

1. Dallo storico rapporto naturale con il luogo alla consapevolezza ambientale di oggi

1.1. Edificio, luogo e clima

Nella storia gli edifici hanno sempre derivato le proprie caratteristiche funzionali, formali e tecnologiche da un rapporto “naturale” con il *luogo* ed il *clima locale*.

Come ampiamente dimostrato dagli antropologi, l'importanza del luogo si esprimeva anticamente attraverso la presa di possesso di un territorio, che iniziava col riconoscimento di un “intorno” come luogo significante e sacro e proseguiva con la volontà di conferire al territorio stesso un ordine fisico per sfruttarne le risorse. Gli insediamenti umani si adattavano alla morfologia del terreno, utilizzavano i materiali di provenienza locale acquisendone colore e tessitura e sfruttavano le risorse idriche presenti, collocandosi nei punti di riparo o di veduta più favorevoli. Assieme agli edifici veniva lentamente modificato il territorio al loro intorno: la struttura del paesaggio è il risultato del nuovo ordine e sfruttamento del territorio da parte dell'uomo.

Per quanto riguarda il clima locale, gli edifici hanno sempre cercato di proteggersi dagli agenti atmosferici avversi e di sfruttare le condizioni climatiche favorevoli. Dal punto di vista energetico hanno sempre ottimizzato il guadagno termico e minimizzato la perdita di calore, organizzando in modo opportuno gli ambienti interni al fine del loro riscaldamento e raffrescamento. Gli edifici sono come gli esseri viventi: con il freddo necessitano di una fonte energetica suppletiva per mantenere la temperatura interna ad un livello accettabile e di una determinata strategia per evitare la perdita di calore, associata anche alla ventilazione; con il caldo hanno bisogno di compensare il calore in eccesso durante il giorno, cercando di allontanarlo o farlo assorbire dall'involucro per evitare il picco di temperatura. Se l'involucro è “pesante”, il calore del giorno viene trasferito all'interno solo durante la notte quando la temperatura esterna è più bassa. Se l'involucro è “leggero”, questa strategia di sfasamento dell'onda termica non è possibile.

Il clima è l'effetto della combinazione di vari fattori meteorologici che caratterizzano una regione in un lungo periodo: la temperatura dell'aria, le precipitazioni (nelle varie forme), la pressione atmosferica, l'umidità relativa, lo stato del cielo, il regime dei venti, la radiazione solare.

La superficie terrestre può essere suddivisa in *zone climatiche*. La classificazione elaborata dal botanico e climatologo tedesco Köppen agli inizi del Novecento, da molti adottata come standard, si basa sull'esame dei valori delle temperature e delle precipitazioni medie mensili ed annue, nonché sull'esame della vegetazione spontanea, intesa come espressione sintetica dei parametri climatici. In base a questa classificazione si possono distinguere:

- la *zona equatoriale*, con clima tropicale A (clima della foresta pluviale A_f , variante delle stagioni monsoniche A_m , savana tropicale A_w) e clima secco B (clima della steppa B_s);
- le *zone temperate*, con clima temperato caldo C (temperato piovoso C_w , temperato piovoso in tutte le stagioni C_f , temperato piovoso con stagione secca C_s) e clima invernale D (clima delle foreste fredde umido in tutte le stagioni D_f , clima delle foreste fredde con inverno secco e lungo D_w);

- le *zone polari*, con clima glaciale E (clima della tundra E_t, clima del gelo perenne E_f).

In Italia si possono distinguere 7 zone climatiche:

- clima temperato, suddiviso in subtropicale (zone costiere di Calabria e Sicilia), temperato caldo (zone litoranee), sublitoraneo, subcontinentale (pianura padana), temperato fresco (zone prealpine);
- clima temperato freddo, tipico delle zone alpine;
- clima freddo, suddiviso in freddo e glaciale, tipico dei rilievi alpini.

Le zone climatiche della terra possono essere messe in relazione agli edifici, specificamente concepiti e sviluppati per l'*adattamento*: si possono facilmente individuare le costruzioni della foresta tropicale da quelle della steppa, quelle adattate alle condizioni estreme dei deserti da quelle delle zone polari.

Già Vitruvio, nei libri di Architettura, rimarcava come il luogo (o *sito*) avesse un marcato effetto sulla conformazione dell'edificio e come, per contro, la costruzione influisse sul sito circostante. Gli aspetti più rilevanti del progetto e della costruzione di un edificio riguardano, nelle parole di Vitruvio, la scelta del luogo, il microclima ed il paesaggio: bisogna edificare nel miglior luogo possibile e con le condizioni ambientali più favorevoli. Alla scelta del luogo deve seguire quella per l'orientazione dell'edificio e la sua distribuzione.

Sebbene oggi la localizzazione sia spesso dettata da necessità urbanistiche o da assetti territoriali già configurati, la radiazione solare, l'illuminamento naturale, le vedute, il vento, il rumore, la qualità dell'aria sono fattori ambientali molto significativi che dovrebbero essere sempre considerati nel progetto del manufatto. Quale aspetto privilegiare sopra gli altri e quale specifica condizione ambientale far prevalere, sono scelte progettuali fondamentali. Un'orientazione ottimale rispetto al sole può prevalere, per esempio, sul rispetto della morfologia del terreno e sull'allineamento stradale, con conseguenze funzionali di vario genere. In altri casi, nel caso di edifici produttivi o per il terziario, l'orientazione solare può essere subordinata a più importanti esigenze distributive e funzionali.

Una buona progettazione dovrebbe considerare parimenti tutti i fattori sopra esposti, almeno nelle prime fasi ideative. A questo proposito è importante ricordare come dovrebbe essere la pianificazione a determinare le modalità di localizzazione degli edifici, per evitare costruzioni in luoghi svantaggiosi e ridurre l'impatto sull'ambiente. Il posizionamento di un edificio nel territorio dovrebbe essere, quindi, la conseguenza di scelte urbanistiche oculate e ad ampio spettro. Purtroppo questo spesso non accade, a causa di interessi economici personali o carenza di cultura progettuale.

L'*analisi* o *lettura* del contesto ambientale rappresenta un metodo per lo studio della corretta localizzazione dell'edificio¹. Tale analisi rileva i “segni antropici” del territorio e

¹ Alcuni studiosi, propugnatori di una nuova e personale “teoria dell'architettura” e di una “scienza urbana”, hanno messo in luce, specialmente in Italia, a partire dal secondo dopoguerra, l'importanza dell'*analisi tipologica* (analisi o studio dei tipi) come principio scientifico su cui fondare lo studio dell'architettura, ai fini di un successivo intervento progettuale. Lo studio analitico dell'intero territorio (ambiente costruito) prende il nome di lettura. È possibile identificare i tipi dalla lettura dell'ambiente o contesto costruito. Ne consegue una lettura del “tessuto urbano” e dei singoli edifici, nella loro conformazione strutturale e nei loro materiali, secondo un approccio per

la loro evoluzione nel tempo per dedurre regole guida nella successiva progettazione a scala urbana ed edilizia. La centuriazione romana nella pianura padana, per esempio, con la caratteristica griglia di strade a maglie quadrate ben orientate, era concepita in rapporto alle esigenze di captazione e deflusso delle acque, ed ha caratterizzato l'organizzazione spaziale degli insediamenti rurali negli ultimi secoli. La "logica ambientale" dell'assetto di un territorio consolidato nel tempo può essere utile al progetto.

La progettazione architettonica, intesa come attività che crea e modella lo spazio, è un processo molto complesso, che coinvolge molte componenti, difficilmente sintetizzabili in regole semplici di tipo deterministico. In molti esempi il "segno architettonico", portatore di contenuti formali, sociali e culturali, prevale su considerazioni di tipo ambientale. Oggi, tuttavia, il "fattore ambientale" viene posto eticamente come condizione privilegiata del paradigma progettuale. Esistono vari modi di "fare architettura", a seconda che si privilegi un carattere dell'ambiente rispetto ad un altro: i termini architettura ecosostenibile, architettura bioclimatica, architettura solare, architettura ecologica, o bioecologica, bioarchitettura delineano strategie progettuali in questa direzione con sfumature diverse.

L'orientazione dell'edificio per ottimizzare il guadagno solare è un fattore determinante, per esempio, nell'architettura *bioclimatica* o nella cosiddetta *architettura solare*. Per controllare l'esposizione si utilizzano carte solari, che permettono di determinare in ogni periodo dell'anno ed ora del giorno la posizione del sole rispetto all'edificio – in termini di angolo zenitale ed azimutale – per una certa latitudine e longitudine. La conoscenza della posizione del sole aiuta a disporre correttamente le aperture e a regolarne e l'ampiezza; inoltre, aiuta a collocare gli elementi per la protezione dalla radiazione solare (frangisole o *brise-soleil*) durante la stagione estiva. Lo studio delle ombre nell'edificio viene simulato automaticamente da software di grafica.

La *bioarchitettura* privilegia invece l'aspetto biologico-naturale nel suo complesso ed è particolarmente legata alla salubrità dei materiali, oltre che al risparmio delle risorse naturali. Impiega materiali cosiddetti naturali ed a basso impatto energetico, come la terra cruda, e i prodotti locali e riciclabili.

1.2. Tradizione storica

Uno studio del rapporto tra edificio e ambiente nella tradizione costruttiva di un luogo, cioè nella stessa edilizia consolidata nel tempo, è molto utile per trarre insegnamenti ai fini del progetto. Si possono fare innumerevoli esempi storici di tale rapporto, alcuni dei quali tipici del contesto italiano.

Nella pianura emiliana la maggior parte degli edifici rurali isolati è stata costruita dal Settecento in poi disponendo il lato lungo secondo l'asse est-ovest (figg. 1.1, 1.2). Le aperture sul lato nord erano ridotte al minimo indispensabile. L'ingresso, le aperture maggiori ed i portici erano disposti prevalentemente a sud e contribuivano a formare uno spazio filtro tra interno ed esterno, particolarmente importante per la protezione dall'eccessivo irraggiamento solare. Le stalle, riscaldate solo dal calore animale, contene-

scale di dettaglio successive, cioè di tipo scalare. Esistono tipi di tessuti urbani, tipi edilizi, tipi architettonici e vari tipi di materiali. Cfr. Caniggia G., Maffei P.L., *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio Editori, 1979.

vano il calore attraverso murature di notevole spessore e quindi inerzia termica, per il contenimento delle dispersioni invernali e per lo sfasamento estivo dell'onda termica, più che per ragioni statiche. Particolare attenzione era posta agli aspetti legati alla ventilazione degli ambienti: i fienili erano ventilati attraverso delle "gelosie". I sottotetti erano pure ventilati, in quanto dotati di aperture su entrambi i lati. I serramenti permettevano il passaggio dell'aria negli ambienti interni assicurando il ricambio naturale. La parte abitativa era separata da quella rustica da muri tagliafuoco e spazi aperti (nel parmense denominati "porte morte"), per fornire una maggiore protezione contro gli incendi ed erano riscaldati da camini a legna posti in punti opportuni per il massimo sfruttamento di calore.

La salubrità di quelle case era più bassa di quella di oggi per la mancanza di acqua corrente e per la presenza, in inverno, di un alto tasso di umidità negli ambienti interni, associata ad una bassa temperatura. Tuttavia, anche l'aspettativa di *benessere* (o *comfort*) di chi abitava quegli spazi era inferiore a quella odierna. Il livello di comfort è espressione del livello sociale e culturale nonché delle condizioni economiche degli utenti. Nelle dimore rurali storiche i contadini vivevano d'inverno ad una temperatura interna molto variabile nell'arco della giornata e mai superiore ai 15 gradi – se non in prossimità dei camini – e si coprivano con indumenti pesanti; spesso si scaldavano col calore animale.

Oggi si vive negli ambienti interni con temperature stabili intorno ai 20°C e con indumenti più leggeri. Se si desidera portare ai livelli di *comfort* oggi richiesti questi edifici rurali, a cui attribuiamo un valore culturale, storico e architettonico, si devono imporre all'ambiente interno valori più alti di temperatura e adottare soluzioni tecnologiche mirate, come l'ispessimento dei muri perimetrali con materiali isolanti, attuato dall'interno o dall'esterno a seconda delle opportunità, l'inserimento di doppi vetri per diminuire le dispersioni termiche ed aumentare la tenuta all'aria, o l'impiego di nuovi impianti per la climatizzazione.

Tutto questo va a scapito dell'*equilibrio* originario, o naturale, tra edificio ed ambiente che si aveva nelle costruzioni tradizionali. L'edificio recuperato trova oggi un nuovo equilibrio energetico con l'ambiente esterno. In tale nuovo equilibrio, mutando le condizioni ambientali, possono sorgere nuovi problemi, che devono essere risolti in modo oculato.

Per esempio, benché il muro della casa tradizionale fosse molto umido in quanto senza fondazioni e a diretto contatto col terreno, l'intonaco a calce che lo ricopriva permetteva l'evaporazione naturale dell'acqua attraverso la superficie. Lo stesso muro, intonacato con nuovi materiali poco *traspiranti*, come il cemento, oppure occluso da laterizi di nuova produzione o materiali isolanti, potrebbe generare fenomeni di condensa con forti differenze di temperatura, anche localizzate, tra interno ed esterno. Per questo motivo è sempre opportuno adottare soluzioni tecniche e materiali compatibili con la logica funzionale del muro originario, evitando l'uso del cemento nell'intonaco e di alcuni materiali non traspiranti ed aerando il muro per facilitare l'espulsione del vapore acqueo.

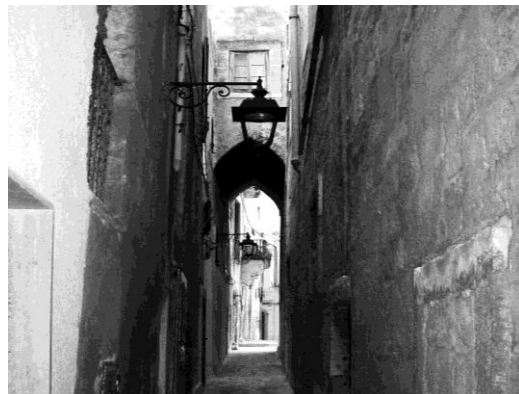
Molti principi moderni della bioclimatica traggono ispirazione da soluzioni tecniche in climi estremi, come quelli di montagna o desertici, in cui l'ottimizzazione delle risorse e la riduzione dei consumi sono state nella storia motivazioni particolarmente sentite nelle scelte costruttive adottate. La disponibilità dei materiali e le ragioni climatiche, oltre che forti motivi di equilibrio eco-sistemico, hanno condizionato fortemente la forma architettonica.



Figg. 1.1, 1.2 – Edilizia rurale nel parmense: esterno porticato esposto a sud, con parte abitativa e rustico giustapposti; a destra, interno del fienile con muro “a gelosia” per la ventilazione, ispessito in corrispondenza delle travi di copertura.



Figg. 1.3, 1.4 – Edilizia rurale di montagna: maso del Trentino con basamento di pietra e parte superiore in “blockbau”; a destra, balcone esposto a sud, utilizzato anche per far seccare il fieno e la legna.



Figg. 1.5, 1.6 – Centro storico di Monopoli, in Puglia: le case, con copertura piana, utilizzano le pietre del luogo; le murature esterne sono rifinite con uno strato di calce bianca; gli stretti passaggi tra le case contribuiscono al raffrescamento degli spazi esterni ma contribuiscono anche al comfort all’interno degli edifici.

Particolarmente significativi di un tipo di edilizia rurale in equilibrio con l'ambiente sono i masi delle Alpi: questi edifici venivano costruiti in alto, vicino ai pascoli, per evitare di trasferire il foraggio a valle (figg. 1.3, 1.4).

I masi erano adibiti a stalla, fienile e talvolta a piccola abitazione. In basso stavano gli animali e/o le persone, in alto il fieno.

I masi sono costituiti di pietra e legno in proporzioni e qualità variabili da zona a zona. Le lastre di granito o di porfido usate si trovano negli esempi delle Alpi con rocce di tipo cristallino; le pietre calcaree si trovano nelle costruzioni delle Alpi con rocce a prevalente base calcarea. Le lastre di porfido nelle coperture si riscontrano in luoghi con alta disponibilità di pietra da costruzione; i coppi nelle terre ricche di argilla, più vicino alle valli basse. L'uso del legno è abbondante nelle valli con foreste; l'uso è minore nelle ampie valli a pascolo o coltivate.

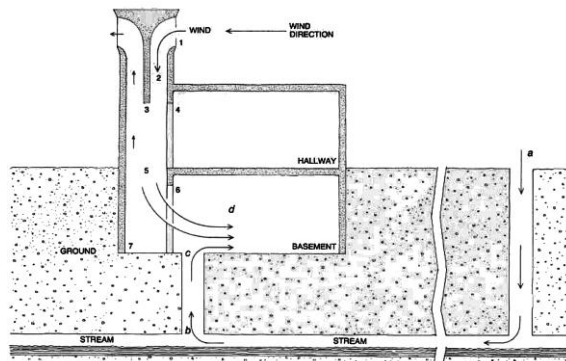
Le foreste sopra i centri abitati non venivano disboscate non solo per contrastare la franosità della montagna, ma anche per mantenere una riserva di legno per la manutenzione e la nuova costruzione delle case. La pietra era usata nella parte bassa della casa, a contatto col terreno, e il legno nelle parti alte. Per chiudere l'abitazione e la stalla il materiale con maggior resa economica era infatti la pietra.

Nel fienile, dove una buona areazione impedisce la fermentazione del fieno e la sua autocombustione, si usava preferibilmente il legno. Il legno costituisce un materiale più leggero ed inoltre un collegamento omogeneo con la struttura di copertura.

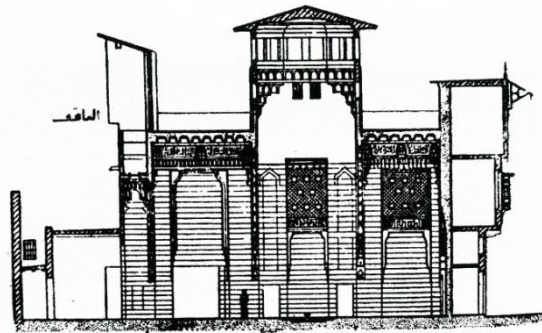
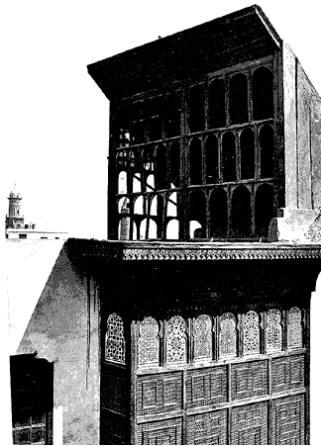
Il sistema *blockbau*, con le travi di legno sovrapposte orizzontalmente ed incastrate agli spigoli, offriva maggiore stabilità strutturale ed isolamento termico alle alte quote ma comportava alto consumo di legname. Il sistema a telaio e rivestimento in tavole, più economico per quantità di materiale utilizzato, si diffuse quindi a partire dal '500, con lo sviluppo delle segherie; esso è costituito da un telaio a travi semplici o doppie appoggiate al basamento in muratura, che viene poi rivestito di tavole. Permette una costruzione più alta del *blockbau* e con maggiore libertà compositiva nel creare aggetti, poggioni, avancorpi. Le facciate principali guardano a valle verso sud, con aggetti per essiccare il fieno sui poggioni; un sofisticato sistema di ventilazione, con aperture di areazione di varia forma, viene ricavato nel tavolato di riempimento; ampi sporti di copertura sono presenti per riparare scale e poggioni.

Esistono innumerevoli esempi di forme architettoniche concepite in rapporto al clima. I muri colorati di bianco di molti edifici *dell'area mediterranea*, sfruttando il colore delle calce locali, permettono di riflettere meglio la radiazione solare. Nell'architettura mediterranea, inoltre, la conformazione della copertura piana, spesso costituita da volte in pietra da taglio, crea un grande spazio vuoto interno alla volta stessa. Questa costruzione ha un effetto benefico sul microclima interno: di giorno permette al calore in eccesso di accumularsi nella parte alta dell'ambiente interno e non interessare le zone basse, dove vivono e lavorano le persone; di notte offre la possibilità di smaltire velocemente il calore accumulato durante il giorno attraverso una superficie di scambio termico più ampia. La presenza di stretti passaggi tra gli edifici facilita la ventilazione trasversale ed aumenta le zone con permanenza totale dell'ombra (figg. 1.5, 1.6).

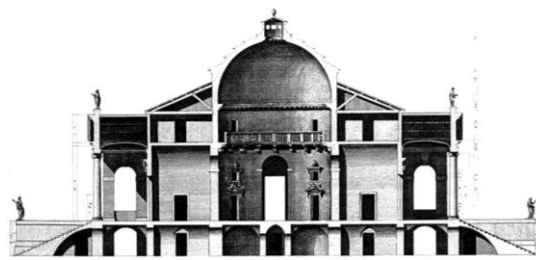
Nei climi secchi dell'architettura medio-orientale ed araba sono spesso citate le *wind towers* per lo sfruttamento delle forti variazioni giornaliere di temperatura e pressione del vento. Nel caso del sistema iraniano con torri di captazione (*baghdir*) il meccanismo consiste nel catturare il vento dall'alto, dove è più veloce e fresco che a livello del suolo, condurlo attraverso condotti verticali all'interno dell'edificio – di massa consistente – ed espellerlo attraverso aperture poste in alto (fig. 1.7).



Figg. 1.7, 1.8 – Torri del vento iraniane a Yazd: vista e funzionamento schematico del sistema di raffrescamento. Da Scientific American.



Figg. 1.9, 1.10 – A sinistra, mashrabiya (in basso) del grande qa'a, che dissimula l'elemento di captazione dell'aria, o malqaf. A destra, sezione dell'edificio con malqaf, da Hassan Fathy.



Figg. 1.11, 1.12 – Andrea Palladio, Villa Almerico Capra detta "La Rotonda", progetto 1566-1571: inserimento nel paesaggio collinare e sezione trasversale nella versione dello Scamozzi (1778), con copertura centrale con cupola e lanterna.

L'elemento di captazione è generalmente separato dai locali da raffrescare e collegato a questi ultimi da un locale sotterraneo che raffredda ulteriormente l'aria. Il flusso d'aria s'inverte durante la notte, per effetto del rilascio di calore da parte dell'involucro della torre che riscalda l'aria e la richiama fuori.

Nei *qa'a* egiziani l'elemento di captazione è il *malqaf*, situato a nord sopravento, e l'apertura di estrazione è costituita da un lanternino. Le aperture sono collegate direttamente con i locali da raffrescare ed il ciclo è continuo durante la giornata (fig. 1.8).

Quelle architetture non potrebbero esistere se non in quei luoghi.

Scrive Hassan Fathy in *Energia naturale e architettura vernacolare* (1986):

Il clima, in particolare, incide, in qualche misura, sulle forme architettoniche. Per esempio, le dimensioni di una finestra rispetto alla superficie della parete, diminuiscono man mano che ci si sposta verso l'equatore. Nelle zone calde ci si protegge dalla luce e dal calore del sole, come dimostrano le dimensioni ridotte delle finestre. [...] Si noti, inoltre, come la pendenza dei tetti a due falde diminuisce col decrescere del tasso di piovosità.

L'edificio non sempre è isolato: spesso si trova aggregato ad altri edifici in un agglomerato che costituisce un insediamento, per il quale valgono, fino a certe dimensioni, le stesse ragioni esplicitate nel caso di edifici singoli.

Ad un certo punto della storia vengono a crearsi città sempre più sofisticate nel loro ruolo politico, economico e sociale. Quanto più edificio si inserisce in un ambiente urbano tanto più perde la relazione con la natura pura ed acquista un rapporto speciale col nuovo *ambiente costruito*: si allinea lungo le strade, si accosta o si sovrappone ad altri edifici, diventa elemento di riferimento visivo, traguardo di prospettive, intorno protetto, rispetta, con maggiore o minore intensità, i nuovi fattori derivanti dalla modificazione dell'ambiente naturale e dalla presenza di altri edifici. In questo caso è l'intero sistema urbano a dover essere considerato ai fini del rapporto con l'ambiente.

Non solo gli edifici comuni (definiti *edilizia di base* nell'analisi tipologica), in città o in campagna, sono stati costruiti nella storia in rapporto con il luogo, ma anche quelli di grandi dimensioni e con funzioni speciali (*edilizia specialistica*).

L'architettura nobile del Rinascimento adotta soluzioni in sintonia con l'ambiente. Così recita Palladio nel terzo dei suoi *Quattro Libri*²:

[...] Ma si come Iddio Benedetto ha ordinato questi membri nostri, che i più belli siano in luoghi più esposti ad esser veduti, & i meno honesti in luoghi nascosti; così ancor noi nel fabricare; collocheremo le parti principali, e riguardevoli in luoghi scoperti, e le men belle in luoghi più ascosti a gli occhi nostri che sia possibile: perche in quelle si riporranno tutte le bruttezze della casa, e tutte quelle cose, che potessero dare impaccio, & in parte render brutte le parti più belle. Però lodo che nella più bassa parte della fabrica, la quale io faccio alquanto sotterra; siano disposte le cantine, i magazzini da legne, le dispense, le cucine, i tinelli, i luoghi da liscia, o bucata, i forni, e gli altri simili, che all'uso quotidiano sono necessarij: dal che si cavano due commodità: l'una che la parte di sopra resta tutta libera, e l'altra, che non meno importa; è, che detto ordine di sopra divien sano per habitarvi, essendo il suo pavimento lontano dall'humido della terra: oltre che alzandosi; ha più bella gratia ad esser veduto, & al veder fuori. Si avvertirà poi nel resto della fabrica, che vi siano stanze grandi, mediocri, e piccole: e tutte l'una à canto a l'altra, onde possano scambievolmente servirsi. Le piccole si amezzeranno per cavarne camerini, ove si ripongano gli studioli, ò le librerie, gli arnesi da cavalcare, & altri invogli, de' quali ogni giorno habbiamo di bisogno, e non sta bene che stiano nelle camere, dove si dorme, mangia, e si ricevono i forestieri.

² Andrea Palladio, *I Quattro Libri di Architettura*, pubblicati per la prima volta nel 1570.

Appartiene ancho alla cōmodità, che le stanze per la estate siano ampie, e spaciose, e rivolte à Settentrione; e quelle per lo inverno à Meriggie, e Ponente, e siano più tosto picciole che altramente: percioche nella estate noi cerchiamo l'ombre, & i venti, e nell'inverno i Soli, & le picciole stanze più facilmente si scaldano che le grandi. Ma quelle, delle quali vorremo servirci la Primavera, e l'Autunno; saranno volte all'Oriente, e riguarderanno sopra giardini, e verdure. A questa medesima parte saranno ancho gli studij, ò librerie: perche la mattina più che d'altro tempo si adoperano. Ma le stanze grandi con le mediocri, e queste con le picciole deono essere in maniera compartite, che (come ho detto altrove) una parte della fabbrica corrisponda all'altra, e così tutto il corpo dell'edificio habbia in se una certa convenienza di membri, che lo renda tutto bello, e gratioso. Ma perche nelle città quasi sempre, ò i muri de' vicini, o le strade, e le piazze pubbliche assegnano certi, termini oltra i quali non si può l'Architetto estendere; fa di bisogno accōmodarsi secondo l'occasione de' siti: al che daranno gran lume (se non m'inganno) le piante, e gl'alzati che seguono: i quali serviranno per esempio delle cose dette ancho nel passato libro.

In questa visione organica dell'edificio, in cui ogni parte è gerarchicamente disposta in rapporto al tutto, vi è particolare attenzione verso un corretto orientamento dell'edificio. Così Palladio descrive il progetto per villa "la Rotonda" a Vicenza, iniziata nel 1566 per volere di Paolo Almerico:

[...] Il sito è de gli ameni, e dilettevoli che si possano ritrovare: perche è sopra un monticello di ascensione facilissima, & è da una parte bagnato dal Bacchiglione fiume navigabile, e dall'altra è circondato da altri amenissimi colli, che rendono l'aspetto di un molto grande Theatro, e sono tutti coltivati, & abbondanti di frutti eccellentissimi, & di buonissime viti: Onde perche gode da ogni parte di bellissime viste, delle quali alcune sono terminate, alcune più lontane, & altre, che terminano con l'Orizzonte; vi sono state fatte le loggie in tutte quattro le faccie: sotto il piano delle quali, e della Sala sono le stanze per la comodità, & uso della famiglia. La Sala è nel mezzo, & è rotonda, e piglia il lume di sopra. I camerini sono amezati. Sopra le stanze grandi, le quali hanno i volti alti secondo il primo modo, intorno la Sala vi è un luogo da passeggiare di larghezza di quindici piedi, e mezzo. Nell'estremità de i piedestili, che fanno poggio alle scale delle loggie; vi sono statue di mano di Messer Lorenzo Vicentino Scultore molto eccellente. [...]

La villa Rotonda di Palladio è famosa per inserirsi con armonia nell'ambiente circostante (fig. 1.6). Per consentire ad ogni stanza un'analoga esposizione al sole, la pianta fu ruotata di 45 gradi rispetto ai punti cardinali. Palladio intendeva coprire la sala centrale con una volta emisferica, ma Scamozzi progettò una volta più bassa con un oculo (che doveva essere a cielo aperto) ispirandosi al Pantheon e apportò altre limitate modifiche al progetto, come il taglio alla scalinata che permetteva un accesso diretto dall'esterno ai locali di servizio posti al pianterreno.

Circa duecento anni dopo, nel 1781, Francesco Milizia, teorico dell'architettura, naturalista con sensibilità europea e cosmopolita di tipo illuminista, pubblica i Principj di Architettura civile e riprende le tematiche ambientali già presenti in Palladio nel primo libro della seconda parte, dal titolo "della situazione", cioè riguardo al contesto ambientale dell'edificio:

Queste sei condizioni sono necessarie per una buona situazione, 1. bontà del terreno, 2. l'aria, 3. l'acqua, 4. esposizione sana, 5. comodità di luogo, 6. amenità di vedute. [...]

Un *buon terreno* significa una terra fertile, e salubre; senza questa condizione è inutile piantare giardini, e ville. [...]

L'*aria* è il principale istromento della natura, in tutte le sue operazioni sopra la superficie della terra, e nel suo interno. Niun vegetale, nè animal terrestre, o acquatico può esser prodotto, vivere, o crescere senz'aria. Noi non siamo, che creature aeree, siamo continuamente nell'aria, non respiriamo che aria l'aria è il nostro elemento, e la base fondamentale della nostra salute. L'aria è ve-

ramente sana, quando non è né troppo secca, né troppo umida, né troppo calda, né troppo fredda. [...]

È tanto importante la scelta di un sito di buon'aria, quanto i suoi difetti sono o irreparabili, o di un riparo immaginario, o di un riparo dispendiosissimo, come col prosciugar paludi, abbatter selve ecc. L'aria deve esser naturalmente pura, e per esser tale, deve esser ventilata; come l'acqua senza agitazione presto si corrompe, così l'aria senza moto divien cattiva. Il vento, ed il sole purgan l'aria. Vogliono dunque esser siti alquanto elevati, ed aperti; l'aria libera è necessariamente buona. [...]

Le *acque* di neve, e di pioggia variano anche nei differenti paesi, nelle differenti stagioni per li venti diversi, e per la altre circostanze, che modifican diversamente lo stato dell'atmosfera. [...]

Il conoscer la bontà delle acque, e il fornirne in abbondanza per li bisogni degli uomini, degli animali, delle piante, e per ornamento delle case, e dei giardini, è un affare di tanta importanza per l'Architetto, quanto è importante l'acqua per la sanità, per li comodi, e per li piaceri della vita. [...]

È quasi impossibile il prescrivere regole generali concernenti l'*esposizione degli edificj*: quello, che spesso si evita in un luogo, si cerca in un altro. Oltre le varietà de' climi, l'Architetto deve ben conoscere ancora le varietà locali di uno stesso clima per piantar i suoi edificj nella migliore esposizione, qualora egli ha la scelta del sito, occasione ben rara. [...]

Quel che è certo, si è, che bisogna garantirsi e dal troppo gran freddo, e dal troppo gran caldo, come da' venti impetuosi, e nocivi. E ciò non si può conoscere, che per lunghe osservazioni fatte antecedentemente sopra i dati particolari siti. L'Oriente e l'Occidente sono per lo più esposizioni incommode, perché nell'estate vi si è bruciato dal sole, che vi batte quasi la metà del giorno. Il Settentrione troppo freddo, e talvolta umido. La migliore esposizione sembra quella di mezzogiorno, perché nell'inverno il sole abbassandosi riscalda, e nella estate alzandosi rasenta la casa, e non le dà tanto calore. Ma ciascun Paese ha qualche lato dell'Orizzonte da dove vengono più costantemente i maggiori venti, e le maggiori piogge. Convien sceglier l'esposizione opposta. [...]

Le *comodità* locali riguardo alla situazione dipendono da una folla di circostanze, alle quali bisogna fare una particolare attenzione, né si posson prescrivere. Bisogna aver dell'acqua essere a portata de' luoghi, ove si trovan le cose necessarie alla vita, star lungi dagli strepiti, aver gli accessi facili, e liberi, e sopra tutto i lumi vantaggiosi, e questi non si posson godere, se non ove si ha davanti, o d'intorno uno spazio aperto. [...]

La bellezza delle *vedute*, che si godono da un sito scelto, benché men necessaria delle condizioni precedenti, ci è così interessante, quanto ci interessano i nostri piaceri, che sono i componenti della nostra felicità. [...]

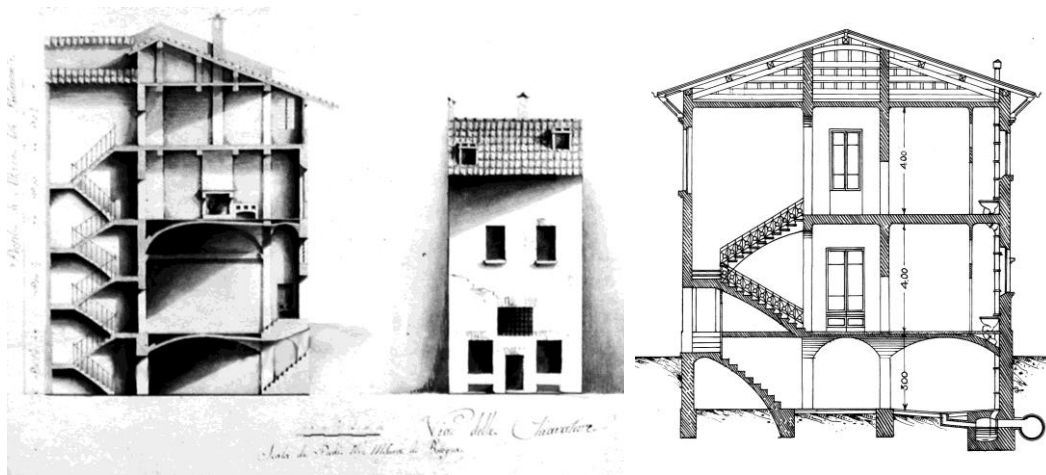
A partire dal Settecento e per tutto l'Ottocento, dall'abate Laugier a Viollet Le-Duc, il rapporto tra natura e costruito viene sviluppato da moltissimi teorici e trattatisti dell'architettura.

1.3. Sviluppo industriale e architettura moderna

Il problema della salubrità delle costruzioni, legato alla diffusione di malattie e alla mancanza di acqua corrente, è stato presente nella costruzione della casa per secoli, ma la salute degli abitanti acquisisce un'importanza rilevante nella società occidentale con l'avvento della rivoluzione industriale. Sul finire dal XIX secolo molti sforzi vanno nella direzione di migliorare le condizioni di salute e benessere degli ambienti attraverso l'uso delle nuove tecnologie: nelle città una gran parte degli alloggi inizia a dotarsi di servizi igienici direttamente collegati al nuovo sistema fognario, di caldaie per il riscaldamento e di impianti di illuminazione (figg. 1.13, 1.14). Nell'Italia agricola il fenomeno è ritardato rispetto ad altri paesi europei più industrializzati.

La tecnologia incide non solo sulla struttura degli edifici. Cambiano anche radicalmente le aspettative di benessere degli utenti: accettabili condizioni di comfort interne possono essere assicurate, infatti, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne.

Nel momento in cui aumentano le possibilità di riscaldare e di illuminare degli edifici con nuovi sistemi e nuove risorse energetiche, trasformando anche le esigenze di benessere termico e visivo degli abitanti, gli edifici iniziano a dipendere dallo sfruttamento di tali risorse. Con la rivoluzione industriale si rompe in modo irreversibile l'equilibrio tra insediamento urbano e sfruttamento del territorio e si attiva un fenomeno di uso indiscriminato delle risorse a fini abitativi. Le emissioni nocive degli agglomerati urbani e gli scarti delle industrie introducono il problema dell'inquinamento del suolo e dell'atmosfera.



Figg. 1.13, 1.14 – A sinistra, edilizia di base nel '700 a Bologna. In evidenza nella sezione la circolazione d'aria consentita dall'apertura del piano interrato ed il camino per il riscaldamento. A destra, edificio borghese dei primi anni del Novecento a Bologna: si nota l'inserimento dell'impianto idrico-sanitario ed il collegamento con l'impianto fognario.

In questo contesto si inserisce il dibattito sull'architettura e l'urbanistica moderne. Il XX secolo vede lo sviluppo e l'applicazione di nuove teorie, legate a concezioni culturali diverse, ma tutte tese a definire nuovi criteri per la razionalizzazione della crescita urbana e lo sfruttamento del territorio. Le regole per la rifondazione dei sistemi insediativi sono basate spesso su modelli meccanicisti e deterministi (*città-macchina*).

Nel 1925 Le Corbusier proietta le proprie idee in un luogo concreto con il Plan Voisin, secondo il quale ottanta grattacieli di 200 m di altezza dovrebbero sostituire una parte del centro storico di Parigi. Il fondamento teorico di questo manifesto architettonico fu elaborato nel 1933 durante il quarto Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) e pubblicato nel 1943. Era questa l'occasione per far avanzare la ricerca, stabilire confronti, acquisire consensi e fare proselitismo. Il tema principale era l'abitazione, sia in sé, sia come elemento costitutivo delle città. Dei quattro congressi del CIAM dal 1928 al 1932, ognuno dei quali con tematiche nuove nei vari settori del costruire, l'ultimo, tenutosi su una nave in crociera fra Marsiglia e Atene, ebbe come tema fondamentale la città funzionale. I risultati di questo dibattito approdarono nella Carta di Atene.

La carta annunciava una nuova città: diversa dalla città tradizionale delimitata dalla campagna e costituita dalla relazione di spazi pubblici e privati in una logica polivalente, non più compatibile con la funzionalità moderna. La nuova città puntava su un'area di insediamento unitaria, pubblica organizzata da un'autorità centrale di pianificazione e pro-

poneva una separazione di funzioni: la questione degli alloggi di massa, grossa problematica della vecchia città, non doveva essere lasciata in mano agli speculatori privati, ma doveva essere risolta con la costruzione di quartieri pubblici il cui standard abitativo avrebbe dovuto offrire a tutti luce, aria e sole. La Carta di Atene diviene un manuale di riferimento per la pianificazione e la ricostruzione delle città nel secondo Dopoguerra.

Gli effetti del nuovo corso architettonico si hanno non solo sul modo di concepire le città, ma anche sulla conformazione degli edifici. Lo sviluppo del Movimento Moderno, sia nelle forme del Razionalismo che dell'International Style, è legato alla reinterpretazione dello stretto rapporto tra edificio e clima locale e alla sperimentazione di nuove forme architettoniche, a discapito della consolidata tradizione costruttiva del luogo. Basti pensare alla distinzione tra struttura ed involucro nelle costruzioni: siccome la nuova tecnologia del cemento armato permette di distinguere la *funzione strutturale* da quella di *chiusura*, si aprono infinite possibilità di interazione energetica tra ambiente esterno ed interno.

Con l'aumento delle superfici vetrate, delle forme complesse e irregolari, delle compenetrazioni di spazi e delle parti vuote, il muro di *frontiera* tra interno ed esterno riduce la propria consistenza materica, "de-materializzandosi" e sviluppando nuove funzioni. È un dato di fatto, tuttavia, che questa sperimentazione di nuovi ambienti per il lavoro e la produzione industriale tipica dell'architettura funzionalista dei primi anni del XX secolo si sia spesso tradotta in edifici energeticamente poco virtuosi e poco sensibili al contesto climatico locale, con risultati sovente peggiori rispetto alle costruzioni tradizionali tipiche delle loro latitudini. Per non parlare degli effetti di tipo sociale e psicologico indotti sugli abitanti dalla concezione moderna degli spazi abitativi. Si pensi alle soluzioni proposte in Germania per il cosiddetto "alloggio minimo", frutto della ricerca del Bauhaus sul concetto di *existenz minimum*: pur se motivato dal lodevole desiderio di offrire una dimora salubre ad una nuova classe operaia con poche possibilità economiche, appena inurbata nelle nuove periferie, l'organizzazione dell'alloggio rifletteva una concezione dello spazio meccanicista e impersonale. Questo risultato non era precisamente nelle intenzioni di Le Corbusier, personalità straordinaria e forse figura chiave per comprendere il rapporto critico tra edificio moderno e ambiente³, e degli altri architetti dell'avanguardia.

Le Corbusier rivela la propria rivoluzione formale in architettura attraverso cinque punti fondamentali (fig. 1.15):

1. I *pilotis*

Ricerche assidue e ostinate hanno condotto a risultati parziali che possono essere considerati come prove di laboratorio. Questi risultati aprono nuove prospettive all'architettura, e queste si offrono all'urbanistica, che si può trovare i mezzi per risolvere la grande malattia delle città attuali.

³ Cfr. Banham R., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1978, pag. 143. Afferma Banham: «L'incostabile prestigio di cui gode Le Corbusier e la sua posizione di primo piano fra gli architetti lo rendono un bersaglio troppo facile per la critica, un colosso che sta troppo in evidenza per non trovargli i piedi d'argilla. Si dovrebbe resistere alla tentazione di considerarlo il maggior responsabile della sua generazione a proposito del controllo dell'ambiente architettonico. Anche se i contenuti impliciti ed espliciti dei suoi scritti lo lasciano scoperto di fronte alla critica più severa, egli non fu probabilmente peggiore del resto della sua generazione che, con l'avvallo del *Congrès International d'Architecture Moderne*, divenne l'establishment ufficiale dell'architettura dei nostri tempi.»

La casa su *pilotis*! La casa si approfondiva nel terreno: locali oscuri e sovente umidi. Il cemento armato rende possibili i *pilotis*. La casa è nell'aria, lontano dal terreno; il giardino passa sotto la casa, il giardino è anche sopra la casa, sul tetto.

2. I tetti-giardino

Da secoli un tetto a spioventi tradizionale sopporta normalmente l'inverno col suo manto di neve, mentre la casa è riscaldata con le stufe. Da quando è installato il riscaldamento centrale, il tetto tradizionale non conviene più. Il tetto non deve essere spiovente ma incavato. Deve raccogliere le acque all'interno, non più all'esterno. Verità incontestabile: i climi freddi impongono la soppressione del tetto spiovente e esigono la costruzione dei tetti-terrazze incavate, con raccolta delle acque all'interno della casa. Il cemento armato è il nuovo mezzo che permette la realizzazione delle coperture omogenee. Il cemento armato si dilata fortemente. La dilatazione fa spaccare la struttura nelle ore di improvviso ritiro. Invece di cercare di evacuare rapidamente le acque piovane, bisogna cercare al contrario di mantenere un'umidità costante sul cemento della terrazza, e quindi una temperatura regolata sul cemento della terrazza, e quindi una temperatura regolata sul cemento armato. Misura particolare di protezione: sabbia ricoperta di lastre spesse di cemento, a giunti sfalsati. Questi giunti sono seminati di erba. Sabbia e radici non lasciano filtrare l'acqua che lentamente. I giardini-terrazze diventano opulenti: fiori, arbusti e alberi, prato. Ragioni tecniche, economiche, funzionali e sentimentali ci conducono a adottare il tetto-terrazza.

3. La pianta libera

Finora: muri portanti. Partendo dal sottosuolo, si sovrappongono formando il pianterreno e gli altri piani, fino al tetto. La pianta è schiava dei muri portanti. Il cemento armato porta nella casa la pianta libera! I piani non devono più esser ricalcati gli uni sugli altri. Sono liberi. Grande economia di volume costruito, impiego rigoroso di ogni centimetro. Grande risparmio di denaro. Razionalità agevole della nuova pianta!

4. La "fenêtre en longueur"

La finestra è uno degli elementi essenziali della casa. Il progresso porta una liberazione. Il cemento armato rivoluziona la storia della finestra le finestre possono correre da un bordo all'altro della facciata. La finestra è l'elemento meccanico-tipo della casa; per tutti i nostri alloggi unifamiliari, le nostre ville, le nostre case operaie, i nostri edifici d'affitto ...

5. La facciata libera

I pilastri arretrati rispetto alle facciate, verso l'interno della casa. Il solaio prosegue in falso, verso l'esterno. Le facciate sono solo membrane leggere, di muri isolati di finestre. La facciata è libera; le finestre, senza essere interrotte, possono correre da un bordo all'altro della facciata.

Il linguaggio è ovviamente propagandistico e le affermazioni sopra riportate celano, dietro motivi tecnico-economici, la volontà di affermare nuovi canoni estetici, che spesso antepongono i principi figurativi alle risultanze scientifiche delle nuove sperimentazioni in campo edilizio. Per fare un esempio, i progetti maturati a partire dai cinque punti non affrontano in modo esauriente il tema del controllo degli scambi energetici attraverso l'involucro. Gli edifici progettati da Le Corbusier hanno spesso forme complesse, ottenute attraverso l'intersezione, l'unione e la sottrazione di volumi o il taglio di superfici ed utilizzano materiali non adatti al contenimento delle dispersioni termiche.

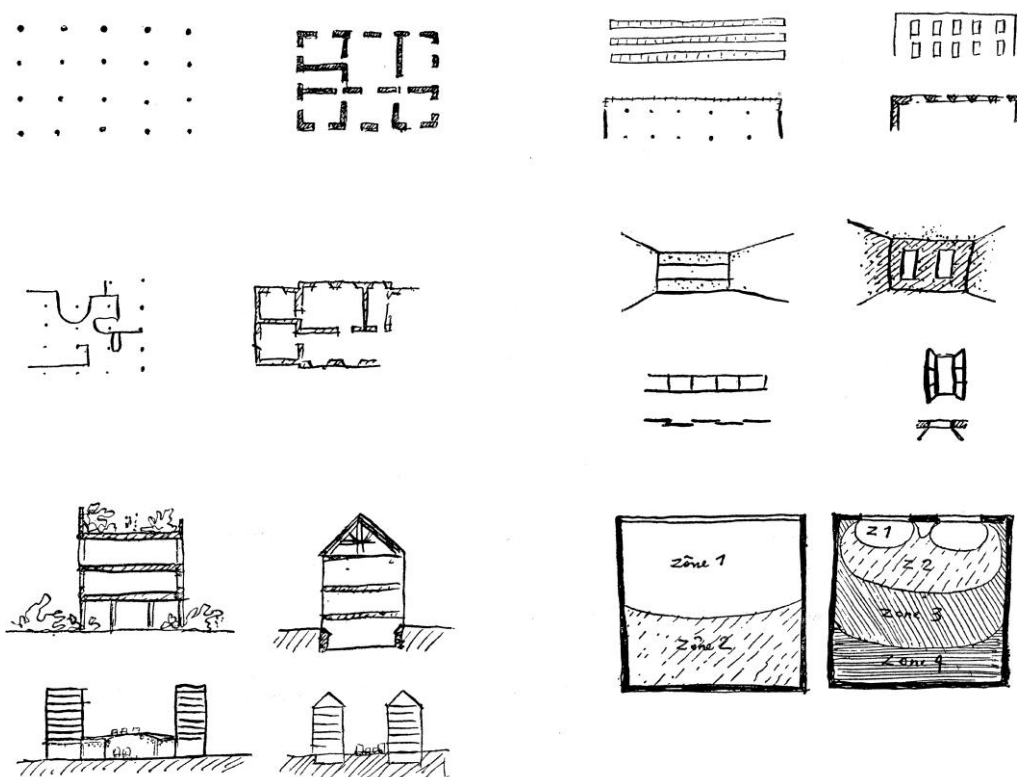


Fig. 1.15 – Le Corbusier, i 5 punti fondamentali.

«Fino al cemento armato e al ferro, per costruire una casa in pietra si creavano dei grandi solchi nel terreno e si doveva cercare il suolo buono per posizionare le fondazioni. Si formavano così le cantine, locali mediocri, generalmente umidi.

Poi si elevavano i muri di pietra. Si costituiva un primo solaio posato sui muri, poi un secondo, poi un terzo. Si aprivano delle finestre.

Con il cemento armato si sopprimono interamente i muri. Si portano i solai su dei esili pali disposti a grande distanza gli uni dagli altri.

Il suolo è libero sotto la casa, il tetto è riconquistato, la facciata è interamente libera. Non è più paralizzata.

A superficie di vetro uguale, una parte illuminata da una finestra in lunghezza che tocca i due muri contigui comporta due zone d'illuminazione: una zona, molto illuminata; una zona 2 ben illuminata.

D'altra parte un pezzo illuminato da due finestre verticali che determinano dei setti murari comporta quattro zone d'illuminazione: la zona 1 molto chiara, la zona 2 ben illuminata, la zona 3 meno illuminata, la zona 4, buia.»

Gli schizzi sono rielaborati da Boesiger W., Stonorov, O., Bill M. (a cura di), *Le Corbusier: Complete Works in Eight Volumes*, Birkhäuser Architecture, Basel, 1990.

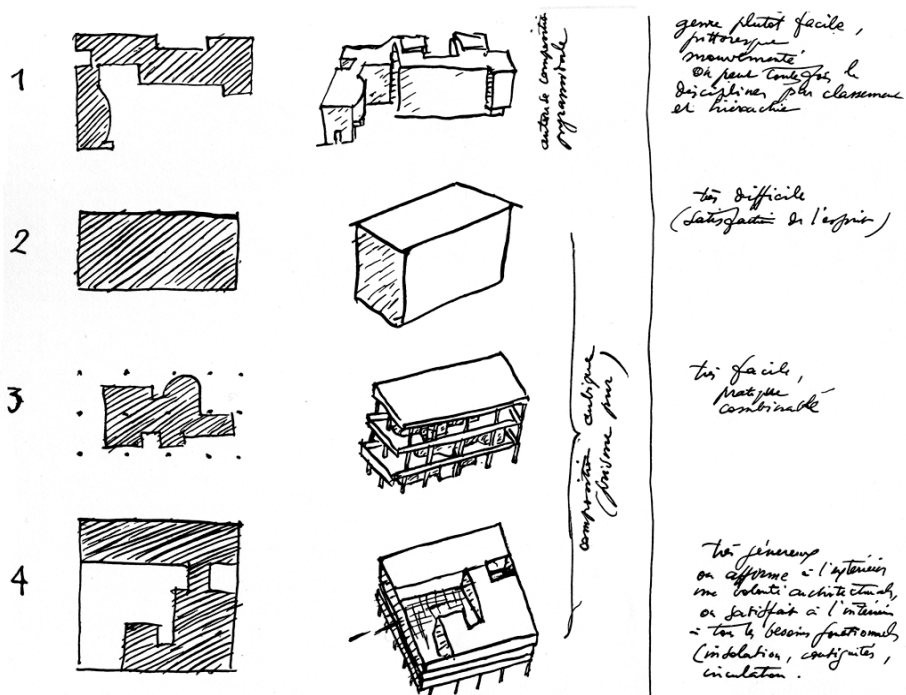


Fig. 1.16 – Le Corbusier, generi facili e difficili..

1: genere piuttosto facile, pittoresco, movimentato si può disciplinare con classificazione e gerarchia;

2, 3, 4, composizione cubica (prisma puro).

2: molto difficile (soddisfazione dello spirito);

3: molto facile (pratica combinabile);

4: molto generoso si afferma all'esterno una volontà architettonica, si soddisfano all'interno tutti i bisogni funzionali (soleggiamento, contiguità, circolazione).

Da Boesiger W., op. cit.

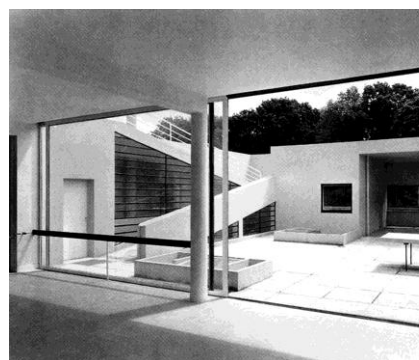


Fig. 1.17, 1.18 – Le Corbusier: villa Savoye, veduta esterna ed interna.



Fig. 1.19 – Le Corbusier: la storia della finestra è anche quella dell'architettura. Da sinistra a destra: finestre in muri portanti nella piccola e nella grande architettura, la grande apertura dell'atrio della casa antica, la piccola finestra romana, la grande finestra ogivale con rosone colorato, la finestra rinascimentale con i blocchi di pietra, la finestra Luigi XIV, Luigi XV, Luigi XVI. Ultimo a destra, edificio moderno che mostra diverse possibilità per il piano di vetro (pan de verre): avanzato o arretrato rispetto ai solai, oppure mosaicato.

Da Boesiger, W, op. cit.

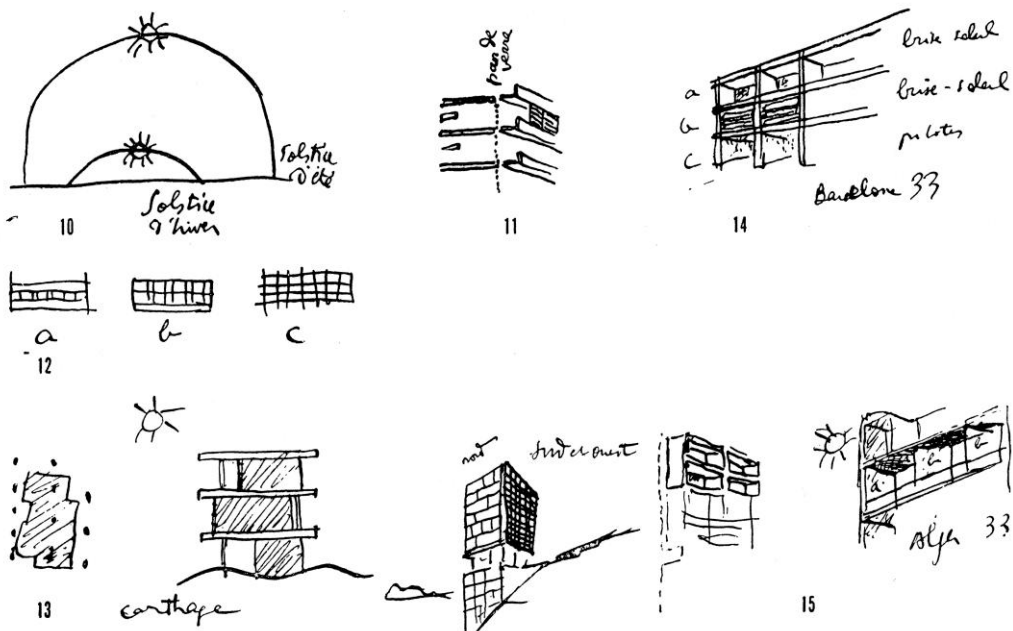


Fig. 1.20 – Le Corbusier: soluzioni per la protezione dall'irraggiamento solare.

In alto, da sinistra a destra, percorso del sole nel solstizio d'estate e d'inverno; metodi per l'ombreggiamento come velette e frangisole nella Maison Clarté di Ginevra, brise-soleil in un edificio a Barcellona del 1933.

In basso, da sinistra a destra, pianta e sezione di una villa a Cartagine del 1928, con ossatura in cemento armato; edificio abitativo ad Algeri, 1933.

Oggi sappiamo che un elevato rapporto tra superficie dell'involucro e volume interno riscaldato (il cosiddetto rapporto S/V) provoca un innalzamento della perdita di calore per trasmissione durante l'inverno (figg. 1.16, 1.17, 1.18).

Il risultato è un'architettura poco efficiente, sebbene teoricamente fondata sullo stretto rapporto con l'ambiente esterno. Dice Leonardo Benevolo: «Tutto questo non deve farci dimenticare il valore rivoluzionario di un simile discorso, che elimina totalmente i riferimenti culturali e filosofici finora di prammatica in qualsiasi programma artistico (e rimasti, per abitudine, anche nei programmi del Bauhaus). [...] in questo modo la cultura d'avanguardia – oltre a travisare ovviamente i risultati della riflessione filosofica – ribadiva in sostanza il carattere disimpegnato dell'attività artistica, a cui veniva attribuito un campo universale e illimitato».

I cinque punti lecorbuseriani hanno avuto, e tuttora hanno, un impatto significativo sulla progettazione architettonica. Ancora oggi si progettano, infatti, edifici di carattere moderno con tetti-giardino, piante libere, finestre a nastro, edifici sospesi su pilastri di cemento armato e materiali innovativi. Tuttavia, mentre nei primi anni del Novecento certe soluzioni formali – e, di conseguenza, tecnologiche – dell'avanguardia architettonica erano giustificabili se non altro perché non era emersa l'esigenza di contenere il consumo di risorse, oggi alcune scelte progettuali lo sono meno. L'importanza del complesso rapporto tra architettura ed efficienza energetica è venuto fuori con forza negli ultimi decenni del secolo.



Figg. 1.21, 1.22 – Le Corbusier: chiesa di Ronchamp, esterno ed interno della parete massiva e spostata a sud.

Nella chiesa di Ronchamp, nella Francia centrale, Le Corbusier sembra seguire un approccio progettuale diverso rispetto allo schema di villa Savoye, ricorrendo a forme architettoniche derivate dalla tradizione locale, come le tende dell'Africa desertica che egli aveva visto in alcuni suoi precedenti viaggi. La curvatura delle superfici viene ottenuta modellando plasticamente le pareti di cemento; nella parete sud, di grande spessore e protetta dalla copertura, le aperture diventano feritoie e gli effetti della luce all'interno stimolano una riflessione in chiave spirituale, metafisica (figg. 1.21, 1.22).

In varie occasioni, soprattutto nei progetti africani, Le Corbusier si dimostra sensibile al controllo naturale degli agenti ambientali, adattando le proprie soluzioni architettoniche alle condizioni climatiche locali. In alcuni schemi progettuali, per esempio, ricorre all'immagine dello scavo entro la montagna per proporre l'idea di una dimora confortevole isolata dalle severe condizioni esterne attraverso una grande massa terrosa (architettura ipogea).

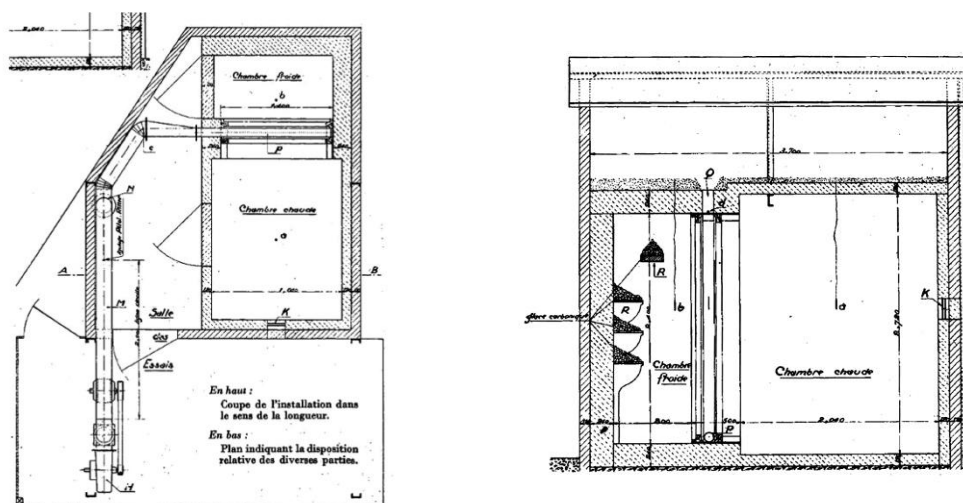


Fig. 1.24, 1.25 – Le Corbusier, installazione con due camere separate da un vetro doppio della Saint Gobain: pianta e sezione. Da *Glaces et Verres*, n. 29, 1932.



Fig. 1.26, 1.27 – A sinistra, Le Corbusier: modello del Plan Voisin. A destra, Le Corbusier, Unité d'Abitazione a Marsiglia.

L'interesse per lo sviluppo di componenti tecnologici con spiccata funzione di controllo degli agenti fisici locali, in particolare della radiazione solare e della ventilazione, si manifesta costantemente. L'introduzione dei brise-soleil, elementi del tutto originali della produzione architettonica lecorbuseriana, è un chiaro esempio di attenzione al tema della qualità della luce: il controllo dell'esposizione al sole e l'ombreggiamento delle facciate vengono infatti proposti come elementi caratterizzanti l'inserimento dell'edificio nell'ambiente e si traducono in diverse soluzioni architettoniche di tipo "passivo". Il ricorrente e costante rapporto tra edificio e luogo e tra edificio e clima viene controllato in termini scientifici nella *griglia ambientale* (fig. 1.23).

Le Corbusier è tra i primi progettisti del Movimento Moderno ad introdurre nell'architettura gli impianti tecnologici per il condizionamento dell'aria. Lo stretto rapporto tra edificio, inteso come "macchina per abitare", e controllo dell'aria interna, viene esplicitato nel progetto del 1932 per la Cité du Refuge. Egli affronta questo progetto «già armato di quelli che riteneva i due concetti chiave di un nuovo approccio al problema dell'organizzazione e del controllo dell'ambiente: la *respiration exacte* e il *mur neutrali-*

sant. Il primo concetto significa semplicemente ventilazione forzata, e Le Corbusier si ispirò al sistema impiegato da Gustave Lyon nella Salle Pleyel (la famosa sala di Pleyel progettò anche l'ambiente acustico), ed il muro neutralizzante è semplicemente un doppio vetro con aria calda o fredda che circola fra i due involucri.»⁴ Le proposte per la “parete calda” e per un sistema di climatizzazione meccanica sono i risultati assolutamente originali della ricerca di standard di temperatura e invarianti ambientali, sulla base anche degli esperimenti condotti nei laboratori della fabbrica di vetro Saint Gobain, sotto la direzione di Lyon (figg. 24 e 25).

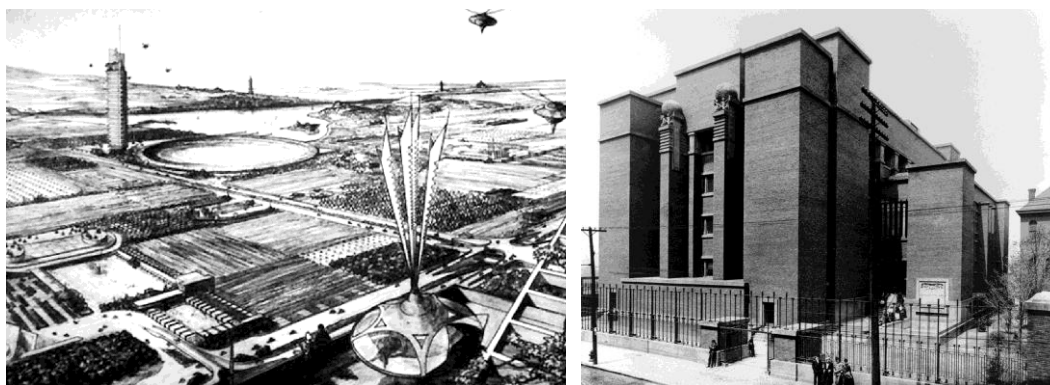
Nella “scatola” della Cité du Refuge coesistono dunque, forse per la prima volta nell'architettura moderna, sistemi “passivi” e sistemi “attivi” per il controllo dei parametri ambientali interni (temperatura dell'aria interna, temperatura superficiale, umidità relativa, radiazione solare).

La visione lecorbuseriana spazia dal progetto per l'edificio-macchina alla scala territoriale. La proposta per la nuova città visualizzata nei disegni e nei modelli del Plan Voisin per Parigi (fig. 1.26), costituita da grattacieli e basata sulla specializzazione delle funzioni e sul trasporto delle merci e delle persone, in opposizione alle tracce dell'insediamento storico, evidenzia una prefigurazione per il futuro così chiara ma così “anti-ambientale”, in conflitto con l'idea di risparmio del territorio e delle risorse ad esso correlate presente in molte soluzioni architettoniche. Il paradigma dell'edificio isolato nel verde, concepito come laboratorio per l'abitare, trova attuazione nell'Unità d'Abitazione di Marsiglia (fig. 1.27). Questo modello insediativo, che rompe con la tradizione costruttiva della città europea, ricorrerà nella strutturazione della città contemporanea e sarà, anche se solo parzialmente, responsabile della crisi urbana dei decenni successivi.

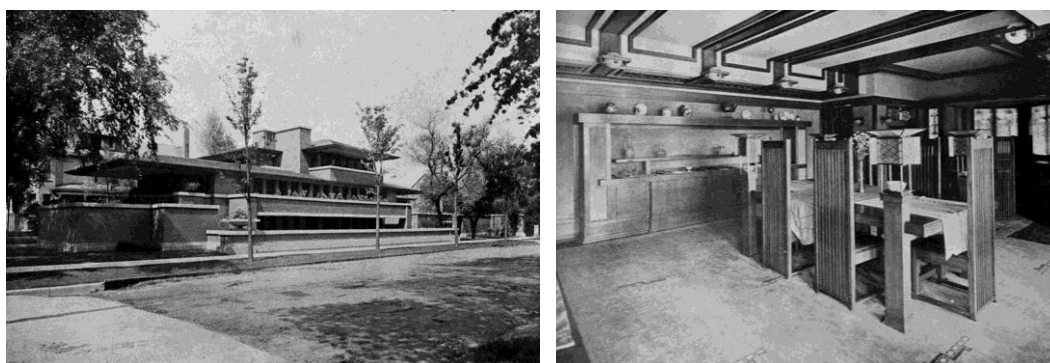
Il contraddittorio accostamento tra l'attenzione per i fenomeni ambientali e la contemporanea spinta per la sperimentazione delle tecniche e delle forme innovative – con la prevalenza di quest'ultime –, in contrasto con il risparmio delle risorse e delle soluzioni morfologiche e tecnologiche consolidate in secoli di tradizione costruttiva, si sintetizzano perfettamente nella visione architettonica del grande maestro svizzero e contraddistinguono la produzione edilizia del XX secolo. Se Le Corbusier è uno dei progettisti e teorici più significativi del Movimento Moderno, altri architetti moderni di grande fama e bravura possono essere studiati attraverso il rapporto tra progetto e ambiente, sia nell'accezione di relazione organica con le risorse naturali ed i materiali del luogo, che di approfondimento delle tematiche legate alla sfera psicologica e cognitiva.

Nella visione di Broadacre city (1934-1958), a partire dall'articolo del 1932 *The Disappearing City*, il rapporto tra territorio e sviluppo urbano è calato da Wright nella dimensione americana. Il tema dell'equilibrio ambientale viene proposto come rapporto tra espansione urbana e utilizzo della risorsa territorio.

⁴ Cfr. Banham R., op. cit., pag. 158. «Come con superbia afferma Le Corbusier, questa scatola sigillata con ventilazione controllata e con abbondanza di luce solare fu inaugurata nell'aspro dicembre del 1933, con grande successo dato che era confortevolmente calda. Ma, come anch'egli ammise con franchezza, l'edificio si trovò in seri guai al solstizio seguente *au gros de l'été, à la pointe de chaleur*. La parete di vetro chiusa ermeticamente esposta verso sud, trasformò l'interno in un'insopportabile serra; per ragioni d'economia c'era un solo involucro e non un *mur neutralisant*, [...] anche in assenza di qualsiasi tipo di impianto di raffreddamento nel sistema di ventilazione.» Vedi anche “La maison de verre de MM. Le Corbusier et Jeanneret et le mur neutralisant”, in *Glaces et Verres*, n. 29, agosto-settembre 1932, pag. 10.



Figg. 1.28., 1.29. – Frank Lloyd Wright; vista a volo d’uccello di Broadacre City: in evidenza le infrastrutture e le concentrazioni di attività in edifici verticali. A destra, edificio per uffici Larkin a Buffalo: in evidenza gli angoli per il posizionamento delle scale e degli impianti.



Figg. 1.30, 1.31 – F.L. Wright, Robie House. In evidenza a sinistra i grandi sporti della copertura, a destra gli elementi di illuminazione nella sala da pranzo. L’edificio cercava di curare particolarmente il comfort visivo e termico delle persone.



Figg. 1.32, 1.33 – A sinistra, Alvar Aalto, vista esterna del sanatorio di Paimio, 1929-1932. A destra, illuminazione naturale (da un lato) ed artificiale (sotto il ballatoio) della sala per la ristorazione.

L'architetto fornisce una risposta tanto affascinante quanto rigidamente meccanicistica, oggi rivelatasi di fatto inattuabile in ragione della dinamicità del mercato delle risorse: egli ipotizza per ogni individuo una dimora sopra un'unità territoriale equivalente ad un acro in un contesto territoriale definito (fig. 1.28).

Le sporadiche torri cosparse nel territorio di Broadacre City sono concentrazioni di attività a tutto vantaggio del territorio che resta incontaminato: «La quantità – di cui la macchina era fonte – mai, in nessun luogo, in nessun modo doveva usarsi per soffocare la qualità delle nuove risorse per l'umana utilità e il piacere di vivere. Vivere doveva essere una qualità dello spirito umano.»

Ci sarà la libertà di spostarsi con l'automobile.

Se dovessimo adoperare la potenza delle macchine così da edificare una libertà nuova per l'uomo, libero nella città organica ora inevitabile alla nostra civiltà, potremmo vivere all'infinito! [...] La "casa" individuale [...] avrà organici rapporti con il paesaggio, con i mezzi di comunicazione, con la distribuzione dei mezzi di consumo, con le possibilità scolastiche e con le manifestazioni culturali [...]. Decentramento prima, poi reintegrazione pianificata. [...]

Nuove forze meccaniche possono essere potenziali e grandi liberatrici, ma sappiamo anche che sono per ora ben lungi dall'agire così per il cittadino. Non sono in suo possesso, né possedute in suo favore. [...] Nella città odierna, come in quella di ieri, il suolo viene misurato a metro quadrato. Nella città organica di domani il suolo verrà misurato ad acri. E non meno di un acro per ogni singolo individuo, uomo, donna, e bambino. [...]

Su questa base di un acro a persona, l'architettura potrebbe in breve mettersi al servizio dell'uomo stesso come un elemento naturale della sua vita. [...] L'uso liberale del terreno è ora per se stesso una base sicura per la cultura e un'educazione più liberale a vantaggio dell'America. [...] Il cittadino si abituerà a vedere nell'architettura l'espressione essenziale, la vera naturale tutela della libertà.

Così non solo l'effettivo orizzonte dell'individuo va allargandosi smisuratamente, ma tutto il campo della sua esistenza (e perché non del suo pensiero?) si è esteso in concreto grazie a questi mezzi meccanici se convenientemente usati. È significativo che i valori di spazio non solo si siano interamente mutati in valori di tempo, ora in procinto di formare nuovi standard di misurazioni del movimento, ma che vi sia un nuovo senso dello spazio basato sulla velocità. La mobilità opera sull'individuo suo malgrado. Ed anche la spinta provocata da questo nuovo senso dello spazio ha già dato origine a nuovi valori spirituali non meno che fisici. [...]

È questa visione più ampia che desta nell'uomo moderno il desiderio di andare [...].

Egli – il cittadino – rappresenta veramente la città? La città lo segue dove va. Egli sta imparando ad andare dove fruisce di tutto quel che la città gli ha sempre dato, con in più libertà, sicurezza e la bellezza che gli appartiene per diritto di nascita, la buona terra. La prima autentica base per la ricerca di felicità è questa indipendenza assoluta. [...]

L'energia della macchina soggetta a un uso adeguato da parte dell'uomo gli permetterà, come cittadino, di vivere in una città migliore e in una campagna più produttiva, perché egli non è più asservito [...].

La stessa energia della macchina rinnega l'accentramento [...], perché sta nella natura dell'intercomunicazione e di una illimitata mobilità che la grande città si decentri e si estenda in distanza - che si estenda rarefacendosi, [...]. Sta anche nella natura dello sviluppo del volo che la città attuale scompare col tempo per ricomparire infine come ben spaziata struttura nello spazio. [...] Motorizzazione universale, ubiquità di movimento, pensiero, voce e visione che ora penetrano muri e distanze [...]. E che avverrà quando queste "modernità" che rapidamente si diffondono diventeranno universali? È un tempo non lontano. [...]

Democrazia: la società integrata di piccole unità, ognuna della più elevata qualità immaginabile [...]. Sappiamo ormai tutti che il sovraffollamento è un'astuzia e non ha soluzioni benefiche. [...]

L'architettura e lo spazio saranno congiuntamente visti come paesaggio, come accadeva per la migliore architettura antica, e diventeranno reciprocamente più essenziali.

Wright aveva ragione sull'universalità futura del modello sociale. L'automobile e l'individualismo democratico, che ad essa si accompagna, hanno oggi mutato il volto non solo di una nazione, ma di tutto il mondo occidentale (e a breve di tutto il mondo occidentalizzato). Tuttavia, la positiva e utopica visione dell'architetto statunitense è già in gran parte sfatata. La percezione dello spazio contemporanea è mutata in funzione della libertà di spostamento veicolare, ma tale libertà non ha portato il cittadino alla riconquista, al riavvicinamento alla terra e ad una armoniosa convivenza con essa. Inoltre, il modello della dispersione delle città (*urban sprawl*) wrightiano ha dovuto fare i conti con l'eccessivo uso di risorse territoriali ed energetiche.

Peraltro, a dispetto delle raccomandazioni degli urbanisti, ancora oggi si attua assiduamente la costruzione di edifici alti come risultato dell'esigenza strettamente economica di concentrare le attività.

Resta il fatto che F. L. Wright sia stato tra gli architetti più sensibili al rapporto tra edificio e ambiente e alle condizioni di benessere fisico e psichico dell'uomo. Molti dei suoi più famosi edifici per la residenza unifamiliare sono considerati prototipi dell'inserimento nella natura, come la "casa sulla cascata" (casa Kaufmann) a Bear Run, in Pennsylvania, o la serie delle cosiddette Usonian Houses, tra cui spicca la Jacobs House a Madison, in Wisconsin. In alcuni edifici non residenziali sono introdotte soluzioni tecnologiche che dimostrano un interesse per i temi del comfort interno, risolti con metodi innovativi. Nell'edificio per uffici Larkin a Buffalo le torri agli angoli non solo costituiscono un importante elemento figurativo, ma servono ad accogliere i canali dell'impianto di riscaldamento ad aria (fig. 1.29). In alcune case Prairie, nelle zone più fredde degli Stati Uniti, le installazioni meccaniche sono lo spunto per sviluppare nuove soluzioni moderne rispettando le esigenze estetiche (figg. 1.30, 1.31).

Così afferma Wright nella prima pubblicazione realizzata da Wasmuth a Berlino nel 1910⁵:

Un'altra opportunità moderna ci è offerta dall'efficace sistema di riscaldamento ad acqua bollente. Con l'aiuto di questi mezzi la forma degli edifici può subire un'articolazione più complessa, con luce ed aria che arrivano da diverse parti. Mantenendo i soffitti bassi le pareti possono essere aperte con una serie di finestre verso i fiori, gli alberi, l'atmosfera esterna, il panorama, e si può vivere confortevolmente come nel passato, meno rinchiusi [...]

[...] è anche possibile articolare gli edifici, che una volta nel nostro clima rigido formavano delle scatole compatte suddivise in stanze, esprimendosi più organicamente, per fare di una casa posta in un giardino o in campagna, quella cosa deliziosa che l'immaginazione vorrebbe.

Oggi, ai fini di una migliore performance energetica, si cercherebbe l'opposto, cioè la compattezza della casa. Nell'America del Nord di allora la riduzione delle perdite di energia termica per conduzione e ventilazione, anche nei climi rigidi invernali, non era assolutamente una priorità⁶.

Anche Alvar Aalto progetta in Finlandia per climi rigidi invernali e per luci tenui. Egli si lamenta spesso del livellamento della specificità umana causato dalla standardizzazione

⁵ *Ausgeführte Bauten und Entwürfe*, Berlin, 1910; ristampa inglese, in Gutheim, *Frank Lloyd Wright on Architecture*, New York, 1914.

⁶ Wright considerava le perdite di calore nelle parti vetrate compatibili con un'economia con combustibile a basso prezzo, a fronte di indubbi vantaggi sul comfort fisico e psicologico interno.

e dall'approccio verso di essa della Nuova Oggettività (*Neue Sachlichkeit*) del Modernismo di Walter Gropius e Mies Van de Rohe⁷.

Aalto preferiva praticare quella che definiva una "standardizzazione flessibile" delle parti dell'edificio, mentre l'edificio nel suo complesso era pensato e costruito ponendo attenzione al clima locale, alla topografia e ai bisogni degli utilizzatori. Egli spiega come il progetto del sanatorio di Paimio (1929-1932) fosse stato formalizzato dopo aver condotto vari "esperimenti", esaminando i comportamenti e le abitudini giornaliere dei potenziali utilizzatori, le loro reazioni psicologiche alle forme delle stanze, alle ombre e alle tonalità di colore e al tipo e all'intensità della luce (figg. 1.32, 1.33). Riproducendo ricerche di psicologia sperimentale condotti a Lipsia e Monaco, veniva analizzato l'impatto sui pazienti delle variazioni di temperatura e del livello di ventilazione e di rumore. Il progetto del sanatorio, che lui stesso aveva definito uno "strumento medico" doveva dare risposta ad una serie di fenomeni di ordine fisiognomico, fenomenologico e cognitivo.

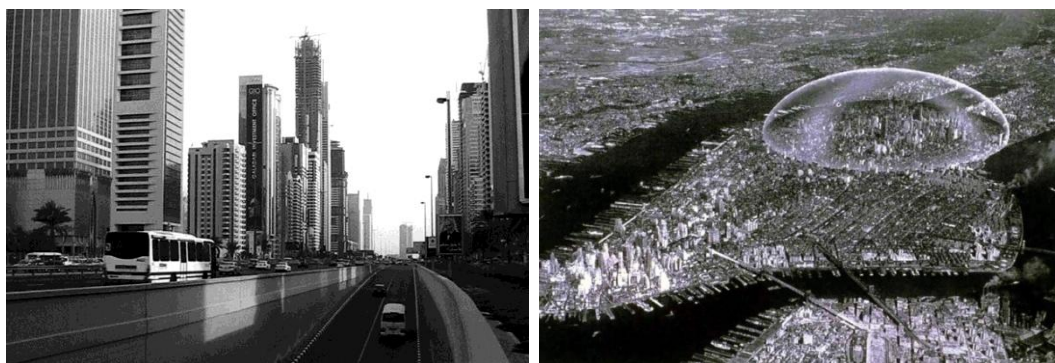
Oggi molte sperimentazioni progettuali dell'architettura contemporanea e/o d'avanguardia derivano, sotto forme diverse e con maggior o minor successo, dal messaggio promosso dai maestri dell'architettura moderna del Novecento. Ponendo al centro l'uomo, l'architettura moderna ha riscoperto gli archetipi architettonici della capanna e della grotta e ne ha sfruttato le connotazioni psicologiche e comportamentali. Il risultato figurativo è stato alquanto significativo. D'altro canto, se si analizza l'ambiente nella sua accezione fisica, cioè riferendosi alle prestazioni fisico-ambientali, molte di quelle sperimentazioni sono rimaste affascinanti soluzioni architettoniche racchiuse all'interno di un percorso estetico autonomo rispetto a principi dell'efficienza tecnico-ambientale. Ma c'è di più: non analizzando a fondo le ragioni dei progetti di questi maestri in merito al rapporto con il contesto, i modelli formali di riferimento sono stati spesso trasferiti altrove in modo acritico e con dubbi risultati funzionali.

Nel frattempo, con lo sviluppo della tecnologia, gli elementi impiantistici degli edifici hanno assunto nella seconda parte del Novecento un ruolo sempre maggiore ed il rapporto con l'ambiente esterno è divenuto sempre più marginale, soprattutto nel caso di edifici per la produzione ed il terziario⁸. Il comfort termoigrometrico è stato sempre più assicurato da macchine per il condizionamento dell'aria e molti accorgimenti tecnici e metodi tradizionali, sperimentati per secoli, convalidati dall'esperienza e a basso consumo di risorse, sono state dimenticati.

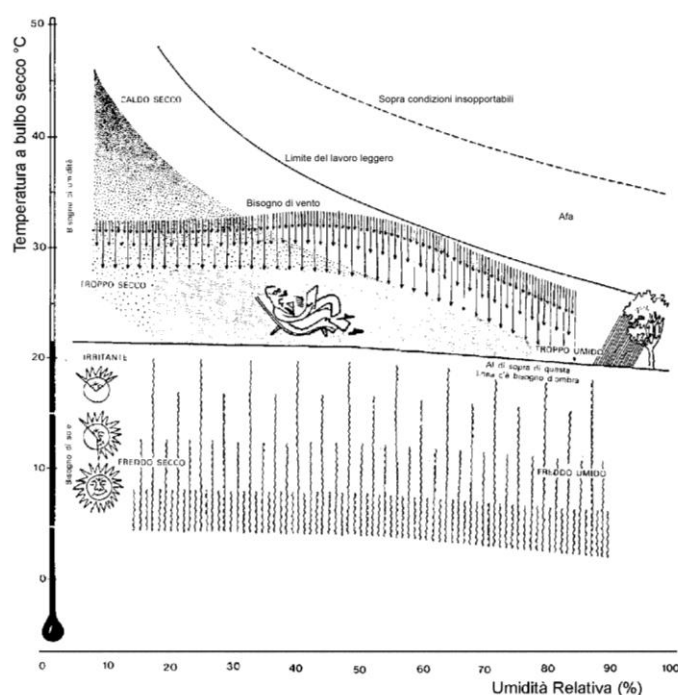
Al loro posto sono nati gli edifici ad alta tecnologia delle grandi compagnie multinazionali. Il fenomeno è stato più marcato nel mondo anglosassone che in Italia, dove la tecnologia impiantistica è arrivata con un certo ritardo ed è stata limitata anche dalla dimensione degli edifici.

⁷. Quella propugnata dalla *Neue Sachlichkeit* è un'architettura volta alla dura affermazione del concetto di realismo, in risposta alla miseria morale e sociale della Germania postbellica.

⁸ In maniera indipendente dai risultati formali raggiunti dal Movimento Moderno, i veri e propri sistemi di condizionamento dell'aria, prefigurati da Le Corbusier concettualmente e mai realmente attuati, si sviluppano negli anni Trenta, per ragioni anche pratiche, nei grandi edifici americani per lo spettacolo e per il terziario. Pioniere fu W. Carrier. Tradizionalmente il primo edificio per uffici completamente fornito di aria condizionata viene considerato l'Edificio Milam a San Antonio, Texas, del 1928 (architetto George Willis e ingegnere M. L. Diver). L'edificio era a quel tempo, con i suoi ventuno piani, anche il più alto al mondo con struttura in cemento armato. Il condizionamento dell'aria si sviluppa negli edifici residenziali solo a partire dagli anni Cinquanta.



Figg. 1.34, 1.35 – A sinistra, traffico in una via centrale di Hong Kong. A destra, Buckminster Fuller, cupola geodetica sopra New York, 1968.



Figg. 1.36, – A sinistra, diagramma del benessere termigrometrico dell'utente, da Olgyay. La zona di comfort si stende in alto con la ventilazione naturale e in basso con l'irraggiamento.

I tentativi di innovazione formale e tecnologica dell'architettura contemporanea si sono scontrati con problemi di tipo energetico-ambientale solo nel secondo dopoguerra. Il problema era inizialmente di tipo urbanistico: l'esplosione dello sviluppo urbano, con effetti sulla mobilità (fig. 1.34) e sull'inquinamento diffuso del territorio, distoglieva l'attenzione dal rapporto tra l'edificio, preso singolarmente, e l'ambiente circostante. La città si specializzava in aree del terziario, aree della produzione, aree della residenza e aree dello svago e l'edificio si collocava sempre più all'interno di un ambiente consolidato.

Fino al secondo dopoguerra la consapevolezza del cambiamento climatico non era maturata a pieno. Negli anni Settanta, con la crisi energetica, vennero fuori i primi problemi. Nel 1968 Buckminster Fuller, con una figurazione appropriata all'era spaziale, proponeva attraverso una cupola geodetica (fig. 1.35) i «sottintesi apocalittici di una tecnologia della

sopravvivenza»⁹; il tema ambientale veniva posto all'attenzione isolando la città di New York dal clima naturale, da fiume e fiume e dalla 22° alla 64° strada, all'interno di un nuovo "spazio climatico" costituito da un guscio trasparente altamente tecnologico.

Negli stessi anni alcuni studiosi, come Bernard Rudofsky, reagendo al fenomeno delle metropoli, allontanavano l'obiettivo della loro ricerca dall'architettura specializzata e avulsa dal contesto climatico ed ambientale e riscoprivano l'architettura primitiva, spontanea, legata alle risorse disponibili in loco e consolidatasi nel tempo; un'architettura senza architetti, "senza pedigree"¹⁰. Alcuni studiosi, come i fratelli Olgay, cominciavano a studiare in modo approfondito ed analitico l'architettura in rapporto al clima (fig. 1.36).

Gli edifici sensibili al clima (*climate responsive buildings*) si adattano alle condizioni locali nei vari periodi dell'anno per ridurre il consumo energetico e fornire un ambiente confortevole e sano per gli occupanti. Essi rientrano nella cosiddetta *architettura bioclimatica (bioclimatic architecture)*¹¹, termine coniato da Olgay agli inizi degli anni Sessanta per intendere un modello abitativo di tipo regionale che soddisfa i requisiti di comfort utilizzando il controllo passivo del microclima e riducendo al minimo l'uso degli impianti meccanici.

A partire da quegli anni l'approccio meccanicista dell'architettura moderna si è quindi affievolito. Da una parte la modernità ha riscoperto l'importanza del luogo e dei caratteri dell'architettura locale, dall'altra ha dovuto fare i conti con la necessità di ridurre il consumo di risorse sfruttando quelle disponibili. Qui si deve distinguere l'architettura per la residenza dall'architettura complessa per il terziario e per l'industria.

La prima ha avuto più facilità nell'adattarsi al luogo, sia in termini culturali, ricorrendo, per esempio, ai materiali della "tradizione architettonica locale", sia in termini energetici, adeguandosi al clima del posto (architettura bioclimatica).

La seconda ha proceduto in modo indipendente: gli esempi di adattamento al luogo sono più recenti e tuttora piuttosto minoritari. Tuttavia, sempre più edifici specialistici considerati fortemente innovativi dal punto di vista tecnologico (*high-tech buildings*) sono divenuti il frutto di una progettazione dichiaratasi ecologicamente sostenibile. Nelle intenzioni dei progettisti l'edificio cerca di seguire la logica di un *organismo naturale* inserito armonicamente nell'ambiente circostante, ottimizzando le risorse energetiche disponibili anche attraverso l'uso di impianti tecnologici ad alta efficienza.

1.4 Crisi ambientale e politiche energetiche

I cambiamenti climatici cominciati nel XX secolo sono oggi del tutto evidenti e da alcuni decenni l'opinione pubblica ha preso coscienza della necessità di proteggere l'ambiente naturale¹². Gli esperti da tempo hanno messo in luce l'accadimento di alcuni macro-fenomeni che potrebbero portare ad effetti irreversibili:

- l'aumento della popolazione mondiale;

⁹ Cfr. Frampton K., *Modern Architecture: a critical History*, Thames and Hudson, London, 1980.

¹⁰ Cfr. Rudofsky B., *Architecture without architects. A short introduction to non-pedigreed architecture*, Doubleday & Company, New York, 1964.

¹¹ Cfr. Olgay V., *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, 1963.

¹² Nel 1972 il Club di Roma pubblica un primo rapporto dal titolo "I limiti dello sviluppo", affermando la necessità di legare la protezione della natura allo sviluppo economico.

- lo spreco di materie prime e di fonti di energia fossile;
- il degrado dell'aria, dell'acqua e del suolo;
- la produzione di una insostenibile quantità di rifiuti.

La crescita della popolazione mondiale nel XX secolo da 1,5 a 6 miliardi, con previsione di arrivare agli 8 miliardi nei prossimi decenni, pone problemi legati al nutrimento, alla necessità di una casa e alla qualità della vita. Le risorse energetiche potrebbero esaurirsi a breve. Il degrado dell'acqua dolce e dell'aria, soprattutto nelle zone urbane dei paesi industrializzati, mette in pericolo la salute della popolazione; i rifiuti ingombrano il territorio e inquinano il suolo. Il riscaldamento del pianeta è essenzialmente legato all'aumento dell'effetto serra, causato dalla produzione di CO₂ in seguito all'uso di combustibili fossili e da altri gas legati alle attività umane.

L'attenzione per le questioni ambientali è notevolmente progredita negli ultimi trent'anni. Il tema varca i confini dei singoli Stati. Le politiche ambientali trovano la loro promozione nelle decisioni prese a livello mondiale in strutture come UNEP (United Nations Environment Programme), IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)¹³ e IEA (International Energy Agency).

Nel 1987 il rapporto Brundtland alla sessione plenaria delle Nazioni Unite ha introdotto il concetto di *sviluppo sostenibile*, inteso come sviluppo che garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri. Il concetto si è sviluppato e nel 1991 Hermann Daly ha ricondotto lo sviluppo sostenibile a tre condizioni generali concernenti l'uso delle risorse naturali da parte dell'uomo:

- il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione;
- l'immissione di sostanze inquinanti e di scorie nell'ambiente non deve superare la capacità di carico dell'ambiente stesso;
- lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

Nel 1992 il summit della Terra di Rio de Janeiro ha promosso uno sviluppo sostenibile basato su tre concetti, legati direttamente all'attività edilizia:

- la valutazione dei *cicli di vita* dei materiali;
- lo sviluppo dell'uso delle materie prime e delle energie rinnovabili;
- la riduzione delle quantità di materia e di energia utilizzate durante tutto il ciclo di vita dei prodotti, dall'estrazione della materia prima allo smaltimento o riciclo.

La politica della sostenibilità ha avuto una svolta col protocollo di Kyoto, trattato internazionale in materia ambientale sul riscaldamento globale sottoscritto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi in occasione della conferenza COP3 ed allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica anche da parte della Russia. Ad ottobre 2009 gli Stati che hanno aderito e ratificato il protocollo risultano 184¹⁴.

¹³ Nel 1990 i primi dati ufficiali dell'IPCC dicono che la temperatura è cresciuta di 0,3-0,6°C nell'ultimo secolo.

¹⁴ Tra i paesi non aderenti figurano gli USA, cioè i responsabili del 36,2% del totale delle emissioni (annuncio del marzo 2001). Alcuni stati e grandi municipalità americane, come Chicago e Los Angeles, stanno studiando la possibilità di emettere provvedimenti che permettano a livello locale di applicare il trattato. Anche se il provvedimento riguardasse solo una parte del paese, non sareb-

Il protocollo di Kyoto prevede l'obbligo da parte dei paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra, ovvero metano, ossido di diazoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 — considerato come anno base — nel periodo 2008-2012.

Il protocollo considera per i Paesi aderenti la possibilità di servirsi di un sistema di meccanismi flessibili per l'acquisizione di crediti di emissioni:

- Clean Development Mechanism (CDM): consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti nei paesi in via di sviluppo, che producano benefici ambientali in termini di riduzione delle emissioni di gas-serra e di sviluppo economico e sociale dei Paesi ospiti e nello stesso tempo generino crediti di emissione (CER) per i Paesi che promuovono gli interventi.
- Joint Implementation (JI): consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti per la riduzione delle emissioni di gas-serra in un altro paese dello stesso gruppo e di utilizzare i crediti derivanti, congiuntamente con il paese ospite.
- Emissions Trading (ET): consente lo scambio di *crediti di emissione* tra paesi industrializzati e ad economia in transizione; un paese che abbia conseguito una diminuzione delle proprie emissioni di gas serra superiore al proprio obiettivo può così cedere (ricorrendo all'ET) tali crediti a un paese che, al contrario, non sia stato in grado di rispettare i propri impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra¹⁵.

Nel dicembre 2007 la conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici¹⁶ è culminata nella Bali Road Map per stabilire la direzione da prendersi dopo 2012. Il futuro del protocollo di Kyoto, tuttavia, è incerto, soprattutto per l'ostilità di Usa e Cina. Mentre il vertice di Copenhagen del 2009 si è concluso senza alcun accordo sulla riduzione della CO₂ (solo un accenno al contenimento del riscaldamento globale a 2 gradi), nel 2010 a Cancun, pur senza impegni vincolanti e operativi, è stato trovato un accordo – un “pacchetto bilanciato” – sulla necessità di ridurre le emissioni di gas dal 25% al 40% entro il 2020 ed è nato un fondo verde (Green Climate Fund) gestito dalla Banca Mondiale per finanziare le tecnologie non inquinanti.

Nel frattempo l'Unione Europea ha deciso di continuare a svilupparsi secondo gli stili e i meccanismi introdotti dal protocollo di Kyoto, anche se questo trattato non dovesse essere reiterato dopo la sua scadenza del 2012.

be un evento insignificante. L'India e la Cina, che hanno ratificato il protocollo, non sono tenute a ridurre le emissioni di anidride carbonica nel quadro dell'accordo, nonostante la loro popolazione sia relativamente grande. Assieme ad altri paesi in via di sviluppo essi sono stati esonerati dagli obblighi del protocollo di Kyoto perché sono stati considerati non tra i principali responsabili delle emissioni di gas serra durante il periodo di industrializzazione, che si crede stia provocando oggi alla base del cambiamento climatico.

¹⁵ In Europa lo strumento delle aste e delle quote di emissione in relazione all'ET è risultato complesso e ha trovato pochi consensi anche in USA. Si sta rafforzando quindi l'idea di una carbon tax sull'emissione di carbonio, in quanto ritenuta più efficace.

¹⁶ Un gruppo di lavoro sotto il controllo dell'UNFCCC (Ad Hoc Working Group on Long-Term Cooperative Action under the Convention – AWG-LCA) si occupa di promuovere una visione condivisa per il futuro a lungo termine.

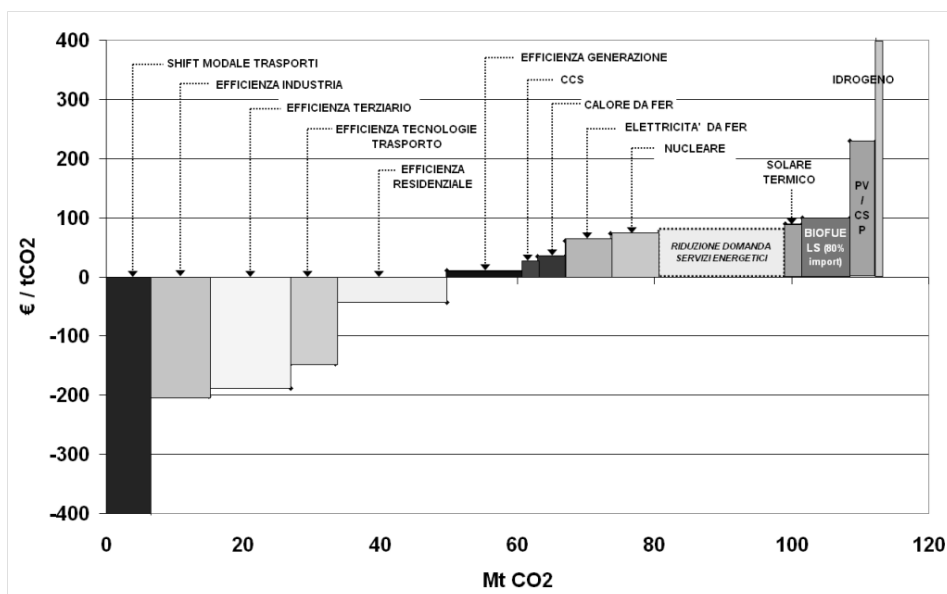


Fig. 1.37 – Curva dei costi di abbattimento delle emissioni delle diverse opzioni messe in atto all'orizzonte 2020 sulla base dello scenario ENEA di accelerazione tecnologica ACT+, associando le stime del potenziale economico e del costo di mitigazione per gruppi di tecnologie.

L'Europa ribadisce per i propri paesi membri l'obiettivo di breve scadenza 20-20-20 (20 per cento di riduzione delle emissioni, di aumento dell'efficienza energetica e di energie rinnovabili, entro il 2020), magari ritoccandolo fino a 30, e, per rispettare il limite dei 2 gradi di aumento della temperatura media rispetto ai livelli pre-industriali stabilito a Copenhagen, si pone il traguardo dell'80% di tagli ai gas serra entro il 2050.

Indipendentemente dal futuro dei trattati, al momento i paesi industrializzati devono portare avanti tre tipi di azioni con effetti sulla gestione del territorio e sull'edilizia:

- ridurre il consumo di energia,
- sostituire le energie da fonti fossili con quella da fonti rinnovabili,
- stoccare il carbonio.

Alcune recenti analisi effettuate dall'ENEA si sono focalizzate sulla valutazione, nel contesto del sistema energetico italiano, della praticabilità e dei costi di strategie di riduzione delle emissioni di CO₂ coerenti nel medio periodo con gli obiettivi della politica energetica europea (2020) e, nel lungo periodo, con gli obiettivi di riduzione delle emissioni attualmente in discussione nella comunità internazionale, orientati al dimezzamento delle emissioni di gas serra entro il 2050 (obiettivo che implicherebbe la riduzione dell'80% per i paesi sviluppati).

Le curve di costo marginale di abbattimento¹⁷ evidenziano le principali opzioni di riduzione delle emissioni disponibili (fig. 1.37). Tali curve mostrano il potenziale di ridu-

¹⁷ Le curve di costo delle opportunità di riduzione sono costruite a partire da uno scenario che descrive l'andamento delle emissioni di CO₂ (o di tutti i gas-serra) nell'evoluzione tendenziale del sistema. Il costo di abbattimento è calcolato sommando i costi di investimento e operativi addizionali di ogni tecnologia (inclusendo i potenziali risparmi che essa è in grado di determinare, ad esempio per i minori consumi energetici) e poi dividendoli per la quantità di emissioni che la potenziale penetrazione della tecnologia può determinare. Ciò implica che i costi possano essere anche

zione realisticamente raggiungibile da un sistema energetico a un certo orizzonte temporale mediante le tecnologie disponibili, o comunque già in fase di sviluppo avanzato, e il costo necessario per raggiungere il potenziale che può derivare da ciascuna tecnologia. Dalla combinazione di queste informazioni si possono indirettamente ricavare indicazioni di rilievo circa le politiche energetiche che devono essere adottate per realizzare i diversi potenziali.

Il raggiungimento degli obiettivi del 2020 rappresenta una sfida molto impegnativa per il sistema energetico italiano, anche se la recente crisi economica e finanziaria ha probabilmente reso l'obiettivo meno stringente. Dall'analisi delle curve di costo nel breve periodo emerge la necessità di concentrare l'attenzione sull'*efficienza energetica* e contemporaneamente preparare il terreno al dispiegamento delle *nuove tecnologie a bassa o a nulla intensità di carbonio*.

Nel 2020 il costo medio di ogni tonnellata di CO₂ abbattuta sarà presumibilmente compreso fra i 50 e i 100€. Tuttavia, molte delle opzioni disponibili nel medio periodo, tutte riconducibili a incrementi di efficienza energetica, offrono opportunità di riduzione a costi negativi, in quanto permettono un risparmio energetico il cui valore è maggiore del costo di implementazione della tecnologia, se calcolato sull'intero ciclo di vita della tecnologia. Benché sia necessario sottolineare come la presenza di molti ostacoli renda difficile la realizzazione di questo potenziale¹⁸, la riduzione dei consumi attraverso un impegno sull'efficienza energetica può essere raggiunta con tecnologie già disponibili, aumentando la competitività industriale.

Sulla spinta della concorrenza in campo industriale lo sviluppo sostenibile è già una realtà economica: il settore petrolifero investe da parecchi anni per la ricerca nel settore eolico e nel solare. La definizione di sostenibilità (economica, energetica ed ecologica) si applica anche al settore edilizio, in quanto connesso a quello prettamente industriale.

Dalla lettura della curva dei costi di abbattimento, tra le diverse opzioni in campo edilizio il potenziale maggiore si ha nel settore residenziale (più di 15 Mt di CO₂); l'effettiva realizzazione di questo potenziale è legato però alla difficile concordanza di molti decisori diversi, le cui resistenze al cambiamento tecnologico sono più difficili da superare rispetto a quelle che si possono riscontrare in un numero limitato di pochi grandi singoli emettitori, come nel caso delle grandi imprese. Un contributo di poco inferiore al prece-

negativi, nel caso in un'alternativa tecnica porti a dei risparmi. Il potenziale di ogni opzione va considerato come potenziale tecnico, cioè una stima di quanto è tecnicamente possibile nell'orizzonte temporale cui fa riferimento la curva di abbattimento, dato l'insieme delle condizioni al contorno.

¹⁸ La riduzione dei consumi energetici potenziale corrisponde a un mondo ideale, nel quale produttori e consumatori agiscono in modo perfettamente razionale, adottando le tecnologie energetiche più efficienti non appena queste divengono *cost effective*. Nella realtà queste decisioni risentono di una serie di fattori: l'uso di tassi di sconto distorti (in quanto sulle decisioni incidono fattori diversi dai soli costi economici), l'esistenza di deficit informativi (le informazioni su costi e performance degli investimenti in efficienza energetica sono difficili da acquisire), la scarsità di incentivi per i finanziatori degli investimenti (anche quando i costi dell'efficienza energetica sono nettamente inferiori a quelli dell'acquisto di energia, gli investimenti necessari sono spesso difficili da finanziare), la maggiore importanza che i consumatori danno alle caratteristiche dei prodotti non riconducibili ad aspetti di efficienza energetica. Per questi motivi gli investimenti in efficienza energetica sono spesso considerati meno convenienti di altri tipi di investimento e quindi sono effettuati solo se il loro costo può essere recuperato in tempi molto brevi.

dente può venire dai trasporti. Dall'industria, che rappresenta circa 1/3 dei consumi finali di energia, viene invece un contributo all'abbattimento delle emissioni di CO₂ pari a circa 1/5 della riduzione corrispondente all'incremento di efficienza negli usi finali. A tutto ciò si aggiunge, infine, il potenziale contributo rilevante delle opzioni di riduzione della domanda di servizi energetici, che implicano cambiamenti nei modelli di uso dell'energia da parte dei consumatori.

In termini di politiche energetiche, la promozione delle tecnologie può essere attuata con strumenti di regolamentazione diretta (o di comando e controllo), strumenti di regolamentazione indiretta (strumenti economici), o strumenti di informazione e persuasione (*moral suasion*), che puntano a ottenere un effettivo comportamento socialmente responsabile senza utilizzare la forza delle leggi e/o dei regolamenti, o con politiche infrastrutturali. Esempi classici sono costituiti dal *labeling*, che ha favorito la diffusione degli elettrodomestici a basso consumo attraverso una politica di informazione e persuasione, e dallo strumento economico dei *certificati bianchi*¹⁹.

L'edilizia ha oggi un forte impatto sull'ambiente: la realizzazione e l'uso degli edifici comportano un consumo del 50% delle risorse naturali nel loro complesso, il 40% dell'energia e il 16% dell'acqua²⁰. Nel 2004 la Commissione europea riportava:

Il riscaldamento e l'illuminazione degli edifici assorbono una gran parte del consumo totale di energia (42%, di cui il 70% per il riscaldamento) e producono il 35% delle emissioni complessive di gas serra. Gli edifici e l'ambiente costruito utilizzano la metà dei materiali estratti dalla crosta terrestre e producono ogni anno 450 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e da demolizione, ossia più di un quarto di tutti i rifiuti prodotti.

Nell'Unione Europea viene stimato che la quota del 40% del consumo globale di energia da parte degli edifici sia destinato ad aumentare in quanto il settore edilizio è in espansione. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzazione di energia da

¹⁹ Il sistema introdotto in Italia dai decreti 20 luglio 2004 obbliga i distributori di energia elettrica e di gas naturale ad impegnarsi a raggiungere annualmente uno specifico risparmio di energia primaria. I Titoli di Efficienza Energetica (o certificati bianchi) certificano una riduzione di consumo di energia primaria pari ad una tonnellata equivalente di petrolio (tep), e sono emessi dal Gestore del Mercato Elettrico (GME) a seguito della certificazione da parte dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) del risparmio conseguito. Ogni anno l'AEEG stabilisce obiettivi obbligatori di risparmio energetico che ogni distributore di energia elettrica e di gas naturale deve conseguire, attraverso la messa in atto di interventi finalizzati alla riduzione dei consumi energetici presso i consumatori. Per dimostrare di aver conseguito gli obblighi di risparmio energetico i distributori devono consegnare annualmente all'Autorità un numero di titoli di efficienza (certificati bianchi) equivalenti all'obiettivo annuale, pena il pagamento di sanzioni. Oltre ai Soggetti Obbligati (distributori di energia elettrica e di gas con più di 100.000 clienti finali) possono presentare richiesta per l'assegnazione dei TEE anche le società operanti nei settori dei servizi energetici (le cosiddette E.S.Co. – Energy Services Companies) che abbiano attuato progetti di risparmio energetico a favore dei clienti finali. Il valore energetico di un tep è comparabile col consumo annuale di energia elettrica di una famiglia media. Viene riconosciuto un risparmio di energia pari ad 1 tep secondo le seguenti equivalenze: 1 tep = 11628 kWh per quanto riguarda i combustibili (1 tep = 41,860 GJ); 1 tep = 5347,59 kWh per i consumi elettrici (1 kWh = 0,187x10⁻³ tep).

²⁰ Il 50% delle emissioni di CO₂ è causato dal settore delle costruzioni, se si considera il consumo di energia sia nelle fasi di produzione e di trasporto dei materiali, che nelle fasi d'uso e dismissione dell'edificio. La fonte UNEP del 2006 riporta che gli edifici sono responsabili del 17% del consumo di acqua, del 25% dell'uso del legno, del 33% delle emissioni di CO₂, del 30-40% dell'uso di energia e del 40-50% dell'uso di materiale grezzo.

fonti rinnovabili nel settore edilizio costituiscono misure importanti per ridurre globalmente la dipendenza energetica e le emissioni di gas a effetto serra.

Unitamente ad un uso maggiore di energia proveniente da fonti rinnovabili, le misure adottate dall'Unione europea nel 2010 per ridurre il consumo di energia consentirebbero di conformarsi al protocollo di Kyoto e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20% al di sotto dei livelli del 1990 e del 30% qualora venga raggiunto un accordo internazionale. Inoltre, esse costituirebbero degli strumenti importanti per promuovere lo sviluppo tecnologico con ricadute positive sulla creazione di posti di lavoro, in particolare nelle zone rurali.²¹

Per gli edifici residenziali, le misure di miglioramento dell'efficienza energetica, introdotte in Europa in seguito alla Direttiva 2002/91/CE, rispondono alle aspettative della cosiddetta certificazione energetica e riguardano l'isolamento delle pareti e l'installazione di impianti di riscaldamento e condizionamento più efficienti. L'impiego di elettrodomestici e sorgenti luminose più efficienti traggono spunto dal vigente quadro legislativo europeo e nazionale in materia di etichettatura energetica, regolamentato dalla Direttiva 92/75/CEE, che stabilisce i criteri per l'indicazione del consumo di energia, e dalla successiva Direttiva 2005/32/CE (Energy Using Products – EUP).

In base alla Direttiva europea 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia, per gli edifici di nuova costruzione gli Stati dovranno garantire che, prima dell'inizio dei lavori, sia valutata la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi impiantistici alternativi ad alta efficienza. Inoltre, entro la fine del 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere “a energia quasi zero”, cioè ad altissima prestazione energetica. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrà essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze. È interessante chiedersi se questi provvedimenti avverranno mantenendo sostanzialmente inalterate le caratteristiche funzionali, tecnologiche e formali degli edifici, oppure incidendo su queste in modo significativo.

1.4. Architettura “ambientalmente consapevole”

A partire dagli anni Settanta, rispondendo alle prime inquietudini derivate dalla crisi petrolifera, è nata una diffusa consapevolezza dei temi ambientali. Da parte di alcuni progettisti, soprattutto in Germania, Olanda e Scandinavia, sono state proposte *costruzioni ecologiche alternative*, in particolare nell'edilizia a carattere sociale ed in quella adibita a spazi culturali. Da una parte sono state presentate iniziative a carattere sociale, come l'invito agli utenti di partecipare consapevolmente alla redazione di un progetto “consapevole”, in risposta all'autoritaria e rigida architettura modernista (Joachim Eble, Lucien Kroll, Peter Hübner), dall'altra è stato introdotto l'uso di materiali naturali come la terra cruda e le fibre vegetali e sono stati costruiti insediamenti sperimentali (Paolo Soleri ad Arcosanti, in Arizona).

I promotori di questo tipo di architettura “ambientalmente consapevole”, nell'ottica della riduzione dell'effetto serra e del degrado dell'ambiente naturale, ponevano tre obiettivi complementari ed indissolubili: l'equità sociale, l'attenzione ecologica e l'efficacia

²¹ In base alla Direttiva 2010/31/UE.

economica. Negli anni successivi, per spiegare un certa sensibilità per le questioni ambientali applicate ai progetti, si sono diffusi vari termini, facenti uso dei suffissi bio- ed eco-: *bioarchitettura*²², *architettura bioecologica*, *architettura ecocompatibile*, *architettura ecosostenibile*. Ognuno di questi termini contiene una propria specificità in rapporto a una particolare visione del rapporto tra architettura e ambiente.

Gli stessi suffissi bio- ed eco- sono stati applicati anche al termine edilizia (*edilizia ecologica*, *bioedilizia*, *edilizia ecosostenibile*), nel caso in cui si dovessero mettere in evidenza gli aspetti tecnico-funzionali dell'edificio rispetto a quelli architettonici²³.

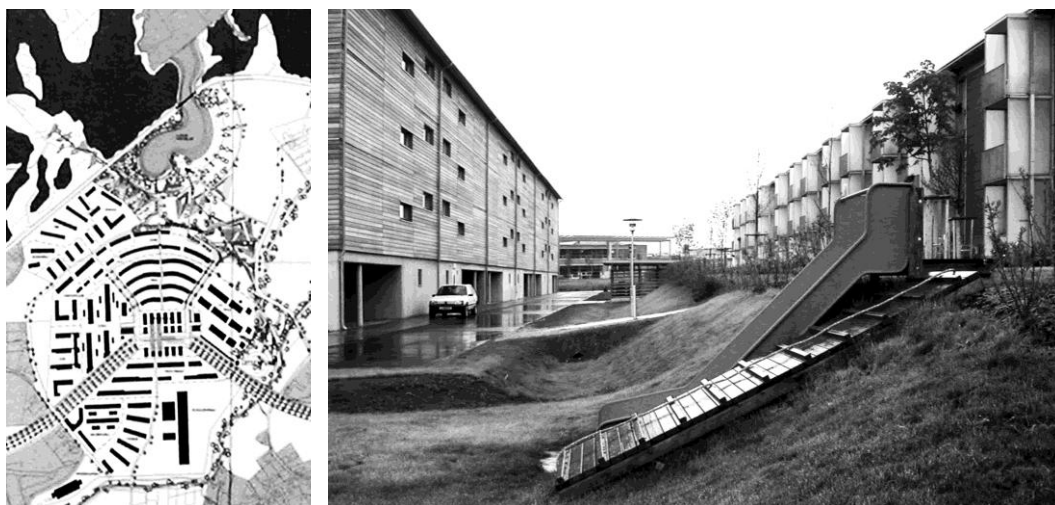
Il termine “ecosostenibile”, o semplicemente “sostenibile”, è tra quelli più usati per indicare una sostenibilità ambientale a vasto spettro. Siccome però “tutto è sostenibile”, nel momento in cui rispetta le leggi in vigore in tema ambientale, la tendenza è oggi di usare il termine sostenibilità in modo acritico o improprio – anche solo per stimolare la vendita dei prodotti edilizi –, svuotandolo dei contenuti profondi che ne costituiscono l'origine e il significato.

È stato il protocollo di Kyoto del 1997 a rilanciare fortemente il tema dell'edilizia ecosostenibile. Più o meno da quella data, in risposta alle esigenze di sostenibilità ambientale e di fronte alla nuove norme di efficienza energetica, in Europa i nuovi edifici e quelli riqualificati (adeguati) dal punto di vista ambientale hanno iniziato a dotarsi di nuovi elementi tecnologici ed impianti per rispondere ai requisiti cogenti di norma.

A partire dagli anni Novanta, in città come Friburgo o Stoccarda, sono stati promossi importanti progetti di sviluppo urbano sostenibile a carattere sia pubblico che privato con uso massiccio di energia solare: quartieri di case a basso consumo energetico, bio-case, programmi di edilizia scolastica.

²² Nello Statuto dell'Istituto Nazionale di Bioarchitettura (INBAR) si definisce “bioarchitettura” «l'insieme delle discipline che attuano e presuppongono un atteggiamento ecologicamente corretto nei confronti dell'ecosistema antropico-ambientale. In una visione caratterizzata dalla più ampia interdisciplinarietà e da un utilizzo razionale e sostenibile delle risorse, la bioarchitettura tende alla conciliazione ed integrazione delle attività e dei comportamenti umani con le preesistenze ambientali ed i fenomeni naturali, al fine di realizzare un miglioramento della qualità della vita attuale e futura.»

²³ Il termine “edilizia ecologica” (*ecological building*), riferito all'edilizia “ambientalmente responsabile”, è di origine anglosassone, con studi scientifici condotti fin dagli anni '70 sulle cause dell'inquinamento interno degli edifici. L'edilizia ecologica tende ad accogliere anche molte delle problematiche poste dall'edilizia bioclimatica per cui non sempre è evidente una linea di demarcazione. In essa confluiscono le ricerche nel campo della salubrità degli ambienti confinati, delle tecnologie edilizie eco-compatibili e dell'introduzione dei principi della sostenibilità nella produzione edilizia e nella gestione dell'habitat urbano. Come conseguenza delle direttive indicate dalla Conferenza Onu del 1992 a Rio de Janeiro sullo sviluppo sostenibile, nel campo della tecnologia l'espressione “edilizia ecologica” è stata sostituita dall'espressione “attività costruttiva sostenibile” (*sustainable building*), affinché risultassero più evidenti i riferimenti agli aspetti socio-economici posti dalle emergenze ambientali globali. L'essenza del termine “bioedilizia” deriva dalla *Baubiologie* tedesca (letteralmente “biologia del costruire”, assimilazione della costruzione ad un essere vivente), diffusasi principalmente presso l'Istituto di biologia edile di Neubern, fondato nel 1976. L'idea centrale della bioedilizia è l'assimilazione dell'involucro edilizio ad una terza pelle la quale, insieme all'uomo, è “nel Cosmo” e con esso deve (per la salute e la sopravvivenza) mantenersi in equilibrio. L'edilizia biologica si rivela quindi scrupolosa nella scelta dei materiali, nell'individuazione delle tecnologie e, in generale, nelle prescrizioni finalizzate al costruire sano per un benessere totale, fisico e psichico, dell'uomo.



Figg. 1.38, 1.39 – Solar City presso Linz, Austria: costruzione 2001-2005. A sinistra, planimetria della città. A destra veduta di alcuni edifici residenziali, con alte prestazioni energetiche.

Sono nati insediamenti basati sull'energia solare (figg. 1.38, 1.39). Alcuni edifici-prototipo sono andati oltre, proponendo soluzioni innovative con prestazioni particolarmente elevate di risparmio energetico. A questo riguardo, l'Unione Europea ha avuto ed ha tuttora un ruolo particolarmente importante nello sviluppo normativo e nella ricerca con programmi sperimentali²⁴.

Nell'ambito dell'architettura si sono affermate in quegli anni due correnti di pensiero o strategie progettuali, con sfumature diverse. La prima è stata quella dei progettisti cosiddetti high-tech, che affermano di risolvere le questioni ecologiche con l'introduzione di nuova tecnologia e di prodotti industriali innovativi.

Alla seconda corrente di pensiero, presente non solo in Europa, ma anche in paesi in via di sviluppo, appartengono progettisti che, affrontando progetti di minor dimensione e rifuggendo dalla tecnologia avanzata, perseguono obiettivi ecologici di risparmio delle risorse, con l'uso di soluzioni ecologiche suggerite dalla prassi costruttiva storico-tradizionale e di materiali rigorosamente "naturali" o riciclati.

Sono parte tuttora della schiera dei persecutori delle tecnologie innovative i grandi gruppi di progettazione internazionali, che fanno spesso capo a nomi famosi dell'architettura come Foster + Partners, Atelier Behnisch Architekten, Arup Associates, Ingenhoven Architekten, Renzo Piano Building Workshop, Thomas Herzog and Partners (figg. da 1.40 a 1.50), solo per citarne alcuni. La strategia progettuale di questi gruppi, legata ad edifici di grandi dimensioni in aree a forte crescita economica, spesso per il terziario, tende a ridurre al minimo l'impatto ecologico sul territorio attraverso una serie di accorgimenti funzionali e tecnologici derivati dalle innovazioni più recenti.

Lo studio di progettazione di Thomas Herzog dichiara di avere come obiettivo specifico quello «di esercitare responsabilità sociale e di partecipare attivamente nel progresso scientifico e tecnologico e nello stesso tempo di integrare aspetti rilevanti per l'ambiente in vari modi, indagando specialmente le possibilità dell'energia solare.»

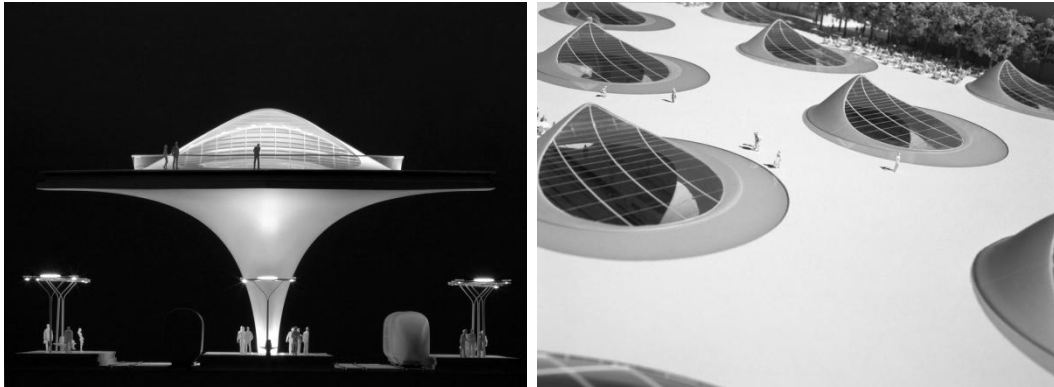
²⁴ Per esempio, i programmi EC 2000, Solar Urban Housing, Cost Efficient Passive Houses as European Standard -Cepheus-.

Non sempre l'architettura "internazionalizzata" che si professa ecologica per l'impiego di tecnologia innovativa, in gran parte impiantistica, risulta convincente, in particolare rispetto al problema del consumo energetico durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, "dalla culla alla tomba" (*cradle to cradle*). Molti edifici dichiarati sostenibili dal punto di vista ambientale e caratterizzati da soluzioni che portano alla riduzione dei consumi durante la fase d'uso, rispondono a concezioni formali e funzionali che, se valutate globalmente in rapporto alla collocazione nel sistema urbano o al costo di produzione dei componenti, di costruzione e dismissione, condurrebbero a giudizi opposti²⁵.



Figg. 1.40, 1.41 – A sinistra, Foster + Partners, grattacielo della Commerzbank a Francoforte, 1991-1997. Quando fu completato, il grattacielo non era solo il più alto d'Europa, ma anche il primo "edificio per uffici ecologico". L'edificio fu progettato per diminuire il consumo di energia del 50% rispetto agli edifici alti convenzionali. Ogni ufficio è illuminato e ventilato naturalmente. Giardini alti quattro piani, orientati in relazione ai tipi di vegetazione, individuano cluster di uffici che si sviluppano attorno a degli atrii. L'atrio agisce come camino di ventilazione naturale per gli uffici che si affacciano internamente. A destra, Behnisch, Behnisch & Partner Norddeutsche Landesbank am Friedrichsvall, Hannover, 1997-2002. Una gran parte dell'edificio è ventilata attraverso le finestre. Aree di facciata doppie proteggono dal rumore e dalle emissioni dei veicoli e servono come condotto per trasferire aria pulita dalla corte centrale ai singoli uffici. Le grandi zone d'acqua nella corte incrementano la riflessione della luce naturale e contribuiscono al clima. I tetti giardino non solo riducono l'impatto visivo, ma migliorano anche il microclima dell'edificio e fungono da collettori d'acqua per uso interno.

²⁵ Alcuni autori hanno proposto provocatoriamente lo slogan "dalla culla alla culla", criticando un modello di produzione secondo cui un oggetto edilizio, benché valutato secondo il proprio ciclo di vita, debba produrre solo rifiuto, cioè sia destinato "alla tomba". Cfr: McDonough W., Braungart M., *Cradle to cradle. Remaking the way we make things*, North Point Press, New York, 2002.



Figg. 1.42, 1.43 – Ingenhoven architects, stazione centrale a Stoccarda, 1997-in corso. Il progetto, premiato col Global Holcim Award nel 2006, è caratterizzato da un consumo di energia “quasi zero”, ottenuto con un uso efficace dell’illuminazione e della ventilazione naturale.



Figg. 1.44, 1.45 – Ingenhoven Architekten, Lufthansa Aviation Center, completato nel 2006. L’edificio richiede un terzo dell’energia di un edificio per uffici convenzionale. Nove giardini con essenze vegetali provenienti da tutti i continenti occupano una serie di grandi atri per il relax. Nelle zone di collegamento tra i sistemi di copertura alcune ali speciali stabilizzano la pressione del vento in modo da facilitare l’espulsione verso l’alto dell’aria di ricambio.



Figg. 1.46, 1.47 – A destra, Renzo Piano Building Workshop: tetto verde ondulato con aperture ad oblò nella California Academy of Sciences di San Francisco, 2000-2008. L’edificio è dotato di certificato LEED con livello Platino. Foto: Todd Eberle.



Figg. 1.48, 1.49 – Bill Dunster, studio Arup, quartiere BedZed a Beddinton. Londra. Il design si caratterizza per i camini di ventilazione sul tetto. Il termine ZED (Zero Energy Development) indica un “consumo energetico zero” per l’insediamento.



*Figg. 1.50, 1.51 – A sinistra, Thomas Herzog, frangisole mobili nell’Administration centre for the Supplementary Pension Fund of the Building Industry SOKA-BAU a Wiesbaden, 1994-2003. A destra, MVRDV, padiglione olandese all’Expo di Hannover del 2000: il linguaggio dell’architettura si poneva come filtro attraverso cui prospettare nuove soluzioni ai problemi dell’inquinamento, dell’esaurimento delle risorse naturali, della congestione e della vivibilità dei centri urbani. La struttura del padiglione enfatizzava il rapporto naturale-artificiale sovrappo-
nendo sei modi di essere del paesaggio: dalle dune del piano terra al polder della copertura.*

È un dato di fatto che i grandi complessi edilizi per il terziario – grattacieli e non –, sebbene progettati per essere particolarmente efficienti dal punto di vista energetico, necessitano di impianti tecnologici di grande dimensioni e abbiano un considerevole costo ecologico legato all’impatto sul sistema dei trasporti. Nei cosiddetti edifici high-tech l’approccio progettuale mirato alla sostenibilità ha comunque liberato un grandissimo potenziale d’innovazione formale e tecnologica, attivando processi di trasferimento tecnico²⁶ e conducendo a soluzioni costruttive *adattative* (o *adattive*) e flessibili²⁷.

Oggi molte imprese di costruzione e molti architetti considerano la qualità ambientale un veicolo privilegiato per proporre un’immagine di modernità ed innovazione.

Da qualche tempo si è iniziato a parlare di *complessi edilizi autosufficienti* o *ad emissione zero*, che contengono sistemi impiantistici attivi per la produzione di energia in grado di compensare il loro consumo interno. A parte la piccola minoranza di edifici di carattere sperimentale a bassissimo consumo, per la grande maggioranza dei nuovi edifici l’obiettivo di qualità ambientale è oggi fortemente connesso all’evoluzione della normativa sull’energia e all’introduzione delle certificazioni energetiche e, più in generale, ambientali. In ambito anglosassone si è diffuso il termine di “edificio verde” (*green building*), per definire una costruzione che rispetta norme di *certificazione ambientale* e raggiunge alti livelli di qualificazione in tal senso.

L’architettura sostenibile “ecologicamente orientata” è diventata dunque, nel caso dei grandi gruppi di progettazione, una sorta di “accordo negoziato”, in cui si fa uso di standard internazionali di valutazione della qualità come LEED, BREEAM, ASHRAE, Mingerie Standard, European Standard 2000 o DNGB, di cui i gruppi stessi sono membri²⁸, per promuovere un design contemporaneo. L’edificio “ecologicamente corretto” allevia una certa “ansietà ambientale, incoraggia il consumo di prodotti edilizi che contribuiscono ad un ambiente più pulito ed utilizza fonti di energia rinnovabile²⁹. Il positivo rapporto tra edificio e ambiente si risolve, in definitiva, nella certificazione delle performance ambientali del manufatto e delle sue parti, e nello sfruttamento delle tecnologie impiantistiche più evolute.

²⁶ Per la questione del *trasferimento tecnologico* in architettura si veda Nardi G., Campioli A., Mangiarotti A., *Frammenti di coscienza tecnica. Tecniche esecutive e cultura del costruire*, FrancoAngeli, Milano, 1991.

²⁷ Le “opportunità di adattamento” (*adaptive opportunities*) sono state definite attive (controllo delle schermature solari, della luce, dei sistemi HVAC, della ventilazione naturale, del vestiario) se permettono agli occupanti di adattare l’ambiente alle proprie richieste oppure di adattare loro stessi alle condizioni nell’edificio; sono passive (isolamento termico, tenuta all’aria, controllo automatico della radiazione solare, sensori di presenza o fotocellule per la gestione della luce, ventilazione naturale, meccanica o automatica) nel caso in cui sia l’edificio ad adattarsi all’ambiente indipendentemente dall’azione degli occupanti.

²⁸ Per esempio, nel caso dello studio Ingenhoven, la Banca d’Investimenti Europea in Lussemburgo è certificata “Eccellente” secondo il metodo (BREEAM). La Breezé Tower a Osaka è il primo grattacielo “ambientalmente amico” (*environmentally friendly skyscraper*) in Giappone, con una doppia facciata in vetro, che ha ottenuto la classificazione più alta S-Class secondo il sistema giapponese CASBEE. L’edificio 1 Bligh a Sydney sarà il primo edificio alto a ricevere il certificato 6 Star-World Leadership secondo il metodo australiano Eco-Standard Green Star. La torre interamente in vetro con una facciata a doppia pelle è ventilata da un atrio che si sviluppa per tutta l’altezza dell’edificio.

²⁹ Cfr CCha T., “Ecologically Correct”, in Chung C.J., Inaba J., Koolhaas R., Leong S.T., *The Harvard Design School Guide to Shopping*, Taschen, Köln, 2001.



Fig. 1.52, 1.53 – Elementi a gelosi in un progetto low-tech di Hassan Fathy. A destra, Elementi traforati e pannelli fotovoltaici in una nuova piazza costruita nel primo lotto della città di Masdar, Dubai, 2009.



Fig. 1.54 – Norman Foster progetto per la nuova città di Masdar a Dubai la forma compatta della città, autosufficiente dal punto di vista energetico, ricopre una superficie di 2,4 miglia quadrate, per 50.000 abitanti e 1.500 uffici.

Recentemente si è sviluppato un campo di interesse dell'architettura high-tech nei riguardi dei nuovi manufatti di servizio alla produzione e alla distribuzione di energia o per la mitigazione degli impatti ambientali; campi fotovoltaici, centrali termoelettriche, impianti di riciclo dei materiali e di trattamento rifiuti, elementi di illuminazione pubblica, barriere acustiche sono diventati occasioni per produrre architettura.

I progettisti di un'architettura che si può definire low-tech sono meno interessati a questioni normative e allo sviluppo dell'impiantistica attiva, ma si concentrano su un

pragmatico risparmio di risorse a trecentosessanta gradi: dalla fase di costruzione dell'immobile a quella di gestione e di smaltimento dei materiali. Tra questi professionisti della costruzione sana alcuni promuovono il concetto di *architettura autocostruita*, altri di *architettura a kilometro zero*³⁰.

Un caso emblematico dello stretto rapporto tra architettura a carattere sociale ed ambientalista è rappresentato da Hassan Fathy che in Egitto, alcuni decenni fa, promosse un'architettura di tipo bioclimatico e a basso consumo energetico. Un'architettura "per il povero", da costruirsi in sintonia col clima e la cultura del luogo, sfruttando i materiali e le conoscenze artigianali del luogo (fig. 1.52). I termini bioarchitettura e architettura bioecologica sono quelli maggiormente legati a quest'uso privilegiato di materiali naturali e locali.

Un filone di questa ricerca si esplica in un'architettura di tipo organico, che riproduce le forme e i comportamenti della natura. Recentemente l'aspetto sociale si è fuso con quello strettamente ecologico: sviluppi recenti propongono case "a basso costo e a basso consumo" (*low cost, low energy*).

Se guardiamo alla produzione architettonica di questi ultimi anni, si avverte che la netta contrapposizione tra manufatti high-tech o low-tech del secolo scorso si è affievolita. L'architettura ha superato la fase in cui la sostenibilità dell'edificio doveva essere assolutamente dichiarata e si è dotata di tecnologie ad alto rendimento energetico pur mantenendo una propria autonomia figurativa e stilistica. Molta architettura contemporanea definita "minimalista", per esempio, ha coniugato una decisa appartenenza al moderno con elevate prestazioni ecologiche. Nel momento in cui l'architettura ha iniziato a seguire questa strada di autonomia, l'interesse per la "questione ambientale" si è spostato verso l'aspetto edilizio del manufatto, incentrato sul rispetto del dettato normativo. L'ecosostenibilità in architettura ha dunque superato lo stadio ideologico di fine millennio per diventare un fattore prevalentemente tecnico ed economico.

Per evitare di banalizzare il termine eco-sostenibilità in architettura è forse opportuno puntare l'attenzione sull'effettiva consapevolezza ambientale da parte dei progettisti. Il termine di "architettura ambientalmente consapevole" descrive abbastanza bene gli esiti di ricerche progettuali che, pur attenendosi alle più restrittive normative in campo ambientale, non rinunciano ad innovare ed integrare i vari aspetti che attengono alla salvaguardia della salute dell'uomo e dell'ambiente circostante (figg. 1.53, 1.54).

1.5. Recupero degli edifici esistenti

Una questione molto importante legata al rapporto tra edificio e ambiente riguarda in Europa – ma non solo – il *recupero* delle costruzioni esistenti. In base ai dati CRESME, in Italia nel 2000 il recupero aveva, con 124.037 miliardi, il 42.7% del valore della produzione nelle costruzioni, e la sola manutenzione ordinaria, con 50.530 miliardi, il 17.4%. In totale il recupero in senso lato costituiva cioè il 60.1% del mercato totale. Si prevede oggi la continua crescita del settore, fino a raggiungere l'80% nel 2020. La questione del miglioramento prestazionale – soprattutto energetico – riveste una parte importante di questo settore in ampliamento, sostenuta negli ultimi anni da incentivi fiscali.

³⁰Con quest'ultimo termine si intendono edifici che utilizzano materiali e tecniche costruttive che riducono al minimo il costo legato al trasporto dei materiali in sito.

Se si prende in considerazione la situazione italiana – ma lo stesso discorso potrebbe essere esteso ad altri contesti nazionali –, il patrimonio edilizio abitativo, costruito ex-novo nella seconda metà del XX secolo, costituisce una larghissima parte del patrimonio edilizio totale. Durante il loro funzionamento questi edifici consumano energia – principalmente in termini di combustibile per la climatizzazione – in quantità che potrebbero essere considerevolmente ridotte con interventi di *riqualificazione energetica*³¹. Pochi anni fa il fabbisogno energetico medio degli edifici italiani era di quasi 300 kWh/m² l'anno, contro i 200 della Germania e i 60 della Svezia. Ora, dopo le recenti predisposizioni normative, il dato si è abbassato, ma ancora circa il 30% dell'energia finale consumata in Italia proviene dagli edifici e a questi consumi energetici sono riconducibili il 28% delle emissioni nazionali di CO₂.

È su questo patrimonio che si è iniziato ad intervenire e si lavorerà sempre più nel prossimo futuro. Secondo una valutazione dell'ENEA³², per realizzare interventi di efficienza energetica si richiederebbero investimenti pari a 8,2 miliardi di Euro solo per le scuole e gli uffici e si otterrebbe come beneficio un risparmio energetico di 0,44 Mtep/anno, pari a 0,42 miliardi di Euro/anno, evitando il 20% delle emissioni di CO₂ e producendo un'occupazione aggiuntiva di 150.000 unità.



Figg. 1.55, 1.56 – *Riqualificazione energetica di un edificio in Rislerstraße a Friburgo, con inserimento di un cappotto termico e di nuovi balconi in acciaio autoportanti, per ridurre i ponti termici.*

³¹ La parte di patrimonio edilizio costruita tra il 1946 e 1991, anno in cui è stata emanata la legge n. 10 che ha portato ad introdurre nei nuovi edifici alcune misure efficaci per il contenimento del consumo energetico, è caratterizzata da scarsa efficienza energetica e qualità costruttiva. Inoltre, essendo costituita da edifici che riuniscono in complessi unitari molte unità abitative, essa è difficile da riqualificare perché frammentata nelle proprietà condominiali. In base ai dati ENEA, gli edifici costruiti dopo il 1993 consumano l'11% in meno di energia rispetto a quelli costruiti prima del 1978, e il 5% in meno rispetto a quelli costruiti tra il 1978 ed il 1989. Negli ultimi due o tre anni, rispetto agli edifici del 1993, il consumo si è ulteriormente ridotto mediamente di più del 20%.

³² Il contributo degli interventi sui presidi sanitari e sportivi, sul social housing e sulla proprietà cooperativa non sono compresi in questa valutazione. Per rendere eco-efficiente il patrimonio pubblico italiano è necessario superare due barriere che bloccano l'iniziativa delle amministrazioni locali: il freno agli investimenti energetici dovuto al cosiddetto "patto di stabilità" e il peso degli interessi sulla restituzione del finanziamento bancario iniziale, associato agli elevati tempi di ritorno (19,5 anni di media).

Una parte sempre più importante sta acquisendo il recupero inteso come demolizione e ricostruzione: risulta spesso più conveniente demolire un edificio con basse prestazioni energetiche e strutturali e ricostruirlo piuttosto che adeguarlo alle nuove normative³³.

Nel recupero il livello urbanistico e quello edilizio sono compresenti. Un esempio è fornito dalla riqualificazione delle aree industriali dismesse, che interessano vaste operazioni di demolizione – o parziale demolizione – e ricostruzione. Alla scala urbana i programmi per gli interventi di riqualificazione sono stati spesso incentrati sul riuso e sull'adeguamento di alcuni standard funzionali di spazi interni ed esterni, ma vi sono casi in cui l'aspetto energetico-ambientale gioca un ruolo significativo (figg. 1.55, 1.56).

In merito a questo aspetto della riqualificazione urbana, è bene sottolineare come in Italia le aree riqualificate siano inferiori a quelle per nuovi insediamenti per la residenza, il terziario e l'industria, o a quelle destinate alle infrastrutture. Pur in presenza di uno sviluppo economico non particolarmente sostenuto, una discreta parte del territorio agricolo negli ultimi anni è stato consumato da nuovi interventi edilizi e il fenomeno dovrebbe essere arrestato per evitare in futuro un ulteriore consumo di risorse territoriali³⁴.

Un'ultima osservazione porta a riconoscere che in Italia tutto il patrimonio esistente di valore storico-architettonico, costruito prima degli anni Cinquanta e soggetto al restauro e al risanamento conservativo, viene di fatto escluso dai recenti provvedimenti normativi sul risparmio energetico³⁵. Il manufatto di valore storico-architettonico, infatti, mantiene una propria autonomia nei confronti dell'obbligo di riqualificazione energetica in caso di una sua rifunzionalizzazione³⁶. Di questo patrimonio fanno parte non solo i monumenti antichi, ma anche gli edifici del Movimento Moderno di cui si è precedentemente parlato. Come ridurre i costi di gestione e, nello stesso tempo, salvaguardare l'integrità di questo patrimonio, minoritario per quantità rispetto al complesso delle costruzioni ma pur sempre molto dispendioso, è un problema oggi tra i più stimolanti in architettura.

Approfondimenti bibliografici:

McDonough W., Braungart M., *Cradle to cradle. Remaking the way we make things*, North Point Press, New York, 2002.

³³ L'intervento di ristrutturazione edilizia prevede la demolizione e la ricostruzione in sagoma.

³⁴ Il rapporto CENSIS 2010 riporta: «[...] pur a fronte di una notevole retorica sulla centralità dei principi di sostenibilità sociale e ambientale, il territorio consumato per le costruzioni si è molto ampliato. [...] In soli sei anni (dal 2000 al 2006) la quota di territorio nazionale impermeabilizzato è aumentata di ben un punto percentuale, passando dal 5,3% al 6,3%. A strutturare la morfologia del nuovo paesaggio metropolitano è stata senza dubbio anche l'espansione della grande distribuzione commerciale: basti pensare che tra il 2005 e il 2009 le superfici degli ipermercati sono aumentate del 28%, quelle dei grandi centri di vendita specializzati (elettronica, arredamento, sport, bricolage) del 34,5%, il numero dei multiplex (i cinema con almeno 8 schermi) è salito del 21,5%.»

³⁵ In base al DLgs 311/2006 sono esclusi dalla certificazione energetica gli edifici che ricadono nella disciplina del DL 22 gennaio 2004, n. 42, recante il Codice dei beni culturali e del paesaggio.

³⁶ Si intende per riqualificazione l'intervento di messa a norma, cioè di adeguamento ai livelli imposti dalla legge. Altra cosa è parlare di miglioramento, che rappresenta un progresso nei confronti della situazione precedente ed è l'operazione generalmente richiesta nel caso di edifici di valore storico-architettonico.

- Gauzin-Müller D., *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001. Trad. it., *Architettura sostenibile*, Ed. Ambiente, Milano, 2003.
- Chung C.J., Inaba J., Koolhaas R., Leong S.T., *The Harvard Design School Guide to Shopping*, Taschen, Köln, 2001.
- Randall T. (a cura di), *Environmental Design. An introduction for architects and engineers*, E & FN Spon, London, 1999.
- Nicoletti, M., *Architettura ecosistemica. Equilibrio ambientale nella città*, Gangemi Ed., Roma, 1998.
- AA.VV., *Manuale di progettazione edilizia. Vol. 2 – Criteri ambientali e impianti*, Hoepli, Milano, 1994.
- Bottero M., (a cura di), *Spazio e conoscenza nella costruzione dell'ambiente*, FrancoAngeli, Milano, 1991.
- Nardi G., Campioli A., Mangiarotti A., *Frammenti di coscienza tecnica. Tecniche esecutive e cultura del costruire*, FrancoAngeli, Milano, 1991.
- Boesiger W., Stonorov O., Bill M. (a cura di), *Le Corbusier: Complete Works in Eight Volumes*, Birkhäuser Architecture, Basel, 1990.
- Frampton K., *Modern Architecture: a critical History*, Thames and Hudson, London, 1980. Trad. it., *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli, Bologna, 1982.
- Caniggia G., Maffei P.L., *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio Editori, Venezia, 1979.
- Fathy H., *Architecture for the poor. An Experiment in Rural Egypt*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1973.
- Givoni B., *Man, Climate and Architecture*, Elsevier, New York, 1969.
- Banham R., *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, 1969. Trad. it., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1978.
- Rudofsky B., *Architecture without architects. A short introduction to non-pedigreed architecture*, Doubleday & Company, New York, 1964.
- Olgay V., *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, 1963. Trad. it., *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, F. Muzzio, Padova, 1981.

