comprendere a pieno la condizione che si sta cercando di valutare.

Gli strumenti di simulazione permettono l'ausilio di modelli 3d in cui le geometrie delle finestre, delle stanze e degli edifici sono estremamente dettagliate consentendo risultati precisi che possono essere presi in considerazione. È importante caricare correttamente tutti gli elementi del progetto che influenzeranno la disponibilità della luce come gli elementi di contorno, la sottigliezza di tali elementi, le divisioni interne e le ostruzioni dagli elementi esterni tra cui la vegetazione e gli edifici vicini.

### Le ostruzioni

L'ostruzione dovuta al paesaggio e agli edifici vicini influenza la diponibilità di luce naturale degli ambienti interni, quindi è un parametro fondamentale che bisogna caricare correttamente nei software per ottenere calcoli precisi e affidabili. È ovvio che le finestre ostruite significativamente permetteranno un minor apporto di luce in una stanza rispetto a quelle con una chiara vista sul cielo.

### La trasmittanza dei vetri

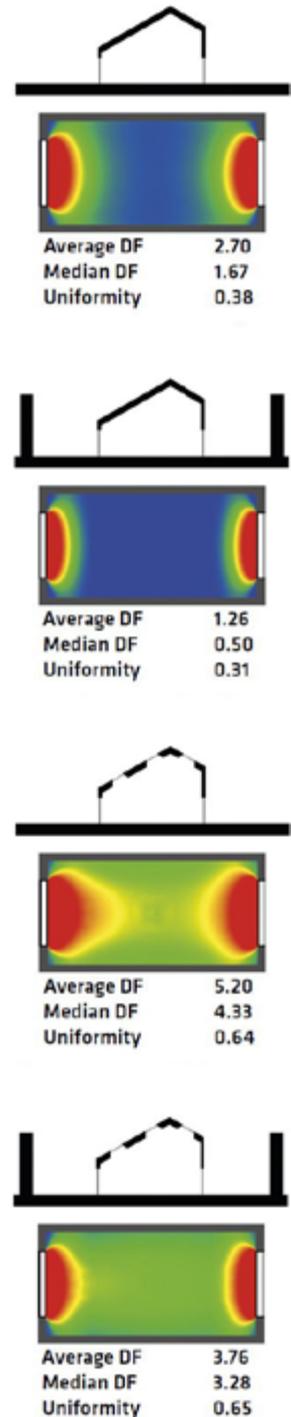
La trasmittanza dei vetri ha un impatto diretto sulla diponibilità di luce che entrerà dalla finestra. È importante utilizzare il valore della trasmittanza corrispondente ai vetri della finestra scelta e caricare correttamente nel software tale valore, lo stesso vale per gli elementi di contorno della finestra e lo spessore dell'involucro dell'edificio.

### La riflettanza delle superfici

La riflettanza della superfici all'interno e all'esterno di un edificio influenzerà la quantità di luce disponibile e quanto brillante può risultare una camera. È quindi importante valutare i progetti utilizzando i valori di riflessione realistici basati sulle proprietà dei materiali, ad esempio la pittura bianca diffusa può raggiungere una riflettanza di 0.8. I seguenti valori sono raccomandati per l'uso nelle simulazioni.

Superfici	Valore di riflettanza
Pavimento	0,3
Parete	0,5
Soffitto	0,7
Vegetazione esterna	0,1 - 0,2
Edifici esterni	0,3 - 0,5

168. Tabella dei valori di riflettanza raccomandati per i calcoli.



167. Esempio che mostra l'effetto delle ostruzioni sul livello di FLD per una stanza con solo finestre in facciata e una stanza con finestre in facciata e sul tetto.

## Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
1.1.1 Fattore di luce diurna FLD		<p>La quantità di luce in una stanza viene valutata attraverso il fattore medio di luce diurna rilevato su un piano di lavoro orizzontale:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. FLD &gt; 5% in media</li> <li>2. FLD &gt; 3% in media</li> <li>3. FLD &gt; 2% in media</li> <li>4. FLD &gt; 1% in media</li> </ol> <p>FLD va calcolato con un valido software</p>	
1.1.2 Disponibilità alla luce diretta		<p>Per almeno una delle principali stanze abitabili, la luce solare disponibile nei due equinozi:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Almeno il 10% delle ore di luce solare</li> <li>2. Almeno il 7,5% delle ore di luce solare</li> <li>3. Almeno il 5% delle ore di luce solare</li> <li>4. Almeno il 2,5% delle ore di luce solare</li> </ol> <p>La valutazione viene fatta secondo il BS British Standards 8206-2:2008 "Illuminazione per edifici - parte 2: Codice di pratica per la luce del giorno"</p>	
<b>MEDIA TOTALE</b>			

### 3.3.2 PRINCIPI BASE PER PROGETTARE L'ILLUMINAZIONE IN MANIERA OTTIMALE

Con riferimento all'illuminazione, il progetto degli edifici dovrebbe assicurarsi di fornire i seguenti bisogni fondamentali:

- il corretto ciclo di illuminazione della durata di 24h con i periodi di buio durante la notte e di luce durante il giorno;
- la possibilità di esposizione alla luce solare durante l'inverno e generalmente ad alti livelli di luce, superiore a 1000 lux;
- consentire la vista e il contatto con il mondo esterno e la natura;
- evitare il discomfort visivo e l'abbagliamento.

Per raggiungere un'ottima illuminazione nel progetto è importante comprendere le caratteristiche dell'illuminazione del luogo di interesse:

- la latitudine ha una forte influenza sull'elevazione e sul percorso solare e sulla disponibilità di luce in diverse stagioni dell'anno. Alte latitudini, vicine ai poli, sperimentano periodi più brevi di luce durante l'inverno e più lunghi durante l'estate, con basse angolazioni solari. I luoghi a basse latitudini sperimentano più piccole differenze

nella lunghezza dei periodi di luce dall'inverno all'estate e hanno alte angolazioni solari;

- la predominante variazione climatica del luogo dove sorge l'edificio definisce le precondizioni complessive per il progetto di illuminazione e la disponibilità di luce solare, il comfort visivo e quello termico e la riuscita nell'utilizzo dell'energia rinnovabile.

La dimensione e il posizionamento delle finestre sono altri elementi di rilievo:

- la dimensione e la posizione delle finestre hanno un impatto diretto sulla quantità e sulla distribuzione della luce nelle camere. Finestre più larghe forniscono alti livelli di illuminazione e finestre più alte permettono alla luce maggiori profondità nelle camere;
- finestre multiple con diverse orientazioni, adeguatamente posizionate, possono fornire alla casa una distribuzione più uniforme dell'illuminazione ed aumentare le aree dove la luce può essere usata come risorsa autonoma;
- gli abbaini e i lucernari possono essere usati per offrire luce solare nelle aree più profonde della stanza e dell'edificio che non possono essere raggiunte dalle finestre poste sulle pareti dell'edificio;
- i solatube, tubi che riflettono la luce solare, possono essere usati per fornire luce naturale negli spazi senza finestre. Questi tubi se rigidi funzionano meglio di quelli flessibili.

Il tipo di finestra e di vetro dovrebbe essere selezionato in base:

- al bilancio energetico e alle prestazioni termiche; considerando sia i guadagni solari (valore G) che le dispersioni termiche (valore U). Un basso valore U combinato con un alto valore G è raccomandato per i climi freddi e un valore medio U combinato con un basso valore G è raccomandato per i climi caldi;
- alle sue proprietà di trasmittanza della luce (LT% da light transmittance), più alto è migliore;
- alle proprietà di trasmittanza spettrale, più è neutrale meglio è la qualità dell'illuminazione e la resa cromatica (CRI da color rendering index);
- al valore del controllo solare con un G dinamico che può essere usato per ottimizzare la performance in base alle condizioni all'esterno.

Riguardo alla vista e al contatto con la natura:

- il luogo dove sorge l'edificio può essere attentamente studiato per relazionare nel miglior modo possibile la vita interna con l'ambiente esterno;
- la dimensione e la posizione della finestra necessitano di essere considerate in relazione al livello della vista degli occupanti per assicurare adeguate viste all'esterno;

- la vista in una stanza dovrebbe essere progettata includendo pezzi di cielo, paesaggio urbano o naturale e terra;
- le finestre in diverse orientazioni possono essere utilizzate per mantenere la vista verso l'esterno anche quando le condizioni dell'orientamento di una delle finestre richiede il controllo della luce solare;
- permettere la vista a distanza riducendo al minimo l'ombreggiamento.

Per la disponibilità della luce solare:

- le stanze principali della casa dovrebbero avere accesso alla luce solare diretta durante il periodo invernale per sfruttare al massimo i livelli di illuminazione;
- un buon progetto, durante il periodo invernale, dovrebbe permettere la penetrazione della luce solare in profondità nelle camere e attraverso le camere.

Per l'ombreggiatura e il controllo dell'abbagliamento:

- i dispositivi di schermatura dovrebbero essere usati per il controllo visivo e per la privacy nelle camere dove è richiesto;
- le tende e gli oscuranti dovrebbero essere usate nelle camere da letto per fornire il buio durante le ore in cui si dorme;
- l'abbagliamento da riflessione della luce solare diretta e da superfici estremamente riflettenti dovrebbero essere evitata mediante dei dispositivi di schermatura e di controllo della quantità della luce che entra nelle stanze;
- i dispositivi di schermatura controllando la quantità della luce che entra nelle stanze risolvono il problema degli abbagliamenti ma bisogna fare attenzione anche ai materiali e ai colori di tali schermature poiché potrebbero esse stesse diventare fonte di riflessione;
- materiali eccessivamente riflettenti all'interno e all'esterno dell'edificio possono diventare fonte di riflessione quando esposti alla luce diretta e all'interno del campo visivo degli occupanti.

## 3.4 AMBIENTE TERMICO

L'ambiente termico è una parte molto importante del comfort dell'edificio. Il comfort è una condizione mentale. La salute è una condizione fisica e mentale. Entrambi, per definizione, non possono essere controllati dai sistemi tecnici di controllo. L'automazione degli edifici può solo mantenere i parametri rilevanti in un determinato intervallo, per cui si suppone che non dovrebbero essere in grado di offrire più dell'opportunità di sentirsi a proprio agio e vivere una vita sana.

Mantenere i livelli della temperatura in una condizione ottimale non è importante solo per il nostro comfort ma anche per prevenire ed alleviare le malattie.

Il comfort termico ideale non è un insieme stabile di limiti di temperature valide per tutte le persone<sup>133</sup>. Tutti noi abbiamo delle preferenze riguardo la temperatura e potremmo desiderare delle variazioni nel nostro ambiente termico per contrastare la "noia termica"<sup>134,135</sup>. Inoltre ci adattiamo volontariamente all'ambiente termico anche tramite la regolazione dei nostri vestiti, spostandoci dal sole diretto, e viceversa, o verso altre fonti di calore come ad esempio un focolare o attraverso altri mezzi. Anche psicologicamente abbiamo delle preferenze adattive. In un giorno di inverno una temperatura di 25 °C potrebbe risultare troppo calda mentre potrebbe risultare piacevole durante una giornata d'estate.

Il disagio termico non è solo generato dall'aria, troppo fredda o troppo calda, ma potrebbe essere anche causato dalle differenze di temperatura, ad esempio procurate da uno spiffero di aria fredda dalla finestra e comunque da un eccessivo movimento dell'aria, o da asimmetria radiante: fonti termiche concentrate su un punto o su una superficie che rendendo tale area più calda o più fredda rispetto all'ambiente circostante. Tale asimmetria nella temperatura può causare sensibili disagi, a dimostrazione, sedersi vicino una finestra, in una fredda notte d'inverno, può essere non confortevole

---

133 Per approfondimenti a riguardo, si rimanda agli studi di fondamentale importanza, condotti con metodi statistici dal professor Povl Ole Fanger e alle norme ANSI/ASHRAE.

134 Cfr. D. A. McIntyre, *Indoor Climate*. Applied Science Publishers, 1980.

135 Cfr. A. G. Kwok, *Thermal Boredom*. In PLEA 2000 (pp. 1-2). Cambridge 2000.

anche se la temperatura dell'aria interna è ad un livello adeguato. Assicurare un'adeguata temperatura superficiale all'interno dell'edificio aumenterà e massimizzerà i metri quadri utilizzabili in maniera confortevole.

Le specifiche per un edificio attivo utilizzano l'approccio adattativo per valutare l'ambiente termico. L'idea alla base del metodo è che le persone si adattano alle temperature esterne sia quando esse aumentano che quando diminuiscono. Come precedentemente indicato, l'essere umano si adatta psicologicamente al cambio di temperatura ma anche volontariamente, regolando la sua attività fisica, modificando il livello di abbigliamento o interagendo con l'edificio, come aprendo e chiudendo una finestra. Il metodo adattativo utilizza i parametri dell'andamento della temperatura media esterna ( $T_{rm}$ ) per gestire e variare i limiti del comfort. L'andamento della temperatura media è data dalla media ponderata in cui la temperatura del giorno precedente a quello di studio ha il più grande impatto, la temperatura di due giorni prima ha un'influenza minore e così via.

L'andamento della temperatura media è funzione del tempo e la sua equazione esponenziale ponderata per il tempo  $t$  si calcola:

$$T_{rm} = (1-\alpha) \{T(t-1) + \alpha T(t-2) + \alpha^2 T(t-3) \dots\}$$

Dove  $\alpha$  è una costante tale che  $1 > \alpha > 0$  (al diminuire di  $\alpha$  diminuisce l'influenza della temperatura),  $T$  è la temperatura in ciascun intervallo di tempo  $t$ <sup>136</sup>.

Il comfort termico è essenzialmente da considerarsi come una sensazione complessiva che influenza gli esseri umani nell'ambiente interno. Le proprietà termiche non possono essere però valutate come separate dal comfort, piuttosto sono determinate da condizioni visive, acustiche, olfattive e dalle radiazioni così come dal personale e reale stato psico-fisiologico generale, caratteristico di una particolare persona. Questo sensazione complessiva definisce e genera il livello di comfort termico nelle persone. La percezione termica è influenzata dai seguenti fattori di impatto termico e dalla loro interdipendenza<sup>137</sup>.

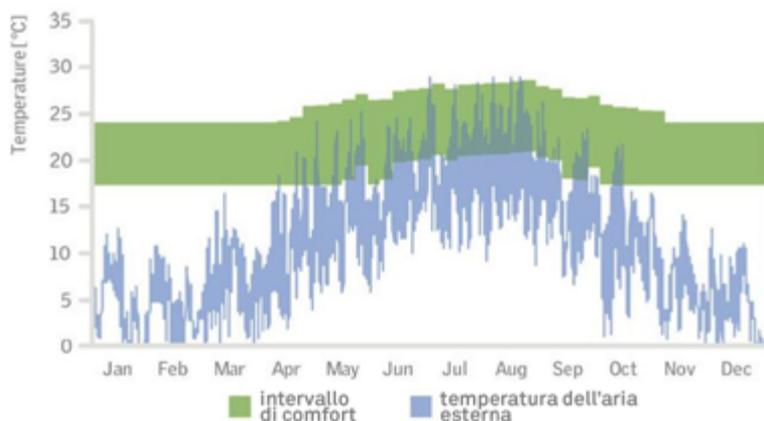
---

136 Cfr. Matheos Santamouris, *Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art*, earthscan from Routledge, 2013.

137 EN 15251, ISO 7730, DIN 1946-2.

### 3.4.1 TEMPERATURA OPERATIVA

La percezione di un clima confortevole alle persone dipende da svariati fattori, non solo dalla temperatura dell'aria. Generalmente quando si parla di scambi di temperatura tra ambiente e uomo si analizzano, in quanto "principali" influenti, i parametri di natura termoigrometrica, trascurando elementi "secondari" come le differenze chimiche, le impurità fisiche, le cariche elettriche e simili.



**169.** Intervallo di comfort delle temperature interne nel metodo adattivo dipendente dalla temperatura esterna.

I principali elementi climatico-ambientali che influiscono sul benessere termoigrometrico dell'uomo sono la temperatura dell'aria, la radiazione solare, il movimento dell'aria e l'umidità relativa. Per ottenere condizioni termiche ideali è necessario equilibrare lo scambio di calore tra corpo umano e ambiente circostante. L'equazione che combina gli elementi climatici con il metabolismo, ideata da Winslow, Herrington e Gagge<sup>138</sup>, serve, mediante una scala calorimetrica nominata "temperatura operante o operativa" (T<sub>0</sub>), ad esprimere i complessi rapporti intercorrenti tra clima e corpo umano.

La temperatura operativa, anche se in modo parziale, è un tentativo di fornire la sensazione termica realmente percepita dalle persone<sup>139</sup>. In termini generali, è espressa come una combinazione tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante delle superfici.

La temperatura operativa è spesso anche calcolata come la media ponderata delle due temperature sopra indicate, che a loro volta sono dipendenti dalla velocità dell'aria.

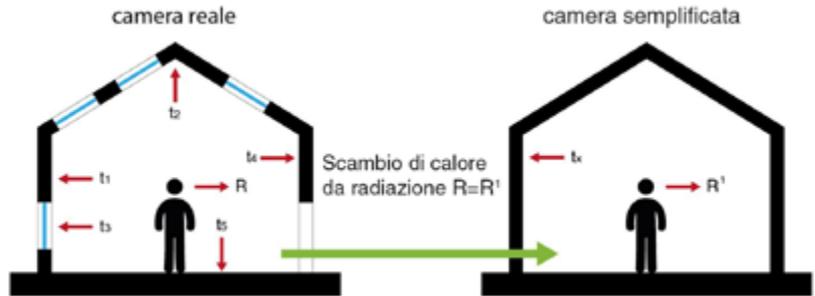
138 Cfr. C.-E. A. Winslow, L. P. Herrington, e A. P. Gagge, *Temperature and Human Life*, Princeton: Princeton University Press, 1949.

139 Essa è definita nello standard internazionale "ISO 7730 Ergonomia dell'ambiente termico" come: "temperatura uniforme di un circoscritto immaginario in cui un occupante scambia la stessa quantità di irraggiamento e convezione come nell'ambiente reale non uniforme".

$$T_0 = (h_r \times t_{mr} + h_c \times t_a) / \alpha$$

Dove  $t_{mr}$  è la temperatura media radiante,  $t_a$  è la temperatura dell'aria,  $h_c$  è il coefficiente di scambio convettivo per l'uomo,  $h_r$  è il coefficiente di scambio radiativo per l'uomo e  $\alpha$  è il coefficiente di adduzione termica sulla superficie corporea, dato da  $h_r + h_c$ .

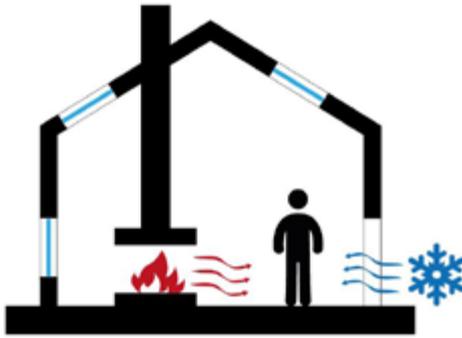
**170.** La temperatura operativa nella camera semplificata dovrebbe essere paragonabile ad una situazione reale.



La temperatura operativa può essere usata per valutare il comfort termico in un edificio. Questa temperatura è spesso parte del risultato di una simulazione energetica dettagliata, realizzata per verificare la richiesta energetica di un edificio. L'utilizzo di energia per mantenere un buon ambiente termico è uno dei principali contributi alla totale richiesta di energia. Molti software informatici validati sono disponibili per valutare entrambi, sia l'energia che il comfort termico, e prendere in considerazione la maggior parte dei fattori che li influenzano. Monitorare il commento dei proprietari e i valori dell'edificio è un'operazione necessaria per essere in grado di valutare le effettive prestazioni, perché, anche se estremamente accurati, i dati forniti dai software di simulazione possono fornire risultati limitati in rapporto alle misure reali.

Le specificazione per gli edifici attivi richiedono l'uso della temperatura operativa per valutare il comfort termico. Dovrebbe essere calcolata per le aree principali come la cucina, il salotto, la sala da pranzo, le camere da letto ecc.

### 3.4.2 IMPORTANTI FATTORI CHE RIGUARDANO LA TEMPERATURA OPERATIVA



**171.** Una persona esposta a una superficie fredda e una superficie calda.

La temperatura operativa è il risultato della temperatura dell'aria interna, della temperatura media radiante delle superfici e della velocità dell'aria.

La temperatura dell'aria è influenzata dagli apporti termici (guadagni solari, illuminazione, strumenti elettronici, persone ecc.) e dalle dispersioni termiche (attraverso l'involucro, gli spifferi e la ventilazione).

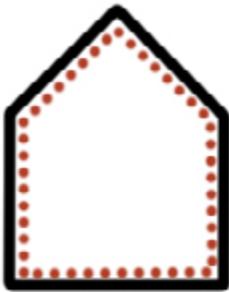
Gli spifferi possono essere causati dalle dispersioni delle finestre, dalle porte o dall'edificio. Questo è un problema principalmente nei vecchi edifici. Anche le ampie superfici fredde causate dal cattivo isolamento (su entrambe le pareti e le finestre) possono generare un moto di correnti convettive verso il basso. In questo caso, sostituire le finestre con altre di miglior rendimento o posizionare un elemento di riscaldamento sotto la finestra può essere una valida soluzione. Bisogna però essere consapevoli che l'immissione di una fonte di calore sotto le finestre, con i vecchi pannelli, causano sensibili perdita di calore e che se è l'assenza di isolamento il problema principale, bisognerebbe indagare se è possibile creare un isolamento prima di installare ulteriori fonti di calore.

La temperatura radiante è ponderata da tutte le temperature delle superfici dipendenti dalla loro posizione in una stanza. Il modo in cui si percepisce le temperature superficiale dipende dal fattore vista: distanza dalle superfici, dimensioni delle superfici. Costruzioni ben isolate sono in grado di mantenere la temperatura superficiale molto simile alla temperatura dell'aria a differenza degli edifici mal isolati in cui si riscontreranno temperature superficiali dissimili da quelle dell'aria. Calde superfici circostanti generano un costante scambio da irraggiamento e una bassa temperatura dell'aria interna, sensazioni percepite come non piacevoli da parte degli utenti. Questo è il caso quando ad esempio la temperatura superficiale con un normale vestiario è di 21°C, la temperatura radiante delle mura è 22 °C e la temperatura dell'aria è di 17 °C.

### 3.4.3 PRINCIPI BASE PER PROGETTARE L'AMBIENTE TERMICO IN MANIERA OTTIMALE

#### La capacità termica della struttura

La massa termica delle costruzioni può essere usata per smorzare le variazioni di temperatura. Nei climi caldi un'alta massa termica può essere raffrescata durante la notte attraverso la ventilazione passiva per assicurare delle temperature più fresche per un periodo prolungato durante il giorno. La massa termica favorisce il comfort termico estivo ed invernale dovuto alla sua capacità di mantenere rispettivamente le superfici interne fresche o calde per un periodo di tempo più lungo. Analizzare l'uso, e quindi il comportamento termico di ogni stanza, per ottimizzare l'orientamento delle stesse in fase progettuale. La massa termica può essere usata come parte del sistema di efficientamento energetico mediante l'utilizzo termo attivo di lastre e strutture murarie per il riscaldamento o il raffrescamento radiante.



CAPACITÀ  
TERMICA

#### Umidità nell'aria e sulle superfici

La percezione del comfort termico è strettamente influenzata dall'umidità dell'aria. L'umidità relativa influenza notevolmente la percezione del comfort termico, infatti, in condizioni di umidità relativa elevata anche le temperature medie vengono percepite in modo sgradevole, ad esempio con il 95% di umidità relativa perfino una temperatura di 25°C è sgradevole, viene percepita come caldo afoso. Le superfici bagnate interne agli edifici, combinate con la ventilazione naturale da effetto camino o semplice ventilazione passiva, permettono di raffrescare gli interni in zone climatiche calde e secche. Nei paesi del nord e centro Europa l'umidificazione e la deumidificazione sono operazioni normalmente non necessarie all'interno degli edifici residenziali.



UMIDITÀ

#### Effetto delle radiazioni solari

Le radiazioni solari dirette producono piacevoli effetti di riscaldamento quando entrano a contatto con la pelle umana. La radiazione diretta, in inverno, riscalda l'aria e le superfici all'interno delle serre, soprattutto nei periodi di transizione può ridurre considerevolmente la richiesta di riscaldamento. Negli edifici con grandi finestre devono essere prese misure per evitare il surriscaldamento. Recenti edifici dimostrano che alti livelli di illuminazione possono essere raggiunti senza incorrere in fenomeni di surriscaldamento, quando vengono usati vetri a controllo solare o frangisole esterni in combinazione con la ventilazione naturale. L'orientamento influenza enormemente il carico solare all'interno degli edifici, ad esempio in un edificio per ufficio completamente vetrato, le camere orientate ad est



RADIAZIONE  
SOLARE

preservano il 65% di sole in più rispetto alle camere a sud, questo valore diviene il 100% per le camere orientate ad ovest nello stesso edificio.

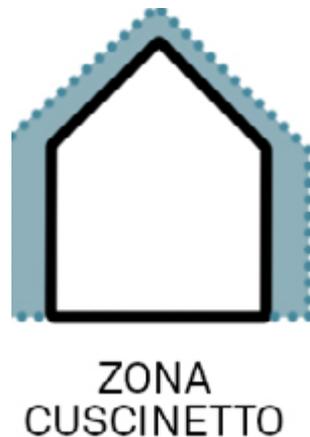
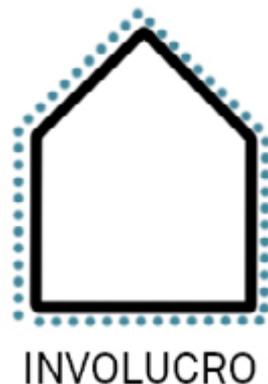
### **La qualità e la flessibilità dell'involucro edilizio**

L'orientamento delle facciate e il progetto delle funzioni così come gli impatti climatici esterni e le posizioni geografiche determinano fortemente la soluzione dell'involucro edilizio. Si consideri la disposizione e l'orientamento delle camere in base alla loro funzione. Le camere con una necessità di temperature più fresche come le camere da letto, possono essere posizionate a nord per ridurre il guadagno solare. Corretti sistemi di protezione solare esterna possono essere utilizzati sulla facciata sud per controllare il surriscaldamento in estate ma allo stesso tempo consentire la visione esterna e l'ingresso della luce solare. Le mura ben isolate, il tetto e il basamento con elevata massa termica sul lato interno, sono strumenti basilari per il raggiungimento dell'efficienza e del comfort dell'edificio.

Progettare i vetri a seconda dell'orientamento e delle strategie di controllo termico estive e invernali. Sistemi mobili esterni, che riparano dal sole, contribuiscono a migliorare la resa delle finestre e ad assicurare il comfort e bassi consumi energetici. Dare agli utilizzatori l'autonomia di modificare i sistemi di controllo ambientale, come aprire le finestre o ombreggiare, è utile al raggiungimento del comfort individuale e a ridurre l'uso di sistemi HVAC (dall'acronimo inglese Heating, Ventilating and Air Conditioning).

### **Zona termica respingente**

È possibile prevedere diverse camere che svolgono funzione di cuscinetto verso l'esterno, dotate di ambiente temperato, come un giardino d'inverno o un ingresso, utili a prolungare il comfort termico all'interno delle camere principali. Nelle differenti stagioni gli spazi respingenti sono utilizzati in maniera diversa. In inverno possono servire da salotto, come un captatore termico nei giorni soleggiati e per ridurre le dispersioni termiche. Nel periodo estivo il giardino di inverno raggiunge alte temperature e smorza l'impatto termico attraverso il suo involucro, quindi in questi periodi stagionali non è consigliabile l'utilizzo. La fresca ventilazione passiva notturna può compensare il surriscaldamento diurno delle zone. La zona termica respingente è un involucro complesso ma allo stesso tempo utile a regolare il comfort degli edifici e il bilanciamento di energia.

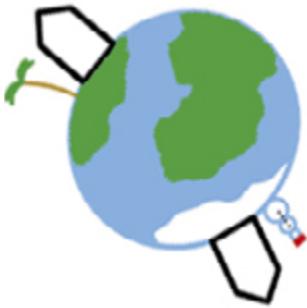




## SENSORI + VENTILAZIONE

### Utilizzo di sensori e di ventilazione

La sensazione data dall'aria fresca è un importante parametro per il raggiungimento del comfort. La sensazione data del movimento della brezza leggera estiva causa sensazione di raffrescamento confortevole, mentre in inverno sono da evitare anche le basse velocità d'aria poiché causano disagio termico. Nei periodi caldi la ventilazione meccanica è un metodo molto economico ed energeticamente efficiente per generare movimenti d'aria confortevoli anche combinati ad una ventilazione naturale ben dimensionata che crea un piacevole raffrescamento, in inverno per i ricambi d'aria sono utili performanti scambiatori di calore, invece nei periodi di transizione sia il ricambio che la ventilazione possono avvenire attraverso le finestre che assicurano quantità di flussi di aria appropriati.



## AMBIENTE ESTERNO

### Impatto dell'ambiente esterno

Una vista verso l'esterno è un bisogno umano basilare nella maggior parte degli interni ma il clima esterno gioca un ruolo su diversi livelli. La posizione geografica determina il ritmo annuale e stagionale del clima interno. Le condizioni locali (zone rurali o urbane) influenzano le circostanze climatiche, questo microclima ha un grande impatto sul particolare luogo dove sorge l'edificio condizionandone le proprietà termiche. Ogni aspetto dell'edificio è influenzato da determinati fattori ambientali variabili come la direzione e la velocità del vento, la radiazione solare, l'umidità e temperatura.

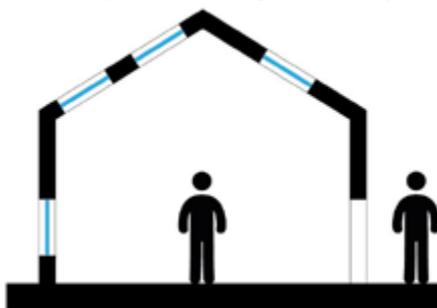
## Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
1.2.1 Temperatura massima di esercizio		<p>I limiti massimi di temperatura interna applicati nei periodi con una <math>T_{m,est}</math> esterna di 12 °C o più.</p> <p>Per salotti, cucine, sale studio, camere da letto etc. in abitazioni senza aria condizionata meccanica e con adeguate opportunità di ventilazione naturale, le temperature massime interne operative sono:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>T_{int} &lt; 0.33 \times T_{m,est} + 20.8^{\circ}\text{C}</math></li> <li>2. <math>T_{int} &lt; 0.33 \times T_{m,est} + 21.8^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3. <math>T_{int} &lt; 0.33 \times T_{m,est} + 22.8^{\circ}\text{C}</math></li> <li>4. <math>T_{int} &lt; 0.33 \times T_{m,est} + 23.8^{\circ}\text{C}</math></li> </ol> <p><math>T_{m,est}</math> è l'andamento della temperatura media definita dalla norma EN 15251:2007</p> <p>Per salotti ecc. in edifici residenziali con l'aria condizionata, le temperature massime di funzionamento sono le seguenti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>T_{int} &lt; 25.5^{\circ}\text{C}</math></li> <li>2. <math>T_{int} &lt; 26^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3. <math>T_{int} &lt; 27^{\circ}\text{C}</math></li> <li>4. <math>T_{int} &lt; 28^{\circ}\text{C}</math></li> </ol> <p>Per le camere da letto (specialmente di notte), un valore inferiore a 2 °C deve essere preferibilmente utilizzato rispetto a quello indicato in precedenza perché le persone sono più sensibili alle alte temperature durante il sonno o quando cercano di addormentarsi.</p> <p>Inoltre, in cucina temperature più elevate rispetto a quelle indicate può essere consentito periodicamente, es durante le attività di cucina.</p> <p>Il sistema dovrebbe essere progettato per raggiungere tali valori, gli utenti possono comunque scegliere altre impostazioni.</p> <p>Riferimenti: EN 15251:2007</p>	
1.2.2 Temperatura minima di esercizio		<p>I limiti minimi di temperatura interna applicati nei periodi con una <math>T_{m,est}</math> esterna di 12 °C o meno.</p> <p>Per salotti, cucine, sale studio, camere da letto etc. in abitazioni le temperature minime di funzionamento sono le seguenti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>T_{int} &lt; 21^{\circ}\text{C}</math></li> <li>2. <math>T_{int} &lt; 20^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3. <math>T_{int} &lt; 19^{\circ}\text{C}</math></li> <li>4. <math>T_{int} &lt; 18^{\circ}\text{C}</math></li> </ol> <p>Il sistema dovrebbe essere progettato per raggiungere tali valori, gli utenti possono comunque scegliere altre impostazioni.</p>	
<b>MEDIA TOTALE</b>			

### 3.5 LA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

172. Il tempo trascorso in genere negli interni e negli esterni.

le persone sono per il 90% negli edifici e per il 10% fuori



La qualità dell'aria interna negli edifici deve essere uno dei principali elementi su cui porre attenzione per un'adeguata condizione di comfort e salute. Gli adulti consumano due o tre litri di liquidi e uno o due kg di cibo al giorno. Mentre l'igiene e la sicurezza di ciò che mangiamo riceve grande attenzione, la qualità dell'aria ne ottiene poca anche se in media inaliamo 15 kg di aria al giorno e il 90% di questa all'interno degli edifici.

Tendiamo generalmente a pensare all'inquinamento dell'aria come qualcosa di esterno: smog, ozono, foschia sospesa nell'aria specialmente d'estate. Ma la verità è che l'aria all'interno delle case, degli uffici e negli altri edifici, nella maggior parte dei casi, è più inquinata di quella esterna; alcuni inquinanti si diffondono attraverso i materassi e i mobili, quando usiamo i battitappeti, una durante una mano di vernice sulle mura. I bambini, le persone, con asma o altre malattie, e gli anziani potrebbero essere molto sensibili agli inquinanti interni ma altri effetti sulla salute potrebbero apparire con il passare degli anni, dopo ripetute esposizioni.

Nel riconoscere queste problematiche, sono state create molte etichette nazionali per i materiali edilizi con un impatto ambientale minimo, come ad esempio il Finnish M1, l'etichetta danese clima indoor, la tedesca AgBB e l'etichetta GUT. Privilegiando i materiali dotati di queste etichette, per la costruzione degli edifici e dei mobili, si riduce il rischio di riscontrare eccessivi livelli di inquinanti interni.

- Il diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) non è un inquinante di per sé ma è la sua percentuale in atmosfera a determinarne gli svantaggi; esso è un indicatore indiretto utile a calcolare il livello di inquinamento generato, ad esempio, dalla presenza e dall'attività umana all'interno degli ambienti. La concentrazione di CO<sub>2</sub> in un edificio, come per l'esterno, è espressa in ppm.
- Un'altra causa di malattia legata al clima degli ambienti interni è

l'umidità, aggiunta all'aria interna corrotta dalle attività quotidiane e all'aria esterna estiva. L'umidità può diventare una problematica se i suoi livelli sono molto alti o molto bassi, questo è un problema in molti edifici.

- Il radon viene emesso dal terreno posto sotto gli edifici e l'esposizione dipende dalla geologia locale in cui è situata la costruzione. La maggior parte dei paesi hanno regolamenti importanti su come sigillare l'edificio per ridurre la penetrazione di questi gas.

La ventilazione naturale all'interno degli ambienti è necessaria a fornire, agli occupanti dell'edificio, condizioni confortevoli e salutari. Il principale compito della ventilazione è quello di rimuovere l'aria inquinata dall'interno dell'edificio e rimpiazzarla con aria fresca. La ventilazione può anche servire per altri ruoli ad esempio per favorire la combustione all'interno del camino o come strategia integrata utile al comfort termico e al controllo del surriscaldamento durante l'estate. Gli strumenti per una buona qualità dell'aria interna e quelli per l'efficienza energetica sono stati spesso considerati come conflittuali. La buona qualità dell'aria interna necessita obbligatoriamente della ventilazione tramite aria fresca esterna, nella stagione fredda quest'aria ha però necessità di essere riscaldata per garantire un buon comfort termico. La sfida è cercare il corretto bilancio tra ventilazione e consumo di energia, in modo che si possa avere un buon clima interno e aria sana con la minore richiesta di energia, ciò può essere ottenuto, per esempio, attraverso uno scambiatore di calore.

### **3.5.1 IMPATTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

Nel passato gli spifferi o la mancanza di tenuta all'aria da parte dell'involucro edilizio avrebbe fornito un flusso costante di aria attraverso l'edificio, ma allo stesso tempo avrebbe generato una ventilazione incontrollata con eccessive perdite di calore. Un problema riscontrabile oggi, specialmente nelle nuove costruzioni, è che gli edifici sono strettamente sigillati per preservare l'energia termica all'interno, questo causa la mancanza di un corretto flusso d'aria naturale, l'aria fresca non riesce a penetrare all'interno dell'edificio. Inoltre l'aria all'interno non riesce a circolare e diventa satura e stagnante. Questo significa, nel caso in cui non sia presente una strategia di ventilazione adeguata, che tutti gli agenti contaminanti, non avendo modo di fuoriuscire, fluttuano nell'aria interna agli edifici.

Ci sono diversi tipi e fonti di inquinamento nella casa, per esempio:

- Umidità dovuta ad esempio dal lavaggio, o mentre si cucina;
- Monossido di carbonio (CO) e ossidi di nitrogeno, generati ad esempio dalle combustioni o dal fumo;
- Componenti organiche volatili (VOCs) ad esempio dall'aerosol o dalla presenza di formaldeide nei mobili;
- Allergeni dovuti ad esempio dalla polvere che si forma in casa;
- Diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) dovuta ad esempio dagli uomini e da processi di combustione all'interno dell'edificio;
- Fumo di tabacco nell'ambiente (ETS);
- Odori come quelli provenienti dalla cucina, del corpo e dagli animali.

Sebbene il CO<sub>2</sub>, come specificato, è considerato non tossico, livelli molto alti possono causare problemi di salute, si pensi solo che la sua concentrazione allo stesso tempo indica bassi livelli di ossigeno. Tali livelli non sono ben visti negli edifici residenziali. Dal punto di vista della qualità d'aria interna, il CO<sub>2</sub> è un surrogato degli inquinanti interni emesso dagli esseri umani in correlazione con l'attività metabolica. Il CO<sub>2</sub> ad elevati livelli potrebbe causare agli occupanti l'aumento di sonnolenza, provocare mal di testa o inibire le attività umane a causa dei bassi livelli di ossigeno.

Gli uomini sono la fonte principale di CO<sub>2</sub> negli ambienti interni. I livelli interni indicano l'adeguatezza della ventilazione dell'aria esterna in rapporto alla densità interna degli occupanti e all'attività metabolica. Tipicamente, i più alti livelli di CO<sub>2</sub> sono misurati nelle camere da letto. Quindi i livelli interni di CO<sub>2</sub> sono un modo utile per misurare quanto sia efficiente il sistema di ventilazione a mantenere la quantità di ventilazione richiesta per rinfrescare l'aria.

L'umidità è probabilmente uno degli elementi più impattanti sulla qualità dell'aria interna perché è generato dalle attività più comuni come il cucinare o fare il bagno e, associato agli acari della polvere, causa problemi di condensazione e crescita di muffe.

Alcune ricerche hanno dimostrato che se si registrano livelli di umidità relativa superiori al 70% per tempi prolungati, vi è un'alta possibilità che la condensa verificatasi su superfici fredde porta alla formazione di muffe.

Sebbene la ricerca sia ancora attiva nello sviluppare strategie efficienti per controllare la formazione degli acari della polvere e la produzione di allergeni, la riduzione dei livelli di umidità interna agli ambienti rimane un fattore chiave; per mantenere la popolazione sotto un livello problematico, l'umidità relativa dovrebbe essere mantenuta a circa il 45% per periodi di tempo più lunghi. Questo tipicamente avviene durante i mesi freddi invernali, quando l'aria all'esterno è secca.

### 3.5.2 PRINCIPI BASE SULLE STRATEGIE DI VENTILAZIONE

La necessità di ventilazione naturale e l'accesso all'aria fresca è diverso durante l'anno, il giorno e all'interno delle singole camere, questo richiede necessariamente una strategia di ventilazione che soddisfi i singoli obiettivi dell'edificio e degli utilizzatori. La ventilazione durante l'inverno si basa spesso sulla necessità di riduzione dell'umidità ed i sulla rimozione di inquinanti dall'aria all'interno degli ambienti, mentre durante l'estate ha spesso l'obiettivo di raffrescare l'edificio oltre a rimuovere gli inquinanti dall'aria.

Le strategie di ventilazione possono essere classificate in base alla loro utilità. Fondamentalmente, le strategie, possono essere distinte come di seguito:

- Sistemi tecnologici singoli
  - o Tutti naturali
  - o Meccanici- solo estrazione o ventilazione bilanciata
- Sistemi tecnologici multipli o ibridi
- Raffrescamento ventilativo

In generale, i sistemi di ventilazione meccanica necessitano di manutenzione, come per il ventilatore o i filtri e le griglie che dovranno essere rimpiazzati o puliti. Si dovrà fare attenzione nel progettare tali sistemi in modo che questi problemi, insieme a quelli dovuti al rumore, vengano prevenuti.

#### Richiesta di ventilazione controllata

Tutte le strategie di ventilazione possono essere dotate di un sistema di controllo per rispondere alle varie richieste. In un sistema di ventilazione controllata (DCV) la portata d'aria è pari alla richiesta effettiva. Questo sistema DCV offre dei vantaggi rispetto ai sistemi convenzionali di flusso d'aria costante (CAV). Il sistema di ventilazione controllata è riconosciuto come uno dei metodi più redditizi per assicurare all'edificio una ventilazione corretta, che massimizza la qualità dell'aria interna. I sensori interni sono usati per misurare costantemente la qualità dell'aria e i valori di CO<sub>2</sub>, VOCs e umidità, i sensori infatti controllano e monitorano in modo continuo le condizioni ambientali degli ambienti interni agli edifici fornendo i dati alla stazione comando che regola l'apertura delle finestre o i sistemi di ventilazione meccanica, in modo da adeguare le condizioni interne all'uso e all'occupazione dell'edificio. Importanti sono anche i sensori di rilevamento della temperatura, usati per determinare la necessità di ventilazione, poiché spesso la portata d'aria necessaria per evitare il surriscaldamento è superiore alla portata d'aria necessaria a mantenere una qualità dell'aria interna accettabile.

Con la ventilazione meccanica, quando diminuisce l'esigenza della quantità



173. Principio per la ventilazione controllata.

di flusso d'aria, il sensore fa ridurre l'energia richiesta al funzionamento per le operazioni di ventilazione, riscaldamento e raffreddamento dell'aria. Questo vantaggio in termini di risparmi energetici è spesso trascurato

Per la ventilazione naturale si riduce la perdita di calore quando la temperatura esterna è al di sopra di 12-14 °C. Inoltre, dato che la ventilazione è energia neutrale, durante i periodi caldi dell'anno, elevate portate d'aria e bassi livelli di inquinanti possono essere raggiunti all'interno degli edifici senza l'uso di sistemi elettrici.

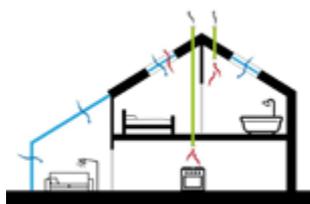
### Ventilazione naturale passiva

Tutti i sistemi di ventilazione naturale comprendono il recupero d'aria fresca sulla facciata e l'estrazione, anche attraverso opportune griglie, tramite le camere umide, come la cucina e i bagni. L'estrazione può avvenire anche attraverso canali verticali che accompagnano l'aria fino al colmo del tetto, il caldo e l'umidità dell'aria sono spinti dai canali attraverso una combinazione tra effetto camino e effetto vento. Anche per i sistemi di ingresso possono essere previste griglie automatizzate basate sulla pressione del vento e sui livelli di CO<sub>2</sub>, per evitare le perdite dovute alle finestre aperte. Prevedendo uno spazio "vuoto" nell'estremità inferiore delle porte interne si permetterà il passaggio libero dell'aria attraverso le stanze. La ventilazione naturale è più difficile da controllare rispetto alle alternative meccaniche.

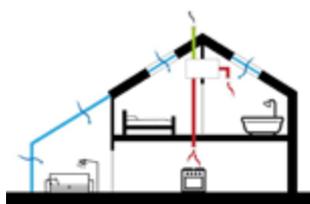
In circostanze normali, un sistema di ventilazione naturale richiede pochissima manutenzione. Dato che possono essere evitati i ventilatori si registra una maggiore efficienza energetica. Tuttavia nelle stagioni fredde la ventilazione naturale non preriscaldata può causare un aumento della richiesta di calore.

### Ventilazione meccanica estratta

Un sistema di ventilazione meccanica (MEV) può estrarre continuamente aria dalle camere 'umide'. Solitamente è composto da una unità di ventilazione centrale, posizionata in uno spazio armadio o nel sottotetto, e da un sistema di condotti che, attraversando l'intera casa, permette l'estrazione di aria dalle camere umide. Il ricambio di aria è consentito tramite le finestre o aeratori posizionati nelle camere abitabili. Anche in questo caso, prevedendo uno spazio "vuoto" nell'estremità inferiore delle porte interne si permetterà il passaggio libero dell'aria attraverso le stanze. La ventilazione meccanica di estrazione può essere accoppiata a pompe di calore per recuperare l'energia termica dall'aria saturata per riscaldare l'acqua utile ad uso domestico o riscaldamento.



174. Ventilazione naturale (passiva).



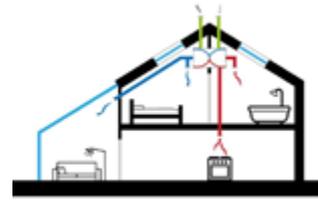
175. Sistema di ventilazione meccanica (estrazione).

### Ventilazione bilanciata

La ventilazione bilanciata è una ventilazione meccanica che sfrutta il sistema di recupero del calore (MVHR), questo sistema combina l'aria di rifornimento con l'aria estratta consentendo lo scambio di calore tra i due flussi.

Tipicamente, aria calda e umidità vengono estratte dalle camere 'umide' tramite un sistema di canalizzazione e vengono fatte passare attraverso uno scambiatore di calore prima di essere espulse all'esterno. L'aria fresca in entrata viene quindi preriscaldata attraverso lo scambiatore e canalizzata verso le camere e gli ambienti abitabili.

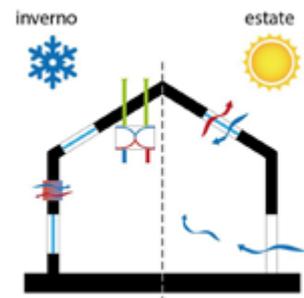
Combinata ad un involucro sigillato ermeticamente, la ventilazione meccanica può ridurre le perdite di ventilazione e di energia per il riscaldamento in modo significativo. Tuttavia, gli aeratori elettrici sono necessari per mantenere i sistemi costantemente in funzione. Sistemi più complessi possono aumentare i rischi di ridurre l'efficienza, associati ad installazioni inadeguate, messe in servizio scorrette e malfunzionamenti. Anche il sistema MVHR di ventilazione bilanciata può essere dotato di pompa di calore, sebbene i risultati sono inferiori rispetto al sistema MEV.



176. Ventilazione meccanica con recupero di calore.

### Ventilazione ibrida

I sistemi ibridi sono un giusto mix, tra meccanico e naturale, che produce i migliori effetti. In inverno quando fa freddo può essere utilizzato il sistema meccanico con il recupero di calore invece, in primavera, estate e autunno, quando la richiesta di calore è bassa le griglie della facciate e/o le finestre possono fornire l'aria fresca necessaria. La manutenzione regolare dovrebbe essere effettuata per far sì che i filtri e le griglie siano sempre pulite e il sistema funzioni in modo corretto. Anche i ventilatori e i convertitori di calore avranno bisogno di regolari pulizie.



177. Ventilazione ibrida.

### Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
1.3.1 Standard di alimentazione d'aria fresca		<p>L'alimentazione di aria fresca è stabilito in base ai valori limite di concentrazione di CO<sub>2</sub> in ambienti interni tipo salotti, camere da letto e sale studio, e al numero di persone che in un tempo prolungato sosta in tali ambienti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>500 ppm oltre la concentrazione di CO<sub>2</sub> registrata all'esterno</li> <li>750 ppm oltre la concentrazione di CO<sub>2</sub> registrata all'esterno</li> <li>1000 ppm oltre la concentrazione di CO<sub>2</sub> registrata all'esterno</li> <li>1200 ppm oltre la concentrazione di CO<sub>2</sub> registrata all'esterno</li> </ol>	

### **3.5.3 PRINCIPI BASE PER PROGETTARE IN MANIERA OTTIMALE UNA BUONA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA**

La funzione basilare per un edificio è proteggere gli occupanti dagli agenti esterni e fornire allo stesso tempo un ambiente salutare e confortevole. Questa affermazione apparentemente semplice: “ambiente salutare e confortevole”, non è facile da ottenere e nemmeno da definire.

Il primo passo per ottenere una buona qualità dell'aria interna è il controllo della sorgente: la preferenza dovrebbe essere data ai materiali degli edifici e ai mobili che emettono meno contaminanti. Scegliendo i materiali che sono provvisti di un'etichetta “clima interno” che stabilisce i limiti per le emissioni è uno dei modi di perseguire tale strada.

Quando si progetta una strategia di ventilazione, bisogna adottare un approccio diverso tra la nuova costruzione e la riqualificazione dell'esistente. Tuttavia in entrambe le situazioni è importante che gli utilizzatori abbiano compreso in modo chiaro il corretto funzionamento del sistema di ventilazione. I manuali informativi forniscono chiare linee guida, dettagli cruciali per il buon esito del sistema.

#### **NUOVE COSTRUZIONI**

Nelle applicazioni pratiche, la soluzione con l'utilizzo di ventilazione ibrida controllata, con un sistema di recupero del calore, è spesso la soluzione migliore ed energeticamente più efficiente per gli edifici residenziali. Dato che la ventilazione ibrida è composta da entrambi i sistemi di ventilazione meccanica e naturale, il progetto della casa dovrebbe ospitarli entrambi.

#### **Per la ventilazione meccanica**

- Necessità di ospitare spazi per la canalizzazione.

Spazi sufficienti per la canalizzazione della ventilazione meccanica devono essere previsti in fase progettuale. Canali più brevi e con minori giri sono preferibili, questi dovrebbero essere studiati in base allo sviluppo della struttura e della forma dell'edificio

- Accesso

Il posizionamento dell'accesso per la manutenzione dovrebbe essere considerato attentamente. Tutti i sistemi meccanici richiedono controlli regolari. Il cambio dei filtri e la pulizia sono richiesti frequentemente, il mancato ricambio dei filtri riduce la qualità dell'aria interna.

- Rumore

Prendere le misure necessarie per evitare problemi di rumore che possono spingere gli occupanti a spegnere o a manomettere il sistema.

È particolarmente importante che non ci sia nessun rumore del sistema di ventilazione udibile nelle camere durante il sonno.

### **Per la ventilazione naturale**

- Posizionamento delle aperture di ventilazione

Quando si progetta la posizione delle finestre, a favore di un flusso naturale, la ventilazione che attraversa l'edificio dovrebbe essere utilizzata nel suo pieno potenziale. Il percorso del flusso d'aria attraverso la casa dipende dal vento esterno e dalle condizioni della temperatura.

- Il percorso del flusso d'aria nella casa deve essere progettato considerando che le finestre nelle camere da letto non possono essere quelle di estrazione primaria. Un soluzione efficiente in case di due piani è quella di posizionare una finestra nel tetto al piano superiore del corpo scala, cosicché la finestra funzionerà come un estrattore per i piani più bassi.

### **EDIFICI ESISTENTI**

Progettare una buona qualità dell'aria negli ambienti interni agli edifici esistenti può essere più difficile, in quanto le caratteristiche della struttura limitano il numero delle soluzioni possibili. Quindi, la migliore strategia di ventilazione per un edificio esistente dipende molto dalle circostanze date.

Le informazioni utili per la scelta della strategia di ventilazione in tale caso sono:

- Come è usato l'edificio, quanti occupanti saranno presenti nell'edificio?

Questo riguarda la dimensione del sistema di ventilazione (meccanico)

- Qual è la struttura attuale dell'edificio, qual è la distribuzione funzionale?

Quando si progetta la struttura dei condotti è necessario sapere di quanta aria ha bisogno per andare in quale posto e dove avviene la migliore estrazione.

- Qual è la struttura dell'edificio e quali sono le modifiche semplici da apportare?

Se l'edificio ha una struttura portante in cemento è più difficile alterare la costruzione per accogliere i canali rispetto ad un edificio di legno.

- Quanto spazio è disponibile per i canali, le unità di ventilazione e di recupero calore?

Se l'altezza dal pavimento è limitata, sarà impossibile adottare un sistema di ventilazione meccanica poiché ci saranno altezze insufficienti per la predisposizione dei canali, in questo caso, una strategia di ventilazione naturale potrebbe essere la soluzione migliore. Nelle case con spazio

limitato la ventilazione naturale può essere rilevante poiché non richiede spazio per la canalizzazione. Quando è disponibile più spazio o quando l'edificio può essere modificato sono preferibili i sistemi meccanici o i sistemi ibridi.

## 3.6 ENERGIA

L'energia è necessaria per ottenere un ambiente interno confortevole durante tutto l'anno. Il tipo e la quantità di energia dipendono principalmente dalle differenze che esistono, in ogni istante di tempo, tra il clima esterno e le condizioni interne desiderate, dalla tipologia degli impianti esistenti, dalle peculiarità progettuali e dalla qualità dell'edificio. L'energia disponibile è quindi usata per assicurare all'utilizzatore un comfort in termini di illuminazione, acqua calda, qualità dell'aria e temperatura interna.

Con la crescita degli standard di vita il consumo di energia aumenta, il consumo totale è triplicato rispetto a 45anni fa.

A livello globale, si stima che il riscaldamento, il raffrescamento e l'elettricità per l'uso degli elettrodomestici negli edifici rappresenta circa il 40% del consumo di energia totale. Il rendimento energetico di un edificio e l'efficienza energetica delle sue fonti di energia sono oggi aspetti importanti quando si discute di cambiamenti climatici e affidabilità del rifornimento di energia.

Il progetto, l'orientamento e i prodotti utilizzati un edificio devono essere ottimizzati per richiedere meno energia possibile e per sfruttare le fonti di energia rinnovabile il più possibile, seguendo la strategia Energetica Trias<sup>140</sup>. Il principale obiettivo di questo approccio è il fatto che il risparmio energetico, attraverso l'aumento dei guadagni gratuiti naturali (il calore del sole in inverno, la ventilazione naturale, l'illuminazione, la riduzione del guadagno solare in estate ecc.), e la riduzione delle perdite e dei consumi di tutti i tipi rappresenta il più grande potenziale e quindi la scelta più sostenibile. Inoltre, deve essere considerato quando possibile il recupero energetico dato dai rifiuti.

Riassumendo, bisogna focalizzarsi su:

1. La riduzione di energia richiesta.
2. L'uso di energia rinnovabile
3. Minimizzare e rendere efficiente l'uso di risorse di energia di origine fossile

---

140 Tale strategia stabilisce tre livelli potenziali di risparmio energetico: riduzione della domanda di energia, sfruttare nel miglior modo le risorse naturali e le fonti rinnovabili e massimizzare l'efficienza delle fonti fossili dove è inevitabile l'utilizzo.

Il consumo di energia negli edifici dipende anche dal comportamento d'uso degli utilizzatori. L'esperienza dimostra che differenti utilizzatori in uno stesso edificio possono causare due differenti fattori di consumo energetico. È quindi importante guidare i proprietari e gli utilizzatori dell'edificio nelle modalità d'uso rendendoli consapevoli del consumo di energia, con controlli automatici, timer, sensori, sistemi di monitoraggio, contatori di energia ecc.

## 3.7 LA RICHIESTA DI ENERGIA

La richiesta totale di energia in un edificio include i bisogni di energia per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione, la ventilazione, l'acqua calda e altre attrezzature; ogni uso attinge dalla richiesta totale di energia di un edificio per assicurare ai suoi occupanti comfort e buona salute. Negli edifici, ci sarà sempre un flusso di energia che esce all'esterno che rappresenta la perdita (voluto, nel caso in cui è presente molta energia termica, come in estate, o non voluto quando l'energia termica è richiesta, tipo in inverno). L'energia in ingresso è sostituibile da fonti proveniente da risorse interne accessorie o dalla radiazione solare. La chiave per avere una performance di energia elevata è quella di assicurare la riduzione della perdita non voluta, cosicché minore sarà il supplemento richiesto per soddisfare tutti i bisogni.

Le esigenze dell'utente, come la temperatura interna, l'illuminazione e l'acqua calda, rappresentano la maggior parte della domanda di energia che potrebbe essere ridotta attraverso l'uso di sistemi di controllo intelligenti che seguono la richiesta dei livelli di temperatura, di umidità e di CO<sub>2</sub>, e attraverso l'aumento della consapevolezza degli utilizzatori su come e quando utilizzare l'energia per soddisfare i loro bisogni.

Un altro consumo di energia potrebbe essere ridotto utilizzando elettrodomestici ad alta efficienza energetica e aumentando la consapevolezza degli utilizzatori su come e quando si ha realmente bisogno di tali prodotti. È sempre raccomandato l'acquisto di prodotti energeticamente performanti, anche ad alti costi; a lungo termine si dimostra che risultano essere più economici perché utilizzano meno energia.

Le strategie progettuali, tra cui un buon orientamento e un performante involucro edilizio, sono essenziali per l'efficienza energia di un edificio. Un buon isolamento e l'uso ottimizzato dell'illuminazione e della ventilazione naturale aiutano ad equilibrare il bilancio di energia con un supporto minimo di energia rifornita. Le soluzioni progettuali dovrebbero focalizzarsi sul fabbisogno energetico annuale combinato con i requisiti di comfort termico sia per l'inverno che per l'estate. Pertanto la progettazione dovrebbe tener presente l'ottimizzazione di un edificio in relazione alle condizioni climatiche nel corso dell'anno. Essere consapevoli durante la fase di costruzione

che un buon progetto con un'esecuzione pessima non è utile, in tal caso le performance possono diminuire in modo significativo. Monitorare e gestire i feedback potrebbe essere un metodo essenziale per ottenere elevate prestazioni.

Il consumo annuale di energia è solitamente espresso in KWh per m<sup>2</sup> di superficie utile di un edificio, per ottenere un edificio attivo è utile basarsi su prescrizioni e metodologie nazionali. La richiesta di energia viene convertita in "energia primaria" attraverso l'uso di fattori, questo sistema è spiegata nel capitolo riferito all'energia primaria.

### **3.7.1 IL CONSUMO DI ENERGIA IN UN EDIFICIO**

Lo scopo di un progetto energeticamente efficiente è quello di garantire un clima interno confortevole e salutare, richiedendo il minimo utilizzo di energia. Il modo più efficiente per raggiungere questo obiettivo in una nuova costruzione è utilizzare una progettazione ambientale integrata che si concentra sulla riduzione della richiesta di energia, sul clima interno e sulle condizioni ambientali in tutte le decisioni fin dalle prime fasi del progetto. Questo significa che l'attenzione deve essere rivolta sul principio: "prevenire è meglio che curare"; tutti gli elementi devono essere valutati iniziando dalle fasi di progettazione dell'involucro e dell'impianto. L'uso di soluzioni passive, come il guadagno solare, la ventilazione naturale, la protezione solare e le masse termiche, dovrebbero essere considerate prima, dopodiché è possibile procedere con l'integrazione dell'energia rinnovabile riducendo così al minimo l'uso di energia da fonti fossili.

Un progetto energeticamente efficiente può essere ottenuto integrando entrambe le misure passive e attive. Alle soluzioni passive appartengono tutti gli aspetti del progetto riguardanti l'orientamento dell'edificio all'interno del progetto urbano, la compattezza di tutte le masse termiche dell'edificio stesso, gli elementi dell'involucro edilizio (muri, solai, tetto, finestre) le schermature solari, l'isolamento, la resistenza all'aria e il trattamento dei ponti termici. Un esempio di integrazione potrebbe essere quello che riguarda le facciate esposte al sole e il tetto che permettono lo sfruttamento dell'energia solare passiva nei climi e/o nei periodi freddi e allo stesso tempo fornisce uno spazio ideale per la predisposizione di collettori solari e pannelli fotovoltaici; a tal proposito si ricorda che le finestre orientate a nord dovrebbero essere diverse da quelle che danno a sud a causa del diverso guadagno solare. Misure adeguate,

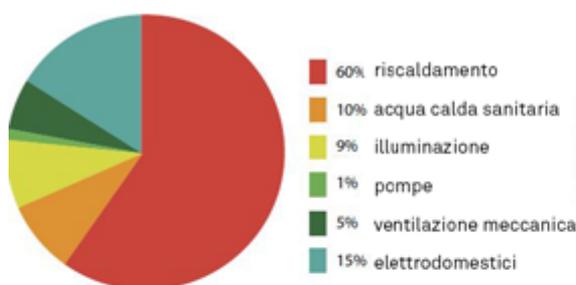
come le schermature solari e la ventilazione passiva notturna durante l'estate, impediscono all'edificio di raggiungere alte temperature durante la stagione calda e senza consumo di energia.

Mentre per i nuovi edifici, l'integrazione di misure passive e attive possono generare i principi guida per una nuova progettazione, nei progetti di riqualificazione, molti aspetti fondamentali riguardanti l'orientamento dell'edificio e le caratteristiche dell'involucro sono stabiliti. Per ogni progetto devono essere studiate tutte le misure che tecnicamente potrebbero essere implementate, in relazione agli investimenti e al risparmio energetico potenziale, cosicché il risultato risulta essere il migliore equilibrio di determinate condizioni.

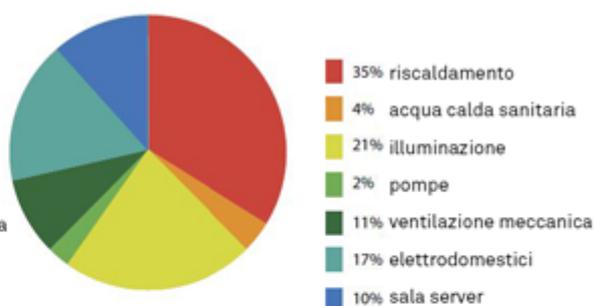
**178.** Nelle figure seguenti, gli aerogrammi illustrano l'uso generale di energia negli edifici, per i climi freddi in cui è dominante il riscaldamento e per i climi caldi in cui è dominante il raffrescamento.

## COPENAGHEN

### Edifici residenziali

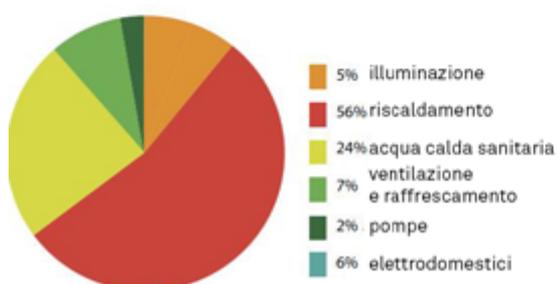


### Uffici e pubblici uffici

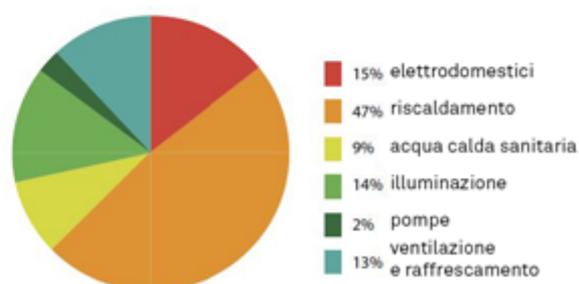


## MILANO

### Edifici residenziali



### Uffici e pubblici uffici



Come detto in precedenza, la ventilazione ha un notevole impatto sulla qualità dell'aria interna ed è quindi importante per il comfort e la salute dell'utilizzatore, così come per la durata della costruzione, dato che serve anche alla rimozione dell'umidità interna. La ventilazione ha una significativa influenza sul consumo energetico di un edificio e dovrebbe essere ottimizzato per le condizioni invernali ed estive. Il livello di ventilazione richiesto dovrebbe essere basato sulle necessità dell'utilizzatore e dipendente dal tipo e dall'uso dell'edificio, elevate quantità di ventilazione sono richieste negli edifici con alti livelli di attività, come le scuole. Per raggiungere un livello di energia vicino allo zero, è necessaria una strategia di ventilazione efficiente, su misura per la determinata posizione e lo specifico clima.

### **3.7.2 PRINCIPI BASE PER RIDURRE LA RICHIESTA DI ENERGIA NELLE NUOVE COSTRUZIONI**

Raccomandazioni per ottimizzare l'edificio e ridurre la richiesta di energia.

#### **Riscaldamento**

- Ottimizzare l'orientamento dell'edificio

Ottimizzare i guadagni solari durante l'inverno è importante per ridurre le esigenze di riscaldamento. Un progetto consapevole del contesto ottimizza l'orientamento dell'edificio per incrementare i guadagni solari diretti. Nei climi freddi è preferibile avere delle zone giorno rivolte a sud e delle zone notte o spazi tecnici rivolti a nord. È quindi possibile permettere al sole di entrare nell'edificio per offrire benessere fisico e psicologico all'utilizzatore, grazie alla luce naturale e all'apporto termico durante il giorno. Bisognerebbe prestare le giuste attenzioni per prevenire il bagliore specialmente alle alte latitudini quando il sole è basso in inverno.

- Isolare l'involucro dell'edificio

Le prestazioni termiche dell'involucro dell'edificio vanno progettare in relazione al clima e la contesto. In generale, gli elementi opachi dell'edificio dovrebbero essere energeticamente efficienti e contenere materiali isolanti, anche gli elementi trasparenti dovrebbero contenere vetri ad alta efficienza energetica che consentono un bilancio energetico che si adatta al clima locale e all'orientamento: alti livelli di guadagno solare nei climi freddi e riflessioni solari e/o sistemi schermanti esterni

nei climi caldi, concentrandosi sulle basse dispersioni di calore verso le facciate esposte a nord e sul guadagno e il controllo solare verso le facciate est, sud ed ovest.

- Prevenire infiltrazioni e ponti termici

Ridurre le infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro è essenziale. Minimizzare la discontinuità dell'isolamento in ogni sezione trasversale, angoli e cambi di direzione delle pareti esterne, e prestare attenzione alla progettazione dei giunti tra i diversi elementi costruttivi. I posti dove avvengono le infiltrazioni sono intorno alle finestre e le porte, in fondazione e nell'intersezione tra tetto e muro.

- Aggiungere massa termica

Il tipo di costruzione e i materiali utilizzati sono importanti per ridurre il fabbisogno energetico. Le costruzioni con alta massa termica permettono di smorzare e rallentare il passaggio dei flussi di temperatura che avviene a causa delle variazioni termiche tra l'interno e l'esterno dell'edificio, assicurando piccole differenze tra valori massimi e minimi di temperatura interna e posticipando le ampie variazioni di temperatura durante il giorno, ritardando così il bisogno di riscaldamento e raffreddamento.

- Ventilazione con recupero di calore

Utilizzare la ventilazione meccanica con sensori di controllo della richiesta e sistemi di recupero del calore contribuisce a ridurre i consumi energetici grazie al controllo delle perdite che avvengono durante i ricambi d'aria nelle stagioni fredde.

## **Raffrescamento**

- Ottimizzare l'orientamento dell'edificio e la forma

Ridurre i guadagni solari durante la stagione estiva è importante per prevenire il surriscaldamento nei climi caldi e in quelli moderati. Questo può essere fatto utilizzando le aperture a nord o utilizzando la forma dell'edificio stessa per creare delle protezioni alle finestre a sud durante l'estate. Gli strumenti di ombreggiatura gestiti da un sistema automatico possono contribuire al raggiungimento del comfort interno, ad un uso razionale dell'energia e a migliorare il rendimento energetico dell'edificio. La protezione naturale con gli alberi e le piante può essere considerata per l'ombreggiatura estiva.

- Isolare l'involucro dell'edificio

Progettare le prestazioni termiche dell'involucro dell'edificio in relazione al clima e al contesto. Anche in questo caso, gli elementi opachi dell'edificio dovrebbero essere energeticamente efficienti e contenere materiali isolanti, come gli elementi trasparenti che

dovrebbero contenere vetri ad alta efficienza energetica che consentono un bilancio energetico che si adatta al clima locale e all'orientamento. Nei climi caldi specialmente, l'isolamento del tetto e l'isolamento delle facciate verso il sole aiutano a ridurre la necessità di raffrescamento dell'edificio

- Aggiungere massa termica

Anche in questo caso, il tipo di costruzione e i materiali utilizzati sono importanti per ridurre il fabbisogno energetico. Le masse termiche accumulano il calore durante le ore più calde e scaricarlo durante la notte, quando le temperature esterne sono più basse. Un sistema ben progettato armonizza il ciclo di carico e scarico del calore in base alle condizioni del tempo.

- Scaricare il sistema aumentare la quantità di ventilazione

Una debole o addirittura l'assenza di ventilazione negli edifici ben isolati può essere una delle cause del surriscaldamento interno; i guadagni accidentali da radiazione solare, dall'uso di elettrodomestici e dagli utenti, sono intrappolati dallo strato isolante dell'involucro all'interno dell'edificio, riscaldando l'aria. Aumentare il flusso della ventilazione e l'uso del raffrescamento ventilato notturno sono delle strategie utili a rimuovere questo calore in eccesso. Altre opzioni dovrebbero essere considerate secondariamente.

## **Ventilazione**

- Ventilazione naturale

Per massimizzare l'effetto della ventilazione naturale, le finestre dovrebbero essere posizionate a coppie: nord-sud o piano basso-piano alto, in modo tale che un gradiente sufficiente di pressione possa causare lo spostamento d'aria attraverso l'edificio.

- Controllare la richiesta

Se la ventilazione naturale non fornisce il comfort richiesto o le prestazioni energetiche, bisogna accoppiare ad essa un sistema di ventilazione meccanica con un meccanismo di controllo della richiesta, un dispositivo di automazione. Questo ridurrà drasticamente il consumo di energia elettrica del ventilatore rispetto ad un sistema esclusivamente meccanico, assicurando allo stesso tempo una buona qualità dell'aria interna.

- Raffrescamento e recupero del calore dalla ventilazione

Quando viene utilizzata e progettata la ventilazione meccanica, il recupero dell'energia da aria esausta attraverso l'uso di uno scambiatore di calore è strettamente consigliato sia per il riscaldamento che per il raffrescamento.

## **Illuminazione**

- Aumentare la disponibilità di luce naturale

Per ridurre il bisogno di energia per l'illuminazione artificiale, il migliore modo è progettare uno spazio interno arioso e luminoso. Utilizzare la luce naturale il più possibile è certamente il migliore modo per ridurre l'uso della luce artificiale, dell'illuminazione. Cercare di usare sistemi che sono basati sulle zone di luce: nei pressi delle finestre, quando c'è luce, l'illuminazione artificiale rimane spenta mentre nei luoghi più profondi dell'edificio, quelli più scuri, l'illuminazione artificiale è accesa. Nei luoghi dove l'illuminazione è raramente richiesta come corridoi, è utile utilizzare interruttori che sono collegati ai sensori di movimento.

- Uso diffuso della luce naturale

Il posizionamento delle finestre assicura il maggior apporto di luce naturale. Tuttavia, alcune precauzioni devono essere prese ad esempio per prevenire fenomeni di abbagliamento. Le finestre esposte a nord trasmettono principalmente luce diffusa, poiché sono private della radiazione solare diretta.

- Progetto l'orientamento in base alla luce

Essere consapevoli, durante la fase di progettazione, delle questioni legate alla luce naturale è importante. Utilizzando piccoli trucchi è possibile amplificare la luminosità di uno spazio, riducendo così i bisogni di illuminazione artificiale. Una possibilità potrebbe essere l'uso dei colori chiari, quelli che danno luce, come ad esempio il bianco, per i muri interni e altre superfici: in questo modo la luce è ripetutamente riflessa e semplicemente si diffonde nelle camere.

## **Servizi dell'edificio**

- Utilizzare le migliori tecnologie

Essere consapevoli del rendimento energetico degli impianti tecnici e utilizzare la migliore tecnologia disponibile per le pompe, il sistema di controllo, il sistema di riscaldamento, il sistema di circolazione dell'acqua e ottimizzarli per soddisfare la richiesta specifica.

- Utilizzare le soluzioni intelligenti

Utilizzare soluzioni intelligenti in grado di ottimizzare i sistemi tecnologici e i sistemi di commutazione da cui dipendono le necessità, come sistemi di circolazione dell'acqua intelligente che agiscono sulla richiesta piuttosto che su un sistema ad uso continuativo. Utilizzare sistemi che possono essere ottimizzati in combinazione con la richiesta dell'utilizzatore in base ai suoi orari del giorno e dell'anno.

- Monitorare il sistema e l'uso

Monitorare l'edificio e dare all'utilizzatore informazioni e feedback sul consumo di energia. Dove possibile, analizzare gli utilizzatori riguardo agli impieghi di energia per l'uso delle principali tecnologie, alle temperatura interna, al livello di CO2 e alla percentuale di umidità, tutto in relazione al clima esterno. Fare una valutazione dell'intero sistema per almeno un anno.

### Acqua calda domestica

- Ridurre l'uso

Utilizzare dispositivi di risparmio dell'acqua per ridurre l'uso di acqua calda dai rubinetti. Ottimizzare il sistema per ridurre il bisogno di riscaldamento e valutare la vicinanza del locale da riscaldare al sistema di mandata, per ridurre la dispersione di calore durante il trasporto.

- Ottimizzare i sistemi

Utilizzare un sistema di riscaldamento che è ottimizzato per l'uso di energie rinnovabili e con le possibilità di controllo intelligente. Assicurarsi che tubi siano ben isolati per ridurre la dispersione di calore.

### Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
2.1 Richiesta energetica annua		1. $\leq 40$ kWh/m <sup>2</sup> 2. $\leq 60$ kWh/m <sup>2</sup> 3. $\leq 80$ kWh/m <sup>2</sup> 4. $\leq 120$ kWh/m <sup>2</sup>	

### 3.8 RIFORNIMENTO DI ENERGIA

In un edificio attivo, la richiesta di energia per la sua gestione deve essere ridotta il più possibile utilizzando strategia di risparmio energetico passive, mentre la piccola richiesta risultante dovrebbe essere fornita nel modo più sostenibile e conveniente possibile dalle risorse prossime di energia disponibile: tramite l'edificio, da sistemi di vicinato e infine dalla rete di fornitura servizi.

L'approvvigionamento energetico in un edificio attivo, dovrebbe essere sostituito, in massima misura, da fonti energetiche rinnovabili, che per definizione non possono esaurirsi. Esempi di energia rinnovabili sono l'energia elettrica prodotta dalle turbine eoliche o dalle celle fotovoltaiche, l'energia termica, idroelettrica, da biogas, l'energia fornita dalle pompe di calore (a condizione che l'energia fornita alla pompa di calore provenga da fonti di energia rinnovabile e che il "serbatoio" di energia primaria sia illimitato). Le risorse di energia non rinnovabile sono solitamente di origine fossile, come ad esempio quelle fornite dal carbone, gas, petrolio e dal nucleare.

Come suindicato, l'energia rinnovabile può essere prodotta da sistemi installati sulla costruzione, provenire da installazioni nel vicinato o dalla rete di fornitura servizi. Quando nessun sistema di produzione energetica rinnovabile è installato nella o sulla costruzione o nelle sua prossimità, deve essere dimostrato che l'energia utilizzata da fonti collettive remote, come il teleriscaldamento, proviene da fonti di energie rinnovabili.

Inoltre, per assicurare che la risorsa di energia più utilizzata sia quella sostenibile, si dovrebbero mettere in relazione i possibili rifornimenti con la richieste. Ad esempio, durante il giorno quando il sole brilla e c'è un surplus di energia elettrica generata dalle cellule fotovoltaiche sul tetto, dovrebbe essere un ottimo periodo per attivare la lavatrice piuttosto che aspettare fino a sera quando la richiesta generale di energia è più alta e il rifornimento da fotovoltaico è notevolmente inferiore o nullo.

### **3.8.1 RISORSE DI ENERGIA RINNOVABILE**

Le risorse di energia rinnovabile includono quella eolica, la solare, la geotermica, l'energia oceanica, quella idraulica, quella da biomassa, i gas da materiali di discarica, i gas da impianti di depurazione e i biogas. Tutte le soluzioni disponibili sul mercato possono essere prese in considerazione per il rifornimento di energia rinnovabile di un edificio fino a quando sono considerati efficienti in termini di costi.

#### **Rete elettrica**

- Le turbine eoliche convertono l'energia eolica in elettricità utilizzando un generatore a turbina eolica. Tali sistemi possono essere di medie o grandi dimensioni e fornire energia elettrica alla rete collettiva.
- Le unità di idroelettriche spesso forniscono energia alla rete elettrica.
- Produzione combinata di calore ed energia (o calore, raffrescamento ed energia) possono prodotti in impianti di cogenerazione di diversa potenza installati per rifornire energia ad un certo numero di utilizzatori finali. Tali impianti hanno alte efficienze ma quando forniscono una casa attiva, è importante che l'energia primaria utilizzata è di tipo rinnovabile come da biomassa, da energia idroelettrica o da rifiuti.

#### **Produzione di energia elettrica da impianto vicino e/o sull'edificio**

- I sistemi fotovoltaici, che convertono la radiazione solare in energia elettrica, sono sempre più popolari sugli edifici residenziali e non. Le celle fotovoltaiche necessitano di avere una visualizzazione del sole non ostruita, senza oggetti che producono ombreggiatura sulle celle. Se l'elettricità prodotta è maggiore rispetto ai consumi, l'eccesso può essere immagazzinato in apposite batterie o immesso nella rete elettrica principale.
- Le turbine eoliche di piccole dimensioni possono essere installate sul tetto o nei pressi dell'edificio, a condizione che vi sia la disponibilità locale di correnti d'aria sufficiente, o forti, per la maggior parte del tempo durante l'anno. In tutti i casi, si necessita di dispositivi ausiliari, come convertitori e accumulatori. La produzione delle grandi turbine eoliche per la fornitura alla rete elettrica deve essere valutata in rapporto al costo-efficacia.

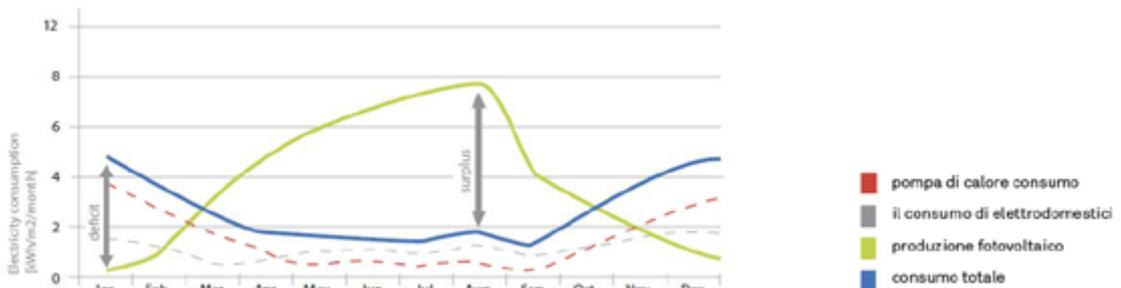
### Produzione di Calore da impianto vicino e/o sull'edificio

- I pannelli solari convertono le radiazioni solari in energia termica (tipicamente in acqua calda) utilizzando un collettore solare e un sistema di stoccaggio. Come per quelle fotovoltaiche, le celle solari richiedono una visione al sole non ostruita. Poiché il rendimento del sistema è maggiore quando l'erogazione avviene a basse temperature, i sistemi solari termici sono più adatti per il riscaldamento a basse temperature. Per raggiungere temperature più alte si necessita di risorse di riscaldamento secondarie. L'energia termica solare potrebbe essere usata per il riscaldamento o per la fornitura di acqua calda.
- Le pompe di calore geotermiche trasferiscono l'energia dal terreno al fluido di riscaldamento (usualmente aria o acqua). Le pompe di calore sono il sistema più adatto per le applicazioni a basse temperature. Solo le pompe di calore con una erogazione che supera significativamente l'energia necessaria per farla funzionare, ovvero quelli ad alto COP (coefficiente di prestazione), dovrebbero essere prese in considerazione.
- Le biomasse e biogas potrebbero essere utilizzati in caldaie tradizionali per produrre calore ad alta temperatura. Come per le altre caldaie, è richiesta una canna fumaria per il rilascio di fumi nell'ambiente circostante. Nei grandi impianti industriali questo calore potrebbe essere usato per produrre energia meccanica ed elettrica.

### 3.8.2 COME DETERMINARE LA MIGLIORE RISORSA DI ENERGIA RINNOVABILE

L'integrazione dell'energia rinnovabile dovrebbe essere bilanciata con la richiesta di energia. L'energia utile al riscaldamento è necessaria durante la stagione fredda quindi la scelta della risorsa rinnovabile utilizzabile deve essere basata sulle disponibilità presenti durante tale stagione.

179. Illustrazione della produzione e del consumo in un anno.



L'integrazione dovrebbe anche essere valutata su una prospettiva a lungo termine con valutazioni del scelte basati su un'analisi costi-ricavi, compresi i costi energetici a lungo termine e la possibilità, a lungo termine, di scambiare tali sistemi con altri, come i sistemi che permettono la sovrapproduzione con possibilità di vendita dell'energia alla rete.

### **Valutazione bilanciata**

Una soluzione bilanciata potrebbe richiedere un'integrazione di più di una risorsa di energia rinnovabile.

Ad esempio, l'energia rinnovabile per

- La richiesta del riscaldamento può essere fornita dalle pompe di calore azionate da energia rinnovabile da turbine eoliche e/o da pannelli solari e/o da unità di cogenerazione a biomasse.
- L'acqua calda può essere prodotta da una combinazione di pompe di calore e pannelli solari termici o da energia elettrica fornita da pannelli fotovoltaici che alimentano una resistenza accanto cui passa l'acqua.
- L'energia elettrica nel corso dell'anno può essere prodotta dalle turbine eoliche e dai pannelli fotovoltaici.

Il bilancio, tra la quantità di energia rinnovabile prodotta dall'edificio e la quantità di energia rinnovabile fornita dal sistema di rete collettivo o il sistema di teleriscaldamento collettivo, dovrebbe essere ottimizzato e basato sulla soluzione di costo ottimale. Pertanto, non ci sono specifiche raccomandazioni sulle fonti di energia rinnovabile da utilizzare. Tutto dipenderà sempre dalla collocazione dell'edificio.

Ad esempio, se l'edificio è posizionato in un'area rifornita di energia da un sistema di teleriscaldamento basato sull'energia rinnovabile, la migliore soluzione sarà presa integrando l'edificio con il sistema del distretto, mentre se il sistema di teleriscaldamento del distretto è lontano o non disponibile, potrebbe essere meglio usare caldaie a biogas o pompe di calore con l'integrazione di pannelli fotovoltaici o con altri rifornimenti di energia elettrica rinnovabile.

### **Progetto**

Il sistema di energia rinnovabile installato sull'edificio dovrebbe essere il più possibile integrato all'edificio e non aggiunto successivamente.

## Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
2.2 Origine della fornitura di energia		<ol style="list-style-type: none"><li>1. il 100% o più dell'energia utilizzata nell'edificio viene prodotta da esso o da sistemi nelle vicinanze</li><li>2. <math>\geq 75\%</math> dell'energia utilizzata nell'edificio viene prodotta da esso o da sistemi nelle vicinanze.</li><li>3. <math>\geq 50\%</math> dell'energia utilizzata nell'edificio viene prodotta da esso o da sistemi nelle vicinanze.</li><li>4. <math>\geq 25\%</math> dell'energia utilizzata nell'edificio viene prodotta da esso o da sistemi nelle vicinanze.</li></ol>	

### 3.9 PRESTAZIONI DELL'ENERGIA PRIMARIA

L'energia utilizzata in un edificio è prodotta e trasportata dalla sorgente locale o dalla rete e poi distribuita dove necessario per l'utilizzo finale. Questa catena di produzione- trasporto-distribuzione include le perdite che potrebbero essere di livello significativo, specialmente per le fonti di erogazione lontane e per le attrezzature e i sistemi di tubature inefficienti. Quindi, dato che lo scopo finale di tutte le strategie di efficienza energetica è quello di diminuire le perdite di qualsiasi tipo e preservare le risorse limitate, è sempre raccomandabile indicare il consumo di energia primaria associato all'uso dell'energia finale (energia richiesta) in un edificio. Questo approccio incoraggia i progettisti a scegliere quelle soluzioni, per l'edificio e per le sue installazioni, che conducono ai più bassi consumi di energia primaria, quindi ad un ridotto uso di risorse fossili e a basse emissioni di gas serra.

L'energia primaria è l'energia che non deve essere soggetta ad alcuna processo di conversione o trasformazione. Concettualmente l'energia primaria può essere rinnovabile o non rinnovabile. Per risparmiare le risorse naturali limitate è opportuno utilizzare le risorse di energia rinnovabile ma, dove necessario, è di interesse la possibilità di utilizzare le fonti di energia fossile solo per la fornitura di energia primaria. Questa definizione è ampiamente usata nei sistemi ingegneristici per assicurare la performance energetiche complessive e sarà usata ugualmente per le valutazioni sulla prestazioni della casa attiva.

Il rapporto tra l'energia primaria all'ingresso dell'unità di produzione e l'energia consumata dall'utente finale (chiamata anche energia finale, domanda di energia e di alimentazione) è chiamato fattore di conversione. Ogni tipo di energia utilizzata nell'edificio ha il suo fattore di conversione che dipende da molti fattori, come le perdite nelle fasi di produzione, trasporto e distribuzione, così come la combinazione di risorse naturali utilizzate in questa catena. Tale coefficiente di conversione elettrico varia in molti paesi varia tra 1,8 e 2,7, il che significa che l'energia primaria associata con l'energia elettrica utilizzata nell'edificio è tra 1,8 e 2,7 più alta di quanto sia il reale uso. Il teleriscaldamento ha spesso un fattore di conversione tra 0,6 e 1,0 a seconda del contenuto di energia rinnovabile utilizzata nell'insieme delle risorse.

Il calcolo dell'energia primaria segue i principi fissati nelle legislazioni nazionali, che in Europa derivano dalla direttiva sull'efficienza energetica degli edifici. Molto spesso, l'energia primaria è calcolata solo per la differenza tra l'energia totale richiesta dall'edificio per il normale funzionamento e le energie rinnovabili utilizzate sull'edificio per coprire la richiesta. Solo se si usa questo approccio, si può parlare di edificio a energia zero o edificio con surplus di energia, tra cui troviamo la casa attiva, dove la richiesta è totalmente sostituita con energia rinnovabile o energia prodotta dalle risorse rinnovabili ed è più alta della richiesta di energia necessaria al funzionamento dell'edificio. Nell'ultimo caso, il surplus di energia potrebbe essere trasferito ai sistemi di energia collettiva, come la rete, per essere usati da altri utenti finali.

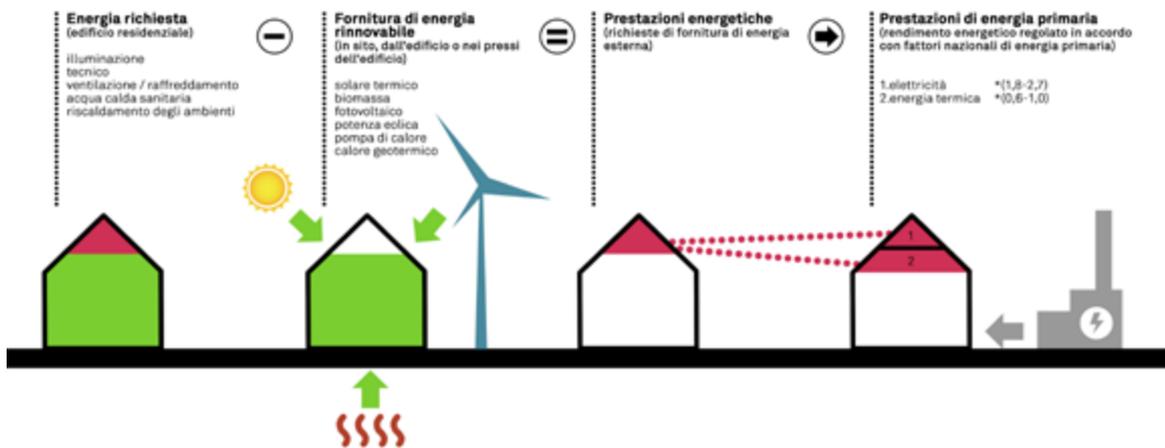
Se si usa lo strumento casa attiva, i calcoli dell'energia primaria vengono effettuati direttamente dal programma a patto che vengano stabiliti i fattori di conversione.

### 3.9.1 COME DETERMINARE IL CONSUMO DI ENERGIA PRIMARIA

Le prestazioni energetiche primarie di un edificio sono date dalla formula:

**Prestazione energetica primaria = (energia richiesta - energia rinnovabile fornita) x fattori energetici primari nazionali.**

180. Schema per il calcolo delle prestazioni energetiche.



Quindi, al fine di valutare un edificio attivo sono necessari i fattori energetici primari specifici richiesti per le specifiche fonti di provenienza e le regioni specifiche di utilizzo. Normalmente, per l'energia primaria saranno necessari i fattori di energia elettrica e di teleriscaldamento. Tuttavia, se sono usate altre fonti, come il gas o le caldaie locali in combinazione con l'energia rinnovabile e fossile, queste dovranno essere immesse nel calcolo.

Se i valori specifici non sono disponibili, affrontare una prima valutazione progettuale utilizzando i fattori di conversione di 2,5 per l'energia elettrica, 1,0 per il teleriscaldamento e 1,0 per il gas.

### **3.9.2 PARAMETRI QUALITATIVI PER LA VALIDAZIONE DELL'ENERGIA SUL POSTO**

I parametri quantitativi di una casa attiva includono le raccomandazioni per la richiesta di energia, di energia fornita e le prestazioni energetiche primarie. In aggiunta, ci sono raccomandazioni qualitative per la domanda e l'offerta di energia, la convalida energetica in loco e la gestione del consumo di energia nell'edificio.

#### **Richiesta Energetica**

La casa attiva non stabilisce requisiti specifici ai singoli prodotti o soluzioni. Si raccomanda di ottimizzare la soluzione progettuale per l'intero edificio e le sue installazioni, e di scegliere i prodotti e le soluzioni con le migliori prestazioni valutando questi su una base di costi ottimali. Questo, tra gli altri, richiede che le soluzioni individuali dovrebbero essere paragonate non solo in base al prezzo ma anche alle loro prestazioni, ai servizi, e all'aspettativa di vita. Ad esempio, una pompa a circolazione dotata di controllo intelligente può essere più conveniente, a livello di costi, di una che funziona continuamente, anche se necessita di spese iniziali superiori. Può anche essere importante sviluppare un sistema di riscaldamento dell'acqua suddiviso in zone piuttosto che usarne uno che gestisca l'intera zona.

#### **Rifornimento di energia**

Non richiedendo soluzioni specifiche per il rifornimento energetico, per un edificio attivo si suggerisce di guardare alle specifiche soluzioni disponibili nella zona dove è costruito l'edificio. L'integrazione nell'edificio dei sistemi per la produzione di energia rinnovabile dovrebbe basarsi su soluzioni di

costo ottimale. I sistemi per l'energia rinnovabile dovrebbero, ove possibile, essere parte del progetto architettonico, integrati, e dovrebbero essere quindi valutati da un punto di vista sia architettonico che ingegneristico.

### Convalida energetica in loco

Si raccomanda vivamente di controllare la qualità dell'edificio durante il processo di costruzione. Questo controllo dovrebbe includere la valutazione dei singoli prodotti e che i servizi erogati siano uguali a quelli specificati nel progetto, così come il controllo della qualità delle opere eseguite. Tali controlli dovrebbero essere eseguiti durante l'intero periodo di costruzione, per permettere le possibili dovute correzioni prima che i lavori vengano terminati. L'esperienza dimostra che i lavori non controllati possono generare consumi energetici dal 10 al 20% superiori ai valori stimati nella fase di progettazione.

### Gestione del consumo energetico nell'edificio

Il consumo energetico finale negli edifici dipende significativamente dal comportamento dell'utilizzatore e dalle soluzioni tecniche installate nell'edificio. L'esperienza dimostra che un comportamento scorretto, da parte degli utilizzatori, nello stesso edificio può causare facilmente un consumo di energia doppio o maggiore. È quindi importante aiutare l'utilizzatore dell'edificio, guidandolo su come ottenere un monitoraggio semplice e su come usare in modo efficiente le installazioni dell'edificio. I consumi energetici e alcuni parametri di comfort, come la temperatura, l'umidità e il livello di CO<sub>2</sub>, dovrebbero essere monitorati regolarmente e visualizzati su uno schermo visibile nell'edificio o su uno strumento portatile. È raccomandato monitorare anche l'utilizzo dell'energia rinnovabile. Questo approccio permette agli utilizzatori dell'edificio di agire sulle prestazioni e di modificare i comportamenti negativi.

### Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
2.3 Prestazioni energetiche primarie annuali		1. < 0 kWh/m <sup>2</sup> per l'edificio 2. 0-15 kWh/m <sup>2</sup> per l'edificio 3. 15-30 kWh/m <sup>2</sup> per l'edificio 4. ≥ 30 kWh/m <sup>2</sup> per l'edificio	

### 3.10 AMBIENTE

L'uso delle risorse e dei materiali per l'edilizia rappresenta il 24% di tutte le risorse utilizzate nel mondo. Per via dell'impatto che questo aspetto dell'edilizia genera sulla salute del nostro pianeta, la salvaguardia dell'ambiente, uno dei tre parametri principali nella visione di un edificio attivo, viene valutata attraverso il LCA (life cycle assessment), l'approvvigionamento sostenibile e l'uso razionale dell'acqua, i parametri principali da tenere sotto controllo per il raggiungimento di tale scopo.

Risolvere i problemi inerenti il cambiamento climatico è probabilmente la più grande sfida ambientale che l'umanità abbia mai affrontato. Ci sono abbastanza dimostrazioni che la crescente concentrazione dei gas serra nell'atmosfera si sta traducendo in un aumento della temperatura superficiale; con implicazioni sociali, ambientali ed economiche. Questo ha portato a fissare importanti sfide globali per la riduzione delle emissioni di gas serra e l'aumento dell'efficienza ambientale. Attualmente, circa 1/3 delle emissioni climalteranti globali provenienti dalle attività umane possono essere attribuite al settore edilizio.

In riferimento alle sfide ambientali, i gas ad effetto serra non sono gli unici tipi di emissioni pericolose per l'ambiente. Quindi, secondo gli standard TC-350 (sostenibilità delle costruzioni edili), i carichi ambientali sono descritti da 5 diverse categorie di emissioni (equivalenti); surriscaldamento globale potenziale CO<sub>2</sub>-eq, depauperamento dell'ozono R11-eq, creazione potenziale di ozono fotochimico C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>-eq, acidificazione potenziale SO<sub>2</sub>-eq e eutrofizzazione PO<sub>4</sub>-eq. Al di là di questi, l'energia primaria ridisegnata direttamente dalla natura è anche essa parte della valutazione.

Il LCA è uno degli strumenti più utilizzati per la valutazione dell'impatto ambientale dovuto ai materiali e agli edifici grazie alla sua flessibilità e la possibilità di includere tutte le fasi del ciclo di vita del sistema analizzato. Questa flessibilità permette al progettista di concentrarsi su tutto il ciclo di vita di un edificio specifico, questa prospettiva è in linea con la portata globale della visione degli edifici attivi.

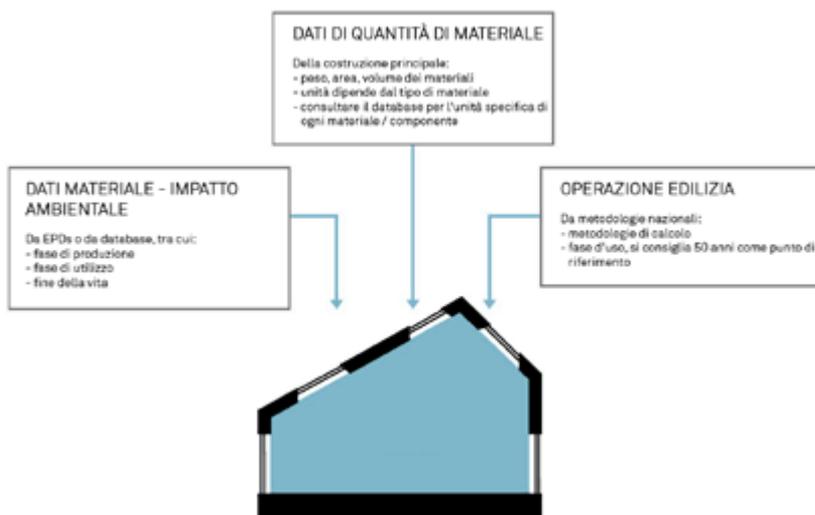
### 3.11 CARICHI AMBIENTALI - LCA

Il carico ambientale è parte dello studio da effettuare per un edificio attivo e si mostra come uno dei nove indicatori del radar. La valutazione si focalizza sui carichi ambientali totali derivanti dalla produzione dei materiali, dall'utilizzo dell'edificio e dalla fase di dismissione dell'edificio al termine del suo ciclo di vita.

Ci sono molti standard per il LCA e la sua metodologia. Tra le norme ISO vi è una serie completa dedicata alle tematiche ambientali, ISO 14025, 14040 e 14044 che è il più importante per la pratica del LCA. Nel contesto europeo, la commissione europea per la standardizzazione (CEN, da European Committee for Standardisation) ha rilasciato una serie di standard per la sostenibilità dei lavori di costruzione. Da questi due standard dipende il lavoro di questa parte di studio; uno è il EN 15804 con regole fondamentali per EPDs e l'altro è EN 15978 che fornisce un metodo di calcolo per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Infine, il prEN 16485, che è in fase di sviluppo, fornisce le leggi di categoria dei prodotti (PCR, da Product Category Rules) per il legno e per prodotti basati sul legno per essere usati nella costruzione.

L'obiettivo di un calcolo LCA è quello di valutare l'impatto ambientale complessivo dell'edificio attraverso il suo ciclo di vita. Un calcolo LCA, quindi, include la verifica dell'impatto ambientale in fase di produzione, durante il processo di costruzione, in fase di utilizzo e alla fine della vita utile del manufatto edilizio. Da un punto di vista pratico, il LCA deve essere realizzato in base alla norma EN15804. Il risultato materiale del calcolo LCA (dichiarazione ambientale del prodotto, o EPDs) può essere usato per il calcolo del livello dell'edificio. Per un edificio, il calcolo LCA deve essere eseguito secondo la norma EN 15978 poiché include l'impatto ambientale del materiale e del funzionamento dell'edificio. Per un edificio attivo il calcolo del LCA deve essere effettuato considerando che la durata di vita del manufatto è di 50 anni.

**181.** Lo schema mostra gli input necessari per effettuare un calcolo LCA.



### Materiali

Per calcolare il LCA di un edificio, è necessario disporre di tutti i dati LCA del singolo edificio. Questi dati possono essere sia di uno specifico prodotto, reperibili attraverso le dichiarazioni ambientali del prodotto EPDs, o essere valori generici, consultabili su dei database pubblici. In un edificio attivo per la valutazione LCA possono essere utilizzare entrambi i formati, sia EPDs che i valori generici specifici all'interno del database (ökobau.dat). Se si desidera usare uno specifico EPDs le fasi A1-3, B1-7e C1-4 (della figura in basso) devono essere dichiarate nella misura in cui sia un materiale rilevante per la costruzione. È possibile accedere ai risultati di uno specifico EPDs e utilizzarli nello strumento LCA di un edificio attivo per il calcolo di tale valutazione dell'edificio. L'EPDs secondo la norma EN 15804 può essere scaricato attraverso diversi programmi. Il programma operativo deve però far parte o essere approvato dall'organismo europeo ECO-platform.

**182** Principi per diverse fasi di vita degli edifici.

A					B					C			
FASE DI PRODUZIONE			FASE DEL PROCESSO DI COSTRUZIONE		FASE DI UTILIZZO					FASE DI FINE VITA			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Approvvigionamento di materiale	Trasporto	Produzione	Trasporto	Costruzione e installazione	Uso	Mancutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ristrutturazione	Dismissione	Trasporto	Trattamento dei rifiuti	Smaltimento
					Consumo di energia				B6				
					Consumo di acqua				B7				

Ottenere un basso impatto ambientale dai materiali, richiede che i materiali selezionati siano dotati di un basso impatto ambientale durante la loro produzione, ma anche di una ridotta manutenzione necessaria durante il loro ciclo di vita. In particolare la durata o il ciclo di vita tecnico è importante, in quanto i materiali aventi vita breve (meno di 50 anni) secondo lo standard saranno contati più volte nel calcolo del LCA, sia in termini di impatto ambientale della produzione che dello smaltimento (fine del ciclo di vita). Allo stesso tempo, è utile selezionare i componenti le cui materie prime sono riciclabili e adeguate ad un successivo utilizzo. Attraverso lo strumento LCA della casa attiva, è possibile analizzare l'edificio e gli scenari con diversi tipi di materiali, ciò può essere utile per individuare la migliore composizione materiale per ogni specifico progetto.

### **Fase di utilizzo**

Secondo le specifiche della casa attiva, il consumo energetico dell'edificio durante la fase di utilizzo dovrebbe essere calcolato in base ai regolamenti nazionali. I risultati del calcolo nazionale vengono trasferiti all' Hactive House LCA tool e rappresentano la fase B1 nella figura qui in alto. Il raggiungimento di un basso impatto ambientale dell'edificio in fase di esercizio è assicurato attraverso la riduzione della richiesta di energia dell'edificio, equivalente ad un buon punteggio nella specifica 2.1 del radar, insieme con l'uso dell'energia rinnovabile come valutato nelle specifiche 2.2 del radar.

### **Guide alla progettazione**

I seguenti 5 principi sono una breve lista di raccomandazioni date al fine di raggiungere un buon risultato e quindi un edificio con impatti bassi ambientali:

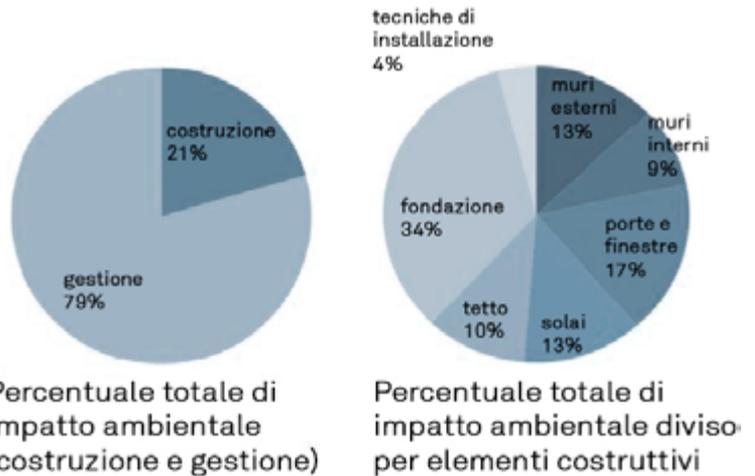
- Dato che il calcolo è basato sui carichi ambientali dovuti alla fase di esercizio e alla fase di costruzione, è importante analizzare sia l'uso dei materiali con la propria richiesta di energia che il rifornimento di energia dell'edificio;
- Utilizzare lo strumento di calcolo LCA per analizzare diversi materiali per l'edificio. Inoltre è utile ricordare che alcuni materiali dell'edificio potrebbero avere dei carichi ambientali relativamente alti ma potrebbero avere anche una lunga vita. Considerare questo in relazione all'aspettativa di vita dell'edificio quando si scelgono i materiali;
- Essere consapevoli degli effetti collaterali, come la capacità termica, la facilità di pulire le superfici e scegliere prodotti per la costruzione a basse emissioni e basso odore;
- Come regola generale, preoccuparsi maggiormente della scelta dei materiali da costruzione dotati di grande massa;

- Scegliere materiali per la costruzione che sono il più possibile composti da materiale riciclato e/o riciclabile.

### Risultato

Le figure di seguito mostrano i risultati di una tipico calcolo LCA. I grafici mostrano il carico ambientale diviso in costruzione e funzionamento e diviso da elementi costruttivi.

183. Percentuale dell'impatto ambientale totale e diviso per elementi costruttivi.



Potenziale di riscaldamento globale (GWP)	16,78	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
Potenziale di riduzione dell'ozono (ODP)	2,33E-06	kg R <sub>n</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
Creazione fotochimica di ozono (POCP)	0,0027	kg C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
Potenziale di acidificazione (AP)	0,034	kg SO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
Potenziale di eutrofizzazione (EP)	0,004	kg PO <sub>4</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
Energia primaria (PE) non rinnovabile	66,9	kWh/m <sup>2</sup> a

I carichi effettivi su 6 categorie necessarie per la valutazione sono riportati nella tabella.

Il punteggio viene calcolato sulla base dei risultati delle 6 categorie.

### Strumenti

Realizzare una valutazione su un edificio attivo richiede l'uso del LCA tool e

i dati conformi agli standard citati. Active House fornisce all'utilizzatore uno strumento LCA creato per questo proposito.

### Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
3.1.1 Consumo di energia primaria durante l'intero ciclo di vita dell'edificio		1. < 150 kWh/m <sup>2</sup> x a 2. < 15 kWh/m <sup>2</sup> x a 3. < 150 kWh/m <sup>2</sup> x a 4. < 200 kWh/m <sup>2</sup> x a	
3.1.2 Potenziale di riscaldamento globale (GWP) durante il ciclo di vita dell'edificio		1. < 30 kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 2. < 10 kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 3. < 40 kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 4. < 50 kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a	
3.1.3 Potenziale di distruzione dell'ozono (ODP) durante il ciclo di vita dell'edificio		1. < 2.25E-07 kg R <sub>11</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 2. < 5.3E-07 kg R <sub>11</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 3. < 3.7E-06 kg R <sub>11</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 4. < 6.7E-06 kg R <sub>11</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a	
3.1.4 Potenziale di creazione fotochimica di ozono (POCP) durante il ciclo di vita dell'edificio		1. < 0.0025 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 2. < 0.0040 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 3. < 0.0070 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 4. < 0.0085 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a	
3.1.5 Potenziale di acidificazione (AP) durante il ciclo di vita dell'edificio		1. < 0.010 kg SO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 2. < 0.075 kg SO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 3. < 0.100 kg SO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 4. < 0.125 kg SO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a	
3.1.6 Potenziale di eutrofizzazione (EP) durante il ciclo di vita dell'edificio		1. < 0.0040 kg PO <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 2. < 0.0055 kg PO <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 3. < 0.0085 kg PO <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a 4. < 0.0105 kg PO <sub>4</sub> -eq./m <sup>2</sup> x a	
		<b>MEDIA TOTALE</b>	

## 3.12 CONSUMO DI ACQUA DOLCE

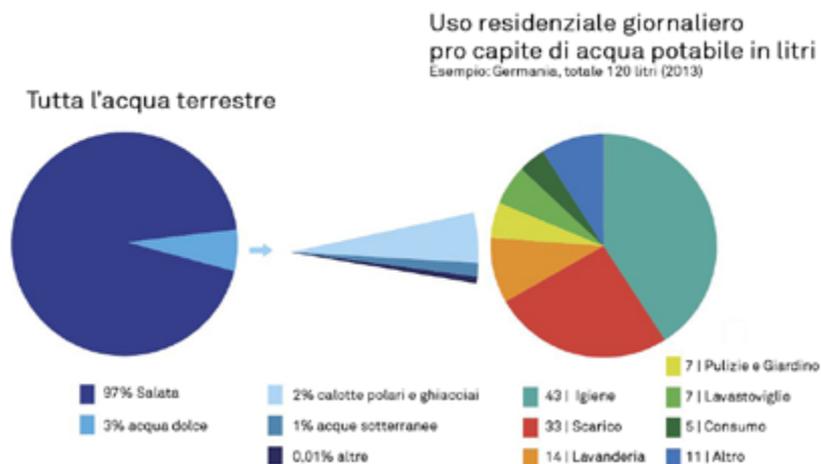
### Acqua dolce e acqua potabile

Sulla Terra l'acqua potabile è una risorsa limitata. Meno del 1% dell'acqua della Terra è disponibile per il consumo umano mentre la maggior parte è salina e 2/3 dell'acqua dolce è intrappolata nei ghiacciai polari. Non tutta l'acqua dolce è potabile. La maggior parte dell'acqua superficiale e dell'acque freatica, se non trattata, è inutilizzabile ai consumi, non è potabile, la causa è da imputare alla presenza di contaminanti chimici o biologici. Preservare l'acqua potabile è fondamentale per l'intera umanità.

### Il consumo di acqua dolce

Il consumo di acqua pro capite giornaliero differisce da paese a paese a causa dei prezzi dell'acqua, della disponibilità d'acqua, del clima, della qualità della vita, delle strategie politiche, etc. Il quadro generale, tuttavia, è che circa l'80% del rifornimento di acqua pubblica viene utilizzato nelle aree residenziali o negli edifici commerciali, affidando, quindi, il maggior ruolo per la preservazione di questa fondamentale risorsa a tutti noi. Le scelte di preservazione dell'acqua possono ridurre significativamente lo spreco della risorsa, ovvero ridurre il consumo di livello complessivo senza compromettere il comfort.

**184.** La disponibilità di acqua sulla terra. (Fonte: A Guide to the World's Fresh Water Resources (Oxford University Press, New York).



A tal proposito, circa il 50% del consumo d'acqua può essere sostituito dall'acqua piovana o dall'acqua riciclata.

L'acqua grigia è acqua reflue priva di materia fecale. Dopo il trattamento, le acque grigie e l'acqua piovana possono essere riciclate e riutilizzate, per lo scarico igienico, la lavatrice e le altre pulizie; bisogna considerare solo i costi di energia e l'investimento. Il trattamento, a volte, è richiesto anche per l'acqua piovana.

Anche l'acqua nera, quella proveniente dai bagni, può essere trattata e riutilizzata ma questo è un processo energetico più complesso ed intensivo.

### 3.12.1 RIDURRE IL CONSUMO DI ACQUA DOLCE

La minimizzazione dell'impronta idrica di un edificio attivo viene valutata in riferimento all'uso nazionale di acqua ed è quindi classificata sulla minimizzazione specifica in relazione al livello nazionale.

Può essere consigliabile utilizzare una strategia di minimizzazione dell'acqua seguendo i principi di, riduzione, sostituzione e riuso.



185. Diagramma di minimizzazione del consumo di acqua.

### **Riduzione del consumo di acqua**

La riduzione del consumo di acqua è una decisione intelligente, ecologica ed economica nel breve e nel lungo termine. Lo stress idrico sta aumentando globalmente e di conseguenza anche i prezzi dell'acqua.

L'immediata disponibilità di acqua calda da ricircolo ai punti di uso (ad esempio per la doccia) riduce significativamente gli sprechi, l'intensità energetica per la produzione di acqua calda e aumenta il comfort grazie alla immediata erogazione di acqua calda.

### **Sostituire l'acqua principale con acqua piovana**

Le ragioni per usare l'acqua piovana:

- Finanziaria: risparmia soldi riducendo il conto dell'acqua.
- Ecologica: riduci l'estrazione dell'acqua dal sottosuolo.
- Tecnica: riduci lo stress eccessivo del sistema fognario municipale e dell'impianto di depurazione, l'acqua piovana riduce il calcare;
- Sociale: i serbatoi d'acqua decentrati per il sistema di raccolta di acqua piovana riducono lo stress sul sistema di reti fognarie durante le forti piogge e riduce il rischio di allagamento.

Fattori da prendere in considerazione

- La dimensione della superficie del tetto, il materiale del tetto, l'inquinamento dell'ambiente circostante, la fornitura di acqua piovana (precipitazione), lo spazio per la raccolta dell'acqua piovana, il filtraggio, norme per prevenire la contaminazione della rete idrica, manutenzione.
- Nota: il sistema di doppio condotto deve essere parte del progetto.

## **3.12.2 COME PROGETTARE IN MANIERA OTTIMALE IL CONSUMO DI ACQUA**

Tutte le misure di efficienza idrica economicamente efficaci dovrebbero essere valutate prima di considerare soluzioni alternative.

### **1. Ridurre**

Istallare componenti per il risparmio di acqua di: docce, rubinetti, servizi igienici, lavatrici, lavastoviglie, superfici facilmente lavabili, sistema di pompaggio per il ricircolo dell'acqua calda sanitaria.

## 2. Sostituire

L'acqua piovana può sostituire l'acqua non potabile all'interno dell'edificio.

## 3. Riciclare

Dopo il trattamento, riciclare l'acqua grigia o, dove possibile, l'acqua nera, per la doccia, per la lavatrice, per lo scarico del bagno e per l'irrigazione.

Una strategia basata sul risparmio dell'acqua include una lista di iniziative per la riduzione, la sostituzione e il riuso dell'acqua.

### Lista di esempio

#### Ridurre

- Basso flusso per l'erogazione dell'acqua nella doccia
- Basso flusso per l'erogazione dell'acqua dei rubinetti
- Doppio flusso per l'acqua dello scarico del bagno
- Poca acqua per la lavatrice
- Lavaggio semplice delle superfici
- Ricircolo dell'acqua calda

#### Sostituire

- Raccolta dell'acqua piovana per i bagni
- Raccolta dell'acqua piovana per la lavanderia
- Raccolta dell'acqua piovana per l'irrigazione
- Raccolta dell'acqua piovana per il lavaggio dell'auto

#### Riuso

- Riutilizzo dell'acqua grigia per i bagni
- Riutilizzo dell'acqua grigia per l'irrigazione
- Riutilizzo dell'acqua grigia per la lavatrice
- Riutilizzo dell'acqua grigia per il lavaggio della macchina
- Riutilizzo dell'acqua grigia per il recupero del calore
- Riutilizzo dell'acqua nera per il bagno

### Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
3.2.1 Riduzione dei consumi di acqua dolce durante l'uso dell'edificio		<p>Il calcolo si basa sulla media nazionale di acqua consumata nell'edificio in un anno.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. miglioramento <math>\geq 50\%</math> (della media)</li><li>2. miglioramento <math>\geq 30\%</math></li><li>3. miglioramento <math>\geq 20\%</math></li><li>4. miglioramento <math>\geq 10\%</math></li></ol> <p><math>\% = \frac{\text{Media nazionale} - \text{consumo edificio}}{\text{Media nazionale}} \times 100</math></p>	

### **3.13 COSTRUIRE SOSTENIBILE**

Quando si progetta un edificio attivo è importante valutare il contenuto e la fonte dei materiali riciclabili e/o riciclati. Questa considerazione è in linea con le disposizioni di uno sviluppo sostenibile. Un approvvigionamento responsabile dei materiali viene riflesso nei regolamenti dell'unione Europea. Un uso sostenibile dei materiali è sempre più importante da tenere in considerazione, questo è evidente per esempio nei "Piani d'azione per le risorse efficienti in Europa" che, come è stato precedentemente descritto, stabilisce degli obiettivi per l'anno 2020 in rapporto alla riqualificazione ed alle nuove costruzioni: "Nel 2020 la riqualificazione e la nuova costruzione degli edifici e delle infrastrutture sarà eseguita utilizzando molte risorse efficienti [...] il 70% dei materiali da costruzioni sicuri e degli scarti di demolizione saranno riciclati".

I suggerimenti, nelle specifiche dell'Active House, per certificare i sistemi di gestione ambientale (EMS da Environmental Management Systems) presso i distributori dei materiali, aiutano a garantire che i materiali siano realmente prodotti in maniera ecologicamente consapevole.

#### **3.13.1 IL CONTENUTO RICICLATO**

Il tema del riciclo è parte della valutazione del radar della casa attiva, sia per i nuovi edifici che per le riqualificazioni. In un progetto di riqualificazione è incluso nella valutazione solo il materiale che è parte dell'intervento. In una casa attiva si dovrebbe anche prendere in considerazione come è possibile smontare l'edificio, alla fine del suo ciclo di vita, per il riciclaggio ed il riuso dei materiali.



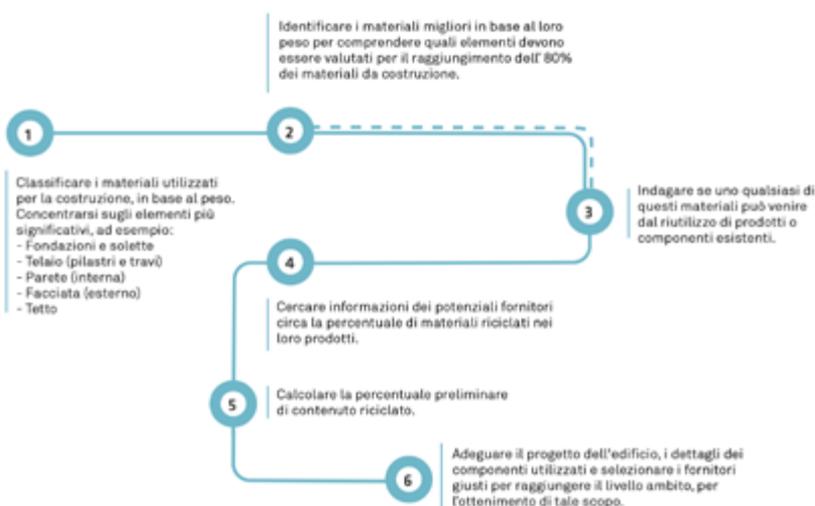
186. Riuso e riciclo dei materiali.

Nelle specifiche della casa attiva si dovrebbe valutare la media ponderata del contenuto riciclato per tutti i materiali da costruzione, essa dovrebbe contare almeno l'80% dei materiali impiegati nella costruzione.

Tale contenuto è la percentuale, in termini di massa, di materiale riciclato misurata in un prodotto o nel riuso di un prodotto. Il materiale riciclato è un materiale di scarto che è stato trasformato in un prodotto finale o in un componente incorporato in un prodotto finale. Può essere impiegato sia per il proposito originale che per altri propositi, mentre, quando si parla di riuso, si intende un prodotto o un componente, non di scarto, che viene utilizzato nuovamente senza essere sottoposto a trasformazione.

Quando si progetta una casa attiva e si affronta il tema del riciclo, è fondamentale concentrare l'attenzione sui materiali più importanti. Bisognerebbe iniziare facendo una lista del materiale più importanti, attribuendo un peso, per comprendere quali materiali sono presenti in maggior numero.

Il grado di materiale riciclato utilizzato in un edificio può essere aumentato riutilizzando i materiali presi da altri edifici dismessi o impiegando componenti che contengono percentuali significative di materiale riciclato. Durante il processo di approvvigionamento, verificare se possono essere impiegati i componenti di riutilizzo e chiedere ai fornitori le informazioni sui materiali riciclati utilizzati nei prodotti.



### Esempio di calcolo del contenuto riciclato di una costruzione

Parti dell'edificio	Livello del prodotto	Peso (kg)	Contenuto riciclato (%)	Contenuto riciclato (kg)	Contabilità per il peso dei materiali % del peso accumulato
Fondazioni e solette	aggregato-cemento ricicl.	1700	100%	1700	21%
Facciata (esterna)	rivestimento in mattoni	300	80%	240	25%
Tetto	ardesia	200	80%	160	28%
Fondazioni e solette	calcestruzzo	3500	5%	175	71%
Telaio (pilastri e travi)	legno	500	10%	50	78%
Parete (interna)	gesso	200	25%	50	80%
Porte e finestre	vetro	400	5%	20	85%
Altri materiali	Altri materiali	100	0%	0	100%

Contabilità per l'80% del peso dell'edificio

Peso totale dei materiali (kg)	8000
Peso dell'80% dei materiali (kg)	6400
Peso di materiale riciclato (kg)	2375
Contenuto riciclato del 80% dei materiali utilizzati	37%
Punteggio del radar Active House	2

### 3.13.2 FONTE RESPONSABILE

Un approvvigionamento responsabile include l'obbligo di utilizzare fonti certificate. Nelle specifiche della casa attiva si dovrebbe valutare la percentuale di legno che viene certificato come sostenibile (ad esempio FSC o PEFC) e la percentuale dei distributori che hanno un sistema di gestione ambientale certificato (EMS). Come per i materiali riciclati, la valutazione dovrebbe condurre all'utilizzo nell'edificio dell'80% di materiali certificati.

Durante il processo di approvvigionamento, cercare i materiali e i prodotti che sono certificati come il legno sostenibile. Ad esempio, conformità a FSC o PEFC ma anche ad altre iniziative che sono disponibili in diversi paesi e regioni. I certificati della catena di custodia delle fibre del legno come FSC o PEFC, o altri mezzi equivalenti, sono accettati come una prova di conformità. Iniziare elencando i materiali più importanti, attribuendo un peso, per comprendere su quali materiali e distributori concentrarsi.

Etichette importanti per valutare la scelta dei materiali da utilizzare:

- FSC, Il Forest Stewardship Council promuove una gestione appropriata a livello ambientale, socialmente benefica ed economicamente realizzabile, delle foreste di tutto il mondo. L'origine del legno è tracciato attraverso tutta la filiera di rifornimento<sup>141</sup>.
- PEFC, Il Programme for the Endorsement of Forest Certification promuove la gestione sostenibile delle foreste (SFM da Sustainable Forest Management) attraverso una certificazione indipendente di

141 Per maggiori informazioni: ic.fsc.org.

terze parti<sup>142</sup>.

Altri programmi rilevanti esistono ad esempio negli Stati Uniti e in Canada:

- American Tree Farm System (ATFS), applicabile solo negli Stati Uniti<sup>143</sup>.
- Canada Standards Association's Sustainable Forest Management Standard applicabile solo in Canada<sup>144</sup>.
- Sustainable Forestry Initiative (SFI) Program, applicabile sia negli Stati Uniti che in Canada<sup>145</sup>.

EMS, L'Environmental Management System dovrebbe soddisfare requisiti simili a quelli descritti nello standard internazionale ISO 14001. Eventuali possibilità includono certificati ISO 14001 o certificati equivalenti rilasciati da organismi in conformità alla legge comunitaria dell'UE o delle relative norme europee o internazionali in materia di certificazione in base agli standard di gestione ambientali.

Il presente standard internazionale specifica i requisiti, per un sistema di gestione ambientale, utili ad abilitare un'organizzazione a sviluppare e implementare le politiche e gli obiettivi, che tengano in considerazione le disposizioni di legge e le informazioni sugli aspetti ambientali significativi<sup>146</sup>.

### 3.13.3 STRATEGIA PER LO SMONTAGGIO

- Riutilizzare materiali di alta qualità anche per incoraggiare il mercato al recupero dei materiali.
- Minimizzare i diversi tipi di materiali, riducendo la complessità e il numero dei processi di separazione.
- Evitare materiali tossici e pericolosi che aumentano potenzialmente gli impatti sulla salute umana ed ambientale, e la potenziale spesa di trasporto futura, il rischio di responsabilità e le difficoltà tecniche di smaltimento.
- Evitare i materiali composti e realizzati con prodotti inseparabili, in modo che in fase di smontaggio sono più semplici da riciclare.

---

142 Per maggiori informazioni: [www.pefc.org](http://www.pefc.org).

143 Per maggiori informazioni: [www.treefarmssystem.org](http://www.treefarmssystem.org).

144 Per maggiori informazioni: [www.csasfeforests.ca](http://www.csasfeforests.ca).

145 Per maggiori informazioni: [www.sfiprogram.org](http://www.sfiprogram.org).

146 Per maggiori informazioni: [www.iso.org](http://www.iso.org) e [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

- Evitare, in fase di finitura, di coprire le connessioni dei materiali, rendendo successivamente più difficile trovare i punti di connessione.
- Fornire gli standard e le identificazioni permanenti dei materiali chimici.
- Ridurre il numero dei tipi di componenti per aumentare le quantità in fase di recupero di parti simili.
- Separare la struttura dal rivestimento per consentire una maggiore capacità di adattamento e la separazione, in fase di decostruzione, della parte non strutturale da quella strutturale.
- Fornire tolleranze adeguate per consentire lo smontaggio in modo da ridurre il ricorso a metodi distruttivi che avranno un impatto negativo sui componenti adiacenti.
- Ridurre al minimo il numero degli elementi di fissaggio e dei connettori per aumentare la velocità dello smontaggio.
- Progettare giunti e connettori che resistano ai possibili montaggi e smontaggi, consentendo l'adattabilità e il possibile riutilizzo dei connettori.
- Consentire lo smontaggio parallelo per diminuire il tempo di dismissione.
- Utilizzare un modulo strutturale standard per consentire dimensioni standard ai materiali recuperabili.
- Utilizzare costruzioni prefabbricate che possono essere smontate per il riuso come unità modulari o separate ulteriormente fuori dal sito.
- Utilizzare materiali leggeri e componenti che sono facilmente gestibili dal lavoro umano.
- Identificare i punti permanenti di smontaggio per ridurre il tempo nel processo di dismissione.
- Garantire la riparazione dei singoli componenti danneggiati, anche se facenti parte di un complesso sistema.
- Progettare le fondazioni in modo da permettere eventuali dilatazioni verticali dell'edificio nelle operazioni di demolizione.
- Utilizzare una griglia strutturale ampia il più possibile, per massimizzare gli elementi del muro non strutturali.
- Consolidare i sistemi meccanici, elettrici e idraulici (MEP) in unità centrali per ridurre percorsi e grovigli non necessarie ed evitare complicazioni.

## Scheda Valutativa per una casa attiva

PARAMETRO	VALORE	CRITERI	PUNTI
3.3.1 Contenuto riciclato		<p>Il peso, la media di contenuto riciclato tra tutti i materiali da costruzione (ponderata in proporzione ai materiali impiegati nell'edificio) potrebbe essere:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\geq 50\%</math></li> <li>2. <math>\geq 30\%</math></li> <li>3. <math>\geq 10\%</math></li> <li>4. <math>\geq 5\%</math></li> </ol> <p>Dovrebbe essere contabilizzato l'80% dei materiali dell'edificio (Nel contenuto riciclato, prendiamo in considerazione, il pre-consumo e il post-consumo da raccolta differenziata)</p>	
3.3.2 Fonte responsabile		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Il 100% del legno utilizzato è certificato (FSC, PEFC) e l'80% del nuovo materiale fornitore ha un certificato EMS</li> <li>2. L'80% del legno utilizzato è certificato (FSC, PEFC) e il 50% del nuovo materiale fornitore ha un certificato EMS</li> <li>3. Il 65% del legno utilizzato è certificato (FSC, PEFC) e il 40% del nuovo materiale fornitore ha un certificato EMS</li> <li>4. Il 50% del legno utilizzato è certificato (FSC, PEFC) e il 25% del nuovo materiale fornitore ha un certificato EMS</li> </ol>	
		<b>MEDIA TOTALE</b>	

## 3.14 RADAR DELLA CASA ATTIVA

Il radar della casa attiva mette insieme i tre criteri principali (comfort, energia e ambiente), descrivendo per ognuno di essi il livello di ambizione preposto.

### **Calcolo**

Le prestazioni dell'edificio devono essere calcolate per ognuno dei nove parametri secondari, seguendo la metodologia descritta nelle specifiche della casa attiva. Il calcolo può essere fatto utilizzando lo strumento di calcolo della casa attiva (Active House calculation tool), disponibile per i membri degli iscritti all'iniziativa o in modo alternativo utilizzando i metodi nazionali o altri strumenti di calcolo standard che incorporano i parametri precedentemente descritti.

### **Requisiti**

Per un edificio da considerarsi come una casa attiva, il livello di ambizione può essere quantificato in quattro livelli per ciascuno dei parametri, dove 1 è il livello più alto e 4 il più basso. L'ambizioso requisito per una casa attiva è includere tutti e 9 i parametri e richiede ognuno di loro il raggiungimento del livello più alto possibile, preferibilmente il valore 1.

### **Tracciare il radar**

Il radar sarà tracciato automaticamente quando si utilizza lo strumento di calcolo della casa attiva (Active House calculation tool). Per le altre soluzioni può essere utilizzato lo strumento della casa attiva (Active House Radar tool), dove possono essere inclusi i valori specifici di calcolo per una casa attiva.

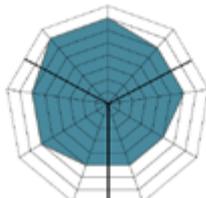
**187.** Classificazione dell'edificio in relazione al radar.



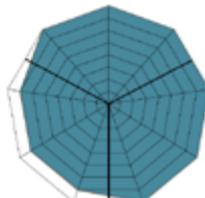
**Buono**



**Ottimo**



**Migliore**

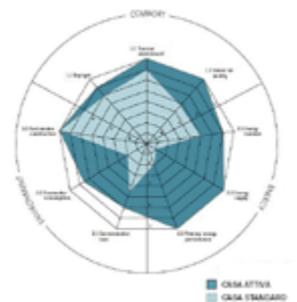


### 3.14.1 L'USO DEL RADAR NEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE

Il radar può essere utilizzato come strumento di dialogo tra il cliente e il progettista, dove i requisiti e le specifiche del determinato edificio possono essere incorporate nella primissima fase di progettazione.

#### Riferimento agli standard nazionali

Il normale riferimento per un progetto solitamente è basato sul requisito minimo della legislazione edilizia e degli standard nazionali. Può essere invece utile progettare gli edifici utilizzando il radar della casa attiva in modo da mostrare prestazioni migliori rispetto agli standard nazionali.





### Riqualificazione e ammodernamento

Quando un edificio è in fase di riqualificazione o ammodernamento, il radar della casa attiva può essere usato per paragonare la prestazioni dell'edificio esistente con la quelle dell'edificio riqualificato. In tal modo il progettista può utilizzare il radar nel dialogo con il cliente, per ottimizzare l'edificio in base ai singoli parametri della casa attiva.



### Monitoraggio dell'edificio durante l'uso

Il radar della casa attiva è un buono strumento per mostrare l'ambizione raggiunta dall'edificio e i valori calcolati. Quando l'edificio è abitato, il radar può essere uno strumento utile per monitorare, valutare e migliorare l'edificio. Come strumento di comunicazione, può fornire chiarezza sull'importanza dell'integrazione dei parametri nel creare una casa attiva.

## 3.15 STRUMENTO DI CALCOLO DELLA CASA ATTIVA

### Uso dello strumento

L'alleanza<sup>147</sup> della casa attiva ha sviluppato uno strumento che rende facile per i progettisti valutare e confrontare i progetti della casa attiva. Lo strumento è basato su una piattaforma Excel che può essere facilmente installato ed utilizzato su un qualsiasi computer. Per i membri dell'alleanza della casa attiva è gratis utilizzare tale strumento, mentre per i non-membri si può usare una versione di prova dalla durata di 30 giorni. Una speciale versione per studenti può essere offerta alle università e alle scuole per la formazione dei futuri architetti ed ingegneri<sup>148</sup>.

### Calcolo con i valori di riferimento

Lo strumento può essere usato per fare due calcoli dello stesso edificio.

1. Un calcolo principale per la costruzione con gli input per l'edificio specifico che viene progettato.
2. Il secondo calcolo da usare come riferimento.

Questo riferimento può essere basato sulla legislazione nazionale, un edificio di riferimento, con la specifica ambizione dell'investitore, un edificio esistente se il progetto riguarda una riqualificazione oppure possono essere rappresentati i valori monitorati per comparare le prestazioni teoriche con i riscontri del mondo reale. La possibilità di confrontare entrambi i calcoli in un'unica scheda o radar offre al progettista uno strumento di comunicazione che può essere usato durante il processo di progettazione o come strumento per il monitoraggio del progetto.

### Gli input del Comfort

Il calcolo dell'illuminazione con la rispettiva simulazione dovrebbero essere eseguiti per tutte le stanze primarie e inseriti per ognuno di essi. Il valore più basso di tutte le stanze sarà utilizzato per la valutazione finale. In secondo

---

147 Per alleanza si intende il gruppo di tutti i membri iscritti al progetto Active House.

148 Lo strumento può essere scaricato e installato dall'homepage Active House: [www.activehouse.info](http://www.activehouse.info).

luogo, la disponibilità di illuminazione va calcolata anche per il periodo invernale, oltre a quello estivo; il valore della media di entrambi i calcoli fornisce il risultato di tale parametro.

Una valutazione del comfort termico di tutte le stanze primarie necessita di essere realizzata per entrambi le condizioni, sia estive che invernali. I risultati più bassi sono usati per la valutazione. Il comfort termico può essere definito come il livello specifico calcolato negli strumenti della casa attiva o essere classificato in accordo con la norma EN 15251. La media delle condizioni estive e invernali dà il risultato dell'edificio.

La qualità dell'aria è basata sul livello di CO<sub>2</sub> e deve essere eseguita per le stanze primarie con riferimento al livello esterno. Il valore più basso è utilizzato nella valutazione ed è usato come risultato dell'edificio.

L'alleanza della casa attiva ha sviluppato uno strumento di supporto, dove i dati di input per il comfort termico e la qualità dell'aria possono essere calcolati. La base per il calcolo è una simulazione di ogni stanza secondo la norma EN 15251<sup>149</sup>.

### **Gli input dell'Energia**

La richiesta di energia (energia finale) è calcolata per l'intero edificio, con il consumo di energia basato sulla fonte di energia e sul sistema (pompa di calore, caldaie, teleriscaldamento, elettricità ecc.), includendo i valori di efficienza per la pompa di calore (COP). I dati in ingresso sono divisi in riscaldamento, acqua calda, ventilazione, illuminazione e impianti tecnici. Sulla Base degli input, il fabbisogno energetico viene calcolato come energia finale, fornendo il risultato per il radar.

L'energia rinnovabile è valutata per il riscaldamento e l'elettricità e può essere suddivisa nella quantità di energia rinnovabile installata nell'edificio, utilizzata dal sistema di energia del distretto e utilizzata dalla rete. L'unità di misura utilizzata è il Kwh/m<sup>2</sup>. Basato sull'input, il risultato della percentuale dell'energia rinnovabile calcolata è utilizzato per il radar della casa attiva.

Il fattore dell'energia primaria dovrebbe essere identificato per la specifica fonte di energia e il risultato dell'energia primaria viene in fine calcolato in base al sopracitato input e utilizzato per il radar della casa attiva. Il calcolo segue i principi della direttiva per le prestazioni energetiche degli edifici, dove l'energia rinnovabile, installata in un edificio o proveniente dall'esterno, è detratta dalla richiesta di energia, prima che l'energia primaria è calcolata.

### **Gli input ambientali**

Il carico ambientale include sei parametri secondari che devono essere calcolati e dati. Ogni parametro deve essere valutato per ogni componente

---

149 Questo strumento è disponibile sull'homepage del sito Active House.

primario della costruzione, come il muro esterno, il tetto, i solai e le installazioni dei principali impianti tecnici. L'input segue le metodologie europee per la valutazione LCA dei prodotti e degli edifici e se un calcolo è già fatto, i dati possono essere usati come input. In alternativa l'alleanza della casa attiva ha sviluppato uno strumento di supporto che può essere usato<sup>150</sup>. Il valore medio dei sei sotto parametri è usato per il dato da immettere sul radar della casa attiva.

Il consumo di acqua deve essere calcolato e comparato con le medie nazionali. Le percentuali tra i due sono usate come input e sono usate per calcolare la casa attiva.

I dati per le costruzioni sostenibili includono i calcoli delle quote di materiali riutilizzati nei prodotti usati, nonché la quota dei materiali che può essere riutilizzata dopo la demolizione. Il calcolo dovrebbe includere i principali materiali. In aggiunta a quanto appena detto, l'approvvigionamento dei materiali viene valutata con la percentuale di legno da fonti FSC o PEFC, e la percentuale dei materiali coperti dal sistema EMS. Le medie di cui sopra sono usate per calcolare il valore del radar della casa attiva.

#### Output e stampa

Lo strumento include due possibilità di output:

1. un documento semplice di una pagina con un radar e i valori specifici del calcolo principale e un edificio di riferimento con la possibilità in un documento PDF.
2. un report dettagliato con i valori specifici gli input per l'intero calcolo può essere fatto come un documento PDF. Questo documento è valutabile per lo sviluppo dettagliato e il dialogo sugli argomenti che possono essere ottimizzati.

---

<sup>150</sup> Lo strumento può essere usato per i materiali di prima costruzione e può essere scaricato dall'homepage del sito Active House.

## **ESEMPI DI CASE ATTIVE**

# Healthy Home Townhouses

## Casa attiva in Stjørdal, Norway

### Specifiche

**Sviluppatore:** Fremtidens Aktivhus, established by Tore Ligaard AS.

**Architetto:** Ketil Skogholt tegnestue

**Località:** Stjørdal, Norway



# Great Gulf Home

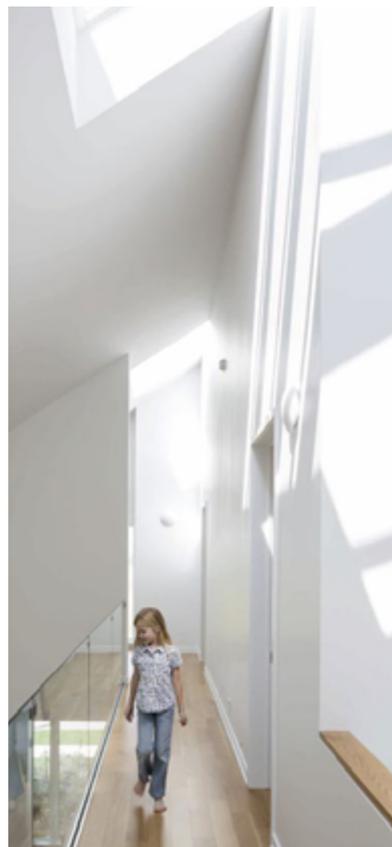
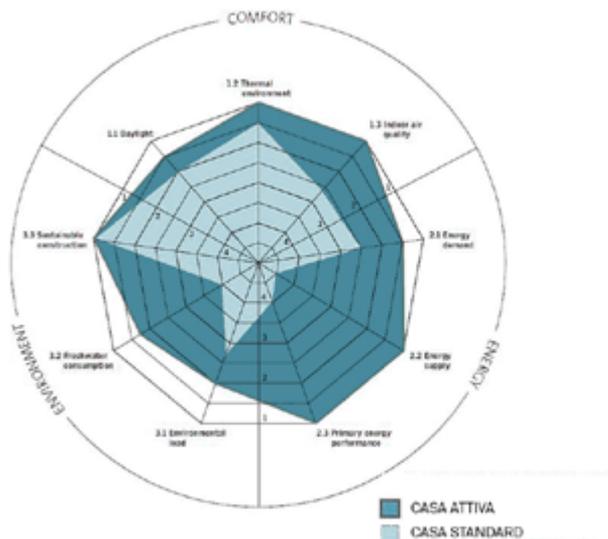
## La prima casa attiva in Canada

Specifiche

Sviluppatore: Great Gulf

Architetto: Superkül inc Architects

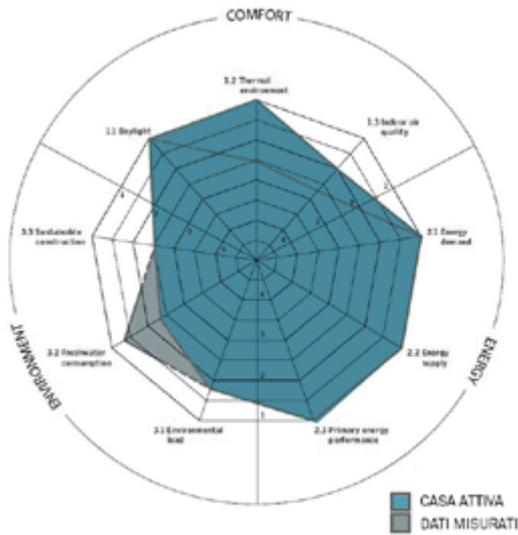
Località: Thorold, Ontario, Canada



# Maison Air et Lumière

Soddisfare le richieste future con la tecnologia attuali

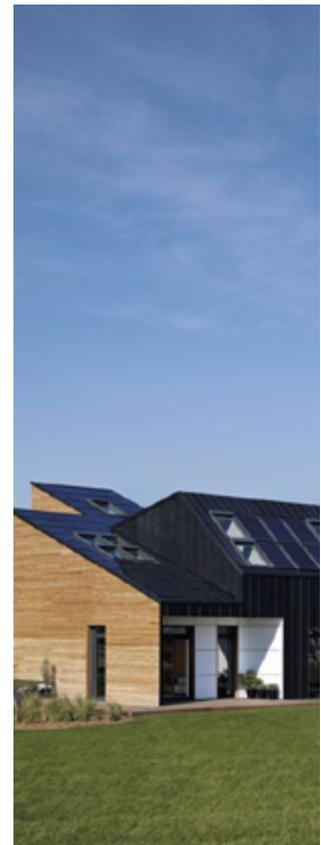
Specifiche



Sviluppatore: the VELUX Group

Architetto: Nomada Architects

Località: Verrières-le-Buisson, France



# RhOME

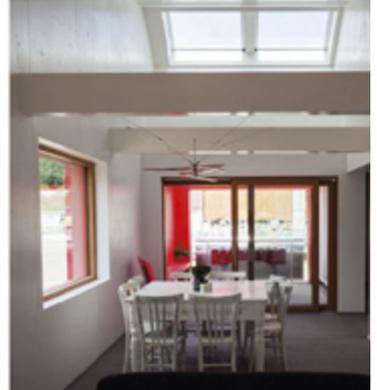
## Specifiche

## Casa vincitrice di un SolarDecathlon Europe

**Sviluppatore:** UNIVERSITÀ DI ROMA TRE Dipartimento di Architettura, Italia

**Architetto:** Progettato da studenti universitari nel 2014

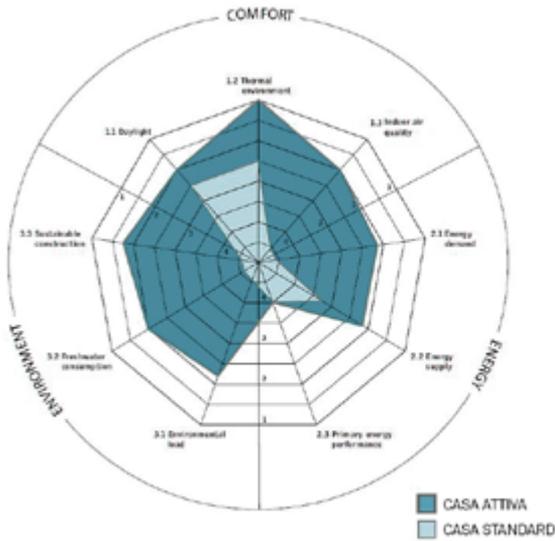
**Località:** Partecipazione al Solar Decathlon 2014 in Paris



# Green Solution House

Esplorare la sostenibilità

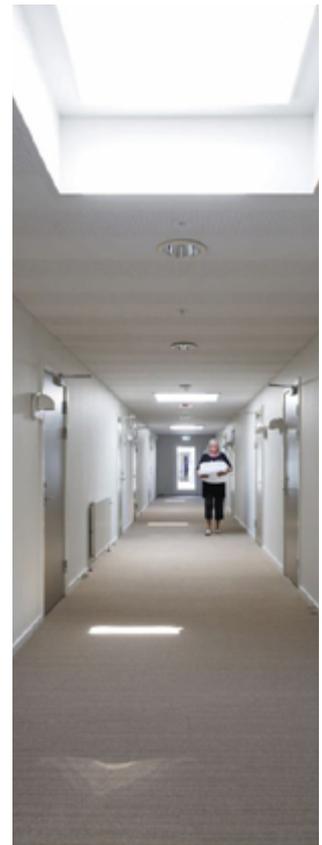
Specifiche



Sviluppatore: Hotel Ryttergaarden

Architetto: GXN Innovation. 3XN Architects

Località: Rønne, Denmark



# ROCKWOOL International Center 2

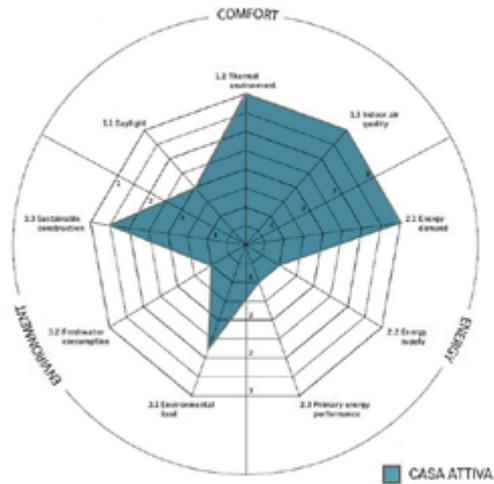
Specifiche

Rinnovamento di un edificio per uffici

Sviluppatore: ROCKWOOL International A/S

Architetto: Vandkunsten A/S

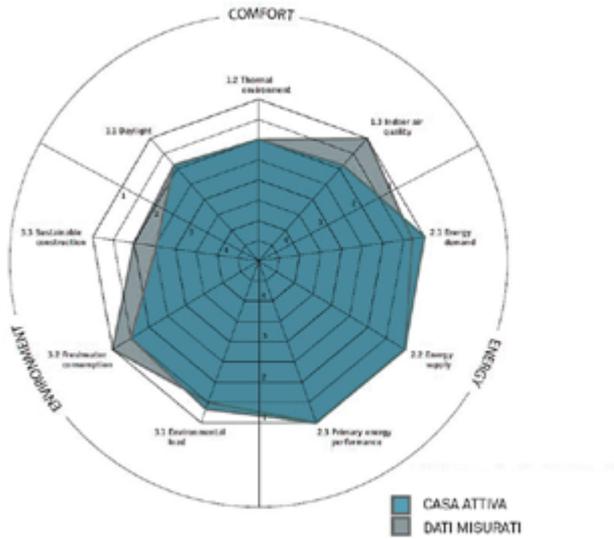
Località: Hedehusene, Denmark



# LichtAktiv Haus

Modernizzazione di una casa colonica del 1950

Specifiche



Sviluppatore: the VELUX Group

Architetto: Katharina Fey (concept), Prof. Manfred Hegger and Tim Bialucha TU Darmstadt ee (design)

Località: Hamburg, Germany



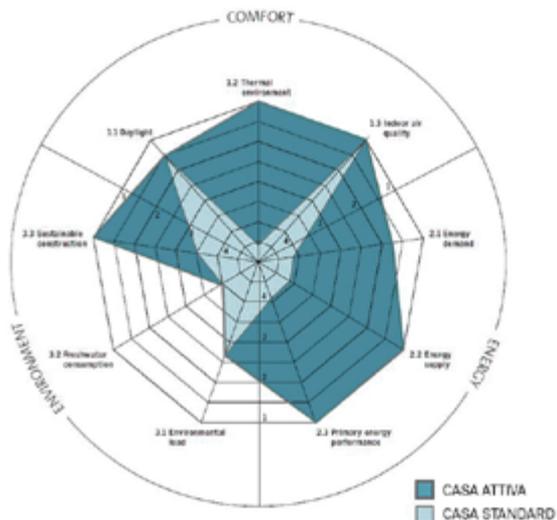
# De Poorters van Montfoort

## Specifiche Riquilificazione di una social housing in casa attiva

**Sviluppatore:** GroenWest

**Architetto:** BouwhulpGroep

**Località:** De Poorters van Montfoort, the Netherlands



# House by the Garden of Venus

Riqualificazione in casa attiva

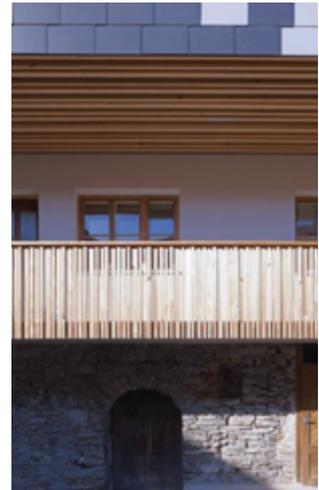
Specifiche



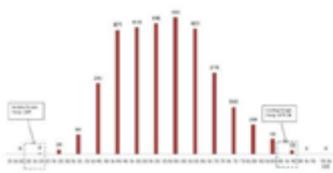
Sviluppatore: Stefan Schauer

Architetto: Volker Dienst and Christoph Feldbacher

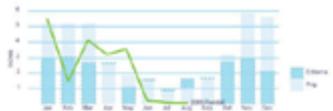
Località: Willendorf, Austria



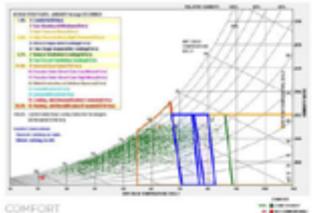
# 4 INNOVAZIONI TECNOLOGICHE PER IL RISPARMIO ENERGETICO E IL BENESSERE AMBIENTALE



NUMBER OF HOURS AT 5 DEGREE TEMPERATURE RANGES (full year 6AM-6PM)



AVERAGE PRECIPITATION (rainwater collection)



COMFORT



*“Il primo passo verso l’aggiustamento ambientale è uno studio degli elementi climatici di una determinata località. Ciascun elemento ha però un diverso impatto e presenta un diverso problema. Poiché in architettura il metro fondamentale è l’uomo e l’abitazione è concepita per soddisfare i suoi bisogni biologici, il secondo passo è quello di valutare ogni effetto climatico in termini fisiologici. Come terzo passo, bisogna applicare a ogni problema di comfort climatico le soluzioni tecnologiche. Infine, queste soluzioni dovrebbero essere combinate, secondo la loro importanza, in un’unità architettonica.”*

*Victor Olgyay*

*(Progettare con il clima, un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico)*

Il procedimento si basa sull’assunzione del progetto in termini di “sistema complesso”, un insieme costituito da molteplici componenti di diversa natura: ambientale, tecnologica, sociale, etc.

Tale struttura prevede che lo svolgimento di elaborazione dati non avvenga secondo una logica lineare rigidamente prestabilita ma adottando una metodologia che, finalizzata al perseguimento di determinati obiettivi, dalla sequenziale analisi e verifica dei relativi sottoinsiemi, ne trae dati utili a successive fasi di interconnessione secondo la logica dei processi integrati.

Per semplicità di informazione e comunicazione è stato necessario seguire una metodologia logica che, basata sui rapporti complessi che si instaurano tra edificio e ambiente secondo un processo proprio della bioclimatica<sup>151</sup>, consentisse di estrarre una serie di informazioni secondo fasi autonome.

*“Anche se risulta abbastanza artificioso frazionare un dato sensoriale in una gamma di componenti, perché esso rappresenta la risposta complessiva ad una determinata situazione ambientale, questo procedimento consente di pervenire a dati opportuni per risolvere*

---

151 Cfr. Victor Olgyay, *Progettare con il clima, un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio editore, 1981.

**188.** Foto del The Bullitt Center (NZEB), Seattle Washington USA e grafici di studio.

*differenti problemi*<sup>152</sup>.

Nel percorso di ricerca si introduce il tema di studio argomentando le problematiche ambientali provocate dall'internazionalizzazione dei sistemi costruttivi che hanno generato l'appiattimento del linguaggio architettonico ma soprattutto l'inadeguatezza del costruito rispetto al contesto ecologico. Tale fase analitico-conoscitiva, esamina l'attuale scenario del patrimonio edilizio esistente, un elevato numero di edifici energivori, poco confortevoli e sicuri, costosi nel loro ciclo di vita e non adeguati agli standard richiesti da normative sempre più severe; talvolta il loro stato di abbandono e di degrado, combinato a politiche strategiche errate, è tale da mutare le aree di ambito in luoghi di margine urbano.

L'adeguata rigenerazione di questi brownfield (termine inglese con il quale si designano i siti risultanti da utilizzi precedenti di un terreno e della zona ad esso circostante, attualmente abbandonati o sottoutilizzati, che possono presentare problemi di inquinamento reali o percepiti) può divenire icona di sostenibilità, best practice per l'intera collettività<sup>153</sup>.

In seguito si individuano elementi e componenti di strategie bioclimatiche estive e invernali utilizzabili nelle operazioni di recupero.

Nello specifico si indagano gli aspetti connessi al benessere dell'uomo e le implicazioni connesse al luogo; successivamente si indaga l'intervento di riqualificazione energetica dell'involucro trascurando gli impianti e l'allestimento degli spazi esterni, si analizza il rendimento energetico dell'involucro, le caratteristiche del sito in modo da definire la configurazione e le tecnologie ottimali per l'edificio in esame, concludendo con l'analisi dell'ottimizzazione funzionale, relazionando i modelli di comportamento<sup>154</sup> con i parametri ambientali di riferimento.

Ogni fase di descrive i software adoperabili per le analisi del caso.

Il risultato definirà un nuovo modo di operare una metodologia che attraverso i software accompagnerà l'architetto verso la definizione di un "bioclimatic design", un edificio net zero energy building o ancor meglio, un edificio attivo.

---

152 Cfr. Reyner Banham (a cura di Giovanni Morabito), op.cit..

153 Per un approfondimento sul tema, cfr. F. Bertuglia, A. Piemontese e R. Scarano, *La città dimenticata. Recupero e riqualificazione degli ambiti di margine*, edizione Fratelli Fiorentino, 1999 e cfr. *Insempiamenti ecosostenibili vivibilità e innovazione*, a cura di Antonietta Piemontese, edizione Giannini editore, 2013.

154 Cfr. Anna Delera, *Le regole del progetto. I nuovi requisiti per abitare*, edizione Maggioli editore, 1996.

## 4.1 PROGETTAZIONE AMBIENTALE E SIMULAZIONE

Gli edifici ad alte prestazioni per funzionare impiegano un quantitativo di risorse di gran lunga inferiore rispetto a quelle utilizzate dagli edifici standard. Il rendimento energetico, il giusto comfort per gli occupanti e tutte le altre caratteristiche qualitative intrinseche, appartenenti agli edifici NZEB o Active House, non sono di semplice gestione, soprattutto negli interventi di riqualificazione. Apprendere quindi le strategie e gli strumenti fondamentali per una progettazione efficiente è il primo passo utile per non commettere o ridurre al minimo gli errori. L'innovazione informatica e lo sviluppo di importanti programmi, provenienti da altrettanto importanti software house di fama internazionale come l'Autodesk<sup>155</sup>, assistono le attuali esigenze di progettazione con applicazioni in grado di permettere simulazioni ex-ante di caratteristiche fondamentali, come l'illuminazione diurna, il riscaldamento e il raffrescamento passivo.

Per progettare edifici ad alto rendimento si ha bisogno di fissare degli obiettivi concreti e di seguire un corretto processo di progettazione. Durante il percorso si avrà bisogno di ottimizzare l'uso delle risorse e il comfort umano al fine di mitigare l'ormai devastante impatto ambientale.

### 4.1.1 QUESTIONI AMBIENTALI E PROGETTO DELL'EDIFICIO

Come precedentemente descritto, secondo la comunità scientifica il cambiamento climatico è un fenomeno già in atto che avrà serie conseguenze sulla nostra società e sull'ambiente. Ridurre l'uso energetico degli edifici è

---

<sup>155</sup> Per approfondimenti sulle relazioni tra progettazione e programmi di simulazione, di cui si riportano specifiche e immagini in questo capitolo, cfr. <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/>.

uno dei modi più importanti per limitare l'impatto ambientale complessivo. Il consenso scientifico abbastanza unanime ha stabilito che il cambiamento climatico è avvenuto a causa dell'attività umana. I modelli matematici del cambiamento climatico globale hanno collegato un aumento dei gas serra, guidato dall'uomo, ad un aumento delle temperature globali (specialmente negli ultimi 250 anni, dalla rivoluzione industriale ad oggi). La causa primaria di questo aumento dei gas serra è stata attribuita all'emissione generata dall'uso dell'energia fossile.

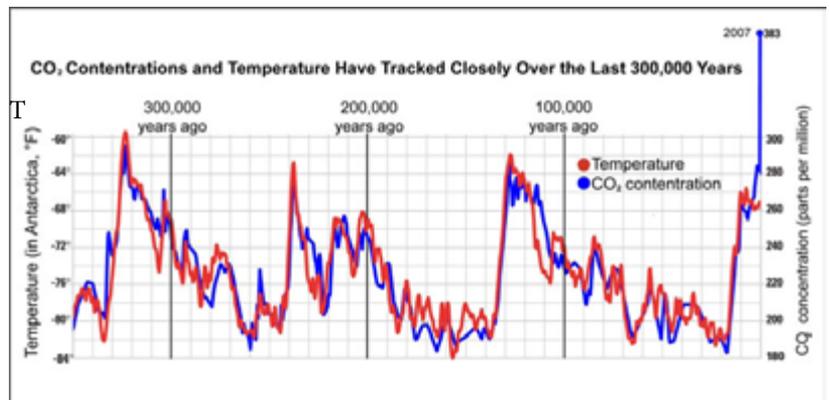
Il cambiamento climatico è osservabile attraverso numerosi fenomeni come lo scioglimento dei ghiacciai e di tutte le coperture di ghiaccio nelle regioni polari della Terra, o i cambi nella tempistica delle stagioni e l'aumento della frequenza e dell'intensità dei fenomeni meteorologici come ondate di freddo, ondate di caldo, vaste tempeste, uragani e tornado, inondazioni e siccità.

Gli scienziati hanno teorizzato che la civiltà umana è in pericolo perché si sta per sfiorare la soglia del "punto critico" o punto del non ritorno, che potrebbe condurre a cambiamenti radicali nel clima globale e che potrebbe accelerare l'inizio sia di una nuova era "più calda e più umida" che di una nuova era glaciale, simile a quella registrata prima della comparsa degli esseri umani.

Secondo le stime di alcuni scienziati vi è un'opportunità per ribaltare questo andamento nei prossimi 10 anni, modificando rapidamente le nostre abitudini. Dopo quest'ultima opportunità, il clima globale potrebbe cambiare irreversibilmente e gli uomini potranno solamente adattarsi.

Uno degli ambiti che detiene il maggior carico, in un'ottica di cambiamento, è quello delle costruzioni; quello edile è il settore ad avere le maggiori capacità di fornire soluzioni utili al cambiamento.

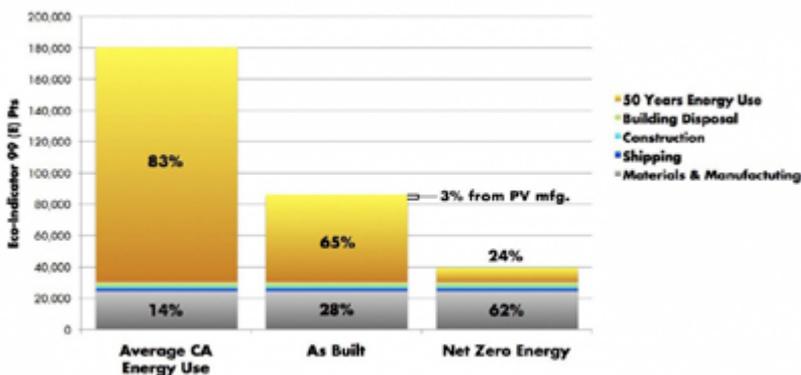
**189.** La tabella (documentazione fornita dal carotaggio dei ghiacciai dell'Antartide) mostra le variazioni della concentrazione di diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>, blu) che seguono strettamente i cambi di temperatura (°F, rosso). I livelli di diossido di carbonio registrati oggi sono i più alti su un lasso di tempo di 650.000 anni.



## IMPATTI AMBIENTALI DEGLI EDIFICI

Gli edifici totalizzano il 40% dell'uso di energia mondiale, molto più del trasporto. Inoltre, nei prossimi 25 anni (negli USA), è prevista una crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> più velocemente che in qualsiasi altro settore, con emissioni che provengono soprattutto da edifici commerciali. Spesso, l'uso di energia sotto forma di elettricità produce gli impatti ambientali più ampi, questo è dovuto agli impatti provenienti dall'approvvigionamento di quest'energia. Negli stati uniti per esempio, dove gli edifici totalizzano il 70% dell'uso di elettricità, la maggior parte di questa energia è generata da stabilimenti energetici alimentati a carbone. Con la produzione di 1 Megawatt all'ora di elettricità, negli USA si producono dai 250 ai 900kg di CO<sub>2</sub>, a seconda della miscela di carbone, nucleare ed altre risorse di combustibile utilizzate. Come riferimento, la media dei consumi domestici in USA è approssimativamente 11 Mwh di elettricità all'anno.

Questi impatti esatti possono essere equilibrati semplicemente da una valutazione più accurata dell'analisi del ciclo di vita (LCA da life cycle assessment) degli edifici, in modo da minimizzare gli impatti ambientali. Non c'è un modo perfetto per misurare gli impatti ambientali. Il LCA può misurare i gas serra per valutare il surriscaldamento globale potenziale o potrebbe misurare altri parametri come la salute degli essere umani, l'uso dell'acqua e gli impatti sull'uso del terreno. Si potrebbe sentire la parlare di "energia incorporata" o "carbone incorporato", questo fa riferimento all'energia o alle emissioni dei gas serra prodotte durante il ciclo di vita di un componente o di un edificio.



190. La Figura mostra gli impatti totali del ciclo di vita di un edificio commerciale prefabbricato standard (in California), per lo stesso edificio con il 30% della corrente fornita dai fotovoltaici e un edificio a zero consumo di energia, con il 100% della corrente fornita da fotovoltaico.

### 4.1.3 EDIFICI CON CONSUMO DI ENERGIA PARI A ZERO

Un obiettivo crescente e benvenuto, in termini di sostenibilità, è quello di favorire edifici efficienti a livello energetico e che generino abbastanza energia in loco da eguagliare i suoi bisogni energetici annuali, edifici a zero consumo energetico.

Per la progettazione di edifici ad alta prestazione, è molto utile misurare e comparare i progetti utilizzando dei riferimenti metrici ed energetici assoluti, universalmente applicabili, e che prevedono un confronto tra termini equivalenti. A tal proposito, perseguire sistemi di classificazione come il LEED è sicuramente utile al raggiungimento di obiettivi tra cui la costruzione di edifici a zero consumo di energia.

**191.** La Figura mostra il The Bullitt Center (NZEB), Seattle Washington USA.



### DEFINIZIONE DI EDIFICI A ZERO CONSUMO ENERGETICO

Gli edifici a zero consumo energetico, sono degli edifici ad alta efficienza energetica che, nel corso dell'anno, usano tecnologie rinnovabili per produrre la stessa quantità di energia consumata dalla loro rete elettrica. Ci sono varie definizioni per determinare gli edifici a zero consumo energetico, basati su dove si fissano i confini per l'equilibrio dell'energia.

Di seguito un riassunto delle definizioni del NREL (laboratorio nazionale sulle energie rinnovabili, USA).

- Energia da sito pari a zero: un sito NZEB produce almeno tanta energia rinnovabile di quanta se ne consuma in un anno, all'interno del sito.
- Fonte energetica pari a zero: una fonte NZEB produce o acquista almeno tanta energia rinnovabile di quanta se ne utilizza in un anno. La fonte di energia si riferisce all'energia primaria usata per estrarre, elaborare, generare e fornire l'energia per il sito. Per calcolare la fonte totale di energia di un edificio bisogna moltiplicare per il coefficiente di conversione della fonte energetica utilizzata.
- Costo energetico pari a zero: per il costo di un NZEB, la quantità economica utilizzata dal proprietario per la realizzazione dell'edificio rientra con il risparmio energetico e con la vendita dell'energia alla rete di fornitura servizi.
- Emissioni energetiche pari a zero: un edificio NZEB produce abbastanza energia rinnovabile da compensare le emissioni provenienti da tutte le energie usate per la realizzazione, la gestione e la dismissione dell'edificio.

Per la corretta progettazione di edifici a zero consumo energetico, la strategia corretta mira, in primo luogo, a minimizzare le richieste di energia per poi scegliere le risorse energetiche più adeguate. Qui di seguito un semplice lista di operazioni:

1. Ridurre i carichi di energia
2. Ottimizzare il progetto con strategie passive
3. Ottimizzare il progetto dei sistemi attivi
4. Recuperare l'energia
5. Generare energia in loco
6. Comprare energia/ contrastando il carbonio

## 4.1.4 L'USO DELLE RISORSE NEGLI EDIFICI

Gli edifici usano energia, materiali, acqua e territorio per creare il giusto ambiente per i suoi occupanti. Tutte queste risorse prevedono un dispendio economico e hanno un impatto ambientale.

**192.** Utilizzare più materiali sostenibili, utilizzare meno materiale e utilizzare il corretto materiale per una costruzione può migliorare gli impatti ambientali dell'edificio, la lunghezza della sua vita e la sua dismissione.

### USO DI MATERIALE



I materiali arrecano impatti ambientali nella fase di estrazione e di produzione, e influenzano enormemente le prestazioni termiche, visuali ed acustiche dell'edificio. La scelta dei materiali e dei prodotti dell'edificio influenzano anch'essi i costi del progetto.

I materiali sono anche importanti perché creano lo spazio fisico dell'edificio. Composti organici volatili o tossici dei materiali possono influire negativamente sulla salute. D'altra parte, la scelta giusta dei materiali può invece avere delle ripercussioni positive sulla salute emozionale degli uomini.

#### Metriche

I coefficienti di energia incorporata o di carbonio incorporato possono essere utilizzati per misurare l'impatto ambientale di tutto il processo di produzione, dall'estrazione alla distribuzione del materiale.

Tuttavia, a seconda dell'applicazione possono essere importanti altri fattori, nel caso dell'architettura, fondamentali sono le proprietà termiche e strutturali. In quest'ultimo caso, le proprietà termiche dei materiali usati nel rivestimento dell'edificio ne migliorano le prestazioni riducendo le richieste energetiche.

Il ciclo vitale dei materiali è un altro fattore importante. Esso può essere riciclabile o biodegradabile, essere composto da materiali riciclabili o da

materiali riciclati, e così via.

### Strategie di progettazione

La selezione dei materiali non è un'operazione semplice, l'efficacia delle strategie variano enormemente in base agli obiettivi e alle situazioni. Spesso è una buona strategia riutilizzare i materiali esistenti, fornirsi di materiali locali e utilizzare materiali riciclabili/riciclati.

## SISTEMI ENERGETICI



193. I sistemi energetici producono, usano, convertono ed immagazzinano l'energia per l'edificio. Negli edifici ad alta prestazione questi sistemi hanno bisogno di essere sia efficaci che efficienti.

I sistemi per il benessere visivo e termico usano tutta l'energia sotto diverse forme. La produzione e l'uso di energia è il fattore chiave delle emissioni di gas serra da parte degli edifici e del conseguente surriscaldamento globale. L'uso di energia nell'edificio, comporta anche uno dei maggiori costi di gestione del ciclo vitale di un edificio.

### Metriche

Scegliendo le giuste tecnologie e le corrette strategie di progettazione è possibile rendere l'edificio energeticamente autosufficiente. Questo può essere misurato guardando i kilowatt ora per anno e per unità d'area dell'edificio.

### Strategie di progettazione

Il progetto del sistema energetico dovrebbe essere guardato nel suo complesso. A seconda della posizione, dei bisogni e delle fonti disponibili di energia, si può scegliere di ottenere energia dal fotovoltaico in loco o dal vento, dalla rete elettrica o dal gas naturale. Se non è possibile ottenere una buona energia pulita sul posto, si dovrebbe essere in grado di compensare acquistandola. In generale, il lavoro dell'architetto definisce l'energia sotto forma di "domanda" e gli ingegneri definiscono come "offrire" questa energia.

**194.** L'acqua viene utilizzata all'interno di un edificio per bere, per la pulizia e per usi sanitari ma può essere utilizzata per numerosi altri scopi anche esterni all'edificio.

## USO DELL'ACQUA



L'acqua è fondamentale per la salute umana e per la sopravvivenza e svolge un ruolo vitale nel mantenere l'equilibrio dell'ecosistema. La carenza di acqua dolce in alcune zone rende la conservazione dell'acqua ancora più importante.

### **Metriche**

L'acqua viene misurata in termini di quantità e qualità. La portata degli apparecchi, come rubinetti e la capacità dei serbatoi e delle cisterne di stoccaggio sono diversi modi per misurare la quantità. La qualità dell'acqua può essere misurata in diversi modi, si necessita di qualità diverse per usi diversi. Indicatori come il pH, sostanze organiche disciolte, solidi sospesi e torbidità, aiutano a misurare la qualità dell'acqua.

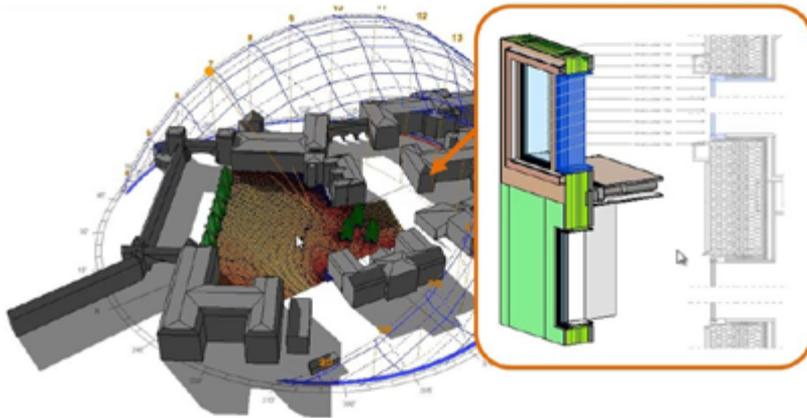
### **Strategie di progettazione**

Utilizzare l'acqua in maniera efficiente vuol dire impiegare la giusta qualità d'acqua per i giusti usi, riutilizzare l'acqua quando è possibile e minimizzare l'uso con apparecchi ad alta efficienza, per quanto possibile.

Raccogliere l'acqua piovana può essere un modo utile per disporre di un sostanziale quantitativo d'acqua. Inoltre, i sistemi idraulici che separano l'acqua potabile, dalle acque grigie e dalle acque nere può aiutare a ottenere il massimo da ogni goccia. È inoltre possibile purificare l'acqua in loco con mezzi come la fitodepurazione o sistemi settici avanzati.

#### 4.1.5 FASE DI PROGETTAZIONE E LIVELLO DI SVILUPPO

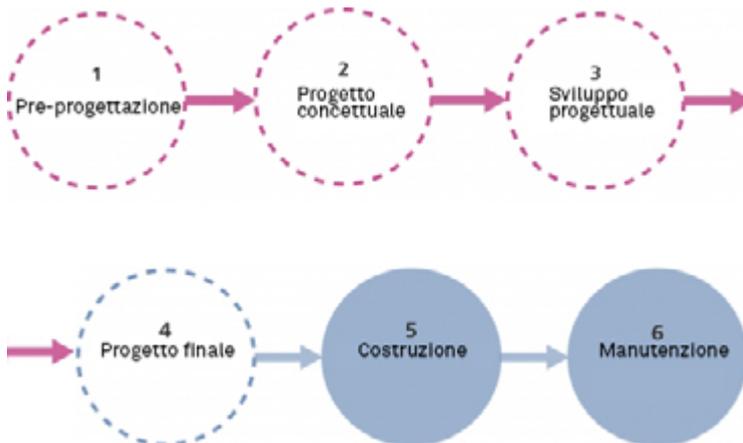
Il processo di costruzione è stato perfezionato nel corso di migliaia di anni. Mentre il processo di ogni progetto è leggermente diverso, i progetti in generale si sviluppano in base a delle fasi principali. È importante conoscere il giusto tipo e livello di informazione necessario da conquistare all'interno di ciascuna fase progettuale, per raggiungere il miglior risultato.



195. Dall'analisi ambientale al dettaglio costruttivo.

#### Fase di progettazione

Nel settore delle costruzioni, il processo di progettazione è descritto dalle fasi di pre-progetto, progettazione concettuale, sviluppo progettuale e progettazione definitiva. Il processo del ciclo di vita dell'edificio è descritto dalle fasi di costruzione e di funzionamento.



196. Tipico processo di progettazione di un edificio.

## LIVELLO DI DETTAGLIO

Al fine di gestire efficacemente il processo progettuale in un flusso di lavoro BIM, l'industria delle costruzioni ha adottato un linguaggio formale per descrivere la completezza di un modello digitale in un determinato punto nel tempo. Questo linguaggio è definito "livello di sviluppo" (LOD, da level of detail).

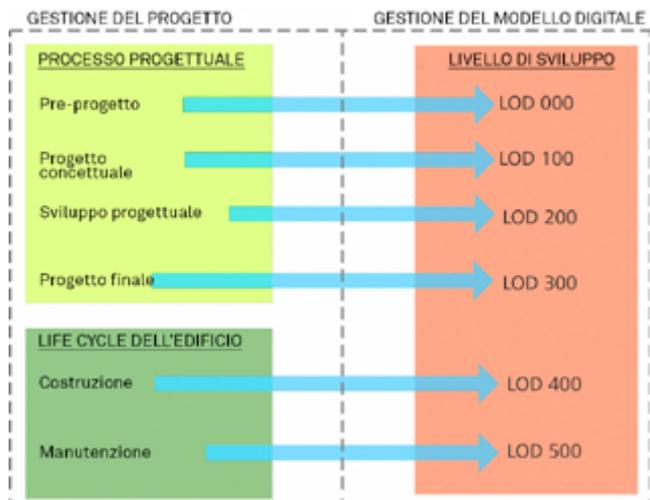
LOD, nel mondo BIM, varia da 100 (base/concettuale) a 500 (molto dettagliato/precisione). Non è insolito per i livelli di sviluppo prevedere di far parte dei documenti contrattuali, come descritto dal protocollo dell'American Institute of Architect AIA) per i BIM.

Le fasi LOD possono essere riassunte come segue.

- LOD 100: Gli elementi modellati sono ad un punto concettuale di sviluppo. Le informazioni possono essere trasmesse con forme volumetriche, narrazioni scritte e simboli 2D.
- LOD 200: Gli elementi modellati hanno rapporti approssimativi per quantità, dimensioni, posizione e orientamento. Alcune informazioni possono comunque essere trasferiti con documenti scritti.
- LOD 300: Gli elementi modellati sono spiegati in termini di sistemi, quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento specifici.
- LOD 400: È la continuazione del LOD 300 con informazioni sufficienti, per facilitarne la fabbricazione, l'assemblaggio e l'installazione.
- LOD 500: Gli elementi modellati sono rappresentativi delle condizioni di installazione e possono essere utilizzati per la gestione dei servizi in corso.

Vale la pena ricordare che può essere liberamente stabilito un rapporto tra il livello di dettaglio e le fasi di progettazione.

197. Schema di relazione tra l'avanzamento del processo progettuale e la gestione del modello digitale.



## LOD E ANALISI DELLA PRESTAZIONE DELL'EDIFICIO

L'analisi della prestazione dell'edificio (BPA) è legata al LOD su due fronti.

In primo luogo, ciò che impedisce gli elementi modellati di passare alla fase successiva del LOD è l'assenza di informazioni. La BPA può essere un meccanismo per la ricerca di risposte a queste domande e per informare il processo di progettazione.

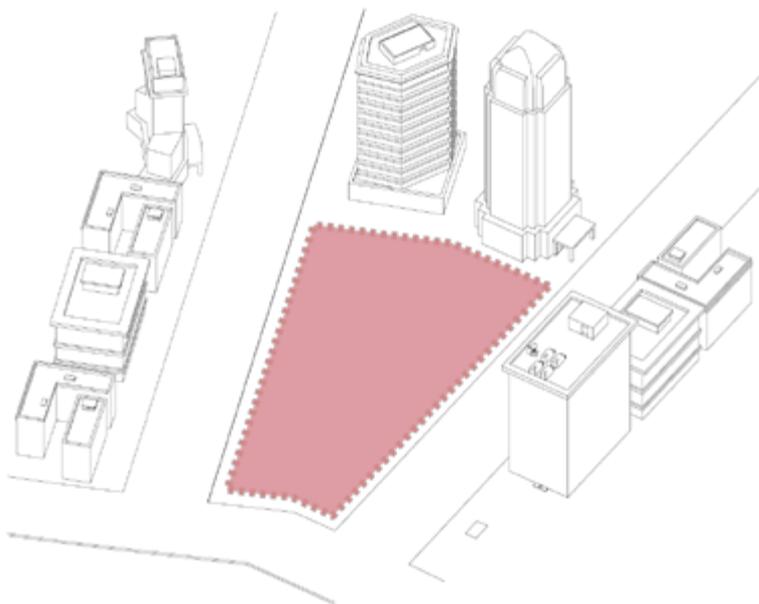
In secondo luogo, i metodi digitali di BPA dipendono dalla quantità di informazioni che è modellata digitalmente. Per esempio, un modello LOD 100 non consentirà di condurre una modellazione energetica necessaria alla certificazione LEED ma può identificare come il consumo energetico dell'edificio può essere influenzato dalla radiazione solare.

## GUIDARE LA CONNESSIONE BPA

Se consideriamo la BPA come strumento di risposta alle domande di progetto, allo stesso tempo basandosi su informazioni modellate, è possibile stabilire relazioni su come certe pratiche di BPA possono essere correlate al LOD e come un progetto si evolve.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di come questi rapporti lavorano durante il processo di progettazione.

### Pre-Progettazione



**Obiettivi della fase:**

Identificare i requisiti di progetto, le condizioni esistenti e scoprire tutte le informazioni essenziali per il processo di progettazione. Le attività comuni includono la preparazione di un programma costruttivo, conducendo una analisi del sito e inventariando le normative locali.

**Richieste di progettazione sostenibile:**

Quali informazioni sosterrà le pratiche BPA?

Quali considerazioni climatiche specifiche dovrebbero essere portate alla luce?

Quali strategie di progettazione passive dovrebbero essere considerate nella progettazione degli edifici?

Quali risorse ambientali può utilizzare la progettazione degli edifici?

Quali sono gli obiettivi di energia/prestazioni per il progetto?

**Ipotesi LOD:**

Se è un nuovo progetto, non esiste un modello digitale disponibile. Se è un edificio esistente, può essere disponibile un modello di progetto digitale, potrebbe essere utile almeno un LOD 300.

**Azioni BPA:**

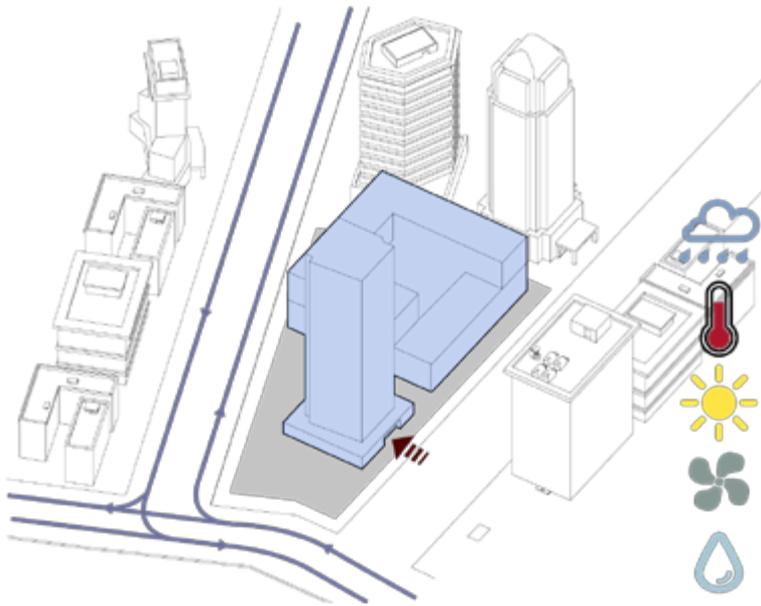
- Decidere quali dati climatici sono più appropriati per la posizione geografica.
- Condurre un'analisi del sito che comprenda indagini della radiazione solare, dei venti prevalenti, della presenza e dello stato delle strutture esistenti, inventariare la vegetazione esistente e documentarsi su eventuali problemi acustici esistenti.
- Analizzare i grafici del clima e determinare se l'edificio è dominato da fenomeni di riscaldamento o di raffrescamento.
- Ricercare quali strategie di progettazione sarebbero applicabili sia per la posizione geografica che per la zona climatica di progetto. Strumenti come il 2030 Palette<sup>156</sup> e Climate Consultant<sup>157</sup> possono essere di aiuto in questa fase.
- Stabilire le unità di misura che devono essere utilizzate per tutta la durata del progetto per confermare gli obiettivi di progettazione sostenibile che vengono contabilizzati. Questo può essere formalizzato in sistemi di classificazione come LEED e Bream.

---

156 Per maggiori informazioni: <http://2030palette.org/>.

157 Per maggiori informazioni: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>.

## Progettazione Concettuale



### Obiettivi della fase:

Decidere la direzione progettuale attraverso la sperimentazione, l'iterazione, e l'ottenimento di un input da tutti i membri della progettazione integrata. L'obiettivo principale in questa fase è quello di prendere decisioni che forniranno indicazioni per l'intero processo di progettazione.

### Richieste di progettazione sostenibile:

- Qual è la forma più efficiente di un edificio?
- Come posizionare e orientare l'edificio nel sito?
- Come è organizzata la planimetria?
- Come si integrano le strategie di progettazione passiva con l'edificio?

### Ipotesi LOD:

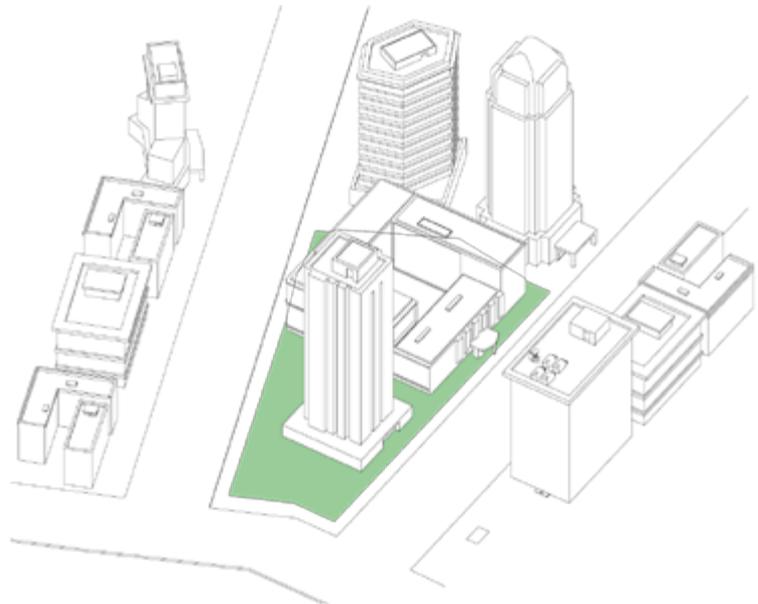
La maggior parte del modello architettonico è al LOD 100. La forma dell'edificio è modellata digitalmente tramite geometrie, volumetriche e le relazioni spaziali.

### Azioni BPA:

- Eseguire l'analisi energetica concettuale usando e modificando le forme volumetriche e determinare come l'intensità d'uso dell'energia può essere ridotta attraverso cambiamenti nella forma e nell'orientamento dell'edificio. In questo modo si può determinare la forma più efficiente dell'edificio in relazione all'energia.

- Condurre analisi di base su ombra e ombreggiatura del modello volumetrico per determinare quali aree dell'edificio potrebbero potenzialmente sostenere l'illuminazione diurna e di conseguenza indirizzare la distribuzione degli spazi interni. Questo informa anche sul posizionamento dell'edificio sul sito.
- Fare studi di radiazione solare del modello volumetrico per massimizzare le opportunità di raccolta solare.
- Studiare come l'orientamento del modello volumetrico interagisce con il vento. L'orientamento dell'edificio può ottimizzare le opportunità di raffrescamento passivo e di ventilazione.

### **Sviluppo Progettuale**



#### **Obiettivi di fase:**

Verificare e modificare gli attributi prestazionali del progetto proposto, mentre si definiscono i materiali e i sistemi strutturali con specificità. Questa fase comporta molta sperimentazione dettagliata e un processo decisionale rigoroso.

#### **Richieste di progettazione sostenibile:**

Come dovrebbe essere modificata la planimetria per migliorare la qualità dell'illuminazione diurna?

Come può essere progettata l'apparecchiatura HVAC in modo più efficiente?

Come può essere progettato il sistema strutturale in modo più efficiente?

Le strategie passive di progettazione sostenibile forniscono le prestazioni previste?

Quali materiali vengono utilizzati per la costruzione dell'edificio?

**Ipotesi LOD:**

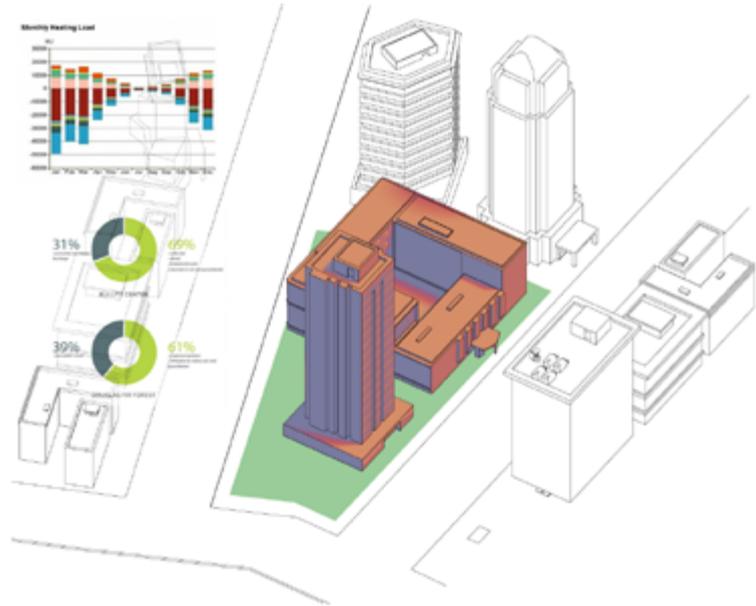
Il modello di architettura è al LOD 200 / LOD 300 con identificati genericamente i materiali di rivestimento e di pavimento. Tutto modellato con adeguati spessori e materiali. Il modello strutturale è almeno LOD 200 con sistemi di inquadramento generici.

Il modello MEP (impianti meccanici, elettrici e idraulici) è al LOD 200 con l'impianto idraulico, riscaldamento, ventilazione e sistemi di raffrescamento pronti ad essere misurati.

**Azioni BPA:**

- Eseguire l'analisi energetica del modello dell'edificio e identificare come i cambiamenti nella costruzione del muro sono in grado di ridurre la domanda energetica. Questo presenta anche una buona occasione per testare le prestazioni dei sistemi HVAC che sono stati inizialmente selezionati nel concetto di progetto.
- Completare le simulazioni che determinano la geometria generale delle funzioni performanti per determinare se le tonalità, le mensole luminose e i camini solari funzionano come previsto. Se no rivedere la geometria del modello.
- Realizzare l'analisi interna dell'illuminazione diurna degli spazi e confermare che i livelli di luce sono stati adeguatamente raggiunti.
- Dopo la massimizzazione dell'efficienza dell'involucro edilizio, eseguire la simulazione del carico di raffrescamento/riscaldamento in modo che le apparecchiature HVAC possono essere dimensionate in modo efficiente.
- Eseguire l'analisi strutturale del modello in modo che i sistemi strutturali possono essere ottimizzati. Quando i membri strutturali non sono ottimizzati efficientemente, l'edificio consuma più materiali da costruzione di quanto è necessario.

## Progetto Finale E Documentazione



### Obiettivi di fase:

Fornire una direzione dettagliata e specifica per esibire le informazioni nella maniera più chiara e completa. Assicurarsi che il progetto sia il più sostenibile possibile.

### Richieste di progettazione sostenibile:

Vengono raggiunti gli obiettivi di progettazione sostenibile?

Vengono raggiunte le aspettative del proprietario sui costi e sulle prestazioni?

Qual è la prestazione attesa della costruzione?

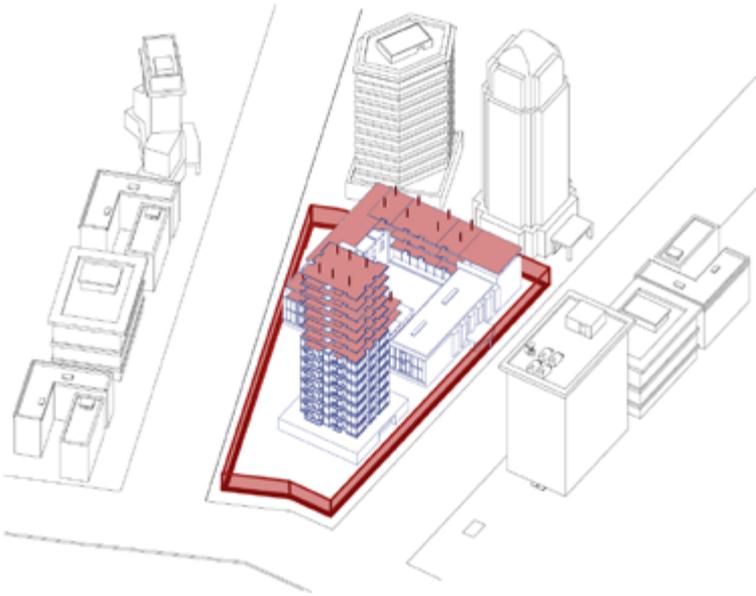
### Ipotesi LOD:

Tutti i modelli si sono completati al LOD 300, con le dimensioni e la selezione dei materiali per tutti gli elementi costruttivi primari.

### Azioni BPA:

- Eseguire l'analisi energetica dell'edificio in maniera dettagliata per documentare le prestazioni attese. Confrontare il progetto finale con le matrici di misura che sono state definite nel pre-progetto.
- Eseguire l'analisi delle emissioni di gas ad effetto serra per documentare l'impatto ambientale previsto.
- Audit dei materiali finali da costruzione per i costi e le qualità ecologiche (con contenuto riciclato, nei pressi del cantiere e a basso contenuto di composti organici volatili).

## Costruzione



### Obiettivi di fase:

Portare la progettazione degli edifici nella realtà fisica, praticando metodi di costruzione sostenibili e utilizzando metodi di controllo della qualità.

### Richieste di progettazione sostenibile:

Come possono essere ridotti i rifiuti nel processo di costruzione?

Come possono i metodi di fabbricazione ridurre i rifiuti?

Come può essere realizzata la costruzione in modo sostenibile?

### Ipotesi LOD:

Architettura, MEP e modelli strutturali sono a LOD 300 e vengono evoluti per LOD 400 con le informazioni che supportano una maggiore coordinazione, fabbricazione e costruzione.

### Azioni BPA:

- Analizzare le quantità della costruzione per assicurare che le quantità di materiale esatte siano consegnate al sito. In questo modo si eviterà che il materiale in eccesso venga trasformato in rifiuto.
- Analizzare i migliori metodi di fabbricazione con l'automazione digitale. Questo passo riduce il materiale di scarto nella produzione e nell'assemblaggi della costruzione.
- Eseguire simulazioni costruttive di pianificazione che identificano come ridurre le operazioni con attrezzature sul luogo di intervento.

Meno uso di macchine per la costruzione riduce sia il consumo di energia che l'inquinamento atmosferico.

### **Interventi e Manutenzione**



#### **Obiettivi di fase:**

L'edificio viene occupato e ha tutte le attrezzature di funzionanti.

#### **Richieste di progettazione sostenibile:**

I sistemi di controllo ambientale funzionano correttamente?

L'edificio è in grado di mantenere gli obiettivi di progettazione sostenibile in fase di occupazione?

È stata fatta la manutenzione che garantisce ai sistemi di controllo ambientale di essere in grado di svolgere il loro funzionamento in modo ottimale?

#### **Ipotesi LOD:**

Tutti i modelli sono a LOD 500 rappresentano condizioni fisiche e sono in corso di aggiornamento parallelamente alle operazioni di gestione della struttura.

#### **Azioni BPA:**

Eseguire l'inaugurazione iniziale e in corso dei sistemi ambientali, per assicurare che funzionino come previsto. Lo scarso rendimento dei sistemi ambientali può compromettere il comfort degli occupanti e il consumo di

energia inutile.

Aggiungere l'utilità dei dati di costo/domanda del modello energetico, e confrontare/identificare le differenze tra le prestazioni progettate e reali.

Eseguire un'indagine durante l'occupazione per verificare la soddisfazione degli utenti e presentare raccomandazioni sulla gestione delle strutture per migliorare le soddisfazioni.

#### **4.1.6 EDIFICI NUOVI E QUELLI ESISTENTI**

Migliorare le prestazioni del nostro patrimonio edilizio esistente è incredibilmente importante. La nuova costruzione ogni anno aggiunge ulteriore percentuale all'insieme di edifici esistenti al mondo. Gli edifici esistenti, dove possibile, possono spesso essere migliorati ad un costo di gran lunga inferiore rispetto a quello che sarebbe richiesto per abatterli e ricostruirli.

Secondo il Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (IPCC), "su tutto il patrimonio edilizio, la più grande quota di risparmio di carbonio entro il 2030 è nella riqualificazione dell'esistente e nella sostituzione di apparecchiature che utilizzano energia".

Il processo generalizzato di progettazione eco-compatibile descritto precedentemente descritto vale sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni e per l'adeguamento di edifici esistenti. Una delle grandi differenze tra i due è che durante la fase di progettazione preliminare, nella ricostruzione e nel rimodernamento, la struttura dell'edificio esistente deve essere studiata nel dettaglio introducendo tutta una serie di vincoli alla progettazione.

Quando si lavora con un edificio esistente, è fondamentale capire l'uso di energia dell'edificio e le sue prestazioni termiche, gli impianti, i modelli di occupazione, l'illuminazione e gli altri sistemi. Spesso è difficile ottenere informazioni dettagliate su intere costruzioni o su dettagli che non possono essere facilmente osservati. Strumenti come sensori, telecamere a infrarossi e soprattutto l'uso dei droni e laser scanner possono essere di grande aiuto nel catturare la reale ed esatta geometria dell'edificio.

## 4.1.7 COMFORT DEGLI OCCUPANTI

Gli edifici sono progettati per le persone che all'interno dell'edificio cercano di realizzare i propri compiti, come crescere una famiglia, gestire un ufficio o fabbricare un prodotto. L'edificio ha il compito di mettere a proprio agio gli occupanti, essere efficiente, sano e sicuro per lo svolgimento dei vari compiti prestabiliti. Il progetto sostenibile cerca di creare edifici che tengano le persone in condizioni di comfort, riducendo al minimo gli impatti ambientali negativi.

### COMFORT TERMICO

**198.** Mantenere il comfort termico di una individuo vuol dire assicurare che non percepisca troppo caldo o troppo freddo. Questo significa assicurare che la temperatura, l'umidità, il flusso d'aria e le fonti radianti rimangano all'interno di limiti accettabili.



Garantire le condizioni di comfort in un edificio è una delle caratteristiche che richiede l'uso del maggior quantitativo di energia ma allo stesso tempo è fondamentale per la felicità e la produttività dei propri utenti. Spesso fattori quali il flusso d'aria e la temperatura radiante sono trascurati in un progetto, questo porta ad un maggiore consumo di energia e di insoddisfazione da parte degli occupanti.

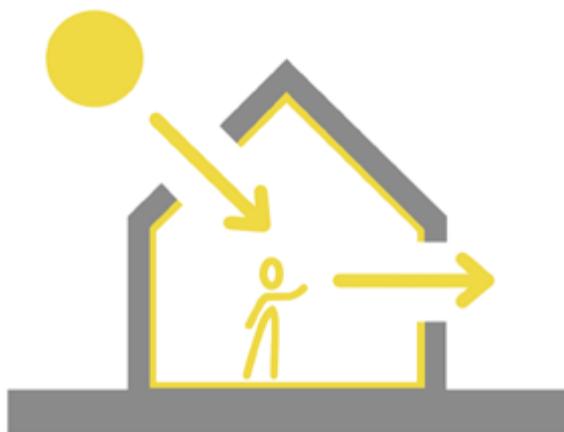
#### Metrica

Per non creare disagio agli utenti è necessario fornire il giusto mix di temperatura, umidità, temperatura radiante e velocità dell'aria. Il corretto livello di queste variabili dipende da quale attività è in corso, da quanto è attiva l'utenza e da quello che indossa. Il comfort è misurato in base alla percentuale degli occupanti che riferisce ad essere soddisfatta in determinate condizioni.

### Strategie di progettazione

Alcuni modi per garantire il giusto comfort è quello di utilizzare il calore del sole per riscaldare, utilizzare il vento o i ventilatori a soffitto per spostare l'aria quando è troppo calda e mantenere sulle superfici circostanti la temperatura corretta grazie a un buon isolamento. Le apparecchiature HVAC come caldaie, ventilatori, e scambiatori di calore possono mitigare la temperatura e l'umidità ma dovrebbero essere considerate solo in secondo momento.

## COMFORT VISIVO



**199.** Mantenere il comfort visivo significa garantire che gli occupanti abbiano abbastanza luce per le loro attività, che la luce abbia la giusta qualità ed equilibrio e che la gente abbia una bella veduta.

Una buona illuminazione contribuisce a creare un ambiente felice e produttivo. La luce naturale ha una resa migliore dell'illuminazione elettrica. Avere una buona visuale dà alle persone un senso di controllo del loro ambiente e fornisce un senso di benessere.

### Metrica

Una buona illuminazione, ben distribuita, non è né troppo debole né troppo forte e usa minor consumo di energia elettrica. L'illuminazione è spesso misurata mediante la quantità di luce che cade su una superficie (illuminamento) o la quantità di luce riflessa da una superficie (luminanza). Si tratta di misure oggettive ma come le persone percepiscono questa luce è spesso soggettivo. Un buon comfort visivo generalmente richiede anche che la maggior parte di questa luce sia il più possibile naturale.

### Strategie di progettazione

Le strategie di illuminazione diurna, come la predisposizione di alte finestre, mensole luminose e lucernari ben piazzati, possono contribuire a distribuire la luce del sole all'interno di uno spazio in modo uniforme. Quando si ha

bisogno di usare le luci artificiali è possibile ridurre il consumo di energia utilizzando lampade fluorescenti o LED efficienti e un buon progetto di illuminazione. Opportuni sistemi di controllo possono bilanciare automaticamente l'illuminazione naturale e artificiale. La maggior parte delle luci dovrebbero avere sensori di presenza.

**200.** Oltre al comfort termico è importante che l'aria sia pulita, fresca e fatta circolare in modo efficace nello spazio.

## QUALITÀ DELL'ARIA



Se l'aria è troppo viziata o è inquinata può mettere le persone a disagio, renderle improduttive, infelici e malate. L'aria fresca aiuta le persone a essere attente, produttive, sane e felici.

### Metrica

L'aria fresca richiede una certa percentuale di aria esterna che circoli negli spazi. L'aria pulita richiede livelli di inquinanti e patogeni al di sotto di determinate soglie.

### Strategie di progettazione

L'aria può essere mantenuta fresca con alti tassi di ventilazione, sia utilizzando la ventilazione naturale, come finestre e lucernari operabili, che tramite sistemi attivi quali ventole HVAC e condotti. L'aria pulita può essere ottenuta mediante sistemi di filtraggio UTA, prelevando l'aria fresca esterna e non contaminando l'aria con impurità, come composti organici volatili da vernici o materiali.

## COMFORT ACUSTICO

201. Per comfort acustico si intende avere il giusto livello e la giusta qualità di rumore, per poter utilizzare lo spazio come previsto.



Le persone sono più produttive e felici quando non sono distratte da rumori esterni o provenienti da spazi circostanti. Il comfort acustico è particolarmente importante per le scuole e gli edifici da ufficio.

### **Metrica**

Il modo in cui gli esseri umani percepiscono suoni e rumori è una misura soggettiva. Tuttavia, è possibile creare un ambiente confortevole controllando le misure oggettive, come il livello di decibel (pressione sonora), tempo di riverbero, riflessione del suono e la proprietà di smorzamento dei materiali.

### **Strategie di progettazione**

Creare delle barriere ai suoni che interrompano le fonti di rumore è importante. È possibile ottimizzare la forma e la dimensione dello spazio per ridurre gli echi e i riverberi ed utilizzare pannelli acustici su soffitti e pareti per smorzare il suono.

## **4.2 ANALISI CLIMATICA E DEL SITO**

Le considerazioni sul sito includono la verifica di molteplici fattori, come le analisi climatiche (sole e nuvole, vento, temperatura, umidità e precipitazioni), le analisi sulle caratteristiche morfologiche dell'area nelle immediate vicinanze dell'edificio (altri edifici, alberi, etc) e sulla posizione nel contesto di una città o di altra area.

### **4.2.1 ANALISI DEL CLIMA**

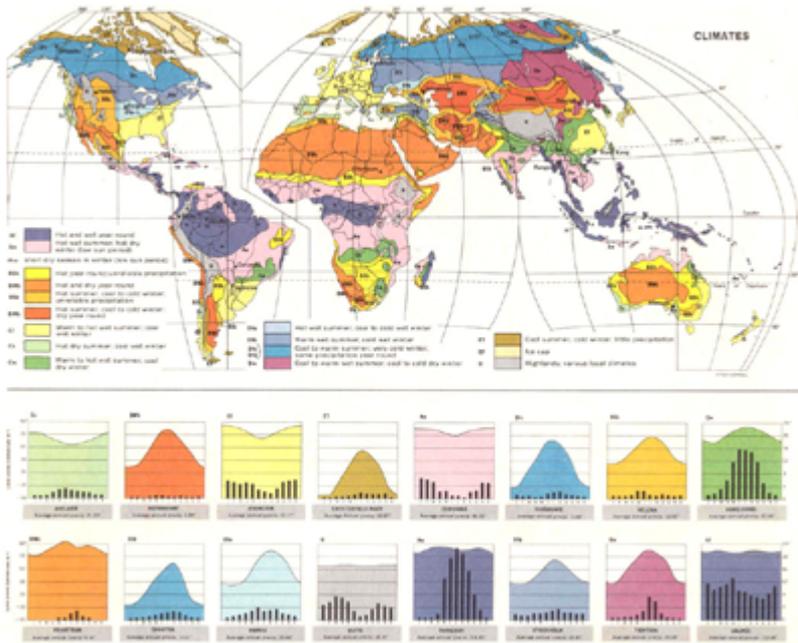
Il clima è il più importante tra i fattori ambientali e il primo che gli architetti e gli ingegneri dovrebbero prendere in considerazione quando si progetta un edificio. Per ottenere un edificio a consumo di energia quasi nullo (nZEB), a zero consumo di energia (NZEB) o edifici con surplus di energia (Active House), la progettazione deve prendere in considerazione le specifiche del clima del sito di intervento.

Il clima può suggerire quali delle strategie di progettazione passiva sono più adatte ed efficaci per il luogo specifico di progetto. Ad esempio, le strategie che possono essere ideali per un luogo climatico caldo secco, possono essere controproducenti per un clima freddo umido.

Le caratteristiche climatiche di un sito sono funzione della sua latitudine, altitudine, e delle specifiche geografiche del terreno. Un sito che si trova a 60 °N sulla cima di una montagna richiederà strategie di progettazione estremamente differenti rispetto a un sito localizzato a 7 °S e posto a livello del mare. Il clima influenza molti aspetti della progettazione degli edifici, come precisare quella che dovrebbe essere la temperatura interna, i fattori specifici che influiscono sul comfort termico umano, e le previsioni di quelli che potrebbero essere i carichi energetici per la costruzione.

Un errore comune è considerare le componenti climatiche e le caratteristiche meteorologiche come termini intercambiabili utili a descrivere la stessa cosa.

Questo non è possibile. Il clima si riferisce alle condizioni atmosferiche medie per un lungo periodo di tempo (stimate su una media di circa 30 anni) in cui le condizioni meteorologiche si riferiscono solo alle temperature giornaliere e alle condizioni atmosferiche. A tal proposito, quando si parla di cambiamenti climatici ci si riferisce alle mutevoli condizioni meteorologiche giornalieri, verificabili però, in maniera quasi del tutto irreversibile, per un lungo periodo di tempo.



202. Differenti zone climatiche secondo Köppen con l'andamento delle rispettive temperature e precipitazioni.

## CLASSIFICAZIONE CLIMATICA

I progettisti possono scegliere strategie progettuali passive adatte ai loro edifici in base al tipo di clima. Le differenti classificazioni climatiche specifiche variano, ma possono tutte essere utili per determinare opportune strategie di progettazione. Per esempio, il sistema di classificazione climatica Köppen-Geiger è utilizzato a livello internazionale, tuttavia il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti utilizza una propria guida delle zone climatiche nazionali, anche lo stato della California ha una propria guida specifica per le zone climatiche statali.

I sistemi di classificazione climatica sono utili per determinare attuabili strategie globali di progettazione passiva, ma che spesso non tengono in considerazione dei fattori microclimatici. I microclimi sono piccole aree appartenenti alle zone climatiche generali più ampie che presentano delle

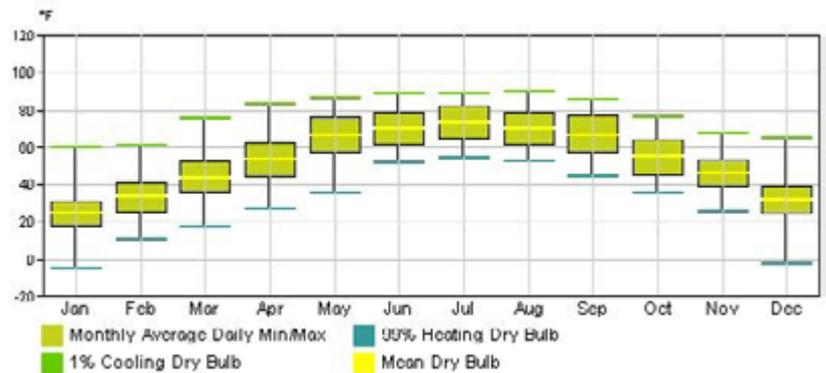
differenze nelle caratteristiche climatiche rispetto alla zona di appartenenza. Queste differenze sono causate da differenze topografiche, dalla vicinanza a enormi specchi d'acqua, vegetazione, e altri elementi del contesto. Ad esempio, la città di San Francisco è famosa per i suoi microclimi, può essere molto soleggiata e calda in alcuni quartieri, mentre c'è nebbia e freddo a meno di un miglio di distanza. Questa variazione è causata, oltre ad altri fattori, dalla topografia notoriamente collinare di quella città.

## LA TEMPERATURA

La temperatura varia durante l'arco del giorno e durante tutto l'anno e questo è il parametro più ovvio da considerare per le strategie di riscaldamento passivo e per il progetto del raffrescamento passivo.

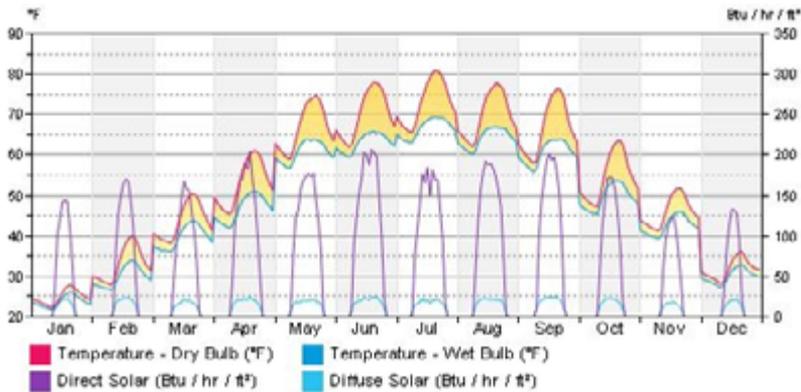
Due aspetti fondamentali della temperatura sono la temperatura a bulbo secco e la temperatura a bulbo umido. Da questi parametri è possibile conoscere sia la temperatura dell'aria che il valore dell'umidità.

203. Andamento delle temperature con dati medi e picchi registrati.



### Temperatura a bulbo secco

La temperatura a bulbo secco è semplicemente la temperatura dell'aria, non considera l'umidità. Viene misurata in gradi Celsius, gradi Fahrenheit o gradi Kelvin e può essere misurata semplicemente con un termometro esposto all'aria. È comunemente indicata come la temperatura dell'aria dai vari bollettini meteorologici di base.



204. Andamento delle temperature (bulbo secco e umido) e della radiazione solare (diretta e diffusa).

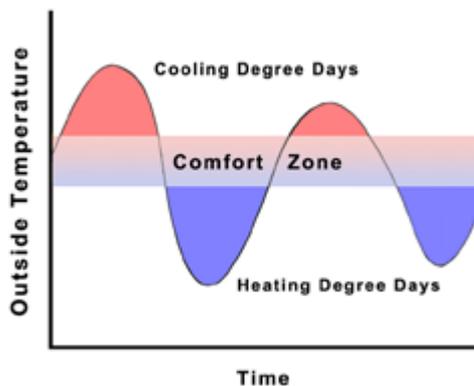
### Temperatura a bulbo umido

La temperatura a bulbo umido è la temperatura dell'aria che prende in considerazione il potenziale del raffreddamento evaporativo. Viene misurata esponendo un termometro a bulbo umido al flusso d'aria (oscillando nell'aria un termometro avvolto in un panno bagnato). L'evaporazione dell'umidità dipende dalla percentuale presente nell'aria. Come per la temperatura a bulbo secco, la temperatura a bulbo umido può essere misurata in gradi Celsius, gradi Fahrenheit o gradi Kelvin.

Insieme le temperature, a bulbo secco e bulbo umido, possono descrivere il tasso di umidità.

### Gradi giorno

Per avere indicazioni alle esigenze di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, bisogna impostare un intervallo di temperatura confortevole. Questo range, spesso denominato "zona di comfort", può quindi essere confrontato nel tempo con le temperature effettive dell'edificio. Quando la temperatura del sito è al di fuori della zona di comfort, essa si misura in "gradi giorno" di riscaldamento o di raffrescamento.



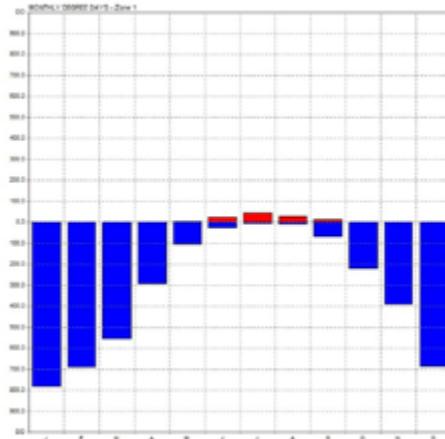
205. Individuazione dei gradi giorno di riscaldamento e raffrescamento.

Per esempio:

- Se la media climatica è, per un giorno, di un grado più calda di quella di comfort, diciamo l'edificio ha bisogno di un "grado giorno" di raffrescamento per stare confortevoli.
- Se il clima è in media di dieci gradi più caldo per un giorno, o è di un grado più caldo per una decina di giorni, poi l'edificio ha bisogno di dieci "gradi giorni" di raffrescamento.
- Se il clima è di dieci gradi al di sotto del minimo di comfort per un giorno, poi l'edificio ha bisogno di dieci "gradi giorni" di riscaldamento.

I gradi giorno non sono utili solo per stimare le esigenze di riscaldamento e raffrescamento; aiutano anche a effettuare il giusto confronto tra gli edifici. Un edificio in un clima mite come quello di San Francisco avrà bisogno di meno energia termica e frigorifera di un edificio in un clima freddo come Mosca, anche se l'edificio di Mosca è costruito meglio. Confrontando le intensità energetiche di diversi edifici con i gradi giorni di riscaldamento e raffrescamento in ogni sito contribuisce a rendere più accurate le rappresentazioni di paragone dell'efficienza con cui sono stati progettati questi edifici.

206. Questo grafico mostra che a Montreal nel mese di gennaio sono necessari quasi 800 gradi giorni di riscaldamento per mantenere uno stato confortevole (Grafico elaborato con Ecotect)



### Lettura dei grafici della temperatura

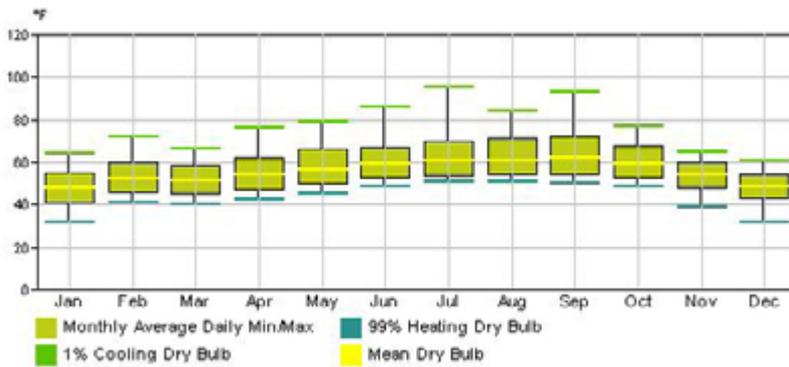
I dati della temperatura possono essere rappresentati in vari modi. Saper utilizzare coscientemente i grafici della temperatura è utile per comprendere le informazioni e tutti i dati necessari a operare responsabili decisioni progettuali.

207. Dati di temperatura tabulari possono essere chiaramente rappresentate in una varietà di diversi grafici.

Probability	Annual Design Conditions			
	Cooling		Heating	
	Dr. Bulb (°F)	MCWB (°F)	Dr. Bulb (°F)	MCWB (°F)
0.1 %	87.4	82.9	-34.8	-34.9
0.2 %	84.8	81.4	-32.5	-32.7
0.4 %	82.1	84.7	-31.5	-31.9
0.5 %	84.6	85.2	-31.2	-31.4
1 %	82.2	81.0	-29.0	-29.3
2 %	79.0	83.0	-25.5	-25.8
2.5 %	78.0	83.2	-24.3	-24.5
5 %	73.0	83.7	-19.1	-19.3

## Temperature di progetto mensili

Naturalmente, le temperature non sono sempre coerenti alla stessa ora del giorno o dell'anno. I Progetti che intendono consentire il raggiungimento del comfort degli occupanti devono considerare le possibili circostanze estreme nonché le condizioni medie.

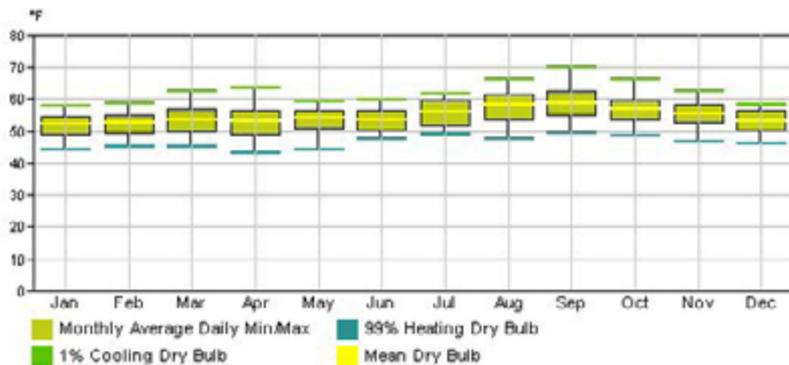


208. Temperatura mensile grafico dei dati di progettazione (Da Autodesk Revit)

Il grafico qui sopra mostra non solo le temperature medie mensili di dati climatici storici, ma anche due livelli di estremi non comuni.

Le caselle verdi indicano i dati storici delle temperature medie mensili a bulbo secco più alte e più basse rilevate. Questi dati garantiscono che l'andamento medio delle temperature si mantenga all'interno del livello registrato storicamente.

Le estensioni delle caselle mostrano temperature estreme registrate soltanto 1% delle volte nei dati storici. Questi dati straordinari è raro che si ripresentino spesso ma per un progettista coscienzioso vanno comunque presi in considerazione.



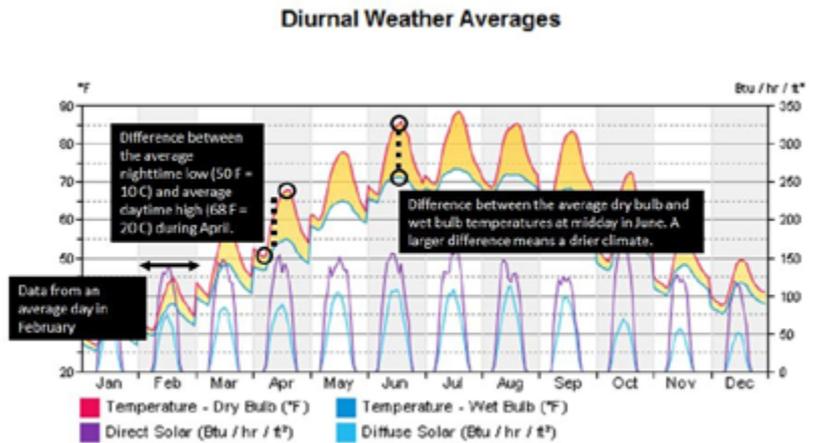
209. Si può osservare che in questo sito si verificano meno variazioni di temperatura rispetto al grafico precedente. In Aprile si registra un picco di temperatura pari a 64 ° F, ma generalmente l'andamento della temperatura sarà compreso tra 48 e 57 ° F per ogni mese.

## Temperature medie giornaliere

I dati delle temperature giornaliere mostrano cicli di temperatura e di radiazioni solari quotidiane, in un determinato luogo. I dati includono solitamente la temperatura a bulbo secco, la temperatura a bulbo umido, la

radiazione solare diretta e la radiazione solare diffusa, come medie giornaliere per ogni mese. Da questi dati si può studiare la differenza tra la temperatura a bulbo secco e le temperature bulbo umido (indicatore di umidità relativa), la differenza tra le temperature notturne e le temperature diurne (noto come l'oscillazione diurna) e la radiazione solare.

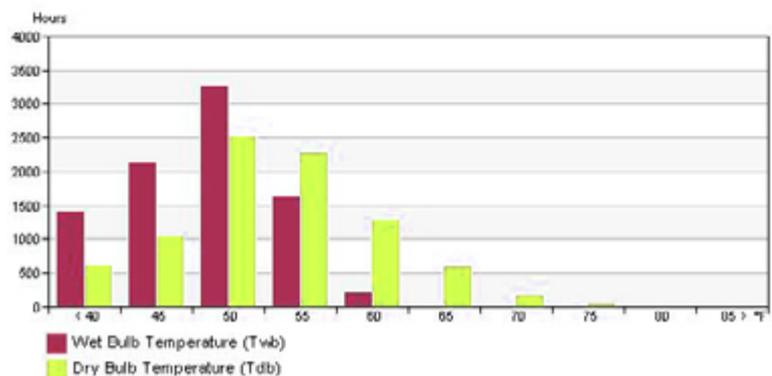
210. Questo grafico delle temperature giornaliere è stato eseguito con Revit, si riferisce alla città di Nashville, TN, USA.



### Contenuti annuali di temperatura

Per alcuni siti, il riscaldamento dominerà le esigenze di progettazione per la maggior parte dell'anno; per altri siti sarà il raffrescamento a dominare. È possibile vedere rapidamente quali temperature sono presenti nel proprio sito il più delle volte, con un istogramma della temperatura durante tutto l'arco dell'anno. Questo è indicato come contenuto di temperatura.

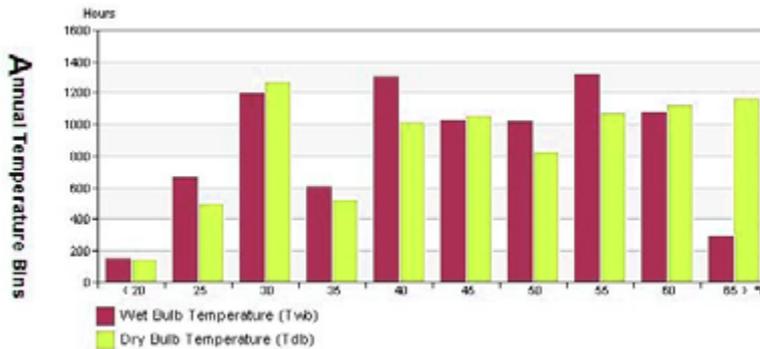
211. Contenuto di temperatura annuale per un sito più freddo, che richiede la maggior parte di riscaldamento per il raggiungimento del comfort. Il grafico mostra anche la temperatura a bulbo umido e la temperatura a bulbo secco, suggerendo che il clima non ha estati umide. (Grafico eseguito con Autodesk Revit)



## L'UMIDITÀ

L'umidità può essere altrettanto importante per il comfort umano quanto la temperatura. Troppa umidità può amplificare il calore e farlo sentire "afoso", mentre, con le stesse temperature, la scarsa umidità può generare il disagio opposto.

L'aria calda può contenere più umidità dell'aria fredda. Il corpo umano non percepisce il numero assoluto di molecole d'acqua nell'aria (l'umidità assoluta che viene misurata come densità), riusciamo invece a percepire l'umidità relativa, che è rappresentata come la percentuale di vapore acqueo contenuto nell'aria.



212. Questo grafico di contenuti di temperatura confronta la temperatura a bulbo umido e quella a bulbo secco aiutando a capire il tasso di umidità. Maggiore è la differenza tra le temperature a bulbo secco e umido, più bassa sarà la percentuale di umidità relativa. Si può vedere che la città di Copenaghen è relativamente umida perché i contenuti di temperatura sono all'incirca delle stesse dimensioni, come la distribuzione della temperatura a bulbo umido e secco.

Le persone generalmente considerano che tassi di umidità relativa dal 40% al 55% possono essere considerati confortevoli. Sotto il 40% si percepisce un'aria secca, superiore al 55% si sente afosa e umida (a meno che la temperatura non sia fredda).

L'umidità colpisce anche le strategie di riscaldamento o di raffreddamento passivo dell'edificio, grazie ad essa le possibili soluzioni potrebbero essere più efficaci. Per esempio, il raffrescamento evaporativo è molto più efficace nei climi secchi rispetto a un normale raffrescamento.

Il controllo dell'umidità è anche una funzione importante per i sistemi attivi di tipo HVAC. Vi è una enorme quantità di calore latente nell'acqua; la deumidificazione dell'aria richiede il raffreddamento delle particelle d'acqua, operazione che può necessitare di molta energia<sup>158</sup>.

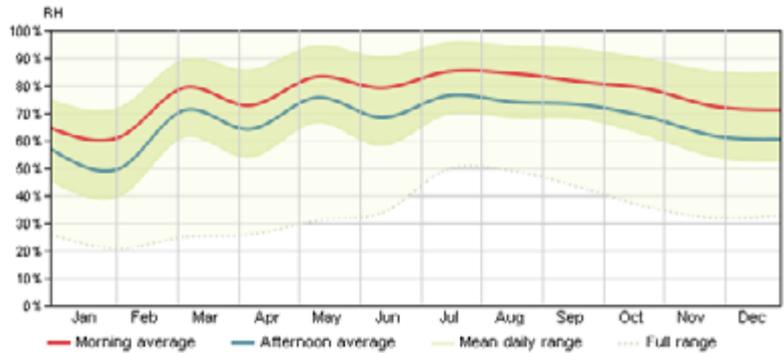
L'umidità può essere determinata confrontando le temperature a bulbo umido e a bulbo secco. Con il 100% di umidità, l'aria è completamente saturata e le temperature a bulbo secco e umido saranno le stesse. In tutti gli altri casi, la temperatura a bulbo umido sarà sempre inferiore alla temperatura

158 Per approfondimenti sull'argomento, esaminare le dinamiche dei flussi di energia termica negli edifici, al sito <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/heat-energy-flows-buildings>.

a bulbo secco, causa il raffrescamento evaporativo. Maggiore è la differenza tra le temperature a bulbo secco e umido, più bassa sarà la percentuale di umidità relativa.

I dati dell'umidità sono spesso visualizzati su un diagramma psicrometrico. Come per la temperatura, anche l'umidità varia durante il giorno e durante l'anno, e il progettista attento ne deve tener conto. È possibile rappresentare graficamente la variazione di umidità per aiutare la comprensione delle esigenze progettuali.

213. Variazione di umidità attraverso un anno in un sito (Grafico da Autodesk Revit)



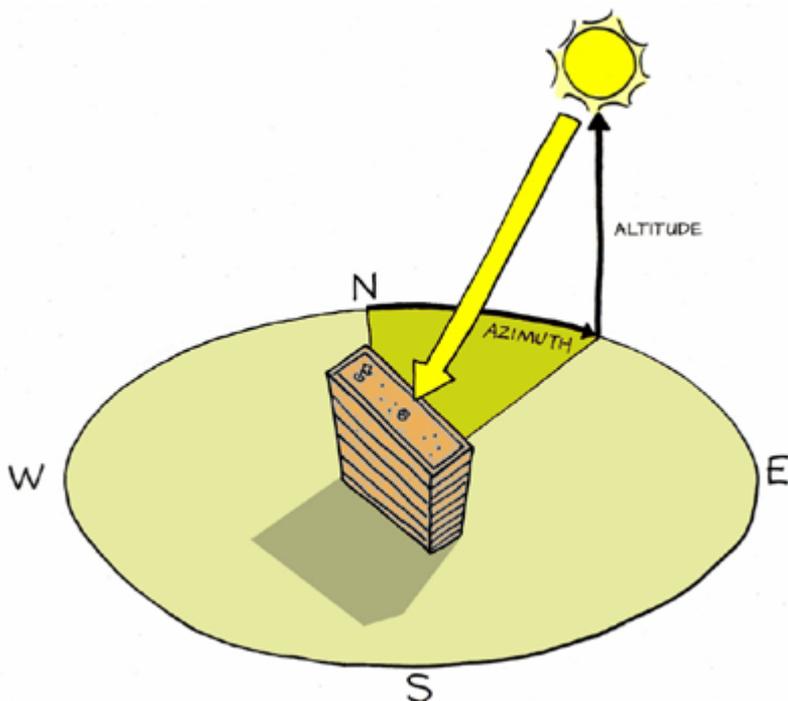
Il grafico qui sopra mostra i dati storici dell'andamento dell'umidità media registrati di mattina e di sera all'interno di un'area colorata gialla che illustra il range di umidità medio giornaliero. La banda traslucida, molto più ampia, delimitata dalle linee tratteggiate, mostra l'intera gamma di umidità massima e minima di record storico. Come con variazione di temperatura, questi estremi non si registrano spesso, ma dovrebbero essere considerati nella progettazione.

Oltre a modificare le richieste energetiche di raffreddamento, l'umidità può influire anche su altri fattori, come la progettazione dell'involucro edilizio. Comprendendo il tasso di umidità di un flusso d'aria, possiamo identificare a quale temperatura si condensa l'acqua (noto anche come il punto di rugiada). Con questa conoscenza si possono evitare numerosi problemi, come la muffa e la riduzione delle prestazioni dell'isolamento, semplicemente posizionando in modo corretto una barriera al vapore nelle pareti esterne e nei tetti. Una buona risorsa per comprendere le interazioni tra temperatura, umidità relativa e punto di rugiada è lo strumento Dew Point Calculator.

## POSIZIONE DEL SOLE

Il movimento del sole durante il giorno e durante l'intero arco dell'anno è uno dei fattori ambientali più importanti per capire come progettare edifici ad alte prestazioni.

Se si progetta un edificio esaminando con attenzione il percorso del sole, è possibile usufruire di importanti strategie come l'illuminazione naturale diurna, il riscaldamento passivo, la produzione di energia fotovoltaica e persino la ventilazione naturale. Tuttavia, se non si sta attenti, queste stesse opportunità possono remare contro, producendo fenomeni di abbagliamento o di surriscaldamento.



214. L'altitude è l'angolo verticale che il sole intrattiene con il piano di appoggio ( $0^\circ < \text{alt} < 90^\circ$ ).

L'azimut è l'angolo orizzontale tra il sole e il nord geografico ( $-180^\circ < \text{azi} < 180^\circ$ , positivo in senso orario da nord)

### Percorso e posizione solare

La prima cosa da comprendere è il percorso che il sole compie alle latitudini di interesse. In qualsiasi punto sul percorso del sole, la sua altezza nel cielo si chiama altitude e il suo angolo orizzontale rispetto al nord geografico è chiamato azimut.

### Variazioni stagionali e date importanti

Il percorso del sole varia nel corso dell'anno. In estate il sole è alto nel cielo, nell'emisfero settentrionale sorge e tramonta a nord di est e di ovest

(nell'emisfero meridionale, l'andamento è capovolto, è a sud di est e di ovest). Sorge anche molto prima e tramonta molto più tardi in estate rispetto all'inverno. Per studiare l'estremo percorso del caldo sole estivo, spesso si deve analizzare il percorso solare nel solstizio d'estate, il giorno in cui il sole è alla sua massima altitudine a mezzogiorno.

In inverno il sole è basso nel cielo, nell'emisfero settentrionale sorge e tramonta a sud di est e di ovest (nell'emisfero meridionale è a nord di est e di ovest). Per studiare il breve percorso invernale del sole, spesso si deve studiare il percorso del sole nel solstizio d'inverno, il giorno in cui il sole è alla sua altitudine più bassa a mezzogiorno.

Per analizzare la posizione media, si può studiare il percorso del sole durante gli equinozi di primavera e di autunno, quando il sole sorge e tramonta a est e a ovest. L'altezza del sole a mezzogiorno dell'equinozio è determinata dalla latitudine del sito. Questo è il motivo per cui la regola empirica per determinare l'angolo ottimale dei pannelli solari varia con la latitudine del sito. Con tale angolo, i raggi del sole sono perpendicolari al pannello per la maggior parte dell'anno.

Alcuni suggerimenti e regole pratiche includono:

1. Studiare i giorni particolari:
  - o I solstizi: studiare i percorsi estremi del sole.
  - o Gli equinozi: studiare i percorsi medi del sole.
2. Studiare le diverse stagioni:
  - o Studi invernali: Come si può massimizzare il guadagno solare per riscaldare l'edificio passivamente?
  - o Studi estivi: Come si può ridurre al minimo il carico solare per raffrescare passivamente l'edificio?

215. Ci sono quattro date importanti da ricordare quando si considera la posizione del sole

NAME	DATE		DESCRIPTION
	(Sth.Hem.)	(Nth.Hem.)	
Summer Solstice	22 Dec.	22 Jun.	Sun at its highest noon altitude
Autumn Equinox	21 Mar.	21 Sep.	Sun rises due east, sets due west
Winter Solstice	21 Jun.	21 Dec.	Sun at its lowest noon altitude
Spring Equinox	21 Sep.	21 Mar.	Sun rises due east, sets due west

3. Osservate i momenti specifici della giornata:
- o Mattina: Si consiglia di catturare l'energia del sole per riscaldare gli ambienti quando il sole è ancora basso nel cielo. Ma si necessita anche di protezione contro l'abbagliamento.
  - o Mezzogiorno: Il sole è nel punto più alto del cielo e alla sua massima intensità giornaliera. Si consiglia di evitare il caldo sole di mezzogiorno per ridurre i carichi termici in alcune zone. Ma si potrebbe voler catturare i raggi solari per il riscaldamento passivo o per la produzione di energia solare.
    - Si noti che a volte, quello di mezzogiorno non è l'angolo di altitudine più elevata, questo a causa della differenza tra "ora solare" (determinata dalla posizione del sole) e "ora locale" (determinato dal fuso orario).
  - o Pomeriggio: Si consiglia di evitare il surriscaldamento e abbagliamento
  - o Ore di occupazione: Si può essere particolarmente attenti alle ore in cui l'edificio è più maggiormente occupato.

### **Ora solare o locale**

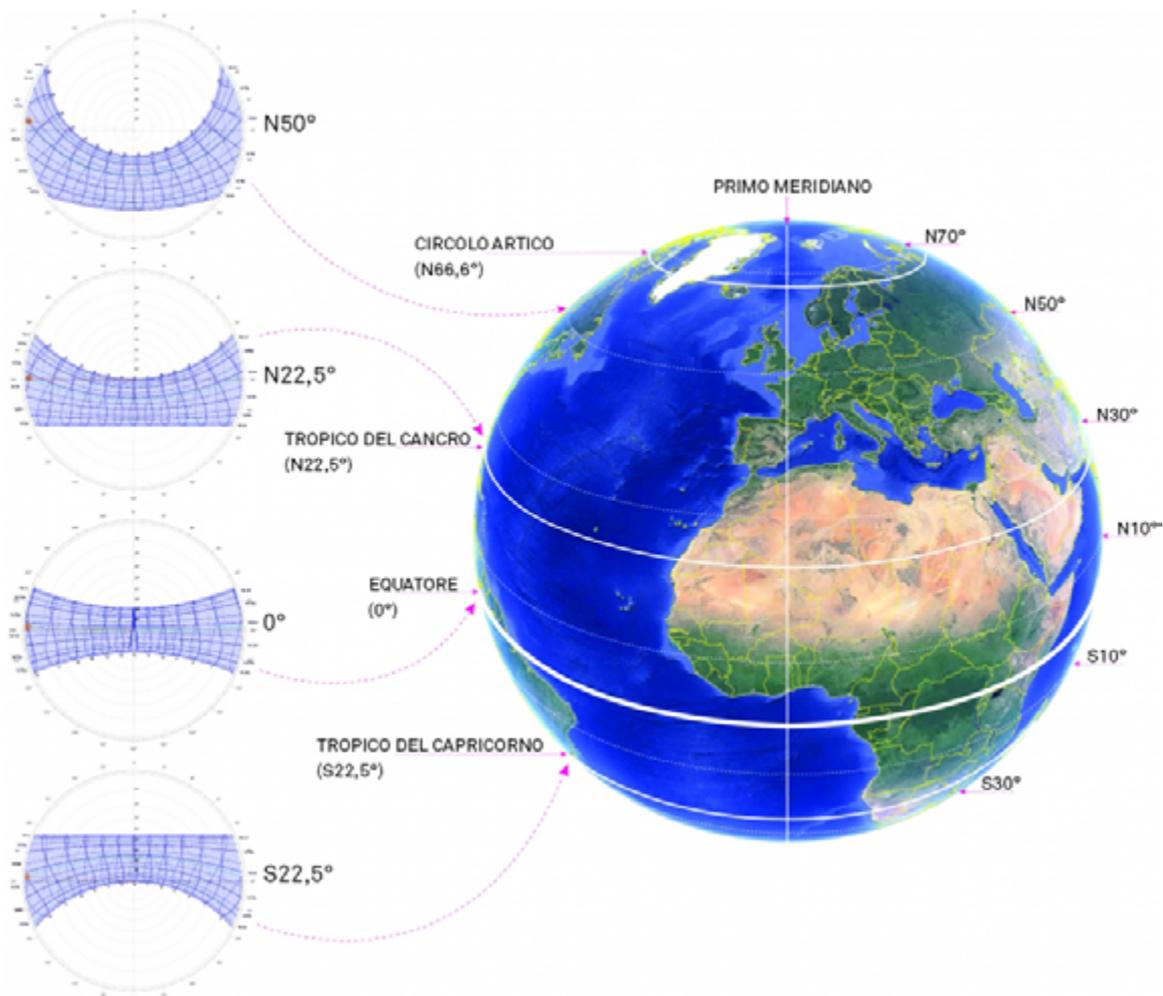
Nella maggior parte delle località, ci saranno regolari differenze tra ora solare e locale. L'ora solare è determinata dalla posizione del sole. A mezzogiorno è al suo massimo di altitudine, con l'alba e il tramonto che si verificano simmetricamente ai lati del mezzogiorno.

L'ora locale viene determinata dal fuso orario in riferimento ad una longitudine di appartenenza. Ad esempio, il fuso orario locale per Madrid in Spagna è considerato ad una longitudine di 15°. Tuttavia, la longitudine di Madrid è di -3°.

Per ogni grado di differenza di longitudine tra quella reale e di riferimento vi è una differenza di tempo di 4 minuti. Pertanto, per convertire l'ora solare in ora locale, si può utilizzare la seguente formula:

$$T_{\text{locale}} = T_{\text{solare}} + ((\text{Longitudine} - \text{Longitudine rif.}) \cdot 4^*)$$

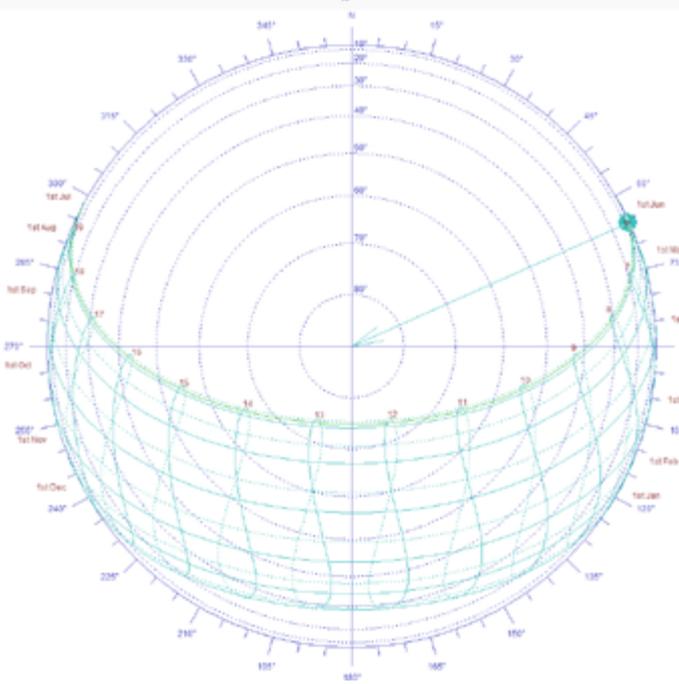
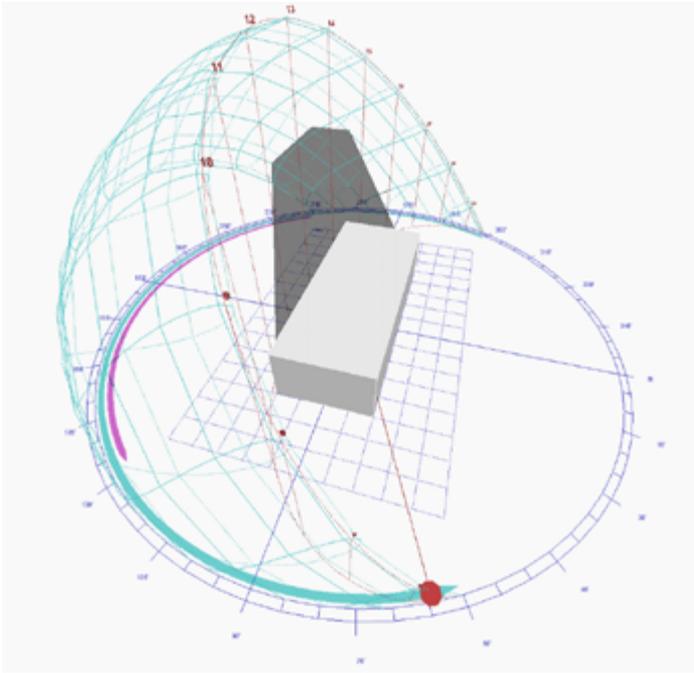
Se si nota che in alcune analisi il sole non assume la sua massima altitudine a mezzogiorno, questo è il motivo.



216. Grafici stereografici del percorso solare che illustrano la variazione dell'andamento in relazione alla latitudine.

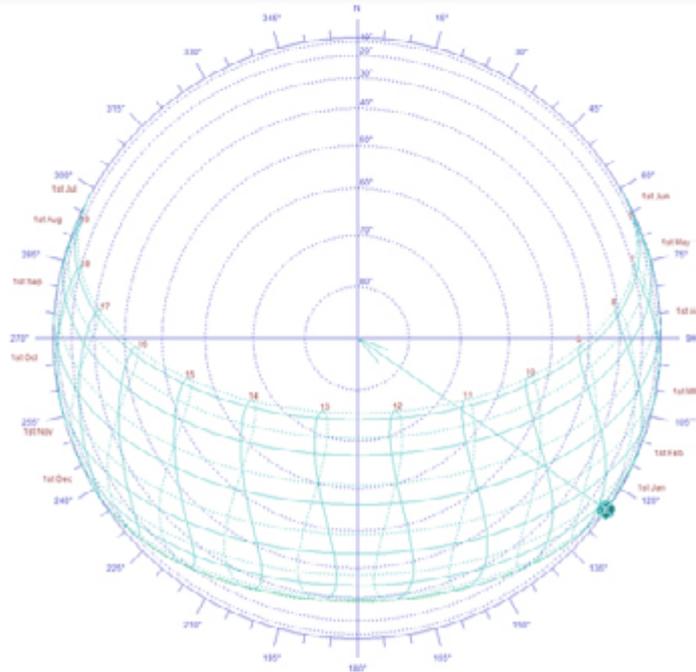
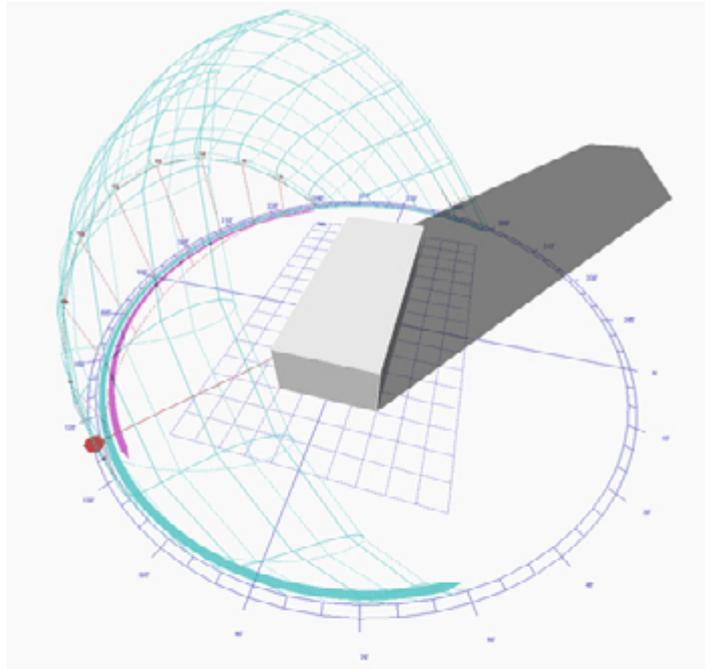
### Visualizzare il percorso del sole

Ci sono diversi modi di visualizzare il percorso solare. I diagrammi stereografici del percorso solare sono utilizzati per leggere l'azimut e l'altitudine solare di qualsiasi giorno dell'anno in una data posizione sulla terra. Essi possono essere paragonati a una fotografia del cielo, scattata guardando dritto verso lo zenit, con un obiettivo di 180 ° grandangolare. I percorsi del sole, in diversi momenti dell'anno, possono essere proiettati su questo emisfero appiattito per qualsiasi posizione sulla Terra.



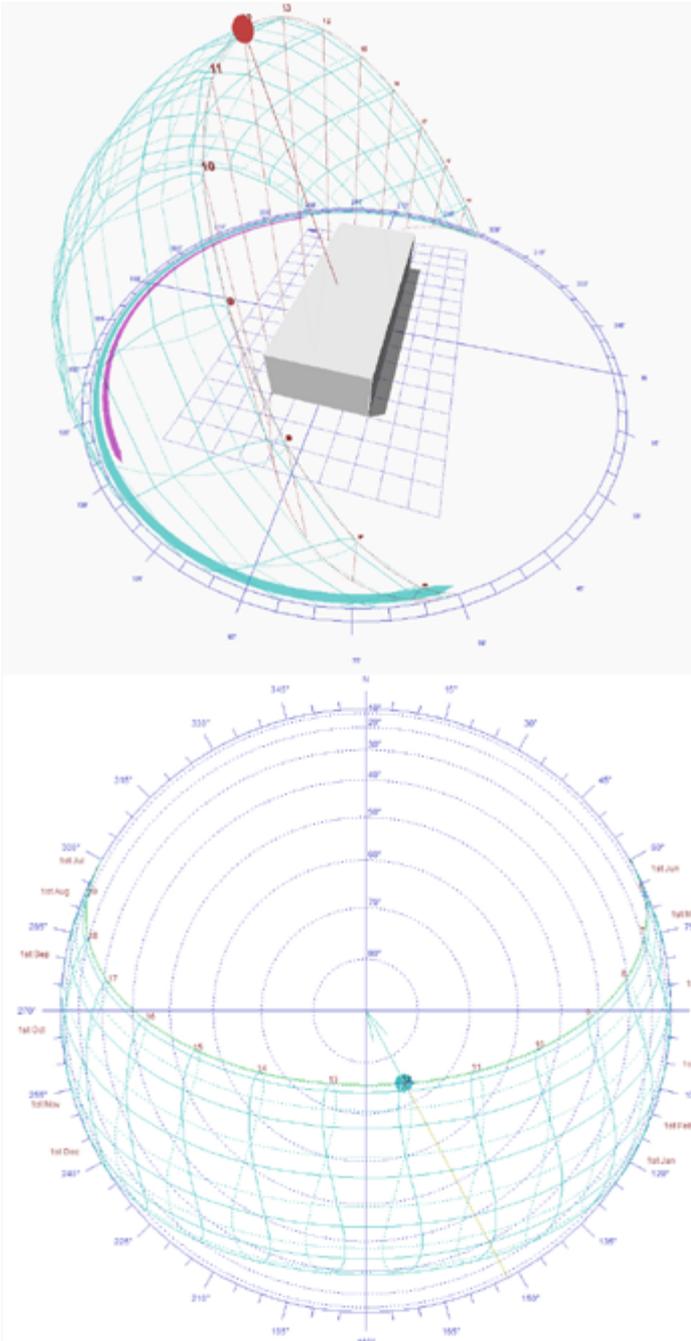
**Percorso solare estivo**

Il diagrammi stereografici mostrano l'andamento del sole durante il giorno 21 giugno. (solstizio d'estate). Sulla sinistra la visualizzato è in 3D, sulla destra è bidimensionale



**Percorso solare invernale**

In questo caso, il diagrammi stereografici mostrano l'andamento del sole durante il giorno il 21 dicembre (solstizio d'inverno)



### **Il sole a mezzogiorno**

Due visualizzazioni del diagramma stereografico che mostrano la posizione del sole nel corso dell'anno alle ore 12:00.

## **Lettura Dei Diagrammi Solari**

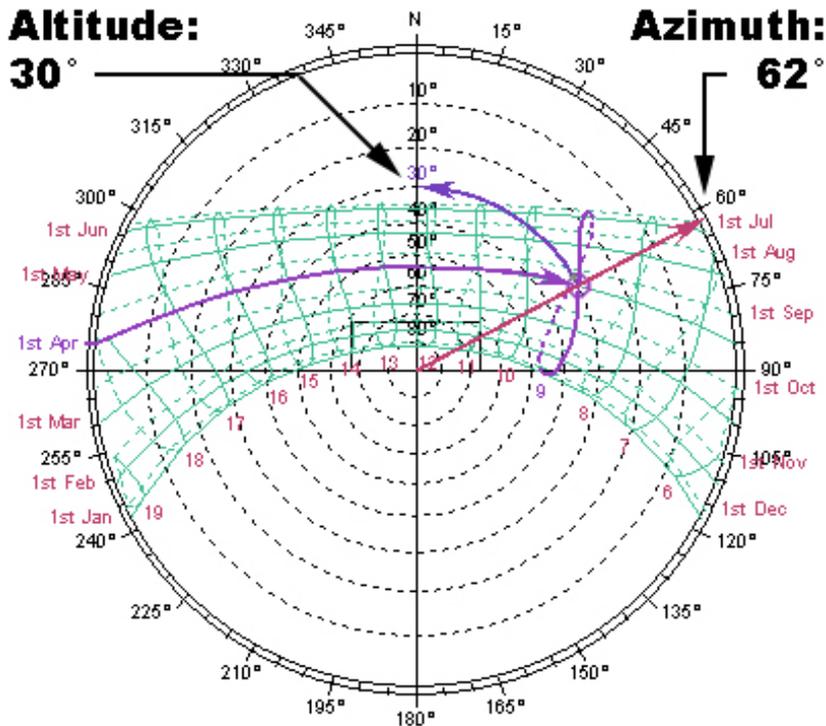
I diagrammi del percorso solare possono dire molto sull'impatto che il sole avrà sul sito di progettazione, durante tutto l'arco dell'anno. I diagrammi stereografici del percorso del sole possono essere utilizzati per leggere l'azimut e l'altitudine solare per una data posizione.

### **Diagrammi stereografici del percorso solare**

I diagrammi Stereografici del percorso solare sono utilizzati per leggere l'azimut e l'altitudine solare, durante l'arco del giorno e dell'anno per una data posizione sulla terra. I percorsi del sole in diversi momenti dell'anno possono essere proiettate su questo emisfero appiattito per qualsiasi posizione sulla Terra.

Si precisa che questi diagrammi stereografici non sono esattamente come un foto grandangolare: tale immagine sarebbe capovolta da sinistra a destra. Questi diagrammi sono rappresentati dal punto di vista del cielo, guardando verso la terra; è possibile sovrapporre ad essi una mappa o un piano dell'edificio per comprenderne le interazioni.

- Linee dell'azimut, gli angoli dell'azimut possono essere letti intorno al bordo del diagramma.
- Linee dell'altitudine, gli angoli dell'altitudine possono essere letti sull'asse verticale del diagramma e vengono rappresentati da circonferenze concentriche tratteggiate.
- Linee delle date, tali linee partono dal lato orientale del grafico e vanno verso il lato occidentale, rappresentando il percorso solare in un determinato giorno dell'anno (la linea può essere solida o tratteggiata).
- Linee orarie, le linee orarie sono mostrati come linee a forma di otto che si intersecano alle linee delle date e rappresentano la posizione del sole in una specifica ora del giorno (la linea si divide a tratti, da solida a tratteggiata). I punti di intersezione tra le linee della data e dell'ora forniscono la posizione del sole.



217. Il diagramma riporta i dati della posizione del sole alle ore 9 del mattino del 1° aprile in cui l'azimut è 62° e l'altitudine è 30°

*and read off the solar altitude from the values shown...*

### La lettura della posizione Sole (Step-by-Step)

1. Individuare sul diagramma la riga oraria richiesta.
  2. Individuare la riga della data richiesta.
  3. Trovare il punto di intersezione tra le linee dell'ora e della data. Ricordando di intersecare linee solide con solide e tratteggiate con tratteggiate.
  4. Tracciare una linea dal centro del diagramma verso il perimetro del diagramma, attraverso il punto di intersezione dell'ora con la data.
  5. Leggere l'azimut come un angolo preso in senso orario da nord. Nel caso di esempio, il valore è di circa 62°.
  6. Tracciare un cerchio, concentrico al diagramma, dal punto di intersezione all'asse nord verticale, su cui viene visualizzato l'angolo di altitudine.
  7. Interpolare tra le righe dei cerchi concentrici per trovare l'altitudine. In questo caso il punto di intersezione siede esattamente sulla linea dei 30°.
  8. Questo dà la posizione del sole, definita dall'azimut e dall'altitudine.
- Queste letture sono immediatamente visualizzabili con software tipo Ecotect.

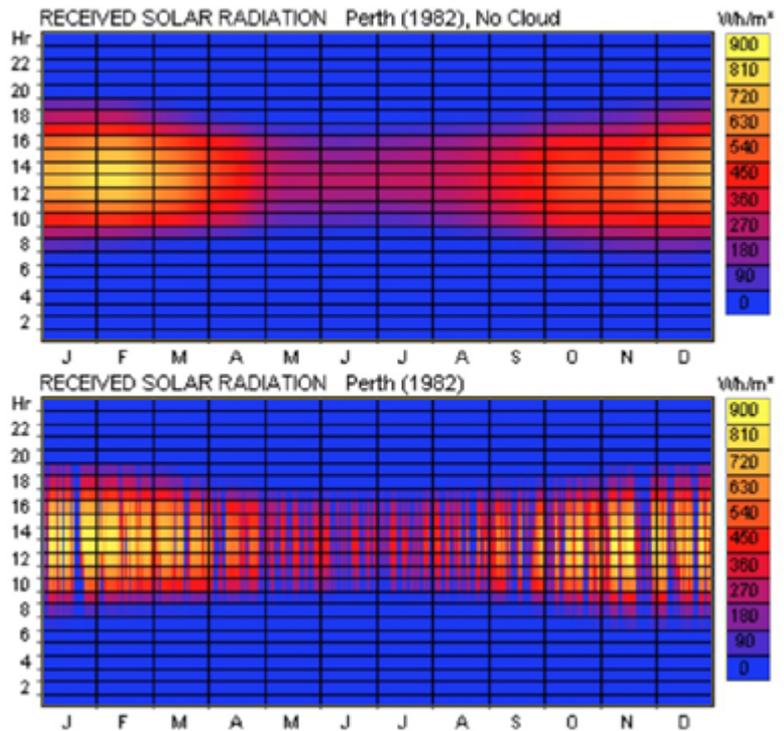
## CONDIZIONI DI CIELO E PRECIPITAZIONI

All'andamento del sole si sommano condizioni di cielo che possono intensificare o oscurare gli apporti solari. È importante comprendere queste caratteristiche per tenerle in conto quando si progettano gli edifici.

### La nuvolosità

La frequenza e l'opacità riguardanti la nuvolosità devono essere modellati in modo da garantire una buona progettazione passiva.

218. Insolazione per un determinato luogo nell'arco dell'anno, la prima è senza nuvole (teorica) e la seconda con la tipica ricorrenze delle nubi.

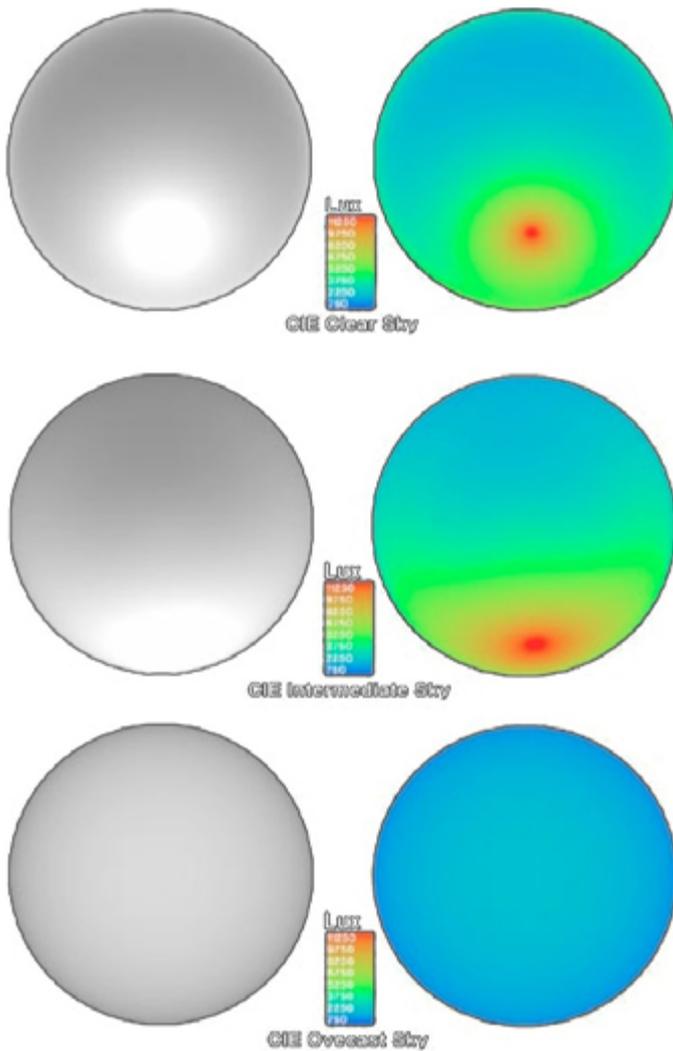


Le nuvole non bloccano solo la visione di un edificio alla luce del sole, ma contribuiscono anche a diffondere tale luce. Ciò è particolarmente importante per l'illuminazione diurna poiché questo fenomeno modifica la distribuzione della luce in entrata in uno spazio.

Le nuvole sono un importante parametro nel determinare le "condizioni di illuminamento del cielo" che dovrebbe essere utilizzato per modellare la luce del sole e la luce del giorno. La Commissione Internazionale dell'Eclairage (CIE) fornisce gli standard sul come considerare il cielo quando è chiaro, uniforme o coperto. Di solito il cielo coperto viene utilizzato come scenario peggiorativo nei criteri di progettazione. Tuttavia, per gli edifici vicini all'equatore, il calcolo con il cielo uniforme può essere più accurato. È possibile

modificare questo valore di copertura del cielo all'interno dei software tipo Autodesk Ecotect.

I dati della copertura del cielo sono generalmente contenuti in file .WEA o .EPW, insieme agli altri dati meteo. Di solito i dati della radiazione solare incidente includono automaticamente gli effetti della copertura nuvolosa.



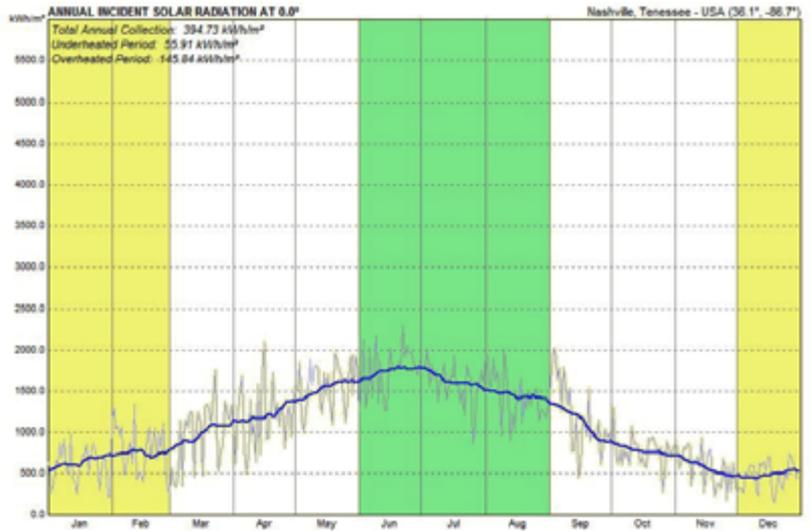
**219.** Luminosità del cielo a 180° con cielo limpido, cielo intermedio, e cielo coperto, ogni schema viene rappresentato sia solo come luminosità che con colori diversi per una più facile lettura.

## La radiazione solare diretta e diffusa

L'intensità del sole è spesso chiamato "irraggiamento" (questo è l'abbreviazione di "incidente radiazione solare", e non deve essere confuso con isolamento) ed è importante per le strategie di progettazione passiva e la produzione di energia.

Valori di radiazione solare incidente si basano su due componenti principali: radiazione diretta dal sole e radiazione diffusa che viene diffusa dalle nuvole e l'atmosfera (e terra davanti della superficie). Un cielo nuvoloso riduce la quantità di radiazione fascio diretto e aumenta la quantità di radiazione diffusa cielo.

220. Insolazione in un determinato sito e per una determinato orientamento di superficie.



Anche i dati delle radiazioni solari sono solitamente contenute in file climatici (.wea o .epw).

## Le precipitazioni

Pioggia e neve influenzano molti aspetti degli edifici: il comfort termico, l'illuminazione naturale, la produzione di energia solare, la raccolta dell'acqua piovana, e altro ancora.

Anche la struttura dell'edificio può dipendere dalle precipitazioni. In molti climi montani si possono ottenere carichi di neve eccessivi che richiedono tetti e pareti più robuste rispetto ai luoghi dove non c'è neve.



221. La coltre di neve può essere spessa e pesante, gravando sulla struttura e influenzando le prestazioni energetiche di un edificio.

## **RADIAZIONI SOLARI METRICHE**

La radiazione solare è un elemento importante in qualsiasi edificio che tenta di perseguire l'efficienza energetica. La radiazione solare equivale ad apporti termici, se penetra all'interno dell'edificio, o ad energia elettrica, se viene catturata da un pannello fotovoltaico.

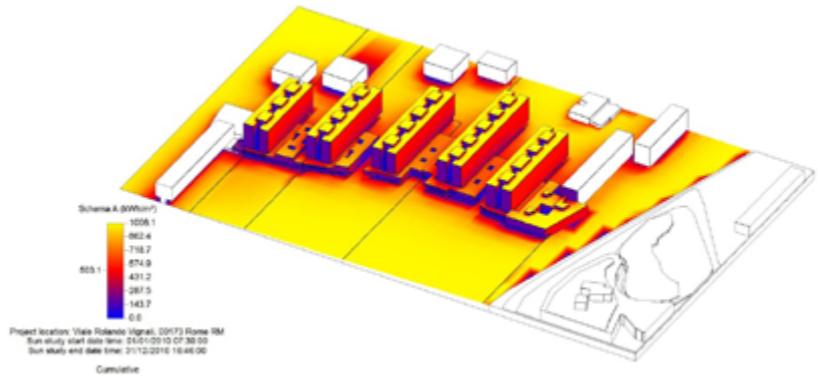
Comprendere il significato della radiazione solare aiuterà a prendere decisioni sulla massa, sull'orientare e a programmare la captazione dell'edificio rispetto alle caratteristiche della radiazione solare del sito e del clima. Conoscere le metriche della radiazione solare può essere utile per analizzare le strategie progettuali.

L'intensità del sole varia con la limpidezza dell'atmosfera e con l'angolo con il quale il sole colpisce una superficie, detto "angolo di incidenza". Quanto più perpendicolare è il raggio del sole su una superficie tanto più sarà intensa l'energia termica e luminosa.

### **Incidenza della radiazione solare**

La radiazione solare incidente è la quantità di energia irradiata dal sole e ricevuta da una data superficie durante un dato tempo. I valori sono espressi in unità di energia per area ( $W/m^2$  o  $BTU/ora/ft^2$ ) e di solito sono il singolo parametro più importante per gli studi di progettazione. Talvolta questo è chiamato anche insolazione (radiazione solare incidente) e può essere citato in termini di energia accumulata durante il giorno o durante l'anno ( $kWh/m^2/giorno$  o  $kWh/m^2/anno$ ).

222. Radiazione solare incidente.



I valori di radiazione solare incidente si basano su due componenti principali:

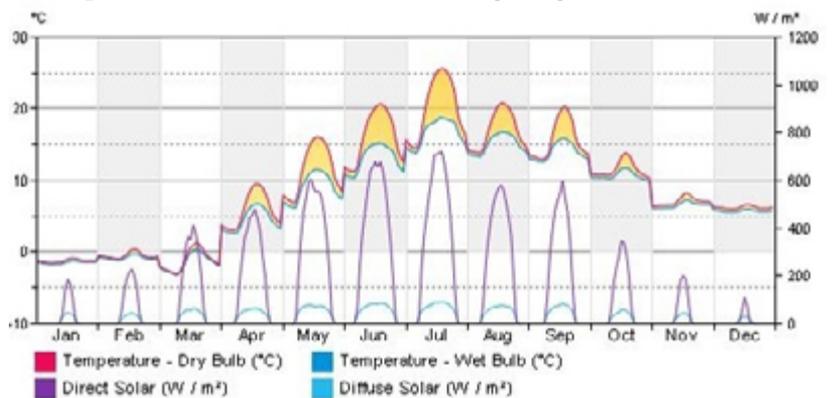
1. La radiazione diretta del sole (fascio di radiazione diretto =  $I_b$ ) che viene sempre misurata perpendicolarmente ai raggi del sole
2. La radiazione diffusa che si sia diffusa per mezzo delle nuvole o dell'atmosfera (radiazione diffusa dal cielo =  $I_d$ ) e dal terreno di fronte alla superficie ( $I_r$ ). Questo è sempre misurata su un piano orizzontale.

Le condizioni del cielo influenzano l'intensità e la distribuzione della radiazione solare. Un cielo nuvoloso riduce la quantità di radiazione diretta e aumenta la quantità di radiazione diffusa. Per esempio un cielo limpido consentirà alla luce diretta di partire dal sole ed arrivare direttamente al sito o all'edificio di interesse, mentre un cielo nuvoloso filtrerà la luce del sole, diffondendola intorno alla posizione di interesse.

Dell'energia totale del sole, fino a un terzo può essere persa (riflessa nello spazio), circa il 20% raggiunge la superficie come radiazione diffusa e il resto raggiunge la superficie come radiazione diretta.

Oltre a riscaldare direttamente gli edifici, la radiazione solare contribuisce anche a registrare climi più caldi e ha effetti sull'umidità. Questo è uno dei motivi per cui è inclusa nelle carte meteorologiche giornaliere.

223. I grafici meteo delle medie giornaliere mostrano sia radiazione solare diretta che quella diffusa. Quando la radiazione solare diretta varia molto nel corso dell'anno, è sintomo di nuvolosità. Si può vedere che Copenaghen è una città nuvolosa in inverno perché il valore assoluto della radiazione diretta è molto più basso, e la percentuale di radiazione diffusa è più elevato.



## Radiazione assorbita, trasmessa, e riflessa

Mentre la radiazione solare incidente è solo la quantità di energia che colpisce una determinata superficie, non necessariamente è utile a capire quanta radiazione viene assorbita dalla facciata dell'edificio, trasmessa attraverso le finestre di un edificio, o riflessa indietro. Questo dipende dalle caratteristiche del materiale ed è disciplinato dalla seguente equazione:

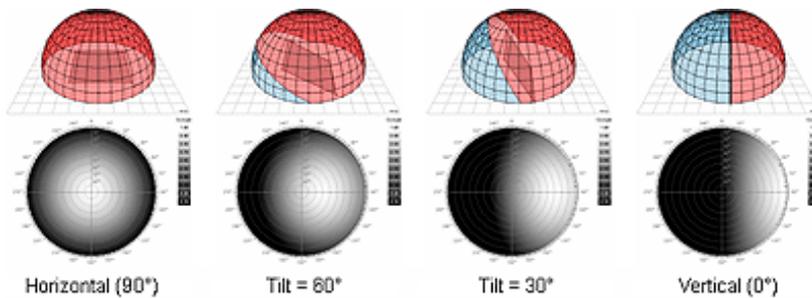
$$100\% \text{ incidente} - \text{riflessa} = \text{assorbita} + \text{trasmessa}$$

## Analizzare la radiazione solare

I dati per la radiazione solare diretta e diffusa sono inclusi nei file climatici utilizzati dai software di analisi.

I valori della radiazione solare incidente effettivamente calcolati e visualizzati all'interno dei software si basano sulla geometria specifica dell'edificio. Il programma prendono in considerazione i dati della radiazione solare diretta e diffusa dai dati climatici orari, la geometria dell'edificio e il periodo di tempo preso in considerazione per l'analisi. I risultati dell'analisi sono sempre in un determinato periodo di tempo (spesso una sola ora) e sono presentati in Wh/m<sup>2</sup> (o BTU/ft<sup>2</sup>). È possibile moltiplicare per 317,15 per convertire da kWh/m<sup>2</sup> a BTU/ft<sup>2</sup>.

Il calcolo utilizzato dal software include l'ombra portata da parte degli oggetti circostanti (Fombra), la porzione di cielo "visibile" dalla superficie (Fcielo) e l'angolo di incidenza tra il sole e la superficie oggetto di analisi (theta). Poiché la radiazione solare incidente è solo una misura della quantità di sole che colpisce una superficie, non dipende dalle proprietà del materiale.



224. La quantità di cielo visibile da una superficie (Fcielo) è determinata dalla maschera di ombreggiatura posta sul diagramma del cielo.

L'equazione di base<sup>159</sup> dei valori riportati nei software è:

159 L'algoritmo della radiazione solare effettiva, calcolato dai software, è basato sul modello della radiazione diffusa anisotropa, sviluppato da Richard Perez. È una formula di regressione statistica che tiene in considerazione della radiazione diretta e diffusa.

$$\text{Radiazione solare incidente} = [\text{Ib} \times \text{Fombra} \times \cos(\text{theta})] + (\text{Id} \times \text{Fcielo}) + \text{Ir}$$

Dove:

Ib = fascio di radiazione diretta, misurata perpendicolarmente al sole.

Id = radiazione diffusa dal cielo, misurata sul piano orizzontale.

Ir = radiazione riflessa dal suolo,

Fombra = fattore di ombreggiatura (1 se un punto non è ombreggiato, 0 se un punto è ombreggiato e una percentuale se misurato su una superficie).

Fcielo = fattore di cielo visibile (una percentuale basata sulla maschera delle ombre)

Theta = angolo di incidenza tra il sole e la faccia analizzata.

Utilizzando software come Vasari e Revit, non si possono calcolare i valori della radiazione solare assorbiti, trasmessi e riflessi. Tuttavia, sulla base dei valori della radiazione solare incidente è possibile utilizzare il giudizio e i calcoli manuali per indirizzare le caratteristiche delle aperture, dell'ombreggiatura e della massa termica.

Con Ecotect, invece, è possibile assegnare le proprietà del materiale alle varie superfici, ci sono alcuni capacità di calcolo incorporate per effettuare l'analisi degli assorbimenti e delle trasmissioni.

### **Intervalli di tempo per lo studio della radiazione solare**

È possibile scegliere differenti intervalli per le impostazioni della simulazione dell'analisi della radiazione solare. Queste differenti intervalli hanno punti di forza e di debolezza in base all'analisi che si sta svolgendo.

#### **Il picco**

- Cosa è: Il valore massimo calcolato durante il periodo di studio.
- Quando: Spesso risulta utile effettuare questa operazione oltre un dato giorno, mese o stagione per concentrarsi sul sole più forte.
- Perché: Questo parametro viene utilizzato principalmente per il dimensionamento degli impianti e delle attrezzature HVAC, e cercando di evitare gli estremi. Il carico solare è uno dei principali componenti del carico di raffreddamento.
  - o Raffreddamento e picchi di carico solare: Qual è il maggior guadagno solare che è possibile sperimentare nel giorno più caldo d'estate? L'edificio è in grado di gestire questi carichi solari di picco? Si possono ridurre questi guadagni con dispositivi di ombreggiatura? Come si riduce il carico di raffreddamento di picco, si può quindi ridurre le dimensioni del sistema HVAC?

o I pannelli fotovoltaici: Trovare la massima quantità di energia che si può verificare sulla superficie del pannello fotovoltaico può contribuire a dimensionare i pannelli fotovoltaici. Tuttavia, una regola generale è che il picco è di circa 1000 W/m<sup>2</sup> per la maggior parte del mondo - quindi questo non avviene spesso.

### **La media**

- Cosa è: La media oraria dei valori nel corso del periodo di studio definito. Questa media è basata solo sui tempi di quando il sole è presente. I valori di tempo notturni non sono inclusi, anche se si specifica ore notturne.
- Quando: Determinare condizioni medie di progettazione globali di un dato mese o stagione. Spesso calcolata solo durante le ore di funzionamento dell'edificio.
- Perché: Questo parametro viene utilizzato principalmente per la stimare gli usi di energia e i guadagni per un periodo di tempo definito (energia media di radiazione x ore totali = energia totale).
  - o Riscaldamento e carichi solari medi: Stima il potenziale riscaldamento solare passivo attraverso lo studio della radiazione solare media durante i periodi di basse temperature (quando è necessario il riscaldamento).
  - o Pannelli fotovoltaici e riscaldamento solare passivo: Trova la potenza totale disponibile moltiplicando la radiazione solare media per le ore totali. Poi moltiplicare questo valore per l'efficienza del sistema ipotizzato, si ottiene la potenza di uscita totale prevista (per la produzione di energia elettrica, o di riscaldamento).

### **Cumulativo**

- Cosa: Il totale di tutti i valori calcolati in un determinato periodo di tempo.
- Quando: Per qualsiasi periodo di tempo che ti interessa, è possibile determinare l'energia totale generata o risparmiata. Questo metodo può essere più preciso rispetto all'utilizzo della media quando si studiano periodi di tempo specifici.
- Perché: utilizzare quando si vuole calcolare l'energia totale che sarà disponibile nel corso di un dato periodo di tempo.
  - o Riscaldamento e raffrescamento passivo: Apprendere l'impatto del carico di riscaldamento/raffrescamento in un determinato periodo di tempo e della quantità tale di energia che

si dovrà gestire. Per esempio, qual è l'energia totale che è possibile raccogliere in un sistema a guadagno diretto come un muro di massa termica?

o Potenziale del fotovoltaico: Questa è l'applicazione principale per le metriche cumulative. Qual è l'energia totale che lambisce la superficie di un pannello fotovoltaico nel corso di un intero anno o per periodi di tempo specifici. Si possono abbinare i carichi dell'edificio con questo potenziale produttivo?

### **Osservare nel tempo**

Osservando la radiazione solare in un tempo<sup>160</sup> specifico è importante quando si sta effettuando una comprensione iniziale dell'energia disponibile sul sito. Lo strumento percorso solare, abbinato ai risultati della radiazione solare possono essere un modo molto efficace per comprendere sia il percorso del sole che l'energia solare risultante che incide sulla facciata dell'edificio. Si noti che quando si studia la radiazione solare in tempo reale, i risultati sono gli stessi di quando si seleziona il picco, la media, o cumulativa.

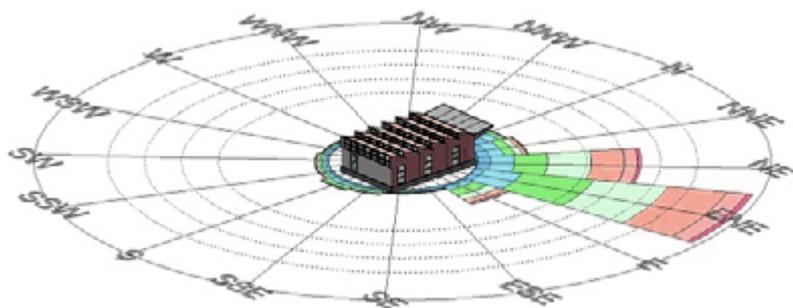
Come punto di riferimento, la radiazione solare media incidente sulla terra è di circa 240 W/m<sup>2</sup>.

---

<sup>160</sup> Quando si analizza un tempo specifico (tipo ore 10:00 del 21 gennaio), il valore che viene presentato è in realtà la radiazione incidente nel corso di un'ora a partire da quel momento (Wh/m<sup>2</sup>). Non è veramente istantanea. Tuttavia, l'intensità della radiazione e la posizione del sole non cambia molto nel corso di un'ora. Inoltre, l'unità di 'h' si annulla, come Wh/m<sup>2</sup>/ (1 h), diviene solo W/m<sup>2</sup>.

## IL VENTO

Gli spostamenti dell'aria dipendono da molteplici fattori che operano a scala diversa. I venti hanno provenienza costante, generalmente una, due o poco più direzioni prevalenti. In rapporto alla propria direzione, il vento acquisisce un nome specifico. Prevedere l'andamento dei venti a scala urbana non è affatto un'operazione semplice, in quanto essi possono risentire della variazione del regime termico dovuto alle caratteristiche microclimatiche che stimolano moti ascensionali più intensi nelle zone a temperatura maggiore e spostamenti orizzontali dalle aree più calde verso quelle più fredde. Quando tali condizioni sono intensificate si possono generare persino dei venti termici significativi.



225. Conoscere l'andamento dei venti della località di intervento influenza le scelte progettuali strategiche.

(Rosa dei venti mensile da Revit)

Quindi, la velocità del vento e i suoi cambi di direzione durante il giorno e durante l'anno non sono così prevedibili come per il movimento del sole.

Come risorsa, il vento può contribuire a facilitare la ventilazione naturale passiva aumentando il comfort degli occupanti (pensare ad una piacevole brezza in una giornata estiva particolarmente calda). Il vento può anche essere sfruttato per generare elettricità attraverso le pale eoliche, anche se questo sistema, soprattutto in applicazioni su piccola scala, non è tipicamente efficiente come per i sistemi ad energia solare.

Questa risorsa può creare anche notevoli disagi, ad esempio il vento potrebbe guidare l'umidità e l'acqua attraverso piccole aperture all'interno dell'edificio, con conseguenze potenzialmente devastanti se non adeguatamente controllato.

### Prevedere il comportamento del vento

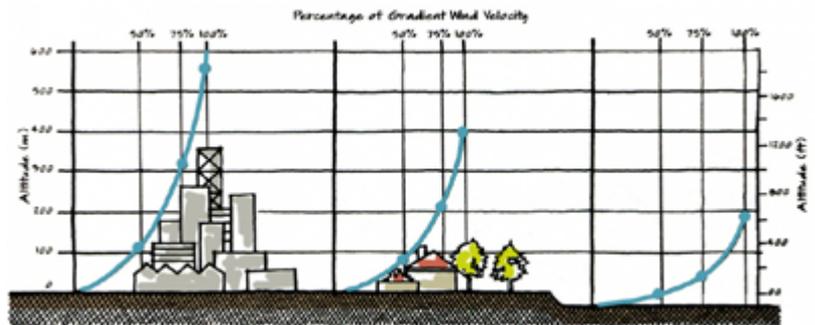
I flussi d'aria si muovono dalle aree ad alta pressione verso quelle a bassa pressione. Questo fenomeno è importante da ricordare poiché è il principio base della ventilazione.

Quando il vento incontra un ostacolo, esso fluirà intorno all'oggetto per continuare a muoversi nella stessa direzione. Questo fenomeno è simile a quello dei flussi d'acqua (sia l'aria che l'acqua sono fluidi). È importante notare quindi che se il vento è bloccato da una data morfologia o da edifici del circostante non viene arrestato, piuttosto viene deviato.

La velocità del vento varia con l'altezza e con la tipologia del terreno. Con l'aumento di quota, la velocità del vento aumenta. Quando il terreno diviene meno omogeneo, la velocità del vento rallenta. Ciò significa che la velocità del vento in uno spazio aperto, ad esempio rurale, aumenterà con l'accrescimento dell'altezza molto più rapidamente rispetto alla velocità del vento in un centro urbano denso. Questo tasso di crescita è conosciuto come gradiente del vento, o profilo del vento. Ne consegue quindi che la velocità del vento può variare alla stessa altezza in relazione ai diversi terreni.

In ambienti urbani densi la velocità del vento raggiungerà il 100% ad una quota molto superiore rispetto ad un ambiente aperto, senza edifici. Questo può essere visto nell'immagine sottostante.

226. Vento non raggiunge la piena velocità fino ad una certa altezza dal suolo; questa altezza dipende dagli ostacoli locali.



### Il vento e il microclima

I contesti ambientali possono creare microclimi in grado di alterare in modo significativo gli schemi del vento sul sito di interesse. Le direzioni prevalenti del vento possono cambiare a causa delle morfologie adiacenti, degli edifici, e/o a causa di altri oggetti. Se il sito di intervento è situato in un microclima diverso da quello della stazione meteo più vicina, non è possibile utilizzare in modo affidabile tali dati per guidare le strategie di progetto. Caratteristiche a cui prestare attenzione sono le grandi masse d'acqua e le variazioni di altitudine. Modellare accuratamente l'area circostante e le misure delle condizioni del sito stesso, in modo da fornire migliori informazioni sulle esatte condizioni del vento di quel sito.

Anche se i microclimi possono condurre a venti imprevedibili, ci sono alcune ipotesi generali che possono essere fatte sul comportamento del flusso d'aria.

Vicino ai corsi d'acqua, la terra durante il giorno è più calda, l'aria sopra di essa si alza per essere sostituita dall'aria più fredda proveniente dall'acqua; in questo modo il vento soffia dal mare verso la terra. Di notte, questo effetto si inverte. L'acqua è più calda della terra, l'aria al di sopra delle masse d'acqua, essendo più calda, si alza per essere sostituita da quella più fresca proveniente dalla terra; in questo modo il vento soffia dalla terra verso il mare.

Durante il giorno in una valle, il vento soffierà in salita perché il sole riscalda l'aria facendola salire. Di notte, il vento soffierà in modo discendente perché l'aria è raffreddata dalla superficie del terreno più freddo che causa l'affondamento nella valle.

### **Velocità del vento**

Capire la velocità del vento è altrettanto importante quanto comprendere la provenienza. Il vento può frusciare delicatamente le foglie su un albero o può causare gravi danni strutturali agli edifici. Tutto dipende dalla velocità del suo movimento.

La velocità del vento viene comunemente misurata in nodi, miglia orari, metri al secondo, o piedi al secondo. Ci sono una serie di strumenti di conversione disponibile on-line, tipo NOAA strumento di conversione del vento o Windfinder.

Nella tabella che segue si traduce la velocità del vento in relazione al movimento visivo sul terreno. La velocità è stata adattata alla scala del vento di Beaufort, una scala comune per il confronto della velocità del vento che viene utilizzato in molti paesi.

227. Tabella riportante i dati della velocità del vento.

Velocità del vento	Descrizione	Condizione al terreno
< 1 km/h < 1 mph < 1 knot < 0.3 m/s	<b>Calmo</b> (Beaufort #0)	Il fumo sale verticalmente
1.1 – 5.5 km/h 1 – 3 mph 1 – 3 knot 0.3 – 1.5 m/s	<b>Light air</b> (Beaufort #1)	Fumo indica la direzione; le foglie ci sono ancora
5.6 – 11 km/h 4 – 7 mph 4 – 6 knot 1.6 – 3.4 m/s	<b>Vento leggero</b> (Beaufort #2)	Le foglie sussurrano; il vento si sente sulla pelle
12 – 19 km/h 8 – 12 mph 7 – 10 knot 3.5 – 5.4 m/s	<b>Brezza leggera</b> (Beaufort #3)	Foglie e piccoli ramoscelli in movimento; bandiere leggere si estendono
20 – 28 km/h 13 – 17 mph 11 – 16 knot 5.5 – 7.9 m/s	<b>Vento moderato</b> (Beaufort #4)	Piccoli rami si muovono; la polvere e la carta si alzano
29 – 38 km/h 18 – 24 mph 17 – 21 knot 8 – 10.7 m/s	<b>Vento moderato</b> (Beaufort #5)	Rami di dimensioni moderate si muovono; piccoli alberi ondeggiavano
39 – 49 km/h 25 – 30 mph 22 – 27 knot 10.8–13.8 m/s	<b>Forte vento</b> (Beaufort #6)	Grandi rami si muovono; ombrello difficile da usare
50 – 61 km/h 31 – 38 mph 28 – 33 knot 13.9 – 17.1 m/s	<b>Vento forte</b> (Beaufort #7)	Intero albero si muove; difficile camminare contro vento
62 – 74 km/h 39 – 46 mph 34 – 40 knot 17.2–20.7 m/s	<b>Burrasca</b> (Beaufort #8)	Ramoscelli si rompono da un albero; estremamente difficile camminare nel vento
75 – 88 km/h 47 – 54 mph 41 – 47 knot 20.8–24.4 m/s	<b>Forte tempesta</b> (Beaufort #9)	I rami si rompono da un albero; piccoli alberi soffrono
89 – 102 km/h 55 – 63 mph 48 – 55 knot 24.5–28.4 m/s	<b>Tempesta</b> (Beaufort #10)	Gli alberi rotti o sradicati; danni strutturali imminente
103–117 km/h 64 – 73 mph 56 – 63 knot 28.5–32.6 m/s	<b>Tempesta violenta</b> (Beaufort #11)	Vegetazione diffusa e danni strutturali
≥ 118 km/h ≥ 74 mph ≥ 64 knot ≥ 32.7 m/s	<b>Uragano</b> (Beaufort #12)	Grave diffusa vegetazione e danni strutturali

### Diagrammi Della Rosa Dei Venti

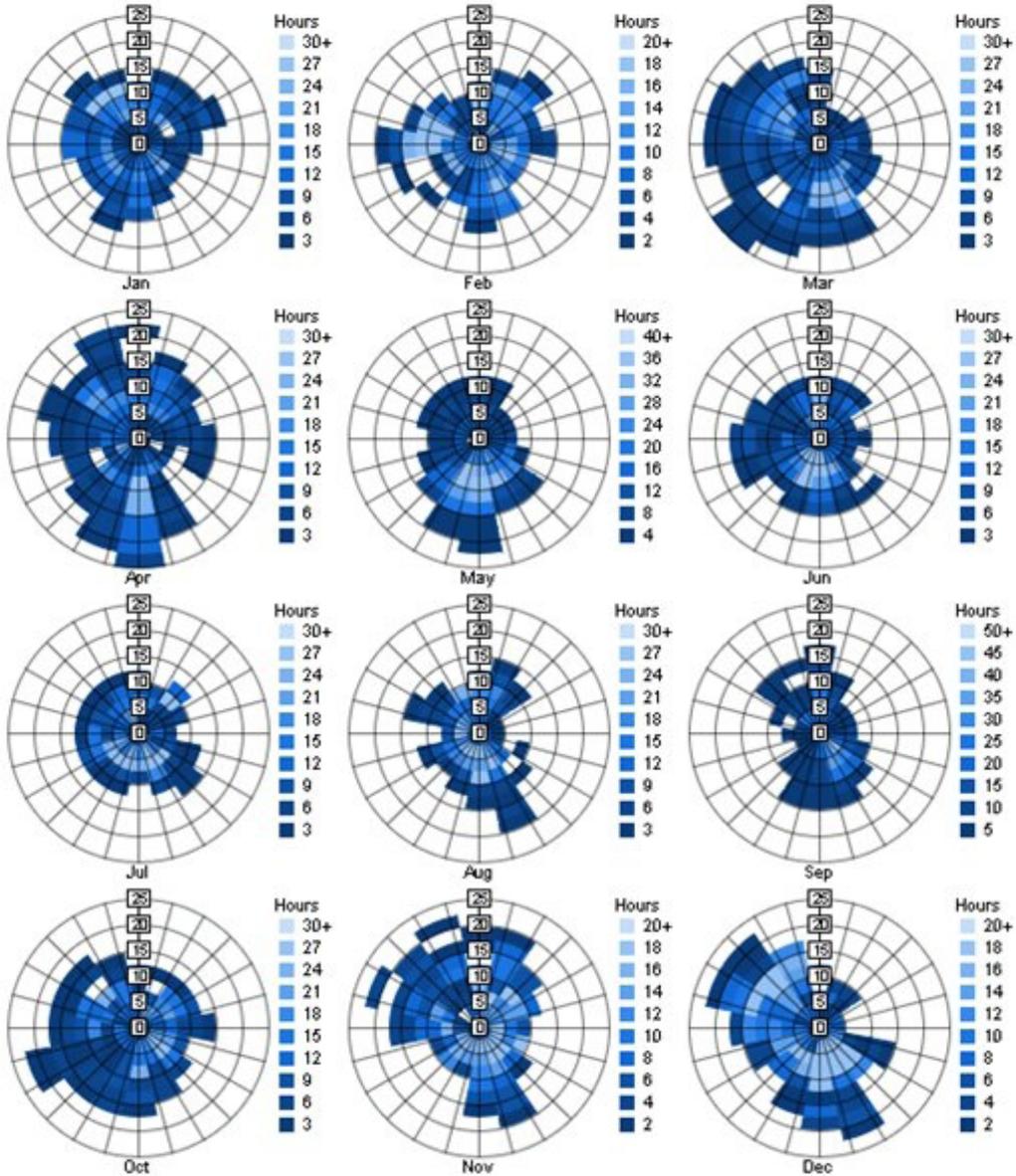
I diagrammi della rosa dei venti consentono di visualizzare gli schemi relativi al vento in un determinato sito. Utili ad informare il progettista nell'adoperare le migliori strategie progettuali senza perdere mai la consapevolezza delle differenze dovute ai microclimi unici e le altre considerazioni sul sito che non

sono visibili su tali diagrammi.

Il diagramma della rosa dei venti è il modo più comune per visualizzare i dati del vento, come la direzione, la velocità e la frequenza su una media annua o per stagioni specifiche; alcune volte può anche includere informazioni riguardanti la temperatura dell'aria.

228. In programmi come Revit è possibile riprodurre grafici delle rose dei venti mensili, osservare come i parametri del vento possono cambiare durante tutto l'anno.

### Monthly Wind Roses

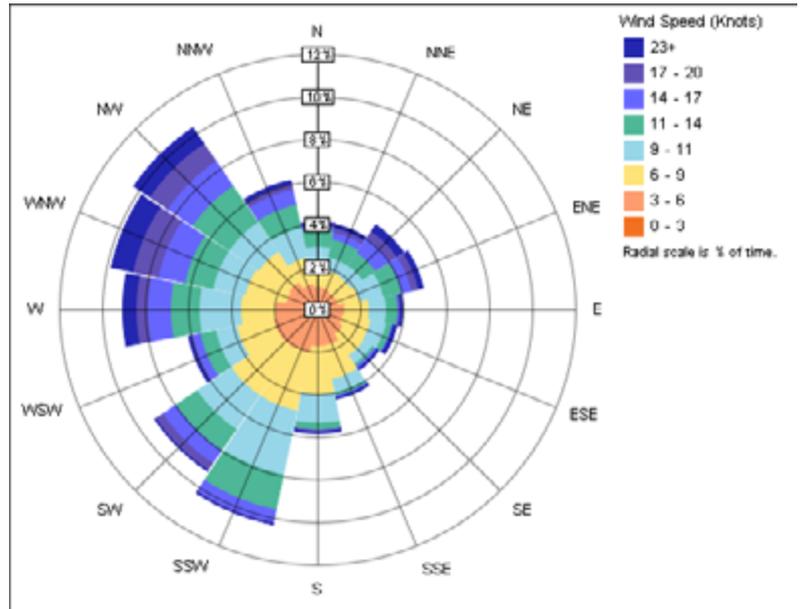


## Rosa dei Venti (Distribuzione della velocità)

229. Questo grafico mostra la frequenza e la velocità del vento che soffia da ogni direzione.

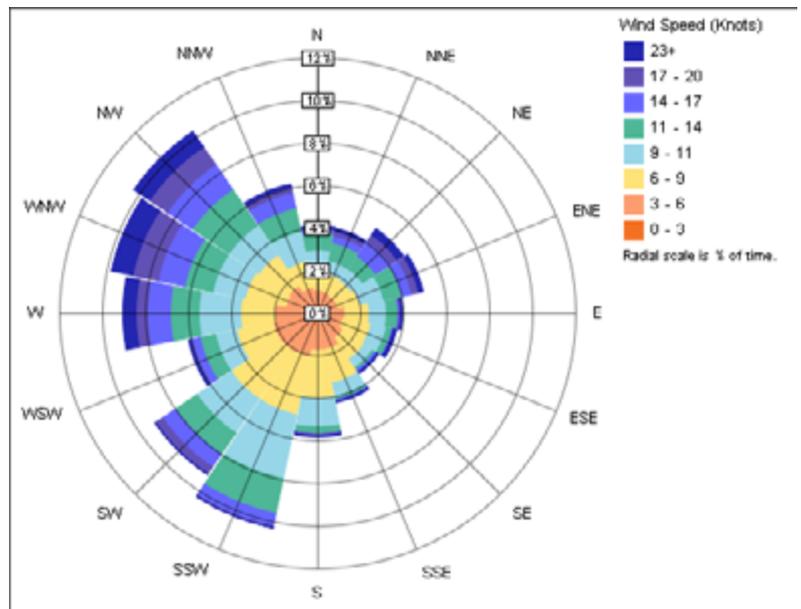
Mentre ci si sposta verso l'esterno sulla scala radiale, la frequenza associata al vento proveniente da quella direzione aumenta. Ogni raggio è diviso per colore in base alla gamma della velocità del vento. La lunghezza radiale di ogni raggio intorno al cerchio è la percentuale di tempo che il vento soffia da quella direzione.

In questo esempio di distribuzione della velocità del vento, venti dalle direzioni NW e SSW sono più comuni (più del 10% di ore annue). Dei venti dalla direzione SSW, la velocità del vento sono spesso nella gamma di 6-9 e 9-11 nodi (giallo e azzurro).



## Rosa dei Venti (Distribuzione della frequenza)

230. Questa rosa del vento mostra gli stessi dati come per la distribuzione della velocità del vento, ma i segmenti colorati di ogni raggio rappresentano le ore, piuttosto che la velocità del vento.



## **Dati del Vento**

Mentre i dati meteo provenienti da strumenti software sono in grado di fornire una conoscenza di base sugli schemi del vento, il modo migliore per ottenere dati precisi è effettuare misure reali presso il sito stesso.

I dati climatici, compresi negli schemi del vento, provengono in gran parte dagli aeroporti. È spesso dimostrato che gli schemi del vento misurati in aeroporto sono molto diversi rispetto agli schemi del vento rilevati nel sito o nelle vicinanze. Tuttavia, comprendendo i concetti base del movimenti dell'aria, è possibile regolare i dati del vento in modo da soddisfare al meglio rispetto alla posizione del sito e simulare scenari più accurati. Quando i dati del vento vengono raccolti negli aeroporti, in genere sono misurati a 10m (30ft) dal suolo. Bisogna considerare questo dato e le caratteristiche del terreno di interesse quando si progetta.

## **4.2.2 COMFORT TERMICO UMANO**

Gli edifici ad alta efficienza energetica sono ritenuti efficaci solo quando i suoi occupanti si trovano in una condizione confortevole. Se questa condizione di comfort non si raggiunge, i rimedi si possono ottenere mediante mezzi alternativi di riscaldamento o raffrescamento degli spazi, come stufe, condizionatori o sistemi di aria condizionata HVAC.

Il comfort, come precedentemente descritto, è difficile da misurare perché è una condizione alquanto soggettiva che dipende da diversi fattori, quali la temperatura dell'aria, l'umidità, la temperatura radiante, la velocità dell'aria, i tassi metabolici, e i livelli di abbigliamento; sensazioni che ogni individuo può percepire in maniera leggermente differente in relazione al suo stato e alla sua fisiologia.

Secondo lo standard l'ANSI / ASHRAE 55-2010, il comfort termico è definito come "quella condizione mentale che esprime soddisfazione per l'ambiente termico e viene valutato in modo soggettivo<sup>161</sup>." Conosciuto anche come comfort umano, il comfort termico è la soddisfazione degli occupanti nei confronti delle condizioni termiche circostanti che è essenziale da prendere in considerazione quando si progetta una struttura che sarà occupato da persone.

Una sensazione di freddo sarà gradita quando il corpo è surriscaldato ma

---

<sup>161</sup> ASHRAE. 2010. ANSI/ASHRAE standard 55-2010. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

spiacevole quando è già freddo. Allo stesso tempo, la temperatura della pelle non è nemmeno uniforme su tutte le zone del corpo. Ci sono variazioni in diverse parti del corpo che riflettono le variazioni nel flusso sanguigno e del grasso sottocutaneo. Anche la qualità isolante dell'abbigliamento ha un effetto marcato sul livello e sulla distribuzione della temperatura cutanea. Così, la sensazione percepita da qualsiasi parte particolare della pelle dipenderà dal tempo, dal luogo e dall'abbigliamento, nonché dalla temperatura dell'ambiente circostante.

### **Fattori del comfort umano**

Ci sono sei fattori da prendere in considerazione quando si progetta in funzione del comfort termico. I suoi fattori determinanti sono i seguenti:

- Tasso metabolico (met): L'energia generata dal corpo umano.
- Isolamento dell'abbigliamento (clo): La quantità di isolamento termico del vestiario indossato.
- Temperatura radiante: La media ponderata di tutte le temperature delle superfici che circondano un occupante
- Velocità dell'aria: Tasso di movimento di una data distanza in un determinato tempo.
- Umidità relativa: Percentuale di vapore acqueo nell'aria.

I fattori ambientali includono la temperatura, la temperatura radiante, l'umidità relativa e la velocità dell'aria. I fattori personali sono il livello di attività (il tasso metabolico) e l'abbigliamento.

Il comfort termico è calcolato come un bilancio energetico di trasferimento del calore. Il trasferimento del calore avviene per irraggiamento, convezione e conduzione ed è bilanciato con il tasso metabolico degli occupanti. Il trasferimento di calore avviene tra l'ambiente e il corpo umano, che ha una superficie di 19 ft<sup>2</sup>. Se il calore lasciato dall'occupante è maggiore del calore trasmesso all'occupante, la percezione termica è di "freddo". Se il calore trasmesso all'occupante è maggiore del calore lasciato dall'occupante, la percezione termica è di "caldo".

Un metodo per descrivere il comfort termico è stato sviluppato dal professore danese Ole Fanger e viene indicato come voto medio previsto (PMV) e percentuale prevista di insoddisfatti (PPD).

### **Voto medio previsto**

Il Voto Medio Previsto (PMV) si riferisce ad una scala termica che va da freddo (-3) a caldo (+3), sviluppato originariamente da Fanger e in seguito adottato come standard ISO. I dati originali sono stati raccolti sottoponendo un gran numero di persone (molte migliaia di soldati israeliani) a condizioni differenti all'interno di una camera climatica per poi fargli selezionare sulla

scala la posizione che meglio descrive la loro sensazione di comfort. Un modello matematico della relazione tra tutti i fattori ambientali e fisiologici considerati è stato poi ricavato dai dati. Il risultato hanno contribuito a generare la seguente scala di sensazioni.

Voto Medio Previsto (PMV)

Valore	Sensazione
-3	Freddo
-2	Fresco
-1	Un po' fresco
0	Neutrale
1	Leggermente caldo
2	Caldo
3	Molto caldo

L'intervallo di PMV raccomandato per il comfort termico dall'ASHRAE 55 come accettabile per uno spazio interno è compreso tra -0,5 e +0,5.

Esistono alcuni widget<sup>162</sup> per controllare come i vari fattori ambientali si relazionano con il comfort umano, è quindi possibile capire intuitivamente quali parametri rendono più o meno accettabile le condizioni ambientali.

### Percentuale prevista di insoddisfatti

La percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) predice la percentuale degli occupanti che saranno insoddisfatti delle condizioni termiche. Questo valore è in funzione del PMV, poiché, come il valore medio PMV si allontana dallo 0, neutro, così aumenta il valore del PDD. Il numero massimo di persone insoddisfatte con determinate condizioni di comfort è 100%, l'intervallo accettabile di PPD consigliato per il comfort termico dall'ASHRAE 55 è inferiore al 10% di persone insoddisfatte.

### Il comfort adattivo

Come precedentemente descritto, i modelli adattivi tengono conto di un comportamento più simile a quello umano. Essi assumono che, al momento in cui si dovessero verificare dei cambiamenti in un ambiente termico tali da produrre disagio, è l'utente stesso a modificare il proprio comportamento e ad agire in modo tale da ripristinare la propria comodità. Tali azioni possono includere la modifica del vestiario, la riduzione dei propri livelli di attività o anche l'apertura di una finestra. L'effetto principale che introduce questo sistema è di aumentare la gamma di condizioni che i progettisti possono considerare come confortevole, soprattutto in edifici dove gli stessi utenti

162 Un widget semplice e intuitivo è disponibile in versione free sul sito dell'autodesk: [sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort](https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort).

possono interagire con i sistemi passivi di regolazione ambientale per modificarne l'ambiente termico.

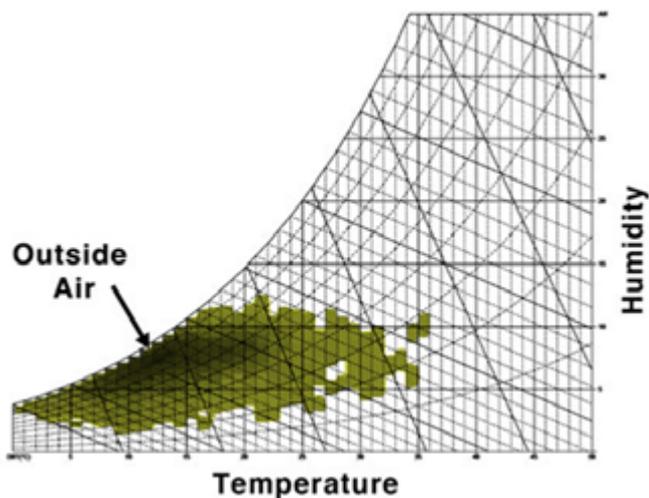
Al fine di prendere in considerazione il comfort adattivo, lo spazio deve avere finestre apribili, nessun sistema di raffreddamento meccanico e gli occupanti devono avere un comportamento vicino a quello sedentario con un tasso metabolico tra 1,0 e 1,3 met. Inoltre gli occupanti dovrebbero avere la possibilità di aggiungere o rimuovere gli indumenti per adattarsi alle condizioni termiche.

231. In tabella l'effetto dei comportamenti adattivi sulle temperature di comfort ottimali. Tratto dal BRE.

COMPORAMENTO	EFFETTO	OFFSET
Maglione/giacca indossata o non indossata	Cambia <u>Clo</u> di $\pm 0,35$	$\pm 2,2k$
Abbigliamento aderente o non aderente	Cambia <u>Clo</u> di $\pm 0,26$	$\pm 1,7k$
Colletto e cravatta indossati o non indossati	Cambia <u>Clo</u> di $\pm 0,13$	$\pm 0,8k$
Sedia tipo ufficio	Cambia <u>Clo</u> di $\pm 0,05$	$\pm 0,3k$
Seduti o in giro	Varia <u>Met</u> di $\pm 0,4$	$\pm 3,4k$
Livelli di stress	Varia <u>Met</u> di $\pm 0,3$	$\pm 2,6k$
Attività di forza	Varia <u>Met</u> di $\pm 0,1$	$\pm 0,9k$
Differenti posture	Varia <u>Met</u> di $\pm 10\%$	$\pm 0,9k$
Consumare bevande fredde	Varia <u>Met</u> di $-0,12$	$+ 0,9k$
Consumare bevande o cibi caldi	Varia <u>Met</u> di $+0,12$	$- 0,9k$
Azionare ventilatore da scrivania	Varia <u>Vel</u> di $+2,0$ m/s	$+2,8k$
Azionare ventilatore a soffitto	Varia <u>Vel</u> di $+1,0$ m/s	$+2,2k$
Aprire la finestre	Varia <u>Vel</u> di $+0,5$ m/s	$+1,1k$

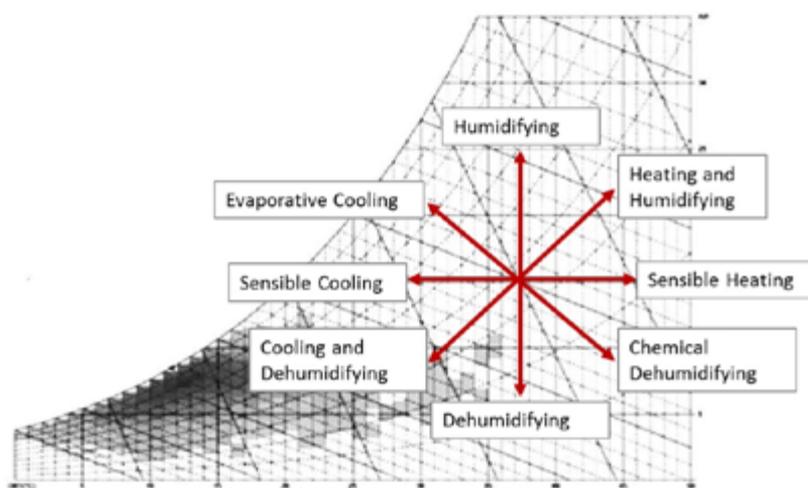
## IL DIAGRAMMA PSICROMETRICO

Il diagramma psicrometrico per un determinato luogo è utile a fornire le informazioni sulla temperatura (a bulbo asciutto e bulbo umido) e sull'umidità (relativa e assoluta). Per il progetto architettonico, imparare come interagiscono tra loro le variabili è indispensabile e a questo proposito è fondamentale saper utilizzare il diagramma psicrometrico, quale strumento interpretativo per il raggiungimento del comfort degli occupanti; il diagramma contribuisce a definendo le possibili strategie passive, efficaci per la posizione desiderata, da introdurre nel processo di progettazione.



232. Il grafico psicrometrico mostra la relazione tra umidità e temperatura utili alla definizione di comfort.

Un diagramma psicrometrico è una rappresentazione grafica dei processi psicrometrici dell'aria. I processi psicrometrici includono le proprietà fisiche e termodinamiche come la temperatura a bulbo secco, la temperatura a bulbo umido, l'umidità, l'entalpia e la densità dell'aria. Un diagramma psicrometrico può essere usato in due diversi modi. Il primo è utile per tracciare più punti che rappresentano le condizioni dell'aria in un momento specifico al quale verrà sovrapposto la zona di comfort. La zona di comfort è definita come l'intervallo all'interno del quale, per la maggior parte degli occupanti, sono soddisfatte le condizioni termiche circostanti.



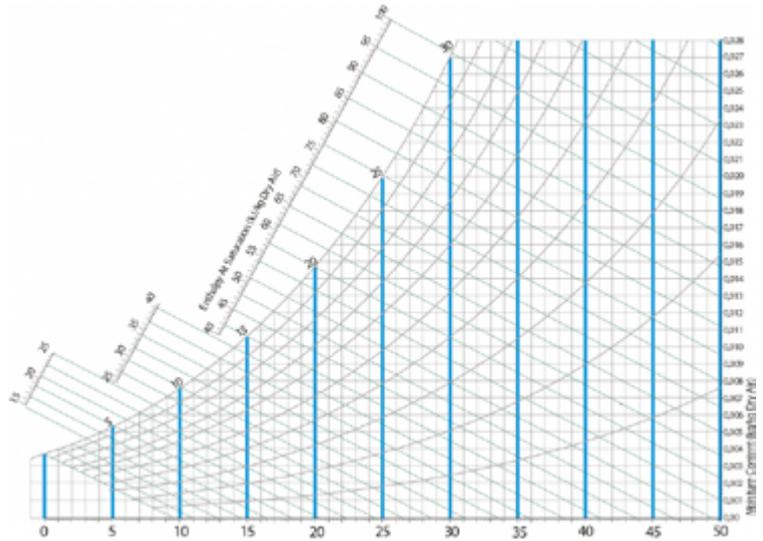
233. Il grafico mostra le possibili strategie di progettazione per il raggiungimento del comfort termico.

## STRUTTURA DEL DIAGRAMMA PSICROMETRICO

### Temperature

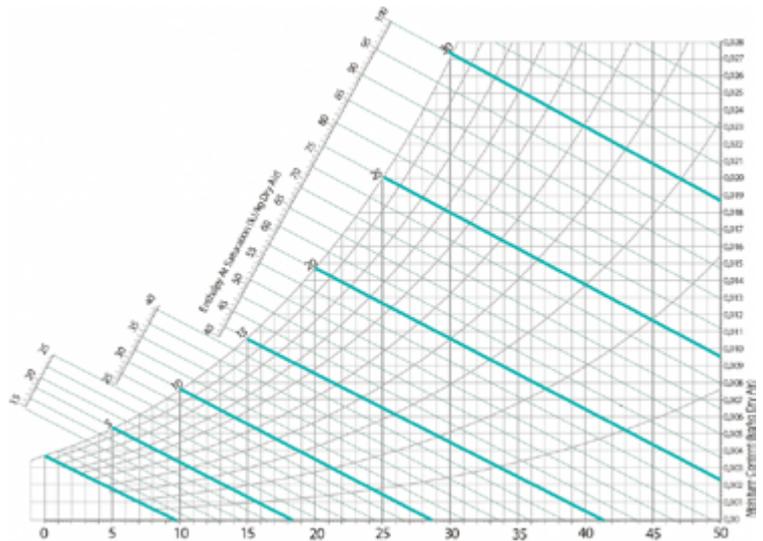
Le linee verticali di ogni diagramma psicrometrico rappresentano i valori della temperatura a bulbo secco. L'aumento della temperatura dell'aria va da sinistra a destra.

234. Linee della temperatura a bulbo asciutto.



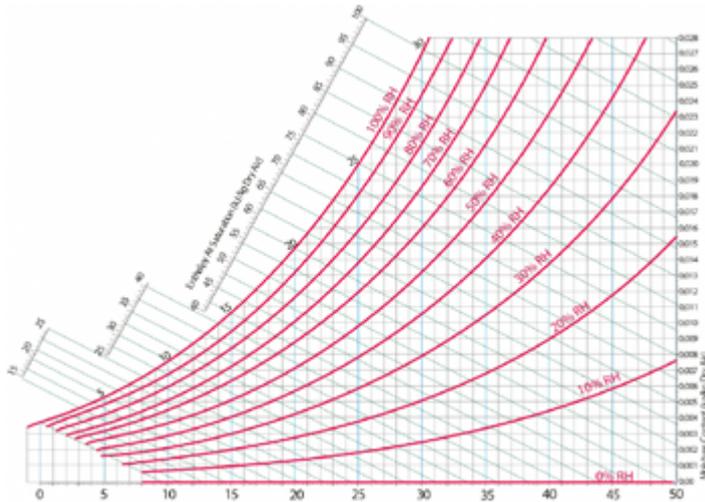
Ogni diagramma psicrometrico comprende anche le temperature a bulbo umido. Queste sono indicati da linee diagonali, e come le temperature a bulbo secco aumentano da sinistra a destra.

235. Linee della temperatura a bulbo umido.



## Umidità relativa

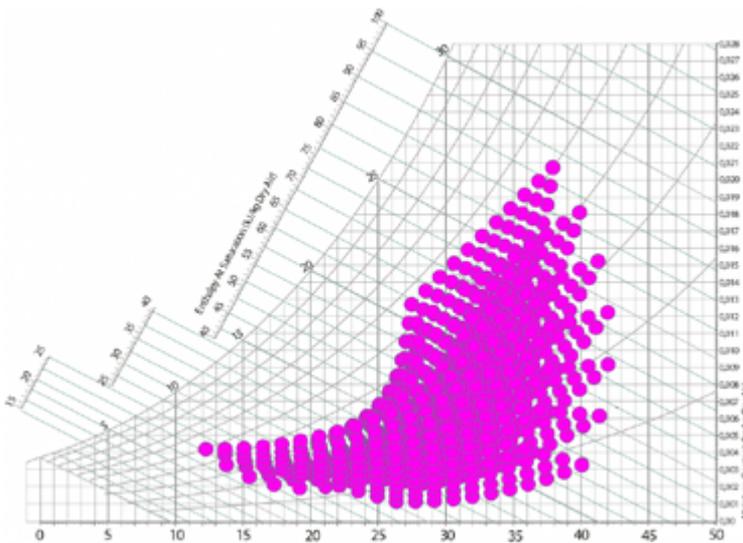
Un'altra caratteristica indicata su ogni diagramma psicrometrico è quella dell'umidità relativa. Queste linee sono curve, e cominciano dal 100% lungo la parte superiore del grafico e diminuiscono verso il basso fino ad annullarsi (0%). Queste linee sono ad intervalli di valori pari al 10%.



236. Linee dell'umidità relativa.

## Individuazione dei punti di dati

Il grafico psicrometrico indica un insieme di punti riferiti, ognuno di essi, alla qualità d'aria rilevata in un determinato momento. Può far riferimento a dati orari, giornalieri, mensili, o anche stagionali. La densità dei punti di dati sul grafico viene utilizzata per decifrare le condizioni medie. A volte può essere utile per visualizzare dati estivi e invernali in modo indipendente. Ma la visione di insieme permette di prendere in considerazione tutte le strategie progettuali passive in modo integrato.

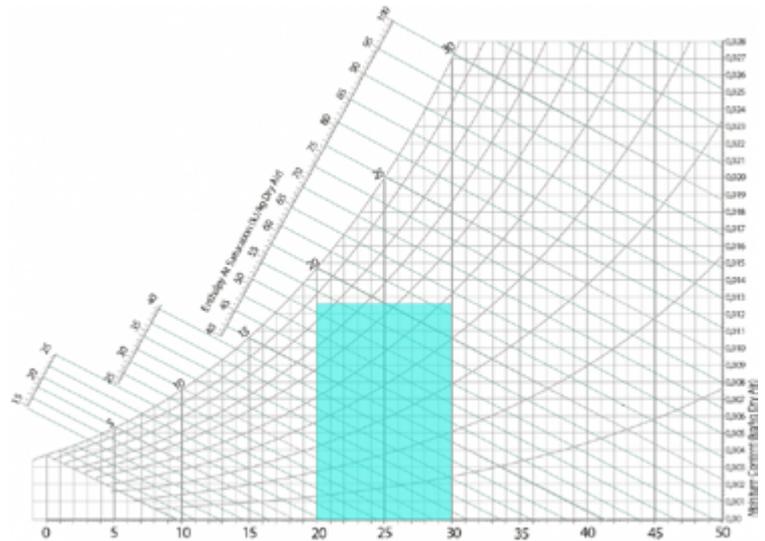


237. In questo grafico possiamo notare che le condizioni medie sono comprese tra i 30 e i 35°C.

### Zona di comfort

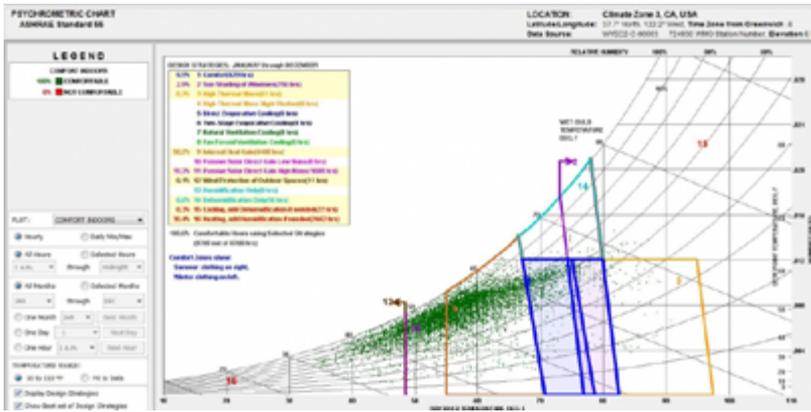
La zona di comfort definisce una porzione del diagramma psicrometrico. Tale zona varia in funzione del clima di contesto e prevede un determinato livello di abbigliamento e attività svolta dagli utenti.

238. In questo esempio, la temperatura gradita varia tra 30°C, limite al caldo, e i 20°C, limite al freddo.



Altri elementi che possono essere trovati su alcuni ma non su tutti i grafici psicrometrici sono i seguenti:

- Linee orizzontali che forniscono informazioni riguardanti la temperatura di rugiada, leggibile sul lato sinistro del grafico. Utile per sapere a quale temperatura l'acqua inizia a condensare. Questo dato è da tenere accuratamente sotto controllo in fase progettuale in quanto la condensa contribuisce alla generazione di muffa che inficia anche le prestazioni termiche dello strato isolante del pacchetto dell'involucro.
- Prolungando, lungo le linee orizzontali, sul lato destro del grafico è possibile ottenere informazioni inerenti la densità dell'aria dato utile per definirne la qualità.
- Sul lato superiore sinistro del grafico, lungo le diagonali della temperatura a bulbo bagnato, è possibile misurare l'entalpia utile per comprendere l'energia termica necessaria o presente nell'aria.



239. Esempio di come sia possibile utilizzare un grafico psicrometrico in relazione alle strategie passive. In questo caso le caselle blu indicano la zona di comfort (invernale e estiva), gli altri colori rappresentano le possibili strategie che mirano ad ampliare la zona di comfort.

#### 4.2.3 CARATTERISTICHE DEL SITO DI PROGETTAZIONE

Una delle caratteristiche che porta un edificio ad essere NZEB (consumo di energia pari a zero) o comunque parte della sua sostenibilità, è legata alla destinazione d'uso dei siti di progettazione. Continuando a convertire le terre più selvagge e i terreni agricoli in cantieri edili è insostenibile, le città sono dotate di enormi superfici disponibili alla riqualificazione o anche alla ricostruzione; il fenomeno dell'esplosione urbana deve cedere il passo agli interventi di implosione, intervenire sul costruito, questa è una prospettiva di sviluppo realmente sostenibile.

#### GREENFIELD, GREYFIELD E BROWNFIELD

I siti incontaminati, quelli su cui ancora non sono stati costruiti edifici, sono definiti “greenfield” e per essi è consigliabile astenersi da qualsiasi costruzione. L'impatto per i greenfield può essere mitigato attuando su di essi un ingombro da intervento di costruzione ridotto e coprendo, dove possibile, gli edifici esistenti nelle aree densamente edificate con tetti giardino, in particolare utilizzando specie vegetali autoctone.

I siti su cui si è già costruito sono chiamati “greyfield”. Costruire in questi siti con interventi di riqualificazione o ricostruzione, non solo evita la distruzione dei terreni selvatici o dei terreni agricoli ma spesso li avvantaggia, dal momento che il giusto tipo di intervento può rendere questi quartieri più



240. Esempio di greenfield.



241. Esempio di greyfield.



242. Esempio di brownfield.

vivaci, fruibili a piedi e più conveniente perché serviti da un buon sistema di trasporto, soprattutto pubblico.

I siti che sono stati inquinati da ex aree di sviluppo del settore industriale sono chiamate “brownfield”. Queste aree ormai dismesse possono essere considerate come un “vantaggio ecologico” dal momento che possono essere bonificate per far spazio ad aree utili alla società, sia da un punto di vista urbano che edilizio.

## SITO DI PROGETTAZIONE E DINTORNI

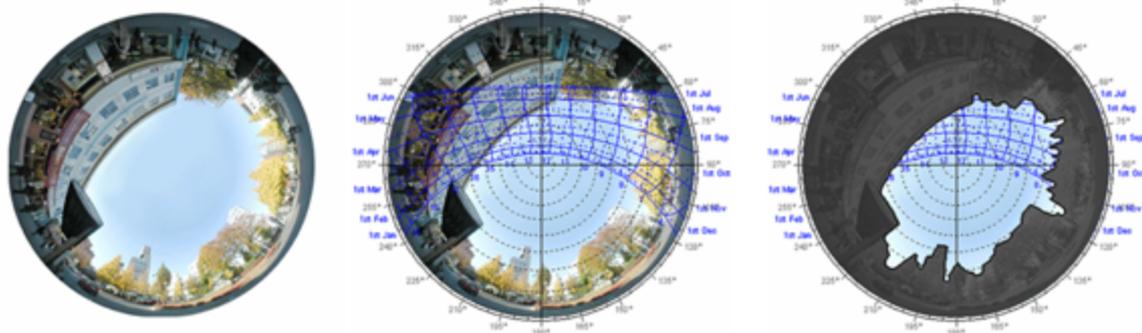
Nelle immediate vicinanze di un edificio, come è stato precedentemente descritto, le caratteristiche del contesto possono modificare gli effettivi standard meteorologici, questo può essere dovuto per mezzo di altri edifici o di alberi che, ad esempio, possono bloccare la luce del sole e modificare i flussi del vento. Durante la progettazione di un nuovo edificio, è consigliato prendere in considerazione le caratteristiche circostanti dell'edificio per capire come esse influenzano le possibili strategie di progetto e quali strategie passive è consigliabile adottare.

### Ombreggiature e finestre solari

Per visualizzare come gli oggetti del contesto possono essere in grado di generare ombra portata sull'edificio di interesse, è possibile creare una versione modificata del diagramma del percorso solare che include ostruzioni.

Si immagini di osservare verso l'alto attraverso una lente grandangolare a 180°, in modo da poter vedere l'intero ambiente circostante a 360°, in questo modo è possibile vedere cosa ostruisce il cielo. Le aperture o gli angoli attraverso i quali è possibile “vedere” il cielo sono chiamate finestre solari. Il diagramma solare mostra questa immagine, ma capovolta da sinistra a destra e guardando verso il basso dal punto di vista del cielo.

243. Schema del percorso solare e della finestra solare, con l'analisi delle ostruzioni che causano ombra.



### **Accesso alla luce e fasce solari**

L'accesso alla luce e quindi al sole è importante quando si costruisce in ambienti urbani densi, potrebbero essere previsti requisiti di zonizzazione in grado di preservare l'accesso solare. Se le aree sono troppo dense o gli edifici sono troppo alti, l'accesso alla luce naturale e alla radiazione solare può diventare fortemente limitato.

Programmi come Autodesk Ecotect possono aiutare ad analizzare questo accesso alla luce, per ogni ora di qualsiasi giorno dell'anno.

Questa analisi preventiva è utile a studiare le strategie utili a risolvere i problemi legati al contesto e viceversa a tenere sotto controllo le ostruzioni che il nostro edificio potrebbe arrecare al contesto (quindi aiutando a prevenire l'ostruzione della luce naturale); il software è in grado di mostrare quel è il massimo volume edificabile sul sito in grado di garantire l'accesso alla luce agli edifici del circondato.

### **Accesso al vento e riparo**

Come per il sole, gli edifici circostanti e altri elementi del contesto possono ostruire l'accesso all'edificio di intervento da parte dei venti dominanti. Se alcune strategie progettuali sono basate sulla ventilazione naturale, è necessario essere sicuri di prendere in considerazione il contesto e il suo impatto sull'accesso al vento. D'altra parte, all'estremo opposto si potrebbe verificare di avere troppo vento. In quest'ultimo caso è possibile utilizzare la vegetazione, come alberi e cespugli, per riparare l'edificio dai venti dominanti che creano disagi. Una buona regola è quella di porre la vegetazione ad una distanza dall'edificio tale da ostruire il vento garantendo allo stesso tempo l'accesso alla radiazione solare utile.



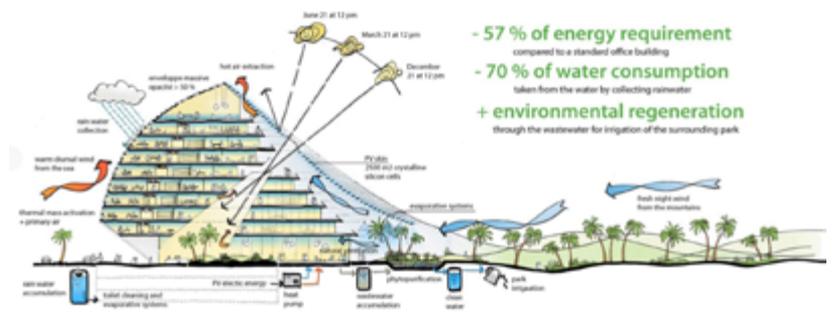
Look Building, New York City, 1949,  
Emery Roth & Sons

244. La raffigurazione mostra un edificio di New York che utilizza un modulo a gradini per consentire la maggior penetrazione di luce verso gli edifici circostanti. (Immagine da Sole, vento e luce, p.110, da G.Z. Brown e Mark DeKay, pubblicato da Wiley).

### 4.3 FONDAMENTI ENERGETICI DEGLI EDIFICI

Comprendere i fondamentali scambi di calore e come questi si traducono in flussi di energia in un edificio è fondamentale per la progettazione di edifici ad alte prestazioni (NZEB). Ulteriori informazioni sulle diverse forme di trasferimento del calore, sulle proprietà dei materiali come il famoso fattore U e il fattore R, i carichi di riscaldamento e raffrescamento, l'intensità d'uso energetico e la differenza tra il sito e le fonti di energia.

Costruire e gestire gli edifici richiede un determinato quantitativo di energia che con gli edifici ad alte prestazioni, utilizzando il giusto rapporto di strategie di progettazione passiva e attiva, è possibile ridurre al minimo, mantenendo al tempo stesso il giusto comfort.



245. Le modalità fondamentali di trasferimento del calore sono conduzione, convezione e irraggiamento; tutte importanti per la progettazione degli edifici. Lo schema dell'Architetto Mario Cucinella, mostra delle strategie con trasmissioni del calore per convezione e irraggiamento.

### 4.3.1 I FLUSSI DI ENERGIA TERMICA NEGLI EDIFICI

Conoscere i fondamentali flussi di calore da conduzione, convezione e irraggiamento è la chiave per la creazione di edifici efficienti da un punto di vista energetico. Anche i flussi di umidità sono importanti perché l'umidità trattiene l'energia come "calore latente".

#### FLUSSI DI CALORE SENSIBILI E LATENTI

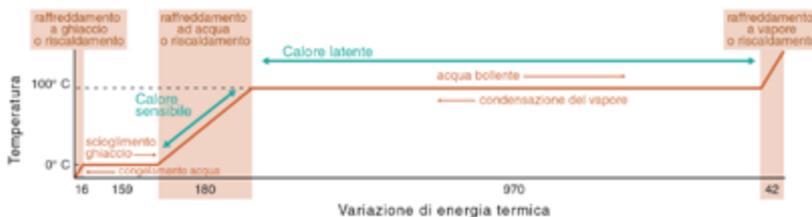
Ci sono due forme di flussi del calore: il calore sensibile e il calore latente. I flussi di calore sensibile sono il risultato di un cambiamento di temperatura. I flussi di calore latente sono il risultato di un cambiamento del contenuto di umidità (spesso umidità dell'aria). I flussi di calore totali sono la somma dei flussi di calore sensibile e latente. Il comfort umano dipende dal contenuto di livelli accettabili sia di temperatura (calore sensibile) che di umidità (calore latente).

**Calore sensibile:** Il calore associato alla variazione di temperatura di una sostanza, un materiale o uno spazio.

**Calore latente:** Il rilascio o la conservazione di calore associato con la variazione di fase di una sostanza, senza un cambiamento nella temperatura della sostanza. Nella progettazione degli edifici, questo calore è spesso necessario per aggiungere o rimuovere il contenuto di umidità nell'aria.



246. L'aria caldo-secca reca meno disagio termico dell'aria calda e umida, perché l'umidità trattiene l'energia sotto forma di calore latente.



Ogni volta che un oggetto è ad una temperatura diversa dal suo ambiente, il calore fluisce dalla zona più calda a quella più fredda. Allo stesso modo, l'umidità si sposta dalle zone di concentrazione maggiore a quelle di concentrazione inferiore.

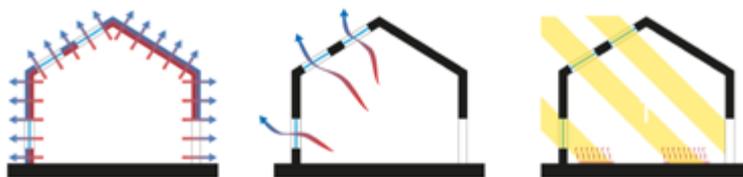
247. Calore sensibile rispetto al calore latente.

## CONDUZIONE, CONVEZIONE E IRRAGGIAMENTO

Gli edifici, come il corpo umano, cedono calore sensibile all'ambiente o guadagnano calore sensibile da esso in tre modi principali:

1. Conduzione: Il trasferimento di calore avviene tra le sostanze che sono in diretto contatto. La conduzione si verifica quando il calore scorre attraverso un solido.
2. Convezione: Il movimento di gas e liquidi è causato dal trasferimento di calore. Come è riscaldato un gas o liquido, si espande e sale perché è meno denso.
3. Irraggiamento: Quando le onde elettromagnetiche viaggiano attraverso lo spazio. Quando queste onde partono da un oggetto, tipo il sole, per colpire un altro oggetto, avviene trasferiscono di calore tra i due oggetti.

248. I trasferimenti di calore per conduzione, convezione e irraggiamento avvengono quasi ovunque guardiamo. In un involucro edilizio, la conduzione avviene principalmente attraverso l'involucro opaco, la convezione è solitamente il risultato del movimento del vento o movimento spinti dalle differenze di pressione e il trasferimento di calore radiante è quello che in primo luogo avviene dal sole attraverso le finestrate.



## EFFETTI TERMICI DINAMICI

Sebbene i principi generali rimangono gli stessi, le analisi del flusso di calore in regime dinamico (in rapida evoluzione) è più complessa che in regime statico o in "stato stazionario" (immutabile).

Gli effetti di accumulo del calore all'interno dei materiali diventano una preoccupazione maggiore in condizioni dinamiche. In condizioni statiche, il flusso di calore è principalmente una funzione della differenza di temperatura e della resistenza termica. In condizioni dinamiche, questi due fattori sono ancora importanti ma l'accumulo di calore nell'involucro modera le oscillazioni di temperatura rispetto ad un assemblaggio che non assorbe né emette calore.

L'accumulo del calore è una funzione della densità di un materiale e del suo calore specifico; il prodotto di queste due proprietà è noto come capacità

termica o massa termica.

I materiali da costruzione guadagnano o perdono energia termica nel tempo mentre le stesse condizioni ambientali cambiano; queste proprietà di stoccaggio del calore determinano quanta energia può essere immagazzinata all'interno di un dato materiale, e quanto velocemente quest'energia sarà guadagnata o rilasciata.

## PROPRIETÀ DEL CALORE LATENTE

Quando l'aria è troppo umida, ha bisogno di essere deumidificata per garantire il comfort degli occupanti. Questa deumidificazione richiede la rimozione del calore latente ed è una funzione importante dei sistemi HVAC. Mentre meno comune, talvolta è necessario aggiungere umidità negli edifici durante i periodi molto freddi per compensare l'incapacità dell'aria più fredda di trattenere l'umidità.

L'evaporazione e la condensazione, anche se di solito sono indicate come modalità di trasmissione del calore, rappresentano il mezzo principale attraverso il quale si trasferisce il calore latente e sono un fattore importante per il comfort umano.

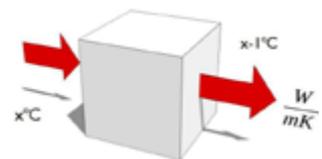
## PROPRIETÀ TERMICHE DEI MATERIALI

Ogni materiale utilizzato in un involucro edilizio ha delle proprietà fisiche fondamentali che determinano le prestazioni energetiche secondo caratteristiche di conduttività, resistenza e massa termica. La comprensione di queste proprietà intrinseche aiuta a scegliere i materiali giusti per gestire i flussi di calore.

## CONDUCIBILITÀ TERMICA (K)

È la capacità di un materiale di condurre calore. Ogni materiale ha un tasso caratteristico con cui il calore fluirà attraverso di esso. Il calore scorre velocemente attraverso un materiale in un rapporto direttamente proporzionale alla sua conduttività. La conducibilità (k) è una proprietà del materiale determinata per i solidi omogenei in condizioni di stato stazionario. Viene utilizzata nell'equazione seguente:

$$q = (kA\Delta T)/L$$



249. Conducibilità termica.

Dove:  $q$ = il flusso di calore risultante (watt)  
 $k$ = la conducibilità termica del materiale (W/mK)  
 $A$ = superficie attraverso la quale fluisce il calore ( $m^2$ )  
 $\Delta T$ = differenza di temperatura tra lato esterno e interno (K)  
 $L$ = spessore7lunghezza del materiale (m)

## CONDUTTANZA TERMICA (C)

È la conducibilità dell'unità di superficie per uno spessore specifico, utilizzata per i materiali da costruzione standard. Nei materiali da costruzione di base, il flusso di calore è solitamente misurato dalla conduttanza (C), non dalla conducibilità. La conduttanza è la conduttività di un materiale per unità di superficie per lo spessore dell'oggetto (in  $W /m^2K$ ).

La conduttanza è una proprietà dell'oggetto e dipende sia dal materiale che dal suo spessore. Molti materiali da costruzione solidi come mattoni comuni, i rivestimenti in legno o il cartongesso sono ampiamente disponibili in spessori standard o compositi. Per tali materiali comuni, è utile conoscere il tasso del flusso di calore per tale spessore standard anziché il tasso per superfici.

## TRASMITTANZA TERMICA (U)

È la conduttanza complessiva di un componente edile. Utilizzato per costruzioni assemblate a strati. In un insieme di strati, la conduttanza è combinata in un unico parametro detto fattore U. Questo è il coefficiente complessivo di trasmittanza termica espresso in  $W/m^2k$ .

L'equazione utilizzata è la seguente:  $q \sim U \Delta T$  ← proveniente da  $q = (kA \Delta T) / L$ , dove ( $U = kA / L$ )

La sua unità di misura è la stessa della conduttanza poiché misurano la stessa trasmissione di calore ma con caratteristiche differenti legate alla tipologia del componente, singolo o composito. Fattori bassi di trasmittanza indicano una minor conduzione, quindi un miglior isolamento. Salvo casi particolari, la trasmittanza termica non è la sommatoria della conduttanza dei differenti materiali che costituiscono il componente, questo può essere chiaro per esempio nel componente finestra, la cui trasmittanza comprende la lastra di vetro, il telaio e gli altri materiali nei loro differenti spessori. Il fattore U è un coefficiente globale di trasferimento del calore che include gli effetti di tutti gli elementi del componente e tutti i modi ragionevoli di propagazione del calore (conduzione, convezione e irraggiamento). Il valore di trasmittanza

si utilizza per i flussi di calore tra l'ambiente esterno e quello interno, quindi non si calcola per pareti che dividono due ambienti interni.

## **LA RESISTENZA TERMICA ( $R=1/U$ )**

La capacità di un materiale di resistere al flusso di calore. È il reciproco della conduttanza termica,  $R$  è misurato in ore necessarie affinché un'unità di calore riesca a fluire attraverso un'unità di superficie per un determinato spessore di materiale quando la differenza di temperatura è di  $1^{\circ}\text{F}$ ; l'unità di misura è:  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ .

I valori della resistenza termica spesso sono tabulati sia per spessori unitari che per campioni di materiale con uno spessore noto. I valori della resistenza termica in genere non sono specificati per materiali assemblati. L'isolamento che impedisce il passaggio del flusso di calore attraverso l'involucro edilizio è dunque misurato dal suo valore  $R$ . A differenza del valore  $U$ , un elevato valore della resistenza termica indica migliori prestazioni isolanti dell'involucro.

### **Utilizzo Del Fattore "U" e Del Fattore "R"**

Quando si tratta di complesse costruzioni edili composte da differenti strati, è utile combinare le proprietà termiche in un singolo numero complessivo per specificare i criteri di progettazione dell'involucro.

Per l'involucro edilizio, questo valore è spesso espresso con il fattore  $U$ . Detto questo, le finestre sono spesso espresse con il fattore  $U$  ma le pareti sono anche espresse spesso con valori di resistenza  $R$ . Non c'è una regola rigida.

Il calcolo del fattore  $U$  complessivo inizia con il calcolo delle resistenze, trovata la resistenza di ogni parte costituente, comprese le intercapedini d'aria e altri spazi d'aria, si procede con la sommatoria di queste per ottenere una resistenza complessiva. Il fattore  $U$ , in quanto reciproco di questa somma ( $\Sigma$ ) delle resistenze, risulta:  $U = 1 / \Sigma R$ .

## **MASSA TERMICA**

La massa termica è la capacità di resistenza di un materiale a cambiare la sua temperatura quando viene aggiunto o rimosso il calore, è un fattore chiave nelle interazioni dinamiche di trasferimento del calore all'interno di un edificio. I quattro fattori per comprendere la massa termica sono: la densità, il calore specifico, la capacità termica, e lo sfasamento termico.

## Densità

I materiali densi solitamente immagazzinano più calore. La densità è la massa di un materiale per unità di volume. Nel sistema metrico, la densità è data come kg/m<sup>3</sup>. Per un volume fisso di materiale, maggiore densità permetterà immagazzinare di più calore.

## Calore specifico

Un alto calore specifico richiede molta energia per cambiare la temperatura. Il calore specifico è una misura della quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di una data massa di un materiale di 1°. Nel sistema metrico, è espressa come kJ/kgK. Ci vuole meno energia immessa per aumentare la temperatura di un materiale dotato di un basso calore specifico di quella necessaria per un materiale dotato di un elevato calore specifico.

Per esempio, un grammo di acqua richiede una caloria di energia termica per salire di 1°C di temperatura. L'acqua ha una elevata capacità termica e, quindi, è talvolta usato come massa termica negli edifici.

Materiale	Capacità termica J/(gK)
Mattone	0.84
Cemento	0.88
Granito	0.79
Gesso	1.09
Terra	0.80
Legno	1.2-2.3
Acqua	4.2

## Capacità termica (massa termica)

La capacità termica indica la capacità di un materiale di accumulare calore per l'unità di volume. Maggiore è la capacità termica di un materiale, maggiore è il calore che può immagazzinare in un dato volume per ogni grado di aumento della temperatura. La capacità termica per un materiale si ottiene prendendo dal prodotto della densità per il calore specifico. Le unità sono J/K.

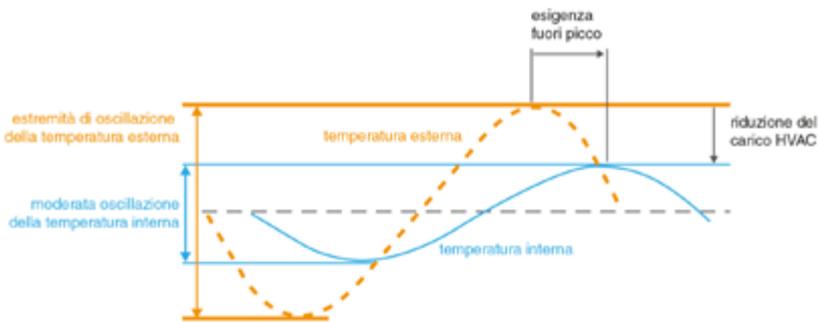
**Densità x Calore specifico = Quanto calore può essere immagazzinato per unità di volume.**

Maggiore capacità termica può ridurre, ma non sempre, il flusso di calore dall'esterno verso l'ambiente interno, immagazzinando il calore all'interno del materiale. Il calore che entra in un muro di una edificio durante il giorno, per esempio, può essere immagazzinato all'interno della parete per alcune ore fino a che rifluisce fuori verso la notte quando l'aria è più fresca.

## Sfasamento termico

Un'alta massa termica, può richiedere ore al calore di fluire da un lato all'altro dell'involucro edilizio.

Questo rallentamento del flusso di calore è chiamato sfasamento termico e viene misurato come la differenza di tempo tra temperatura di picco sulla superficie esterna di un edificio e la temperatura di picco sulla superficie interna. Alcuni materiali, come il vetro, non hanno un alto indice di sfasamento. Il ritardo termico può essere fino a otto o nove ore per le costruzioni dotate di elevata massa termica.



250. Diagramma di sfasamento dell'onda termica.

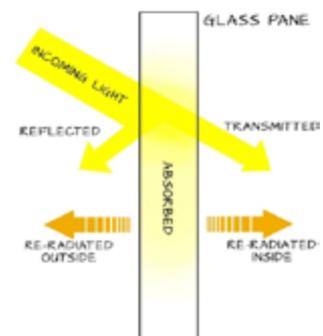
Ad esempio, se il sole esce da dietro le nuvole e colpisce alle ore 10:00 un involucro edilizio costituito da elevata capacità termica, la temperatura della superficie esterna aumenterà rapidamente. Possono occorrere diverse ore, tuttavia, prima che questa temperatura “di picco” arrivi sulla superficie interna della parete. La ragione è che parte del calore viene immagazzinato nel materiale della parete. Questo calore viene immagazzinato dal materiale finché questo non sarà saturo. Il calore quindi fluisce verso l'interno, in base alla conduttività del materiale.

Un esempio su larga scala di questo fenomeno termico è che i mesi più caldi in molte parti dell'emisfero settentrionale sono luglio o agosto, anche se il sole più forte dell'anno è a giugno.

## PROPRIETÀ DEI VETRI

Nelle superfici trasparenti ci sono ancora più parametri di più di prendere in considerazione.

Il trasferimento di calore attraverso una finestra coinvolge tutte le tre modalità di trasferimento del calore, conduzione, convezione e irraggiamento. Il modo



251. Trasmissione del calore attraverso un vetro.

dominante di trasferimento del calore è in continua evoluzione e dipende dal tempo, dall'ambiente e dalle temperature interne, dalla velocità del vento esterna, e dalla quantità e dall'angolo della radiazione solare che colpisce la finestra. Le capacità di isolamento delle finestre sono generalmente misurati con la loro trasmittanza termica U.

Oggi sul mercato esistono diversi vetri intelligenti, dotati di numerose proprietà che se sfruttate in maniera cosciente possono risolvere una serie di problematiche termiche, tra i vari troviamo i vetri basso emissivo, i vetri selettivi, i vetri termocromici ed elettrocromici oltre a proprietà legate al telaio, come gli infissi a taglio termico.

### **4.3.2 CARICHI ENERGETICI DEGLI EDIFICI**

Il carico energetico indica il quantitativo di energia di cui necessita un edificio. Queste esigenze possono essere forniti da elettricità, carburante, o con mezzi passivi. La comprensione dei carichi di un edificio è uno degli argomenti più complessi poiché ci sono tanti parametri correlati.

Lo schema qui sotto può aiutare a navigare tra questi parametri e comprendere meglio il senso della costruzione e i risultati delle analisi delle prestazioni.

I carichi termici sono la quantità di energia termica e frigorifera che devono essere aggiunti o rimossi dall'edificio per mantenere uno stato confortevole. I carichi termici avvengono dal trasferimento di calore all'interno dell'edificio durante il suo funzionamento e tra l'edificio e l'ambiente esterno.

Questi carichi termici possono essere tradotti in carichi di riscaldamento, quando l'edificio è troppo freddo, e i carichi di raffrescamento, se l'edificio è troppo caldo. Questi carichi di riscaldamento e di raffrescamento non sono solo di temperatura, calore sensibile, comprendono anche il controllo dell'umidità, calore latente.

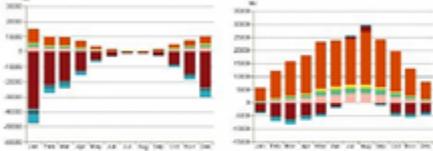
I carichi di riscaldamento e raffrescamento sono soddisfatti dal sistema HVAC dell'edificio, che utilizza l'energia per aggiungere o rimuovere il calore e condizionare lo spazio. Altri carichi per l'edificio sono dovuti alle spine, all'elettricità utilizzati dai componenti elettrici, e i carichi di illuminazione, energia elettrica utilizzata per le luci.

# ENERGIA DEGLI EDIFICI E CARICO TERMICO

## CARICO TERMICO

L'energia termica che deve essere aggiunta o rimossa per mantenere l'equilibrio termico (calore sensibile) e il controllo dell'umidità (calore latente) per il comfort degli occupanti.

Diagramma mensile del carico di riscaldamento e raffreddamento



### Carico Interno

Calore da:  
Persone  
Oggetti  
Luce

### Carico Esterno

Calore da:  
Sole  
Aria  
Umidità

### Carico di riscaldamento e raffreddamento

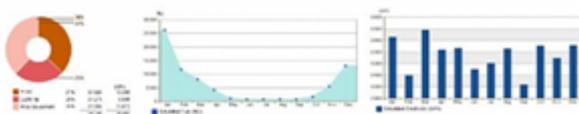
Include calore sensibile e calore latente

I carichi sul sistema di condizionamento dipendono da quanta energia deve essere aggiunta o rimossa per mantenere il comfort termico e il controllo dell'umidità.  
**Sistema passivo** riduce questa domanda di energia o la immette in modo naturale.  
**I sistemi attivi** muovono il calore e l'umidità utilizzando gas o elettricità. Quanto e che tipo dipende dal tipo e dall'efficienza del sistema.

## USO DI ENERGIA

Quanta energia è utilizzata nella costruzione per il comfort, compresa l'energia fornita dal sistema HVAC.

Diagramma di conversione dell'uso di energia da carburante ed elettricità



### Carico da attrezzatura

HVAC

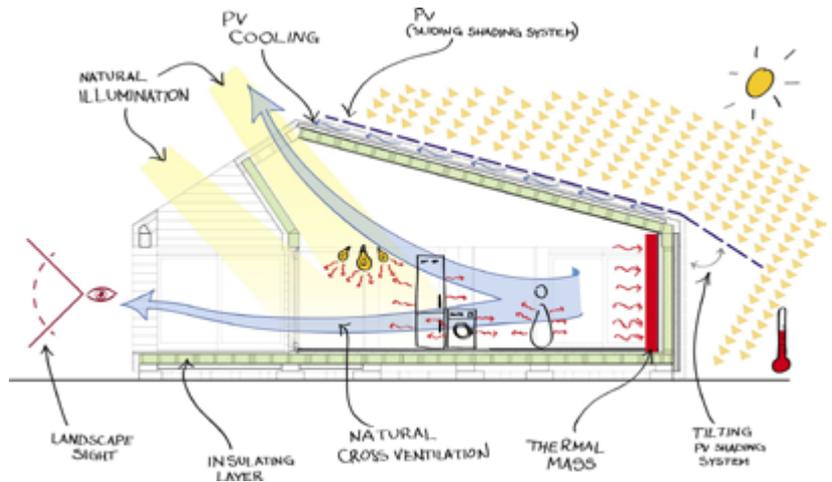
Acqua calda domestica

Carico elettrico  
Carico per luce

252. Lo schema che mostra i carichi termici e l'uso di energia negli edifici proviene da Autodesk: fonte <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/building-energy-loads>.

## 4.4 STRATEGIE PROGETTUALI PASSIVE

253. Lo schema mostra una combinazione strategica di strategie progettuali attive e passive (ibrida) dal progetto Rhome.



Per mantenere un esatto comfort è necessario utilizzare la giusta combinazione di strategie di progettazione passive e attive. Gli edifici ad alte prestazioni utilizzano il corretto equilibrio di strategie di progettazione passiva e attiva per ridurre al minimo l'energia, i materiali, l'acqua, e uso del suolo.

Le strategie di progettazione passiva utilizzano fonti energetiche ambientali, invece di energia acquistata come l'elettricità o il gas naturale. Queste strategie includono l'illuminazione diurna, la ventilazione naturale e l'energia solare.

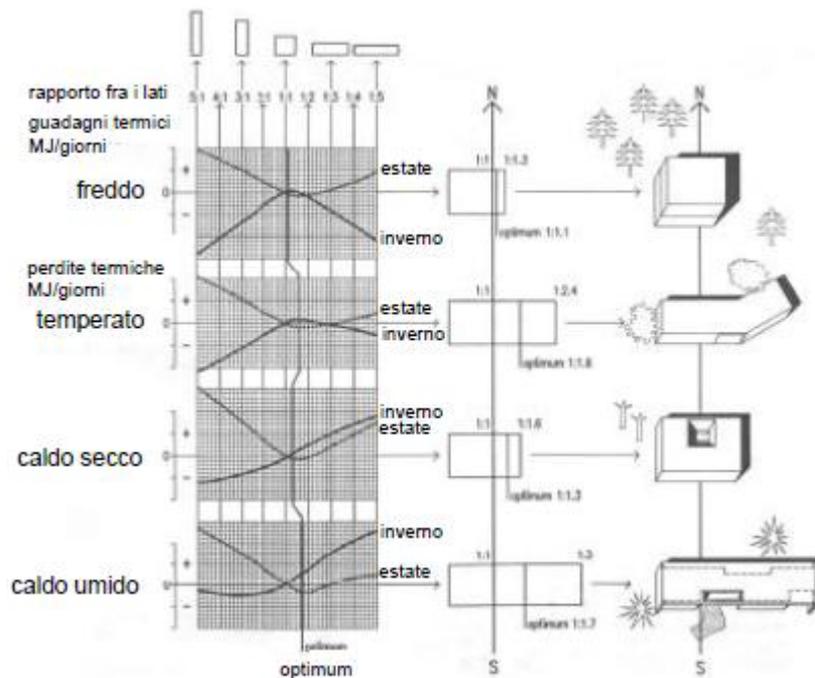
Le strategie di progettazione attive utilizzano l'energia acquistata per mantenere l'edificio confortevole. Queste strategie includono sistemi ad aria forzata HVAC, pompe di calore, pannelli radianti e luci elettriche.

I sistemi ibridi utilizzano una certa energia meccanica per migliorare l'uso delle fonti energetiche ambientali. Queste strategie includono la ventilazione con recupero del calore, gli impianti solari termici, pompe di calore geotermiche e molti altri.

In generale, si consiglia di ottimizzare prima la progettazione di strategie passive. In questo modo si possono ridimensionare i sistemi attivi di cui si ha bisogno.

## 4.4.1 VOLUMETRICA DELL'EDIFICIO E ORIENTAMENTO

Il controllo della volumetria riguarda le decisioni sulla forma complessiva e sulle dimensioni dell'edificio. Una volumetrie di successo utilizza la forma e le dimensioni dell'edificio per ridurre al minimo i carichi di energia da sistemi attivi per utilizzare e massimizzare l'energia rinnovabile.



254. Forma dell'edificio e ambiente climatico, Olgyay 1980.

### I principali parametri della forma, in sintesi, sono:

- **Compattezza**, questo parametro indica il grado di concentrazione volumetrica ed è descritto dal rapporto S/V (superficie, volume). Ad una maggiore compattezza risulterà un edificio dotato di minori interscambi con l'ambiente, minori superfici dell'involucro. A questa caratteristica corrisponde anche una maggiore stabilità termica ma minori possibilità di illuminazione e ventilazione naturale.
- **Forma della pianta**, questo parametro ha effetti sul comportamento energetico in relazione al tipo di forma:
  - o **Lineare**: l'edificio si sviluppa secondo un asse, tipo est-ovest, in questo caso vi è una discreta captazione invernale, una buona protezione estiva e una illuminazione naturale equilibrata sui due fronti.
  - o **Centrale**: gli ambienti risultano poco sensibili alle

variazioni ambientali esterne.

o Radiale: combina i due parametri precedenti, il comportamento di ogni singola facciata dipende dal suo orientamento.

o Reticolare: la relazione con l'ambiente esterno è strettamente relazionata con la porosità della trama e con l'orientamento di ogni facciata.

o Aggregata: il tipo di aggregazione determina la relazione con l'ambiente.

- Snellezza, la forma predilige l'altezza allo sviluppo planimetrico. È l'opposto della compattezza, più è snello, maggiore saranno le superfici a contatto con l'ambiente.
- Forma della sezione, questa caratteristica influisce sull'esito più o meno ottimizzato dei sistemi passivi, sia per la ventilazione che per la radiazione solare.
- Porosità, parametro che influisce sulle relazioni con l'esterno, ad una maggiore porosità corrisponde una maggiore superficie di scambio con il clima<sup>163</sup>.

L'orientamento riguarda semplicemente la direzione verso cui sono rivolte le maggiori facciate dell'edificio rispetto ai punti cardinali; ad esempio un edificio può avere una facciata principale esposta direttamente a sud e quella opposta rivolta a nord, o rivolta ad est-nordest con quella opposta rivolta a sudovest e così via. Insieme con la volumetria, l'orientamento potrebbe essere la strategia più importante per fornire all'edificio il giusto comfort termico e visivo in modo passivo. L'orientamento dovrebbe essere deciso, insieme alla volumetria, nelle prime fasi del processo progettuale, in quanto non si può raggiungere una reale ottimizzazione delle prestazioni dell'edificio senza tener conto di questi due fondamentali parametri.

---

163 Cfr. Alessandro Rogora, op.cit.

## VOLUMETRIA DELL'EDIFICIO



255. In questa immagine è possibile vedere diverse strategie volumetriche: l'estrema edificio "a forma di O" nel mezzo, l'edificio a blocco con la protrusione a livello della strada sulla sinistra, e il grande edificio sulla destra con il tetto ad arco. Molte di queste scelte sono state fatte per ragioni estetiche, ma la volumetria è molto importante per l'uso di energia.

Per molti tipi di edifici, la volumetria è uno dei fattori più importanti per il riscaldamento passivo, il raffrescamento e l'illuminazione naturale, tuttavia spesso questi fattori non sono presi in considerazione finché la volumetria non è stata definita. È importante iniziare a considerare le strategie progettuali passive in fase di sviluppo della volumetria, in modo che le superfici esposte al sole nelle diverse ore del giorno, l'altezza dell'edificio, e la larghezza dell'edificio possono essere ottimizzati per il comfort passivo.



256. Nell'immagine, "Opt 2" ha la stessa area dell'"Opt 1" ma utilizza meno della metà dell'energia a causa di una migliore volumetria.

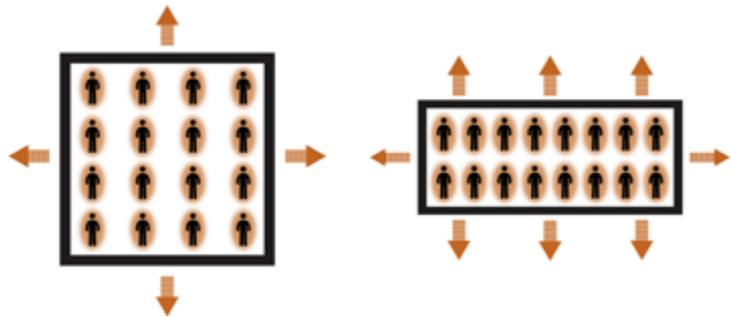
Le decisioni volumetriche dipendono dalle specificità del sito di progetto e dagli obiettivi preposti. Gli strumenti come i BIM sono in grado di fornire ai progettisti un'analisi energetica già in fase concettuale, utile a testare le diverse opzioni volumetriche. Questa analisi può prendere in considerazione le caratteristiche del sito, come la morfologia del territorio naturale, gli edifici circostanti, o come la vegetazione può influire sulle prestazioni del progetto. Tali caratteristiche possono ombreggiare la luce del sole e cambiare gli schemi del vento, quindi questa verifica è particolarmente importante per determinare il futuro comfort termico e il comfort da luce naturale. Esse possono anche influenzare l'acustica, la raccolta dell'acqua piovana e di altri fattori prestazionali.

## Volumetrie per il programma dell'edificio

Il giusto volume dipende dal programma dell'edificio. Un edificio scarsamente popolato, con poca attività o apparecchiature, come ad esempio molte case, generano relativamente poco calore da carichi interni. Nei climi freddi, dovrebbero beneficiare di planimetrie compatte per evitare di disperdere calore verso l'esterno. Questo minimizza il rapporto tra la superficie e il volume, riducendo le perdite di calore.

D'altro canto, edifici densamente popolati con elevate attività e/o apparecchiature ad alta intensità energetica generano una grande quantità di calore, richiedendo carichi di raffrescamento interni elevati. Pertanto, anche in climi freddi può essere vantaggioso che tali edifici abbiano planimetrie più sottili, per ottenere più raffrescamento passivo.

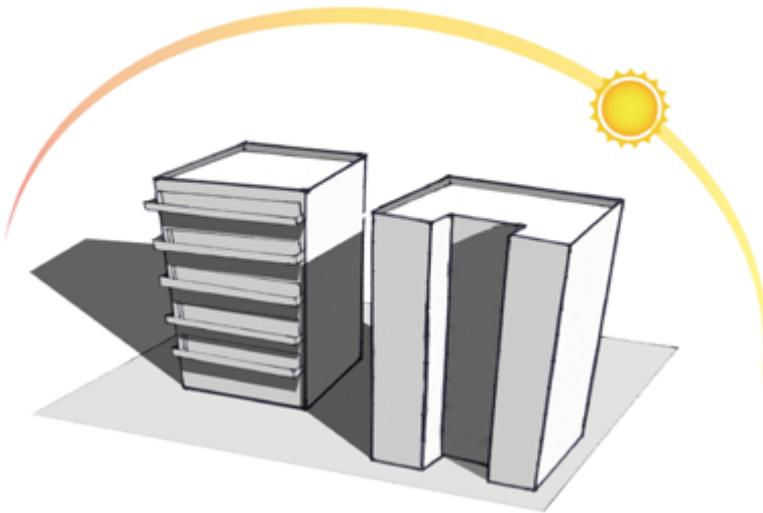
257. Gli edifici sottili disperdono più calore verso l'esterno rispetto a quelli compatti.



Sofisticata volumetrie possono andare ancora oltre per ottimizzare i guadagni di calore o di raffrescamento. Per esempio:

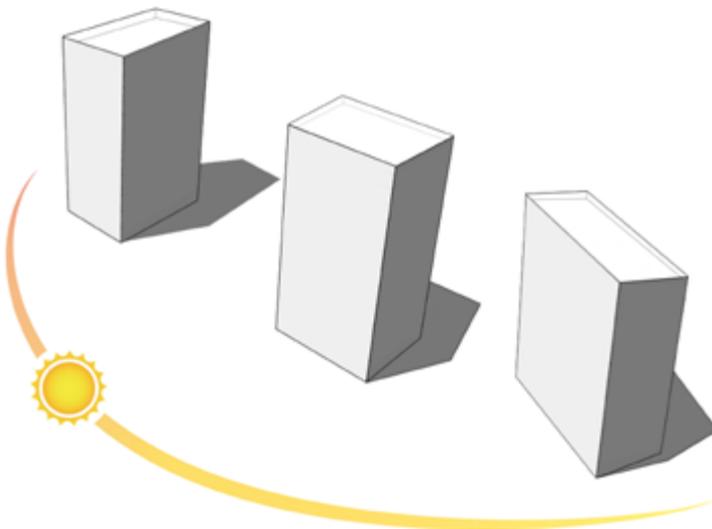
- I tetti possono essere inclinati in modo da ottimizzare il riscaldamento solare.
- Gli aggetti possono ombreggiare parte di un edificio con le altre parti dello stesso edificio.
- Le superfici curve sono in grado di ridurre la perdita di calore da infiltrazioni.
- Le zone cuscinetto interne possono essere collocate ad esempio nei lati ovest di un edificio per proteggere le aree giorno o di lavoro dal caldo sole pomeridiano o nei nord per ridurre le dispersioni di calore (ad esempio scale, bagni, corridoi di entrata, etc.).

Per comprendere le necessità di utilizzo di volumetrie semplici o complesse, è utile eseguire simulazioni energetiche tramite modelli basilari di diverse opzioni.



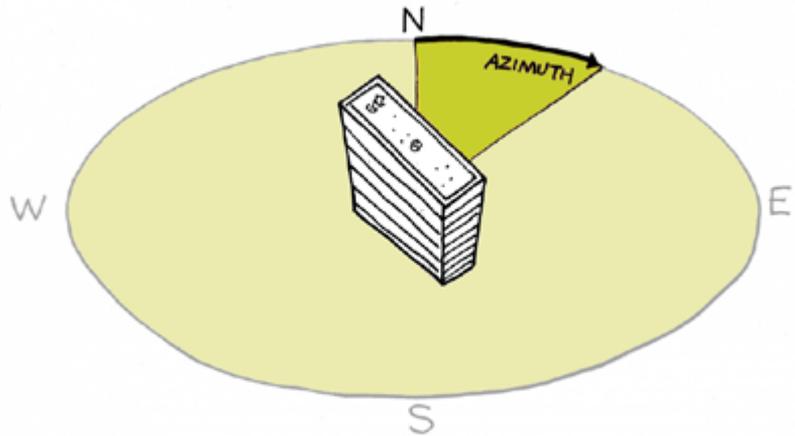
## ORIENTAMENTO DELL'EDIFICIO

Come suindicato, l'orientamento riguarda semplicemente la direzione verso cui sono rivolte le principali facciate dell'edificio rispetto ai punti cardinali. Dovrebbe essere ottimizzato nella fase iniziale della progettazione, insieme alla volumetria, in quanto è una delle caratteristiche più importanti delle strategie passive.



L'orientamento è misurato con l'angolo di azimut di una superficie rispetto al nord geografico. L'orientamento di successo ruota l'edificio per ridurre al minimo i carichi di energia e massimizzare l'energia libera del sole e del vento.

260. L'orientamento di un edificio è misurato con l'azimut.



#### 4.4.2 RISCALDAMENTO PASSIVO

Il riscaldamento passivo utilizza l'energia del sole per mantenere confortevoli gli occupanti senza l'utilizzo di sistemi meccanici.

#### GUADAGNO SOLARE DIRETTO

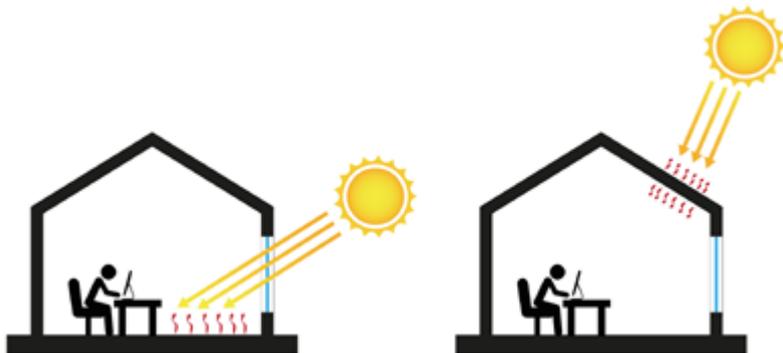
Il guadagno solare diretto avviene quando il calore del sole viene raccolto e conservato in uno spazio occupato. Questo calore può essere trattenuto dalla massa termica dell'edificio, o può essere evitato con materiali riflettenti.

Il guadagno solare diretto è importante per qualsiasi sito che necessita di riscaldamento, poiché è il modo più semplice e meno costoso di riscaldamento passivo per il guadagno di calore solare da parte di un edificio. Evitare tale guadagno solare diretto è però importante nei climi caldi.

Un buon guadagno solare diretto deve essere misurato o previsto per determinare la quantità di energia termica fornita dal sole ad uno spazio interno durante il giorno, nell'arco dell'anno. In molti climi il maggior guadagno di calore è desiderato nei mesi invernali, quando il sole è basso, mentre è meno o addirittura indesiderato in estate. Allo stesso modo, di

solito è necessario più nelle ore mattutine ma di meno o per niente nel tardo pomeriggio. Il guadagno solare diretto non è la quantità totale di radiazione solare incidente, dal momento che non tutta entrerà e sarà trattenuta nello spazio.

261. Guadagno solare diretto attraverso i muri/tetti e attraverso vetri.



La luce solare può riscaldare uno spazio attraverso le pareti dell'involucro o il tetto e può entrare all'interno dell'edificio attraverso le finestre, riscaldando le superfici interne.

Parte della luce solare è espressa sotto forma di lunghezza d'onda radiante, quota manifestata come calore; Inoltre, la luce di qualsiasi lunghezza d'onda può essere assorbita dai materiali di una superficie e trasformata in calore. Questi materiali a loro volta riscaldano le persone nella stanza conducendo il calore direttamente, riscaldando l'aria che a sua volta trasporta il calore per convezione o per irraggiamento.

### Vetri per il guadagno solare

Il posizionamento e la superficie delle aperture è un fattore che influenza enormemente la quantità di calore che si può guadagnare, in un momento della giornata e in una stagione dell'anno. Per la maggior parte delle latitudini, è ottimizzato porre ampie zone vetrate rivolte all'equatore, con i principali spazi abitativi esposti direttamente dietro. È altresì opportuno bloccare l'eccesso al sole, nei periodi più caldi, permettendo l'accesso in quelli più freddi.

Opportuni orientamenti, dimensionamenti volumetrici e ombreggiature devono essere combinati con adeguate scelte sulle proprietà dei vetri. Diversi tipi di vetri possono trattenere il calore del sole all'interno degli ambienti, o respingerlo, o lasciare fuoriuscire il calore interno. I differenti tipi di vetri devono essere abbinati alle differenti facciate dell'edificio.

### **Evitare Le Perdite**

Le stesse grandi aree vetrate che consentono al calore giornaliero di poter riscaldare gli ambienti contribuiscono notevolmente alla dispersione del calore interno durante la sera. Il calore tende a fuoriuscire attraverso le finestre perché dotate di minor massa termica. È quindi opportuno prevedere qualche forma di protezione notturna incorporata, per ridurre al minimo tali perdite che avvengono per conduzione e convezione attraverso le finestre. Spesse è possibile utilizzare un sistema dotato di tende tirate e sigillare nella parte superiore, o tramite adeguati tapparelle isolanti, sia interne che esterne.

### **Massa Termica per il guadagno solare**

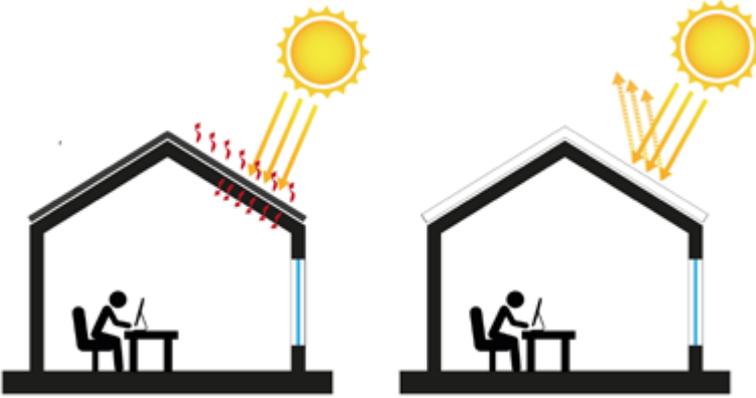
La massa termica è fattore cruciale per il raggiungimento del comfort mediante il guadagno termico solare. Essa assorbe e trattiene il calore, rallentando la velocità con cui il sole riscalda lo spazio interno e la velocità con cui lo spazio perde calore quando il sole è tramontato. Senza un'adeguata massa termica, il calore attraversa la parete rapidamente rendendo lo spazio interno eccessivamente caldo di giorno e troppo freddo di notte.

### **Superfici colorate e Cool Roofs**

La quantità di luce assorbita da un materiale e quindi convertita in calore dipende in parte dal suo colore. Le superfici di colore chiaro tendono a rimbalzare la luce all'interno dello spazio, distribuendola su un maggior superficie. I materiali di colore scuro, invece, assorbono la maggior parte dell'energia incidente appena li colpisce. Entrambi questi fenomeni possono essere utile a seconda delle necessità.

Per i tetti, data l'eccessiva radiazione incidente, spesso è necessario evitare il guadagno solare diretto, soprattutto in climi caldi. Per il fenomeno "tetto freddo", meglio conosciuti come cool roof, i colori vengono usati per riflettere la luce e quindi la maggior parte del calore del sole. Il trattamento di queste superfici a tetto freddo è spesso molto più efficace della semplice aggiunta di isolamento nel tetto. Ad esempio, la superficie di un tetto nero può facilmente raggiungere 40 °C (75 °F) in più rispetto ad una superficie di un tetto bianco, nella medesima giornata di sole.

262. I tetti scuri ottengono molto più calore dei tetti chiari.



Una misura comune è l'albedo, ovvero la capacità di un materiale di riflettere la luce solare. I tetti, e qualsiasi superficie, di colore chiaro hanno un "alto indice di albedo" ma la misura usata con maggiore frequenza è l'Indice di Riflettanza Solare (SRI da Solar Reflectance Index) che considera sia la riflettanza che l'emissività<sup>164</sup>.

L'SRI è una scala di valori in cui a 0 corrisponde al calore riflettente della vernice nera standard (riflettanza 0,05, emissività 0,90) e 100 alla vernice termoriflettente bianca (riflettanza 0,80, emissività 0,90). Ciò significa che è possibile che alcuni materiali abbiano un SRI leggermente sotto lo zero o leggermente superiore a al 100.

Per essere considerato un "cool roof" da standard comuni, si richiede un SRI sopra il 78 per i tetti piani, e sopra il 29 per i tetti spioventi. Alcuni valori tipici sono riportati in tabella.

Materiale della superficie	SRI
Vernice acrilica nera	0
Asfalto	6
Asfalto di ghiaia	21
Tetto con ghiaia superficiale	37
Cemento	19 - 52
Vernice acrilica bianca	100
Membrana del tetto riflettente	80 - 110

263. Tabella dei comuni Indici riflettanza solare SRI.

<sup>164</sup> L'emissività è la capacità della superficie del tetto di irradiare il calore assorbito. Misurato su una scala da 0 a 1, dove 1 è il più emissivo (non trattiene più calore). Di proprietà basso emissive possono beneficiare gli edifici nei climi più freddi, trattenendo il calore in modo da ridurre il carico termico. Per impedire l'effetto isola di calore, è preferibile un'alta emissività.

## **VOLUMETRIE E ORIENTAMENTO PER IL RISCALDAMENTO**

Come precedentemente indicato, la volumetrie e l'orientamento sono importanti fattori di progettazione da tenere in considerazione per il riscaldamento passivo. La volumetria e l'orientamento per il riscaldamento passivo è spesso favorita dalla distribuzione secondo l'asse est-ovest per sfruttare il sole sull'esposizione settentrionali e meridionale.

Molte strategie volumetriche e di orientamento che sono appropriate per l'illuminazione naturale, sono anche adeguate per favorire il riscaldamento passivo. Tuttavia, l'utilizzo di edifici sottili potrebbero non essere la soluzione migliore. Essa dipende dal clima e dalla tipologia d'uso. Alcune strategie di volumetria e di orientamento, per il riscaldamento passivo, sono riportate di seguito:

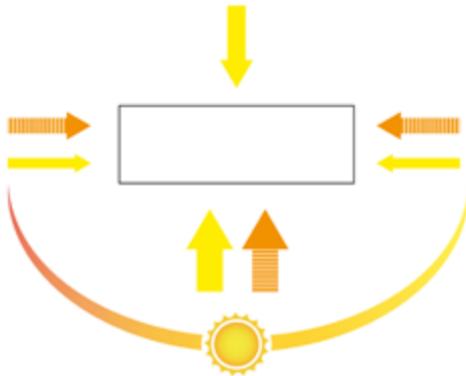
- In primo luogo, la quantità di luce che è ottimale per l'illuminazione diurna spesso non è ottimale per il guadagno termico solare.
- In secondo luogo, dal momento che il calore del sole non arriva da tutte le direzioni, come accade per la luce del sole, è possibile rivolgere i muri verso il percorso del sole senza ottenendo alcun guadagno termico, ottenendo però grandi quantità di luce diffusa.
- In terzo luogo, il calore del sole può essere conservato nella massa termica, strategia non attuabile con la luce del sole. Questo può essere utile per le pareti rivolte ad ovest, dove è possibile accumulare calore per la notte.

### **Strategie volumetriche per il riscaldamento passivo**

Nei climi freddi, sono preferite le volumetrie che minimizzano il rapporto tra la superficie e il volume (avvicinando la forma ad un cubo o ad una semisfera) può evitare le perdite di calore indesiderate. Il calore del sole è vantaggioso per il riscaldamento passivo dell'edificio, questo contributo è direttamente proporzionale al quantitativo di superficie esposta al sole. I lati dell'edificio esposti al percorso del sole possono essere aumentati riducendo le aree non esposte a tale percorso.

Nei climi caldi, avere edifici sottili con le facciate principali esposte al sole può causare indesiderati guadagni termici solari. I dispositivi di ombreggiatura e finestre bene esposte possono essere utilizzate per ridurre questo eccessivo carico, pur consentendo un'adeguata ventilazione naturale. Gli edifici sviluppati in altezza possono anche ridurre i guadagni indesiderati legati al surriscaldamento eccessivo dei tetti, maggiore di quello che interessa le pareti, tipico dei climi caldi.

E' importante ricordare che il calore del sole non arriva da tutte le direzioni, come accade per la luce del sole. Le pareti rivolte verso il percorso solare ottengono il massimo della luce e la maggior parte del calore. Le finestre che si affacciano lontano dal percorso del sole possono ancora ottenere grandi quantità di luce diffusa ma senza guadagno termico, al contrario possono essere eccessive le perdita di calore. Le finestre che si affacciano ad est sono riscaldate al mattino, quando spesso il sole è benvenuto per smorzare il gelo della notte, mentre le finestre che si affacciano ad ovest sono riscaldate nel pomeriggio, quando gli spazi sono generalmente già caldi.



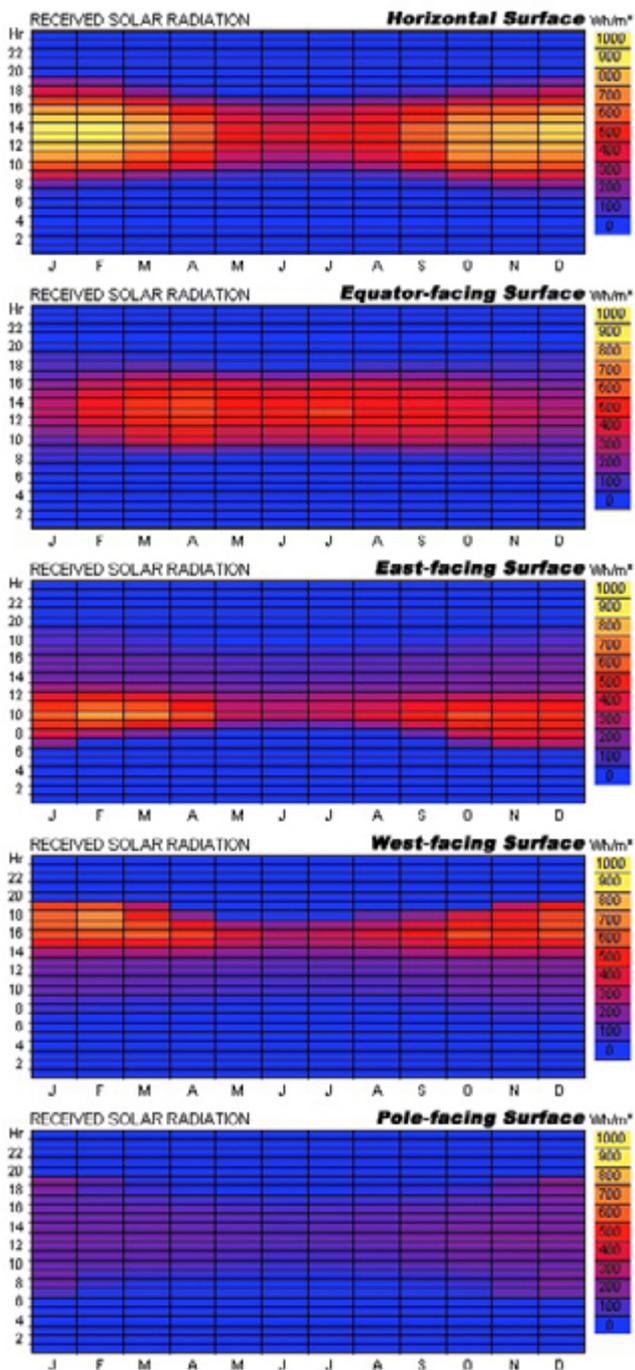
264. Volumetrie per il guadagno termico (arancio) possono essere differenti a quelle per l'illuminazione diurna (giallo).

### Strategie di orientamento per il riscaldamento passivo

Gli edifici che sono più lunghi che larghi di solito dovrebbero essere orientate est-ovest piuttosto che nord-sud. Questo orientamento consente di sfruttare in modo coerente il guadagno termico, o costantemente evitarlo, sulla lunga facciata dell'edificio. Inoltre, consente di ridurre al minimo la zona soggette a maggiori sbalzi di energia, quando il sole sorge o tramonta. Il guadagno termico solare sul lato est può essere accettabile o addirittura utile, perché avviene di mattina dopo la notte, che è notevolmente più fredda, ma i guadagni termici solari sul lato ovest è raramente desiderabile al termine di una giornata già calda.

Prima di determinare quali materiali comporranno la facciata, è importante capire i modelli di radiazione solare che influenzano l'edificio. L'immagine seguente mostra la radiazione solare incidente, durante il giorno e durante l'anno, sulle cinque facce esposte di un edificio a forma di cubo. L'asse verticale mostra momenti della giornata, mentre l'asse orizzontale mostra periodi dell'anno, e il colore indica la quantità di calore incidente.

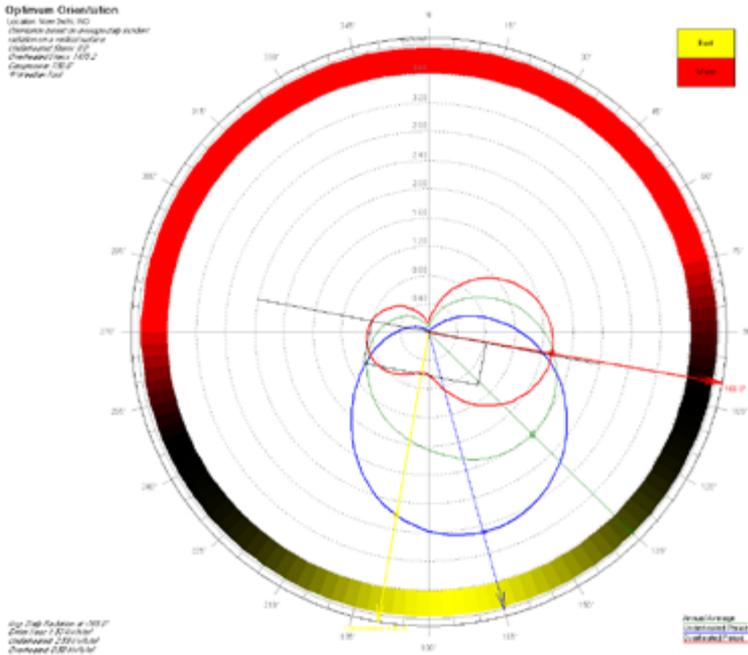
265. Radiazione solare incidente su differenti facciate di un edificio nel tempo a latitudini medie.



Il grafico mostra come il guadagno di calore termico sulle facciate est e ovest dell'edificio cambia rapidamente, mentre le esposizioni settentrionali e meridionali sono più coerenti.

## Calcolo dell'orientamento ottimale

Lo schema seguente mostra l'angolo di orientamento ottimale per un edificio, sulla base delle radiazioni solari ricevute nei tre mesi più freddi (blu), nei tre mesi più caldi (rosso), e nel corso dell'intero esercizio (verde).



266. Orientamento ottimale con Ecotect.

Gli orientamenti più favorevoli si verificano quando la quantità di radiazione incidente in inverno è maggiore di quella incidente in estate, quindi dove la linea blu si estende oltre la linea rossa.

Tuttavia, è desiderabile fornire la maggior protezione quando si verifica la massima radiazione solare estiva. L'orientamento ottimale equilibra il carico termico. Così, nel grafico di cui sopra, l'angolo ottimale non è esattamente nel punto di massimo carico invernale ma leggermente ad est per "allontanare" lievemente il carico termico dei pomeriggi estivi.

## Le scelte dei materiali per l'orientamento

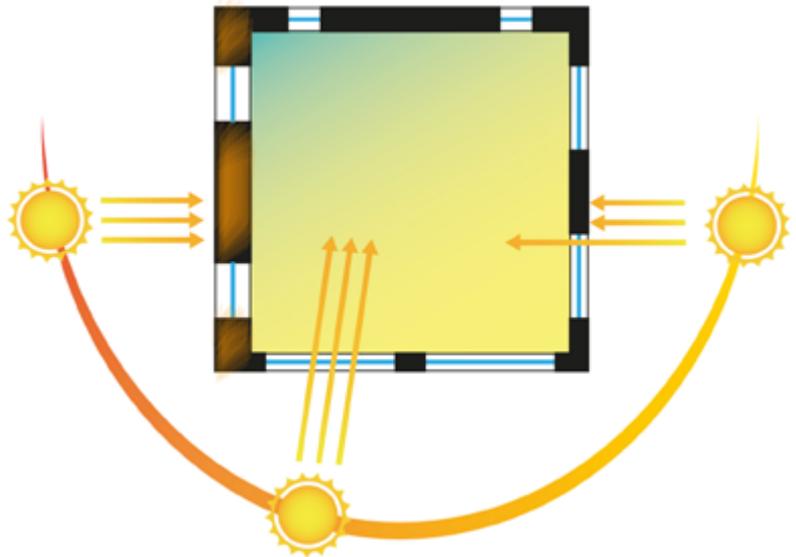
Le scelte dei materiali e delle vetrate fanno parte delle strategie passive legate all'orientamento dell'edificio. Esse possono evitare indesiderati guadagni termici solari ed essere in grado di immagazzinare il calore del sole con massa termica. Un orientamento che fornisce abbastanza luce può fornire troppo calore, o viceversa.

I lati dell'edificio rivolti all'equatore sono adatti per catturare e immagazzinare il calore del sole attraverso grandi finestre e materiali con elevata massa termica, mentre i lati rivolti verso il percorso del sole, est ed ovest, non lo

sono.

Per uniformare le oscillazioni di temperatura all'alba e al tramonto, i lati est possono beneficiare di più spazio vetrato per guadagnare il calore solare diretto, mentre i lati ovest possono beneficiare di superfici vetrate più piccole e di alta massa termica atta ad assorbire il calore e rilasciarlo per tutta la notte. La giusta strategia dipende dal clima.

267. Più vetrate esposte ad est e più alta massa termica ad ovest possono uniformare gli sbalzi di temperatura.



## MASSA TERMICA

La massa termica è la resistenza di un materiale alle variazioni di temperatura. Gli oggetti con elevata massa termica assorbono e trattengono il calore. La massa termica è un aspetto fondamentale per il buon esito del riscaldamento solare passivo, soprattutto in luoghi che hanno grandi sbalzi termici tra il giorno e la notte.

Oggetti con elevata massa termica assorbono e trattengono il calore, rallentando la velocità con cui il sole riscalda uno spazio e la velocità con cui uno spazio cede calore quando il sole è tramontato, o comunque quando il sole non incide su quello spazio. Senza massa termica, il calore che è entrato in un ambiente sarà semplicemente nuovamente ceduto verso l'ambiente esterno rapidamente, rendendo lo spazio interno eccessivamente caldo con la luce del sole e troppo freddo senza.

La massa termica non ha nessun effetto quando il flusso di calore è allo stato

stazionario, quando le temperature sono relativamente costanti su ciascun lato del materiale.

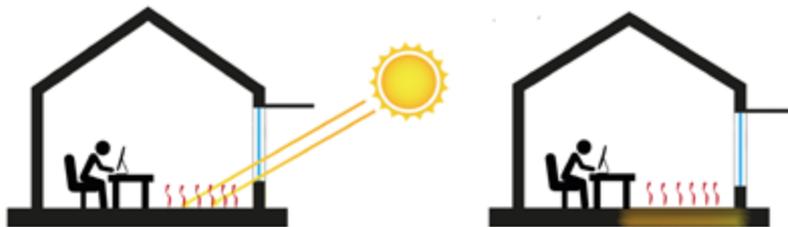
## Progettare con la Massa Termica

Le esecuzioni architettoniche comuni per immagazzinare calore con la massa termica sono tramite le lastre di cemento piane, i contenitori di acqua e le pareti in muratura. Tuttavia, molti materiali possono essere utilizzati per questo scopo.

### Climi e Massa Termica

La massa termica è più utile in luoghi che hanno grandi sbalzi di temperatura dal giorno alla notte, come i climi desertici. Anche se la massa termica non impedisce il trasferimento del flusso di energia termica verso l'interno o l'esterno degli spazi occupati, come avviene per l'isolamento, può rallentare il flusso di calore, tanto da contribuire al comfort delle persone anziché causare disagio.

Nei climi costantemente caldi o freddi, l'effetto della massa termica può effettivamente essere dannoso. Questo perché tutte le superfici della massa tenderanno verso la temperatura media giornaliera; se questa temperatura è superiore o inferiore all'intervallo confortevole, il risultato sarà ancora più sgradevole per gli occupanti, questo è dovuto a guadagni radianti o perdite indesiderate. Per questo, in climi tropicali ed equatoriali, gli edifici tendono ad essere molto aperti e leggeri. In zone fredde o sub-polari, gli edifici sono di solito molto isolati con pochissima massa termica esposta, anche se viene utilizzata per ragioni strutturali.



268. La massa termica cattura e immagazzina i carichi solari.

269. La massa termica restituisce il calore, quando non vi è più guadagno.

### Massa Termica Per Il Guadagno Solare

La massa termica è spesso fondamentale per il guadagno solare passivo. Materiali con alta massa termica svolgono una parte significativa nei passaggi di flusso termico in profondità della parete. Ciò significa che se il primo paio di millimetri di una parete viene riscaldata di 5-10 gradi, l'intera parete si

riscalda solo di 1-2 gradi. Il materiale poi irradia calore a bassa temperatura ma per un periodo di tempo più lungo.

Questo porta gli occupanti ad un soggiorno più confortevole e per più a lungo. Quando la sera la temperatura interna dello spazio cala, c'è ancora energia immagazzinata all'interno delle pareti utile ad irradare l'ambiente interno. Maggiore è la superficie dotata di massa termica a ricevere luce solare diretta, più calore riceve, più velocemente può riscaldare e più calore può immagazzinare.

### **Conducibilità Termica con Massa Termica**

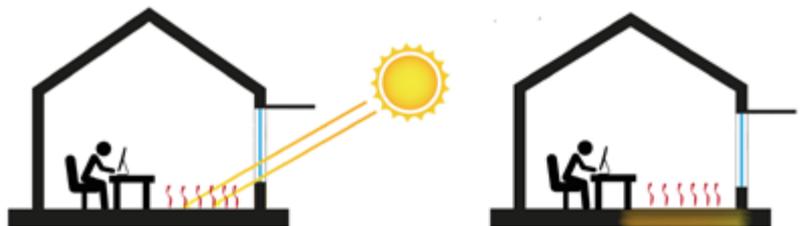
Il ritardo termico dovuto alla massa può ridurre notevolmente la necessità di isolamento dell'involucro edilizio, soprattutto nei climi con grandi sbalzi di temperatura dal giorno alla notte. La combinazione di massa termica con l'isolamento può evitare all'interno degli ambienti tali oscillazioni di temperatura indesiderate, pur consentendo il guadagno di calore solare o il raffrescamento radiativo.

Tuttavia, materiali termicamente conduttivi possono essere altamente desiderabili all'interno di uno spazio. Essi sono utili al trasferimento rapido di eventuali accumuli di calore, da una superficie colpita dalla luce del sole più in profondità nel materiale, distribuendo uniformemente il calore nello spazio. In materiali meno conduttivi, la superficie irradiata dal sole si surriscalda di più, creando su di essa dei punti caldi mentre le altre parti del materiale possono essere fredde. Ad esempio, un pavimento di calcestruzzo spesso, condurrà il calore immagazzinato in modo uniforme in tutto il piano, invece, un pavimento in legno non distribuirà bene il calore, in quanto, anche se dotato di elevata massa termica, non è un buon conduttore.

È importante fare attenzione quando si copre la massa termica con materiali isolanti, questi isoleranno la massa dall'energia solare non permettendone l'accumulo.

270. L'isolante impedisce la dispersione del guadagno termico.

271. I rivestimenti isolanti possono interferire con la massa termica.



## Regole empiriche per progettare con la Massa Termica

- Scegliere la giusta quantità di massa termica. Ciò è determinato dalla quantità di energia termica che lo spazio necessita (in base al clima, alle volumetrie e all'utilizzo), e sulle radiazioni solari (basato sul clima, sull'orientamento e sul contesto morfologico). In generale, il comfort e le prestazioni aumentano con l'aumento della massa termica.
- Grandi superfici di massa termica, con esposizione solare sufficiente. Una regola empirica è il rapporto tra la massa-vetro è di 6:1.
- Per immagazzinare il guadagno solare diretto, una massa sottile è più efficace di una massa spessa. Lo spessore più efficace per la muratura è nei primi 100 mm di materiale. Spessori oltre 150 mm sono solitamente inutili in quanto il calore viene semplicemente portato via dalla superficie e perso. Lo spessore più efficace nel legno è nei primi 25 mm.
- Isolare l'accumulo termico dalle condizioni climatiche esterne, in modo da non aggiungere o rimuovere troppo calore. In alcuni climi, tuttavia, le perdite di calore verso il terreno sono ritenute benefiche.
- È importante porre il maggior quantitativo di massa termica alla luce solare diretta (riscaldando per irraggiamento). Tuttavia, anche la massa che si trova fuori della luce solare diretta (riscaldata per convezione) è importante per le prestazioni complessive.
- Immagazzinare nella massa termica è fino a quattro volte più efficace quando tale massa è sia riscaldata direttamente dal sole che soggetta a riscaldamento convettivo, rispetto ad essere riscaldata solo per convezione.
- Individuare masse termiche in partizioni interne è più efficace di quelle esterne. Supponendo che entrambi le pareti abbiano pari accesso solare, il calore immagazzinato nella partizione sarà trasferito esclusivamente nell'ambiente interno mentre la tamponatura spesso perdere metà verso l'esterno.
- Le più efficaci masse interne sono quelle situate tra due spazi a guadagno diretto.
- La massa termica può essere combinata con i vetri per formare "Muri di Trombe".

## MURO DI TROMBE E SERRE SOLARI ANNESSE

Un muro di Trombe è un sistema per il guadagno termico solare indiretto e, anche se non molto comune, è un buon esempio di massa termica.

Si compone di una parete di colore scuro dotata di elevata massa termica e posta frontalmente al sole, sul lato esterno della parete, in sovrapposizione ma distanziato da essa in modo da lasciare un piccolo spazio aereo, viene posto un vetro. La radiazione solare è intrappolata dal vetro come in una piccola serra. Un spazio soleggiato annesso è essenzialmente un muro di Trombe dove lo spazio aereo è così grande da essere abitabile.

272. Un muro di Trombe (a sinistra) e uno spazio soleggiato annesso (a destra).



I muri di Trombe sono un sistema di riscaldamento passivo molto utile. Essi richiedono poco o nessuno sforzo per operare, e sono ideali per gli spazi dove il silenzio e la privacy sono desiderabili. Gli spazi soleggiati annessi sono altrettanto semplici nel sistema ma possono permettere la vista verso l'esterno. Le camere riscaldate da un muro di Trombe o da spazi soleggiati annessi spesso si percepiscono più confortevoli rispetto a quelle riscaldate da sistemi ad aria forzata. Un muro di Trombe o uno spazio soleggiato annesso ottimizza il guadagno di calore e riduce al minimo la perdita durante i periodi freddi, evitando il guadagno termico eccessivo nei periodi caldi.

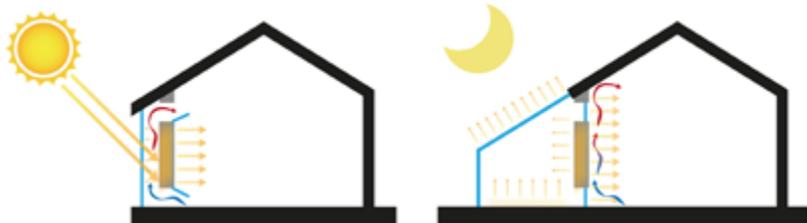
### Muri di Trombe

I muri di Trombe sono pareti di accumulo termico, dal nome dell'inventore francese Felix Trombe. Un tipico muro di Trombe consiste in una parete di muratura spessa 20 - 40 centimetri, dipinta con un colore atermico scuro a cui è di fronte un singolo, o doppio, strato di vetro. Il vetro è posizionato tra 2 - 15cm dalla parete in muratura per creare un piccolo spazio aereo. Il calore solare che passa attraverso il vetro viene assorbito dalla superficie scura, immagazzinato nel muro e condotto lentamente verso l'interno attraverso la muratura.

Il vetro impedisce la fuga del calore irradiato dal sole che è quindi intrappolato

all'interno dell'intercapedine d'aria, riscaldando ulteriormente la superficie della parete. Per una parete Trombe di 40 centimetri di spessore, il calore richiederà circa dalle 8 alle 10 ore per raggiungere l'interno dell'edificio. Ciò significa che la camera alle spalle rimane confortevole attraverso il giorno e lentamente riceve riscaldamento anche per molte ore dopo che il sole sia tramontato. Tali strategie sono ideali negli edifici residenziali per le aree giorno e le camere da letto.

Oltre al calore radiante, è anche possibile configurare muri di Trombe per riscaldare l'aria interna agli ambienti. Porre delle prese d'aria nella parte superiore e inferiore della parete interna permette correnti di convezione, l'aria più fredda dalla camera esce dal basso e l'aria riscaldata dal muro Trombe rientra nella camera dall'alto. Queste aperture devono essere controllate per evitare correnti inverse che si verificano durante la notte e potrebbero raffreddare lo spazio occupato.

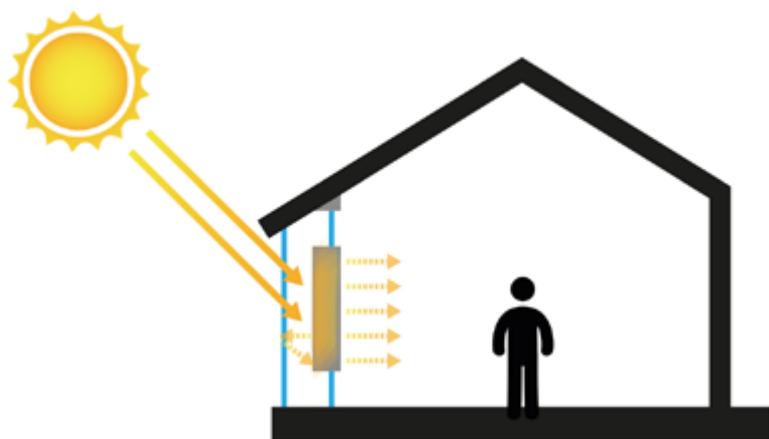


273. Un muro di Trombe ventilato riscalda l'aria per convezione.

274. Le prese d'aria possono essere chiuse durante la notte

### Evitare le perdite

Usando vetri basso emissivi (low-E) è possibile impedire al calore irradiato di attraverso il vetro di una parete di Trombe e ridurre notevolmente la quantità di calore disperso. L'applicazione di un rivestimento spettrale selettivo o low-E sul vetro permette alla parete stessa di migliorare le prestazioni riducendo la quantità di energia infrarossa irradiata verso il vetro.

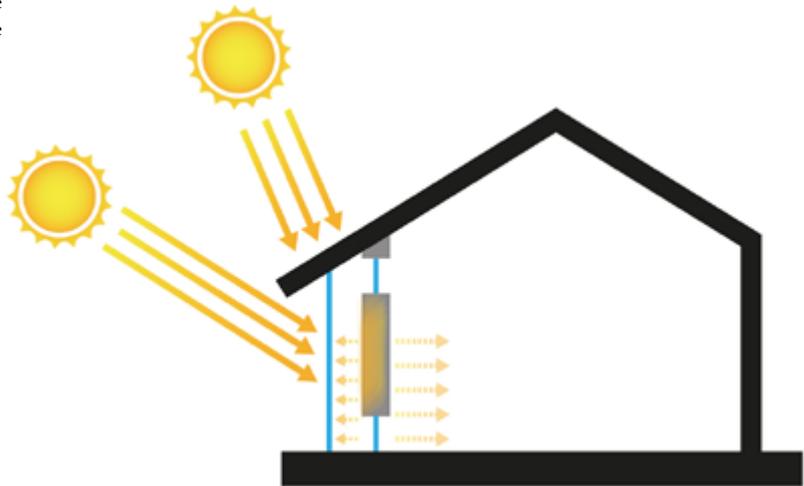


275. I vetri basso emissivi trattengono maggiormente il calore e l'accumulo termico della parete.

### Adattamento ai giorni e alle stagioni

Per evitare il surriscaldamento nei momenti caldi del giorno o durante le stagioni calde dell'anno, i progettisti possono utilizzare i muri di Trombe in combinazione con le sporgenze, cornicioni e altri elementi in grado di schermare i raggi solari indesiderati.

275. Un muro di Trombe può essere dotato di sbalzi o ripari per il sole estivo.



### Serre Solari

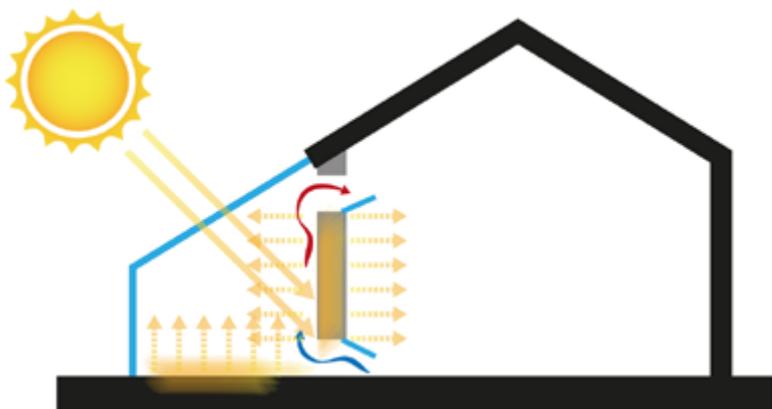
Le serre solari annesse lavorano in modo simile ai muri di Trombe ventilati. Possono riscaldare spazi sia per irraggiamento che per convezione. La differenza è che lo spazio tra il vetro e la massa termica è abitabile.

Le serre solari sono utilizzate principalmente per il guadagno indiretto del calore solare e in genere hanno più superficie vetrata che superficie di pavimento. La perdita di calore notturna non è un fattore critico delle serre solari come per i sistemi a guadagno diretto, dato che la camera può essere chiusa fuori dal resto dell'edificio. Tuttavia, l'isolamento con doppi vetri è consigliato quando la serra è utilizzata come spazio di vita dopo il tramonto.

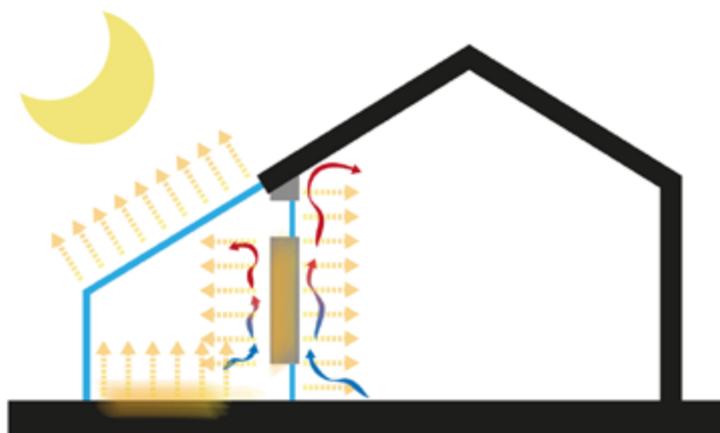
Considerazioni importanti per la progettazione delle serre solari:

- Nei climi molto freddi, i doppi vetri riducono le perdite conduttive attraverso il vetro verso l'esterno.
- Pannelli coibentati, schermature, o persiane sono più importanti per la serra stessa che per i muri di Trombe, per l'occupazione come sottospazio.
- Come con i muri di Trombe, le superfici interne della spazio soleggiato devono essere più scure, in modo che la massa immagazzini il calore in modo più efficacemente.

- Non inserire eccessiva vegetazione, come foglie in grado di ridurre la cattura del calore da parte del sistema, ombreggiando significativamente il pavimento e la parete.
- Per tutti i climi ad eccezione di quelli con estati molto fresche, devono essere considerate nella serra delle finestre apribili in alto e in basso. Queste permettono la fuoriuscita del calore nella parte alta, per evitare il surriscaldamento dell'aria, e l'immissione dell'aria fresca attraverso la parte bassa dei vetri.



276. Un serra solare con prese d'aria per il riscaldamento convettivo oltre a quello radiativo.



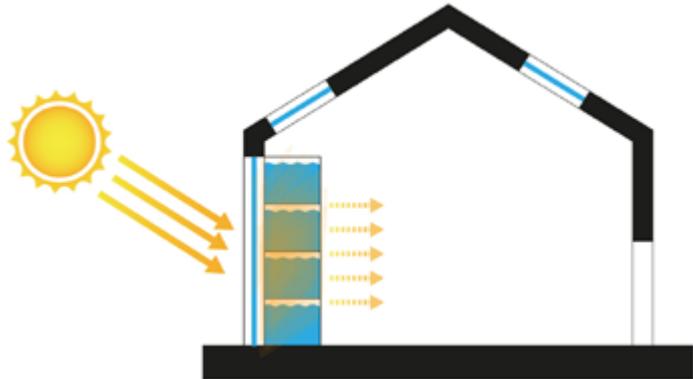
277. La serra solare di notte, con le prese d'aria chiuse, per mantenere la convezione nella direzione corretta.

## Varianti

### Pareti d'acqua

Invece di utilizzare la muratura, l'acqua può essere utilizzata come massa termica di una parete di Trombe o di una serra solare. A causa di correnti di convezione all'interno l'acqua stessa, il calore viene trasferito attraverso l'intera massa termica molto più veloce di una parete in muratura che si basa unicamente sulla conduzione. Questo può essere utile quando è necessario un ritardo più breve nella consegna del calore.

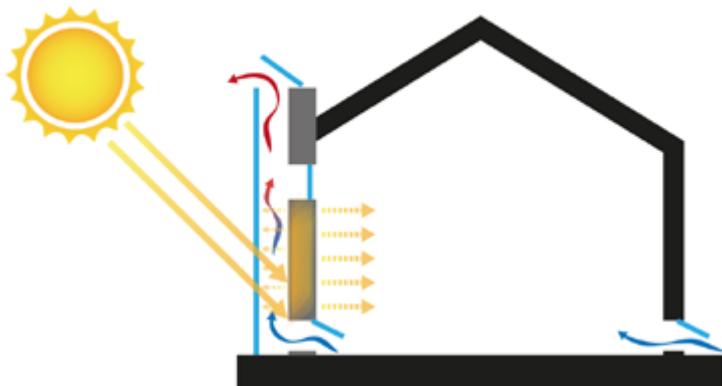
278. Botti d'acqua come massa termica.



### Camino Solare

Durante le stagioni calde, il muro Trombe o la serra solare possono essere provvisti di aperture attraverso le quali può circolare l'aria naturale. Da queste aperture, l'aria del locale è tirata fuori per convezione. Questa forma di ventilazione passiva è chiamata "camino solare".

279. Un muro di Trombe che agisce come camino solare.



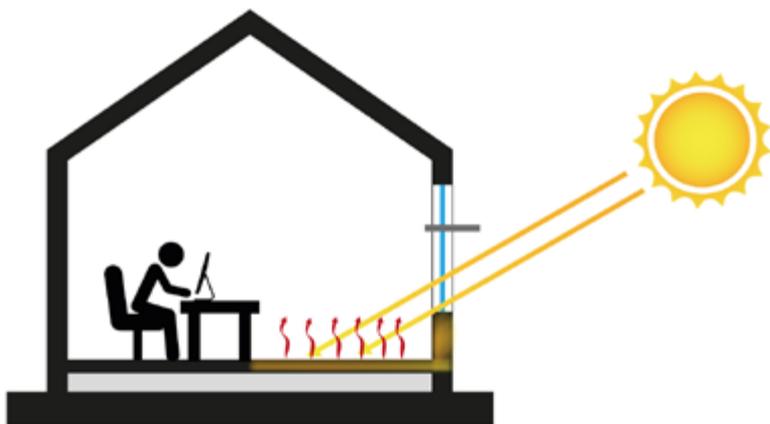
## APERTURE PER IL RISCALDAMENTO

Le finestre e le altre aperture permettono l'ingresso del flusso termico solare, ma possono anche disperdere calore poiché conducono il calore meglio di quanto lo faccia la maggior parte delle pareti dell'edificio. Un buon sistema di aperture e ombreggiature deve essere strategicamente studiato per sfruttare il calore del sole nei luoghi e durante le stagioni fredde e non consentire il surriscaldamento nelle stagioni calde.

Il posizionamento delle aperture, oltre al riscaldamento e al raffrescamento, è importante per l'illuminazione naturale. Come con l'illuminazione diurna, i vetri con le giuste proprietà devono essere scelti per i vari orientamenti. Ad esempio, una finestra che permette utili guadagni termici quando si trova su un lato dell'edificio potrebbe favorire le negative dispersioni di calore se posizionate in un altro lato.

Tuttavia, ci sono alcune differenze da considerare nella progettazione delle aperture per il riscaldamento passivo. Le aperture rivolte verso il percorso del sole, est ed ovest, solitamente disperdono calore verso l'esterno. In molti climi, le finestre ad est possono essere desiderabili per riscaldare gli spazi nelle prime ore del giorno, soprattutto dopo una notte fredda. Nei climi più caldi, le finestre esposte a ovest possono essere particolarmente inclini al surriscaldamento.

280. Il guadagno del calore solare sulla massa termica interna.



## OMBREGGIATURA PER IL GUADAGNO DEL CALORE SOLARE

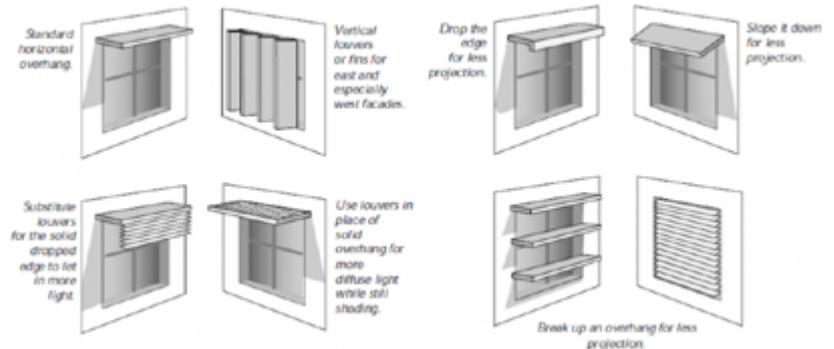
Le schermature possono evitare che il calore e il bagliore del sole possa attraversare le finestre. Esse possono anche tenere i raggi solari lontano dalle pareti o dal tetto, per ridurre i carichi da raffrescamento.

281. Le schermature interne sono in grado di migliorare il comfort visivo, ma non bloccare il guadagno termico.



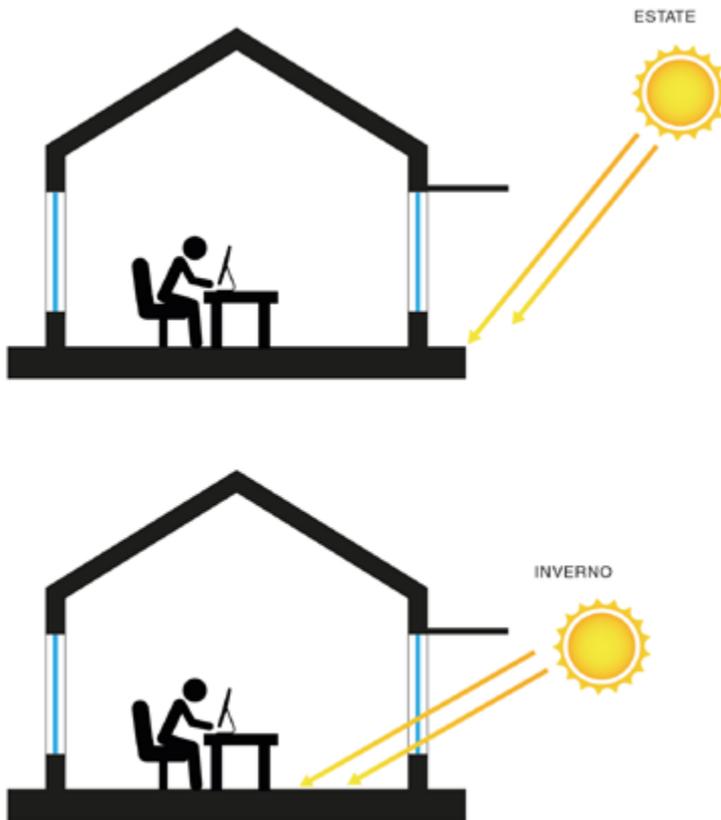
La forma più comune di ombreggiatura è tramite uno sbalzo esterno orizzontale e fisso. Questi sono usati sul lato dell'edificio rivolti all'equatore, a volte anche sui lati est e ovest. Tuttavia, le facciate est e ovest hanno più bisogno di schermature verticali per evitare il sole basso e l'angolo di incidenza. Molte sono le differenti strategie utilizzabili per ridurre il carico termico o gli eccessi di luce.

282. Sistemi di schermature per le finestre.



## Schermature adattabili

Le schermature possono essere progettate per permettere alla luce del sole e al calore di penetrare all'interno dell'edificio in alcuni momenti della giornata o dell'anno, pur respingendoli in altri momenti. Il metodo più efficace è di utilizzare schermature esterne, come gli aggetti orizzontali fissi, la cui larghezza è calcolata in base all'ombra generata durante i mesi estivi quando il sole è alto e che consentono il passaggio alla luce del sole durante i mesi invernali, quando l'angolo solare è inferiore.



**283.** Lo sbalzo nega l'accesso in estate ma lo permette durante l'inverno.

È possibile visualizzare le dimensioni di tali sbalzi per qualsiasi posizione tramite diversi strumenti di calcolo dell'angolo di ombreggiatura.

L'ombreggiatura può essere anche adattata alle esigenze attraverso sistemi mobili, sia azionati manualmente, controllati dagli occupanti, che automaticamente. Tali sistemi possono essere molto più reattivi e finemente sintonizzati, ma sono anche più costosi, e richiedono più manutenzione e riparazione nel corso degli anni. I sistemi azionati manualmente possono richiedere la formazione degli occupanti che spesso non sono preparati all'utilizzo.

### 4.4.3 RAFFRESCAMENTO PASSIVO

Proprio come per il riscaldamento passivo, l'utilizzo di strategie passive per il raffrescamento dell'edificio è importante per ridurre i consumi energetici. In particolare, utilizzando strategie di raffrescamento, come la ventilazione naturale, il raffrescamento convettivo e le ombreggiature, è possibile ridurre la richiesta per il raffrescamento meccanico, pur mantenendo un comfort termico.

### VENTILAZIONE NATURALE

La ventilazione naturale, chiamata anche ventilazione passiva, utilizza le differenze dei movimenti naturali dell'aria e la pressione esterna per raffrescare e ventilare passivamente un edificio.

La ventilazione naturale è importante perché può somministrare e spostare l'aria fresca senza l'utilizzo di ventole. Per i climi caldi e freddi, può contribuire a soddisfare i carichi di raffrescamento di un edificio senza l'utilizzo di impianti di condizionamento meccanico. Questo può essere un grande supporto al risparmio dei consumi totali di energia di un edificio.

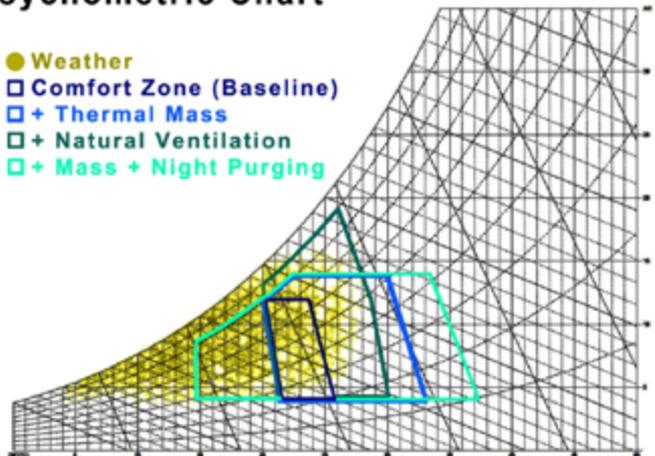
Una ventilazione naturale di successo è determinata quando si ottiene un elevato comfort termico con adeguata qualità dell'aria, pur avendo utilizzo poca o alcuna energia attiva per il raffrescamento e la ventilazione.

È opportuno scegliere la giusta strategia in base alla temperatura e all'umidità del sito di intervento. Il seguente diagramma mostra quanto queste diverse strategie possono ampliare l'intervallo di comfort per le persone.

284. Differenti strategie di raffrescamento passivo possono ampliare l'area di comfort.

#### Psychrometric Chart

- Weather
- Comfort Zone (Baseline)
- + Thermal Mass
- + Natural Ventilation
- + Mass + Night Purging



## **Quando non usare la ventilazione naturale**

I siti con alti livelli di rumore acustico, come le aree vicino ad arterie trafficate, possono essere meno adatte alla ventilazione naturale, perché le grandi aperture nell'edificio possono rendere difficile la protezione dai rumori esterni. Inoltre, i siti con cattiva qualità dell'aria, come ad esempio quelli adiacenti le autostrade trafficate, possono anche essere meno desiderabili per la ventilazione naturale.

## **Quantificare l'efficacia della ventilazione**

Per misurare l'efficacia delle strategie di ventilazione, è possibile misurare sia il volume che la velocità del flusso d'aria. Il volume del flusso d'aria è importante perché determina il tasso d'aria viziata che può essere sostituito da aria fresca e determina quanto calore, o conseguenti perdite, guadagnano gli spazi. Il volume del flusso d'aria a causa del vento è:

$$Q_{\text{wind}} = K \times A \times V$$

$Q_{\text{wind}}$  = portata volumetrica d'aria ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$K$  = coefficiente di efficacia (senza unità)

$A$  = zona di apertura, di ingresso ( $\text{m}^2$ )

$V$  = velocità del vento esterno ininterrotto ( $\text{km}/\text{h}$ )

Il coefficiente di efficacia ( $k$ ) è un numero da 0 a 1 che regola l'angolo del vento e altri fattori fluidodinamica, come la dimensione relativa alle aperture di ingresso e di uscita. Il vento che colpisce una finestra aperta con un angolo di incidenza di  $45^\circ$  avrebbe un coefficiente di efficienza di circa 0,4, mentre il vento che colpisce una finestra aperta direttamente a  $90^\circ$  avrebbe un coefficiente di circa 0,8.

Quando si posizionano le aperture di ventilazione, è necessario inserirle entrambe, le prese e gli sbocchi d'aria; spesso le due aperture non hanno la stessa area, quella di presa è più piccola.

## **Velocità dell'aria e temperatura negli edifici**

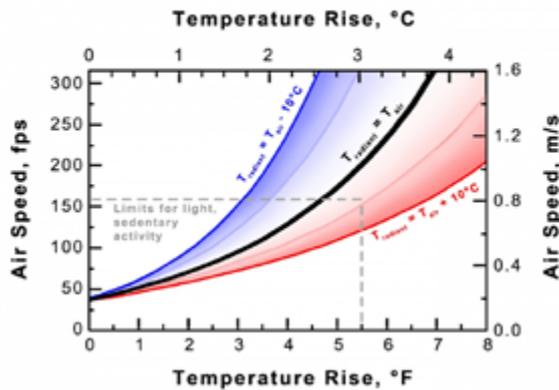
Oltre al volume, si dovrebbe controllare la velocità del vento all'interno dell'edificio. La velocità del vento è un componente del comfort e la sua desiderabilità dipende dal clima.

Una maggiore velocità provoca un raffrescamento più efficace, perché porta via velocemente l'aria calda e perché aiuta la sudorazione a essere più efficace facendola evaporare più velocemente. Una velocità del vento moderata può far percepire la temperatura più fresca di 5°C rispetto all'aria ferma.

Tuttavia, la capacità del movimento dell'aria per raffrescare le persone dipende se è l'aria stessa ad essere calda, o se le temperature radianti delle superfici a rendere la stanza calda; quando è l'aria stessa ad essere calda, è meno semplice raffrescare gli ambienti, quindi se le persone sono in un luogo caldo perché riscaldato dalle superfici radianti, è più facile ottenere il buon esito. Lo standard ASHRAE 55 fornisce le linee guida per la quantità di raffrescamento possibile attraverso diversi movimenti e velocità dell'aria, per le diverse temperature medie radianti. Un aumento di temperatura di 3°C può essere annullato con una velocità dell'aria di 0,8 m/s, quando la temperatura dell'aria è 5°C sotto la temperatura radiante ma se le temperature dell'aria è 5°C più calda della temperatura radiante, sarebbe necessario una velocità dell'aria di 1,6 m/s. Questo ultimo parametro è di gran lunga superiore a quello accettabile per gli ambienti di lavoro da ufficio.

285. La temperatura dell'aria confortevole e la velocità del vento dipende dalla temperatura media radiante.

**Comfort From Moving Air vs. Temperature Rise, For Different Radiant Temperatures**



È necessario fare in modo che la velocità del vento all'interno dell'edificio non sia così alta da disturbare gli occupanti (fare riferimento alla scala Beaufort vento). Riferendosi alla ASHRAE 55 per le linee guida in materia di comfort termico, per la velocità dell'aria negli spazi interni, lo standard suggerisce un limite appropriato di 0,2 m/s. La velocità massima consentita è di 1,5 m/s.

È anche fondamentale considerare la frequenza di ricambio d'aria in una stanza come una caratteristica importante della ventilazione. Il numero di volte che viene sostituita l'aria in una stanza è noto come ricambio d'aria orario, ACH, o tasso di ricambio d'aria.

Ci sono norme e raccomandazioni per quanta aria fresca esterna dovrebbe

essere consegnato a diversi spazi da costruzione e per le persone all'interno dell'edificio. Ad esempio, ASHRAE 62, 2001 specifica 0,35 ricambi d'aria all'ora per le aree residenziali ma specifica anche una portata minima volumetrica di 15 ft<sup>3</sup>/min (CFM) per persona. L'equazione è:

$$ACH = (Q/V) \times (\text{fattore di conversione})$$

Q = portata volumetrica di aria fresca.

V = volume di spazio nella stanza.

Fattore di conversione = se la portata volumetrica, o le scale temporali, o i volumi sono unità incongrue, si utilizza il fattore di conversione per uniformare il calcolo.

### Ventilazione da Vento

La ventilazione da vento è un tipo di ventilazione passiva che utilizza la forza del vento per far fluire l'aria attraverso l'edificio. Se l'aria si muove attraverso le aperture intenzionalmente per effetto del vento, allora l'edificio gode di ventilazione naturale. Questa tipologia di ventilazione è la forma più semplice, più comune e spesso meno costosa di raffreddamento passivo e per gli edifici.



286. Utilizzo del vento per il raffreddamento passivo e il ricambio d'aria.

Le strategie per la ventilazione da vento comprendono l'uso di finestre operabili, di feritoie per la ventilazione e prese d'aria sul tetto, così come le strutture aventi scopo di recepire le brezze. Le finestre sono lo strumento più comune. I sistemi più avanzati possono essere automatizzati e quindi regolare, tramite termostati, l'apertura e la chiusura di finestre o feritoie.

### **Strategie Per Ventilazione Da Vento**

Gli indirizzi chiave per una buona progettazione della ventilazione da vento sono l'orientamento dell'edificio e la volumetria, nonché il dimensionamento e il posizionamento delle aperture in modo appropriato, tutto in riferimento al clima. Al fine di massimizzare tale ventilazione, si desidera che vi sia una differenza di pressione tra il sopravvento (ingresso) e sottovento (uscita). In quasi tutti i casi, le alte pressioni si verificano sul lato sopravvento di un edificio e le basse pressioni si verificano sul lato sottovento.

Il clima locale può avere forti venti dominanti in una certa direzione, o brezze variabili, o può avere svariate condizioni di vento in tempi diversi, è opportuno quindi consultare i dati climatici e il diagramma del vento.

In estate, è solitamente utilizzato il vento per fornire aria più fresca possibile, mentre in inverno, la ventilazione da vento è normalmente ridotta ai livelli sufficienti solo per l'espulsione dell'umidità in eccesso e le sostanze inquinanti.

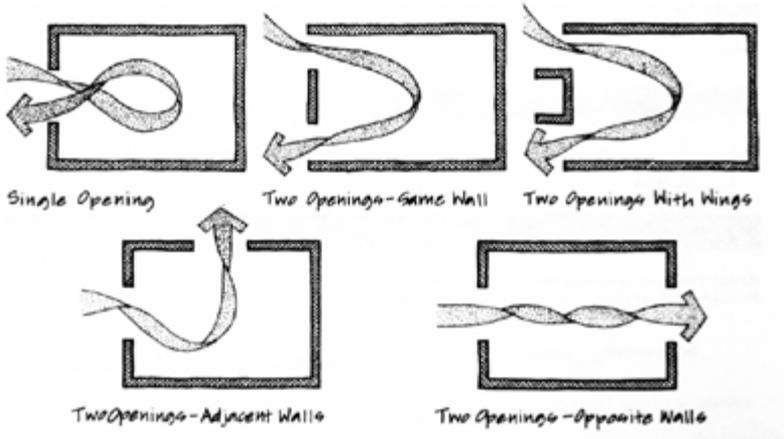
### **Site, Volumetria E Orientamento Per La Ventilazione Da Vento**

La volumetria e l'orientamento sono elementi importanti perché l'edificio, in altezza o in profondità, ha un ruolo enorme nella capacità di far fluire in modo efficace l'aria esterna attraverso gli spazi occupati. In sintesi, i piani superiori e i tetti sono esposti maggiormente al vento rispetto ai piani bassi e gli edifici con profili sottili posti verso il percorso dei venti prevalenti sono più facili da ventilare. Atri e spazi tipo open space contribuiscono ad una ventilazione più efficace.

### **Ventilazione Trasversale**

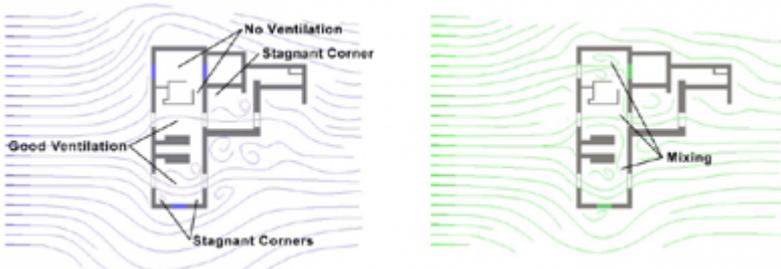
Quando si posizionano le aperture per la ventilazione, è necessario predisporre ingressi ed uscite per agevolare il percorso dell'aria attraverso l'edificio. Finestre o aperture posizionate su lati opposti della costruzione danno alla ventilazione naturale la possibilità di attraversare l'intera struttura. Questa predisposizione è chiamata ventilazione trasversale ed è uno dei sistemi di ventilazione più efficace.

287. La ventilazione trasversale (immagini in basso) è più efficace rispetto a quella con apertura su singola facciata (immagini in alto).



Generalmente è preferibile non posizionare le aperture esattamente una di fronte all'altra in uno spazio. Posizionare aperture frontali, ma non esattamente opposte, fa sì che l'aria della stanza si mescoli, distribuendo meglio il raffreddamento. Inoltre, è possibile aumentare la ventilazione trasversale attraverso aperture più grandi sulle facce sottovento dell'edificio che sulle facce sopravvento e ponendo insenature in zone a pressione più elevate e le prese d'aria in zone a pressione inferiore.

288. Diverse quantità di ventilazione e di miscelazione dell'aria mediante l'apertura di differenti finestre.



Il posizionamento di insenature nella parte bassa e nella parte alta della stanza può raffreddare gli spazi in modo più efficace, perché sfruttano la convezione naturale dell'aria (l'aria più fredda, in quanto più pesante, scende verso il basso, mentre l'aria più calda sale); pertanto, localizzare le aperture di presa nella parte bassa aiuta a spingere l'aria fredda attraverso lo spazio, mentre localizzare l'estrazione in alto aiuta a far fuoriuscire l'aria più calda dall'ambiente.

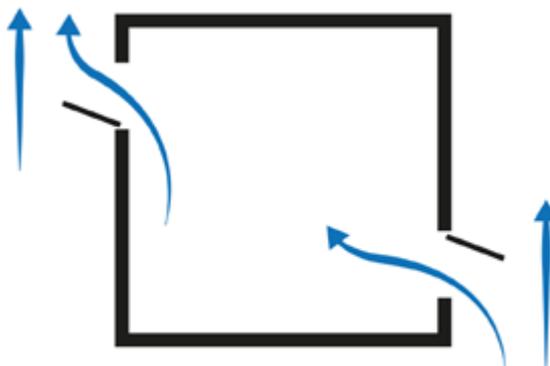
289. Anche l'altezza delle aperture influisce sulla ventilazione passiva.



### Direzionare le brezze

Non tutte le parti degli edifici possono essere orientate per favorire la ventilazione trasversale. Ma il vento può essere direzionato da elementi architettonici, quali finestre a battente, pareti, recinzioni e vegetazione strategicamente piantumata. Caratteristiche architettoniche possono prelevare l'aria per la ventilazione di una stanza, il sistema può essere migliorato ponendo le stesse strutture sulle pareti opposte ma rivolte in direzioni contraria al vento.

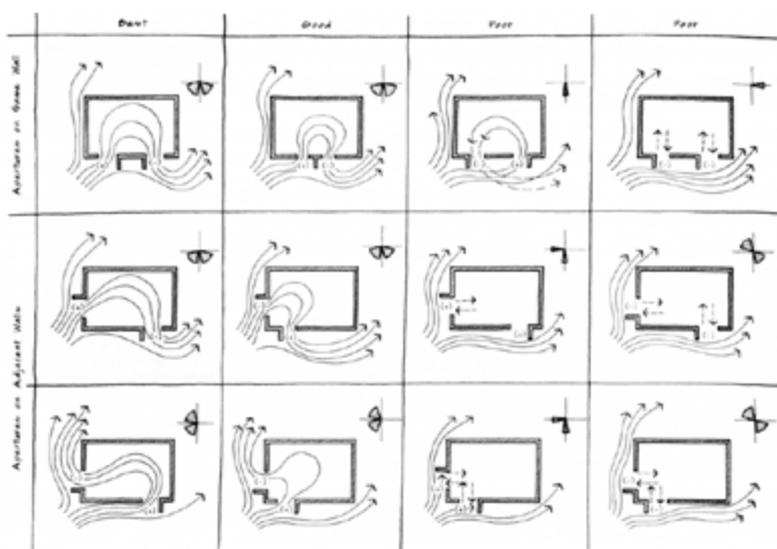
290. Le strutture edilizie possono reindirizzare i venti dominanti per la ventilazione trasversale.



### Pareti che favoriscono la ventilazione

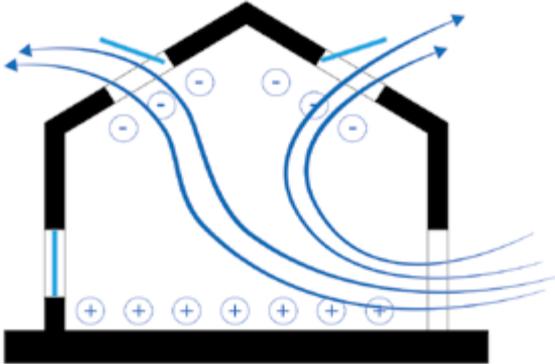
Le pareti, o ali, proiettate verso l'esterno accanto a una finestra, fanno in modo che anche una leggera brezza contro il muro crea una zona di alta pressione su un lato e bassa sull'altro. Il differenziale di pressione fa in modo che l'aria sia aspirata dall'esterno attraverso una finestra aperta e fuoriesca da quella su una parete adiacente. Tali pareti sono particolarmente efficaci nei luoghi con velocità dell'aria esterna bassa e direzioni del vento variabile.

291. Diverso posizionamento di pareti rispetto ai venti, con esiti differenti (favorevole e sfavorevole).



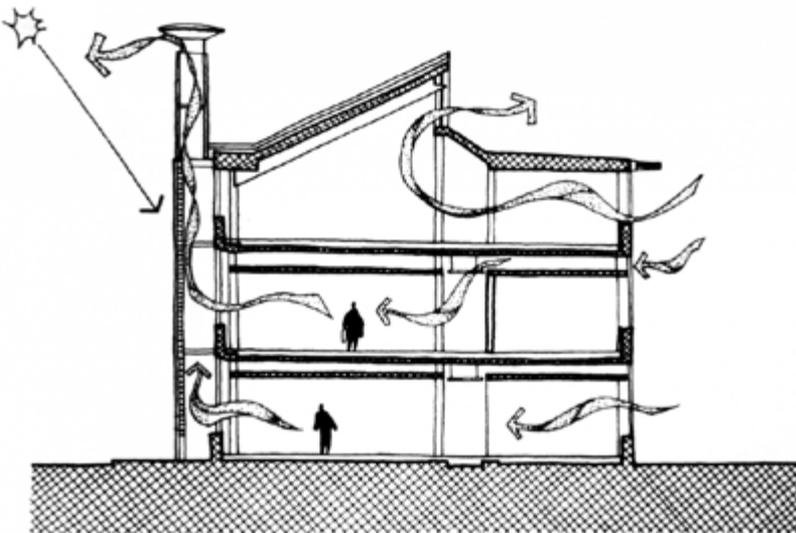
## Effetto camino e principio di Bernoulli's

L'effetto camino e il principio di Bernoulli sono due tipi di ventilazione passiva che utilizzano differenze di pressione dell'aria causate dall'altezza per estrarre l'aria fuori dall'edificio. Basse pressioni nella parte superiore dell'edificio contribuisce a spingere l'aria verso l'alto. La differenza tra l'effetto camino e il principio di Bernoulli è dove avviene la variazione di pressione.



292. Basso pressione dell'aria ad altezze più elevate possono passivamente spingere l'aria fuori dall'edificio.

L'effetto camino utilizza le differenze di temperatura per spostare l'aria. L'aria calda sale perché è a pressione inferiore. Per questo motivo, il sistema, talvolta è chiamato ventilazione galleggiante.



293. L'effetto camino: l'aria calda sale a causa del galleggiamento, e la sua bassa pressione aspira l'aria fresca dall'esterno.



294-295. Speciali captatori del vento nel quartiere BedZED, incanalano i venti più veloci sui tetti per la ventilazione passiva.

Il principio di Bernoulli utilizza le differenze di velocità del vento per spostare l'aria. È un principio generale di fluidodinamica, che associa alla velocità dell'aria le differenze di pressione, ad una maggiore velocità corrisponde una minore pressione. L'aria esterna aumenta la sua velocità all'aumentare della distanza dal suolo, quindi è più veloce dell'aria vicina al suolo ma con una pressione più minore. Questa differenza di pressione può contribuire a spingere l'aria fresca attraverso l'edificio. I dintorni di un edificio possono influenzare notevolmente su questa strategia, causando più o meno ostruzioni. Il vantaggio del principio di Bernoulli sull'effetto camino è che moltiplica l'efficacia della ventilazione. In molti casi, una progettazione efficace richiede la combinazione di entrambi i sistemi, ma alcune strategie possono enfatizzare maggiormente uno o l'altro sistema.

Ad esempio, i cappucci aerodinamici appositamente progettati per lo sviluppo del BedZED utilizzano i venti più veloci per la ventilazione passiva (principio di Bernoulli) ma sono dotati sia del sistema di aspirazione che di scarico (effetto camino).

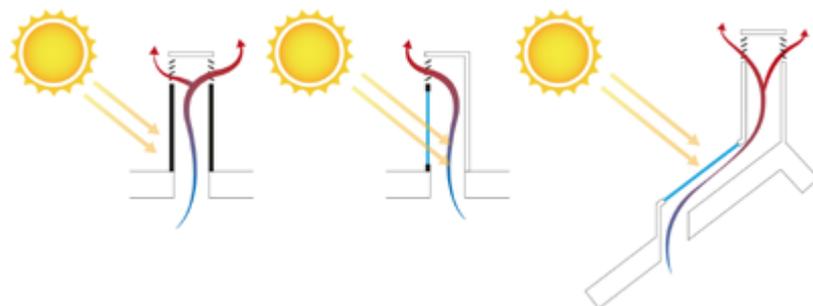
Dopo la ventilazione diretta, l'effetto camino è la forma più comunemente usata per la ventilazione passiva. Anche il principio di Bernoulli può essere estremamente efficace e poco costoso da implementare. In genere, durante la notte, le velocità del vento sono più lente, quindi l'effetto Bernoulli è meno efficace. Pertanto, l'effetto camino è una strategia importante.

### Strategie per l'effetto camino e il principio di Bernoulli

Progettare per l'effetto camino e il principio di Bernoulli è simile. In entrambe le strategie, generalmente l'aria fredda viene aspirata attraverso le aperture di aspirazione in basso e defluisce attraverso le aperture in alto. Il tasso di ventilazione è proporzionale all'area delle aperture. Le aperture nella parte superiore e inferiore devono essere approssimativamente della stessa dimensione in modo da incoraggiare anche il flusso d'aria verticale.

Una regola comune nella progettazione di questi sistemi è quella di avere una grande differenza di altezza tra le prese d'aria e le uscite. Più grande è la differenza, migliore è la resa.

296. Effetto camino con radiazione solare.



La radiazione solare può essere utilizzata per migliorare la ventilazione dell'effetto camino. Permettendo la radiazione solare del camino, ponendo per esempio dei vetri in direzione dell'equatore, è possibile riscaldare le superfici interne, aumentando così la temperatura che accelererà l'effetto camino tra le aperture superiori e inferiori.

L'installazione di prese d'aria per ventilare passivamente gli spazi del sottotetto in climi caldi, è una strategia di progettazione importante che migliora anche l'effetto camino ma che viene spesso trascurata.

Per consentire la regolazione della portata d'aria di raffrescamento, necessario al camino di ventilazione e ai sistemi Bernoulli, le aperture di ingresso devono essere regolabili con finestre operabili o feritoie di ventilazione. Tali sistemi possono essere meccanizzati e controllati da termostati per ottimizzare le prestazioni.

L'effetto camino e l'effetto Bernoulli possono essere combinati con la ventilazione trasversale.

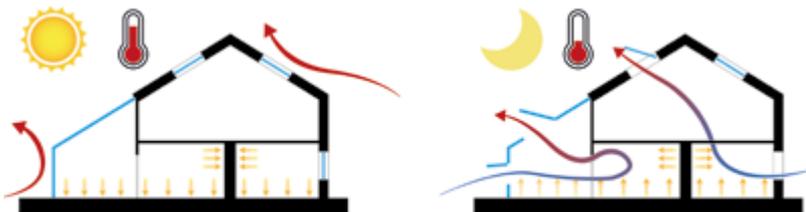


297. Camino solare rispetto ad un muro di Trombe.

## Dissipazione notturna

La dissipazione notturna è una strategia di ventilazione che mantiene le finestre, e le altre aperture di ventilazione, chiuse durante il giorno ma aperti di notte, per scaricare l'aria calda e il calore della massa termica fuori dall'edificio.

La ventilazione notturna è utile quando le temperature dell'aria del giorno sono eccessivamente calde e quelle notturne più fresche. Questa strategia può fornire una ventilazione passiva che altrimenti sarebbe stata impossibile, dato l'eccesso di calore giornaliero.



298. Durante il giorno, la massa termica assorbe il calore; di notte viene raffreddato dall'aria esterna.

Questi sistemi hanno alcune limitazioni dovute al clima, problemi di sicurezza, e fattori di usabilità.

Climaticamente, è adatto solo per climi dotati di sbalzi termici tra il giorno e la notte, dove le temperature notturne sono al di sotto di 20 - 22°C. Se l'edificio è occupato durante la notte, come per le residenze, la ventilazione non dovrebbe raffrescare al punto da arrecare disagio per gli occupanti.

Per l'usabilità può essere un problema, come l'apertura e la chiusura di tutte le aperture nei tempi dovuti. Questo può essere risolto con finestre meccanizzate o feritoie di ventilazione, comandate da un sistema di controllo guidato da un termostato o da un timer.

Un altro problema di usabilità è dovuto alla possibilità di piogge durante la notte, che possono danneggiare le finiture interne.

Altra limitazione può essere legata alla sicurezza, soprattutto in edifici non occupati durante la notte. Questo può essere superato con strutture e strumenti di sicurezza adeguati.

## **RAFFRESCAMENTO DELL'ARIA**

Nei climi particolarmente caldi è spesso necessario raffrescare l'aria prima di immetterla negli ambienti interni, per evitare all'aria calda esterna di entrare nell'edificio, particolarmente in climi caldi e secchi. Il raffrescamento passivo dell'aria in entrata prima di essere aspirata nell'edificio può essere ottenuto mediante evaporazione e/o raffrescamento geotermico.

### **Raffrescamento evaporativo**



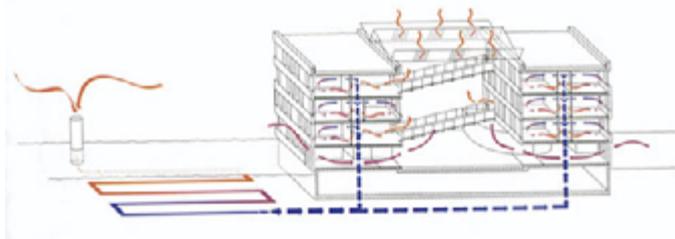
299. Una fontana nel cortile della Alhambra raffresca l'aria prima che entri nell'edificio.

L'aria aspirata è presa sul lato dell'edificio rivolto verso il sole e viene fatta passare per il raffrescamento sopra uno stagno o acqua nebulizzata o attraverso ampie aree di vegetazione; questo sistema fa cedere all'aria parecchi gradi rispetto alla temperatura esterna, prima di essere immessa negli spazi occupati.

### **Raffrescamento geotermico**

La presa d'aria può essere effettuata lontano dall'edificio per poi farla passare attraverso condotti sotterranei. L'aria cede parte del suo calore alle superfici su cui passa. Il terreno gode del beneficio di avere una temperatura pressoché costante durante tutto l'anno, quindi questo sistema è sempre utilizzabile

fornendo raffrescamento in estate e riscaldamento in inverno. Spesso il sistema richiede un ventilatore alimentato a pompa ed è ideale per i climi secchi.



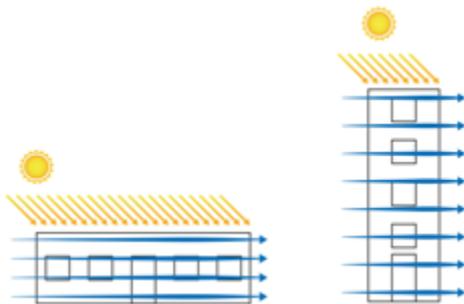
300. Sistema di raffrescamento geotermico, Federal Environmental Agency di Dessau.

## VOLUMETRIE E ORIENTAMENTO PER IL RAFFRESCAMENTO

Come già descritto anche per il riscaldamento passivo, la volumetria e l'orientamento sono importanti fattori di progettazione da considerare per il raffrescamento passivo, in particolare per la ventilazione naturale diretta. Come regola generale, gli edifici sottili e alti incoraggiano la ventilazione naturale, utilizzando i venti dominanti per la ventilazione trasversale e l'effetto camino.

### Strategie volumetriche per il raffrescamento passivo

Gli edifici sottili aumentano la differenza tra la superficie e il volume. Questo renderà l'utilizzo della ventilazione naturale per il raffrescamento passivo più semplice. Al contrario, una planimetria profonda renderà difficile la ventilazione naturale, soprattutto nel nucleo dell'edificio sarà necessario l'uso di ventilazione meccanica. Gli edifici alti aumentano l'efficacia della ventilazione naturale, perché, come descritto, il vento raggiunge maggiori velocità con l'aumento dell'altezza; questo non solo migliora la ventilazione trasversale ma anche la ventilazione da effetto camino.



301. Edifici alti migliorano la ventilazione naturale e in latitudini più basse riducono anche l'esposizione al sole.

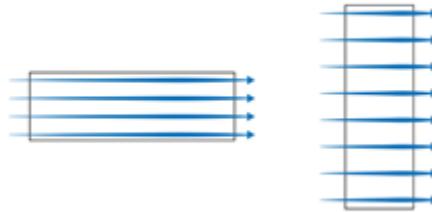
Mentre gli edifici sottili e alti possono migliorare l'efficacia della ventilazione naturale per raffrescare gli edifici, possono anche aumentare l'area esposta per il trasferimento di calore attraverso l'involucro edilizio. A volte questo è un bene, altre no.

### Strategie di orientamento per il raffrescamento passivo

Gli edifici dovrebbero essere orientati per massimizzare i benefici delle fresche brezze nei periodi caldi ma allo stesso tempo proteggersi dai venti indesiderati nella stagione fredda. A questo proposito è indispensabile studiare la rosa dei venti prevalenti durante tutto l'anno, per capire quali venti sfruttare e da quali proteggersi, non dimenticando che la direzione dei venti prevalenti, elencate dai dati meteorologici, potrebbero non essere le reali direzioni dei venti prevalenti, questo dipende dagli ostacoli del sito, come alberi o altri edifici.

Generalmente, orientando l'edificio in modo che il suo asse più corto sia allineato con i venti dominanti, fornirà la maggior ventilazione, mentre orientandolo perpendicolarmente ai venti dominanti, fornirà meno ventilazione passiva.

302. Orientamento per la massima e la minima ventilazione passiva.



L'efficacia delle strategie di posizionamento con le proprie aperture può essere stimato. Ecco alcune regole pratiche per due scenari in cui le finestre si trovano ad affrontare la direzione del vento dominante:

- Per gli spazi con finestre su un solo lato, la ventilazione naturale non raggiungerà più di due volte la distanza tra il pavimento e il soffitto all'interno dell'edificio.
- Per gli spazi con finestre poste sui lati opposti, il limite naturale di efficacia della ventilazione sarà inferiore a cinque volte la distanza tra il pavimento e il soffitto all'interno dell'edificio.

Tuttavia, gli edifici non devono obbligatoriamente essere esposti direttamente al vento per ottenere una buona ventilazione trasversale. Gli spazi interni e gli elementi strutturali possono essere progettati per incanalare l'aria attraverso l'edificio in direzioni diverse.

#### **4.4.4 ILLUMINAZIONE NATURALE**

Il sole è una risorsa prevedibile e molto affidabile che, oltre al calore, fornisce anche il quantitativo utile all'illuminazione naturale degli edifici.

L'illuminazione naturale è un altro dei componenti fondamentali per la progettazione di edifici ad alta efficienza energetica. Questa risorsa, che utilizza la luce del sole per illuminare l'edificio, è un modo efficace sia per diminuire il consumo energetico dell'edificio che a rendere l'ambiente interno più confortevole per le persone. Negli edifici commerciali, l'illuminazione elettrica rappresenta dal 35 al 50% del consumo totale di energia elettrica. L'uso strategico della luce naturale può ridurre sensibilmente questa domanda energetica. Anche quando non è possibile utilizzare l'illuminazione diurna, un buon progetto di illuminazione è in grado di ridurre il consumo energetico in modo significativo. La luce naturale migliora anche il comfort e la produttività delle persone. Entrambi sono importanti per gli edifici a zero consumo energetico.

### **FONDAMENTI DI LUCE**

Il comfort visivo è misurato dai livelli e dalla distribuzione dell'illuminazione. Questo include non solo la luminosità delle fonti di luce, ma anche i suoi colori e la qualità distributiva all'interno degli spazi. L'obiettivo è quello di illuminare le attività senza utilizzare troppa energia elettrica o causare abbagliamento. Infatti, un buon progetto di illuminazione, guidato da programmi di modellazione e simulazione, tende al raggiungimento del comfort visivo, equilibrando il rapporto tra la luce naturale e quella artificiale.

#### **Misurare i livelli di luce**

Per progettare in funzione del comfort visivo, è necessario sapere come misurare la luce. La misurazione e la percezione della luce possono essere un argomento da approfondire, e un'analisi efficace della luce del giorno richiede di essere precisi con i termini e le metriche utilizzate.

#### **Metriche di base**

La "luminosità" può avere aspetti diversi: ad esempio, la quantità di luce proveniente da una sorgente luminosa è il flusso luminoso (lumen), la quantità di luce che cade su una superficie è l'illuminamento (lux), e la quantità di

luce riflessa da una superficie è la luminanza ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Tali quantità sono diverse perché quanto più una superficie è lontana da una sorgente luminosa meno luce cade sulla superficie, e ad una superficie più scura corrisponde una luce meno riflettente. Questo perché la luce segue la legge dell'inverso del quadrato. Per esempio, una sorgente puntiforme come una candela che provoca un illuminamento di 1 lux su un oggetto a un metro di distanza, causerebbe un'illuminazione di  $1/4$  lux sullo stesso oggetto a due metri, o  $1/9$  lux sull'oggetto quando è a 3 metri di distanza.

303. Essere precisi sulle metriche dell'illuminazione è importante.



a. *Flusso Luminoso e Intensità = Luce proveniente da una sorgente*

La quantità di luce che viene emessa da una sorgente specifica, in tutte le direzioni, è chiamata flusso luminoso (o “potenza luminosa”) ed è una misura della potenza totale di luce percepita. Viene misurata in lumen. I lumen sono una metrica utile per confrontare quanto è brillante una sorgente luminosa (ad esempio una lampadina a incandescenza da 60W è di circa 850 lumen).

L'occhio umano percepisce la luce all'interno dello “spettro visibile”, un intervallo compreso tra le lunghezze d'onda di circa 390nm (viola) e 700nm (rosso). Gli esseri umani percepiscono alcune lunghezze d'onda più forte. Il flusso radiante è una misura correlata che quantifica la potenza totale della radiazione elettromagnetica da una sorgente (non solo luce visibile - anche infrarossa e ultravioletta), e viene misurata in watt.

La quantità di luce che viaggia in certe direzioni dalla sorgente viene chiamato “intensità luminosa” e viene misurata in candele. Una candela emette circa un candela in tutte le direzioni (questa candela emetterebbe un totale di 12,6 lumen).

*b. Illuminamento = Luce che cade su una superficie*

La quantità di luce che cade su una superficie è l'“illuminamento”, ed è misurato in lux (unità = lumen/m<sup>2</sup>) o ft-candele (unità inglese = lumen/ft<sup>2</sup>). 1 ft-candela è uguale a 10,8 lux. Questa è la misura più importante per ottimizzare il comfort visivo, anche i regolamenti e le norme edilizie usano l'illuminamento per indicare i livelli di luce minimi per le attività e gli ambienti specifici.

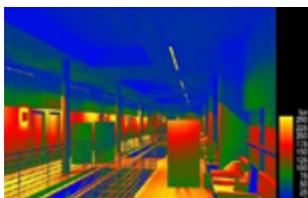
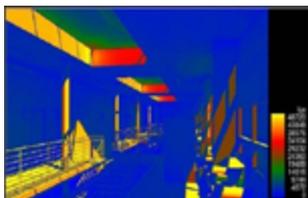
Questo valore non dipende dalle proprietà della superficie del materiale da illuminare. Tuttavia, la quantità di luce su una superficie dipende anche da quanta luce viene riflessa da altre superfici intorno. La luminosità del cielo è spesso somministrata usando valori di illuminamento misurati su un piano orizzontale senza ostacoli. Alcuni livelli di illuminazione comuni sono nella tabella sottostante:

Condizione	Illuminazione (lux)
Completa luce diurna	10.752
Giorno coperto	1.075
Giornata molto scura	107
Crepuscolo	10,8
Profondo crepuscolo	1,08
Notte di luna piena	0,108
Notte con quarto di luna	0,0108
Notte con luce da stelle	0,0011

*c. Livelli di illuminazione confortevoli*

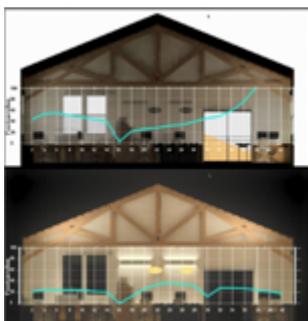
I valori sopra rappresentano l'illuminazione totale disponibile dal cielo. Come progettisti, il compito è quello di fare in modo che gli occupanti degli edifici abbiano il giusto livello di luce per lo svolgimento delle loro attività, cercando di ottenere il maggior quantitativo di luce possibile dal sole. Questi livelli sono solitamente misurate su una superficie di lavoro nella costruzione.

Le aree possono essere troppo scure o troppo chiare, i livelli dipendono dalla funzione svolta nell'ambiente. La luminosità necessaria per fare gioielli o assemblare componenti elettronici è di gran lunga superiore alla luminosità desiderata per camminare in modo sicuro all'interno di una stanza. Quanto segue è una tabella di livelli di luce comunemente raccomandati per le diverse attività.



304-305. Il rendering di sopra mostra solo l'illuminazione diurna, quello di sotto solo l'illuminazione elettrica.

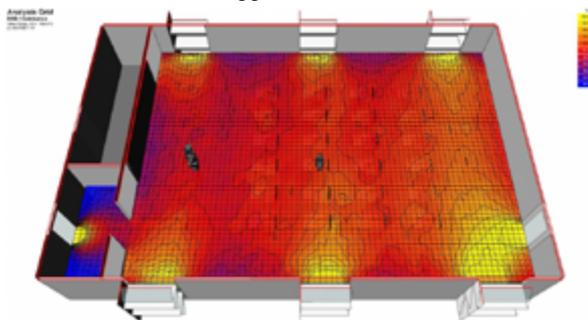
Standard di illuminamento (lux)	Caratteristiche dell'attività	Attività rappresentativa
50	Interni raramente utilizzati per compiti visivi (nessuna percezione dei dettagli)	Gallerie, marciapiedi e parcheggi di notte
100 - 150	Interni utilizzati con minima richiesta di attività visiva (percezione limitata dei dettagli)	I corridoi e gli spogliatoi
200	Interni con scarsa domanda di visibilità (qualche percezione dei dettagli)	Atrii e ingressi, sale da pranzo, magazzini e servizi igienici
300	Interni con qualche domanda di visibilità (spazi spesso occupati)	Biblioteche, spazi didattici e aule
500	Interni con moderata domanda di visibilità (basso contrasto)	Lavoro al computer, per la lettura e la scrittura, gli uffici generali, negozi al dettaglio e cucine
750	Interni con buona domanda di visibilità (interni invitanti)	Uffici di disegno, catene di negozi e in generale il lavoro di elettronica
1000	Interni con superiore domanda di visibilità (Preciso giudizio del colore e contrasto basso)	Assemblaggio elettronico dettagliato, redazione, ebanisteria e supermercati
1500 - 2000 +	Interni in cui la domanda è di massima visibilità (basso contrasto, dispositivi ottici e illuminazione locale)	Sartoria a mano, assemblaggio di precisione, stesura dettagliata e assemblaggio dei meccanismi di orologi



306. Valori di illuminamento tracciati su una sezione trasversale della superficie di lavoro all'interno di un ufficio, durante il giorno e la notte.

#### d. Misura dell'illuminamento con i software

Con vari software disponibili è possibile effettuare un'analisi dell'illuminazione; quest'analisi mostra il valore effettivo della luce che cade su una superficie critica come scrivanie, pareti e piani di calpestio. A seconda dei livelli di illuminamento richiesti per un particolare uso o attività, è possibile utilizzare questi rendering quantitativi per capire se lo spazio è adeguatamente illuminato o se si necessita di maggiore attenzione. Nell'analisi della luce naturale, spesso si desidera mappare l'illuminazione sopra lo spazio, per vedere come "cade" la luce dalle finestre e altre fonti di luce. Le immagini qui sotto mostrano un grafico dei livelli di illuminamento delle superfici di lavoro tracciate su delle sezioni. Questi grafici mostrano se le superfici di lavoro sono raggiunte da livelli di illuminazione adeguati.



307. Valori di Illuminamento sul piano di lavoro di una classe.

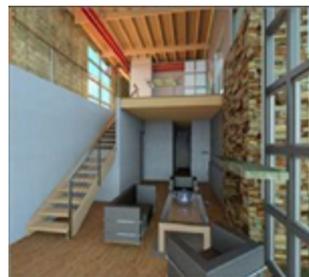
e. *Luminanza = Luce riflessa da una superficie*

La luminanza è la luce riflessa da una superficie ed è misurata in candele per metro quadrato (cd/m<sup>2</sup>).

I valori di luminanza vengono spesso usati per studiare la qualità visiva di uno spazio. I software di rendering visivi, come 3ds Max, si basano su questo fattore per restituire una buona idea di come lo spazio sarà illuminato in base alle scelte delle sorgenti di luce e i materiali.

Mentre luminanza è molto utile per comprendere le misure qualitative del successo di un progetto, non è una buona misura per valutare la quantità di luce.

I rendering di luminanza sono utili per la comprensione la qualità della distribuzione della luce e dell'abbigliamento ma non per capire se lo spazio è abbastanza illuminato per la sua destinazione d'uso.



308-309. In alto un Rendering di giorno, in basso un rendering di notte.

### Le misure utilizzate nella progettazione diurna

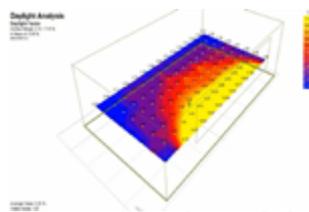
Sulla base di queste misure, per i progetti di illuminazione si possono utilizzare alcuni parametri aggiuntivi, come il fattore di luce diurna (FLD) e l'autonomia dovuta alla luce del giorno, che aiutano ad ottimizzare e a comunicare la quantità e la qualità della luce diurna all'interno di uno spazio. Questo è importante perché la disponibilità di luce può cambiare molto durante il giorno e in base alle condizioni di cielo.

#### Fattore di luce diurna

I livelli di illuminamento diurno in uno spazio possono variare notevolmente a causa della nuvolosità e della posizione rispetto al sole. Per far fronte a queste condizioni di cielo molto variabili, si utilizza per il calcolo dell'illuminamento il fattore di luce diurna. I fattori di luce diurna sono espressi come la percentuale di luce naturale che cade su una superficie di lavoro rispetto a quello che sarebbe caduto su una superficie orizzontale completamente libera e con le stesse condizioni di cielo. Il fattore di luce diurna viene analizzato in un punto, ma questi valori sono spesso una media o sono visualizzati su una griglia.

Un fattore di luce diurna pari al 5%, su una superficie interna, significa che esso ha ricevuto 1/20 della luce naturale massima disponibile.

Per riferimento, una camera che ha un FLD inferiore al 2% è considerata poco illuminata, camere con un FLD tra il 2% e il 5% sono considerate ideali per le attività che comunemente si verificano negli ambienti chiusi e per camere con fattori di luce diurna superiori al 5% è importante prendere in considerazione le esigenze termiche, perché le grandi vetrate possono causare



310. Fattori di luce diurna calcolati e visualizzati con Ecotect.

grandi perdita di calore durante l'inverno e il surriscaldamento estivo. I fattori di luce diurna sono generalmente calcolati utilizzando di serie un cielo coperto, in modo da progettare avendo di riferimento lo scenario peggiore. La distribuzione della luce in un cielo coperto viene considerata uniforme, a causa di questo e del fatto che il FLD è calcolata come percentuale, gli unici parametri che influenzano i fattori di luce diurna sono la geometria della camera e i materiali che la compongono. Non dipenderà quindi dall'orientamento o dalla posizione.

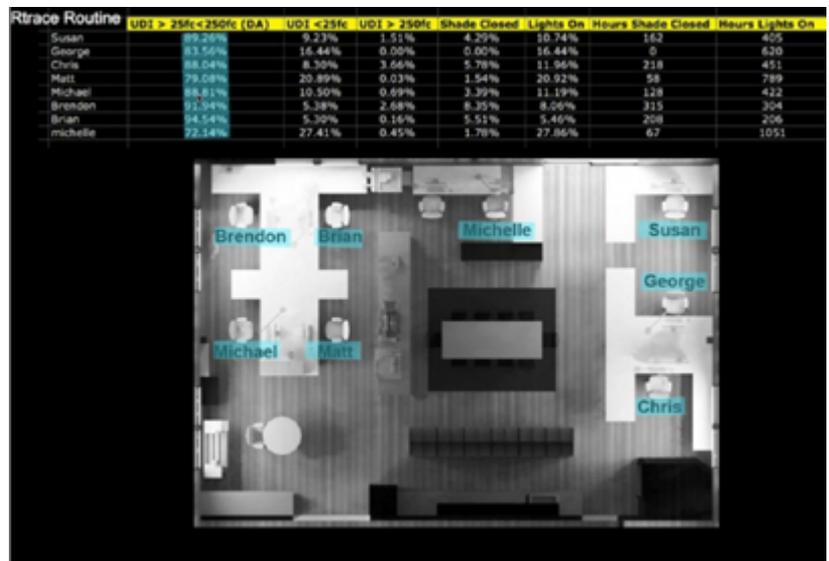
### Autonomia di luce naturale (DA) e illuminamento diurna utile (UDI)

L'autonomia di luce naturale (DA) è la percentuale delle ore di lavoro in cui le esigenze di illuminazione sono soddisfatte solo dalla luce del giorno. Viene misurata confrontando il requisito minimo di illuminamento su un piano di lavoro nel tempo. Si tratta di una metrica molto popolare che indica spesso dove posizionare le luci per soddisfare i requisiti di illuminazione.

L'illuminamento diurna utile (UDI) misura la percentuale di tempo per il quale uno spazio riceve un adeguato illuminamento giornaliero, ma quantifica anche quando i livelli di luce sono troppo alti o troppo bassa. UDI si basa su tre condizioni standard:

- Con meno di 100 lux, la luce del giorno non è sufficiente.
- Tra il 100 lux e il 2000 lux risulta utile la luce naturale.
- Con più di 2000 lux vi è troppa luce con la possibilità di disagio visivo e termica.

311. L'UDI misurata in diverse aree di lavoro all'interno di un edificio per uffici. Immagine da Useful Daylight Illuminance, prodotta da Loisos + Ubbelohde.



## 4.4.5 CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE

L'uso della luce naturale negli edifici è una strategia chiave per la progettazione passiva. Lasciar entrare il sole nell'edificio ha un impatto positivo sul comfort visivo, così come per il comfort termico. Capire come la luce del sole entra in un edificio così come il modo di utilizzare tale luce una volta dentro l'edificio, sono considerazioni importanti per un'illuminazione diurna di successo.

Come la maggior parte delle cose, l'illuminazione diurna comporta vantaggi e svantaggi. Diventare abili a comprendere le componenti tecniche dell'illuminazione diurna aiuta nel massimizzare i vantaggi e minimizzare gli svantaggi.

Vantaggi	Svantaggi
Efficienza termica	Controllo
Efficienza luminosa	Distribuzione
Resa cromatica	Variabilità
Durata delle lampade	Previsione
Modellazione della forma	Notte
Connettersi all'ambiente	Bagliore
Percezioni neutrali	Costo dei sistemi

312. Vantaggi e svantaggi di illuminazione diurna, adattato da Leonard Bachman dell'Università di Houston.

## LUCE DEL SOLE E LUCE DIURNA

La luce solare è considerato come la luce che entra in uno spazio direttamente dal sole. Questo tipo di luce non è generalmente buona per illuminare uno spazio interno. La luce solare diretta può produrre abbagliamento e guadagno di calore eccessivo.

La luce diurna, invece, è la luce naturale desiderabile in uno spazio. I risultati percettivi della luce diurna sono di distribuzione uniforme, infatti, con essa si evitano gli tutti effetti della luce solare diretta, come l'abbagliamento.

Anche se la luce naturale proviene dal sole, non è necessario il sole diretto per la progettazione della luce naturale. La luce naturale è la luce diffusa dal cielo, la luce solare è luce diretta del sole stesso.

## CONDIZIONI DEL CIELO

La disponibilità di luce è dettata dalle condizioni del cielo in un determinato momento; che è principalmente controllata dalla densità della nuvolosità. La Commissione internazionale per l'illuminazione (CIE) classifica i quindici

diversi tipi di condizioni di cielo che possono essere associati a diverse distribuzioni di luminanza.

Nell'ambito dell'illuminazione diurna è importante progettare tenendo conto di una serie di condizioni. Questo significa che bisogna analizzare una vasta gamma di condizioni del cielo, non solo un cielo luminoso e chiaro; una buona analisi prenderà in considerazione tanto il cielo luminoso e chiaro che il cielo coperto.

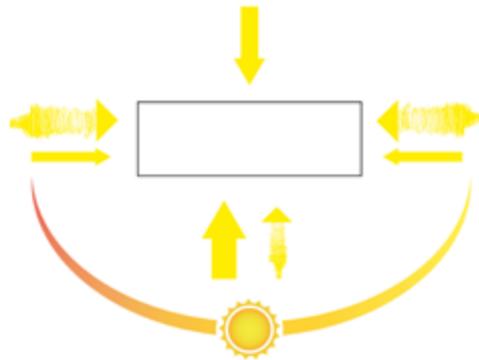
### **Volumetrie e orientamento per il controllo della luce naturale**

Anche in questo caso, la volumetria e l'orientamento sono importanti fattori di progettazione da considerare per il comfort visivo, o l'illuminazione diurna. Molte delle strategie sono simili a quelli per il riscaldamento passivo ma in questo caso bisogna tener conto di fattori diversi, come l'abbagliamento.

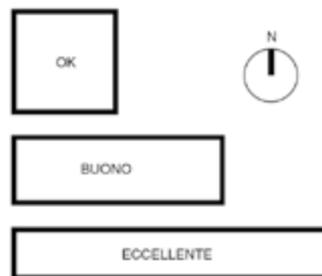
#### **Volumetria per il comfort visivo**

Può essere molto difficile da ottenere una luce diurna coerente con le schermature delle finestre est ed ovest. Tuttavia, il lato dell'edificio rivolto verso l'equatore può generalmente essere facilmente ombreggiato con sporgenze, mensole luminose o feritoie, evitando fenomeni di abbagliamento. Pertanto, in generale gli edifici che si trovano sviluppati lungo sul loro asse est-ovest sono favoriti per l'illuminazione diurna e il comfort visivo.

313. La luce diurna (freccie diritte) e riflessi indesiderati (freccie frastagliate), sulle diverse facciate di un edificio.



314. Migliori e peggiori volumetrie per l'illuminazione diurna.



Per una buona luce naturale, gli edifici più grandi e più alti dovrebbero avere profili più sottili, per massimizzare il potenziale della luce naturale dalle finestre laterali. Questo fornisce anche ulteriori opportunità per la visuale.

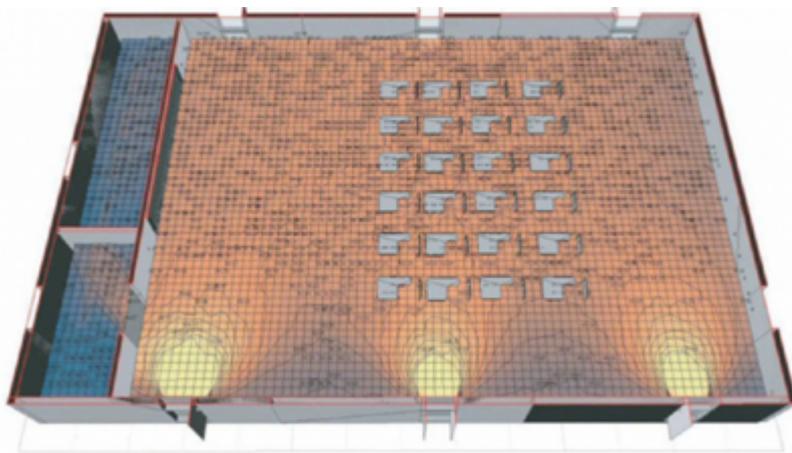
### **Orientamento per il comfort visivo**

Come per le volumetrie, per il comfort visivo gli edifici solitamente dovrebbero essere orientati secondo l'asse est-ovest piuttosto che nord-sud. Questo orientamento consente di sfruttare in modo coerente la luce diurna e controllando i fenomeni di abbagliamento.

### **Le aperture per il controllo della luce naturale**

La posizione e la dimensione delle aperture è molto importante se si desidera utilizzare la luce naturale nell'edificio. Come accennato precedentemente, le finestre e le altre aperture di fronte al percorso del sole ricevono più luce diretta del sole rispetto a quelle su fronti più lontani, tuttavia, più luce naturale non è un fattore necessariamente migliore. Eccessiva luce può provocare abbagliamento e surriscaldamento.

La luce uniformemente distribuita è fondamentale per una buona illuminazione naturale, quindi le aperture disposte su più lati dell'edificio sono spesso favorite.



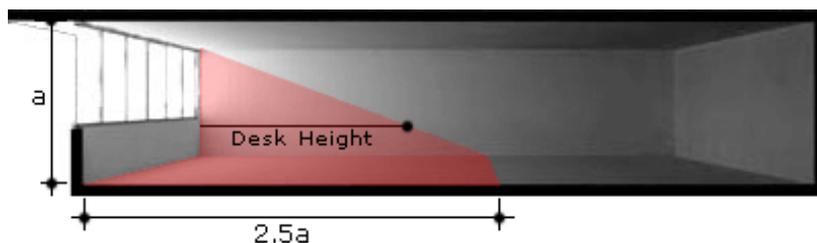
315. Finestre equamente distanziate, su due pareti, forniscono una luce ben distribuita.

### **Luce laterale**

La luce provenienti da aperture laterali è in grado di penetrare più profondamente in un edificio. Questo è il motivo per cui sono solitamente raccomandate. Una semplice regola pratica per la maggior parte delle latitudini è che la luce diurna penetra in una camera di circa 2,5 volte l'altezza

della stanza.

316. Distanza raggiunta in una stanza dall'illuminazione laterale.



Finestre rivolte verso il percorso del sole piuttosto che verso l'equatore contribuiscono a fornire un'illuminazione più uniforme, anche se non la più brillante. Oriente le finestre a est o ad ovest può fornire una luce molto intensa al mattino o alla sera, ma allo stesso tempo una luce insufficiente in altri momenti della giornata, oltre ad essere orientamenti molto inclini ad abbagliamento. Finestre che si affacciano verso l'equatore ottengono una luce più brillante ma molto più facile da controllare rispetto alle pareti est ed ovest.

### Lucernai

Le aperture nella parte superiore dell'edificio sono più efficaci nel portare la luce diurna in profondità negli ambienti interni. I lucernari non sono l'unico tipo di apertura utile a condurre la luce attraverso i tetti, vi sono numerose strategie "di illuminazione dall'alto". I sistemi di illuminazione dalla copertura, solitamente offrono maggiore illuminamento per unità di superficie rispetto alle aperture laterali. Queste soluzioni hanno però lo svantaggio di essere più costose.

### Reindirizzamento della luce

Il re-indirizzamento della luce è possibile con l'uso di elementi utili a far rimbalzare la luce solare in posizioni più desiderabili nell'edificio.

### Mensole per la luce

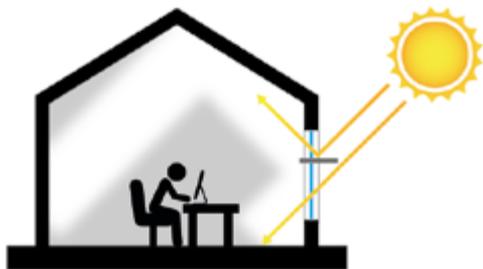
Per distribuire uniformemente la luce è spesso desiderabile far rimbalzare la luce su delle superfici. La luce solare diretta sulle superfici di lavoro è spesso causa di abbagliamento, questi dispositivi a mensola, oltre a risolvere il problema dell'abbagliamento, rimbalzano la luce all'interno degli ambienti verso l'alto, migliorando la penetrazione, la distribuzione della luce e quindi l'uniformità distributiva.

Una mensola per la luce è generalmente un elemento orizzontale posizionato



316. Mensole per la luce verticali semitrasparenti.

ad un'altezza superiore a quella degli occhi degli ospiti, questo elemento divide la finestra in un'area utile alla vista (sotto la mensola) e un'area adatta all'illuminazione naturale (sopra la mensola).



317. Una mensola per la luce evita l'abbagliamento e proietta la luce in profondità nella stanza.

Le mensole verticali sono più efficaci sulle pareti verso il percorso del sole, però, sulle facciate est ed ovest non possono rimbalzare la luce in modo efficiente come per il sud ma sono un mezzo efficace per ridurre il guadagno di calore diretto e riflesso.

Le mensole esterne riducono i carichi di raffrescamento e il guadagno solare, migliorando il compromesso tra esigenze di ombreggiatura e distribuzione della luce diurna.

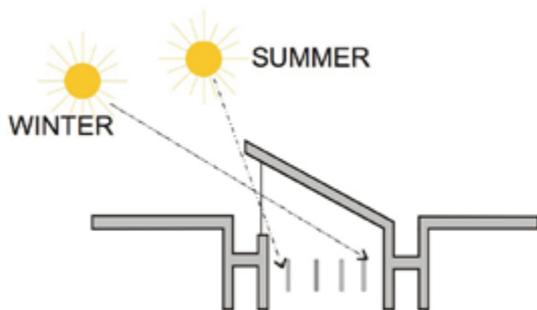
Le mensole orizzontali possono essere composti da molti materiali, quali legno, pannelli di metallo, vetro, plastica o tessuto. Le mensole verticali non hanno bisogno di essere opache.

#### a. Dimensionamento Delle Mensole

L'orientamento, l'altezza, il posizione (interno, esterno, o entrambi) e la profondità della mensola per la luce sono critici, le caratteristiche ottimali e il posizionamento dipende dal clima del sito e possono essere verificate preventivamente con opportuni software.

### Deflettori

Quando le mensole sono orientate verticalmente, sono note come setti. Sono utilizzati anche all'interno dei lucernari da tetto per distribuire meglio la luce diurna evitando l'abbagliamento.



318. I deflettori nei lucernai evitano l'abbagliamento da luce diretta.

## **SCHEDE DEGLI STRUMENTI INFORMATICI**

# EnergyPlus Weather

## Information Communication Technology (ICT)

Banca dati per le caratteristiche del vento

La disponibilità in rete di reperire qualsiasi dato climatico è ampia ma non completa e neanche di semplice reperibilità. Esistono per nostra fortuna dei particolari file, di cui i più usati sono i weather data e gli energyplus weater data (\*.wea, \*.epw), necessari per molti dei software di simulazione energetica, i quali contengono al loro interno una serie di informazioni riguardante tutti i dati climatici tra i quali, ad esempio, la posizione del sole, l'angolazione e l'intensità in un dato periodo dell'anno (passati e attuali). Questi file, circa 2600, sono reperibili nella banca dati del sito del U.S. Department of Energy e raggruppati in 6 Territori (link: <https://energyplus.net/weather> [https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zdqDZMXJ2fQ0.k-tquxyVhnJE&hl=en\\_US](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zdqDZMXJ2fQ0.k-tquxyVhnJE&hl=en_US)):

- Africa (WMO Region 1)
- Asia (WMO Region 2)
- South America (WMO Region 3)
- North and Central America (WMO Region 4)
- Southwest Pacific (WMO Region 5)
- Europe (WMO Region 6)



Anche se può sembrare una banca dati completa non è così, i dati riguardano solo le maggiori città, quindi le attuali disponibilità possono non essere utili ad uno specifico progetto. A questo punto è utile capire come creare un file tipo epw. Una volta acquisiti i dati necessari, operazione descritta successivamente, si apre un file climatico qualsiasi in formato epw con il programma "Blocco note" presente su tutti i computer nel quale, facendo attenzione che non sia spuntata l'opzione 'a capo automatico' sotto il comando "Formato", bisogna semplicemente compiere un'operazione di sostituzione dei dati.

Di seguito si ripropone l'esempio di una riga del file climatico di Napoli Capodichino, ogni riga corrisponde ad 1 ora:



# ENVI-met

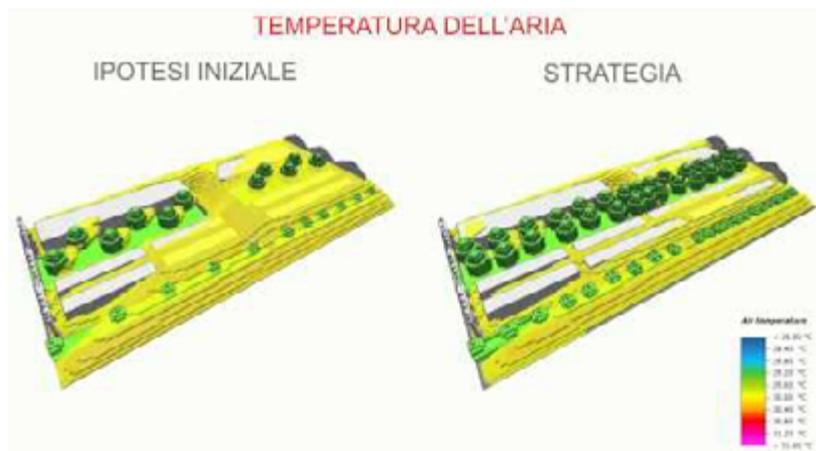
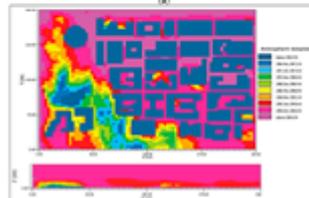
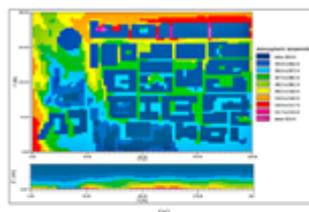
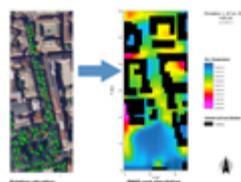
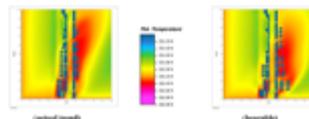
## Information Technology (IT)

### Analisi della temperatura e umidità in ambito urbano

“Le simulazioni con ENVI-MET aiuto a generare una mappa termica della struttura urbana come è oggi e aiuta ad identificare i luoghi in cui si può intervenire per migliorare la situazione attuale. Sulla base di queste mappe termiche, la simulazioni numeriche aiuta a selezionare le migliori riprogettazioni oltre a fornire i numeri scientificamente fondati per valutare tali effetti”.

(fonte: <http://www.envi-met.com/#section/2> )

ENVI-met è un software che utilizza un metodo di calcolo deterministico chiamato SVAT (Soil, Vegetation and Atmosphere Transfer). Questo strumento opera su micro-scala ed è in grado di simulare l'evoluzione temporale di diversi parametri termo-fluido-dinamici all'interno di una griglia tridimensionale. Mediante questa griglia è possibile ricreare la porzione di un'area urbana con edifici e strade, oltre a modificare le proprietà termiche e ottiche di elementi quali la temperatura all'interno di edifici, la trasmittanza termica e la riflettanza delle superfici. All'interno del tessuto urbano possono essere implementate anche la distribuzione e le caratteristiche della vegetazione. Le variabili climatiche da impostare in input sono: temperatura potenziale dell'aria e umidità specifica a 2500 metri dal suolo, umidità relativa a 2 metri dal suolo, velocità e direzione del vento a 10 metri dal suolo, tutti parametri facilmente reperibili in rete. Dopo l'inizializzazione, viene creato un profilo verticale da 0 a 2500 metri di queste variabili e viene utilizzato come condizione al contorno mono-dimensionale applicata al margine del modello tridimensionale. Dalla combinazione tra assetto urbano, materiali e input è possibile quindi reperire dati quali temperature e umidità.



### SPECIFICHE

#### Produttore

ENVI-MET GmbH

#### Sintesi

ENVI-met è uno strumento di simulazione che mette a sistema svariate informazioni allo scopo di fornire un'analisi dettagliata utile a garantire interventi adeguati alle condizioni di comfort degli utenti.

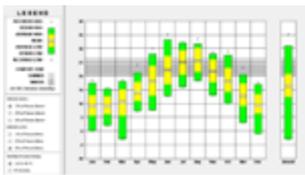
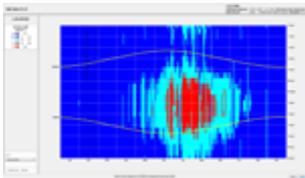
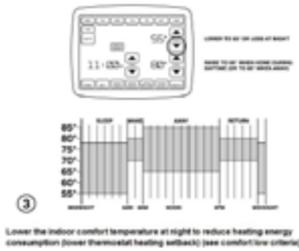
#### Utilizzo:

- Analisi delle temperature e dell'umidità

# Climate Consultant

## Information Technology (IT)

Banca dati per temperature e umidità



### SPECIFICHE

#### Produttore

Department of Architecture and Urban Design University of California, Los Angeles Los Angeles, California 90095-1467

#### Sintesi

Climate Consultant è un software che, in maniera semplice e intuitiva, graficizza i dati climatici di EnergyPlus, fornendo anche strategie progettuali.

Utilizzo:

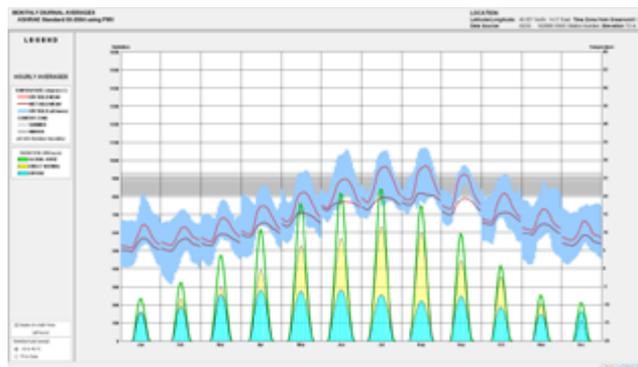
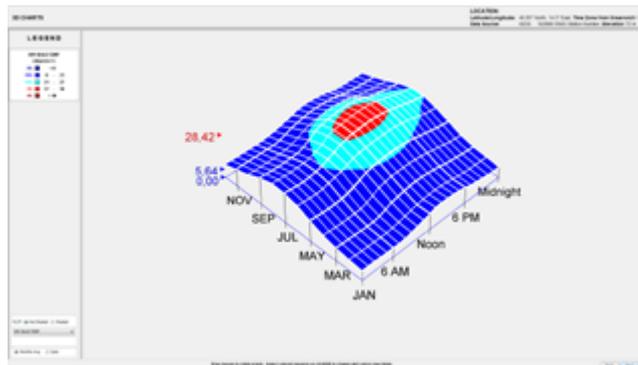
- Andamento delle temperature
- Tasso di umidità
- Strategie bioclimatiche

Climate Consultant è un software semplice da usare, un programma dotato di una grafica base che aiuta architetti, ingegneri e studenti a capire il clima locale del sito di progetto. Esso utilizza i dati climatici in formato EPW, resi disponibili a costo zero dal Dipartimento di Energia US e prelevati da migliaia di stazioni meteorologiche in tutto il mondo. Climate Consultant traduce questi dati climatici grezzi in decine di grafici significativi.

Lo scopo non è semplicemente quello di tracciare i dati climatici, ma piuttosto di organizzare e rappresentare queste informazioni in modo che risultino facili da capire e mostrino gli attributi del clima e il suo impatto sulla forma costruita. L'obiettivo è quello di aiutare gli utenti a creare una maggiore efficienza energetica, edifici più sostenibili, ognuno dei quali è particolarmente adatto al loro unico posto su questo pianeta. A tal proposito, il software fornisce anche le strategie opportune al luogo di riferimento.

Tra i vari dati è immediato il reperimento di tutte le informazioni riguardanti le temperature a bulbo asciutto, a bulbo bagnato e quindi le percentuali di umidità.

(fonte: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>)



# Ecotect Analysis

## Information Technology (IT)

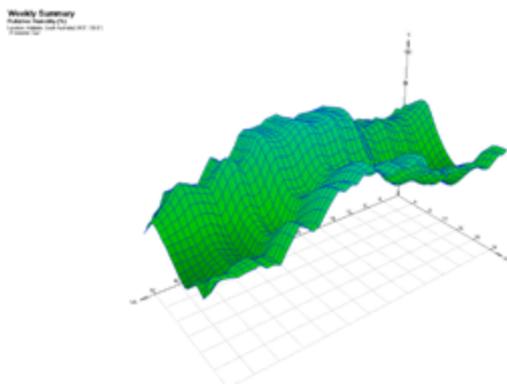
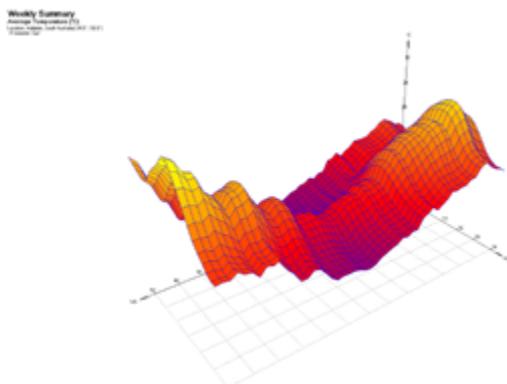
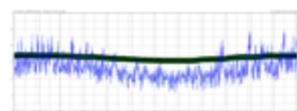
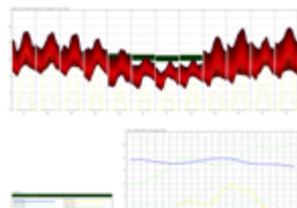
Banca dati per temperature e umidità

*“Ecotect® Analysis è uno strumento completo per l'analisi e la progettazione sostenibile, dalla fase concettuale alla definizione dei dettagli, in grado di fornire un'ampia gamma di funzionalità per la simulazione e l'analisi su piattaforme desktop e Web”.*

(fonte: <http://www.autodesk.it>)

Dal 20 Marzo 2015, il software Ecotect Analysis non sarà più disponibili per l'acquisto. Si è scelto di inserire le funzionalità del software perché l'Autodesk integrerà le funzionalità simili a Ecotect Analysis nella famiglia di prodotti Revit®. Questo cambiamento permetterà ad Autodesk di spostare maggiori risorse, ottimizzando gli sforzi di sviluppo sul BIM e sulle soluzioni cloud-based.

Grazie al database EnergyPlus in Ecotect e nel suo Weather Tool è possibile visualizzare tutte le informazioni inerenti l'andamento delle temperature e le percentuali di umidità



### SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk®

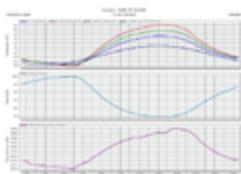
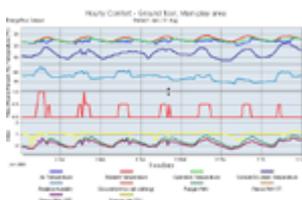
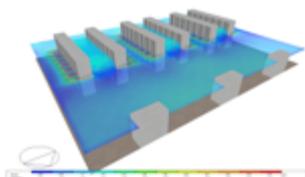
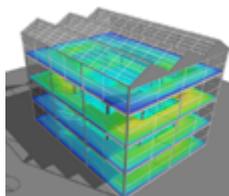
#### Sintesi

Ecotect, anche tramite il suo Weather Tool, è in grado di fornire tutte le informazioni relative al vento utilizzando il database di EnergyPlus.

Utilizzo:

- Andamento delle temperature
- Tasso di umidità

## Temperature e umidità locali ed interne agli edifici



### SPECIFICHE

#### Produttore

DesignBuilder Software Ltd

#### Sintesi

Il software permette simulazioni dinamiche grazie alla perfetta interazione con EnergyPlus.

Principali utilizzi:

- Fornire dati dettagliati di temperatura, umidità, comfort e flusso d'aria all'interno degli edifici, tenendo conto di temperature superficiali, fonti di calore interne e sistemi HVAC.

## DesignBuilder

### Building Information Modeling (BIM)

*“Dato che DesignBuilder utilizza EnergyPlus come suo motore di simulazione, è uno strumento software molto preciso e potente, sebbene allo stesso tempo abbia una interfaccia molto facile da usare”.*

*(Dr. Farshad Nasrollahi, Berlin University of Technology)*

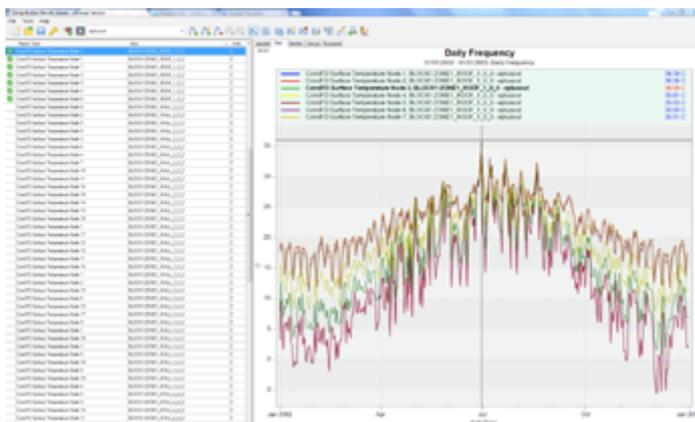
*(fonte: <http://www.designbuilderitalia.it>)*

DesignBuilder è uno strumento di simulazione dinamica ormai standard nel settore della Simulazione Energetica degli Edifici. L'interfaccia utente è tra le più affermate ed avanzate di EnergyPlus.

EnergyPlus è un motore di simulazione estremamente potente e complesso, ma, grazie al modulo di simulazione user friendly di DesignBuilder, non è necessario essere un esperto per poterlo usare, è il software a fare il lavoro duro.

DesignBuilder calcola i carichi di riscaldamento e di raffrescamento usando il metodo 'Heat Balance' approvato dall'ASHRAE ed implementato in EnergyPlus, nel quale sono inclusi i dati climatici di progetto. È possibile calcolare le temperature dell'aria interna, la temperatura media radiante ed operante, l'umidità e fornire i dati climatici di tutte le località inserite nel database di EnergyPlus. Inoltre il software ci permette di Scegliere tra una vasta gamma di simulatori diversi di EnergyPlus tra cui la versione correntemente eseguibile di DOE, la versione DLL corrente e tutte le versioni intermedie messe a disposizione da DOE. È anche possibile accedere alle versioni di EnergyPlus compilate autonomamente.

Come detto anche precedentemente, grazie ad una stretta integrazione di EnergyPlus all'interno del modulo, il software permette di effettuare simulazioni energetiche dinamiche avanzate con intervalli sotto-orari.



# Windfinder

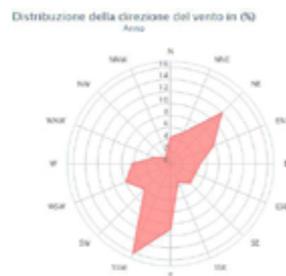
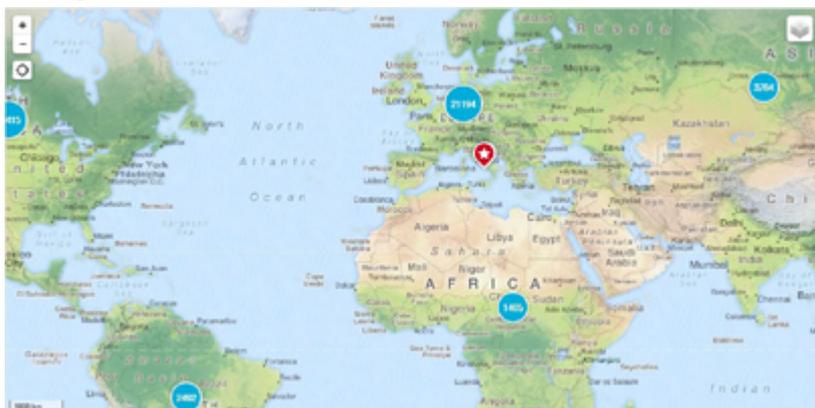
## Information and Communication Technology (ICT)

## Banca dati per le caratteristiche del vento

“Windfinder è il servizio meteo gratuito per chi pratica kitesurf, windsurf, surf, parapendio, vela e altre attività collegate al vento: vento, onde, previsioni meteo, webcam e maree, tutto sullo stesso sito web”.

(fonte: <http://it.windfinder.com/>)

Su questo sito internet, con la sua attuale banca dati di oltre 41.134 stazioni di rilevamento, è possibile trovare istantaneamente la previsione dei venti e meteo per la località necessaria.



## Statistiche

Le statistiche sono basate su dati meteo storici di osservazioni presi giornalmente che forniscono tutte le caratteristiche del vento, dalla direzione alla temperatura.



## SPECIFICHE

### Produttore

Windfinder.com GmbH & Co. KG

### Sintesi

Banca dati di 41.134 stazioni di rilevamento.

L'unico utilizzo:

- Reperire i dati relativi alla ventilazione di uno specifico luogo

# ENVI-met

## Information Technology (IT)

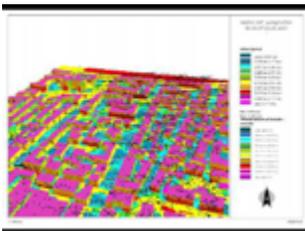
### Analisi della ventilazione in ambito urbano



*“Troppo poco o troppo vento: entrambi gli estremi possono portare a condizioni locali sgradevoli e rendere gli spazi urbani poco attraenti e poco frequentati.*

*Inoltre, i modelli di flusso del vento nelle aree urbane permettono di controllare anche il trasporto di sostanze inquinanti e sono quindi uno strumento importante per il controllo della qualità dell'aria”.*

*(fonte: <http://www.envi-met.com/#section/2> )*



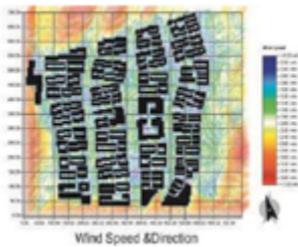
ENVI-Met include la possibilità di effettuare una completa analisi Fluid Dynamics computazionale (CFD), su un Modello 3D.

Risolve le equazioni di Navier-Stokes non idrostatiche per ogni griglia nello spazio e per ogni passo temporale.

Gli effetti della vegetazione sono inclusi come forze di resistenza nel campo del vento.

Per una dettagliata simulazione fisica del costruito, il flusso del vento viene calcolato vicino su ogni segmento di facciata e sul tetto.

Con la nuova funzione a parete semplice, possono essere simulati pure i venti all'interno di strutture complesse o semi-aperte.



Il flusso del vento viene aggiornato ad intervalli di tempo. ENVI-met supporta anche il calcolo del flusso di vento in tempo reale, il che significa che il campo del moto è trattato come una variabile prognostica normale e calcolata ad ogni passo. A causa di un'analisi eseguita a piccoli passi il calcolo necessita di computer molto potenti oppure di tempi di attesa elevati.

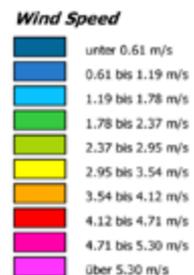
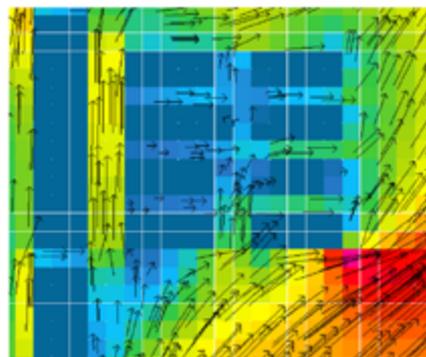
### SPECIFICHE

**Produttore**  
ENVI-MET GmbH

**Sintesi**  
ENVI-met è uno strumento di simulazione che mette a sistema svariate informazioni allo scopo di fornire un'analisi dettagliata utile a garantire interventi adeguati alle condizioni di comfort degli utenti.

Utilizzo:

- Ventilazione naturale in ambito urbano



# Climate Consultant

## Information Technology (IT)

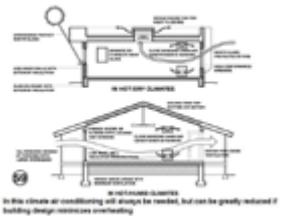
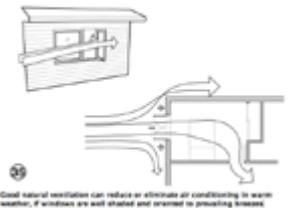
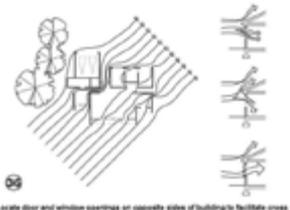
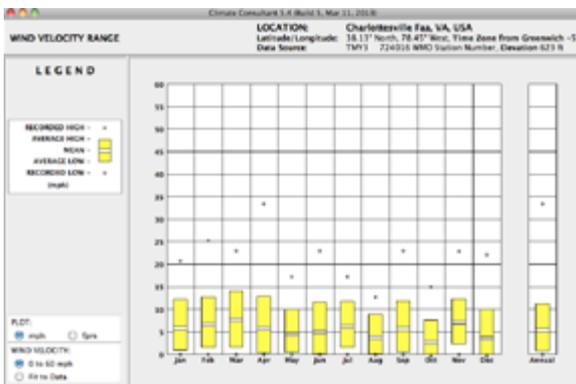
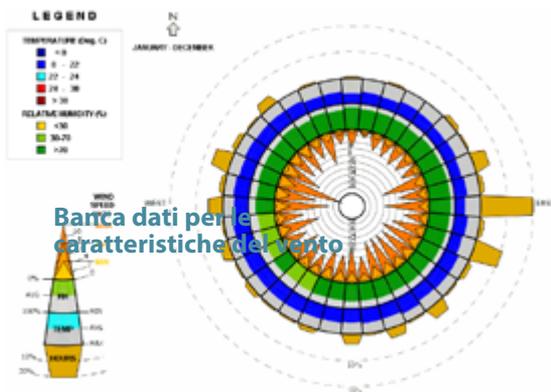
### Banca dati per le caratteristiche del vento

Climate Consultant è un software semplice da usare, un programma dotato di una grafica base che aiuta architetti, ingegneri e studenti a capire il clima locale del sito di progetto. Esso utilizza i dati climatici in formato EPW, resi disponibili a costo zero dal Dipartimento di Energia US e prelevati da migliaia di stazioni meteorologiche in tutto il mondo. Climate Consultant traduce questi dati climatici grezzi in decine di grafici significativi.

Lo scopo non è semplicemente quello di tracciare i dati climatici, ma piuttosto di organizzare e rappresentare queste informazioni in modo che risultino facili da capire e mostrino gli attributi del clima e il suo impatto sulla forma costruita. L'obiettivo è quello di aiutare gli utenti a creare una maggiore efficienza energetica, edifici più sostenibili, ognuno dei quali è particolarmente adatto al loro unico posto su questo pianeta. A tal proposito, il software fornisce anche le strategie opportune al luogo di riferimento.

Tra i vari dati è immediato il reperimento di tutte le informazioni riguardanti il vento.

(fonte: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>)



### SPECIFICHE

#### Produttore

Department of Architecture and Urban Design  
University of California, Los Angeles  
Los Angeles, California 90095-1467

#### Sintesi

Climate Consultant è un software che, in maniera semplice e intuitiva, graficizza i dati climatici di EnergyPlus, fornendo anche strategie progettuali.

Utilizzo:

- Dati ventilazione
- Strategie bioclimatiche

## Banca dati per le caratteristiche del vento

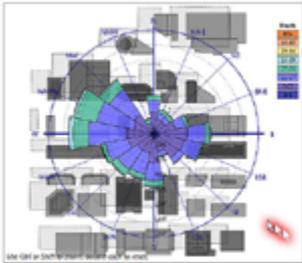
# Vasari rosa dei venti

## Information and Communication Technology (ICT)

“La rosa dei venti è un grafico che mostra la distribuzione della velocità del vento, la direzione del vento e la relativa frequenza per un determinato intervallo. Il grafico comprende 16 cunei angolari, il raggio complessivo di ogni fetta rappresenta la percentuale di tempo che il vento proveniva da quella direzione durante il periodo di calcolo.

Ogni cuneo contiene 8 diversi segmenti colorati. Il colore di ogni segmento rappresenta la velocità del vento che viene da quella direzione”.

(fonte: <http://help.autodesk.com/view/VASARI/B3/ENU/?guid=GUID-08D830A9-262C-4E05-B2C2-594F1BD3C43E>)



### Dati meteo

Il grafico è generato dai dati meteo orari recuperati dalle stazioni meteo, è preferibile utilizzare dati di stazioni prossime all'area di progetto. Questi dati vengono scaricati automaticamente da internet.

### Visualizzazione del grafico

Per impostazione predefinita, il grafico viene mostrato sovrapposto su una Google Map centrata sulla posizione del sito del progetto.

### Regolazione delle Proprietà grafico

È possibile regolare una serie di proprietà del grafico utilizzando il cursore immediatamente sotto di esso.

Modifiche: Opacità, Fattore di scala e Dimensione.



### SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk®

### Sintesi

Il software è stato completamente integrato in Revit.

L'unico utilizzo:

- Reperire i dati relativi alla ventilazione di uno specifico luogo



# Vasari

## Information Technology (IT)

### Simula l'effetto del vento in base alla rosa dei venti

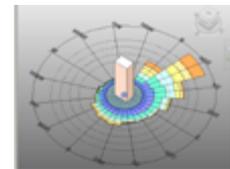
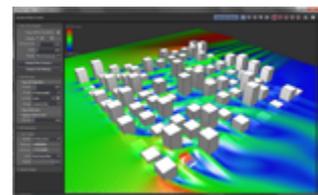
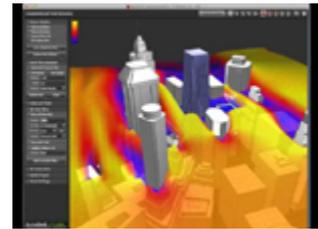
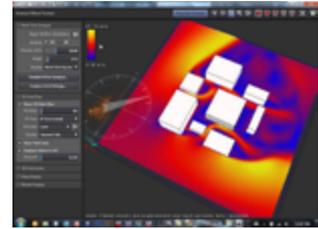
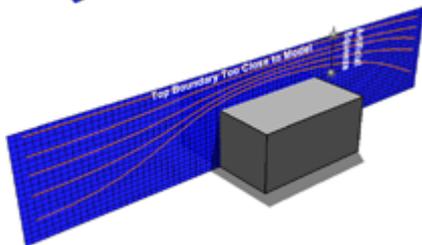
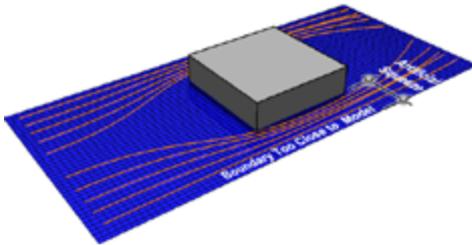
*“È possibile utilizzare la funzione della galleria del vento in combinazione con la funzione rosa dei venti per simulare dinamicamente l'impatto della velocità del vento, la direzione e la relativa frequenza per la localizzazione specifica del progetto corrente”.*

*(fonte: <http://help.autodesk.com/view/VASARI/B3/ENU/?guid=GUID-E28B71EA-DFDF-4BB3-A526-FA9D95477F04>)*

Utilizzare la funzione galleria del vento per eseguire simulazioni di fluidodinamica computazionale (CFD), al fine di analizzare l'impatto potenziale della velocità e direzione del vento sul progetto. La funzione galleria del vento consente di eseguire analisi del flusso d'aria in 2D o in 3D eseguendo il controllo mediante una griglia interattiva e tramite opzioni multiple che consentono la visualizzazione dei dati, delle analisi e delle integrazioni con il nostro modello.

Esempi di come questi dati possono essere utilizzati per influenzare le vostre decisioni progettuali:

- Esaminare l'impatto delle variazioni dei venti e la scia prodotta sul sito;
- Simula il flusso d'aria intorno agli edifici per identificare effetti di tunneling e canyoning
- Stimare l'impatto del vento sul comfort dei pedoni e la distribuzione della pressione sulle strutture
- Creare viste specifiche istantanee di come il flusso d'aria può avere un impatto sul sito in momenti specifici.



#### SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk®

#### Sintesi

Il software è stato completamente integrato in Revit.

Viene proposto principalmente l'utilizzo:

- Ventilazione Natural

Banca dati per le  
caratteristiche del vento

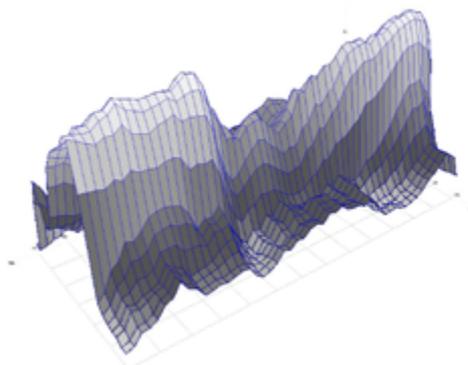
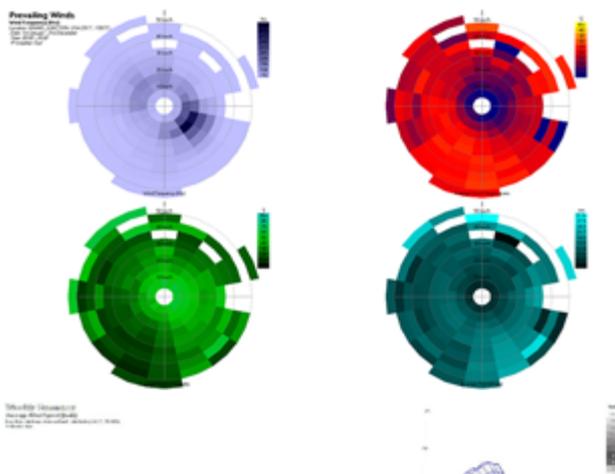
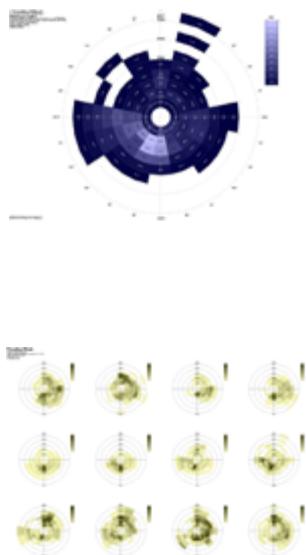
## Ecotect Analysis Information Technology (IT)

*“Ecotect® Analysis è uno strumento completo per l’analisi e la progettazione sostenibile, dalla fase concettuale alla definizione dei dettagli, in grado di fornire un’ampia gamma di funzionalità per la simulazione e l’analisi su piattaforme desktop e Web”.*

*(fonte: <http://www.autodesk.it>)*

Dal 20 Marzo 2015, il software Ecotect Analysis non sarà più disponibili per l’acquisto. Si è scelto di inserire le funzionalità del software perché l’Autodesk integrerà le funzionalità simili a Ecotect Analysis nella famiglia di prodotti Revit®. Questo cambiamento permetterà ad Autodesk di spostare maggiori risorse, ottimizzando gli sforzi di sviluppo sul BIM e sulle soluzioni cloud-based.

Grazie al database EnergyPlus in Ecotect e nel suo Weather Tool è possibile visualizzare tutte le caratteristiche del vento: direzione, frequenza, intensità, temperatura, umidità e piovosità.



### SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk®

**Sintesi**  
Ecotect, anche tramite il suo Weather Tool, è in grado di fornire tutte le informazioni relative al vento utilizzando il database di EnergyPlus.

Utilizzo:

- Ventilazione naturale

# Winair

## Plug-in di Ecotect Analysis (IT)

## Analisi fluidodinamica computazionale

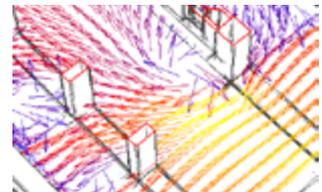
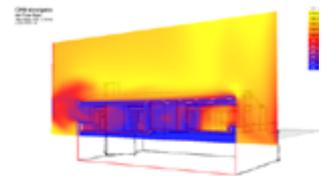
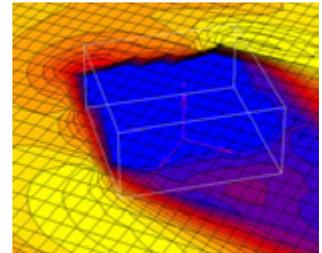
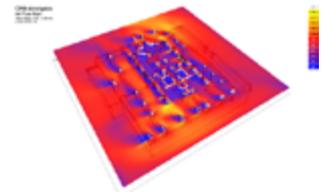
*“Mentre Ecotect Analysis non è attualmente in grado di effettuare l'analisi CFD della ventilazione e del flusso d'aria, è possibile esportare il modello in applicazioni come Winair per eseguire questi calcoli, e quindi importare i risultati di nuovo in ECOTECT”.*

*(fonte: [http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Display\\_Air\\_Flow](http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Display_Air_Flow))*

Consulente del clima è un software semplice da usare, un programma dotato di una grafica base che aiuta architetti, ingegneri e studenti a capire il clima locale del sito di progetto. Esso utilizza i dati climatici in formato EPW, resi disponibili a costo zero dal Dipartimento di Energia US e prelevati da migliaia di stazioni meteorologiche in tutto il mondo. Climate Consultant traduce questi dati climatici grezzi in decine di grafici significativi.

Lo scopo non è semplicemente quello di tracciare i dati climatici, ma piuttosto di organizzare e rappresentare queste informazioni in modo che risultino facili da capire e mostrino gli attributi del clima e il suo impatto sulla forma costruita. L'obiettivo è quello di aiutare gli utenti a creare una maggiore efficienza energetica, edifici più sostenibili, ognuno dei quali è particolarmente adatto al loro unico posto su questo pianeta. A tal proposito, il software fornisce anche le strategie opportune al luogo di riferimento.

Tra i vari dati è immediato il reperimento di tutte le informazioni riguardanti il vento.



**ECOTECT: CFD Grid Analysis**

Computational fluid dynamics - analysis grid setup

**Blockages**  
Determine boundary conditions based on model surfaces.

Boundaries Inside Outside Covered in Z

**Wind Settings**  
Set air speed and direction as well as some basic fluid properties.

Speed: 2.00 m/s Direction: 20

Air Viscosity: 1.8e-05 Air Density: 1.2 kg/m3

**Monitoring Cell**  
Index of specific grid cell for iteration graph.  
Leave all as zero to use centre point of current grid.

X Position: 10 Y Position: 8 Z Position: 8

**Conditions**

Int. Temperature: 20.0 C Ext. Temperature: 16.0 C Ext. Contaminant: 0

**WinAir Control File**  
Settings specific to WinAir4 and saved to CON file.

No. Iterations: 500

Save Interval: 100

Run WinAir Application...  
 Auto-Start Calculation  
 Equalise Air Flows  
 Horizontal Air Flow  
 Offset Heat Gains

Help... OK Cancel

### SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk®

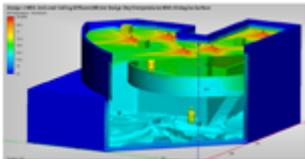
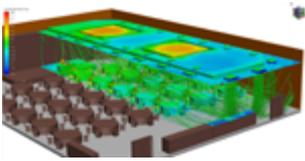
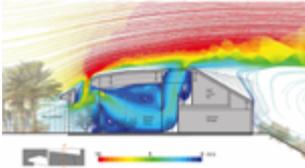
### Sintesi

WinAir è un plugin di Ecotect, utile ad eseguire un'analisi fluidodinamica computazionale in modo user friendly.

Utilizzo:

- Ventilazione naturale

## Software di fluidodinamica computazionale



## CFD Information Technology (IT)

*“Il software Autodesk® CFD offre strumenti di fluidodinamica computazionale e di simulazione termica per realizzare prodotti eccezionali. Abbinare CFD Design Study Environment con un risolutore per prevedere le prestazioni del prodotto, ottimizzare i progetti e convalidare il comportamento del prodotto prima della fase di produzione.”*

*(fonte: <http://www.autodesk.it/products/cfd/overview> )*

La fluidodinamica computazionale o numerica (CFD, dall'acronimo inglese Computational Fluid Dynamics) è la tecnica che permette lo studio dei problemi di fluidodinamica mediante l'utilizzo del computer. Viene utilizzata nel settore dell'Architettura, Ingegneria, Costruzioni (AEC) per l'analisi di tutte le problematiche che coinvolgono l'azione dei fluidi, classificabili in tre principali categorie:

- Ventilazione meccanica
- Flusso esterno o carico di vento
- Ventilazione Naturale

Gli obiettivi tipici della maggior parte delle analisi per l'AEC includono:

- La distribuzione della temperatura attraverso una zona occupata per garantire il comfort interno e mantenere l'efficienza operativa;
- Quantificare e contabilizzano il calore degli dissipato dagli occupanti;
- Ridurre i ricambi d'aria all'ora e costi operativi ottimizzando l'efficienza del sistema di distribuzione dell'aria;
- Esaminare la diffusione dei flussi per valutare l'efficacia degli impianti HVAC.

### SPECIFICHE

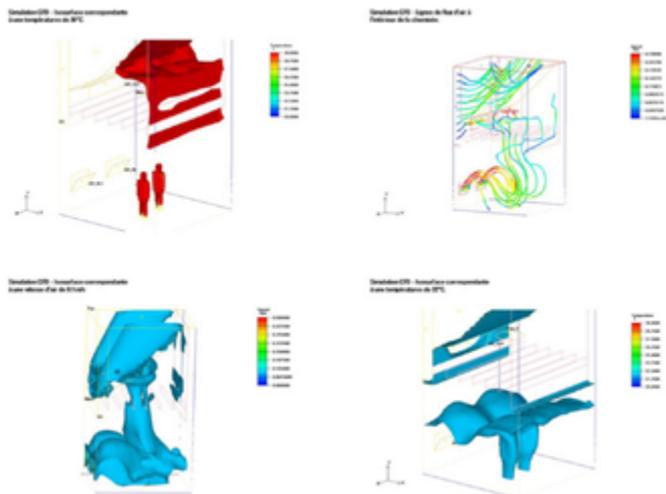
**Produttore**  
Autodesk®

#### Sintesi

CFD è uno strumento che, basato sulla simulazione di un "mondo reale, viene applicato all'analisi AEC per rendere più efficienti i nostri edifici.

I tre principali utilizzi:

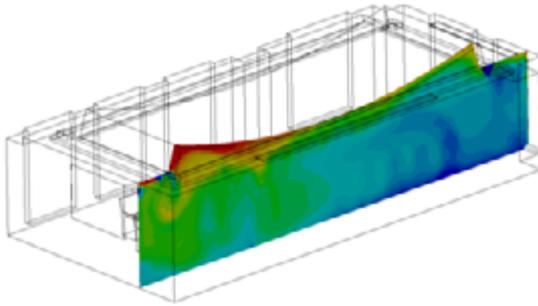
- Ventilazione meccanica
- Flusso esterno o carico di vento
- Ventilazione Naturale



Questo insieme di argomenti descrive le procedure e le tecniche specifiche per l'applicazione di simulare efficacemente ciascuno dei principali tipi di applicazioni AEC. Inoltre, una serie di argomenti viene presentato che descrive le linee guida di modellazione che si applicano a tutte le analisi AEC.

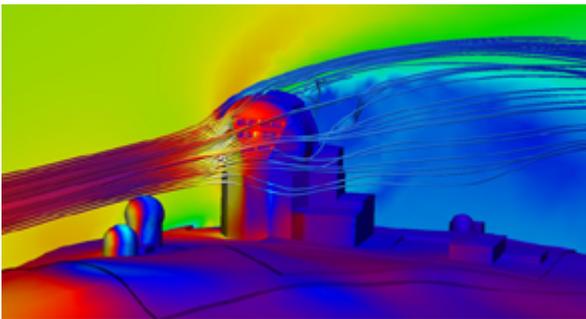
L'analisi della ventilazione meccanica simula il flusso d'aria in spazi che sono controllati con sistemi di gestione dell'aria. Tali sistemi includono tipicamente una rete di diffusori, ventilatori, che garantiscono il corretto flusso d'aria e il controllo della temperatura all'interno della zona occupata.

Ventilazione meccanica



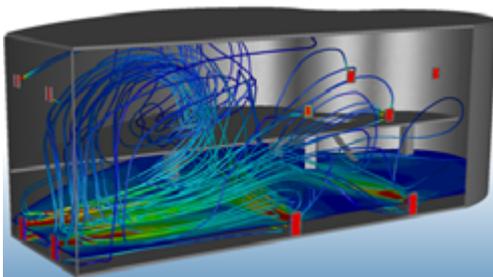
L'analisi del carico di vento serve a simulare il flusso d'aria a cui consegue un carico strutturale sull'edifici e sulle strutture.

Carico di vento



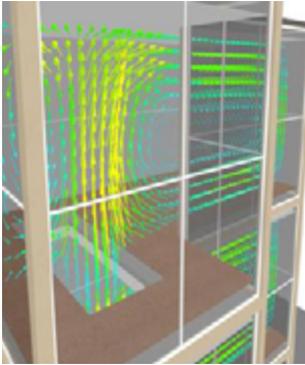
Il movimento dell'aria in applicazioni di ventilazione naturale è generalmente il risultato di gradienti di densità causati dalle variazioni di temperatura in tutta la struttura. In molte strutture l'aria che passa attraverso porte e finestre è la fonte primaria di ventilazione naturale, questa simulazione è utile ad analizzare tali flussi.

Ventilazione naturale



## DesignBuilder

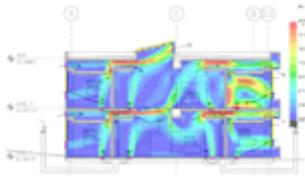
Building Information Modeling (BIM), tool



“L'analisi fluidodinamica computazionale (CFD) fornisce i dati di progettazione dettagliati sui flussi d'aria e sulle distribuzioni della temperatura all'interno ed attorno all'edificio.

I pacchetti software CFD convenzionali richiedono competenze ed estrema attenzione al dettaglio per impostare la corretta geometria e le condizioni al contorno. DesignBuilder semplifica il processo, fornendo automaticamente un'accurata geometria 3D con opzioni per l'importazione da EnergyPlus delle condizioni al contorno, come temperature superficiali, flussi di calore e flussi d'aria”.

(fonte: <http://www.designbuilderitalia.it/cfd-computational-fluid-dynamics-di-designbuilder/> )



L'analisi fluidodinamica computazionale costituisce, tra gli strumenti software di calcolo esistenti sul mercato, una delle risorse più potenti a disposizione dei progettisti. Fino ad oggi, a causa della sua complessità, le applicazioni nell'ambito della progettazione edile ed impiantistica sono state rare. L'analisi software CFD con DesignBuilder può essere utilizzata per calcolare la temperatura, la velocità, la pressione, i parametri di comfort abitativo ed altre proprietà dei fluidi attraverso una rappresentazione tridimensionale estremamente accurata. La simulazione fluidodinamica computazionale consente di modellare a livello teorico il campo di velocità di un fluido che attraversa un sistema di qualunque forma del quale si conoscano le condizioni al contorno. Può essere inoltre utilizzata per la valutazione dello scambio di calore tra le superfici del modello ed il fluido stesso ed in particolare per accurate valutazioni energetiche. La caratteristica saliente del sistema è la possibilità di descrivere un qualunque campo di moto sia esso bidimensionale o tridimensionale fornendo dei risultati che di rado sono messi a disposizione dai modelli analitici tradizionali.

La risoluzione di un problema fluidodinamico comporta generalmente la risoluzione di complesse equazioni per il calcolo di diverse proprietà del fluido, come ad esempio velocità, pressione, densità, e temperatura, in funzione dello spazio e del tempo. DesignBuilder applica questi studi ai movimenti dell'aria interna agli edifici per valutarne il comportamento in relazione all'efficacia dei sistemi di climatizzazione, ai fenomeni bioclimatici ed ai parametri di comfort abitativo. Le leggi fondamentali della fluidodinamica sono casi particolari delle equazioni di bilancio (anche dette leggi di conservazione) e, in particolare, l'equazione di continuità (o conservazione della massa), la

### SPECIFICHE

#### Produttore

DesignBuilder Software Ltd

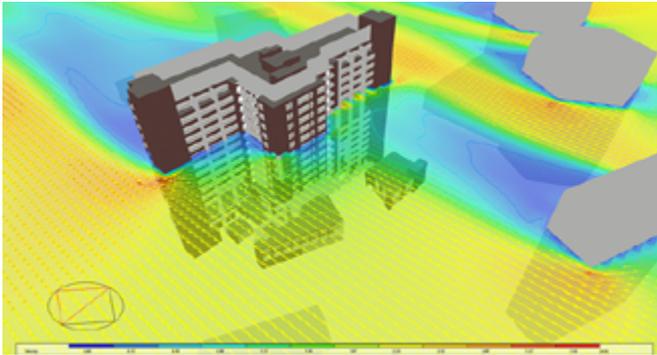
#### Sintesi

CFD è uno tool di DesignBuilder che è un software BIM

Principali utilizzi del tool:

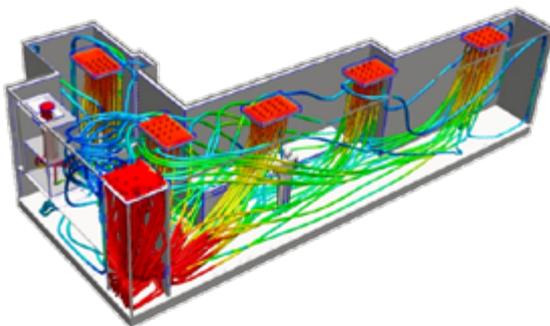
- Fornire dati dettagliati di temperatura, comfort e flusso d'aria all'interno degli edifici, tenendo conto di temperature superficiali, fonti di calore interne e sistemi HVAC;
- Analizzare il flusso del vento all'esterno dell'edificio per il comfort e la sicurezza dei pedoni;
- Analizzare l'impatto delle strategie di

legge di conservazione della quantità di moto (anche nota come seconda legge di Newton) e la legge di conservazione dell'energia. Queste leggi sono equazioni differenziali alle derivate parziali non lineari basate sulla meccanica classica (equazioni di Navier-Stokes) e vengono modificate nella meccanica relativistica. Le equazioni classiche di Navier-Stokes nella loro forma non semplificata non hanno una soluzione generale in forma chiusa, e vengono risolte in tal modo solo con la metodologia della fluidodinamica computazionale ovvero tramite metodi numerici al computer.



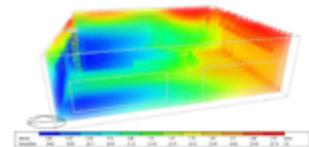
Come si lavorava prima dell'analisi CFD? Un'alternativa all'analisi dimensionale è la misurazione, mediante opportuni strumenti, delle velocità e temperatura istantanea raggiunte dal fluido all'interno del modello. Le misure sperimentali forniscono indicazioni teoriche molto più significative ma richiedono parimenti molto tempo e cospicui investimenti, a fronte di un campo di validità ristretto alle singole sperimentazioni. I codici di calcolo CFD permettono invece la simulazione del campo di moto all'interno di un oggetto di qualunque forma, con un tempo di calcolo dipendente solo dalle capacità dell'elaboratore. Tali programmi offrono la possibilità di analizzare problemi fluidodinamici non risolti in passato.

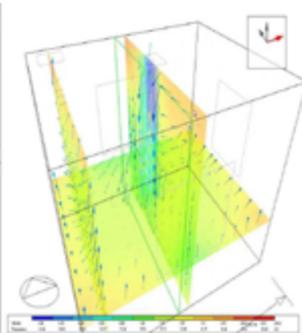
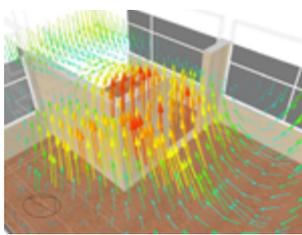
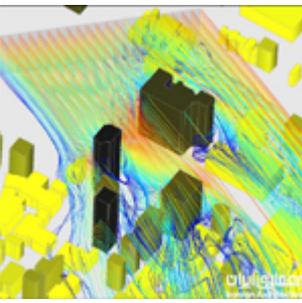
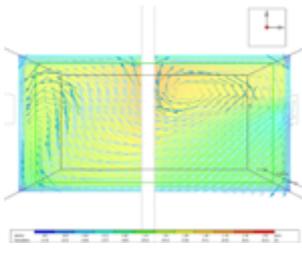
Il CFD di DesignBuilder è stato testato confrontandolo con Pheonics, uno dei pacchetti CFD disponibili per utilizzi generici, ritenuto tra i più affidabili in commercio. Il lavoro di convalida, effettuato dalla Northumbria University, mostra che DesignBuilder, è in grado di riprodurre gli stessi risultati di Pheonics.



ventilazione naturale, con modalità mista, sulle condizioni di comfort interne;

- Verifica del comfort termico e della corretta diffusione dell'aria di rinnovo;
- Progetto del layout e dei flussi di aria calda e fredda dei centri di elaborazione dati.
- Ottimizzazione del posizionamento e delle specifiche delle bocchette di mandata.
- Fornire l'Età dell'aria (LMA) e l'efficienza del ricambio dell'aria (ACE) per l'uso secondo normativa ASHRAE 62.1 e Green Star.



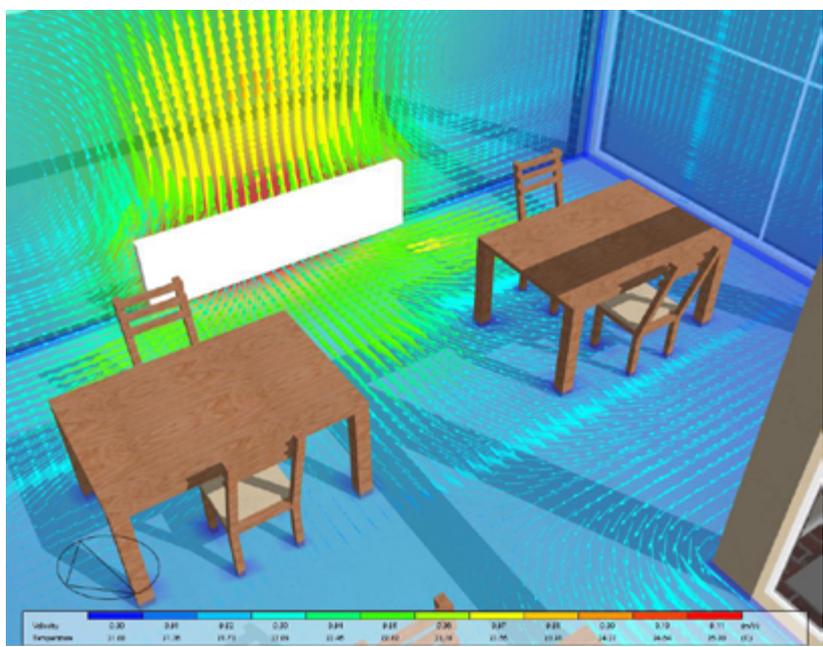
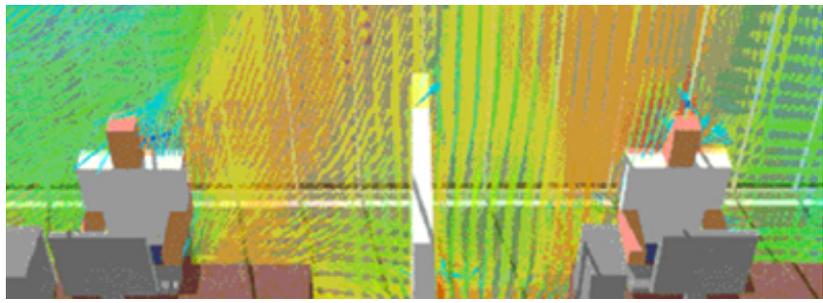


Il motore CFD è stato sviluppato sull'algoritmo SIMPLER, che deriva da una delle più condivise e utilizzate famiglie di metodi di soluzione CFD. Le turbolenze possono essere modellate utilizzando l'ampiamente studiato e documentato modello k-ε; è prevista a breve l'introduzione di modelli di turbolenza addizionali per specifiche applicazioni.

L'interfaccia incorpora strumenti in grado di garantire un'ampia scelta di condizioni al contorno quali diffusori d'aria, estrattori, patch di temperatura, ecc., assegnabili alle superfici di una stanza.

È disponibile una libreria di componenti per attivare radiatori, unità fan-coil, arredamenti, occupanti, ecc. da collocare ovunque all'interno del modello e da incorporare automaticamente nelle analisi.

Le condizioni al contorno della temperatura e del flusso d'aria possono essere assegnate automaticamente da una simulazione EnergyPlus. In alternativa si può utilizzare il modulo CFD come modulo autonomo senza alcun collegamento a EnergyPlus.



# Flow Design

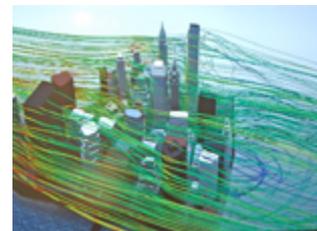
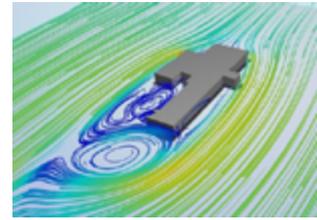
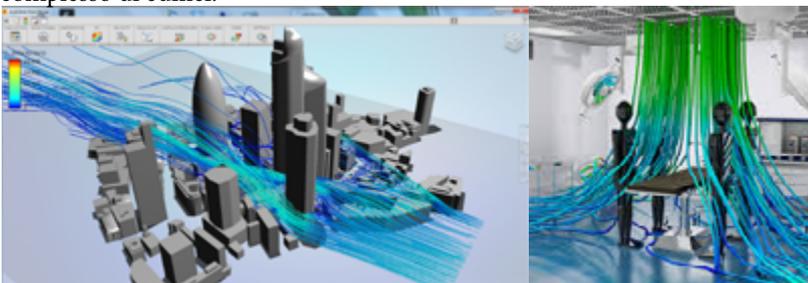
## Information Technology (IT)

### Analisi dei flussi del vento interno e intorno agli edifici

*“La sicurezza e il comfort dei pedoni dipendono fortemente come l'aria fluisce tra strutture. Flow Design agisce come un simulatore della galleria del vento, in modo da poter comprendere e analizzare i modelli di flusso d'aria attraverso e intorno le strutture in centri abitati. Identificare i pericoli causati da aria in movimento, come raffiche di vento e discendenze, e ancora le regioni che possono contenere alte concentrazioni di inquinanti”. (fonte: <http://www.autodesk.com/products/flow-design/features/all/list-view> )*

L'aria fluisce dall'alta alla bassa pressione. Ciò è importante da ricordare perché è il principio fondamentale della ventilazione. Quando il vento incontra un ostacolo, esso fluirà intorno ad esso e continuare a muoversi nella stessa direzione. Il comportamento è simile al flusso dell'acqua (sia l'aria che l'acqua sono fluidi). È importante notare che se il vento è bloccato da una qualsiasi morfologia, tipo un edificio, non viene arrestato ma solo deviato.

La velocità del vento varia con l'altezza dal terreno. Con l'aumento di quota, aumenta la velocità del vento. Quando il terreno crea maggiore attrito, la velocità del vento rallenta. Ciò significa che la velocità del vento in un luogo aperto, aumenterà con l'altezza molto più rapidamente rispetto alla velocità del vento in un centro urbano denso. Questo tasso di crescita è conosciuto come gradiente del vento, o profilo del vento. Il risultato è che la velocità del vento può variare tra i diversi terreni alla stessa altezza. In ambienti urbani densi, il vento raggiungerà la velocità del 100% ad una quota molto superiore di un ambiente aperto senza edifici. Senza entrare nel dettaglio, è possibile affermare che lo studio del comportamento del vento è molto complesso; la rappresentazione delle scie del vento prodotte da ostacoli fisici nasce dall'analisi di una serie di modelli fisici elementari studiate in galleria del vento. Questo software ci semplifica lo studio perché è in grado di simulare una galleria del vento nella quale poter calare il nostro edificio o il nostro complesso di edifici.



### SPECIFICHE

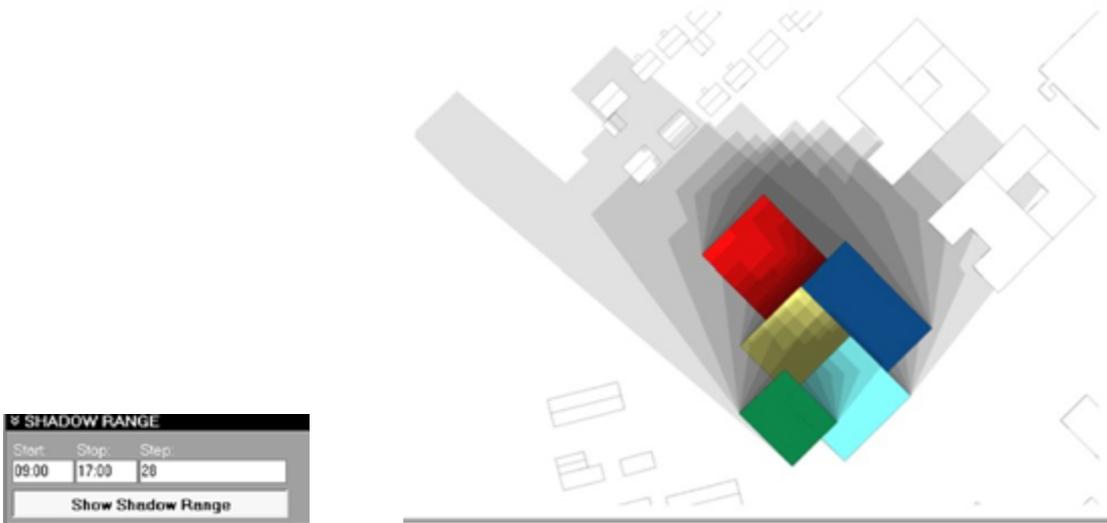
**Produttore**  
Autodesk®

#### Sintesi

Flow Design è uno strumento di simulazione della galleria del vento per la visualizzazione del flusso d'aria attorno ai veicoli, edifici, prodotti di consumo, e altri oggetti. Il principale utilizzo:

- Ventilazione naturale in ambito urbano

In Ecotect, utilizzando il diagramma interattivo 3D della traiettoria solare è possibile visualizzare le ombre in base alla posizione del sole. Questo è spesso un buon punto di partenza, che richiede però un gran numero di prove e di immagini da generare in tempi e date differenti al fine di ottenere una chiara comprensione di ciò che accade nel corso dell' anno, riducendo i margini di errore. Usando Ecotect è possibile studiare più aspetti del comportamento del sole nel tempo, permettendo di visualizzare il profilo completo delle ombre proiettata in un intervallo di un tempo su un singolo giorno.

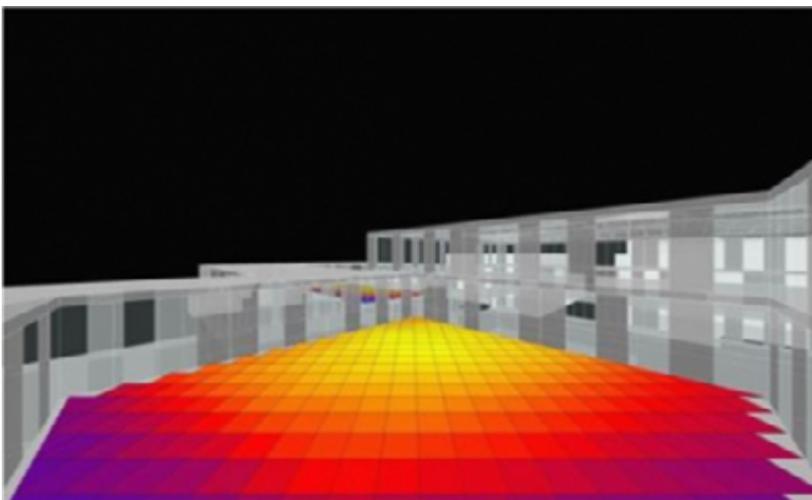
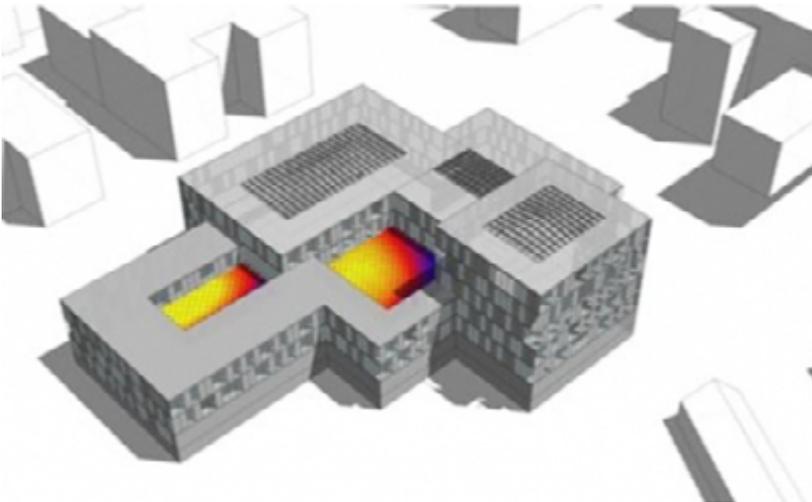


Nel pannello delle impostazioni dell' ombreggiatura è possibile selezionare l' inizio e la fine del periodo di analisi, e il valore di intervallo. Così facendo, per esempio, si può anche solo voler studiare l'andamento delle ombre durante l'orario di funzionamento della costruzione. Questo tipo di analisi può essere particolarmente utile per visualizzare l' effetto completo del vostro edificio o di altri elementi del sito in spazi esterni (cortili , terrazze, giardini) e il contesto circostante (edifici limitrofi). Ad esempio, i modelli di andamento delle ombre potrebbero venire in aiuto nella scelta della vegetazione giusta per il paesaggio circostante , o aiutare a individuare zone con funzioni specifiche come tavoli all'aperto o piscine. In aggiunta oltre a visualizzare come le ombre cadranno sul sito con il “ diagramma a farfalla” di cui sopra, Ecotect può anche quantificare e visualizzare il numero di ore di luce solare incidenti su una data superficie del modello. Questi vengono visualizzati o in sovrapposizione diretta su oggetti presenti nel modello o su una griglia di analisi.

## SPECIFICHE

**Produttore**  
Autodesk

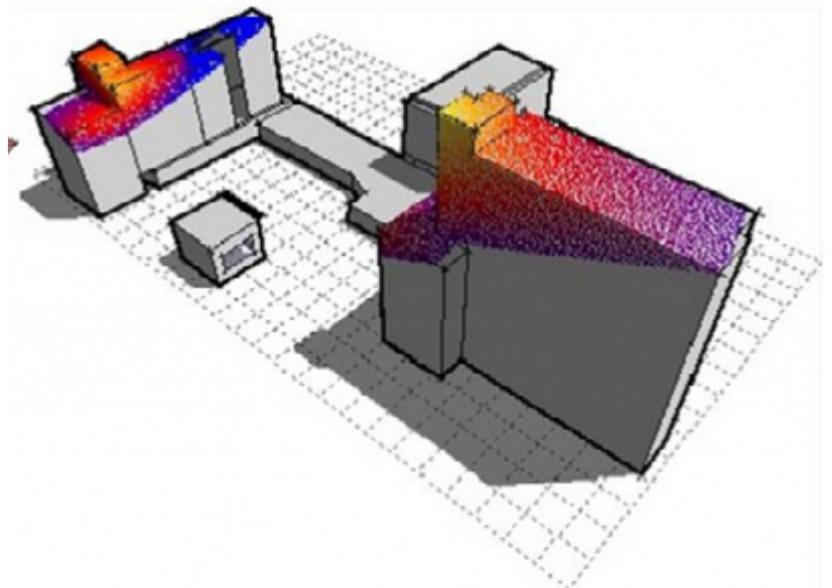
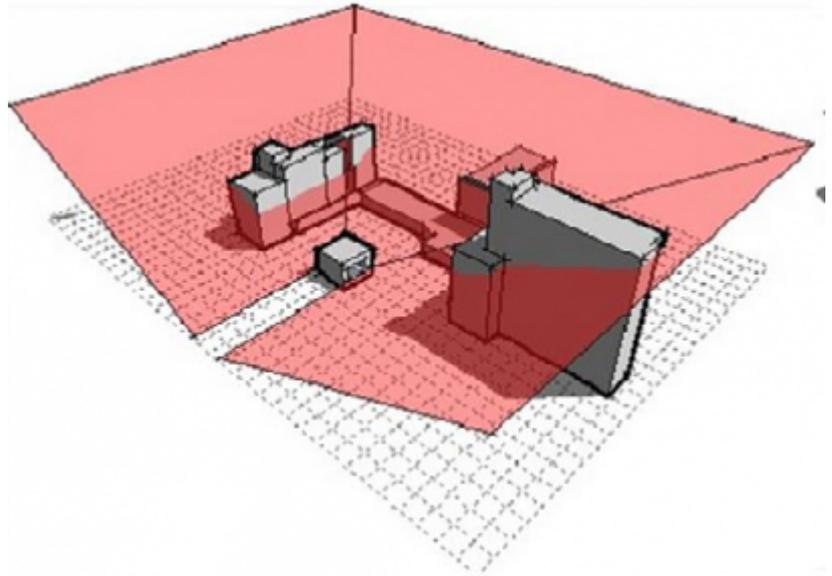
**Sintesi**  
Ecotect, tramite il Weather Tool, è in grado di fornire tutte le informazioni relative all' illuminazione naturale.



## **RIGHT TO LIGHT AND SOLAR ENVELOPE**

In Ecotect gli strumenti di analisi sull'illuminazione interna combinato con lo studio dell'orientamento e delle volumetrie circostanti possono aiutare ad individuare potenziali aree problematiche. Il Regno Unito ha specifiche linee guida riguardo il "right-to-light" prodotte dal Building Research Establishment (BRE). Tali indicazioni si basano sulla regola empirica che un edificio avrà il potenziale per una buona illuminazione diurna diffusa interna se non ci saranno ostacoli lungo un piano inclinato di 25 gradi rispetto ad un piano orizzontale posto a 2 m dal suolo. Un altro parametro che il BRE utilizza come indicatore del potenziale di luce è il "vertical sky" (VSC), che può essere calcolato in Ecotect. Il "vertical sky" è il rapporto tra l'illuminazione diretta incidente su una superficie verticale (di solito il centro di una finestra), e

l'illuminazione prodotta da un cielo senza ostacoli. Il valore massimo raggiungibile è 50% poiché il punto è su un piano verticale e di conseguenza metà del cielo è ostruita. Questo tipo di analisi risulta particolarmente utile al fine di garantire spazi interni luminosi in quanto privi di ostruzioni.

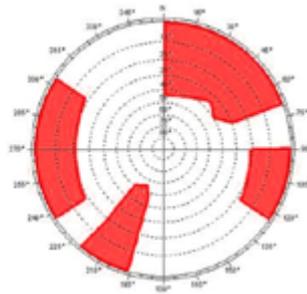
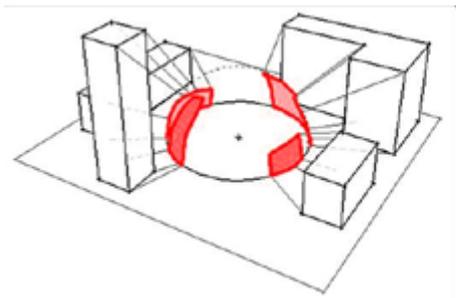


## MASCHERE D'OMBRA

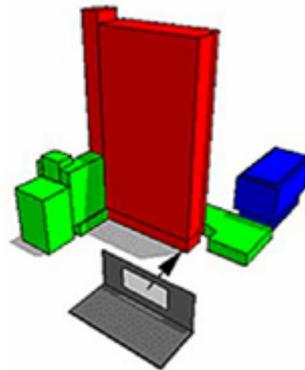
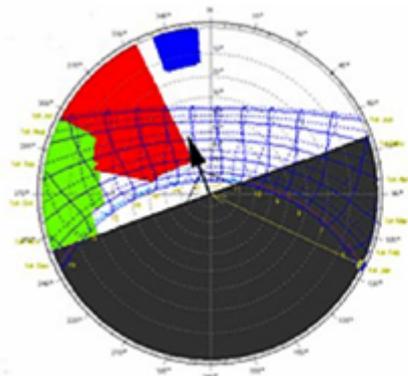
Le maschere d'ombra generate dal software sono applicate su un diagramma solare permettendo così di visualizzare con un buon grado di approssimazione quando un punto sarà in ombra. Questo è utile ai fini di una corretta comprensione della finestra solare, aiutando a capire meglio cosa è in ombra e quando è in ombra.

### Maschere di ombreggiatura su un punto

Si consideri un emisfero immaginario che circonda un certo punto che verrà assunto come origine. Congiungendo con una retta che ha inizio nell'origine e fine nei punti degli oggetti circostanti si determinano le aree che ostacolano il sole. Intersecando le linee di costruzioni con l'emisfero immaginario è possibile tracciare un diagramma delle zone occluse, in base al periodo dell'anno e alla reale posizione degli oggetti. Il progettista può così determinare su un unico diagramma il percorso del sole, i tempi e le date durante l'arco dell'anno in cui la zona di studio è in ombra o no.



Qualsiasi area di proiezione in rosso sul diagramma delle traiettorie solari rappresenta un'area di cielo ostruito.

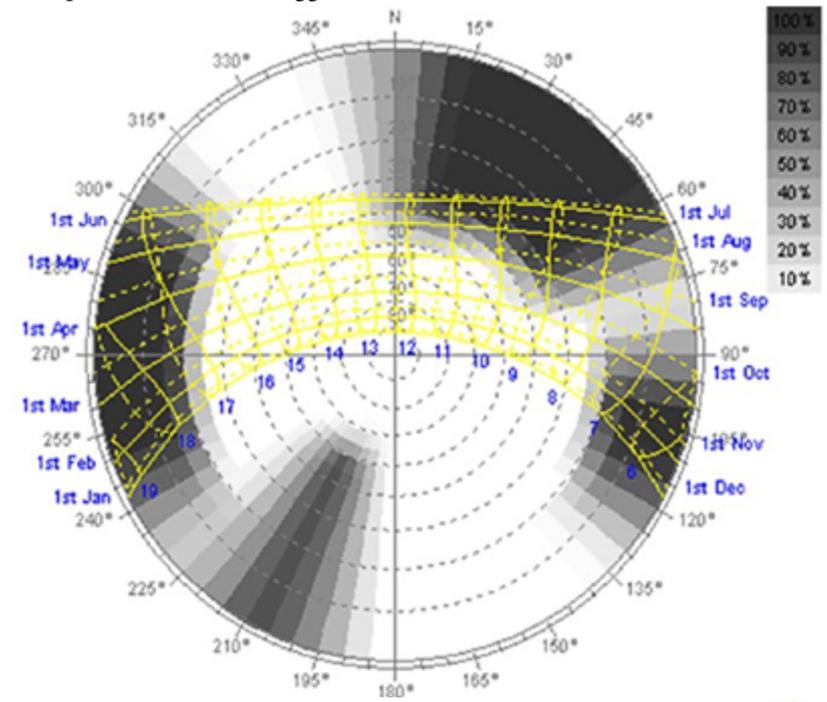


Assegnando colori diversi a diverse parti del modello sia per le ombre che per le riflessioni, è possibile vedere rapidamente non solo quando un punto o una superficie è in ombra, ma ciò che sta realmente facendo ostruzione.

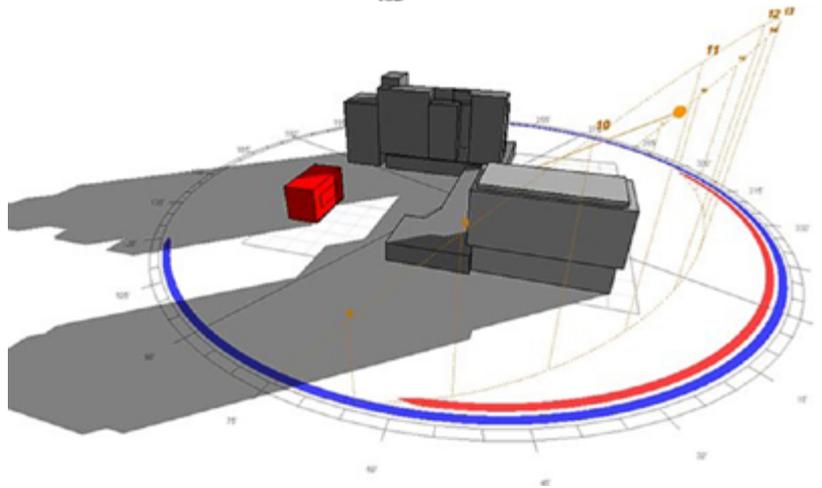
## Analisi di superfici attraverso l'Overshadowing

Considerare l'adombramento di una superficie, come un muro, una finestra o un tetto, risulta più complicato e meno immediato rispetto alla ad un solo punto. Inoltre c'è da considerare che ci saranno momenti in cui si è solo parzialmente in ombra. L'utilizzando di Ecotect, può facilmente dire con esattezza quanto di una data superficie si in ombra. I raggi generati dalla superficie che analizzata e il numero di raggi per girone che colpiscono gli altri oggetti nel modello, rispetto al numero totale dei raggi in quella sezione dà la percentuale di ombreggiatura.

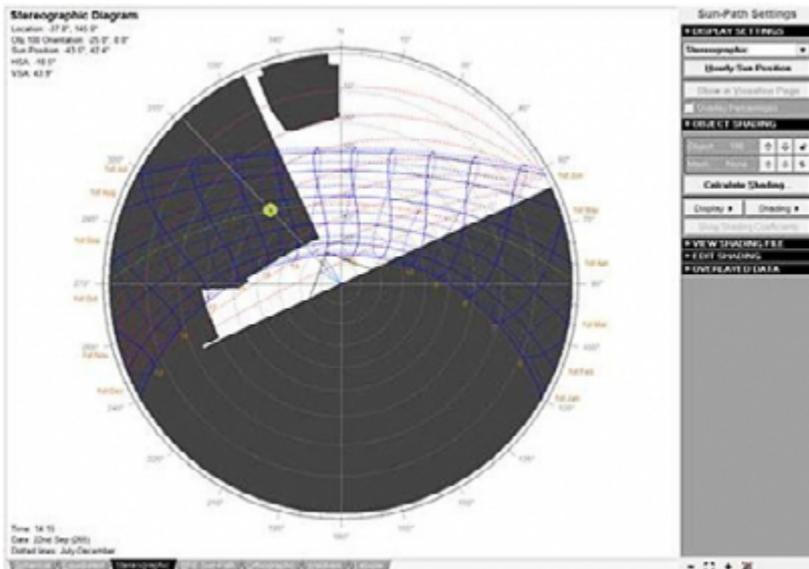
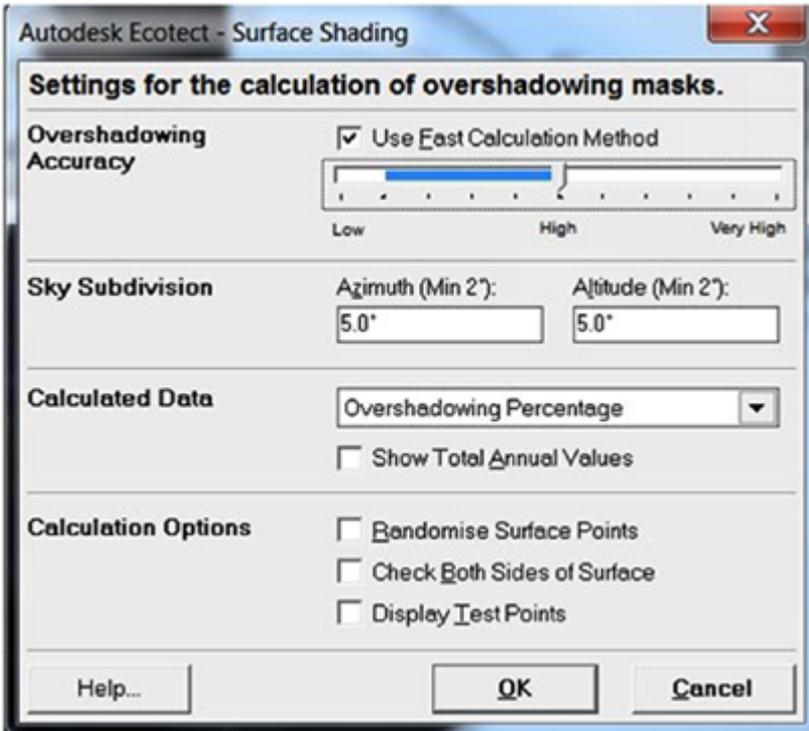
Una maschera d'ombra d'esempio dello stesso modello di sopra.



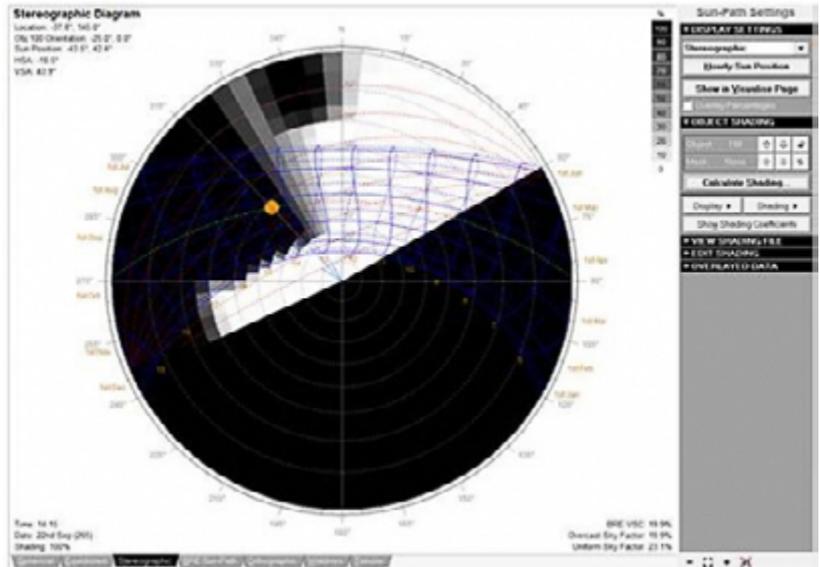
Una maschera d'ombra d'esempio dello stesso modello di sopra.



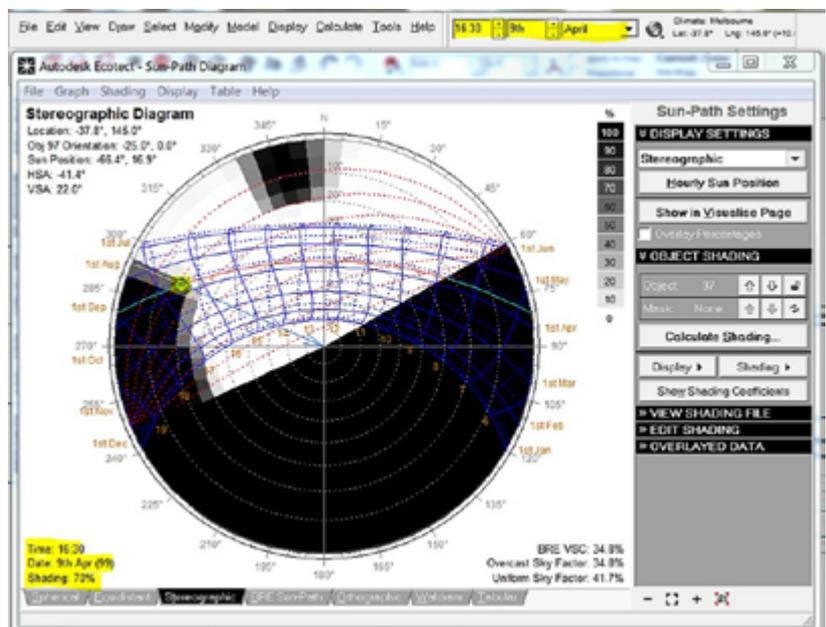
Il diagramma del percorso solare può essere visualizzato in sovrapposizione al modello tridimensionale che mostra gli edifici circostanti. C'è anche la possibilità di calcolare con maggiore precisione le ombre su tutta la superficie, selezionando l'opzione calcola ombreggiatura.



Il diagramma Sun - Path a destra viene visualizzato calcolando su un punto, mentre quello successivo è stato calcolato su tutta la superficie.



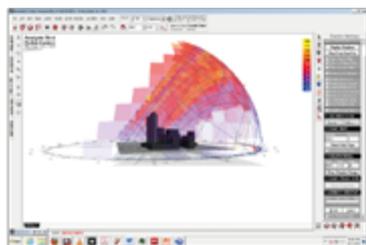
Il diagramma del percorso solare e l'editor 3D sono collegati in modo che spostando il sole in una data e ora specifica nel diagramma 2D le traiettorie solari vengono aggiornate confrontando il suo effetto sul modello 3D. È inoltre possibile modificare la data e l'ora utilizzando il menu a discesa tradizionali nella barra dei menu. La percentuale di ombreggiatura visualizzata denota che dove il diagramma è nero lì c'è il 100 % di ombra sull'oggetto mentre tonalità più chiare di grigio denotano meno ombra.





## **STRUMENTI INFORMATICI ANALIZZATI**

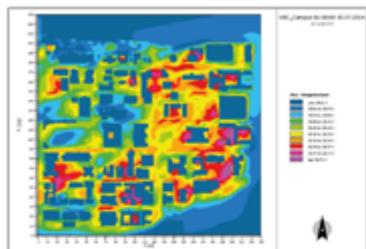
## ANALISI DEL CLIMA



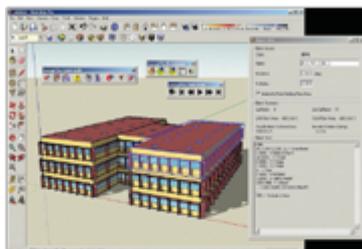
Autodesk Ecotect Analysis



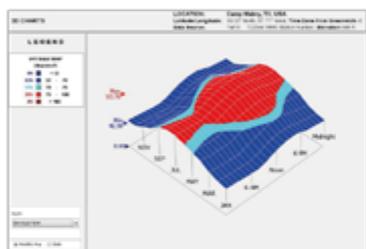
Autodesk Revit



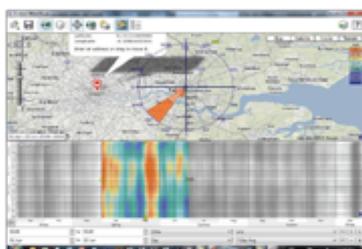
Envi-met



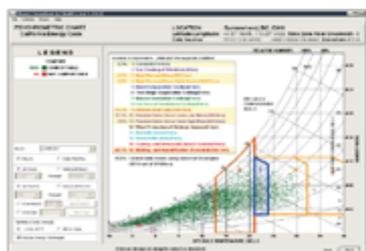
Energy Plus



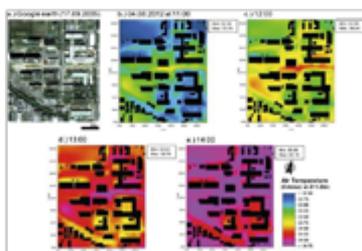
Climate Consultant



Project Vasari Wind Rose



Climate Consultant

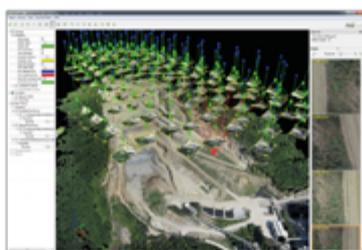


Envi-met

## COMFORT TERMICO

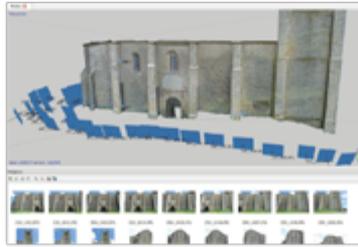


Autodesk Recap

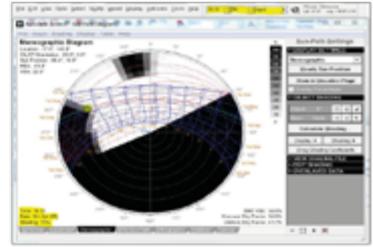


Pix4D

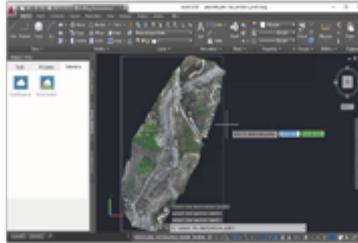
## CARATTERISTICHE DEL SITO DI PROGETTAZIONE



Photoscan

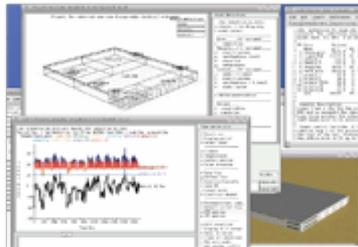


Autodesk Ecotect Analysis

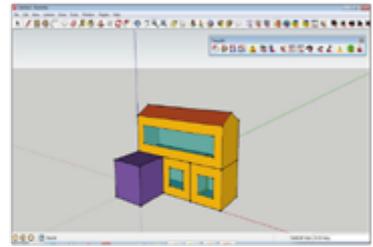


Analyst Cloud

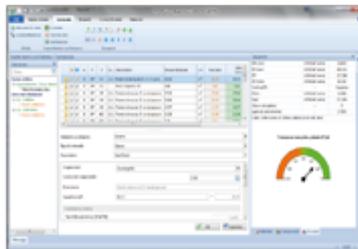
## I FLUSSI DI ENERGIA TERMICA NEGLI EDIFICI



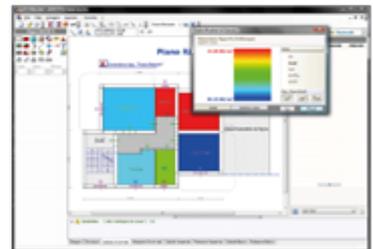
ESP-r +



Trnsys

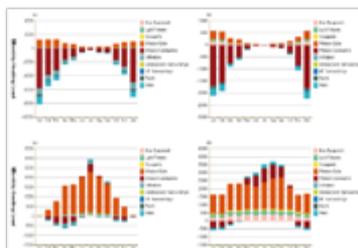


MC 11300

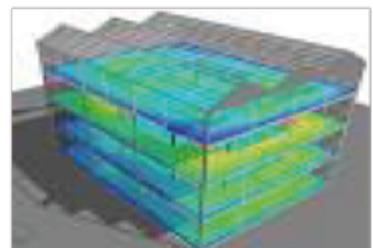


Termus

## CARICHI ENERGETICI DEGLI EDIFICI

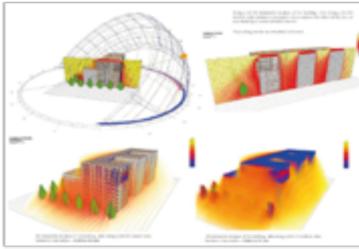


Autodesk Revit

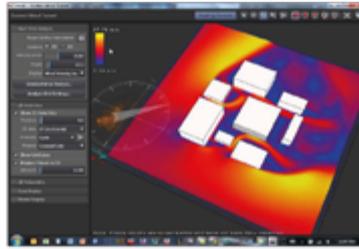


Design Builder

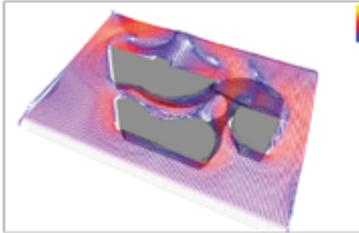
**VOLUMETRIA DELL'  
EDIFICIO  
E ORIENTAMENTO,  
RISCALDAMENTO  
PASSIVO  
E  
RAFFRESCAMENTO  
PASSIVO**



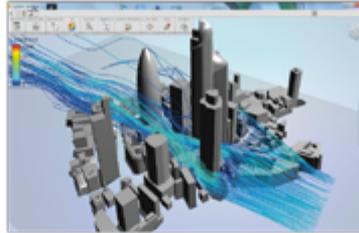
Autodesk Ecotect Analysis



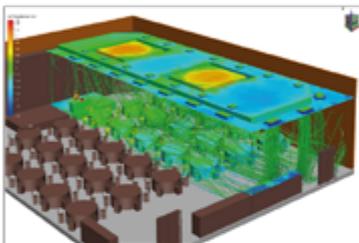
Autodesk Project Vasari



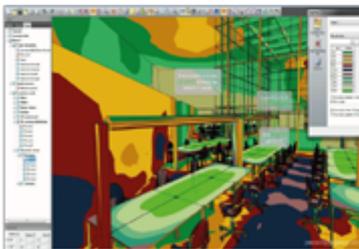
Winair



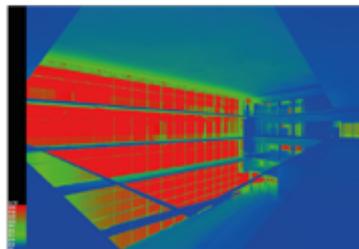
Autodesk Flow Design



Autodesk CFD

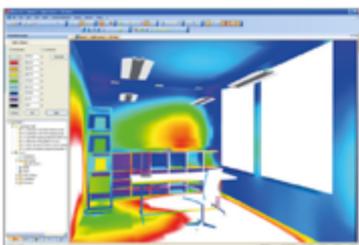


Relux



Radiance

**ILLUMINAZIONE  
NATURALE E  
ARTIFICIALE**

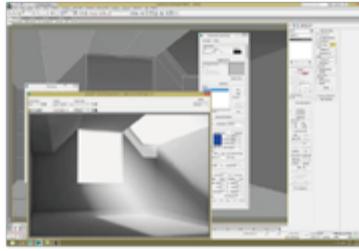


Dialux

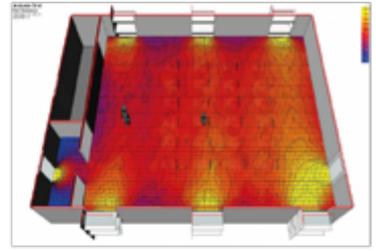


Useful Daylight Illuminance

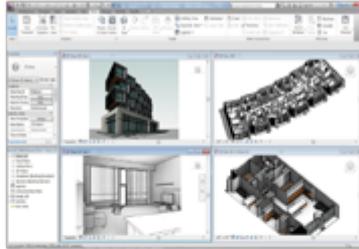
**BILDING  
INFORMATION  
MODELIG**



Autodesk 3ds Max



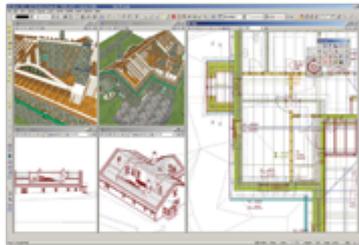
Autodesk Ecotect Analysis



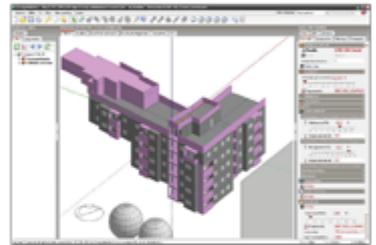
Autodesk Revit



Archicad



Allplan



Design Builder



## BIBLIOGRAFIA

Massimo Arcangeli, *Lingua e società nell'era globale*, edizione Meltemi, Roma 2005.

Ezio Arlati, *Il vantaggio della modellazione è radicale nella concezione e nella operatività*, *Ingenio* n.7, Novembre 2012.

Ezio Arlati, Bazjanac V., "The architectural heritage's representation by models: the contribution of design technologies from interoperability to simulation", Conferenza Internazionale "Online Repositories in Architecture", Venezia, Teatro Piccolo, Corderie dell'Arsenale, 20 -21 Settembre 2008.

ASHRAE. 2010. ANSI/ASHRAE standard 55-2010. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Reiner Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, 1993.

Reyner Banham (a cura di Giovanni Morabito), *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza editore, 1993.

F. Bertuglia, A. Piemontese e R. Scarano, *La città dimenticata. Recupero e riqualificazione degli ambiti di margine*, edizione Fratelli Fiorentino, 1999 e cfr. *Insediamiati ecosostenibili vivibilità e innovazione*, a cura di Antonietta Piemontese, edizione Giannini editore, 2013.

Buckminster Fuller R., *Nine Chains to the Moon*, Philadelphia, 1938.

Buckminster Fuller R., *Einflüsse auf meine Arbeit*, in: *Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde und andere Schriften*, Reinbek 1973, (traduzione italiana in: *Atlante della sostenibilità*, Utet 2008).

Gianfranco Carrara, B.K.M. *Un ambiente per la collaborazione progettuale basato su tecniche di rappresentazione e gestione della conoscenza*, 2008.

Cecodhas, *Housing affordability in the EU*, 2012.

Cecodhas housing Europe, *Housing Europe review 2012*, disponibile a [housingeurope.eu](http://housingeurope.eu).

Serge Chermayeff and Christopher Alexander, *Community and Privacy, toward a New Architecture of Humanism*, Garden City, N.Y: Doubleday, 1963.

Giuseppe Ciribini, Progettazione architettonica e disegno dei componenti edilizi prodotti industrialmente, Torino 1976.

Giuseppe Ciribini, Tecnologia e progetto, Celid, Torino 1984.

Stefano Comandini, Andrea Del Fiume e Andrea Ratti, Architettura sostenibile, Pitagora editrice, Bologna, 1998.

Paola Coppola Pignatelli, I luoghi dell'abitare, Officina edizioni, Roma, 1982.

Roland Cude, Méthodologie vers une science de l'action, edizione Gauthier-Villars, Parigi 1964.

Massimo D'Alessandro, a cura di, Dalla manutenzione alla manutenibilità. La previsione dell'obsolescenza in fase di progetto, FrancoAngeli, Milano, 1994.

Giorgio De Michelis, Aperto, molteplice, continuo, Dunod, Milano, 1998.

R. de Rubertis, Il disegno digitale: libertà o coartazione espressiva, in Sacchi-Unali, 2003.

Cesare De Seta, L'architettura della modernità tra crisi e rinascite, Bollati Boringhieri, Torino, I, 2002.

Anna Delera, Le regole del progetto. I nuovi requisiti per abitare, edizione Maggioli editore, 1996.

Salvatore Dierna, Architettura biologica: assunti teorici e pratiche di progetto in Alessandra Battisti, Fabrizio Tucci, Ambiente e Cultura dell'Abitare, Editrice Librerie Dedalo, Roma 2000.

Jean Gaspard Dollfus, Les aspects de l'architecture populaire dans le monde, Paris 1954, in Victor Olgyay, Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico, Franco Muzzio & c. editore, 1981.

Gillo Dorfles, Artificio e natura, Einaudi, Torino, 1968.

C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook. A guide to Building Information Modelling for owners, managers, designers, engineers and contractor, John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.

EN 15251, ISO 7730, DIN 1946-2.

Peter Eisenmann, *Oltre lo sguardo: l'architettura nell'epoca dei media elettronici*, Domus 734, 1992.

European Commission DG INFSO, *Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency*, Final report September 2008, p23

James Marston Fitch, *American Building, The Forces That Shape It*, Boston: Houghton-Mifflin Company, 1948, [tr. It. *La progettazione ambientale*, Padova, Franco Muzzio Editore, 1980].

James Marson Fitch, *La progettazione ambientale*, Franco Muzzio editore, Padova, 1980.

Umberto Galimberti, *Psiche e techne. L'uomo nell'età della tecnica*, edizione Feltrinelli, 2000.

Richard A. Goldthwaite, *La costruzione della Firenze rinascimentale*, edizione Il Mulino, Bologna 1984.

Cristina Grasseni e Francesco Ronzon, *Pratiche e cognizione. Note di ecologia della cultura*, Meltemi editore, Milano 2004.

Walter Gropius, *Computer for Architectural Design?*, Boston Architectural College Archives.

Walter Gropius, *Per un'architettura totale* tradotto da Giovanni Alberti, *Abscondita - milano*, 2007.

Guido Guerra, *Condizionamenti della progettazione per il raggiungimento degli ottimi ambientali*, Napoli 1968.

Jacques Guillerme, *Il modello nella regola del discorso scientifico*, Rassegna, 1987.

HABITAT II – Second United Nations Conference on Human Settlements, Istanbul, giugno 1996. Documento finale, par. 40, 43, 70, 134, 136.

Ellsworth Huntington, *Principles of Human Geography*, New York: John Wiley and Sons, 1951, pp 399-404.

Derrick de Kerckhove, *“La conquista del tempo nell'età della rete”*, Editori Riuniti, Roma 2003.

Derrick de Kerckhove, *“The Skin of Culture”*, 1995. Traduzione italiana a cura di M. Carbone, *“La pelle della cultura”*, edizione Costa & Nolan, Milano 2001.

A. G. Kwok, Thermal Boredom. In PLEA 2000 (pp. 1–2). Cambridge 2000.

ICT and Regional Economic Dynamics: A Literature Review, JRC Scientific and Technical Reports 2010 p11.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report, Summary for Policy-makers (AR4), 2007.

P. Lévy, L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del Cyberspazio, Feltrinelli, Milano, IT 1996. L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace, Éditions La Découverte, Paris)

Enrique Limon, Paul Virilio and the Oblique, in Sites & Station. Provisional Utopias, Lusitania Press, New York 1995.

Sergio Los, Processo: progettare e costruire edifici sostenibili in Maria Antonia Barucco, Dario Trabucco, Architettura\_Energia, EdicomEdizioni, 2007.

Mario Losasso, "Il progetto come prodotto di ricerca scientifica", Techne, n. 2, Journal of Technology for Architecture and Environment, Firenze University Press, Firenze, 2011.

A. Magnaghi, (2010), Il progetto locale. Verso la coscienza di luogo, Bollati Boringhieri, 1° ed. 2000, Torino.

Stanley Mathews, An Architecture for the New Britain: The Social Vision of Cedric Price's Fun Palace and Potteries Thinkbelt, Columbia University, 2003.

D. A. McIntyre, Indoor Climate. Applied Science Publishers, 1980.

Marshall McLuhan, Gli strumenti del comunicare, edizione Il Saggiatore, Milano 1964.

Claudio Molinari, a cura di, Manutenzioni in edilizia, Nozioni, problemi, prospettive, FrancoAngeli, Milano 1989.

Renato Morganti, Alessandra Tosone, Processi trasformativi del costruito e sostenibilità. Orientamenti e indirizzi operativi in Jacopo Gaspari, "Sfide per una dimensione sostenibile del costruire", EdicomEdizioni, 2009.

Béatrice Muller, Avant-propos, in *Maquettes architecturales de l'Antiquité*, Actes du Colloque de Strasbourg, edizione De Boccard, Paris 2001.

Nicholas Negroponte, *Soft Architecture Machines*, Cambridge, Mass: The MIT Press, 1975.

Victor Olgay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, franco muzzio & c. editore, 1981;

Marcello Petrignani, *Disegno e progettazione*, edizione Dedalo, Bari 1967.

Antonietta Piemontese (a cura di), *Architettura e computer*, edizione Gangemi editore, 2004.

Karl Popper e Bertrand Russell, citati da Jack Landau in *Footnotes in this passage*, underscoring the positivistic aspect of the argument. Ibid.

Roland Recht, *Il disegno d'architettura. Origine e funzioni*, Jaca Book, Milano 2001.

Alessandro Rogora, *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*, Wolters Kluwer editore, 2012;

Sergio Russo Ermolli, Valeria D'Ambrosio (a cura di), *The building retrofit challenge*, Programmazione, progettazione e gestione degli interventi in Europa, Alinea editrice, 2012.

Matheos Santamouris, *Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art*, earthscan from Routledge, 2013.

Nicolò Sardo, *La figurazione plastica dell'architettura. Modelli di rappresentazione*, Edizioni Kappa, 2004.

Rolando Scarano e Paolo Portoghesi, *L'architettura del sole*, Gangemi editore, 2004.

Rolando Scarano, *Processi di generazione della configurazione architettonica*, edizione Fratelli Fiorentino 1988.

Rafael Serra, *Clima Lugar y Arquitectura*, Manual de Diseño Bioclimatico, CIEMAT, 1989.

Luigi Sertorio, *Storia dell'abbondanza*, Bollati Boringhieri, Torino, 2000.

Salvatore Settis, *Paesaggio, costituzione, cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino, 2010.

Franco Strazzullo, *Le lettere di Luigi Vanvitelli della Biblioteca Palatina di Caserta*, edizione Congedo, 1976.

Ferdinando Terranova, *Documentazione sulla "Questione ambientale"* Techne 5, 2013.

Maria Chiara Torricelli, *Oltre la crisi. L'ottimismo della ricerca*, Techne 01, 2011.

Marcus Vitruvius Pollio, *De Architectura*, Libro VI, capitolo I, ca. 29-23 a.C.

Marcus Vitruvius Pollio, *De Architectura*, Libro X, cap XVI.

C.-E. A. Winslow, L. P. Herrington, e A. P. Gagge, *Temperature and Human Life*, Princeton: Princeton University Press, 1949.

XX rapporto congiunturale e previsionale "Il Mercato Delle Costruzioni 2012-2016" pubblicato dal Cresme (Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio).

Ortega y Gasset, *L'individuo, la circum-stantia e il mondo*.

Giovanni Zannoni, *I limiti della composizione architettonica tra possibilità tecnologiche e aspetti di sostenibilità* in Jacopo Gaspari, *Sfide per una dimensione sostenibile del costruire*, EdicomEdizioni, 2009.

## SITOGRAFIA

[ic.fsc.org](http://ic.fsc.org).

<http://2030palette.org/>.

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/>.

<http://it.wikipedia.org/wiki/Metaverso>.

<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/>.

<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/heat-energy-flows-buildings>.

<http://www.activehouse.info/>.

<http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/nbims/faq/#faq1>.

<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>.

<http://www.horizon2020news.it/horizon-2020-52>.

<http://www.ipcc.ch/>

<http://www.pikerresearch.com/research/global-building-stock-database>.

[http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1\\_p1.pdf](http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf)

[sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort](http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort).

[unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/in-session/items/9320.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/in-session/items/9320.php).

[www.csasfmforests.ca](http://www.csasfmforests.ca).

[www.is.org](http://www.is.org) e [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

[www.peakoil.net](http://www.peakoil.net).

[www.pefc.org](http://www.pefc.org).

[www.sfiprogram.org](http://www.sfiprogram.org).

[www.treefarmssystem.org](http://www.treefarmssystem.org).

